

stowa

BLUECAN: HELDER WATER VOOR HET KLIMAAT

RESULTATEN VAN DRIE JAAR ONDERZOEK



RAPPORT

2023
13

BLUECAN: HELDER WATER VOOR HET KLIMAAT
RESULTATEN VAN DRIE JAAR ONDERZOEK

RAPPORT

2023

23

ISBN 978.94.6479.028.3



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Drs. Ing. S.A. Schep (Witteveen+Bos)
Dr. M. Kox (Deltares)
Dr. T. Troost (Deltares)
Dr S. de Rijk (Deltares)
R.J. Brederveld MSc (Witteveen+Bos),
Dr. G. van Dijk (B-WARE)
E.E. van Deelen MSc (Witteveen+Bos)
M. Poelen MSc (B-WARE)
L. Slagter MSc (Witteveen+Bos)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Nikki Dijkstra (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)
Harm de Jong (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)
Heleen Pinkse (Waterschap Drents Overijsselse Delta)
Hanna Jurjens (Waterschap Drents Overijsselse Delta)
Niel de Jong (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Ronald Bakkum (Hoogheemraadschap van Delfland)
Joep de Koning (Hoogheemraadschap van Delfland)
Jorrit Timmers (Hoogheemraadschap van Rijnland)
Tim Pelsma (Waterschap Amstel, Gooi en Vecht/Waternet)
Anne Marieke Motelica-Wagenaar (Waterschap Amstel, Gooi en Vecht/Waternet)
Jan Strijker (Provincie Zuid Holland)
Dick Boland (Rijkswaterstaat)
Pieter de Boer (Rijkswaterstaat)
Tessa van der Wijngaart (STOWA)
Pui Mee Chan (STOWA)
Bas van der Wal (STOWA)
Bas Nanninga (Unie van Waterschappen)

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de PPS-toeslag onderzoek en innovatie van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2023-13
ISBN 978.94.6479.028.3

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

BROEIKASGASEMISSIES UIT OPPERVLAKTEWATER; EEN RELEVANTE BRON!

De metingen, modelberekeningen en analyses in het kader van het BlueCAN-onderzoek laten zien dat van de totale Nederlandse broeikasgasemissies 5% uit oppervlaktewateren komt. Oppervlaktewateren vormen dus een relevante bron van broeikasgassen. BlueCAN concludeert dat het verminderen van de input van koolstof en nutriënten en het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit in veel gevallen zal leiden tot reductie van broeikasgasemissies.

Klimaatverandering is één van de grootste uitdagingen van deze tijd. De ambitie die in Parijs in 2015 is uitgesproken, heeft Nederland gespecificeerd in het Nederlandse Klimaatakkoord (2019). Naast de reductie van fossiele brandstoffen wordt door Nederland ook bij de inrichting van het Nederlandse land- en wateroppervlak ingezet op innovaties voor CO₂ vastlegging en gebruik. In lijn met het Nederlandse Klimaatakkoord werken regionale waterbeheerders net als veel andere organisaties hard aan het terugdringen van hun CO₂-footprint. BlueCAN laat zien dat ook de oppervlaktewateren in het beheergebied een bron van broeikasgassen kunnen zijn en dat hier dus ook kansen liggen om reductie te bereiken.

De aanpak van BlueCAN is gebaseerd op een unieke combinatie van metingen, laboratorium analyses en modelberekeningen. BlueCAN laat zien dat bij alle 16 geobserveerde wateren een netto emissie is waargenomen van zowel CO₂ als CH₄. De totale broeikasgasemissie (uitgedrukt in CO₂-equivalenten) bestaat voor het grootste deel uit CO₂. De bijdrage van CH₄ varieert sterk per casus, van nihil tot meer dan 50 % van de totale broeikasgasemissie. De CH₄-emissies worden hierbij onderschat omdat een groot deel van de CH₄-emissie waarschijnlijk via de vorming van gasbellen verloopt en deze bellen zijn in de gekozen opzet lastig te meten. Het door BlueCAN ontwikkelde broeikasgasmodel vormt de basis voor de quickscantool, waarmee waterbeheerders zelf kunnen rekenen. De tool wordt ontsloten in een webapplicatie en heeft de naam BlueScan. Op dit moment is BlueScan alleen geschikt om te rekenen aan meren en plassen.

Het onderzoek naar emissies van broeikasgassen uit oppervlaktewateren krijgt pas sinds een paar jaar aandacht. Drie jaar onderzoek heeft geholpen om een eerste inzicht te krijgen in een orde grootte van de broeikasgasemissies en om een eerste relatie te leggen met bepalende systeemkenmerken. Samenwerking met de onderzoeksgroep van de Radboud Universiteit Nijmegen was daarbij cruciaal. We zijn er echter nog niet. Het is nog niet mogelijk een beeld te geven van de omvang van de totale uitstoot in een beheergebied en te weten welke maatregelen hoeveel reductie oplevert. De onderzoekers bevelen aan om een kennisagenda op te zetten gericht op de verbetering van de BlueScan tool zodat deze voor alle relevante watertypes in een betreffend beheergebied een schatting kan geven van de emissies van broeikasgassen.

BlueCAN is in 2019 geïnitieerd door Witteveen+Bos en Deltares. Het project is in vervolg mede gefinancierd door een TKI-subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, een 7-tal waterschappen en Natuurmonumenten.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

1

SAMENVATTING

Terrein-, water- en natuurbeheerders werken hard om hun CO₂-voetafdruk te verlagen en daarmee de opwarming van de aarde te beperken. Dit doen ze door maatregelen te nemen in de bedrijfsvoering, zoals meer gebruik maken van elektrische auto's, zuinig omgaan met energie of het terugdringen van papiergebruik. Echter, het oppervlaktewater als bron van broeikasgasemissies wordt in het nemen van deze maatregelen niet meegenomen. Toch zijn er aanwijzingen dat oppervlaktewateren potentieel een grote uitstoot hebben. De urgentie van het tegengaan van de opwarming van de aarde én de problematiek van 'vergeten broeikasgasemissies', zoals oppervlaktewateren, is de aanleiding voor onderzoekers van Witteveen+Bos en Deltares geweest om de handen op dit onderwerp ineen te slaan. De noodzaak voor een degelijke kwantificering wordt alleen maar urgenter, omdat verwacht wordt dat deze emissiebron op termijn gerapporteerd moet gaan worden door de waterbeheerders (IPCC, 2019).

In 2019 is daarom door Witteveen+Bos en Deltares het project BlueCAN (Blue voor water; C voor Carbon and N voor nutriënten) gevormd en is de eerste verkenning van start gegaan. Deze verkenning had als doel om meer inzicht te vergaren in de uitstoot van oppervlaktewateren, ervaring op te doen met monitoringstechnieken en tot praktische handvatten te komen voor waterbeheerders. De verkenning bestond uit drie pijlers: 1) het ontsluiten van beschikbare kennis, 2) het ontwikkelen van een broeikasgasmodel, en 3) een eerste validatie hiervan aan de hand van metingen in samenwerking met drie regionale waterbeheerders. De twee belangrijkste conclusies waren dat oppervlaktewateren substantieel – circa 5%¹ - bijdragen aan de totale Nederlandse broeikasgasemissietotaal jaarlijkse uitstoot bedraagt 4,7 Mton CO₂ eq) én dat er een verband is met de waterkwaliteit. Dit was, samen met dat er nog veel kennislacunes zijn, aanleiding voor een vervolg.

Dit vervolg bestaat uit een groot onderzoeksproject naar broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren onder de vlag van het Topconsortium voor Kennis en Innovatie (TKI) Deltatechnologie. Aan de hand van casussen is er inzicht in de broeikasgasemissies van drie verschillende type wateren (meren en plassen, sloten en kanalen) opgedaan. De 'vergeten broeikasgasemissies' uit het oppervlaktewater vormen inderdaad een relevante bron zijn van broeikasgasemissies. De metingen, modelberekeningen en analyses ondersteunen de inschatting dat broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren voor 5 % bijdraagt aan de totale Nederlandse broeikasgasemissies. De resultaten zijn gebruikt om tot een eerste methodiek te komen voor het analyseren van broeikasgasemissies, waarbij de focus ligt op het ontwikkelen van een model voor het kwantificeren van broeikasgasemissies. Het BlueCAN-onderzoek heeft een aantal andere nieuwe inzichten opgeleverd, dit zijn:

1 Berekening is te vinden in de achtergronddocumenten bij de STOWA Deltafact (2020)

- **dubbele winst door verbeteren waterkwaliteit.** Het huidige onderzoek versterkt de conclusie dat er een duidelijke link is tussen de waterkwaliteit en de omvang van de broeikasgasemissies. Het verminderen van de input van nutriënten en het verbeteren van de ecologische kwaliteit (meer waterplanten) zal leiden tot reductie van broeikasgasemissies, met name het sterke broeikasgas methaan;
- **de invloed van bioturbatie en waterplanten is relevant.** Uit de modelresultaten blijkt dat bioturbatie en de aanwezigheid van waterplanten in de waterkolom relevant is voor de omvang van de broeikasgasemissies. Hoe dat precies werkt kan nog niet worden gekwantificeerd. Wel is bekend dat het organisch stofgehalte en de zuurstofconcentraties in de waterbodem een belangrijke rol spelen;
- **het belang van koolstof aanvoer.** Simulaties met het BlueCAN broeikasgasmodel laten zien dat met name de (externe) aanvoer van koolstof in sterke mate bepalend is voor de omvang van broeikasgasemissies. Er is in het waterkwaliteitsbeheer echter weinig aandacht voor koolstof. Metingen zijn er vrijwel niet;

BlueCAN heeft twee producten opgeleverd, dit zijn:

- **BlueCAN broeikasgasmodel: een combinatie van twee modellen.** Onderzoekers van BlueCAN hebben een broeikasgasmodel ontwikkeld waarmee het mogelijk is om de broeikasgasemissie in de tijd te berekenen en te analyseren. Hiervoor zijn twee waterkwaliteitsmodellen PCLake en Delft3D-ECO gecombineerd, uitgebreid, gekalibreerd en gevalideerd op basis van de informatie uit cases
- **BlueScan tool voor een eenvoudige berekening van de broeikasgasemissie uit oppervlaktewater.** Naast het BlueCAN broeikasgasmodel is de BlueScan tool opgezet om eenvoudig berekeningen te kunnen maken zonder het complexe model te gebruiken. Daartoe is een dataset met een grote diversiteit aan veelvoorkomende systeemkenmerken doorgerekend die representatief zijn voor de Nederlandse situatie. BlueScan gaat via het web beschikbaar worden gemaakt.

Naast deze relevante inzichten, levert het BlueCAN-onderzoek ook nieuwe vragen op. Er wordt inmiddels meer fundamenteel én toegepast onderzoek gedaan naar broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren. Voorbeelden zijn het NOBV (emissies uit veenweidegebied), DIGS (emissies uit oppervlaktewater), DuNaG (emissies uit nat grondverzet) en experimenteel onderzoek naar relevante processen (de invloed van bioturbatie, door Radboud University). Dit onderzoek levert nieuwe puzzelstukjes op, maar onvoldoende om op alle vragen vanuit het beheer antwoord te kunnen geven. BlueCAN zal het onderzoek dan ook continueren in nauwe afstemming met lopend onderzoek en in samenwerking met nationale en internationale experts, met terrein-, water- en natuurbeheerders. Hoe dit vervolg er concreet uit gaat zien, zal de komende maanden duidelijk worden.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

BLUECAN: HELDER WATER VOOR HET KLIMAAT

RESULTATEN VAN DRIE JAAR ONDERZOEK

INHOUD

	TEN GELEIDE	
1	SAMENVATTING DE STOWA IN HET KORT	
2	INTRODUCTIE	1
	2.1 Klimaatverandering	1
	2.2 Broeikasgassen en waterbeheer	2
	2.3 Doel en onderzoeksvragen	3
	2.4 Scope	4
	2.5 Samenwerking BlueCAN	4
	2.6 Leeswijzer	5
3	STAND VAN KENNIS	6
	3.1 De koolstofcyclus	6
	3.2 Relevante broeikasgassen	7
	3.3 Vorming van broeikasgassen	8
	3.4 Omvang van broeikasgasemissies	9
	3.5 Factoren die de omvang van emissies beïnvloeden	12
	3.6 Koolstofopslag	12
4	AANPAK EN METHODE	14
	4.1 Aanpak	14
	4.2 Veldwerk	15
	4.3 Labanalyse	18
	4.3.1 Kolomincubatie	19
	4.3.2 Broeikasgasfluxen	20
	4.3.3 Bodemanalyses	20
	4.3.4 Analyses grond- en oppervlaktewater en bodemvocht	22
	4.4 Water- en stofbalans	23
	4.5 Statische analyse monitoringsdata	23

4.6	Model aanpak en opzet	24
4.6.1	Uitgangsmodellen	24
4.6.2	Aanpassing Delft3D-ECO naar Delft3D-GHG	25
4.6.3	Combineren Delft 3D-GHG en PCLake tot BlueCAN model	26
4.6.4	Kalibratie fase 1	26
4.6.5	Kalibratie fase 2	27
4.6.6	Validatie	28
4.6.7	Grote set berekeningen	28
4.6.8	BlueScan tool	28
5	RESULTATEN: VELD- EN LABANALYSES	29
5.1	Systeemeigenschappen	29
5.2	Bodemkwaliteit	31
5.3	Analyse van overeenkomsten en verschillen	36
5.4	Broeikasgasemissies en stuurfactoren	39
5.4.1	CO ₂ en CH ₄ flux metingen	39
5.4.2	Gasopbouw	40
5.4.3	Stuurfactoren voor broeikasgasemissies	41
5.4.4	Locaties voor en na baggeren	43
5.5	Belangrijkste bevindingen veld- en labanalyses	44
6	RESULTATEN: MODELLERING	46
6.1	Modelresultaten na kalibratie	46
6.2	Validatie	48
6.3	Stuurfactoren en gevoeligheden BlueCAN model	50
6.4	P-belasting in relatie tot broeikasgasemissie	51
6.5	Relatie eutrofiëring en broeikasgasemissies	52
6.6	BlueScan en webapplicatie	53
6.7	Belangrijkste bevindingen	54
7	CONCLUSIES	56
8	KENNISLEEMTES EN AANBEVELINGEN	59
8.1	Waar staan we nu qua kennis	59
8.2	De kennisleemtes	60
8.3	Aanbevelingen	62
9	LITERATUUR	63
BIJLAGE I	FACTSHEETS	68
BIJLAGE II	TOELICHTING EN VERANTWOORDING GEKOZEN METHODIEK VELD- EN LABANALYSE	187
BIJLAGE III	UITGEBREIDE METHODE MODELLERING	190
BIJLAGE IV	AANPALENDE PROJECTEN EN INITIATIEVEN	199
BIJLAGE V	OVERIGE MEETDATA EN TABELLEN	203
BIJLAGE VI	BEGRIPPENLIJST	216

2

INTRODUCTIE

2.1 KLIMAATVERANDERING

Klimaatverandering is één van de grootste uitdagingen van deze tijd. Om de klimaatverandering tegen te gaan worden er regelmatig internationale conferenties georganiseerd binnen het Raamverdrag inzake klimaatverandering van de Verenigde Naties (UNFCCC). Tijdens de eenentwintigste klimaatconferentie (COP21) van de Verenigde Naties in Parijs, eind 2015, bereikten de bijna 200 deelnemende landen overeenstemming over een bindend Klimaatakkoord: het Akkoord van Parijs. Daarmee moet de uitstoot van broeikasgassen, zoals koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄), worden teruggedrongen en de opwarming van de aarde worden beperkt tot maximaal 2 graden ten opzichte van het pre-industriële tijdperk, met 1,5 graad als streefwaarde.

De ambitie die in Parijs is uitgesproken en is vastgelegd in het Klimaatakkoord van Parijs heeft Nederland gespecificeerd in het Nederlandse Klimaatakkoord (2019)². Inmiddels is de daarin vastgestelde doelstelling van 49 % minder CO₂ uitstoten (ten opzichte van 1990) bijgesteld naar 55 % minder CO₂ uitstoten (ten opzichte van 1990) in de Europese klimaatwet³(2021). Het gaat in totaal om een reductie van 62 Mton CO₂. Naast de reductie van fossiele brandstoffen wordt door Nederland ook bij de inrichting van het Nederlandse land- en wateroppervlak ingezet op innovaties voor CO₂ vastlegging en gebruik.

De meest recente conferentie was in 2021 in Glasgow (COP26). Het doel was om te bevestigen ('keep the hope alive') dat het nodig is de mondiale temperatuurstijging tot 1,5 graden te beperken. Om het doel te bereiken zijn in Glasgow vele afspraken vastgelegd rond mitigatie, adaptatie, financiering en samenwerking (lees hier het document)⁴. Belangrijk resultaat van de Glasgow conferentie was de 'Global Methane Pledge', getekend door meer dan 100 landen, om de methaanemissie met 30 % te reduceren in 2030. De afspraken in deze methaanbelofte zijn niet-bindend en er is geen manier om de toezeggingen af te dwingen. Wel is er nu een bredere bewustwording gecreëerd rond de methaanproblematiek en is er direct een aanleiding voor acties die de methaanuitstoot kunnen terugdringen.

- 2 Klimaatakkoord, Den Haag, 28 juni 2019: <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>
- 3 Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') (document: 32021R1119).
- 4 COP26 The Glasgow Climate pact: <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>.

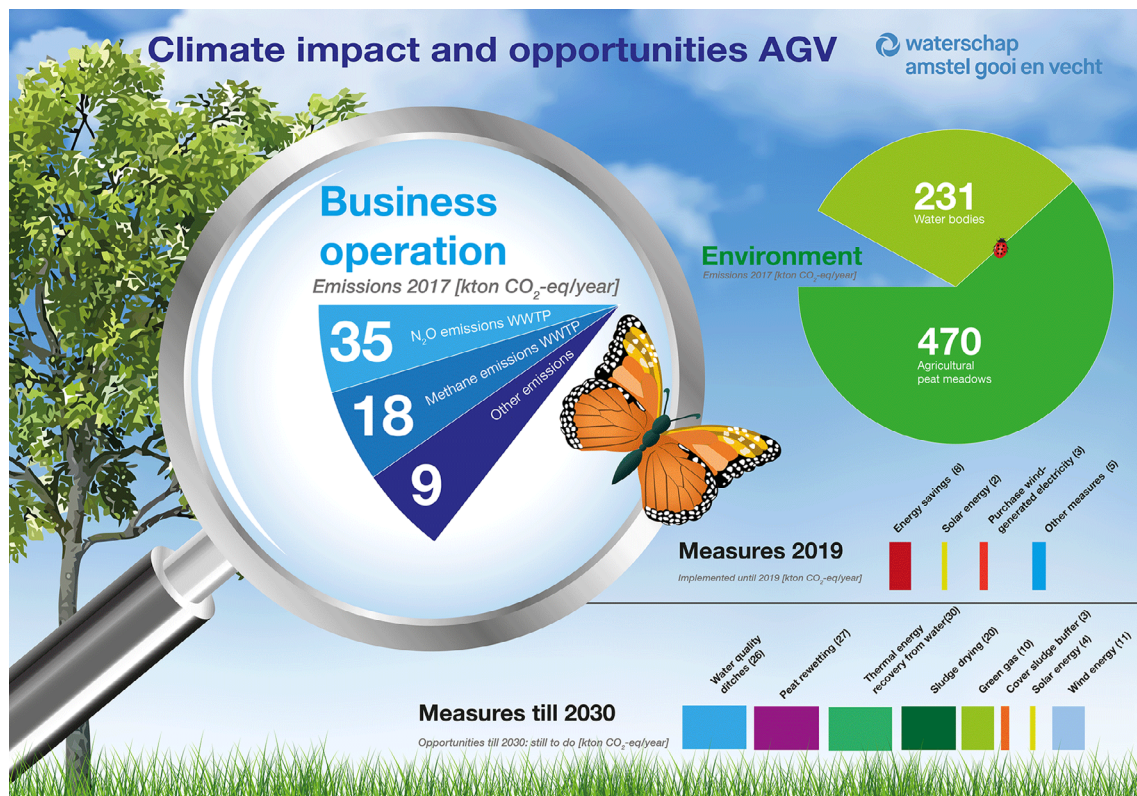
2.2 BROEIKASGASSEN EN WATERBEHEER

In het Deltaprogramma⁵ staat hoe we Nederland voorbereiden op overstromingen en hoogwater. Samen met het Rijk, de provincies en gemeenten werken de regionale waterbeheerders aan de veiligheid van de dijken, voldoende beschikbaarheid van zoet water en aanpassingen in de ruimtelijke inrichting om wateroverlast en hittestress te voorkomen.

Ook doen de regionale waterbeheerders er alles aan om verdere klimaatverandering te beperken en werken daarom net als veel andere organisaties aan het terugdringen van hun CO₂-footprint. Dit doen ze met name door maatregelen in de bedrijfsvoering (meer gebruik maken van elektrische auto's, zuinig omgaan met energie, duurzame energie opwekken, klimaatneutraal en circulair inkopen, duurzaam opdrachtgeverschap, et cetera), door verbeteringen van de afvalwaterzuiveringen of de transitie naar energiefabrieken.

In 2020 heeft waterschap Amstel Gooi en Vecht (AGV) voor haar bedrijfsvoering en beheergebied de uitstoot in kaart gebracht (afbeelding 2.1). Hierin is te zien dat de bijdrage van broeikasgassen uit het beheergebied zeer groot is. De veen(weide)gebieden dragen voor ruim 60 % bij en de oppervlaktewateren ruim 30 %. De bijdrage van broeikasgassen uit de eigen bedrijfsvoering bedraagt minder dan 10 %.

AFBEELDING 2.1 BIJDRAGE VAN DE BEDRIJFSVOERING AAN DE GHG-EMISSIONS IN RELATIE TOT DE BIJDRAGE VAN HET BEHEEREBIED VOOR WATERSCHAP AMSTEL GOOI EN VECHT (BRON: MOTELICA-WAGENAAR ET AL., 2020)



5 Deltaprogramma 2022, Den Haag, september 2021. <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/09/15/deltaprogramma-2021-versnellen-en-intensiveren-om-doelen-2050-te-halen>.

Er is nog veel onbekend over de omvang van broeikasgasemissies uit zoete wateren, de bepalende processen en de mogelijke stuurfactoren. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een handelingsperspectief aan te verbinden.

De noodzaak om broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren te kwantificeren en te begrijpen is ook van belang, omdat verwacht wordt dat deze emissiebron op termijn gerapporteerd moet gaan worden (IPCC, 2019). Vooruitlopend op deze verplichting worden broeikasgasemissies vanuit kunstmatige oppervlaktewateren inmiddels (vanaf 2022) gerapporteerd binnen de nationale Emissieregistratie, volgens de emissiefactoren van de IPCC (zie onderstaand kader).

Emissiefactoren IPCC

Het rapport '2019 Refinement of the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories' van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) beschrijft methodes en emissiefactoren om CH₄ en CO₂ emissies uit onder andere watersystemen (wetlands) te berekenen. Met name hoofdstuk 7 'Wetlands' is van belang. Hierin zijn voor het eerst emissiefactoren gepubliceerd voor 'human-made wetlands' (zie tabel 7.8 voor een lijst van systemen die onder deze klasse vallen), met onder andere geconstrueerde waterlichamen (< 20 jaar oud, CO₂ emissies zie 7.3.2.1. en CH₄ emissies zie 7.3.2.2), sloten en kanalen (zie 7.3.1 en tabel 7.12 CH₄ emission factors for constructed waterbodies). Het feit dat er methodologieën en emissiefactoren gepubliceerd zijn voor deze verschillende watertypen in de IPCC rapportage betekent dat landen, die zich gecommitteerd hebben aan het rapporteren van hun emissies, op de korte of lange termijn naar hoge waarschijnlijkheid ook broeikasgasemissies uit dit type systemen moeten gaan rapporteren in de LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry) rapportages voor de IPCC.

2.3 DOEL EN ONDERZOEKSVRAGEN

De doelstelling van BlueCAN is om inzicht te krijgen in de omvang van de broeikasgasemissies die gerelateerd zijn aan de praktijk van het waterbeheer. Dit betekent dat BlueCAN niet alleen een inschatting maakt van de broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren, maar juist een koppeling legt met de vragen en maatregelen vanuit het waterbeheer.

Het uitgangspunt is werken vanuit het perspectief van het stroomgebied van een watersysteem én de gehele levenscyclus van koolstof. Dit veelomvattende doel is, gezien de complexiteit van de processen, in stappen aangevlogen en daarbij hebben we gewerkt van grof naar fijn in een iteratief proces. We hebben gewerkt aan de volgende doelen:

1. het kwantificeren van de omvang van de broeikasgasemissies vanuit Nederlandse zoete oppervlaktewateren;
2. een vergelijking met andere Nederlandse broeikasgasemissies, zodat we weten of de bijdrage vanuit de oppervlaktewateren aan het totaal substantieel is;
3. het verkrijgen van inzicht in de processen die bijdragen aan de broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren;
4. het identificeren van de belangrijkste stuurfactoren voor de reductie van de broeikasgasemissies uit Nederlandse zoete oppervlaktewateren.

Daar horen de volgende onderzoeksvragen bij:

- Hoeveel broeikasgasemissies stoten Nederlandse wateren uit? En welke processen dragen bij aan de broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren?
- wat zijn de belangrijkste stuurfactoren voor de reductie van de broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren?
- wat is de link tussen de broeikasgasemissies en de beheermaatregelen?
- wat zijn mogelijke technische handelingsperspectieven voor minimaliseren van de broeikasgasemissies bij het uitvoeren van beheertaken?

De vraag ‘wie verantwoordelijk is voor de broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren’ valt buiten de scope van dit onderzoek.

2.4 SCOPE

Er zijn drie broeikasgassen van belang in relatie tot broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren (Praire et al., 2018; Li et al., 2021). Tijdens deze fase van het BlueCAN-onderzoek focussen wij ons op de fluxen van de broeikasgassen koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄). Het broeikasgas lachgas (N₂O) is (technisch) lastig en bovendien relatief duur om te meten. Het is bekend dat de uitstoot van N₂O zeer grillig kan zijn. Uitstoot van N₂O nemen wij tot op heden niet mee in de meet- en rekenmethode van BlueCAN. Wel wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op wat bekend is over N₂O vanuit de wetenschappelijke literatuur.

2.5 SAMENWERKING BLUECAN

BlueCAN is geïnitieerd door Witteveen+Bos en Deltares. In 2019 zijn deze twee partijen samen met drie regionale waterbeheerders begonnen met een eerste verkenning. Deze eerste verkenning – ronde 1 in dit rapport - leverde voldoende inzicht op in een bruikbare monitoringsmethode en de resultaten gaven duidelijk aanleiding tot een vervolg.

Begin 2020 is een groter TKI-project gestart met als partners: Deltares, Witteveen+Bos, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), Stichting Waternet, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Hoogheemraadschap van Delfland, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Hoogheemraadschap van Rijnland, Wetterskip Fryslân, en Vereniging tot behoud van Natuurmonumenten in Nederland. Een TKI-project is een samenwerkingsproject waar alle partners een bijdrage leveren. Dit kan inhoudelijk, in kind of cash zijn. Er is geen sprake van klassiek opdrachtgever- en opdrachtnemerschap. De partners hebben in juni 2020 een samenwerkingsovereenkomst getekend. Waterschap Drents Overijsselse Delta is in 2021 aangesloten maar geen partner van het TKI project. Voor de uitvoering van het onderzoek is naast Deltares en Witteveen+Bos ook B-WARE ingeschakeld

STOWA heeft sinds 2021 de rol van projectcoördinatie op zich genomen. Ook is er door STOWA een begeleidingscommissie ingesteld. De begeleidingscommissie bestaat uit een deel van de regionale waterbeheerders die partner zijn van het TKI-project, Natuurmonumenten (ook partner), Unie van Waterschappen en Rijkswaterstaat (beiden geen partner). De begeleidingscommissie toetst de resultaten en denkt mee over de opzet van het onderzoek.

2.6 LEESWIJZER

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de stand kennis op het gebied van broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren en wordt er ingegaan op de theorie hiervan. Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de gehanteerde methodes voor het veldwerk en de lab- en data-analyses, en de ontwikkeling van het broeikasgasmodel. In hoofdstuk 5 gaan we in op de belangrijkste resultaten van de veldanalyses en de laboratoriumresultaten (de kolom-experimenten). Hierbij gaan we eerst in op de systeemeigenschappen van de diverse cases, vervolgens op de gemeten broeikasgasemissies en ten slotte op verklaringen aan de hand van mogelijke stuurfactoren op grond van statistische analyses. In hoofdstuk 6 beschrijven we het BlueCAN broeikasgasmodel en de quickscan tool BlueScan. In hoofdstuk 7 staan de conclusies: wat hebben we geleerd? Het afsluitende hoofdstuk geeft de kennisleemtes en de aanbevelingen.

Een begrippenlijst is te vinden in Bijlage 6.

3

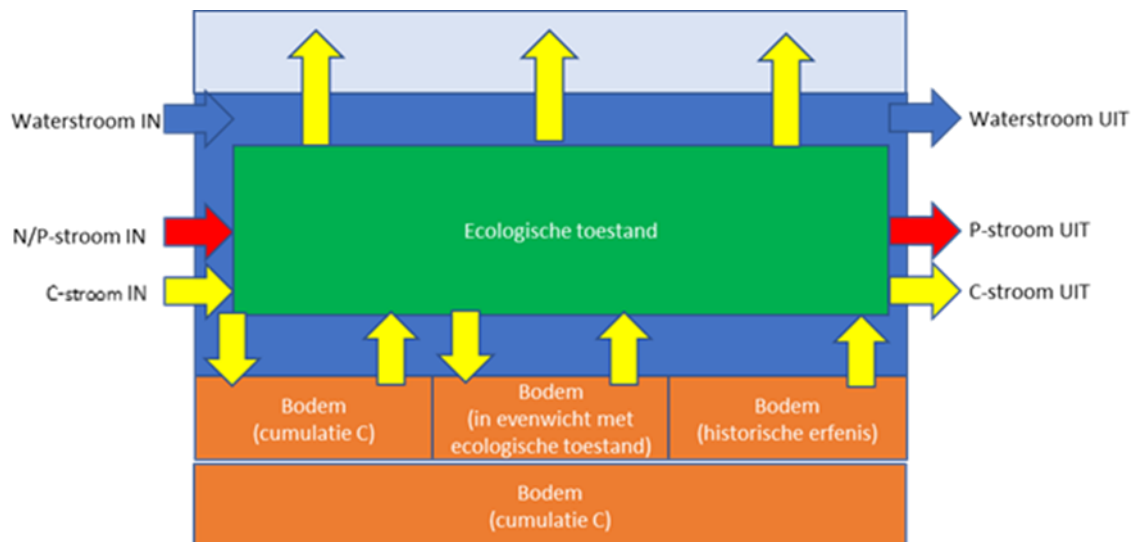
STAND VAN KENNIS

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de stand van kennis op het gebied van broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren en wordt er ingegaan op de theorie hierachter. Naast BlueCAN zijn er inmiddels meerdere nationale en internationale onderzoeksprojecten waarbij (een onderdeel van) de broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren wordt onderzocht. In Bijlage 4 volgt een toelichting per onderzoek, zoals bekend bij publicatie van dit rapport.

3.1 DE KOOLSTOFCYCLUS

Voor de analyse van broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren is inzicht nodig in zowel de emissies (zie paragraaf 3.2) als de vastlegging van koolstof (zie paragraaf 3.3). In afbeelding 3.1 is een grove schematische weergave van de werking van een watersysteem vanuit het perspectief van de koolstofcyclus weergegeven. We gaan uit van de stroomgebiedsbenadering en beschouwen de gehele levenscyclus van koolstof. Hierbij gaan we uit van een gesloten koolstofbalans. De uiteindelijke broeikasgasemissie (of vastlegging) wordt grofweg bepaald door de bodemsamenstelling, het ecologisch evenwicht (of ecologische toestand) en de in- en uitgaande water-, nutriënten- en koolstofstromen.

AFBEELDING 3.1 DE WERKING VAN EEN WATERSYSTEEM, UITGAANDE VAN EEN (MODELMATIG) GESLOTEN KOOLSTOFBALANS OP BASIS VAN DE BODEMSAMENSTELLING, HET ECOLOGISCH EVENWICHT (GROENE BLOK) EN IN- EN UITGAANDE WATER-, NUTRIËNTEN- EN KOOLSTOFFLUXEN: BLAUWE PIJLEN ZIJN DE WATERSTROMEN, RODE PIJLEN ZIJN DE NUTRIËNTENSTROMEN (N/P) EN GELE PIJLEN ZIJN DE KOOLSTOFSTROMEN. BOVENSTE DEEL VAN DE BODEM WORDT VAAK AANGEDUID ALS SLIBLAAG



Aanvullende uitleg bij afbeelding 3.1:

- de nutriëntenstromen bepalen in belangrijke mate de ecologische toestand (groene blok), dat verantwoordelijk is voor een groot deel van de processen in het oppervlaktewater (een hoge nutriëntenbelasting leidt bijvoorbeeld tot een hoge algenproductie, wat weer gepaard gaat met de vorming van snel afbreekbaar organische slib);
- de koolstofvoorraad in het slib bestaat uit drie fracties: 1) gecumuleerd koolstof dat het water binnenkomt en bezinkt (bijvoorbeeld blad), 2) koolstof dat gevormd is in de waterkolom en afhankelijk is van de ecologische toestand (bijvoorbeeld afgestorven algen) en 3) koolstof aanwezig in historisch gevormd slib (vaak koolstof dat slecht afbreekbaar is, zoals refractair organisch materiaal). De gele pijl naar beneden geeft de actuele depositie weer;
- de gele pijlen van het slib naar de lucht via de ecologische toestand representeren in welke vorm koolstof vrijkomt uit het slib, welke omzetting plaatsvindt in de waterkolom (mede als gevolg van de ecologische toestand) en in welke finale emissie naar de lucht dit resulteert.

Dit laat zien dat een breder perspectief nodig is, waarbij er bijvoorbeeld inzicht nodig is in de water- en stoffstromen in een stroomgebied, het ecologisch evenwicht en van de levenscyclus van koolstof.

3.2 RELEVANTE BROEIKASGASSEN

Voor de broeikasgasemissies uit oppervlaktewater zijn drie broeikasgassen van belang: koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). De laatste twee worden minder geproduceerd, maar hebben een sterker opwarmingspotentieel dan CO₂ en zijn daarmee 'sterkere' broeikasgassen dan CO₂ (Priarie et al., 2018)

De CH₄-emissie draagt nu ruim 10 % bij aan de totale nationale broeikasgasemissie en dit aandeel neemt toe, omdat de CO₂-emissie daalt, terwijl de CH₄-emissie ongeveer gelijk blijft. De N₂O-emissie draagt krap 5 % bij aan de totale nationale broeikasgasemissie. Ook dit aandeel neemt toe. De CO₂-emissie draagt nu iets minder dan 85 % bij. Dit aandeel daalt licht (bron: data CBS; aandelen gebaseerd op het jaar 2020).

GLOBAL WARMING POTENTIAL

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 CO₂-equivalenten. Bij het bepalen van de GWP wordt mede rekening gehouden met de levensduur van de gassen in de atmosfeer (over een periode van 100 jaar). Het GWP100 voor CH₄ is berekend als 28 (zonder 'climate carbon feedback') tot 34 (met 'climate carbon feedback') kg methaan per kg CO₂ (Myhre et al. 2013). In dit rapport werken we conservatief, met de GWP100 van 28 voor CH₄.

KORT EN LANG-CYCLISCH CO₂

Ten aanzien van CO₂-emissies wordt er onderscheid gemaakt tussen kort- en lang-cyclisch CO₂. Voor CH₄ en N₂O speelt dit onderscheid niet. Kort-cyclisch CO₂ is afkomstig van biomassa, waarbij de koolstof kringloop wordt gesloten door opname van de CO₂ door planten, bomen en algen. Lang-cyclisch CO₂ is afkomstig van (verbranding van) fossiele bronnen zoals aardolie, aardgas, steenkolen en bruinkool. De CO₂ komt snel vrij bij het verbranden van deze fossiele brandstoffen, die er vele miljoenen jaren over hebben gedaan om gevormd

te worden. Dit koolstof komt door menselijk handelen weer terug in de atmosfeer. Dit is mondiaal gezien de belangrijkste categorie broeikasgassen die antropogene klimaatverandering veroorzaakt en welke moet worden teruggedrongen.

In deze rapportage meten we CO₂-fluxen en kunnen we geen onderscheid maken tussen kort- en lang-cyclisch CO₂. Er zijn (in deze fase van het project) geen koolstofbalansen gemaakt, omdat hier geen geschikte metingen voor zijn gedaan. De in dit project gemeten CO₂-emissie is waarschijnlijk voor het grootste deel kort-cyclisch, tenzij het bijvoorbeeld afkomstig is van de onder het water liggende veenbodem. Dan wordt het op basis van de IPCC definitie tot lang-cyclisch gerekend. We beschouwen in deze rapportage en in het model de gehele emissie (kort- en lang-cyclisch) en corrigeren voor de opname van CO₂ uit de lucht (die tegelijkertijd plaatsvindt) bij de berekening van de totale netto broeikasgasemissie. Hierbij zijn we ons ervan bewust dat een deel van deze CO₂-emissie recent (tijdsbestek van maanden tot jaren) kan zijn vastgelegd in het stroomgebied. Met de huidige methode en uitgevoerde metingen is dit onderscheid niet te maken.

Hoe wordt nationaal en internationaal omgegaan met kort- en lang-cyclisch CO₂ in de berekeningen?

Voor het voeren van internationaal beleid, zoals in het Kyoto-protocol, is door het IPCC een voorschrift opgesteld om per land de emissie van broeikasgassen vast te stellen (IPCC, 1996). In het IPCC totaal blijft een deel van de zogenaamde korte koolstofkringloop buiten beschouwing. Hiervan wordt verondersteld dat deze niet structureel bijdraagt aan de toenemende concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer. De broeikasgassen die volgens de IPCC-methodiek (IPCC, 2019) voor broeikasgasbalansen worden meegeteld zijn:

- alle emissies van CO₂ gevormd uit lang-cyclische koolstof. Dat wil zeggen koolstof uit de verbranding van fossiele brandstoffen of afgeleide producten;
- sommige emissies van CO₂ uit kort-cyclische koolstof: koolstof uit biomassaverbranding;
- alle emissies van CH₄ en N₂O.

Het CBS publiceert jaarlijks de actuele emissie van broeikasgassen in Nederland. Hierbij gaat het om de feitelijke uitstoot van broeikasgassen die plaatsvindt op Nederlands grondgebied. In tegenstelling tot het IPCC-voorschrift wordt hierbij gekeken naar de uitstoot van verkeer en andere mobiele bronnen in Nederland ongeacht de brandstof. Ook kort-cyclische CO₂-emissies worden in de actuele emissies meegerekend. Gezien de huidige ontwikkelingen met betrekking tot Klimaatneutraliteit wordt aanbevolen om de kort-cyclische emissies in meer detail te rapporteren (zoals de hoeveelheid afgevangen CO₂) (Klimaatmonitor van Arcadis, 2021).

3.3 VORMING VAN BROEIKASGASSEN

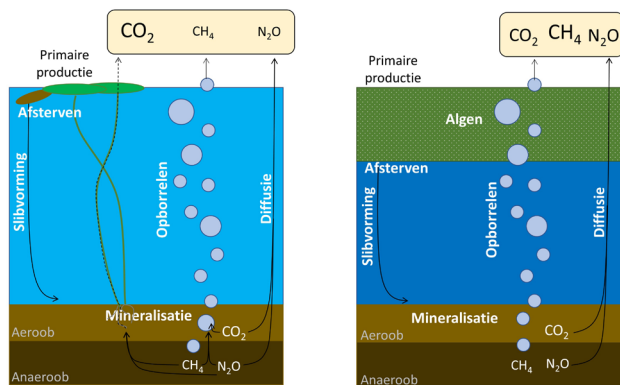
De sturende processen die de verschillen in broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren zouden kunnen verklaren worden nog niet altijd voldoende begrepen. Hieronder gaan we in op wat we wel weten.

Primaire productie van algen en waterplanten in het water zorgt voor vastlegging van koolstof. Wanneer algen en planten afsterven en als organisch materiaal naar de bodem zakken, dragen ze bij aan het organische deel van de waterbodem (afbeelding 3.2). Ook koolstof dat gevormd is buiten het water kan bijdragen aan vorming van een organische rijke waterbodem, zoals het uitspoelen van organisch materiaal uit naast gelegen percelen of invallend blad. Kranswieren leggen koolstof ook vast in anorganische vorm (CaCO₃).

Het organische materiaal in de bodem wordt het snelst afgebroken door de aanwezigheid van zuurstof (mineralisatie), waarbij CO_2 kan worden gevormd (afbeelding 3.2). Is er geen zuurstof aanwezig (anaeroob), dan treedt de productie van CH_4 (methanogenese) en N_2O (onvollledige nitrificatie of denitrificatie) op. Dit kan ook gebeuren bij lage en fluctuerende zuurstofconcentraties in de bodem. De anaerobe afbraak is vaak (veel) trager dan afbraak onder zuurstofrijkere condities (aeroob).

Het slecht oplosbare CH_4 kan via meerdere wegen de atmosfeer weer bereiken, bijvoorbeeld in de vorm van gasbelletjes (ebullitie) of in opgeloste vorm via diffusie en vervolgens volatiliseren (het vervliegen van CH_4 aan het wateroppervlak). Niet al het geproduceerde CH_4 in de bodem bereikt de atmosfeer. Onderweg kan het CH_4 microbiëel weer worden afgebroken tot CO_2 (methaanoxidatie) (Deltafact, 2020). De balans tussen anaerobe en aerobe condities, alsmede de activiteit van methaanoxiderende bacteriën, zijn dus medebepalend voor de uiteindelijke emissies van CH_4 .

AFBEELDING 3.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EMISSIES VAN BROEIKASGASSEN IN EEN SITUATIE VOOR EEN HELDER EN PLANTRIJK WATER (LINKS) EN EEN TROEBEL EN ALGENRIJK WATER (RECHTS) (AANGEPAST VAN DELTAFAC, 2020). IN DEZE STUDIE WORDT N_2O NIET GEMETEN



Met name de bijdrage aan de broeikasgasemissie van de route, waarbij het sterkere broeikasgas CH_4 via belvorming ontsnapt vanuit het sediment (ebullitie), is lange tijd onderschat geweest. Dit komt met name doordat ebullitie geen homogeen, maar een stochastisch proces is. Tevens zijn de factoren die bijdragen aan formatie van gasbellen en het vrijkomen daarvan, nog erg onduidelijk. Ebullitie varieert door tijd en ruimte en is daardoor lastig te meten en vervolgens te extrapoleren. Ebullitie blijkt uit steeds meer studies een dominante route te zijn voor de CH_4 -emissies vanuit oppervlaktewateren (Aben et al., 2017).

3.4 OMVANG VAN BROEIKASGASEMISSIES

TOTALE OMVANG BROEIKASGASEMISSIE

Het is nog altijd lastig om de totale wereldwijde omvang van broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren nauwkeurig in te schatten (Stanley et al., 2016). Op grond van de kennis in 2019 hebben we eerder ingeschat dat de bijdrage van oppervlaktewateren zo'n 5 % van de totale Nederlandse broeikasgasemissie zou kunnen zijn (zie voor uitwerking Deltafact, 2020). Naar verwachting zullen (bij gelijkblijvend gebruik en beleid) de broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren in de toekomst toenemen als gevolg van hogere temperaturen, welke een hogere primaire productie en een versterkte (microbiële) afbraak van koolstof in het water bewerkstelligen (Kosten et al., 2010; Moss et al., 2011; Aben et al., 2017; Velthuis et al., 2018; Davidson et al., 2018; van Bergen et al., 2019).

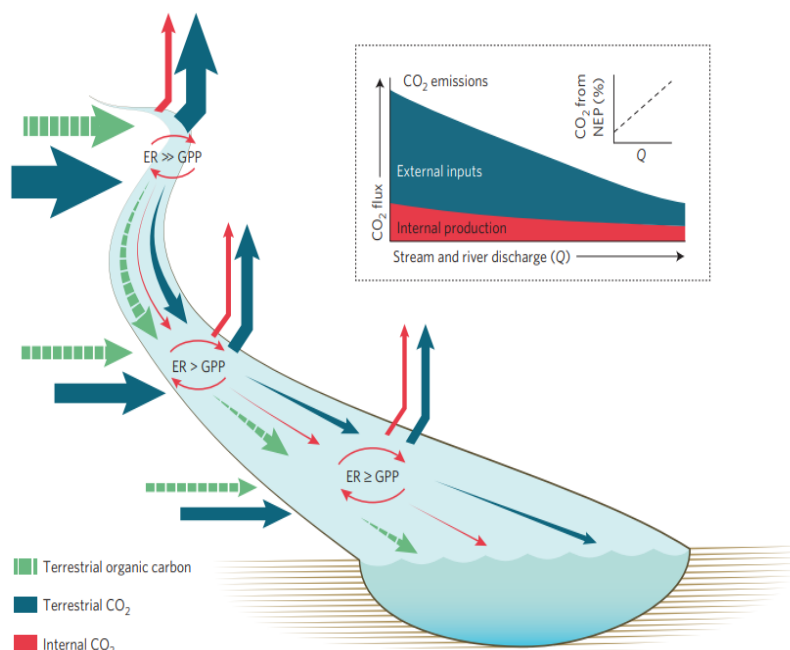
OMVANG CO₂-UITSTOOT

De wereldwijde CO₂ uitstoot uit binnenlandse, zoete oppervlaktewateren wordt geschat op 2,1 Pg C j⁻¹ (één petagram is gelijk aan 10¹⁵ gram), waarbij verreweg het grootste deel (1,8 Pg C j⁻¹) uit rivieren en kleinere watergangen bovenstrooms afkomstig is en waarbij 0,32 Pg C j⁻¹ afkomstig is van meren en reservoirs (Raymond et al. 2013). Ook al nemen stromende wateren wereldwijd geen groot oppervlak in beslag, toch kennen zij dus een hogere CO₂-emissie per oppervlakte-eenheid vergeleken met meren en terrestrische ecosysteemen (Hotchkiss et al. 2015; Raymond et al. 2013).

Stromende wateren verbinden land en oceaan met elkaar. Ze slaan koolstof op en stoten CO₂ uit. De uitstoot is afkomstig van terrestrisch verkregen CO₂, interne productie van CO₂ (aquatische mineralisatie van terrestrisch organische koolstof) en abiotische CO₂-productie. Stromende wateren zijn dus belangrijke reactoren in het landschap, waar terrestrisch organische koolstof wordt gemineraliseerd. De omvang van de CO₂-flux hangt af van allerlei factoren, maar belangrijk zijn in ieder geval de grootte van deze stromende wateren en hoe deze met het landschap verbonden zijn (Hotchkiss et al. 2015). Het lijkt erop dat kleine stromende wateren veel CO₂ uitstoten als gevolg van een hoge terrestrische koolstof input en mineralisatie, en dat dit voor grotere stromende wateren veel lager is, omdat hier ook de input van terrestrisch materiaal kleiner is. De externe input die leidt tot CO₂-emissie in grote stromende wateren mag dan klein zijn, daarmee vergeleken is de bijdrage van interne CO₂-productie relatief groot.

Broeikasgas emissies beschouwt in een waterstroomgebied

Onderstaande afbeelding laat de bronnen en omvang van netto CO₂-emissies zien in een theoretisch waterstroomgebied. Het aandeel terrestrisch verkregen CO₂ en organische koolstof input per oppervlak aquatisch systeem neemt stroomafwaarts af. Daardoor is de netto CO₂-emissie uit grote rivieren (met een hoog debiet) kleiner dan die uit kleine stroompjes (met een laag debiet). Daarmee verschuift benedenstrooms ook welke CO₂-bron de grootste bijdrage levert aan de CO₂-uitstoot, van extern CO₂ in de kleinere stroompjes naar een meer gebalanceerde input van interne en externe CO₂ bronnen in grote rivieren. Mineralisatie van terrestrisch verkregen organische koolstof (NEP) levert een grote bijdrage (relatief gezien) aan de CO₂-uitstoot in grote rivieren, ten opzichte van kleine stroompjes. Zie voor verdere uitleg van dit figuur: Hotchkiss et al. 2015.

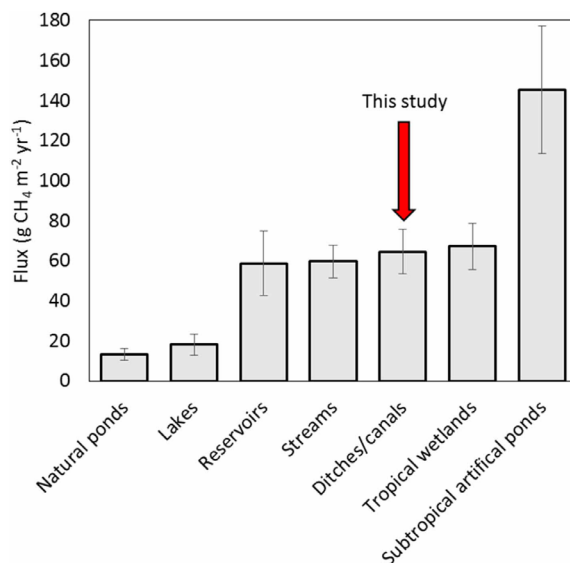


OMVANG CH₄-UITSTOOT

De wereldwijde emissies van methaan uit zoete oppervlaktewateren wordt geschat op gemiddeld 159 TgCH₄j⁻¹ (min-max, 117-212) of 43 % van de totale natuurlijke emissie van methaan (één teragram is gelijk aan 10¹² gram). Hiermee leveren deze wateren de grootste bijdrage van methaan uit natuurlijke bronnen. Methaanemissies vanuit deze oppervlakte-wateren zijn dus ook hoger dan methaanemissies vanuit wetlands, zoals moerassen, kwelders en veengebieden. Methaanemissies uit deze wetlands worden geschat op 145 TgCH₄j⁻¹ (100183) (Saunois et al., 2020). Circa 70 % van de emissies uit zoet oppervlaktewater zijn afkomstig van zoete meren (Saunois et al., 2020) en met name ondiepe zoete meren (Bastviken et al., 2004).

De omvang de CH₄-emissie varieert per watertype (afbeelding 3.3). De CH₄-emissie per oppervlakte-eenheid is hoger voor lijnvormige wateren (ditches/canals) dan voor meren en natuurlijke plassen (Lakes en Natural Ponds afbeelding 3.4) (Peacock et al. 2021a). Echter, wanneer dit doorgerekend wordt naar totale methaanemissies wereldwijd, blijkt dat meren zorgen voor 21 % (55.8 Tg CH₄ jr⁻¹) van de wereldwijde CH₄-uitstoot uit alle binnenwateren, terwijl rivieren slechts voor 2.2 % van de wereldwijde CH₄-uitstoot zorgen (Rosentreter et al. 2021). Ook voor CH₄-emissies uit meren is vastgesteld dat hoe kleiner het meer, hoe groter de CH₄-uitstoot zal zijn (Peacock et al. 2021b; Holgerson et al. 2016).

AFBEELDING 3.3 VERGELIJKING VAN DE JAARGEMIDDELTE FLUXEN METHAAN UIT VERSCHILLENDE ZOETWATERSYSTEMEN. DE DATA REPRESENTEREN: NATUURLIJKE VIJVERS (N=50), MEREN (N=96), RESERVOIRS (N=75), BEKEN (N=411), SLOTEN/KANALEN (N=64), TROPISCHE 'WETLANDS' (N=54) EN ARTIFICIËLE, SUBTROPISCHE VIJVERS (N=33). DE ERROR BARS GEVEN DE STANDAARDFOUT TEN OPZICHTE VAN HET GEMIDDELTE WEER (BRON: PEACOCK ET AL., 2021A)



Voor Nederland is inmiddels aangetoond dat eutrofe vijvers en sloten ook substantieel bijdragen aan de methaanuitstoot (van Bergen et al., 2019; Kosten et al. 2018). Eutrofe vijvers in Nederland stoten 0,27 Mt CO₂eq. j⁻¹ uit (één megaton is gelijk aan 10⁹ gram), waarvan 62% (0,17 Mt CO₂e j⁻¹) aan CH₄-emissies te wijten is (ebullitie en diffuse flux). Daarmee dragen vijvers zo'n 1 % van de nationale CH₄-emissies (Coenen et al. 2017). Sloten kunnen wel 3 tot 16% aan de nationale CH₄-emissies bijdragen (Kosten et al. 2018). Dit is omgerekend 0,3 tot 1,5% van de totale nationale broeikasgasemissies.

OMVANG N₂O-UITSTOOT

Een wereldwijde inschatting van de omvang van N₂O-uitstoot is nog altijd incompleet door gebrek aan informatie over de omvang van N₂O-uitstoot en onzekerheid in methodologie voor het meten van N₂O-uitstoot uit natuurlijke bronnen. Geschat wordt dat binnenwateren (rivieren, estuaria en reservoirs) gezamenlijk 148-277 Gg N j⁻¹ (één gigagram is gelijk aan 10⁹ gram) uitstoten (Maavara et al. 2018). Per oppervlakte eenheid leveren reservoirs de hoogste uitstoot per oppervlakte eenheid (0,94-1,6 g N m⁻² j⁻¹), gevolgd door estuaria (0,06-0,15 g N m⁻² j⁻¹) en rivieren (0,07 g N m⁻² j⁻¹) (Maavara et al. 2018). Dit correleert voor een groot deel door de verblijftijd van het water in de verschillende systemen. Deze is het hoogst in reservoirs en het laagst in rivieren. Desondanks stoten estuaria wereldwijd het meeste N₂O uit omdat ze wereldwijd een (veel) groter oppervlak in beslag nemen (1067 x 10³ km²) dan rivieren (662 x 10³ km²) en reservoirs (45 x 10³ km²) (Maavara et al. 2018).

3.5 FACTOREN DIE DE OMVANG VAN EMISSIES BEÏNVLOEDEN

Er zijn tenminste drie factoren die de emissie van broeikasgasemissies beïnvloeden, te weten debiet, temperatuur en eutrofiëring:

- **debiet:** het debiet heeft een grote invloed op de mate van broeikasgasformatie (Borges et al. 2018; Hotchkiss et al. 2015; Raymond et al. 2013). Meerdere onderzoeken hebben laten zien dat een langere verblijftijd van het water netto bijdraagt aan een hogere emissie. Een onderzoek aan verschillende stroomgebieden van de Maas in België heeft aangetoond dat de aanwezigheid van CO₂, CH₄ en N₂O allen afnemen naarmate het debiet toeneemt (Borges et al. 2018).
- **Landschap:** Onderzoek (Borges et al. 2018; Hotchkiss et al. 2015; Raymond et al. 2013) laat zien dat het voor de mate van broeikasgasproductie uitmaakt in welk landschap dit water zich bevindt. De wateren in landbouw gebied kennen hogere concentraties van CO₂, CH₄ en N₂O, dan wateren in bebost gebied;
- **temperatuur:** in welke klimaatzone verschillende watertypes zich bevinden op aarde maakt ook uit voor de omvang van de broeikasgasemissies. Hierbij is temperatuur een belangrijke factor. Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger ook de concentratie en emissie van CH₄ en N₂O in het water (Saunois et al. 2020; Borges et al. 2018; Velthuis & Veraart 2022));
- **eutrofiëring:** tot slot heeft eutrofiëring een grote invloed op de omvang van CO₂, CH₄ en N₂O emissies (CH₄: Aben et al. 2022; Saunois et al. 2020; Peacock et al. 2021b; Borges et al. 2018; CO₂: Borges et al. 2018; Van Bergen et al. 2019; N₂O: Maavara et al. 2019; Velthuis & Veraart 2022; Aben et al. 2022)). Meer eutrofe condities lijken over het algemeen te leiden tot verhoogde broeikasgasemissies.

3.6 KOOLSTOFOPSLAG

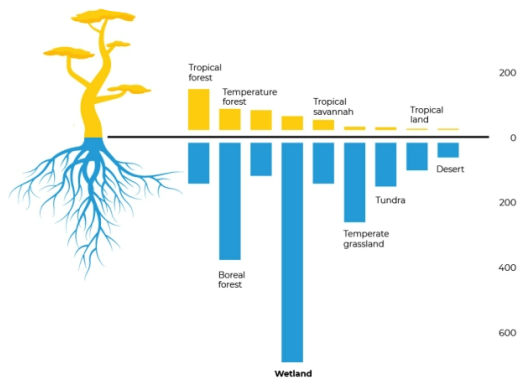
De koolstofcyclus bestaat uit een complex geheel van interacties die leiden tot koolstofemissie (CO₂ of CH₄) of vastlegging van koolstof. De balans tussen emissie en vastlegging maakt dat een systeem netto positief of negatief effect heeft op klimaatveranderingen. Watersystemen, en dan met name 'wetlands', natte natuurgebieden zoals veen, kwelders en mangroves, hebben een enorme potentiële capaciteit om koolstof vast te leggen en op te slaan voor de lange termijn (Temmink et al., 2022) (afbeelding 3.4).

Berekend is dat een derde van alle terrestrische koolstof opgeslagen ligt in wetlands, terwijl wetlands slecht 6 % van het aardoppervlak in beslag nemen. Koolstofopslag gebeurt met

name in de ondergrond, waar het vaak vanwege de waterverzadigde condities voor de lange termijn opgeslagen blijft. In een onderzoek aan Europese wetlands is berekend dat gezonde EU-wetlands potentieel een koolstofopslag kunnen genereren van zo'n 24 tot 144 Mt CO₂ eq. jaar¹. Dit staat gelijk aan neutralisatie van zo'n 1 tot 4 % van de totale broeikasgasemissie die in EU geregistreerd werd in 1 jaar (2018) (Abdul Malak et al. 2021).

De waterverzadigde condities die nodig zijn om de organische koolstof opgeslagen te houden in wetlands is niet geheel zonder risico. Dit kan ook condities creëren waarbij CH₄ gevormd en vervolgens uitgestoten wordt. Wetlands zijn wereldwijd de grootste natuurlijke systemen die CH₄ uitstoten en stoten gemiddeld 20 tot 30 % van alle CH₄ wereldwijd uit (Saunois et al., 2020). Recent onderzoek aan wetlands over de hele wereld heeft echter aangetoond dat vernatten van wetlands leidt tot de laagst mogelijke CO₂, CH₄ en N₂O emissies wanneer de waterstand op of nabij het oppervlak van de wetland staat (Zhou et al. 2022). In deze publicatie leidt een waterstand tussen de -5 en -30 cm beneden maaiveld tot de minste uitstoot in de geanalyseerde wetlands (Zhou et al., 2022). Zet je het wetland volledig onder water (> 40cm) of leg je het droog (drainage (<-50 cm en <-70 cm) dan zullen zij netto meer broeikasgassen uitstoten. In het eerste geval met name CO₂ en CH₄ en bij droogte is dit met name CO₂ en N₂O (Zhou et al. 2022). Het NOBV onderzoekt in Nederlandse veenweidegebieden hoe de uitstoot van broeikasgassen beperkt kan worden, onder andere met behulp van management van de waterstand.

AFBEELDING 3.4 OVERZICHT VAN GEMIDDELDE KOOLSTOF OPSLAG IN DE BODEM IN VERSCHILLENDE ECOSYSTEMEN (TON CO₂ PER HECTARE IN EEN METER BODEMDIEPTE, BLAUW). IN HET GEEL DE OPSLAG BOVEN DE GROND. (AANGEPAST VAN: WORLD CLIMATE COUNCIL, IPCC, 2022)



4

AANPAK EN METHODE

Dit hoofdstuk gaat in op de aanpak en methode. Het rapport is gebaseerd op drie jaar onderzoek: één meetronde in 2019 en twee meetrondes in 2021. We gaan uitgebreid in op de aanpak en resultaten van ronde 2 en 3 in het jaar 2021. Voor ronde 1 in het jaar 2019 verwijzen wij naar de Deltafact, waarin deze uitkomsten in 2019 zijn gepubliceerd. Vanzelfsprekend wordt wel uitleg gegeven voor eventuele methodische afwijkingen van ronde 2 en 3 ten opzichte van ronde 1.

4.1 AANPAK

De aanpak van BlueCAN is gebaseerd op een (unieke) combinatie van metingen in casussen en de ontwikkeling van een broeikasgasmodel, waarbij de resultaten van de casussen gebruikt worden voor kalibratie en validatie van het broeikasgasmodel.

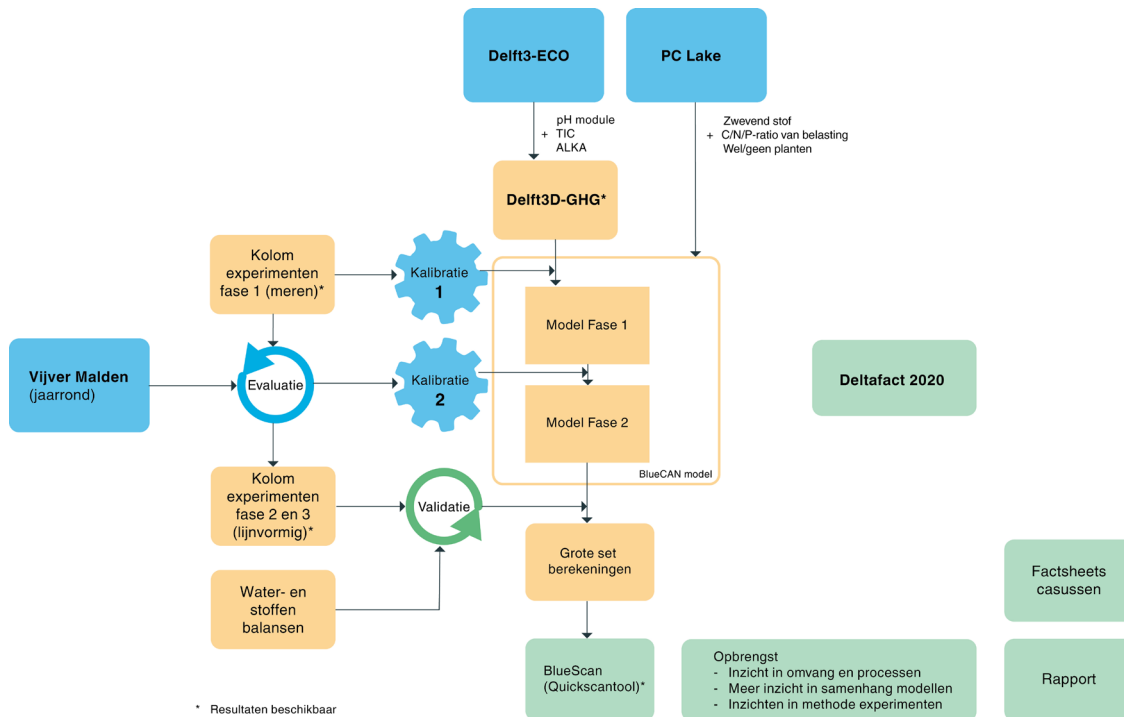
Afbeelding 4.1 geeft een overzicht van de belangrijkste stappen die zijn doorlopen, de uitgangspunten en de resultaten. Hieronder volgt een korte toelichting:

- de waterkwaliteitsmodellen Delft3D-ECO en PCLake vormen de basis voor het broeikasgasmodel. Delft3D-ECO is aangepast en uitgebreid, o.a. om pH en TIC te kunnen modeleren. Het aangepaste model noemen we Delft3D-GHG. Het voedselwebmodel PCLake is gebruikt voor het parametriseren van zwevend stof en de C/N/P-ratio van de belasting in Delwaq-GHG, en daarnaast om te bepalen of bij een opgegeven nutriëntenbelasting wel of geen waterplanten groeien. Afhankelijk daarvan is er een correctie uitgevoerd op de resultaten van Delft3D-GHG;
- de resultaten uit het eerste deel van dit onderzoek (ronde 1), gebaseerd op de meetronde in 2019, zijn gebruikt om tot een eerste kalibratie van het broeikasgasmodel te komen. Het resultaat is een 'broeikasgasmodel fase 1';
- op basis van de resultaten van ronde 1 en uitgebreid onderzoek in stadsvijver Malden door Radboud University, waarbij jaarrond emissies zijn gemeten, is de aanpak geëvalueerd en is een tweede kalibratie uitgevoerd. Het resultaat is een 'broeikasgasmodel fase 2';
- op basis van resultaten uit ronde 2 en ronde 3 (waarbij kolomexperimenten zijn uitgevoerd en water- en stofbalansen per casus zijn opgesteld) is het broeikasgasmodel fase 2 gevalideerd;
- er is tevens een grote set berekeningen uitgevoerd om de verschillende watersystemen te representeren. Deze resultaten zijn gebruikt om relaties tussen stuurfactoren en broeikasgasemissies te kunnen analyseren;
- op basis van de grote set met berekeningen is een metamodel ontwikkeld om zonder gebruik van het model op basis van eenvoudige kenmerken (waterdiepte, strijklengte, etc.) de broeikasgasemissies van meren en plassen te kunnen berekenen. Het resultaat hiervan is de quickscan tool 'BlueScan' dat wordt ontsloten via een webapplicatie. Een voorloper van dit metamodel is gepresenteerd in een minisymposium in 2019, waarbij een selectie van waterbeheerders al ervaring opgedaan heeft met het werken met de quickscan tool.

Het is belangrijk om te realiseren dat er verschil zit tussen de metingen en de model uitkomsten. Het belangrijkste verschil is dat de broeikasgasmetingen die zijn uitgevoerd enkel representatief zijn voor één moment in het jaar, terwijl het broeikasgasmodel juist berekeningen uitvoert voor het kwantificeren van de gemiddelde broeikasgasemissie voor langjarige perioden. Een ander belangrijk verschil is dat de broeikasgasmetingen locatie-specifiek zijn, terwijl het broeikasgasmodel breder kijkt, namelijk naar (een deel van) het watersysteem. Ten slotte kan er in het broeikasgasmodel geen rekening gehouden worden met allerlei specifieke condities, zoals bijvoorbeeld invloed van vaarbewegingen of maaibeheer. De verschillen willen niet zeggen dat de model resultaten niet realistische zijn.

Hieronder gaan we specifieker in op de gevolgde methoden voor het veldwerk, de labanalyse, de data-analyse en de ontwikkeling van het broeikasgasmodel.

AFBEELDING 4.1 OVERZICHT AANPAK BLUECAN. DE GROENE VLAKKEN ZIJN DE UITKOMSTEN VAN BLUECAN



4.2 VELDWERK

Er is veldwerk uitgevoerd in drie meetrondes in 16 casussen in de periode van 2019 tot en met 2021. Afbeelding 4.2 geeft een overzicht. Ronde 1 is in 2019 uitgevoerd. Ronde 2 en ronde 3 zijn uitgevoerd in 2021. De aanpak van ronde 1 is grotendeels overgenomen in ronde 2 en ronde 3, maar er zijn ook verbeteringen doorgevoerd op grond van de ervaringen uit ronde 1 en voortschrijdend inzicht. Ook de methode van ronde 2 en ronde 3 verschillen enigszins. Hieronder worden de verschillen toegelicht.

De drie rondes hadden een verschil in focus. Hieronder volgt een overzicht van de drie rondes, de bijbehorende casussen met afkortingen die terugkomen in verschillende tabellen en afbeeldingen, en het aantal locaties en replica's:

- ronde 1 (2019) - meren en plassen, 4 casussen bemonsterd: Dobbeplass (DOBB), Loenderveense Plas (LOEN), Oostmadeplas (MADE) en Wormer- Jisperveld (WORM). Elke casus bestond uit 5 locaties, behalve bij de Oostmadeplas. Hier zijn 3 locaties bemonsterd;

- ronde 2 (2020/2021) - sloten en petgaten, 6 casussen bemonsterd: Oostzanerveld (OOST), Poppenhuizen (POPP), Vuntus (VUNT), Wieden (WIED), Woudse Droogmakerij (WOUD) en Zegveld (ZEGV). Elke casus is op 5 locaties bemonsterd, met elk 3 replica's. Op basis van een voorverkenning in november 2020 is in overleg met de betrokken waterbeheerder een keuze gemaakt voor relevante locaties binnen elke casus;
- ronde 3 (2021) - grote(re) lijnvormige wateren, 6 casussen bemonsterd: Amsterdamse grachten (AMST), Averlosche leide (AVER), HHNK boezemsystemen (Langereis, Ringvaart Bergermeer en Nauernasche Vaart; allen afgekort tot HHNK), Linthorst Homankanaal (LINT), Nieuwe Water (NIEUW) en Trekvaart (TREK). Elke casus is op 5 of 6 locaties bemonsterd, met elk 2 replica's wegens een beperkter budget dan bij ronde 2 (zie de factsheets in Bijlage I voor details per casus). Hierbij is geen voorverkenning uitgevoerd. In plaats daarvan is in overleg met de regionale waterbeheerders bepaald welke locaties interessant zijn en is ter plekke op grond van veldimpressies besloten waar precies bemonsterd werd.

AFBEELDING 4.2 MONSTER LOCATIES BLUECAN. BLAUW: RONDE 1 (2019). ROOD RONDE 2 (2020/2021). GROEN: RONDE 3 (2021)

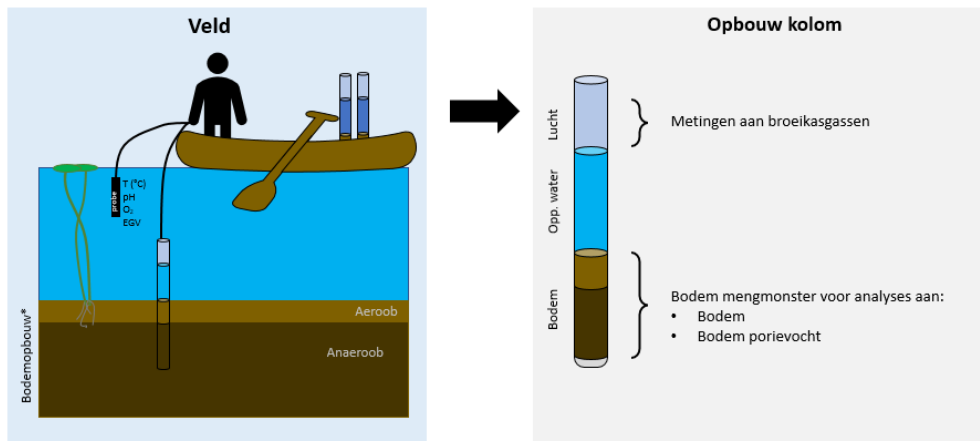


Voor de drie meetrondes zijn bodemkolommen en water- en bodemmonsters verzameld op verschillende locaties in het veld. De bodemkolommen zijn verzameld met een Uwitec, waarbij de replica's per locatie binnen enkele meters van elkaar gestoken zijn (zie Bijlage I). De Uwitec-kolommen zijn 60 cm lang en hebben een diameter van 5,9 cm. Bij het steken van de kolommen is erop gelet dat zo'n 40 % tot 50 % van de kolom gevuld was met de bovenste laag van de waterbodem en dat hierin geen planten of dieren zijn meegenomen (zie ook afbeelding 4.3). Indien de bodem erg zanderig of kleilig was, kon er minder diep gestoken worden en is minder bodemmateriaal verzameld.

In het veld is voor elke locatie de pH, de geleidbaarheid (EGV), de zuurstofconcentratie, het doorzicht en de waterdiepte gemeten. Vervolgens zijn de kolommen teruggebracht naar het laboratorium van Deltares in Utrecht. De bemonstering van de bodemkolommen heeft plaatsgevonden in de periode 13 mei t/m 16 mei 2019 (ronde 1), 16 augustus t/m 24 augustus 2021 (ronde 2) en 27 september t/m 4 oktober 2021 (ronde 3) (zie tabel 4.1 voor de bemonsteringsmomenten).

Het moment van monsternamen verschilt tussen de rondes. In ronde 1 zijn de kolommen verzameld in mei. Dit had mede te maken met het feit dat Deltares en Witteveen+Bos al binnen een half jaar tot een eerste resultaat wilden komen (looptijd project van 1 januari 2019 t/m 1 juli 2019). We hebben ervoor gekozen om in ronde 2 en 3 alle kolommen te verzamelen aan het einde van de zomer in 2021 (augustus - oktober), omdat verwacht wordt dat op dat moment de microbiële activiteit (van belang voor onder andere de methaanformatie) het meest actief is door de combinatie van hoge temperaturen en een hoge beschikbaarheid van reactief organisch materiaal.

AFBEELDING 4.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN BEMONSTERING EN METINGEN IN HET VELD EN DE OPBOUW VAN EEN KOLOM. *DE BODEMOPBOUW (DIKTE VAN DE VERSCHILLENDE LAGEN) VARIEERT PER LOCATIE



TABEL 4.1 BEMONSTERINGSMOMENTEN VAN DE CASUSSEN MET EEN BESCHRIJVING VAN HET SYSTEEM IN KERNGROEPEN EN TUSSEN HAAKJES DE DEELNEMENDE ORGANISATIE

Datum	Ronde	Casus	Afkorting	Systeem in kernwoorden
13 mei 2019	1	Wormer- Jisperveld (HHNK)	WORM	Voedsel- en organische rijke plas, slechte waterkwaliteit, algen gedomineerd
15 mei 2019	1	Loenderveense Plassen (Waternet)	LOEN	Voedselarme plas, goede waterkwaliteit, helder plantenrijk
16 mei 2019	1	Dobbeplas (Delfland)	DOBB	Voedselarme plas, goede waterkwaliteit, helder plantenrijk;
16 mei 2019	1	Oostmadeplas (Delfland)	MADE	Voedselrijke plas, slechte waterkwaliteit, algen gedomineerd
16 augustus 2021	2	Poppenhuizen (Wetterskip Fryslân)	POPP	Slotengebied in extensief veenweidegebied
17 augustus 2021	2	Oostzanerveld (HHNK)	OOST	Sloten en petgaten in laagveen natuurgebied
18 augustus 2021	2	De Wieden (Natuurmonumenten)	WIED	Sloten en petgaten in laagveen natuurgebied
23 augustus 2021	2	Woudse droogmakerij (Delfland)	WOUD	Glastuinbouwpolder, (voornamelijk) kleigrond;

Datum	Ronde	Casus	Afkorting	Systeem in kernwoorden
23 augustus 2021	2	Zegveld (HDSR)	ZEGV	intensieve veehouderij in veenweide
24 augustus 2021	2	Vuntus (Waternet)	VUNT	Laagveenplas met relatief goede waterkwaliteit
27 september 2021	3	Averlosche Leide (WDODelta)	AVER	Wetering op zandgrond met veel inlaat;
27 september 2021	3	Linthorst Homankanaal (WDODelta)	LINT	Kanaal op zandgrond met hoge voedselrijkdom
29 september 2021	3	Amsterdamse Grachten (Waternet)	AMST	Stedelijk water, hoofdzakelijk op zandbodem;
29 september 2021	3	Boezemsystemen (HHNK)	HHNK	Drie boezemsystemen met elk een veen, zand of kleigrondslag.
04 oktober 2021	3	Nieuwe Water (Delfland)	NIEUW	Watergang tussen intensieve glastuinbouw. Klei en zand bodem;
04 oktober 2021	3	Trekvaart (Rijnland)	TREK	Vaart op zandgrond midden in bollenteeltgebied.

4.3 LABANALYSE

Er wordt in deze paragraaf ingegaan op de kolomincubatie, metingen van broeikasgasfluxen, bodemkwaliteitsanalyses en waterkwaliteitsanalyses. Voordat we dit doen wordt eerst beknopt ingegaan op de methode in ronde 1. Vervolgens wordt per onderdeel ingegaan op de methode van ronde 2 en 3 die op een aantal punten is aangepast op grond van de inzichten van ronde 1. Ronde 1 moet gezien worden als een eerste gevoeligheidsanalyse om te laten zien of monsters van verschillende locaties (verschillend in waterkwaliteit) meetbare verschillen in broeikasgasemissies lieten zien. In ronde 1 zijn de kolommen op kamertemperatuur (20 °C) geïncubeerd op het laboratorium van Deltares in Utrecht, waarbij de emissiemetingen begonnen zodra de kolommen in het lab geïnstalleerd waren. Hierbij is niet uitgegaan van een acclimatisatieperiode. De kolommen waren afgedekt met aluminiumfolie om zo donker mogelijk te staan. De kolommen zijn direct na binnenkomst afgesloten. Overdruk kon de kolom verlaten middels een waterslot. Uit ronde 1 bleek dat verschillen in broeikasgasemissies gemeten konden worden. Daarom is in het vervolgonderzoek met meer gedetailleerde experimenten en onder beter gedefinieerde omstandigheden onderzocht wat de emissies onder verschillende condities zijn. Vanwege deze verschillen zijn de resultaten van ronde 1 in mindere mate in de verdere synthese meegewogen (ze staan wel in de factsheets van Bijlage 1).

Tijdens de bemonstering van de kolommen van ronde 1 is op meerdere momenten handmatig gas bemonsterd uit de gasfase boven de bodem-waterkolom. Hierbij is 4 weken lang elke week een gas monster genomen, met als doel om een indruk te krijgen van de concentratie van verschillende gassen, alsmede hoe zich dit over een periode van 4 weken ontwikkeld. Concentraties van broeikasgassen zijn bepaald door deze monsters te injecteren op de gaschromatograaf en te meten op de FID analyser. Om vervolgens een broeikasgasflux te berekenen is de concentratie van het broeikasgas gedeeld door de tijd waarover deze heeft kunnen opbouwen en het oppervlak van de kolom. Deze opzet maakt geen onderscheid tussen diffusie en ebullitie, want de kolom blijft afgesloten en vangt daarom emissie via beide paden op.

In ronde 1 zijn de bodem- en waterkwaliteitsanalyses op het laboratorium van Deltares in Utrecht uitgevoerd. Deze analyses waren met name gefocust op het oppervlaktewater, terwijl de nadruk bij ronde 2 en 3 meer op de waterbodem en het waterbodemporiewater lag.

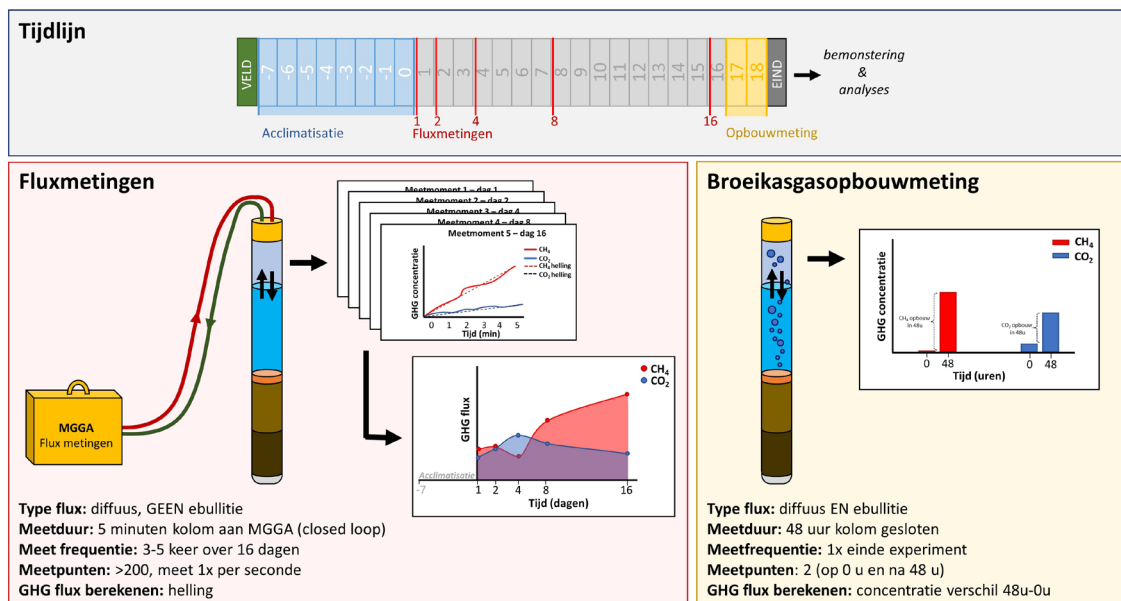
Bijlage 2 geeft een verdere toelichting op de gekozen methodes zowel in het veld als het laboratorium. Er wordt ook ingegaan op de afwegingen die zijn gemaakt tijdens het opstellen van het veld- en labprotocol en nuances die dit met zich mee brengt. Daarnaast zijn in Bijlage 5 alle resultaten van het veld- en laboratorium onderzoek voor alle locaties binnen één casus in tabellen weergegeven.

4.3.1 KOLOMINCUBATIE

De kolommen van ronde 2 en 3 zijn na monstername in het donker geïncubeerd op het laboratorium van Deltares in Utrecht op een stabiele temperatuur van 12 °C die dicht bij de jaargemiddelde watertemperatuur in het veld ligt. Voor de monitoring van de kolommen van ronde 2 en 3 begon, hebben de kolommen eerst zeven dagen onder deze condities kunnen acclimatiseren, open aan de lucht. Dit is gedaan om de waterbodem zich enigszins te laten herstellen van de verstoringen tijdens de monstername en het transport. Door het schudden ontsnapt het snel beschikbare CO₂ en CH₄, met name via de bellen die in het sediment opgesloten zitten. Het duurt vervolgens dagen tot weken voordat het procesevenwicht, zoals dat in het veld speelt, hersteld is. Voor methaanformatie, en met name ebullitie, is dit extra belangrijk. afbeelding 4.4 geeft een overzicht.

NB! Hoewel de kolommen in totaal drie weken in het laboratorium staan, leidt het verlies van CO₂ en CH₄ tijdens de monstername en het transport in vrijwel alle gevallen tot een (forse) onderschatting van de CH₄-emissie en met name de ebullitie. Voor CO₂ leidt dit mogelijk tot een overschatting.

AFBEELDING 4.4 DE TIJDLIJN VAN METINGEN IN HET LABORATORIUM, VANAF DE DAG DAT DE KOLONNEN UIT HET VELD ZIJN GEHAALD (VELD), DE ACCLIMATISATIE PERIODE EN VERVOLGENS DE PERIODE VAN FLUXMETINGEN (GESLOTEN KOLOM VOOR 5 MIN PER METING) EN DE BROEIKASGASOPBOUWMETING (GESLOTEN KOLOM VOOR 48 UUR) AAN HET EINDE, WAARNA DE KOLONNEN (EIND) BEMONSTERD ZIJN. TEVENS UITLEG OVER DE VERSCHILLEN TUSSEN FLUXMETINGEN EN DE BROEIKASGASOPBOUWMETING



4.3.2 BROEIKASGASFLUXEN

Er is gebruik gemaakt van een draagbare, automatische broeikasgasfluxanalyzer MGGA (GLA131-GGA, ABB, Quebec, Canada) voor de monitoring van CO₂- en CH₄-fluxen (deze was nog niet beschikbaar tijdens de bemonstering van ronde 1). Fluxmetingen vonden plaats op dag 1, 8 en 16 na acclimatisatie. In ronde 2 is tevens gemeten op dag 2 en 4. Om de flux van CO₂ en CH₄ te meten wordt de kolom tijdelijk (5 minuten) afgesloten om een gesloten circuit te creëren met de draagbare broeikasgasanalyzer (zie ook afbeelding 4.4).

De analyzer pompt de lucht rond en meet ondertussen de concentratie CO₂ (ppm), CH₄ (ppm) en luchtvochtigheid (ppm) met één meting per seconde. De flux metingen duurden gemiddeld vier minuten en zijn herhaald als de meting geen lineaire curve volgde. Door de concentratie af te zetten tegen de tijd kan de flux berekend worden. Het kolomoppervlak is bekend en daarmee kan de hoeveelheid gas per oppervlakte eenheid per tijdseenheid bepaald worden. Tot slot, omdat het volume gasfase op de kolom en het doodvolume in de draagbare broeikasgasanalyzer bekend is, kan vervolgens de concentratie omgerekend worden naar mol of gram.

De kolommen zijn continu open geweest, met uitzondering van 5 minuten afsluiting tijdens fluxmeting met de MGGA. Op dag 16 zijn ten slotte de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting, waarna bodem- en watermonsters genomen zijn voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

BROEIKASGASOPBOUW

Om ook een indruk te krijgen van de emissie van het broeikasgas CH₄ via bellen, ofwel ebullitie, van ronde 2 en 3 hebben we de kolommen 48 uur afgesloten om het gas op te laten bouwen. Aan het einde van de 48 uur is het opgebouwde gas boven in de kolom verzameld en gemeten op een gaschromatograaf. De concentraties CO₂ en CH₄ zijn vervolgens omgerekend naar emissie per tijdseenheid en per oppervlakte.

Ebullitie wordt dus niet gemeten met de flux metingen. Om een goede indruk van ebullitie te krijgen moeten de kolommen voor een langere tijd (dagen) worden afgesloten. Deze afsluiting verhindert gasuitwisseling van de kolom met atmosfeer en kan daarmee de processen in de kolom beïnvloeden en daarmee uiteindelijk de broeikasgasemissie verstoren. Om die reden is alleen met behulp van de broeikasgasopbouw aan het einde van het experiment een indruk verkregen van de ebullitie. Daarnaast is het onduidelijk in welke mate een bepaling van de ebullitie vanuit kolomexperimenten representatief is voor de veldsituatie. Voor een daadwerkelijke meting van de ebullitie wordt dan ook aangeraden deze in het veld te bepalen.

4.3.3 BODEMANALYSES

De samenstelling van de bodem (totale chemische elementconcentraties in de bodem) en opgeloste concentraties in het porievocht zijn bepalend voor de condities, waaronder micro-organismen die actief zijn (broeikasgasproductie of -afbraak). Voor de uitgevoerde bodemanalyses is al het bodem materiaal in de kolom (gebruikt voor broeikasgasmetingen) verzameld en gemengd. Vervolgens is een monster genomen (bovenste circa 30 cm van de bodem) en is een analyse uitgevoerd op de samenstelling van de bodem.

DROOGGEWICHT EN ORGANISCH STOFGEHALTE

Het organisch stofgehalte geeft aan hoeveel organisch materiaal in de bodem aanwezig is. Organisch materiaal bestaat voor ongeveer 50 % uit koolstof en kan, gegeven de juiste condities, door micro-organismen worden afgebroken tot broeikasgassen (CO₂ en/of CH₄).

Het bodem drooggewicht geeft informatie over het type bodemmateriaal en hoeveel vocht dat aanwezig was. Dit is van belang omdat het vochtgehalte in de bodem mede bepaalt tot waar zuurstof de bodem binnen kan dringen. Dat beïnvloedt de afbraakprocessen in de bodem en daarmee welk broeikasgas gevormd kan worden.

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem (bulk dichtheid) kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend.

De fractie organische stof in de bodem werd berekend door bepaling van het gloeiverlies. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verhit in een oven bij 550 °C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

CHEMISCHE ELEMENTEN

Bodemdestructies zijn uitgevoerd om inzicht te krijgen in welke chemische elementen in de bodem aanwezig zijn. Deze elementen zijn bepalend voor de activiteit van alle micro-organismen die betrokken zijn bij de afbraak van organisch materiaal en beïnvloeden daarmee de broeikasgasemissie.

Door de bodem en het plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijn gemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65 %) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂, 30 %) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1.200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruerd in de gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destrukaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destrukaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES (Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry) voor elementanalyse.

SAMENSTELLING VAN HET ORGANISCH MATERIAAL

Om meer inzicht te krijgen in de samenstelling van het organisch materiaal zijn de gedroogde en gemalen bodemmonsters gepyrolyseerd in de Rock Eval 6 (Vinci Technologies, Frankrijk) bij een steeds verder oplopende temperatuur (tot 650 °C) in een inerte atmosfeer. Door toename van de temperatuur komen verschillende koolwaterstofverbindingen uit het organisch materiaal vrij. Deze koolwaterstofverbindingen worden geanalyseerd met een infrarood vlamionisatie detector (FID). Dit levert pyrogrammen op van het vrijkomen van verschillen koolwaterstofverbindingen in relatie tot de temperatuur in de oven. Hieruit kunnen vervolgens verschillende parameters berekend worden (zoals hoeveelheid totaal organische koolstof TOC, waterstof index (HI), zuurstof index (OI), hoeveelheid inorganische koolstof, etc.; Sebag et al. 2016) die meer inzicht geven in de samenstelling en het gedrag van het organisch materiaal.

4.3.4 ANALYSES GROND- EN OPPERVLAKTEWATER EN BODEMVOCHT

Er zijn diverse analyses uitgevoerd op het grond- en oppervlaktewater en het bodemvocht.

STANDAARDMETINGEN GROND- EN OPPERVLAKTEWATER EN BODEMVOCHT

De standaardmetingen betroffen de pH, opgelost anorganische koolstof, alkaliniteit en EGV. De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂ elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganische koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃⁻) werd bepaald met behulp van infrarood gasanalyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l⁻¹ zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-sensor verbonden met een HQDmeter. De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van -20 °C tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 °C.

OPGELOST METHAAN EN SULFIDE IN HET BODEMVOCHT

Het bodemvocht werd op locatie gefixeerd met een zoutzuuroplossing (4 % HCl). De methaanconcentratie werd gemeten met een specifieke gaschromatograaf (Hewlett-Packard 5890 gas chromatograaf (Avondale, California) voor methaan, 7890B gas chromatograaf (Agilent Technologies, Santa Clara, USA) voor sulfide). De uiteindelijke methaanconcentratie werd teruggerekend naar het oorspronkelijke volume van het bodemvocht. De sulfideconcentratie werd gemeten met een specifieke gaschromatograaf. De uiteindelijke sulfideconcentratie werd teruggerekend naar het oorspronkelijke volume van het bodemvocht.

ORGANISCHE STOF (TOC/DOC)

DOC (opgelost organische koolstof) en DON (opgelost organische stikstof) werd in het oppervlaktewater gemeten met behulp van een TOC-L CPH/CPN analyser (Shimadzu). Vooraf werd het monster in de monsterbuis aangezuurd met een HCl-oplossing, gemengd en vervolgens doorborrelt met een inert gas voor verwijdering van TIC (totaal anorganische koolstof). Via een katalytische oxidatie werd al het C en N omgezet in CO₂, NO en NO₂ (stikstofmonoxide en -dioxide). Deze gassen werden vervolgens gemeten, CO₂ met een Niet Dispersieve Infrarood (NDIR) sensor en NO en NO₂ met een chemiluminiscentie detector (CLD).

CHEMISCHE ELEMENTEN

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl⁻) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

NB! Met de ICP-OES zijn nog circa 50 andere elementen bepaald. Deze zijn wel gerapporteerd en gescand op bijzonderheden, maar niet meegenomen in de analyse.

4.4 WATER- EN STOFBALANS

Om inzicht te krijgen in de relatie tussen systeemspecifieke eigenschappen, zoals de gemiddelde waterdiepte, het bodemtype, het debiet, de fosforbelasting en de broeikasgasemissie zijn er beknopte watersysteemanalyses uitgevoerd voor elke casus (en in een aantal gevallen individuele locaties). De belangrijkste bouwstenen in deze beknopte watersysteemanalyses zijn de water- en stofbalansen.

De water- en stofbalans⁶ ('bakjesmodel') is gebaseerd op een door STOWA ontsloten rekentool in Excel. Een waterbalans laat op dagbasis zien hoeveel en via welke routes water een watersysteem inkomt (bijvoorbeeld neerslag, inlaat, uitspoeling en kwel) en verlaat (bijvoorbeeld verdamping, uitlaat, intrek en wegzijging). Het opstellen van een waterbalans helpt bij het inzicht krijgen in de ecologische toestand van een oppervlaktewater (is er bijvoorbeeld sprake van een korte of lange verblijftijd van het water?) en vormt tevens de basis voor het opstellen van stofbalans. De stofbalans kwantificeert de in- en uitstromende stofvrachten op dagbasis, zoals nutriënten en chloride.

Voor elke casus is de benodigde informatie ingewonnen bij de desbetreffende waterbeheerder om de water- en stofbalans zo compleet mogelijk op te stellen. Niet elke casus bleek geschikt om als één gesimplificeerd en gemiddeld watersysteem (één bakje in de rekentool) te benaderen. Om die reden is in specifieke gevallen en in overleg met de betrokken waterbeheerder een water- en stofbalans voor één of meerdere (vergelijkbare) locaties opgesteld en alleen als er op dat niveau ook voldoende data beschikbaar was. Ten slotte is in enkele gevallen gebruik gemaakt van gegevens uit een SOBEK-model van het betreffende waterschap.

Dit heeft geresulteerd in 21 water- en stofbalansen (som van casussen en individuele locaties), waarmee de fosfaatbelasting en de debieten zijn berekend voor het broeikasgasmodel. In Bijlage I staan per casus de water- en stofbalansen gegeven.

4.5 STATISCHE ANALYSE MONITORINGSDATA

De diverse analyses hebben een grote hoeveelheid data opgeleverd. Door middel van multivariate statistiek is onderzocht hoe de verschillende casussen zich tot elkaar verhouden. Met behulp van hiërarchische clusteranalyse op basis van euclidische afstanden en Ward's-Linkage methode. Om de robuustheid van de clusters te toetsen is deze clusteranalyse gecombineerd met bootstrapping (van de data), waarmee elke cluster een p-waarde krijgt. Om te analyseren welke parameters verklarend zijn voor de verdeling in deze clusters is een PCA (hoofdcomponentenanalyse/principiële component analyse) uitgevoerd met varimax.

Tot slot is een stapsgewijze regressieanalyse uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd om te onderzoeken welke variabelen het beste correleren met de gemeten broeikasgasemissies (los van de indeling in clusters). De stapsgewijze regressieanalyse doet dit iteratief door toevoeging van variabelen (zogenaamde voorwaartse stapsgewijze regressie) de impact van alle variabelen in alle mogelijke combinaties op de broeikasgasemissie statistisch te toetsen. Alleen de variabelen die significant correleren en daadwerkelijk bijdragen aan de verklaarde variantie van het model voor de broeikasgasemissie worden (één voor één) opgenomen in een formule. Het gebruikte beoordelingscriterium is om (per nieuw toegevoegde variabele) zo veel mogelijk variantie (r^2) te verklaren. Om de robuustheid van de resultaten te toetsen is deze analyse uitgevoerd met zowel de gehele dataset als (geaggregeerde) delen van de dataset.

6 Water en stoffenbalans tool STOWA: www.stowa.nl/waterbalans

Tot slot is het van belang te vermelden dat doordat het veldonderzoek betreft in combinatie met laboratorium analyses, er soms datapunten ontbreken door het mislopen van een analyse of meting. Daarnaast zijn binnen elke casus niet overal evenveel locaties zijn bemonsterd wat een ongebalanceerde opzet oplevert. We hebben hier in de statistische analyse zo goed als het kan rekening mee gehouden.

4.6 MODEL AANPAK EN OPZET

In de aanpak van BlueCAN staat de ontwikkeling van een broeikasgasmodel voor broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren centraal. Het doel van het model is om meer grip te krijgen op de processen die van belang zijn voor broeikasgasemissies, om te kunnen rekenen aan deze broeikasgasemissies en om als basis te dienen voor een quickscantool, waarmee waterbeheerders zelf kunnen rekenen. De tool wordt ontsloten in een webapplicatie en heeft de naam BlueScan. Het is tot stand gekomen via de volgende stappen (zie voor een globaal overzicht van de stappen ook afbeelding 4.1).

4.6.1 UITGANGSMODELLEN

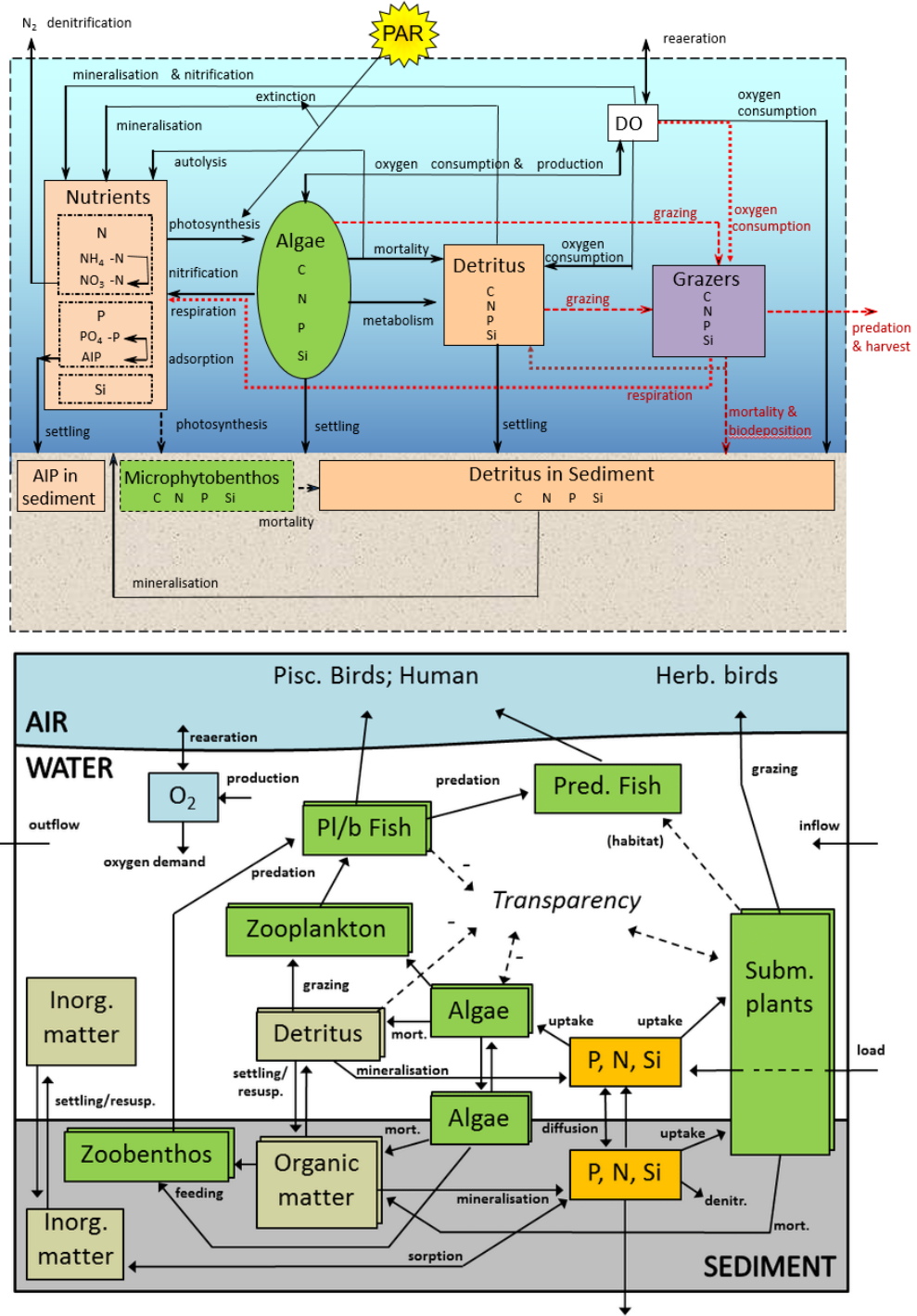
Tijdens inhoudelijke werksessies bleek dat er geen kant en klaar model klaar lag om de broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren te modelleren. Daarom is er gezocht naar een geschikt uitgangsmodel om door te kunnen ontwikkelen tot een broeikasgasmodel. Uiteindelijk is er gekozen voor het combineren van twee uitgangsmodellen als basis, omdat beide modellen een deel van de benodigde onderdelen afdekken. Deze twee modellen zijn het waterkwaliteitsmodel PCLake en Delft3D-ECO. Zie afbeelding 4.5 voor een impressie van beide modellen.

- PCLake is een voedselwebmodel gericht op het bestuderen van eutrofiëring in ondiepe meren en vijvers (Janse, 2005). Het bevat de meest belangrijke biotische groepen (algen, waterplanten, vissen, zoöplankton) en hun interacties, ingebed in de kringstoflopen van de nutriënten. Ruimtelijk gezien bestaat het uit een enkel segment (0D);
- Delft3D-ECO is een subset van variabelen en processen uit de Delft3D-Delwaq processenbibliotheek, die naast de algen- en nutriënten gerelateerde processen in de waterkolom ook een uitgebreide set bodemprocessen beschrijft (Smit en Van Beek, 2013). Voor het BlueCAN-onderzoek is gekozen voor een eenvoudige ruimtelijke schematische weergave (een 1Dv kolom model met 1 water segment en 10 bodemlagen), zoals ook gebruikt in het zgn. 'screeningsmodel' (Smits en van Beek, 2009) dat onder andere is ingezet in het BaggerNut-project (zie bijvoorbeeld Osté en Harezlak, 2012). De diepte van het water segment varieert per water systeem, de totale dikte van de bodem is 20 cm.

In de basismodellen Delft3D⁷-ECO en PCLake zitten belangrijke basisprocessen. Zo wordt in PCLake het voedselweb met algen en planten gemodelleerd en bevat Delft3D-ECO een sluitende koolstofbalans, inclusief koolstofluxen in water en bodem. Deze modellen zijn ieder afzonderlijk in het verleden uitgebreid gekalibreerd, gevalideerd en toegepast op eutrofiëringsproblematiek, maar nog niet eerder specifiek toegepast voor broeikasgasemissies. Voor een directe toepassing voor broeikasgasemissies missen ze beiden ook onderdelen of specifieke processen.

⁷ Delft3D is open source software, zie portal voor de source codes: Home - Delft3D Flexible Mesh - oss.deltares.nl

AFBEELDING 4.5 IMPRESSIE VAN DE WATERKWALITEITSMODELLEN DELFT3D-ECO (BOVEN) EN PCLAKE (ONDER)



4.6.2 AANPASSING DELFT3D-ECO NAAR DELFT3D-GHG

Om het Delft3D-GHG model een gesloten massabalans voor koolstof te kunnen laten berekenen is het model uitgebreid met twee variabelen: totaal inorganische koolstof en alkaliniteit. Ook zijn er processen aan Delft3D-GHG toegevoegd om de pH en het carbonaatevenwicht te kunnen berekenen. Dit is gedaan door het activeren van de pH-module (PH_CARB) die reeds beschikbaar was in de Delwaq-processenbibliotheek. Een beschrijving van deze module is te vinden in Bijlage 3.

Daarnaast wordt in Delft3D-GHG de organische zwavel, net als in het eerdergenoemde screeningsmodel, achterwege gelaten wegens ondergeschikt belang. Ook is de algensamenstelling teruggebracht naar drie basale soortsgroepen (diatomeeën, groenalgen, en blauwalgen). Deze set up is meer generiek dan die van het Delft3D-ECO model (waarin verschillende specifieke algensoorten worden meegenomen) en past daarom beter bij de aard van de grote reeks berekeningen die we in BlueCAN hebben uitgevoerd.

Het resultaat is Delft3D-GHG, een waterkwaliteitsmodel met processen geschikt voor het berekenen van broeikasgasemissies. Bijlage 3.2 geeft een overzicht van de variabelen, processen, en parameterwaarden die in het model zijn gebruikt.

4.6.3 COMBINEREN DELFT 3D-GHG EN PCLAKE TOT BLUECAN MODEL

De ecosysteemmodellen Delft3D-GHG en PCLake missen beiden onderdelen om broeikasgasemissies te kunnen modelleren, maar gezamenlijk dekken ze de benodigde componenten af (zie ook bijlage 3.3). Om de twee modellen te combineren tot één model zijn ze eerst zoveel mogelijk geharmoniseerd voor wat betreft de modelinvoer (meteorologie en lozingen, zie bijlage 3.4). Verder zijn beide modellen voor elke casus over een periode van 20 jaar doorgerekend. Dit bleek voor de meeste casussen voldoende inspeeltijd om een steady state te bereiken.

Het combineren van de resultaten wordt als volgt uitgevoerd:

- in het PCLake model wordt voor elke casus de concentratie zwevend stof bepaald uit een empirische relatie op basis van diepte, strijklengte, P-belasting, sediment-type en doorstroming. Het zou veel werk kosten om deze empirische relatie af te regelen in het Delft3D-GHG model. In plaats daarvan worden de zwevende stof concentraties zoals per case afgeleid in PCLake rechtstreeks overgenomen in het Delft3D-GHG model;
- met Delft3D-GHG worden vervolgens de verschillende broeikasgasemissies berekend (CO_2 , CH_4 door diffusie en volatilisatie en CH_4 door ebullitie);
- in PCLake worden naast algen ook waterplanten berekend. Dit is niet het geval in Delft3D-GHG. Omdat waterplanten invloed hebben op de broeikasgasemissies, wordt de ecologische toestand, zoals berekend in PCLake, meegenomen als correctiefactor op de uitkomsten van Delft3D-GHG. In de cases waarin PCLake een grote bedekking met waterplanten voorspelt, wordt de CH_4 -emissie (zoals berekend door Delft3D-GHG) gehalveerd. Deze halvering is een aanname gebaseerd op expert judgement. Met de uitkomsten van PCLake weten we in welke casussen we waterplanten kunnen verwachten en waar een dergelijke correctie doorgevoerd moet worden.

De gecombineerde modellen samen noemen we het BlueCAN model.

4.6.4 KALIBRATIE FASE 1

In de eerste fase van het BlueCAN-onderzoek was het idee om het BlueCAN model te kalibreren op basis van de BlueCAN metingen uit ronde 1. Hiertoe zijn deze casussen dan ook doorgerekend op basis van hun eigen karakteristieken en water- en stof balansen (zie Bijlage 1). De metingen van deze casussen kwamen echter pas laat beschikbaar en de modelresultaten zijn in deze fase dus slechts kwalitatief geëvalueerd op basis van de verwachte relatieve verschillen tussen de casussen.

Wel is in deze fase het Delft3D-GHG model gekalibreerd op basis van resultaten van het PCLake model. Dit kon zo worden gedaan, omdat het PCLake model zelf niet werd aangepast binnen het BlueCAN-onderzoek. Het ging met name om de chlorofylconcentraties in interactie met koolstofaanvoer en -emissies. Dit heeft geleid tot het overnemen van de zwevend stof concentraties en de fractie organisch materiaal in het aanvoerwater vanuit PCLake naar het Delft3D-GHG model (zie ook de stappen beschreven in paragraaf 4.6.3). De modelresultaten van deze exercitie zijn beschreven in de Deltafact, 2020.

4.6.5 KALIBRATIE FASE 2

In de tweede fase is verder gegaan met de kalibratie. Omdat de metingen van de eerste fase niet voldoende bleken is er vooral gebruik gemaakt van meetgegevens in de literatuur, met name die van de intensief bemeten stadsvijver in Malden (van Bergen et al., 2019). Hiertoe is de ‘stadsvijver Malden’ als aparte casus doorgerekend en zijn de modelresultaten vergeleken met de metingen.

WAAROM STADSVIJVER MALDEN?

De stadsvijver in Malden biedt betere mogelijkheden voor een kwantitatieve kalibratie dan de metingen in het BlueCAN-onderzoek zelf. Dit omdat de broeikasgasemissiemetingen in Malden maandelijks (gedurende een heel jaar, van juli 2013 tot en met mei 2014) zijn uitgevoerd. Hierdoor wordt de seizoensvariatie in broeikasgasemissies zichtbaar en krijgen we een beter beeld bij de relevantie van processen en stuurfactoren door het seizoen heen. Dat is niet mogelijk met de eenmalige metingen van BlueCAN.

Een belangrijk verschil tussen de metingen in de stadsvijver in Malden en de metingen binnen BlueCAN is dat de broeikasgasmetingen in Malden in het veld zelf zijn uitgevoerd op basis van kamermetingen (waarmee de uiteindelijke emissie naar de lucht wordt gemeten), terwijl die de BlueCAN metingen in het laboratorium zijn uitgevoerd op basis van kolommen (die vooral een beeld geven van de potentiële broeikasgasemissies).

Een opzet en inspanning, zoals bij de stadsvijver in Malden was binnen BlueCAN niet haalbaar. Bovendien is bewust gekozen voor een aanpak op basis van kolommetingen. Veldmetingen zoals bij de stadsvijver in Malden blijken (achteraf) beter vergelijkbaar met de modelresultaten en bruikbaar voor kalibratie. Dit heeft mede te maken met het feit dat de metingen van methaanemissie (met name ebullitie) in het laboratorium op basis van kolommen met de huidige opzet een (forse) onderschatting geven van de daadwerkelijke emissies (zie paragraaf 4.3.1).

MODELAAANPASSINGEN:

Naar aanleiding van de kalibratie is een aantal modelcoëfficiënten in het Delft3D-GHG model aangepast:

- bioturbatie en dispersie coëfficiënten;
- schalingsfactor ebullitie;
- de snelheid en de halfsaturation waarde van methaanoxidatie.

Meer informatie over de aangepaste modelcoëfficiënten is te vinden in Bijlage 3.2 .

4.6.6 VALIDATIE

Ter validatie is het BlueCAN model doorgerekend voor de BlueCAN casussen uit ronde 2 en 3 (21 locaties) op basis van systeemkenmerken en water- en stofbalansen (zie bijlage 1). De berekende en gemeten broeikasgasemissies zijn met elkaar vergeleken (zie paragraaf 6.3).

4.6.7 GROTE SET BEREKENINGEN

Ten slotte is het BlueCAN model gebruikt om een grote set van fictieve watersystemen door te rekenen met een reeks aan bij de Nederlandse watersystemen passende systeemkenmerken (waterdiepte, debiet/verblijftijd, nutriëntenbelasting, verhouding N/P van de belasting, sedimenttype en strijklengte). In totaal zijn er 13600 verschillende combinaties doorgerekend. De uitkomsten in deze tabel zijn geanalyseerd en gecontroleerd op onrealistische waarden. De grote set berekeningen hebben een tabel opgeleverd met een set aan kenmerken en de daarbij behorende berekende gemiddelde CO₂- en CH₄-emissie in een evenwichtssituatie. De uitkomsten in deze tabel zijn geanalyseerd op patronen en gecontroleerd op onrealistische waarden (zie paragraaf 6.5).

4.6.8 BLUESCAN TOOL

De tool 'BlueScan' is een grafisch vormgegeven opzoektabel (metamodel), gebaseerd op de tabel van de uitgebreide set berekeningen met het BlueCAN model (zie paragraaf 4.6.7). De tool stelt water- en natuurbeheerders in staat om zelf een eenvoudige en snelle berekening van de broeikasgasemissie te kunnen maken voor een specifiek watersysteem, zonder het model BlueCAN te hoeven gebruiken.

Een webapplicatie van BlueScan komt na afronding van dit project beschikbaar.

5

RESULTATEN: VELD- EN LABANALYSES

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het veldwerk en de monitoring van ronde 2 en 3 op hoofdlijnen gepresenteerd. Dat wil zeggen dat er ingegaan wordt op relaties op grond van alle individuele cases en locaties. Voor meer gedetailleerde informatie per individuele casus verwijzen wij u naar bijlage 1.

Er wordt achtereenvolgens ingegaan op variaties in systeemeigenschappen (water- en stofbalans, veldcondities, bodemkarakteristieken en -kwaliteit), broeikasgasemissies, relaties tussen de systeemeigenschappen en broeikasgasemissies aan de hand van statistische technieken waarbij stuurfactoren worden geïdentificeerd.

NBI De resultaten van ronde 1 zijn in dit hoofdstuk niet meegenomen, omdat de wijze van monitoring (en hierdoor de resultaten) van ronde 1 dusdanig anders is dat deze niet goed te vergelijken is met de resultaten afkomstig van de monitoring van ronde 2 en 3. De resultaten van ronde 1 zijn gepubliceerd in de Deltafact.

5.1 SYSTEEMEIGENSCHAPPEN

De verschillende locaties zijn eerst geduid aan de hand van de water- en stofbalansen en andere systeemeigenschappen, omdat dit een beeld geeft van dominante processen (korte of lange verblijftijd, lage of hoge externe nutriëntenbelasting) in relatie tot de bodem- en waterkwaliteit en de broeikasgasemissies. Dit helpt bovendien om causale relaties in beeld te brengen.

BODEMTYPE

In Zegveld, Poppenhuizen, Oostzanerveld, De Wieden en De Vuntus worden de bodems geclassificeerd met het bodemtype veen. De Nauernascher Vaart heeft een zandbodem, maar een (gedegradeerd) veen grondslag door de afvoer van water uit de vele veen(weide)polders op de vaart. Het Linthorst Homankanaal, de Trekvaart, de Amsterdamse grachten, Ringvaart Bergermeer, de Trekvaart, Averlosche Leide en het Nieuwe Water hebben het bodemtype zand. De Langereis en de Woudse droogmakerij worden gekenmerkt door een kleibodem.

DEBIET

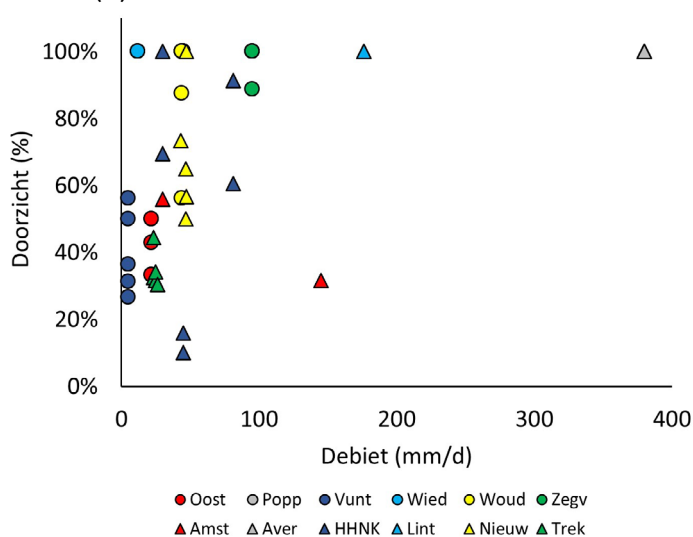
Opvallend is het hoge debiet in de Averlosche Leide (380 mm/d⁸). Deze wetering transporteert veel water naar het achterland vanuit het Overijssels Kanaal (afbeelding 5.1). Het Linthorst Homankanaal en (een deel) van de Amsterdamse grachten hebben ook een relatief hoog debiet (>100 mm/d). Ook opvallend zijn juist de casussen met een lager debiet zoals De Vuntus (5 mm/d), de petgaten binnen De Wieden (12 mm/d) en het Oostzanerveld (22 mm/d). Alle drie zijn drie waterrijke natuurgebieden. De Vuntus is een plassen gebied waarbij niet tot nauwelijks water wordt ingelaten, enkel bij watertekort. Ook in de petgatensystemen van

8 Het debiet wordt in deze rapportage genormeerd op het doorstroomde oppervlak en dus weergegeven in mm/dag in plaats van bij voorbeeld m³/dag.

De Wieden wordt enkel water ingenomen bij watertekort. Het debiet in de petgaten van De Wieden is hoger ten opzichte van De Vuntus, omdat hier een kleinere fractie open water is ten opzichte van het landoppervlak. In het Oostzanerveld wordt meer water ingelaten dan nodig voor het Oostzanerveld zelf, omdat via het Oostzanerveld andere gebieden van water worden voorzien. Tenslotte variëren de debieten van de HHNK locaties, omdat er in drie verschillende boezemwateren is gemeten.

Er lijkt in algemene zin een relatie tussen het debiet en het doorzicht. Hoge debieten gaan vaak gepaard met een hoog doorzicht (% ten opzichte van de waterdiepte). Dit kunnen we verklaren vanuit dominante processen. Watersystemen met een laag debiet zijn vaak proces gestuurd. Dat wil zeggen dat de biotische processen in het watersysteem (zoals algengroei) bepalend zijn voor de waterkwaliteit. Watersystemen met een hoog debiet zijn vaak transport gestuurd. Hier bepaalt de waterkwaliteit van de meest dominante waterstroom de waterkwaliteit. De processen in het waterlichaam zelf zijn hier meestal ondergeschikt. De Averlosche Leide wordt bijvoorbeeld gevoed door het Overijssels Kanaal met overwegend (zeer) helder water. Dit is 1-op-1 terug te zien in het doorzicht.

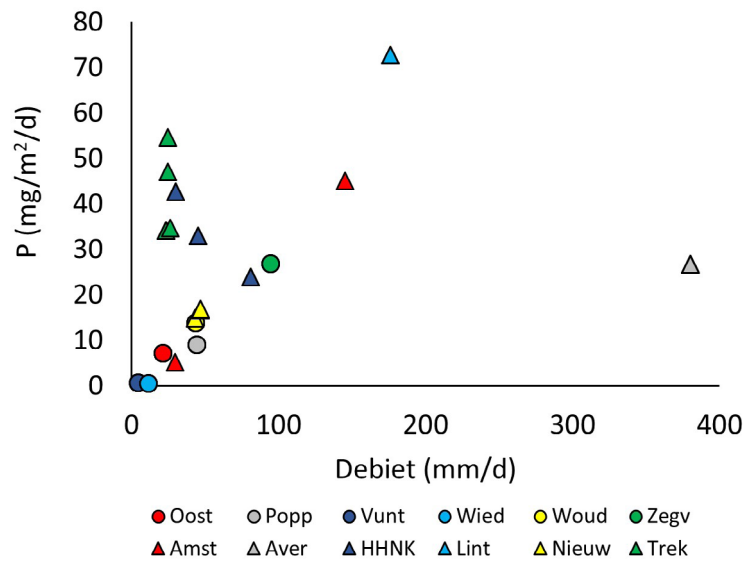
AFBEELDING 5.1 SPREIDINGSDIAGRAM VAN HET GEMETEN DOORZICHT (% TEN OPZICHTE VAN WATERDIEPTE) (Y-AS) EN HET BEREKENDE DEBIET (X-AS) WEERGEGEVEN PER CASUS. BIJ CASUSSEN WAARBIJ ONDSCHIED GEMAAKT KON WORDEN OP SYSTEEMEIGENSCHAPPEN PER MEETLOCATIE BINNEN EEN CASUS ZIJN DE LOSSE LOCATIES WEERGEGEVEN. SYMBOLEN GEVEN DE RONDES WEER: RONDE 2 (●) & RONDE 3 (▲)



EXTERNE P-BELASTING

Naast de laagste debieten hebben De Wieden en De Vuntus ook de laagste P-belasting (resp. 0,40 en 0,45 mg P/m²/dag) (afbeelding 5.2). De hoogste P-belasting is berekend voor het Linthorst Homankanaal. Dit is met name afkomstig van het relatief grote afvoergebied dat op het Linthorst Homankanaal afwatert. Ook de Trekvaart (Haarlem-Leiden) heeft hoge berekende P-belastingen, met name op twee locaties (TREK03 en TREK04, resp. 47,0 en 54,6 mg P/m²/dag). De P-belasting van de Averlosche Leide is laag ondanks het hoge debiet. Dit is het gevolg van lage P-concentraties in het Overijssels Kanaal.

AFBEELDING 5.2 SPREIDINGSDIAGRAM VAN DE GEMETEN P-BELASTING (Y-AS) TEN OPZICHTE VAN DEBIET (X-AS) WEERGEGEVEN PER CASUS. BIJ CASUSSEN WAARBIJ ONDERSCHIEDT GEMAAKT KON WORDEN OP SYSTEEMEIGENSCHAPPEN PER MEETLOCATIE BINNEN EEN CASUS ZIJN DE LOSSE LOCATIES WEERGEGEVEN. SYMBOLEN GEVEN DE RONDES WEER: RONDE 2 (●) & RONDE 3 (▲)



5.2 BODEMKWALITEIT

In deze paragraaf beschrijven we eigenschappen van de bodem waarvan we verwachten dat ze de broeikasgasemissies kunnen beïnvloeden, zoals de beschikbaarheid van organische stof, nutriënten, de saliniteit, de sulfaatbeschikbaarheid en de basenrijkdom.

ALGEMEEN

Er is een grote variatie in de bodemsamenstelling. Zo zijn er waterbodems met zand, klei en veen bemonsterd met een variërende dikte van de sliblaag. Gemiddeld zat er zo'n 22 cm aan bodem in de verzamelde kolommen, dat gelijk staat aan een volume van 0,62 L, met variabele sliblaag (van zeer los materiaal tot alleen vastliggend materiaal). In veel gevallen betrof een groot deel van de kolom de sliblaag. Aangezien niet vast te stellen is vanuit welke laag de broeikasgassen geproduceerd worden is de hele bodemlaag in de kolommen meegenomen in de analyses.

Figuur 5.3 geeft een overzicht van belangrijke (relaties tussen) eigenschappen van de bodems, zoals het gehalte organische stof, totaal C, totaal N, totaal P, de bulkdichtheid en het DOC in het poriewater. Hieronder worden deze, en andere kenmerken van de bodem, in aparte kopjes besproken waarbij er veel aandacht is voor de relatie van kenmerken met het organisch stofgehalte.

ORGANISCH STOFGEHALTE

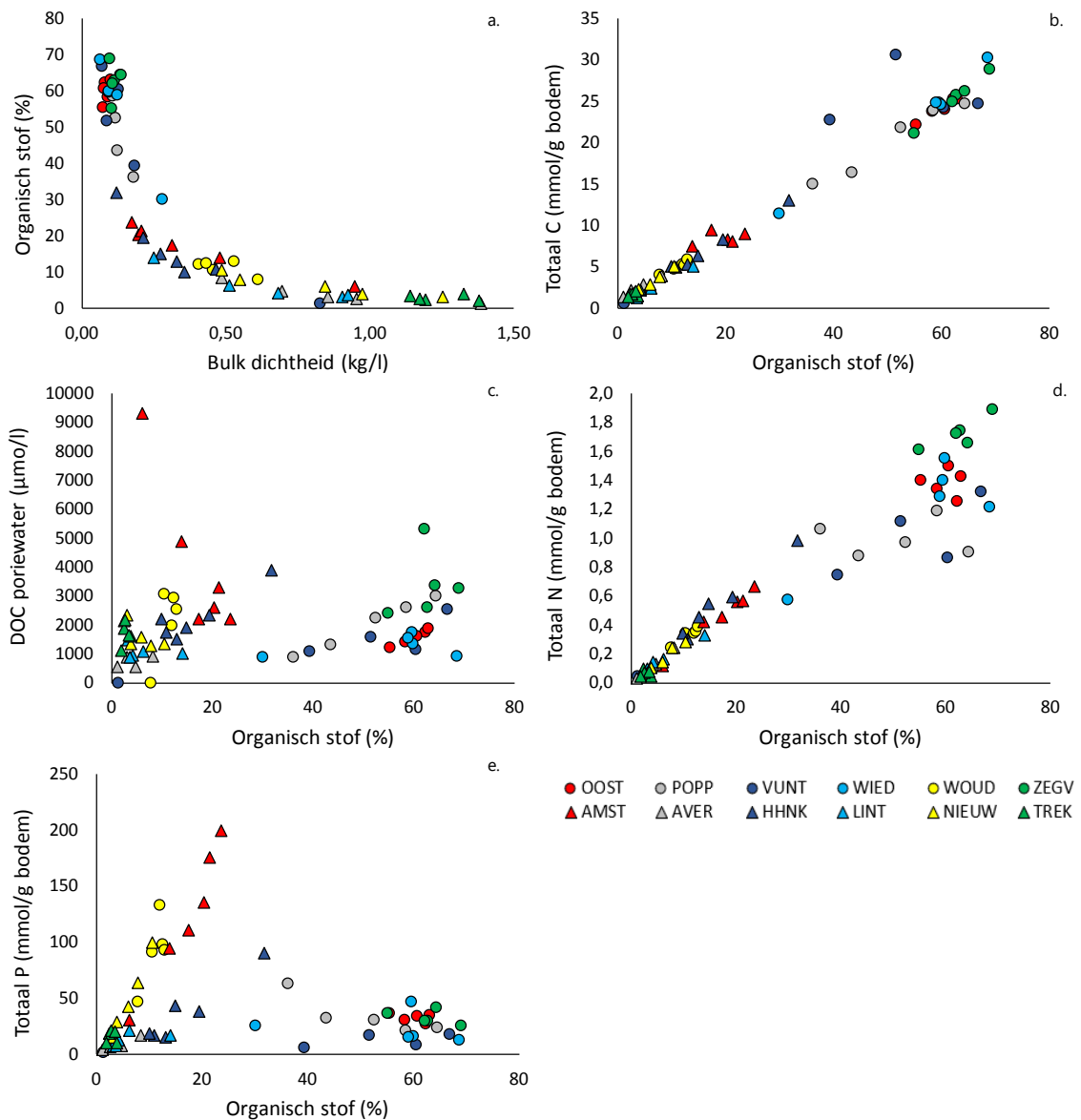
Om de verschillen in bodemsoorten inzichtelijk te maken is in de bulkdichtheid van de bemonsterde waterbodems uitgezet tegen het organisch stofgehalte. De waterbodems zijn grofweg in te delen in drie groepen:

- gebied met veenbodem. Deze bevatten de hoogste organisch stofgehalte (50 - 70 %) en de laagste bulk dichtheid (< 0,15 kg DW/L FW (de hoeveelheid drooggewicht per volume versgewicht)). Dit betreffen bijvoorbeeld de gebieden WIED, ZEGV en OOST;
- gebieden een variabel organisch stofgehalte (5 - 50 %) en bulk dichtheid (0,15 – 0,6 kg DW/L FW). Dit betreffen onder andere de gebieden POPP, HHNK, VUNT, WOUD en AMST;

- gebieden met waterbodems die grotendeels uit zandbodems bestaan en een laag organisch stofgehalte (1-15%) bevatten met hoge bulkdichtheid (0,5 – 1,4 kg DW/L FW). Dit betreffen locaties uit de gebieden AVER, NIEUW, LINT en TREK.

Het organisch stofgehalte is een goede maat voor de totale beschikbaarheid aan organische stof (afbeelding 5.3b). Het organisch stofgehalte zegt nog niet alles over de mate van afbreekbaarheid van organische stof, ofwel de beschikbaarheid van organische stof voor de productie van broeikasgasemissies. Om hier meer inzicht in te krijgen zijn ook de opgeloste fractie van organische koolstof (DOC) in het waterbodemporiewater bepaald en is er een fractionering van het organische stof in de bodem verricht (met een Rock Eval analyse). Uit een correlatie tussen het organisch stofgehalte in de waterbodems en de DOC-concentratie in het bodemporiewater blijkt dat hier geen 1 op 1 verband aanwezig is (afbeelding 5.3c). Wel is te zien dat er in feite twee groepen ontstaan: één met zanderige en kleiiger bodems (laag organisch stofgehalte) en één met veniger bodems (hoog organisch stofgehalte). Binnen deze beide groepen blijkt er wel een relatie aanwezig te zijn tussen het organisch stofgehalte en de DOC-concentratie.

AFBEELDING 5.3 A. DE BULKDICHTHEID UITGEZET TEGEN HET ORGANISCH STOFGEHALTE, B. HET ORGANISCH STOFGEHALTE UITGEZET TEGEN HET TOTAAL KOOLSTOFGEHALTE, C. HET ORGANISCH STOFGEHALTE UITGEZET TEGEN DE DOC-CONCENTRATIE IN HET BODEMPORIEWATER, D. HET ORGANISCH STOFGEHALTE UITGEZET TEGEN DE TOTAAL STIKSTOFCONCENTRATIE, EN E. HET ORGANISCH STOFGEHALTE UITGEZET TEGEN DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE. SYMBOLEN GEVEN DE RONDES WEER: RONDE 2 (●) EN RONDE 3 (▲)



STIKSTOF

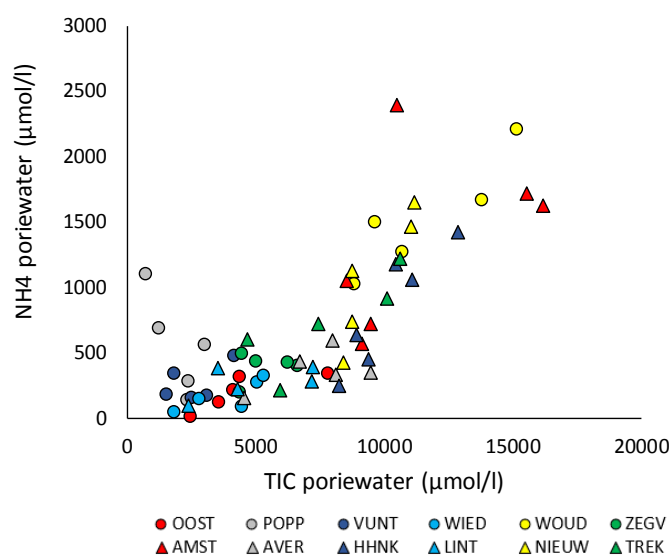
Het totaal N-gehalte varieert sterk, van vrijwel 0 mmol/g (in bijvoorbeeld de Trekvaart) tot 2 mmol/g (in Zegveld). De verschillen in nutriëntenrijkdom tussen de onderzochte gebieden zijn groot. Dit geldt zowel voor de totale nutriëntconcentraties als de beschikbare nutriëntconcentraties.

De totaal stikstofconcentratie⁹ laat een vergelijkbaar patroon zien als het organisch stofgehalte in de waterbodems. Dit komt doordat stikstof een groot bestanddeel is van het organische stof in waterbodems (d). Zo is duidelijk te zien dat alle waterbodems met hogere organische stofconcentraties, zoals die in veenbodems, ook hogere totaal stikstofconcentraties bevatten.

De totaal stikstofconcentratie zegt echter weinig over de beschikbaarheid van stikstof in de waterbodem. Uit eerdere onderzoeken aan waterbodems blijkt dat juist de gemakkelijk beschikbare (opgelost) fractie van nutriënten van grote invloed is op het aquatische ecosysteem. Deze fractie bevindt zich met name in opgeloste vorm in het bodemporievocht en vergroot de kans op eutrofiëring. In potentie kan het ook van invloed zijn op de uitstoot van broeikasgasemissies. Daarom zijn er ook analyses verricht van de chemische samenstelling van het poriewater in de waterbodem.

Uit de analyse van de samenstelling van het poriewater komt wederom duidelijk de variatie tussen de onderzochte gebieden naar voren. Zo blijkt de ammonium (NH_4^+) concentratie in het bodemporiewater te correleren met de totaal anorganische koolstof concentratie (TIC) in het bodemporiewater, waarbij er een duidelijk onderscheid is tussen gebieden met een laag NH_4^+ - en TIC-gehalte (zoals Vuntus) en gebieden met een hoog NH_4^+ - en TIC-gehalte (zoals de Woudse Droogmakerij). Zowel de ammonium als TIC-concentratie (weergegeven in afbeelding 5.4) zijn een indicatie voor de mate van afbraak van organische materiaal in de waterbodem (bij afbraak van organische stof wordt onder andere NH_4^+ en TIC geproduceerd). Een hoge NH_4^+ -concentratie en TIC duidt op een hoge afbraakpotentie. De mate van afbraak kan op zijn beurt weer de uitstoot van broeikasgasemissies beïnvloeden.

AFBEELDING 5.4 DE TOTAAL ANORGANISCHE KOOLSTOF (TIC) CONCENTRATIE ($\mu\text{MOL/L}$) UITGEZET TEGEN DE AMMONIUMCONCENTRATIE ($\mu\text{MOL/L}$) IN RONDE 2 (●) EN RONDE 3 (▲)



⁹ In deze rapportage wordt met stikstof de vastgelegde stikstof bedoeld (ammonium, nitriet en nitraat en organisch gebonden stikstof). Dit wijkt af van stikstofgas (N_2 , het hoofdbestanddeel van lucht) en stikstof t.b.v. stikstofdepositie (NH_3 en NO_x in de lucht).

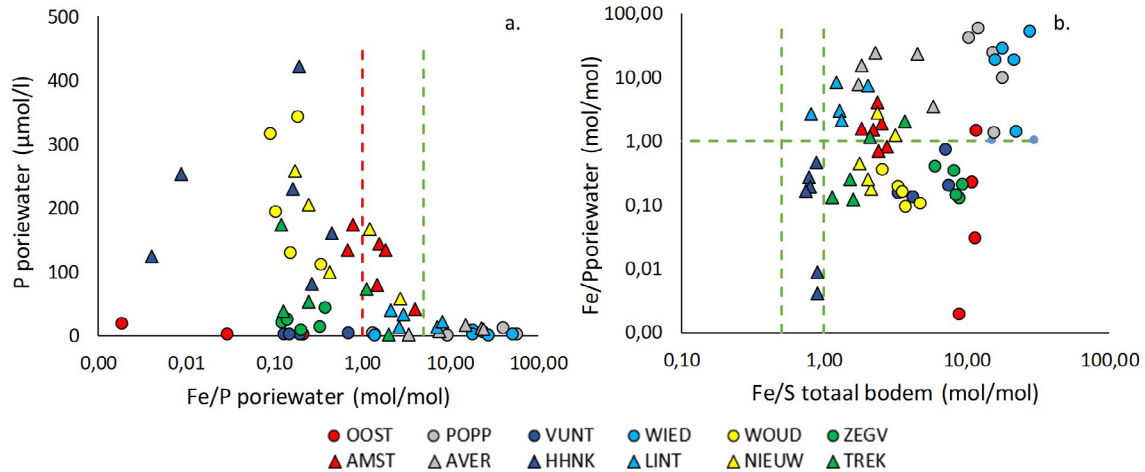
FOSFOR

Het totaal P-gehalte varieert sterk, van vrijwel 0 mmol/g (in bijvoorbeeld de Averlosche leide) tot 200 mmol/g (in de Amsterdamse grachten). Voor de totaal fosforconcentratie in de bodem is er geen verband gevonden met het organisch stofgehalte (e). Alhoewel de organische stof wel ten dele uit fosfor bestaat, is tevens bekend dat waterbodems ook sterk aangereikt kunnen zijn met aan ijzer-, aluminium- of calciumgebonden fosfor. De totale fosforconcentratie in de bodem laat ook een correlatie zien met de totale aluminium- (Al) en de totale ijzerconcentratie (Fe). Hoe hoger aluminium en ijzer, hoe hoger de totaal fosforconcentratie. Dit duidt op een binding van totaal fosfor met onder andere Al en Fe in de bodem (dit is niet in de grafieken opgenomen). Binnen de verschillende onderzochte gebieden zijn er ook voor totaal fosfor duidelijke verschillen aanwezig. Met name in de gebieden AMST, WOULD, enkele locaties van NIEUW en HHNK en POPP zijn hoge totaal fosfaatconcentraties aangetroffen.

Ook voor fosfor geldt dat de totaal fosforconcentratie lang niet alles zegt over de voor het ecosysteem beschikbare (opgeloste) fosforconcentratie. De concentraties van zwavel, ijzer en fosfor in de waterbodem en het waterbodemporieewater geven vaak een goede indicatie voor de beschikbaarheid en kans op chemische nalevering van fosfor naar de bovenstaande waterlaag. In afbeelding 5.5 zijn de verhoudingen tussen ijzer, zwavel en fosfor in de waterbodems van de onderzochte bodems tegen elkaar uitgezet. De P-nalevering zal hoger zijn naarmate de Fe/P-ratio lager is en de P-concentratie van het sediment poriewater hoger is. Smolders et al. (2001) hebben in een naleveringsexperiment aangetoond dat de P-nalevering begint toe te nemen bij een Fe/P-ratio lager dan 5 mol/mol (groene lijn in afbeelding 5.5a). Tevens lieten zij met dit experiment zien dat de nalevering van fosfaat uit het sediment fors toeneemt bij een Fe/P-ratio in het bodemwater lager dan 1 mol/mol (rode lijn in afbeelding 5.5a). Zuurstof is hierbij bepalend; als er geen zuurstof is en er gereduceerde condities in de bodem zijn komt P vrij.

Uit deze resultaten blijkt dat van alle onderzochte gebieden, met name in de gebieden HHNK, WOULD, OOST, NIEUW en in mindere mate enkele locaties uit POPP, AMST, ZEGV en VUNT een hoge kans is op P-nalevering vanuit de waterbodem naar de waterlaag. Met name in de gebieden WIED, AVER en een gedeelte van de locaties in POPP en LINT, is de kans op P-nalevering veel lager. Met een hogere kans op nalevering van fosfor is de kans groot dat de waterkwaliteit achteruitgaat (door eutrofiëring en algenbloei). Het gevolg daarvan is dat er meer vers, makkelijk afbreekbaar organische koolstof wordt aangemaakt, wat de broeikasgassenemissies sterk kan vergroten.

AFBEELDING 5.5 A DE FE/P-RATIO IN HET PORIEWATER UITGEZET TEGEN FOSFOR IN HET PORIEWATER. BIJ EEN FE/P-RATIO LAGER DAN 1 (RODE LIJN) IS ER EEN GROOT RISICO OP P-NALEVERING, BIJ EEN RATIO HOGER DAN 5 (GROENE LIJN) IS DIT RISICO LAAG. B. DE RELATIES TUSSEN HET TOTAAL IJZER(Fe)/ZWAVEL(S) RATIO VAN DE BODEM EN DE FE/P-RATIO IN HET BODEMWATER. DE HORIZONTALE STIPPELLIJN GEEFT DE FE/P-RATIO VAN 1 MOL/MOL AAN. DAARBOVEN NEEMT DE KANS OP P-NALEVERING STERK AF. DE VERTICALE STIPPELLIJNEN GEVEN RESPECTIEVELIJK EEN TOTAAL-Fe/TOTAAL-S RATIO VAN 0,5 EN 1 AAN. EEN FE/S-RATIO HOGER DAN 1 MOL/MOL CORRELEERT MET EEN HOGE FE/P-RATIO VAN HET PORIEWATER WAARDOOR ZE GEEN P NALEVEREN, ZOLANG DE WATERLAAG ZUURSTOFHOUDEND IS. BODEMS MET EEN TOTAAL FE/S-RATIO LAGER DAN 0,5 MOL/MOL DAARENTEGEN ZULLEN VRIJWEL ALTIJD P NALEVEREN. SYMBOLEN GEVEN DE RONDES WEER: RONDE 2 (●) EN RONDE 3 (▲)



Naast ijzer, kan ook de beschikbaarheid van zwavel de fosfaatbeschikbaarheid sterk beïnvloeden. De mate waarin de belasting met sulfaat leidt tot eutrofiëring van het oppervlaktewater hangt sterk af van de verhouding tussen de ijzer- en de zwavelvoorraad (totaal-ijzer/totaal-zwavel ratio) van de bodem (Smolders et al., 2006). Er kan met enige zekerheid gezegd worden dat onderwaterbodems met een totaal-Fe/totaal-S ratio hoger dan 1 mol/mol worden gekenmerkt door een hoge Fe/P-ratio van het poriewater (afbeelding 5.5b). In dat geval is er meer ijzer dan zwavel aanwezig en zal de waterbodem geen P naleveren zolang de waterlaag zuurstofhoudend is. Bodems met een totaal-Fe/totaal-S ratio lager dan 0,5 mol/mol daarentegen (dus 2 keer zoveel totaal zwavel als ijzer) zullen vrijwel altijd P naleveren (Kristjansson & Schönheit 1983). Waarschijnlijk hangt de variatie tussen de casussen af van de vorm waarin de zwavel voorkomt in de bodem, als organische zwavel of als ijzersulfide (FeS of FeS_2). Evenals in afbeelding 5.5a is in afbeelding 5.5b wederom te zien dat dezelfde gebieden een lage Fe/P-ratio in het poriewater bevatten (de x-as in afbeelding 5.5a is de y-as in afbeelding 5.5b). Tevens is in afbeelding 5.5b te zien dat met name het OOST, HHNK, ZEGV en VUNT ongunstig lage totaal-Fe/totaal-S ratio's bevatten (weinig ijzer ten opzichte van zwavel) en hiermee ook een hogere kans op een hoge nalevering van fosfor.

SALINITEIT, ZWAVEL EN BASENRIJKDOM

Naast de beschikbaarheid van organische stof en nutriënten kunnen de saliniteit en de sulfaatbeschikbaarheid de uitstoot van broeikasgassen beïnvloeden. Van deze factoren is bekend dat ze zowel de afbraak kunnen stimuleren (in het geval van sulfaat in relatie tot CO_2), maar ook dat deze de afbraak juist kunnen afremmen (in het geval van hogere saliniteit). Voor sulfaat geldt dat hoge concentraties remmend kunnen werken voor de methaanproductie.

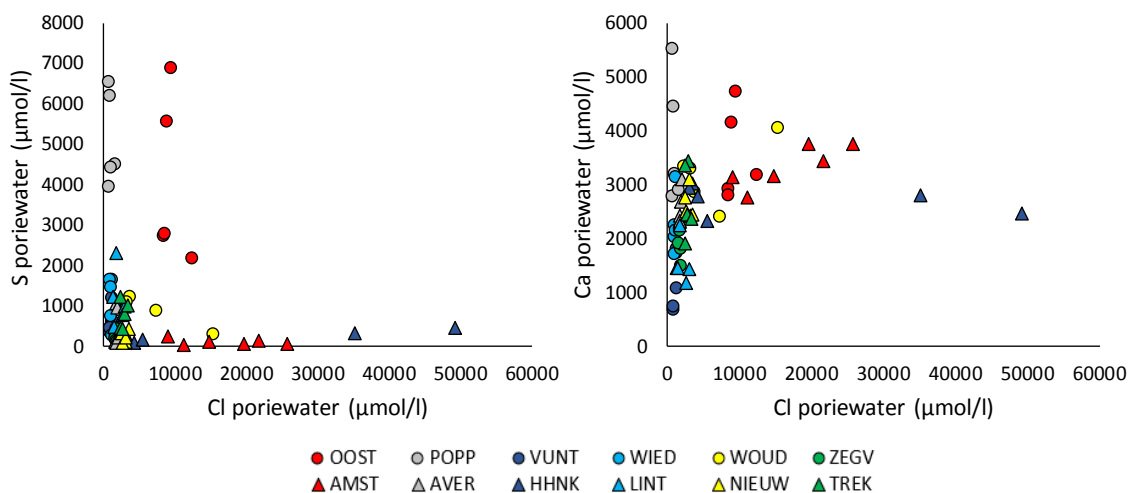
Binnen de onderzochte gebieden blijkt een grote variatie aanwezig te zijn in saliniteit en de sulfaatconcentraties (in afbeelding 5.6 weergegeven als totaal zwavel). Zo blijken er enkele gebieden te zijn met hogere saliniteit (> 300 mg Cl/l, hier uitgedrukt in de chlorideconcentratie). Dit betreffen de gebieden AMST en OOST en enkele locaties in de gebieden HHNK en WOULD.

Dit betreffen allemaal gebieden waarvan bekend is dat deze ofwel door brak grond- of oppervlaktewater beïnvloed worden, ofwel een historische brakwaterinvloed kennen. De overige onderzochte gebieden hebben allemaal een zoutgehalte in het zoete bereik ($< 300 \text{ mg Cl/l}$) (afbeelding 5.6a).

Ook voor de totaal zwavelconcentratie is een duidelijk gradiënt aanwezig. In het lage bereik van saliniteit en totaal zwavel is er voor veel locaties een verband tussen beide factoren, in het hogere bereik is dit niet het geval. Zo is in de gebieden AMST en HHNK een sterke saliniteit gradiënt aanwezig terwijl deze in veel mindere mate terugkomt in de totaal zwavelconcentraties. Enkele andere gebieden zoals POPP en OOST laten juist een sterke gradiënt in totaal zwavelconcentraties zien terwijl deze hier in mindere mate terugkomt in de saliniteit. Dit verschil zit waarschijnlijk in de herkomst van water. AMST en HHNK worden (deels) beïnvloed door het zoute Noordzeekanaal. In POPP en OOST is het water uit de percelen waarschijnlijk bepalend.

Over het algemeen is er een verband tussen de saliniteit en de basenrijkdom van de waterbodems. Dit komt met name in het lagere saliniteitsbereik tot uiting (afbeelding 5.6b). Voor enkele locaties, met name de sterk door zout beïnvloede locaties gaat dit niet op, zoals locaties binnen AMST, HHNK, OOST en WOUD.

AFBEELDING 5.6 DE SALINITEIT (CL IN PORIEWATER) UITGEZET TEGEN A. ZWAVEL IN PORIEWATER EN TEGEN B. EEN INDICATOR VAN BASENRIJKDOM (CA IN PORIEWATER). SYMBOLEN GEVEN DE RONDEN WEER: IN RONDE 2 (●) EN RONDE 3 (▲)



5.3 ANALYSE VAN OVEREENKOMSTEN EN VERSCHILLEN

Uit de vorige paragraaf wordt duidelijk dat de verschillen tussen casussen en locaties groot zijn en dat ze niet altijd eenvoudig te verklaren zijn uit eenvoudige relaties, zoals uit de verschillen in het organisch stofgehalte. Om hier toch meer inzicht in te krijgen zijn statistische datareductie methodes toegepast. In deze paragraaf beschrijven we de analyse van overeenkomsten en verschillen tussen gebieden op basis van clusteranalyse en PCA.

CLUSTERANALYSE

Met een clusteranalyse is onderzocht in hoeverre de casussen en locaties op elkaar lijken. Daarbij is gebruik gemaakt van de in paragraaf 5.1 en 5.2 beschreven parameters (veldgegevens, waterbalans, bodem- en porienvochtanalyse). Uit de clusteranalyse volgt een robuuste verdeling in 2 clusters van locaties. Deze zijn weergegeven in afbeelding 5.7. De

verdeling is robuust, omdat deze niet verandert van samenstelling als er iteratief verschillende combinaties van parameters geclusterd worden.

We kunnen de volgende twee robuuste clusters onderscheiden:

- **Cluster 1** (oranje afbeelding 5.7): bestaat uit alle locaties uit ronde 2 (OOST, POPP, VUNT, WIED, ZEGV), behalve de Woudse droogmakerij (WOUD);
- **Cluster 2** (groen afbeelding 5.7): bestaat uit alle locaties van ronde 3 (AMST, AVER, HHNK, LINT, NIEUW, TREK) en de Woudse droogmakerij (WOUD).

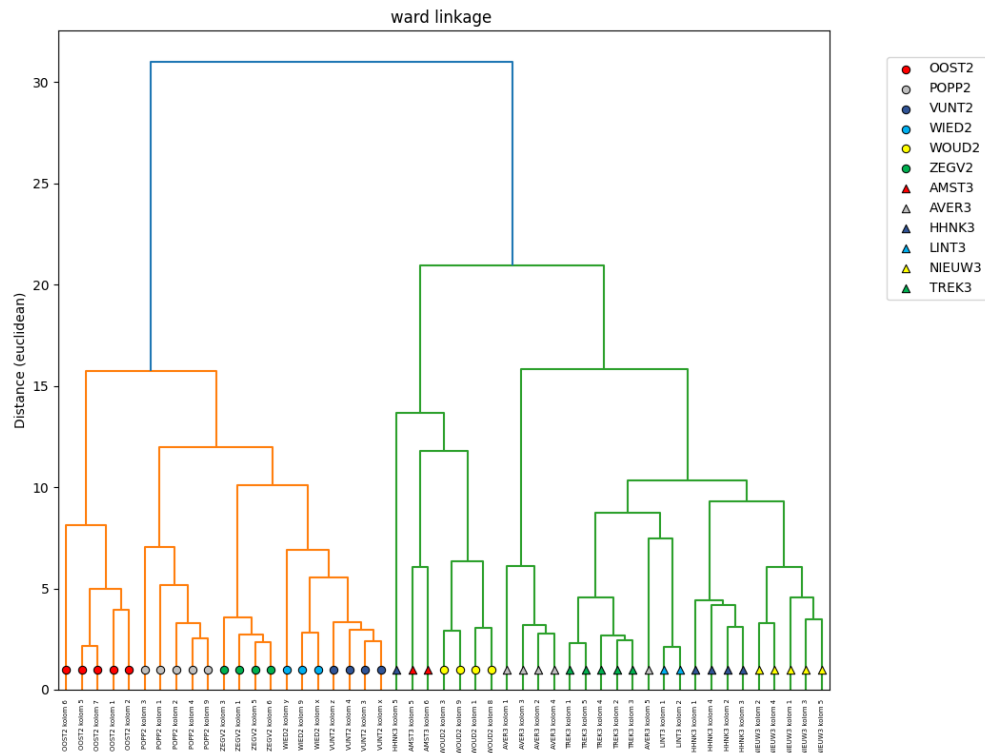
Uit deze analyse volgt dat er sprake is van een relatief grote gelijkensis tussen de locaties binnen elke casus. Het verschil tussen casussen is juist relatief groot. Vrijwel alle locaties binnen een casus vormen een eigen groep (afbeelding 5.7).

Binnen het eerste cluster (oranje in afbeelding 5.7) zijn meerdere subclusters te onderscheiden met enerzijds casus OOST en anderzijds VUNT, WIED, ZEGV en POPP. Casus OOST lijkt binnen cluster 1 dus het minst op de andere locaties. De locaties binnen WIED en VUNT vertonen de grootste gelijkensis.

Ook binnen het tweede cluster (groen in afbeelding 5.7) zijn meerdere subclusters te onderscheiden met enerzijds AMST en WOUD en één locatie binnen HHNK, en anderzijds AVER, TREK, LINT, HHNK en NIEUW.

Van de casussen HHNK en AVER is beide één locatie niet goed vergelijkbaar met de andere locaties binnen de casus. Zo lijkt HHNK kolom 5 meer op de AMST locaties. Dit is te verklaren op grond van de herkomst van het water in deze specifieke locaties. De herkomst vertoont meer overeenkomsten met de AMST locaties dan met andere HHNK locaties. Ditzelfde zien we voor AVER kolom 5, welke meer gelijknissen vertoont met de locaties binnen de casus LINT dan met de overige locaties binnen AVER. AVER kolom 5 is uit het Overijssels kanaal voordat het Aver ingaat. Dit verklaart gelijkensis met LINT.

AFBEELDING 5.7 CLUSTERING (WARD'S LINKAGE) VAN DE VERSCHILLENDE CASUSSEN OP BASIS VAN DATA UIT HET VELD, BODEM, BODEMPORIEVOCHT, ROCK EVAL, WATERBALANS (EXCLUSIEF GHG FLUX DATA). SYMBOLEN GEVEN DE RONDES WEER: IN RONDE 2 (●) EN RONDE 3 (▲)



PCA

Vervolgens is aan de hand van een principale componenten analyse (PCA) de complexe dataset verder gesimplificeerd om zo patronen te herkennen en visualisaties mogelijk te maken. Net als de clusteranalyse laat de PCA zien dat de verschillen tussen locaties veel kleiner zijn dan tussen casussen (afbeelding 5.8).

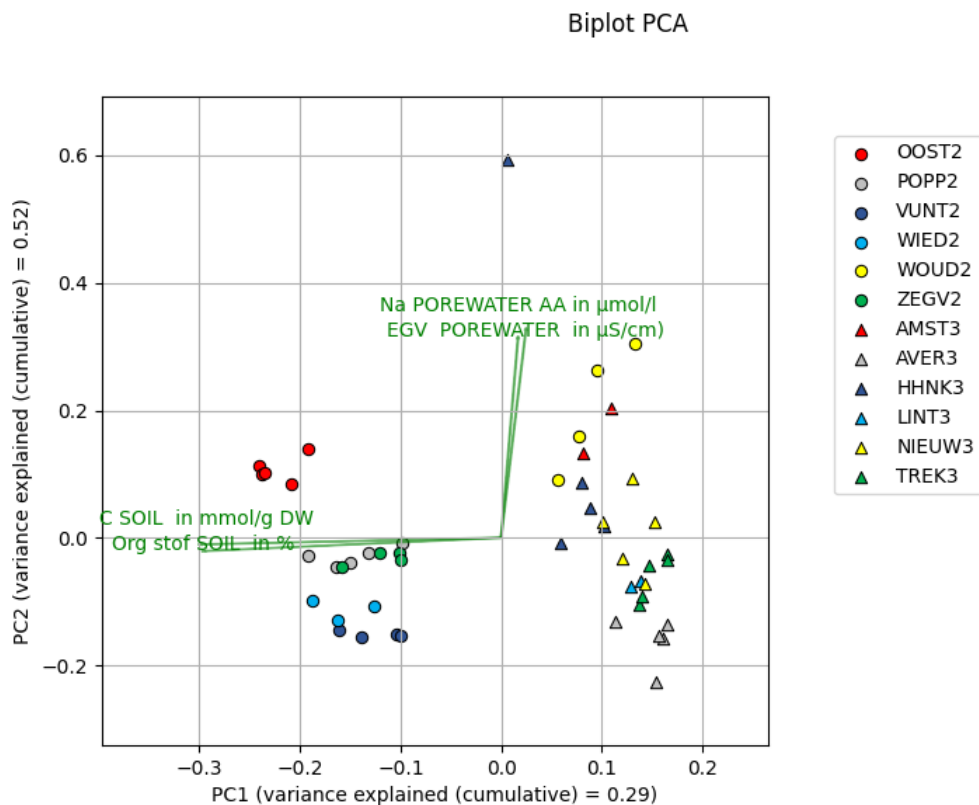
Uit de PCA (hier zonder varimax ofwel ongeroteerd) volgt dat de verschillen in locaties te verklaren zijn op basis van een beperkt aantal parameters. De parameters die het meest bijdragen aan het verschil tussen de locaties zijn (in totaal 61 %):

- As 1 (verklaart 29 % van het verschil): voor deze as is de organische stof concentratie bepalend. Het betreft zowel het organische materiaal in de bodem (OM soil) als de hoeveelheid koolstof in de bodem (C Soil). Deze as bepaalt ook het verschil tussen de twee clusters. In afbeelding 5.8 is te zien dat de locaties van cluster 1 links van de waarde 0 op de horizontale as liggen en de locaties van cluster 2 rechts;
- As 2 (verklaart 23 % van het verschil): voor deze as is de zoutconcentratie in het bodemporievocht bepalend. Het gaat om het Na-gehalte en de EGV in het poriewater;
- As 3 (verklaart 9 % van het verschil): voor deze as is het debiet bepalend. Het debiet is niet zichtbaar in afbeelding 5.8, omdat die op een derde as valt. Met deze as worden de locaties in de Averlosche Leide met een hoog debiet verklaard. Ook de parameter OI (resultaat van de RockEval analyse) correleert met deze as en in mindere mate het ijzergehalte in het poriewater.

Er zijn nog drie assen die elk meer dan 5 % van de verschillen tussen locaties verklaren (niet afgebeeld). Hierin komen onder andere de volgende parameters terug: waterdiepte (as 4), MINC (as 5; dit is een resultaat van de RockEval analyse) en doorzicht (as 6).

Dit bevestigt het beeld van de eerdere analyses per parameter in de vorige paragrafen, waar een hoge saliniteit werd gevonden in casussen die vallen in cluster 2 (figuur 5.6), een hoog organisch stofgehalte werd gevonden in casussen die onder cluster 1 vallen (figuur 5.3) en een gemiddeld hoger debiet en meer variatie in het debiet bij casussen die vallen onder cluster 2 (figuur 5.2). Ook de PCA laat zien dat de verschillen tussen locaties gemiddeld veel kleiner zijn dan tussen casussen. Dit komt overeen met het beeld dat de clusteranalyse (afbeelding 5.7) laat zien, waarbij de casussen en de locaties binnen elke casus bij elkaar clusteren. Anders gezegd: met de gemeten parameters (veld, bodem en waterkwaliteit analyses en waterbalans) kunnen we specifiek onderscheid maken tussen de rondes en casussen.

AFBEELDING 5.8 PRINCIPALE (OF BASIS) COMPONENTENANALYSE (NIET GEROTEERD) MET HIERIN WEERGEGEVEN DE TWEE MEEST VERKLARENDE PARAMETERS PER AS. SYMBOLEN GEVEN DE RONDEN WEER: IN RONDE 2 (●) EN RONDE 3 (▲)



5.4 BROEIKASGASEMISSIES EN STUURFACTOREN

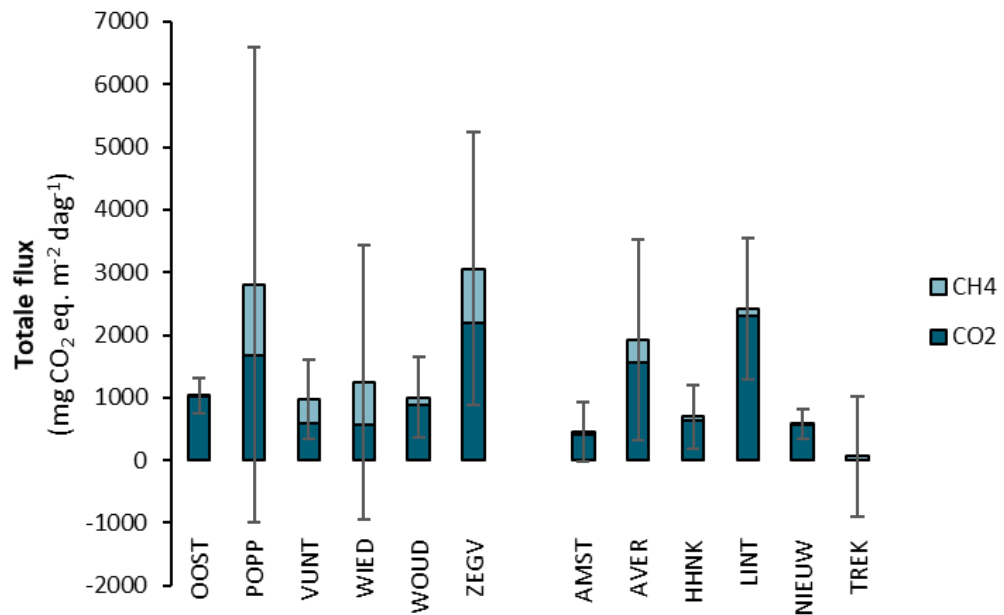
In deze paragraaf wordt ingegaan op de gemeten broeikasgasemissies per casus. Vervolgens wordt een relatie gelegd met mogelijke stuurfactoren.

5.4.1 CO₂ EN CH₄ FLUX METINGEN

In alle locaties die we bemen hebben met korte flux metingen (MGGA AUC) is een netto emissie van zowel CO₂ als CH₄ waargenomen. Er is grote variatie in de gemiddelde CO₂ en CH₄ uitstoot. Zo varieert de gemiddelde uitstoot per casus van CO₂ van minder dan 100 CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (in TREK) tot meer dan 2000 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (in LINT en ZEGV) en de uitstoot van CH₄ van minder dan 10 (in bijvoorbeeld OOST) tot circa 1000 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (in POPP). Als we de totaal gemeten broeikasgasemissie bekijken, dan bestaat het grootste aandeel van die emissies uit CO₂-emissie (afbeelding 5.9). De verdeling tussen het aandeel CO₂ en CH₄ is casusspecifiek. Zo is het aandeel CH₄ in WIED gemiddeld groter dan CO₂.

NB! We schatten in dat de CH₄-emissie onderschat wordt met de gehanteerde methode, omdat deze methode alleen de diffusie meet.

AFBEELDING 5.9 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM DIE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (DONKERBLAUW) EN CH₄ (LICHTBLAUW) PER CASUS.



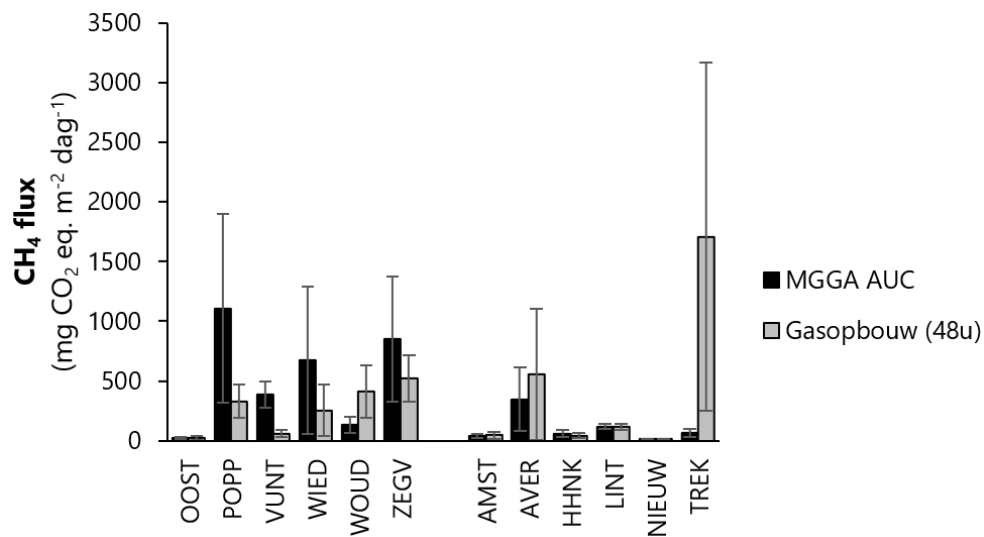
5.4.2 GASOPBOUW

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) van methaan heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouwmeting uitgevoerd. In de vergelijking met de korte flux data (MGGGA AUC) valt op dat ebullitie (gasopbouw 48 uur) in sommige casussen (WOOD, LINT, AVER, TREK, afbeelding 5.10) een veel grotere rol speelt dan in anderen. De grote spreiding op elke grafiek maakt duidelijk dat ebullitie een zeer ongreepbaar en stochastisch proces blijft, met veel variatie tussen de replica's.

De ebullitie levert mogelijk een (zeer) grote bijdrage aan de totale omvang van de broeikasgasemissie uit een watersysteem. Ook brengt het enorm veel variatie met zich mee en is de variatie per locatie groot. Het stochastische karakter van deze manier van broeikasgasemissies liet zich echter lastig vangen en behoeft nader onderzoek.

NB. We schatten in dat de ebullitie (fors) onderschat wordt met de gehanteerde methode (zie voor uitleg Bijlage 2).

AFBEELDING 5.10 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA, IN ZWART) EN GASOPBOUW (48 UUR (IN GRIJS))



5.4.3 STUURFACTOREN VOOR BROEIKASGASEMISSIES

Aan de hand van een stapsgewijze regressie is per cluster geanalyseerd wat de (stuur)factoren zijn die de broeikasgasemissies bepalen. Voorafgaand aan de stapsgewijze regressie, is er een onderscheid gemaakt in clusters, zoals die uit de clusteranalyse kwamen (cluster 1 en cluster 2). Zonder dit onderscheid zijn er nauwelijks patronen en factoren te herkennen die de broeikasgasemissie verklaren. In de laatste alinea in deze paragraaf gaan we hier verder op in.

VERKLARENDE FACTOREN BROEIKASGASEMISSIES VOOR VENIGE SYSTEMEN EN SLOTEN (CLUSTER 1)

Zoals eerder beschreven bestaat het eerste cluster (cluster 1) uit alle locaties uit ronde 2 (OOST, POPP, VUNT, WIED, ZEGV), behalve de Woudse droogmakerij (WOUD). De locaties die onder cluster 1 vallen, kenmerken zich door een hoog organisch stofgehalte. Dit zijn de venige systemen en sloten.

Totale broeikasgasemissie

Voor het eerste cluster kan de totale gemeten broeikasgasemissie redelijk goed verklaard worden. Zo'n 80 % van de verkregen totale broeikasgasemissies is te verklaren aan de hand van de gemeten parameters ($r^2 = 0,8$, afbeelding 5.11), waarbij de volgende parameters bepalend zijn: organische stof (DOC-poriewater en TOC Rock Eval), nutriënten (NH₄-porievocht, P-porievocht), zouten in de bodem (Totaal K en totaal Na in de bodem) en tot slot de pH van het porievocht.

CH₄-emissie

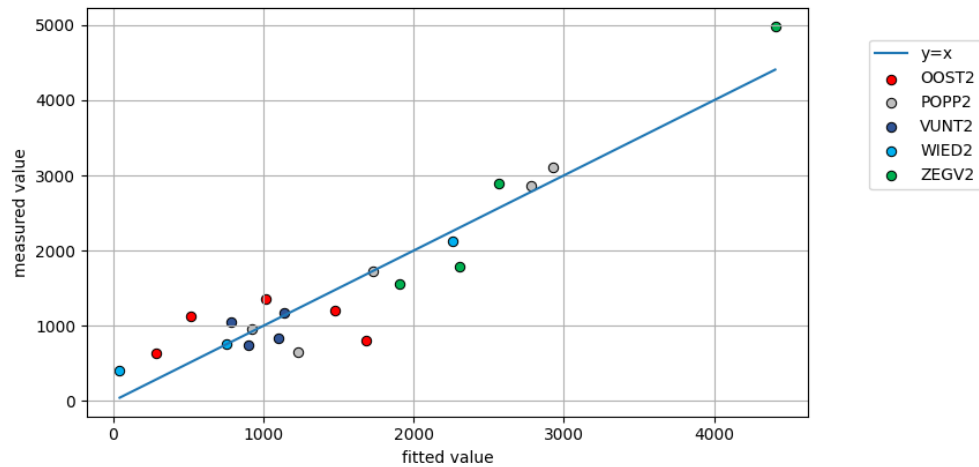
Ook de CH₄-emissies blijken goed verklaard te kunnen worden aan de hand van gemeten parameters ($R^2 = 0,75$, afbeelding niet opgenomen), waarbij de bepalende parameters vergelijkbaar zijn als voor de totale broeikasgasemissie. Het gaat om organische stof (gehalte en afbreekbaarheid), nutriënten (NH₄, P in porievocht, N in bodem) en de pH van het porievocht.

CO₂-emissie

De CO₂-emissies zijn ook goed te verklaren met behulp van de gemeten parameters ($r^2 = 0,81$, afbeelding niet opgenomen), waarbij de volgende parameters het meest bepalend zijn: het debiet, organische stof (in de bodem), nutriënten, (P in de bodem en NH₄ porievocht), zouten in porievocht (K), zwavel, doorzicht in het veld en tot slot ook de hoeveelheid slib in de kolom.

AFBEELDING

5.11 STAPSGEWIJZE REGRESSIE ANALYSE VAN DE TOTALE BROEIKASGASEMISSIE ($\text{CO}_2_{\text{EQ. M}^{-2} \text{ D}^{-1}}$) VAN CLUSTER 1 TEGEN ALLE BODEM, BODEMPORIEVOCHT, WATER, WATERBALANS EN VELD PARAMETERS ($R^2 = 0,8$; FORMULE: $-16075,6 + 1736,6 \text{ LOG}(\text{DOC_POREWATER_AA}) + 2456,0 \text{ SQRT}(\text{ARCSIN}(\text{NH}_4\text{-POREWATER+AA}/1108)) - 111,0 * \text{TOC_ROCK_EVAL} - 643,2 \text{ LOG}(\text{P_POREWATER_ICP}) + 1965,1 * \text{MINC_ROCK_EVAL} + 2368,6 \text{ SQRT}(\text{ARCSIN}(\text{TOT_K_SOIL}/43)) - 460,1 \text{ LOG}(\text{TOT_NA_SOIL}) + 4147,0 \text{ SQRT}(\text{ARCSIN}(\text{PH_POREWATER}/7))$)



VERKLARENDE FACTOREN BROEIKASGASEMISSIES VOOR BOEZEMS, WETERINGEN EN KANALEN (CLUSTER 2)

Het tweede cluster (cluster 2) bestaat uit alle locaties van ronde 3 en de Woudse droogmakerij (AMST, AVER, HHNK, LINT, NIEUW, TREK, WOULD). De locaties in cluster 2 zijn relatief arm in organisch stofgehalte en voor een aantal is een hoog debiet kenmerkend. Cluster 2 omvat de boezems, weteringen en kanalen.

Totale broeikasgasemissie

Voor het tweede cluster kan de totale broeikasgasemissie veel minder goed verklaard worden ($r^2 = 0,39$, afbeelding 5.12). Slechts 39% van de verkregen totale broeikasgasemissie resultaten kan verklaard worden met behulp van de gemeten parameters. De volgende parameters zijn hierbij bepalend: zouten in de bodem (Totaal K in de bodem), inorganische stof (TIC van het porievocht), nutriënten (NO_3 porievocht) en tot slot het debiet. Waarschijnlijk is de totale broeikasgasemissies moeilijk te verklaren omdat de CH_4 -flux moeilijk te verklaren is.

CH_4 -emissie

De CH_4 -flux is moeilijk te verklaren ($r^2 = 0,28$, afbeelding niet opgenomen). Organische stof (-gehalte en afbreekbaarheid) en de pH van het oppervlaktewater zijn nog het meest verklarend.

CO_2 -emissie

De CO_2 -emissies zijn wel goed te verklaren met behulp van de gemeten parameters ($r^2 = 0,83$, afbeelding niet opgenomen). Hierbij zijn de volgende parameters het meest bepalend: zout (K in de bodem), pH (in de kolom), organische stof (TOC Rock Eval, TIC-porievocht), nutriënten (NH_4 -porievocht), zwavel (S-porievocht) en tot slot ook de hoeveelheid slib in de kolom.

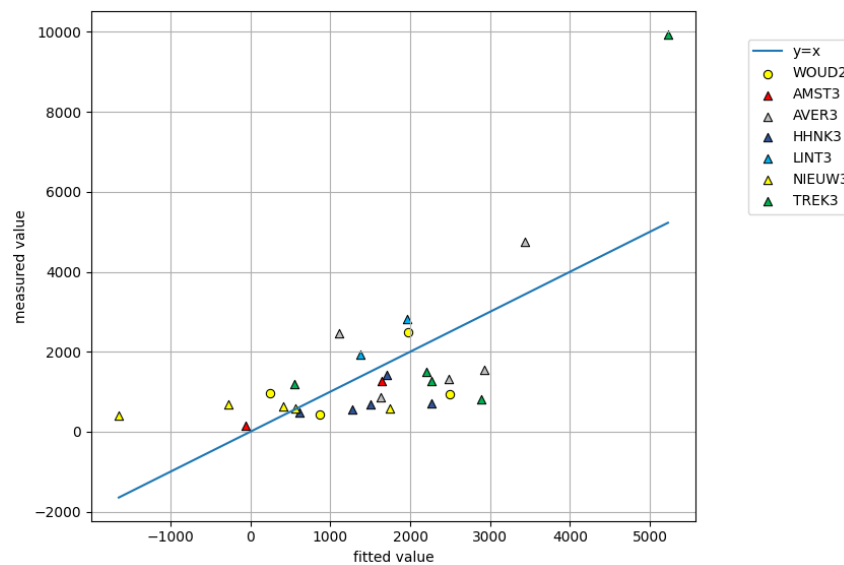
EVALUATIE

Het is opvallend dat de totale broeikasgasemissies en de CH_4 -emissie in cluster 1 (locaties die rijk zijn aan organische materiaal) relatief goed te correleren zijn aan de hand van de gemeten parameters, in tegenstelling tot cluster 2 (locaties die relatief arm zijn aan organische materiaal en in enkele gevallen hoge debieten kennen). Mogelijk is dit het gevolg van grote variatie in debieten tussen de casussen in cluster 2. Hierdoor is er mogelijk een mix van

zogenaamde proces gestuurde watersystemen met een verblijftijd groter dan 3 dagen (waar de nutriëntenbelasting bepalend is voor de waterkwaliteit) en transport_gestuurde watersystemen met een verblijftijd korter dan 3 dagen (waar de kwaliteit van het aanvoerwater bepalend is voor de waterkwaliteit).

Tot slot zagen we met de gasopbouw metingen dat de CH₄-emissies voor de casussen (als gevolg van ebullitie) in cluster 2 hoger zijn dan in cluster 1. Het stochastische karakter van ebullitie resulteert in grote variatie in gemeten CH₄-emissies, waardoor deze CH₄-emissies in cluster 2 mogelijk ook minder goed te verklaren zijn.

AFBEELDING 5.12 STAPSGEWIJZE REGRESSIE ANALYSE RESULTAAT VAN DE TOTALE BROEIKASGASEMISSIE (CO₂ EQ, M² D⁻¹) IN CLUSTER 2 TEGEN ALLE BODEM, BODEMPORIEVOCHT, WATER, WATERBALANS EN VELD PARAMETERS (R²=0,39; FORMULE: 4529,4 - 1691,4 LOG(TOT_K_SOIL) + 0,5 * TIC_POREWATER + 889,6 LOG(NO3_POREWATER_AA) - 619,3 LOG(DEBIET_WATERBALANS))



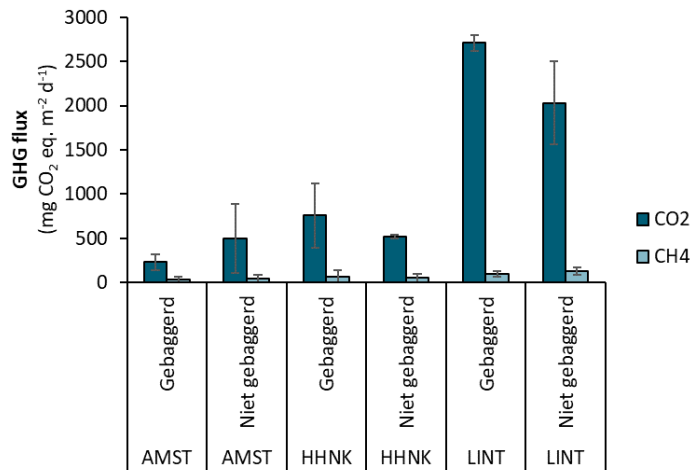
5.4.4 LOCATIES VOOR EN NA BAGGEREN

In ronde 3 is er bij enkele casussen een focus geweest op al dan niet een recent gebaggerde meetlocatie. In de casussen AMST, HHNK en LINT zijn er meetlocaties geweest die recent (< 5 jaar geleden) gebaggerd zijn en locaties die al langer of nooit gebaggerd zijn. In afbeelding 5.13 is te zien dat er geen eenduidige verschillen zijn tussen de gebaggerde en niet-gebaggerde locaties binnen elke casus.

Enkel de emissie van CO₂ in AMST lijkt substantieel lager in een gebaggerde situatie ten opzichte van een niet gebaggerde situatie. Bij HHNK en LINT is er juist meer emissie van CO₂ in een gebaggerde situatie ten opzichte van een niet gebaggerde situatie. Dat er geen eenduidige verschillen zijn heeft onder andere te maken met het feit dat er na baggeren altijd wel slib achterblijft. Zowel de slibsamenstelling als de samenstelling van onderliggende waterbodem zijn sterk bepalend voor de emissie voor en na baggeren, alsmede andere locatie-specifieke condities.

Tenslotte is opvallend dat in alle gevallen ook hier de CO₂-emissie veruit het meest bijdraagt aan de totale broeikasgasemissies. Het betreft dus steeds slib met een redelijk tot goede kwaliteit. Ook dat kan medebepalend zijn voor dit onduidelijke beeld.

AFBEELDING 5.13 EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹) VAN CO₂ EN CH₄ PER CASUS MET HET VERSCHIL TUSSEN RECENT GEBAGGERD EN NIET RECENT GEBAGGERD



Samengevat is er netto broeikasgas uitstoot (zowel CO₂ als CH₄) gemeten in alle casussen, waarbij het grootste aandeel van de emissie te wijten is aan uitstoot van CO₂. Een vergelijking tussen gebaggerde en niet-gebaggerde locaties binnen casussen laat geen eenduidig effect zien op de broeikasgasemissie, om hier meer over te weten te komen is gericht onderzoek onder gecontroleerde condities nodig waarbij baggeren gesimuleerd kan worden.

5.5 BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN VELD- EN LABANALYSES

De belangrijkste resultaten van de veld- en labanalyses zijn:

- op basis van de resultaten ten aanzien van systeemeigenschappen, bodem- en bodemvochtkwaliteit is te zien dat we een breed scala aan watertypes in Nederland bemeten hebben;
- de onderzochte locaties zijn duidelijk op te delen in twee clusters op basis van de gemeten parameters. Deze clustering is te verklaren met specifieke eigenschappen:
 - cluster 1 kenmerkt zich door kleinere wateren (sloten, petgaten, plassen) met een hoog organisch stofgehalte;
 - cluster 2 kenmerkt zich door boezems, weteringen, kanalen met een relatief laag organisch stofgehalte. Verder zit er in dit cluster een aantal systemen met een hoog debiet;
- een ander belangrijk verschil tussen locaties is de saliniteit;
- in alle locaties die we bemeten hebben is een netto emissie van zowel CO₂ als CH₄ waargenomen.
 - de broeikasgasemissie bestaat voor het grootste deel uit CO₂ emissies;
- de uitstoot per casus varieert voor CO₂ van 100 tot meer dan 2000 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹;
- de uitstoot per casus varieert voor CH₄ van minder dan 10 tot circa 1000 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ exclusief ebullitie;
- de gemeten totale broeikasgasemissie en CH₄emissie zijn in de organische rijkere gebieden goed te verklaren door de parameters: organische stof (DOC-porievocht en TOC rock Eval), nutriënten (NH₄-porievocht, P-porievocht), zouten in de bodem (Totaal K en totaal Na in de bodem) en pH van het porievocht;
- het gebrek aan verklaring voor CH₄-emissies in cluster 2 ligt mogelijk aan de grote variatie in debiet en daarmee een overgang tussen systemen die overwegend proces-gestuurd zijn (laag debiet) naar systemen die transport-gestuurd zijn (hoog debiet);

- tabel 5.1 geeft een overzicht van systeemkenmerken, stuurfactoren die invloed hebben op broeikasgasemissie en de relatie (positief of negatief);
- de gemeten broeikasgasemissies laat zich in de overige gebieden in dit onderzoek niet goed verklaren. De meest verklarende parameters hier waren organische stof (gehalte en afbreekbaarheid) en de pH van het oppervlaktewater.
- Een vergelijking tussen gebaggerde en niet-gebaggerde locaties binnen casussen laat geen eenduidig effect zien op de broeikasgasemissie.

TABEL 5.1

OVERZICHT VAN SYSTEEMKENMERKEN EN STUURFACTOREN, EN HUN RELATIE TOT BROEIKASGAS EMISSIES

Systeemkenmerken	Stuurfactoren die invloed hebben op broeikasgas emissie	Relatie ¹⁰
ondiepe meren en plassen, zeer laag debiet	organische stof in oppervlaktewater (DOC oppervlaktewater)	+
	nutriënten in oppervlaktewater (N, P oppervlaktewater)	+
organische rijkere systemen (cluster 1)	organische stof in bodem porievocht (DOC poriewater en TOC rock Eval),	+
	nutriënten in bodem porievocht (NH ₄ porievocht, P porievocht),	N +, P -
	zouten in de bodem (Totaal K en totaal Na in de bodem),	K +, Na -
	pH van het bodem porievocht	K +, Na -
organische armere systemen met soms een hoog debiet (cluster 2)	zouten in de bodem (Totaal K in de bodem),	-
	anorganische koolstof in bodemporievocht (TIC van het porievocht),	+
	nutriënten in bodem porievocht (NO ₃ porievocht)	+
	debiet	-

10 De stuurfactoren genoemd in de kolom hiervoor hebben een stimulerend (+) of remmend (-) effect op de broeikasgasemissie. Deze relatie is hier weergegeven middels + en -, waarbij + betekent dat broeikasgasemissie toeneemt als deze stuurfactor hoger wordt en - betekent dat de broeikasgasemissie afneemt naarmate deze stuurfactor hoger wordt. Relaties zijn afkomstig uit de stapsgewijze regressie analyses per cluster.

6

RESULTATEN: MODELLERING

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het broeikasgasmodel BlueCAN beschreven en toegelicht. Er wordt achtereenvolgens ingegaan op de validatie aan de hand van de casussen in ronde 2 en ronde 3 (2021), op de modelmatige relatie tussen de broeikasgasemissies en de nutriëntenbelasting en op de quickscan tool en webapplicatie BlueScan. De opzet van het model en het daarbij gevolgde stappenplan staan beschreven in hoofdstuk 4.6.

6.1 MODELRESULTATEN NA KALIBRATIE

Afbeelding 6.1 vergelijkt de gemeten emissies (bovenste paneel) en de gemodelleerde emissies (onderste paneel) voor de stadsvijver in Malden. Overigens variëren de gemodelleerde waarden tussen de jaren. In afbeelding 6.1 wordt het jaar met de beste visuele match getoond. Afbeelding 6.2 laat de gemodelleerde emissies over een langere periode (5 jaar) zien. Ondanks dat de emissiepatronen tussen de jaren verschillen, is de jaargemiddelde uitstoot behoorlijk constant. Deze varieert tussen de 7.0 en 7.4 gCO₂ eq./m²/d.

Afbeelding 6.1 laat zien dat er na de kalibratie een goede visuele match ('door de oogharen') is tussen gemeten en gemodelleerde broeikasgasemissies, met name qua timing en relatieve verhouding van de verschillende fluxen. Het gekalibreerde model volgt vrijwel alle geobserveerde patronen in broeikasgasemissies:

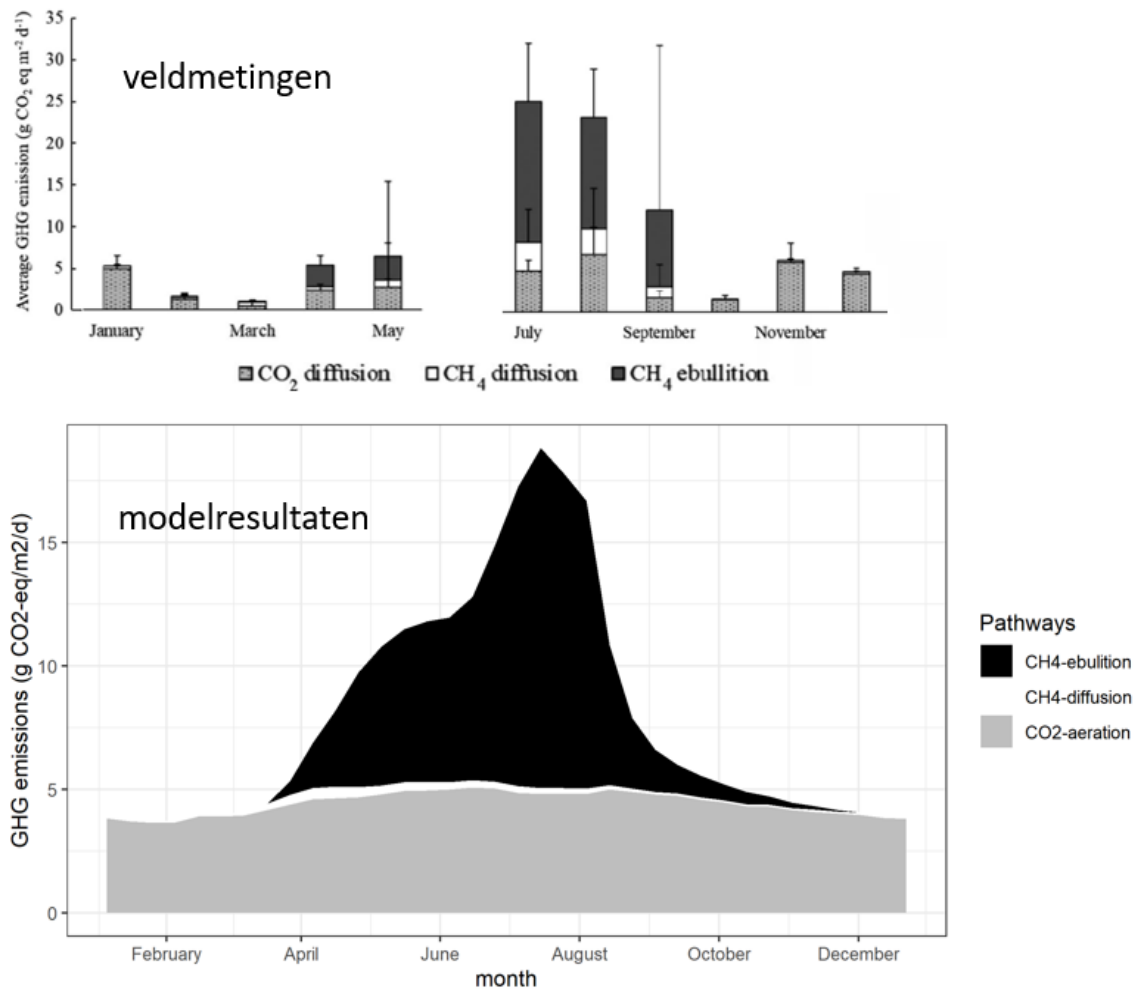
- de broeikasgasemissies tonen een duidelijke seizoensdynamiek;
- CO₂ emissie vindt jaarrond plaats (met een dip in het voorjaar en najaar);
- diffusie/volatilisatie en ebullitie van CH₄ naar de lucht vindt alleen in de zomer plaats;
- ongeveer de helft van de gegenereerde CH₄ wordt geoxideerd naar CO₂.

Er zijn ook verschillen. De gemodelleerde fluxen zijn iets lager dan de gemeten fluxen, maar wel zitten ze in de juiste orde-grootte. Voor het model moest hiertoe wel uitgegaan worden van een erg hoge nutriëntenbelasting op de stadsvijver, maar dit is niet onrealistisch aangezien de stadsvijver juist was geselecteerd op zijn hoge eutrofiëringsgraad (pers com. Sarian Kosten, 2022). De voorjaars- en najaarsdip in broeikasgasemissies die zichtbaar is in de metingen, komt niet duidelijk naar voren in de modelresultaten van de stadsvijver. Wel is een dergelijke dip zichtbaar in een aantal andere casussen (zoals bijvoorbeeld in de Oostmadeplas uit ronde 1, zie afbeelding 6.5). Dit alles versterkt ons vertrouwen in de accuraatheid van het broeikasgasmodel, zowel kwalitatief als kwantitatief (ordegrootte van de resultaten). Met name als het gaat om hoog belaste systemen.

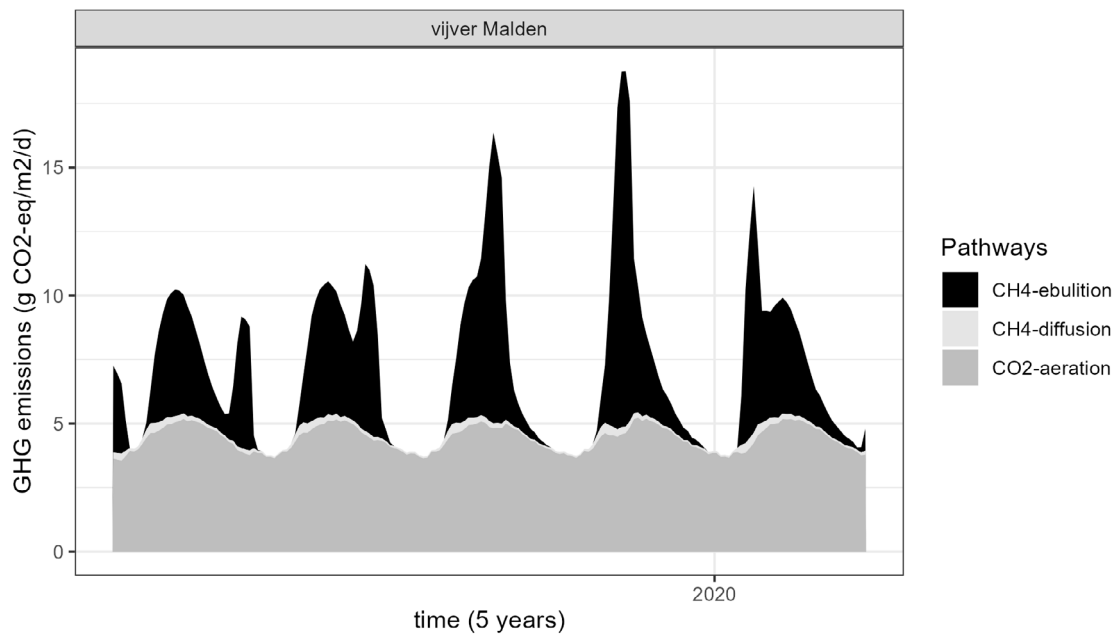
Bij bovenstaande resultaten moet nadrukkelijk worden gesteld dat de stadsvijver in Malden slechts één specifieke casus is, een hoog belaste stadsvijver, die niet representatief is voor alle de watersystemlichamen in Nederland. Voor de kalibratie zou het wenselijk zijn om over resultaten te beschikken van andere watersystemen (laag en hoog belast, lijnvormig en meren en plassen, diverse sedimenttypen diverse ecologische toestanden, etc.) en zou een

jaarronde kalibratie wenselijk zijn. Met name waterplanten en helofyten zijn een compli- cerende factor als het gaat om broeikasgasemissies, maar ook verschillende sedimenttypes kunnen van belang zijn. Er zijn dit moment echter nog weinig andere geschikte casussen beschikbaar voor kalibratie van het broeikasgasmodel, omdat er nog heel weinig intensief aan broeikasgasemissies gemeten wordt, hoewel dit recent wel aan het veranderen is (bijvoor- beeld in het NOBV en het DuNaG onderzoek wordt nu frequenter gemeten, maar de resul- taten van deze onderzoeken zijn niet op tijd beschikbaar geweest voor de kalibratie van het BlueCAN model (zie Bijlage 3).

AFBEELDING 6.1 GEMETEN (BOVEN) EN GEMODELLEERDE (ONDER) GHG-EMISSIES (GCO₂-EQ/M²/D) IN DE STADSVIJVER IN MALDEN. DE EMISSIES BESTAAN UIT REAERATIE VAN CO₂ (GRIJS), DIFFUSIE VAN CH₄ (WIT), EN EBULLITIE VAN CH₄ (ZWART). DE GEMODELLEERDE WAARDEN EN PATRONEN VARIËREN TUSSEN DE JAREN. IN DIT FIGUUR WORDT HET JAAR GETOOND MET DE BESTE VISUELE MATCH. DE AFBEELDING VAN DE METINGEN IS BEWERKT OP BASIS VAN (BERGEN ET AL., 2019)



AFBEELDING 6.2 GEMODELLEERDE BROEIKASGASUITSTOOT (GCO₂ EQ/M²/D) IN DE STADSVIJVER IN MALDEN OVER EEN PERIODE VAN 5 JAAR. DIT GEDRAG HERHAALT ZICH ELKE 5 JAAR OP ONGEVEER DEZELFDE MANIER



6.2 VALIDATIE

Oorspronkelijk was het idee was om het BlueCAN model te valideren op basis van een vergelijking tussen de gemeten en gemodelleerde broeikasgasemissies in alle BlueCAN casussen. Echter, de modelresultaten en metingen mogen eigenlijk niet direct met elkaar vergeleken worden omdat beide resultaten in essentie geheel anders zijn (zie ook onderstaand kader). De vergelijking is toch gemaakt om meer inzicht te krijgen in waar het broeikasgasmodel goed lijkt te presteren en waar verbeteringen mogelijk zijn. Daarnaast helpt het ook om de resultaten van metingen beter te duiden wat weer van belang is voor het begrip van onderliggende processen en de relevantie van elk van die processen. Maar feitelijk vormt deze vergelijking dus geen gedegen validatie van het BlueCAN model.

Waarom mogen modelresultaten en metingen niet direct worden vergeleken?

Vanuit metingen en model wordt er naar twee geheel verschillende zaken gekeken. Het belangrijkste verschil is dat de metingen slechts momentopnamen zijn (want slechts op één enkel moment bemonsterd), terwijl de getoonde modelresultaten jaargemiddeldes zijn, waarbij ook nog eens uitgegaan wordt van een evenwichtssituatie. Hier is voor gekozen omdat de langjarige gemiddelde broeikasgasemissie in steady state een betere indicator is van de werkelijke broeikasgasuitstoot van een watersysteem dan een momentopname, zeker gezien het bekend is dat de natuurlijke variatie van onder andere de CH₄-emissies tijdens de dag nogal groot is. Daarnaast zijn de metingen uitgevoerd in het laboratorium en niet in veld. Tijdens het steken en het transport van de sedimentkolommen gaat een deel van het gas en de oorspronkelijke structuur verloren. Ook zijn de omstandigheden in het laboratorium wezenlijk anders dan in het veld.

Naast bovenstaande essentiële verschillen tussen metingen en modelresultaten, bestaan er nog andere verschillen tussen metingen en model:

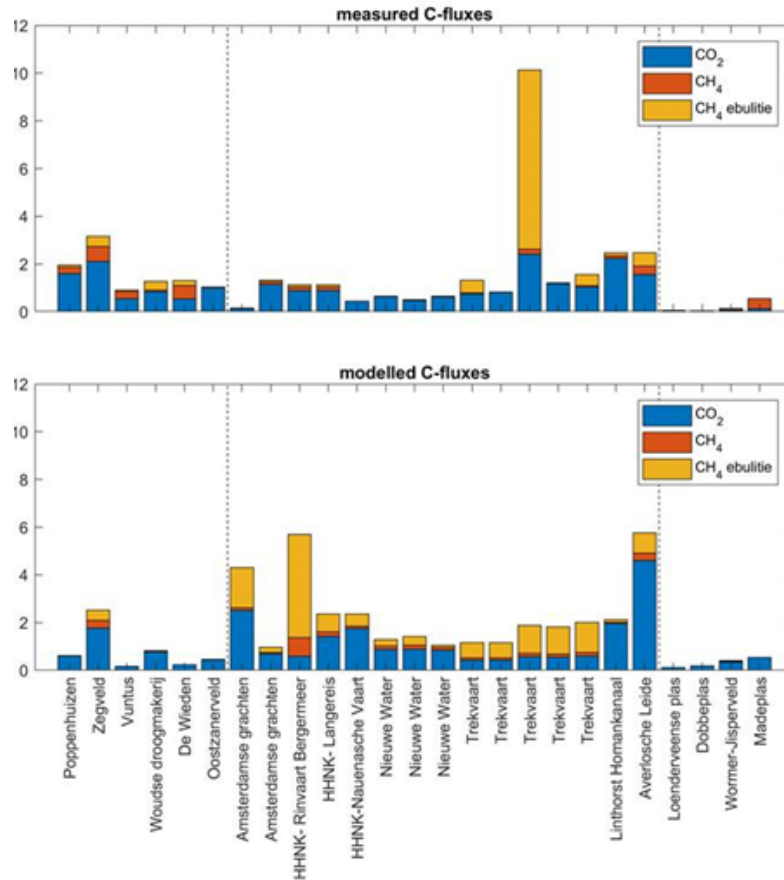
- de metingen zijn locatie specifiek, terwijl het broeikasgasmodel breder kijkt, namelijk naar (een deel van) het watersysteem;
- het broeikasgasmodel rekent voor de gehele rekentijd met vaste waarden voor onder andere debiet, P-belasting, C/N/P-ratio, terwijl deze waarden in werkelijkheid (sterk) variëren;

- de op basis van de water- en stofbalans berekende (vaste) koolstof- en nutriëntenbelasting waarmee het broeikasgasmodel heeft gerekend is erg onzeker, omdat systeemspecifieke kengetallen voor uit- en afspoeling vaak niet goed bekend zijn (hier wordt vrijwel niet aan gemeten en er zijn geen geschikte metamodellen beschikbaar);
- de debieten zijn bepaald met een waterbalans en soms op basis van bestaande SOBEK-modellen (omdat een waterbalans lastig af te leiden is voor een deel van de grotere lijnvormige wateren). De kwaliteit van de SOBEK-modellen verschilt. Niet alle SOBEK-modellen zijn actueel;
- het broeikasgasmodel is gebaseerd op een generieke meteorologie (vaste hoeveelheid wind en een variabele instraling en watertemperatuur die varieert volgens een vaste sinusoïde). Hierdoor valt de meteorologische variatie in instraling en temperatuur tussen en binnen jaren weg;
- de hoeveelheid instraling en de watertemperatuur die aangenomen zijn in het broeikasgasmodel zijn laag. De laatste jaren (2018, 2019, 2020, 2022) zijn juist gemiddeld zonnig en (extreem) warm. De metingen zijn toevallig uitgevoerd op momenten dat het relatief koud was voor de tijd van het jaar (met name in augustus 2021);
- in het model zijn (en kunnen) niet alle systeemspecifieke factoren meegenomen die van belang kunnen zijn voor de broeikasgasemissie, zoals bijvoorbeeld scheepvaart op de Amstel;
- het broeikasgasmodel gaat uit van een theoretische ecologische toestand op grond van onder andere de nutriëntenbelasting, terwijl de metingen uitgaan van de ecologische toestand zoals die in het veld wordt aangetroffen. Hier kan een groot verschil in zitten, bijvoorbeeld wel of geen waterplanten;
- de broeikasgasemissies in het laboratorium zijn twee weken gevolgd, terwijl de vorming van methaan, en met name ebullitie, meer tijd nodig heeft. In het model is deze tijd er wel;
- de systematiek voor de metingen in ronde 1 wijkt af van ronde 2 en ronde 3.

Afbeelding 6.3 toont de resultaten van de vergelijking tussen modelresultaten en metingen. Op het eerste gezicht bestaat er geen goede match tussen metingen en model. Het feit dat er verschillen bestaan is echter goed te verklaren (zie het kader hierboven).

Los daarvan zijn er ook een paar relevante overeenkomsten. Zo laten de gemeten en gemodelleerde resultaten een overeenkomstige range aan waarden zien. Ook is zowel in de metingen als in het model de uitstoot van de casussen in ronde 1 relatief klein ten opzichte van de andere rondes. Daarnaast komt de orde grootte van de verhouding tussen de CO₂- en CH₄-emissie in beide gevallen overeen: de bijdrage van de CH₄ (diffuse flux) is relatief beperkt, terwijl ebullitie van CH₄ er juist wel toe lijkt te doen, zeker als hierbij meegewogen wordt dat in de metingen ebullitie structureel onderschat wordt (zie bovenstaande paragraaf). Ten slotte laten zowel de metingen als het model in de casussen in de Trekvaart een relatief grote ebullitie-flux zien. Hierbij vertoont de gemeten flux een grote variatie. Deze variatie is te verklaren door de grote ruimtelijke variatie (patchiness) van de ebullitieve flux en daarmee een groot toevalsaspect (stochasticiteit) in de metingen. In het model speelt het toevalsaspect geen rol.

AFBEELDING 6.3 GEMETEN MOMENTOPNAME (BOVEN) EN GEMODELLEERD JAARGEMIDDELDE (ONDER) VAN DE BROEIKASGASEMISSIES (G CO₂-EQ/M²/D) IN ALLE BLUECAN CASUSSEN. DE EMISSIES BESTAAN UIT REAERATIE VAN CO₂ (BLAUW), DIFFUSIE VAN CH₄ (ROOD), EN EBULLITIE VAN CH₄ (GEEL). DE VERTICALE STIPPELLIJNEN DELEN DE CASUSSEN IN PER RONDE: DE LINKER CASUSSEN HOREN BIJ RONDE 3, DE MIDDELSTE BIJ RONDE 2, EN DE RECHTER CASUSSEN BIJ RONDE 1



6.3 STUURFACTOREN EN GEVOELIGHEDEN BLUECAN MODEL

De modelgevoeligheid van het BlueCAN model is onderzocht door invoerparameters en procesparameters te variëren en door in te zoomen op variaties in de tijd. Hiervoor zijn zowel de BlueCAN casussen als de grote set berekeningen gebruikt (zie Bijlage 3.5). Hieronder wordt het algemene beeld beschreven dat hieruit naar voren komt. Het model blijkt gevoelig voor een aantal factoren. De belangrijkste hiervan zijn de nutriëntenbelasting en -samenstelling (P-belasting, N/P-ratio van de belasting en C/N-ratio van de belasting en bijbehorende beschikbare fracties, zoals (in) organische en/of opgelost fosfaat, koolstof en stikstof). Dit wordt in paragraaf 6.4 verder uitgelicht. Verder laten ook het debiet, de diepte en het bodemtype een relatie zien met broeikasgasuitstoot. Voor strijklengte is dit minder het geval.

Naast de bovenstaande systeemkenmerken is ook de bioturbatie/dispersie in belangrijke mate bepalend voor de berekende broeikasgasemissie. Bioturbatie/dispersie heeft een tweeledige invloed op de broeikasgasuitstoot. Enerzijds bepaalt de bioturbatie/dispersie hoever zuurstof kan doordringen in de bodem, waardoor de methanogenese wordt afgeremd. Dit proces is netjes ingebouwd in het model, maar de bioturbatie zelf is lastig te parameteriseren omdat dit zeer afhankelijk is van de lokale flora en fauna, variabel is in de tijd en er weinig metingen van bestaan. Anderzijds heeft bioturbatie/dispersie invloed op de ebullitie, waarbij het mede bepalend is of methaanbellen in de bodem blijven hangen of vrijkomen en opborrelen in

de waterkolom. Dit laatste is in het model geparameteriseerd door middel van een simpele constante schalingsfactor.

Ten slotte is het watersysteem gevoelig voor de aanwezigheid van waterplanten. Waterplanten komen vooral voor bij lage nutriëntenbelastingen, omdat ze bij een lage nutriëntenbelastingen een competitief voordeel hebben ten opzichte van algen. Waterplanten hebben veel invloed op de processen in het oppervlaktewater. Ze kunnen in tegenstelling tot (veel) algen zowel nutriënten opnemen vanuit de bodem als uit de waterkolom. Ook vangen waterplanten zwevend stof in. Ten slotte zorgen waterplanten voor zuurstof in de waterbodem. In de gebruikte configuratie van het Delft3D-GHG model zijn echter geen waterplanten meegenomen. Dit is een van de redenen waarom Delft3D-GHG gecombineerd wordt met PCLake. De grote set berekeningen laat echter zien dat, hoewel Delft3D-GHG niet expliciet waterplanten modelleert, er met name een uitstoot van CH_4 verwacht wordt in het bereik waarin PCLake geen of weinig waterplanten verwacht (zie Bijlage 3.6). De correctie op basis van plantbedekking in PCLake leidt dus niet tot veel verschil in de gemodelleerde broeikasgasuitstoot.

Los van de bovenstaande gevoeligheden en stuurfactoren kenmerkt dit model zich doordat de resultaten een interjaarlijkse variatie laten zien (zie bijvoorbeeld afbeelding 6.2). Dit komt niet door variatie in de invoer (deze is elk jaar identiek, er wordt bijvoorbeeld gerekend met een vaste P-belasting, en voor de instraling en watertemperatuur wordt uitgegaan van een sinusoïde). De interjaarlijkse variatie is te verklaren doordat de processen in verschillende compartimenten in het model op verschillende tijdschalen plaatsvinden. Zo is de waterkolom snel in evenwicht, terwijl de opbouw van organische stof in de bodem veel langzamer plaatsvindt. Het optreden van interjaarlijkse variatie laat zien hoe groot de complexiteit van dit model is. Overigens zijn de jaargemiddelde emissies veel minder verschillend tussen de jaren. Om de interjaarlijkse variatie mee te nemen, wordt de gemodelleerde broeikasgasuitstoot gemiddeld over meerdere jaren in plaats van over één jaar zoals nu het geval is. Voor de BlueScan-tool wordt om deze reden van de laatste 5 jaar die gemodelleerd is (jaar 15 - 20) de maximale jaargemiddelde uitstoot genomen.

6.4 P-BELASTING IN RELATIE TOT BROEIKASGASEMISSIE

Zoals hierboven al is genoemd, zijn nutriëntenbelasting en -samenstelling één van de belangrijkste modelgevoeligheden m.b.t. broeikasgasemissies. Dit is begrijpelijk aangezien deze factoren direct van invloed zijn op de primaire productie, en daarmee ook op de vorming en afbraak van organisch materiaal. Dat de koolstof-ratio hierbij ook van belang is, komt doordat de algen ook koolstof nodig hebben om te groeien. Zo wordt een deel van de CO_2 die geproduceerd bij de afbraak van organisch materiaal weer opgenomen door de algen, en komt deze dus niet in de atmosfeer terecht. Bij een gebrek aan anorganische koolstof in het water, wordt deze zelfs aangevuld vanuit de atmosfeer, waardoor de broeikasgasuitstoot zelfs kan afnemen. Wel bestaat hierbij het gevaar dat het opgenomen CO_2 via primaire productie wordt omgezet in CH_4 , wat juist tot een grotere broeikasgasuitstoot leidt omdat dit een sterker broeikasgas is.

In afbeelding 6.4. is een overzicht gegeven van de berekende broeikasgasemissies bij verschillende P- belastingen (van links naar rechts CO_2 , CH_4 diffusie en volatiliseratie en CH_4 ebullitie) op basis van alle 13.600 berekeningen:

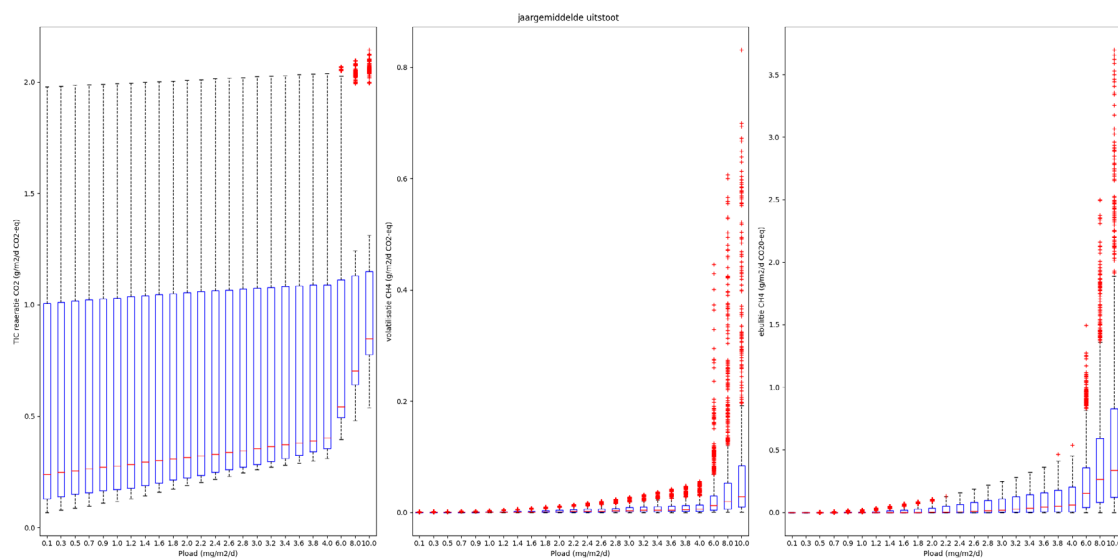
- in het linkerpaneel is te zien dat de mediane CO_2 uitstoot geleidelijk oploopt bij een toenemende P-belasting. De spreiding van CO_2 -uitstoot is over het gehele bereik van de

P-belasting groot. Dit betekent dat ook bij een lage P-belasting veel CO₂-uitstoot. Of dit het geval is hangt af van kenmerken als debiet, diepte en bodemtype;

- in het middenpaneel is te zien dat de uitstoot door CH₄ als gevolg van diffusie en volatiliteit naar de lucht pas start boven een grenswaarde van 2 mg P/m²/d, maar dat deze bijdrage aan de uitstoot (veel) lager is dan van CO₂ (linker paneel). Vanaf een P-belasting van 6 mg P/m²/d is er een toenemend aandeel van outliers. Dit betekent dat onder specifieke condities de bijdrage van CH₄ als gevolg van diffusie en volatiliteit substantiël kan zijn;
- in het rechterpaneel is te zien dat de uitstoot door CH₄ als gevolg van ebullitie verwaarloosbaar is tot en met 2 mg P/m²/d, maar dat de bijdrage vanaf 4 mg P/m²/d zeer sterk op kan lopen in specifieke gevallen. In deze gevallen is de bijdrage van CH₄ als gevolg van ebullitie dominant.

Aan de spreiding is te zien dat de uitstoot in veel gevallen zeer systeemspecifiek is. De achterliggende patronen zijn complex en op dit moment niet eenvoudig te herleiden naar eenvoudige kennisregels. Overigens veranderen de hierboven beschreven patronen vrijwel niet wanneer er naar zomergemiddelden wordt gekeken, i.p.v. naar jaargemiddelden.

AFBEELDING 6.4 GEMODELLEERDE BROEIKASGASEMISSIES OP BASIS VAN DE DATASET VOOR DE QUICKSCANTOOL BLUECAN. ZIE TEKST VOOR BESCHRIJVING. NB: DE WAARDEN OP DE X-AS ZIJN NIET EQUIDISTANT



6.5 RELATIE EUTROFIËRING EN BROEIKASGASEMISSIES

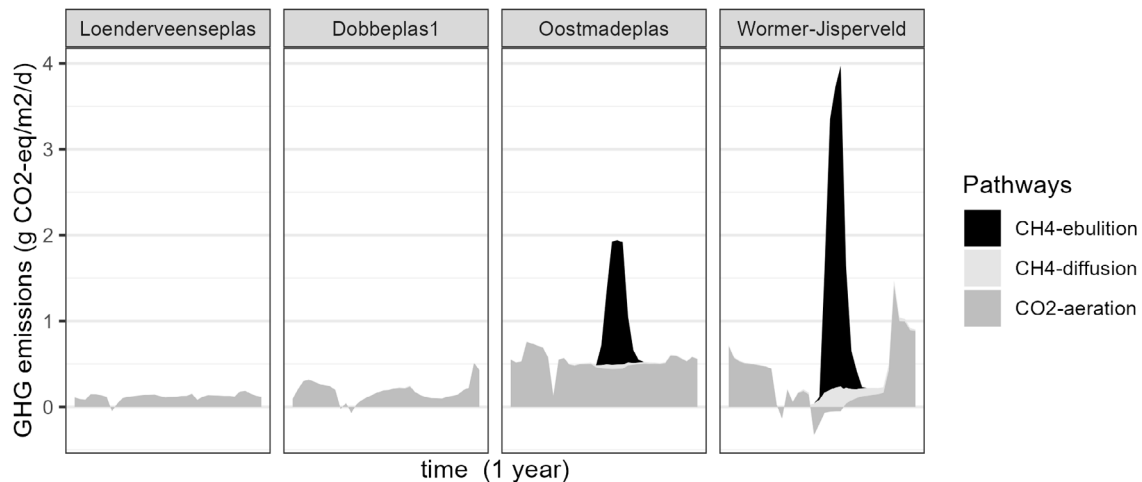
De broeikasgasemissie erg afhankelijk van de externe nutriëntenbelasting. Dit bleek ook al uit de eerdere analyse van ronde 1 metingen (zie Deltafact). De casussen in ronde 1 waren geselecteerd omdat zij representatief zijn voor een toenemende mate van eutrofiëring, van oligotroof tot hypertroof. Een nadere analyse van dezelfde casussen uit ronde 1 (opnieuw berekend met het gekalibreerde BlueCAN model in fase 2) suggereert dat er grofweg sprake is van vier verschillende toestanden in relatie tot broeikasgasemissies. Deze vier alternatieve toestanden worden hieronder beschreven aan de hand van de casussen uit ronde 1 (zie afbeelding 6.5).

- **Oligotroof** (bijvoorbeeld Loenderveenseplas): CO₂-uitstoot is laag en constant. Dit is te verklaren doordat CO₂-productie en CO₂-opname gelijk met elkaar opgaan. Het systeem is jaarrond in evenwicht;

- **Mesotroof** (bijvoorbeeld Dobbeplass): CO₂-uitstoot is laag, maar is in de winter hoger dan in de zomer. Dit is te verklaren doordat het organisch materiaal dat in de zomer wordt gevormd niet allemaal meteen wordt afgebroken. Het verzamelt zich op de bodem en komt pas in de winter vrij. In de zomer is de CO₂-opname dus groter dan in de winter, terwijl in de winter de CO₂-afbraak juist groter is dan de opname;
- **Eutroof** (bijvoorbeeld Oostmadeplas): de CO₂-uitstoot is jaarrond hoog en in de zomer vindt ebullitie plaats. Dit is te verklaren doordat de opbouw van organisch materiaal in de zomer zo groot is dat de bodem zuurstofloos wordt waardoor methaan gevormd wordt en vrijkomt;
- **Hypertroof** (bijvoorbeeld Wormer-Jisperveld): de ebullitie is erg groot en de CO₂-uitstoot in de zomer is laag (soms zelfs negatief!). Dit is te verklaren doordat het systeem zo productief is dat er in de zomer een koolstoftekort ontstaat. Op deze momenten wordt CO₂ direct uit de atmosfeer opgenomen, en deels omgezet in CH₄.

De casussen van ronde 1 zijn allen meren/plassen. Metingen in de casussen van zowel ronde 1 als 2 laten een relatie zien tussen broeikasgasemissies en nutriëntenconcentratie. Of bovenstaande alternatieve toestanden ook te vinden zijn in de lijnvormige wateren is niet onderzocht.

AFBEELDING 6.5 GEMODELLEERDE BROEIKASGASEMISSIES OP DE Y-AS (G CO₂-EQ/M²/D) AFGEZET TEGEN DE TIJD (JANUARI TOT JANUARI) IN EEN 'EVENWICHTSSITUATIE' IN DE BLUECAN CASUSSEN VAN RONDE 1, BESTAANDE UIT REAERATIE VAN CO₂ (GRIJS), DIFFUSIE VAN CH₄ (WIT), EN EBULLITIE VAN CH₄ (ZWART). DE LOENDERVEENSEPLAS IS OLIGOTROOF, DE DOBBELPAS IS MESOTROOF, DE OOSTMADEPLAS IS EUTROOF, EN WORMER-JISPERVELD IS HYPERTROOF



6.6 BLUESCAN EN WEBAPPLICATIE

Het BlueCAN broeikasgasmodel kan in theorie worden ingezet om te verkennen bij welke wateren een reductie van de P-belasting een significante reductie kan opleveren voor de emissies van CO₂ en CH₄. Echter, het model is tot nu toe vooral gebruikt als middel om de kennisontwikkeling te faciliteren en niet met als doel om een grote groep gebruikers ermee aan de slag te laten gaan. Dit betekent ook dat er diverse belemmeringen voor het gebruik van dit model zijn, waaronder de toegankelijkheid en de eenvoud. Er zijn ook nog fundamentele discussies over keuzes in parameterwaarden, zoals bijvoorbeeld de CN-ratio van de belasting. De kans op fouten is hierdoor groot. Om waterbeheerders toch aan de gang te kunnen laten gaan met dergelijke berekeningen is een tool genaamd BlueScan ontwikkeld.

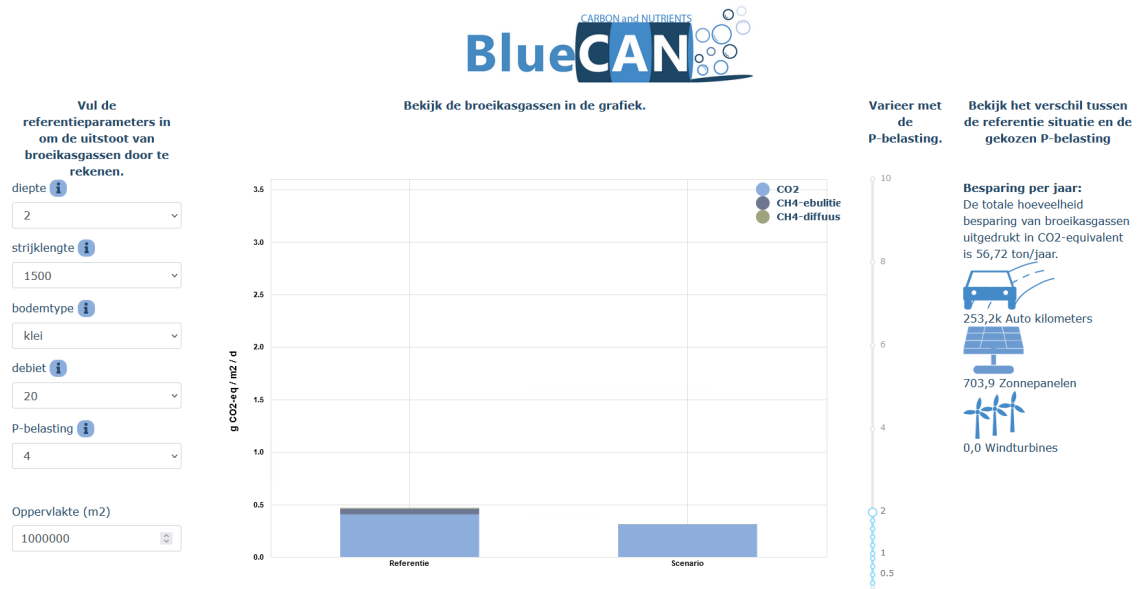
De BlueScan tool is dus bedoeld om waterbeheerders en anderen eenvoudig te kunnen laten rekenen zonder de complexe onderliggende modellen te gebruiken en de kracht van de onderliggende modellen te bundelen.

Met de webapplicatie van de BlueScan tool (afbeelding 6.6) kan een gebruiker een aantal eenvoudige kenmerken invullen om de broeikasgasemissie voor een bepaald watersysteem te laten uitrekenen. De parameters zijn: waterdiepte, strijklengte, bodemtype, oppervlakte, debiet en de actuele (externe) P-belasting. Een webapplicatie van BlueScan komt na afronding van dit project beschikbaar.

De (referentie) broeikasgasemissie verschijnt in een stapeldiagram (linkerkolom) met onderscheid in CO₂ en CH₄. Vervolgens kan een vergelijking worden gemaakt met een scenario waarin de (externe) P-belasting toe- of afneemt (resultaat in rechterkolom). Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van een verticale slider (rechts van de grafiek, van 0 tot 10 mg/m²,d). De omvang van deze emissies is uitgedrukt in de generieke eenheid g CO₂-eq/m²,d. Hierbij wordt geen rekening gehouden met het oppervlak van het watersysteem. Door uit te gaan van een emissie per m² wateroppervlak kunnen wateren onderling worden vergeleken.

Het verschil tussen de broeikasgasemissie voor de referentie en het scenario wordt uitgedrukt in een totaal reductie. Hierbij wordt wel rekening gehouden met het wateroppervlak. De totale emissiereductie wordt weergegeven in het rechterpaneel (in tekst) en uitgedrukt in ton CO₂-eq per jaar. De reductie wordt tevens uitgedrukt in eenzelfde reductie als gevolg van (bespaarde) autokilometers, zonnepanelen of windturbines.

AFBEELDING 6.6 DE GRAFISCHE USER INTERFACE VAN DE TOOL BLUESCAN



6.7 BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN

Vergelijking van de BlueCAN modelresultaten met de gemeten broeikasgasemissies (CO₂ en CH₄) in de stadsvijver in Malden laat zien dat het model de patronen in de tijd goed weet te reproduceren en dat de orde grootte van de broeikasgasemissies overeenkomt met die van de metingen. Dit geeft vertrouwen in de opzet en parameterisatie van het BlueCAN model.

Echter, het model is gekalibreerd op basis van één enkel watersysteem (de eutrofe stadsvijver in Malden) en een degelijke validatie heeft niet plaatsgevonden. Om het BlueCAN model

beter te kunnen kalibreren/valideren, oftewel om meer vertrouwen te krijgen in het model, zijn meer metingen nodig van zowel nutriënten- en koolstofinput als van de broeikasgasemissies onder verschillende condities, in verschillende typen watersystemen en op meer momenten in het jaar.

De BlueCAN modelresultaten en de metingen van de BlueCAN casussen zijn zodanig verschillend dat ze eigenlijk niet met elkaar vergeleken mogen worden. Het verschil zit in de dimensies die ze laten zien: een momentopname versus een jaargemiddelde broeikasgasemissie. Dit is een fundamenteel verschil aangezien er bekend is dat de seizoensale en dagelijkse variatie in de broeikasgasemissies substantieel kan zijn, zodat een momentopname niet representatief is voor een jaargemiddelde. Ondanks de fundamentele verschillen tussen metingen en modelresultaten zijn ze toch met elkaar vergeleken. De vergelijking laat geen perfecte match zien, maar het feit dat er verschillen zijn is goed te verklaren. Wel suggereren zowel model als metingen dat lijnvormige wateren een hogere broeikasgasemissies hebben dan plassen/meren.

Het grote aantal modelparameters, processen en complexiteit van deze processen (met name het feit dat er sprake is van verschillen in tijdschaal tussen processen, zoals in het water en in de waterbodem) maken het modelleren van de uitstoot van broeikasgassen complex. Het model is gevoelig voor onder andere de nutriëntenbelasting en de samenstelling (verhouding C, N en P). Het model laat een interjaarlijkse variatie zien die te verklaren is door het verschil in tijdschalen in processen. Ten slotte is het model gevoelig voor de aanwezigheid van waterplanten en voor bioturbatie.

Aan de hand van het BlueCAN model kunnen we vier alternatieve toestanden onderscheiden, van een oligotroof systeem (zoals de Loenderveenseplas) tot een hypertroof systeem (zoals Wormer- en Jisperveld). De bijdrage van diffusie van CH_4 en ebullitie wordt (veel) groter naarmate het water eutrofer wordt. Dit zien we ook terug in de metingen. Ook in de grote set van berekeningen is een duidelijk verband te zien tussen P-belasting en broeikasgasemissies. Wel tonen de modelresultaten een grote spreiding wat duidt op systeemspecifieke verschillen.

Uit het BlueCAN model is de tool BlueScan ontwikkeld, waarmee waterbeheerders zelf snel eenvoudige berekeningen van de broeikasgasemissies kunnen uitvoeren voor meren en plassen. Een webapplicatie van de BlueScan tool komt na afronding van dit onderzoek beschikbaar.

7

CONCLUSIES

In hoofdstuk 2 hebben we ons een aantal doelen en onderzoeksvragen gesteld. Hieronder worden antwoorden gegeven met de op dit moment beschikbare kennis. De overblijvende kennisleemtes volgen in hoofdstuk 8.

DE OMVANG VAN BROEIKASGASEMISSIES UIT WATER

Broeikasgassen uit water zijn een relevante bron van broeikasgasemissies (CO_2 en CH_4). Na ronde 1 is een eerste inschatting van 5 % bijdrage van broeikasgasemissie uit oppervlaktewater aan de totale Nederlandse broeikasgasemissie gedaan. Dit was gebaseerd op IPCC-getallen, eerste metingen en eerste modelberekeningen van ondiepe meren (Deltafact, 2020). De metingen, modelberekeningen en analyses van 2021 (ronde 2 en 3) ondersteunen dit beeld. Het laat zelfs zien dat de eerste inschatting laag is. Recente literatuur ondersteunt dit ook en komt op 7 % voor alleen de Nederlandse sloten van totale methaan emissie (Peacock et al., 2021a).

De casussen van BlueCAN laten zien dat er bij alle geobserveerde systemen een netto emissie is waargenomen van zowel CO_2 als CH_4 . De totale broeikasgasemissie (uitgedrukt in CO_2 -equivalenten) bestaat voor het grootste deel uit CO_2 . De bijdrage van CH_4 varieert sterk per casus, van nihil tot meer dan 50 % van de totale broeikasgasemissie. De CH_4 -emissies worden hierbij (fors) onderschat, met name omdat een groot deel van de CH_4 -emissie waarschijnlijk via ebullitie (bellenvorming) verloopt en ebullitie in de gekozen opzet lastig te meten is.

PROCESSEN DIE BEPALEND ZIJN VOOR BROEIKASGASEMISSIE UIT ZOET OPPERVLAKTEWATER

Het huidige onderzoek versterkt de conclusie dat er een duidelijke link is tussen waterkwaliteitsprocessen en de omvang van de broeikasgasemissies. Voorbeelden zijn de input van koolstof, de primaire productie door waterplanten en algen, de vorming van slib en bodemchemische en bacteriële (afbraak)processen in het slib en de waterbodem. In metingen zien we dan ook een relatie tussen de broeikasgasemissies en parameters die van invloed zijn op of afhankelijk zijn van deze processen, zoals koolstof-, zuurstof-, nutriënten- en zoutgehalten, de pH en de mate van doorstroming.

Modelmatig zien we een relatie met koolstof, nutriënten, de mate van doorstroming, de aanwezigheid van waterplanten en bioturbatie. De relatie tussen de broeikasgasemissie en waterplanten en bioturbatie kunnen we nog niet helemaal kwantificeren. Wel weten we dat de zuurstofconcentraties en het organisch stofgehalte in de waterbodem belangrijke schakels zijn.

Processen op landschapsschaal die van belang zijn voor de waterkwaliteit zijn dus ook van belang voor de broeikasgasemissie uit oppervlaktewater, zoals de inrichting, waterhuishouding en eutrofiëring. Daarnaast zien we dat koolstofgerelateerde processen op landschapsschaal een grote invloed hebben op de broeikasgasemissies. Dit laatste heeft weinig aandacht vanuit waterkwaliteitsoogpunt.

Het huidige onderzoek heeft meer inzicht opgeleverd in de verschillende processen die bepalend zijn voor de broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren, maar nog onvoldoende om alle processen en causale verbanden in samenhang te kunnen duiden en kwantificeren. Toch kunnen verschillende stuurfactoren worden geïdentificeerd.

DE BELANGRIJKE STUURFACTOREN VOOR DE BROEIKASGASEMISSIE UIT ZOET OPPERVLAKEWATER

We kunnen stellen dat er een relatie is tussen de input van nutriënten, de ecologische kwaliteit (aanwezigheid van waterplanten) en de broeikasgasemissies uit oppervlaktewater. Een hogere input van nutriënten leidt tot een slechtere ecologische kwaliteit (waarbij waterplanten verdwijnen) en dit leidt weer tot een hogere – grofweg met een factor 10 - broeikasgasemissies (met name het sterke broeikasgas CH₄). Dit hebben we modelmatig aangetoond door vier alternatieve toestanden te vergelijken, van oligotroof tot hypertroof. Ook in de metingen zien we verband tussen nutriënten en de broeikasgasemissie.

Uit het model en de metingen volgt ook dat er een duidelijke relatie is met het type water. Lijnvormige wateren stoten gemiddeld meer broeikasgasemissies uit dan meren en plassen (per vierkante meter wateroppervlak). Dit komt omdat de input van stoffen (met name koolstof) in lijnvormige wateren hoger is dan in meren en plassen, en in veel gevallen (sommige sloten daargelaten) de verblijftijd veel korter is en verhouding van stoffen anders is (C/N/P-ratio en de verhouding tussen organisch en anorganisch materiaal).

Ook de waterdiepte en het bodemtype kennen een relatie met de emissie. Uit het model komt naar voren dat een grotere waterdiepte vaak minder emissie geeft. In het geval van bodemtype kan een hoger organisch stofgehalte leiden tot meer emissie. Tenslotte is er in model en metingen een relatie met de pH en het zoutgehalte. De broeikasgasemissie in zwak gebufferde wateren en brakke en zoute wateren zal anders zijn dan in dit onderzoek hoofdzakelijk onderzochte zoete wateren. Een grote onbekende is de input van koolstof. Simulaties vanuit het model laten zien dat de input van koolstof in sterke mate bepalend is voor de omvang van broeikasgasemissies.

WAT ZIJN MOGELIJKE TECHNISCHE HANDELINGSPERSPECTIEVEN VOOR MINIMALISEREN VAN DE EMISSIES?

Het verminderen van de input van koolstof en nutriënten en het verbeteren van de ecologische kwaliteit zal in veel gevallen leiden tot reductie van broeikasgasemissies, en met name het sterke broeikasgas CH₄. Dit is dus dubbele winst.

Een reductie van de broeikasgasemissie kan vaak ook op een alternatieve manier, bijvoorbeeld door verbetering van de inrichting (verondiepen of verdiepen, herprofilen, etc.), verandering van de waterhuishouding (verlagen of verhogen van het waterpeil, instellen van een meer flexibel peilbeheer, minder of meer inlaat van water, etc.) of directe ingrepen in het voedselweb (zoals actief visstandbeheer). Op grond van dit onderzoek kunnen we nog geen kwantitatieve uitspraken doen over hoeveel je met welke maatregel kan reduceren.

In dit onderzoek is wel aandacht geweest voor een mogelijke relatie met baggeren door metingen uit te voeren op recent gebaggerde en niet gebaggerde locaties. Omdat het aantal locaties waar metingen zijn gedaan beperkt is en andere locatiegebonden kenmerken niet altijd vergelijkbaar waren, kunnen we geen uitspraak doen over invloed van baggeren op broeikasgasemissies.

Omdat processen bepalend voor broeikasgasemissie en waterkwaliteit een andere tijdschaal kennen, is er geen 'one size fits all' oplossing.

BROEIKASGASMODEL BLUECAN

Deze studie heeft een model ontwikkeld waar broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren centraal staan. Met dit broeikasgasmodel is het mogelijk om de broeikasgasemissie in de tijd te berekenen en te analyseren. De kalibratie aan de hand van een gepubliceerde tijdreeks van broeikasgasemissies laat zien dat we in staat zijn om eenzelfde omvang van de emissie van CO₂ en CH₄ te berekenen als dat in het veld is gemeten en dat we ook in staat zijn patronen van broeikasgasemissies te reproduceren. Dit sterkt ons vertrouwen in de geldigheid van het model. Het model is vooralsnog voornamelijk toepasbaar voor meren en plassen.

Voor beheerders (en andere geïnteresseerden) wordt bovendien een eenvoudige tool online (BlueScan) beschikbaar gesteld in de vorm van een webapplicatie. Deze tool is bedoeld voor een eenvoudige berekening van de broeikasgasemissie zonder het complexe model BlueCAN te gebruiken. Daartoe is een dataset met een grote diversiteit aan veelvoorkomende systeemkenmerken doorgerekend representatief voor de Nederlandse situatie. Met deze webapplicatie kan een gebruiker een aantal eenvoudige kenmerken invullen om de broeikasgasemissie voor een bepaald watersysteem te laten uitrekenen. De parameters zijn: waterdiepte, strijklengte, bodemtype, oppervlakte, debiet en de actuele (externe) P-belasting. BlueScan is op dit moment alleen toepasbaar voor meren en plassen.

8

KENNISLEEMTES EN AANBEVELINGEN

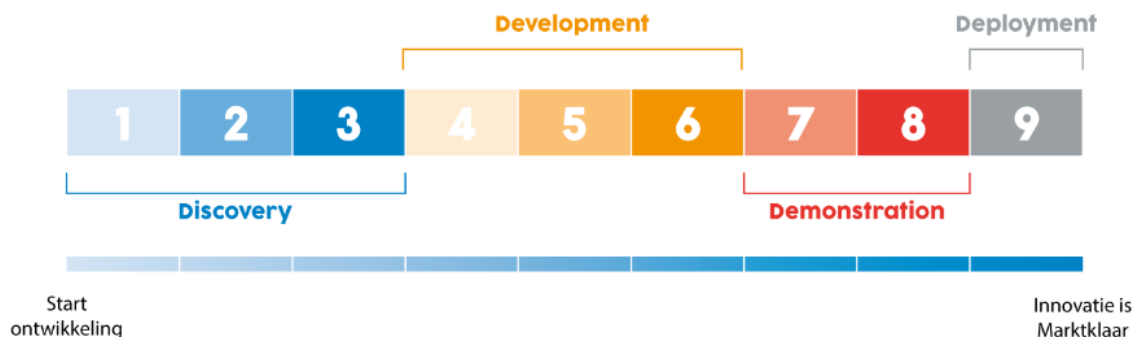
In algemene zin kan gezegd worden dat dit inhoudelijke onderwerp ‘broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren’ pas sinds een paar jaar aandacht krijgt in de waterwereld en tegelijkertijd blijkt het uitermate complex te zijn. Drie jaar onderzoek BlueCAN heeft geholpen om een eerste inzicht te krijgen in een orde grootte van de broeikasgasemissies en om een eerste relatie te leggen met bepalende systeemkenmerken. Ook (samenwerking met) aanpalend onderzoek van met name de onderzoeksgroep van Sarian Kosten van de RUN in dezelfde periode biedt relevant inzicht.

We zijn er echter nog niet. Om iets te kunnen zeggen over de omvang van systeemspecifieke broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren, vervolgens te kunnen begrijpen waarom de omvang van de emissie is zoals die is, daarbij een relatie te kunnen leggen met de relevante systeemkenmerken (sturende factoren) en ten slotte ook een voorspelling te kunnen doen over de effectiviteit van maatregelen is vervolgonderzoek noodzakelijk. In dit hoofdstuk geven we de vier belangrijkste kennisleemtes en geven we aanbevelingen voor een vervolg

8.1 WAAR STAAN WE NU QUA KENNIS

Om aan te geven hoever we zijn met het onderzoek aan broeikasgasemissies uit oppervlaktewater en wanneer er handelingsperspectief te bereiken is, gebruiken we TRL's, ofwel Technology Readiness Levels (afbeelding 8.1). Deze zijn ooit door de NASA ontwikkeld om aan te geven in welke fase de ontwikkeling van een nieuwe technologie zit. Voor veel Europese en nationale subsidies (onder andere de TKI-toeslag) wordt dit model gebruikt om te duiden voor welke fase van een innovatietraject een subsidie bedoeld is. TRL 9 is het einddoel, dan kun je zeggen dat je klaar bent met het onderzoek.

AFBEELDING 8.1 OVERZICHT VAN DE TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL) DIE DE FASES VAN ONTWIKKELING VAN NIEUWE TECHNOLOGIE WEERGEVEN



Bij TRL9 stellen we: we kunnen broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren voorspellen en meten waar nodig, kennis is geborgd in systemen (zoals de nationale Emissie Registratie) die nu al emissies weergeven en er zijn handelingsopties om reducties te realiseren. Met andere woorden: waterbeheerders kunnen zelfstandig met het praktisch kader aan de slag, zoals nu het geval is met de methodiek van Ecologische Stuurfactoren (ESF's). Bij TRL1 hebben we nog geen idee wat voor type emissies er zijn, en wat meet- en beoordelingsoplossingen zouden kunnen zijn.

Voor de beoordeling van broeikasgassen uit zoete oppervlaktewateren zijn we gestart op TRL3: we weten dat emissies uit wateren hoog kunnen zijn gebaseerd op literatuur en enkele verkennende studies. De resultaten van het BlueCAN-onderzoek ondersteunen de conclusies dat die broeikasgasemissies uit verschillende type zoete oppervlaktewateren hoog kunnen zijn. Bovendien weten we hoe we in de toekomst naar een hoger TRL-niveau kunnen bewegen. De snelheid richting TRL9 is lastig in te schatten, omdat deze bijvoorbeeld afhankelijk is van beschikbare onderzoeksbudgetten en het aantal aanvullende vragen die je onderweg tegenkomt.

8.2 DE KENNISLEEMTES

Hieronder worden vier kennisleemtes besproken die we zien op basis van ons onderzoek. Een aantal van onderstaande vragen worden waarschijnlijk opgepakt in de lopende en toekomstige projecten zoals genoemd in Bijlage 4. Denk bijvoorbeeld aan de hoog frequente metingen van broeikasgassen binnen NOBV. De reflectie tussen de hier genoemde kennisleemtes en de lopende projecten is nog niet gedaan.

KENNISLEEMTE 1: WAT IS DE OMVANG VAN BROEIKASGASEMISSIES?

Het onderzoek laat zien dat het binnen de beperkingen van het onderzoek tot nu toe niet eenvoudig is om de omvang van de broeikasgasemissies systeemspecifiek te bepalen, met name op grond van de uitgevoerde metingen, maar als gevolg daarvan ook op grond van het model (de kalibratie en validatie van het model is afhankelijk van goede metingen). Om een volgende stap te zetten in het in beeld te krijgen van de systeemspecifieke omvang van de broeikasgasemissie is met name een verdieping (verbetering methode, andere type metingen, frequentere metingen, metingen in het veld) van het onderzoek nodig. Denk daarbij aan een verbetering van de methode, andere type metingen, frequentere metingen en metingen in het veld.

In dit rapport baseren we onze resultaten nu vooral op broeikasgasemissiemetingen vanuit kolommen onder laboratorium condities. Belangrijke vragen die daarbij komen kijken zijn in relatie tot het model en de vragen van waterbeheerders zijn:

- hoe verhouden flux metingen uit kolom/laboratorium zich tot de veldsituatie?
- hoe ziet de dynamiek in fluxen in het veld jaarrond eruit?
- hoe vertalen we emissies gemeten op de locaties naar het gehele gebied?

Andere openstaande vragen zijn:

- wat is de bijdrage van CH₄ (methaan), met name via ebullitie?
- wat is de bijdrage van N₂O (lachgas)?

KENNISLEEMTE 2: WELKE FACTOREN BEÏNVLOEDEN DE BROEIKASGASEMISSIES?

Het onderzoek laat zien dat het binnen de beperkingen van het onderzoek tot nu toe niet eenvoudig is om de factoren die de broeikasgasemissies beïnvloeden te identificeren en te kwantificeren, zowel door metingen als door modelleren. Dit heeft mede te maken met kennisvragen omtrent de totale omvang van broeikasgasemissie uit zoet oppervlaktewater (kennisleemte 1).

Openstaande vraagstukken die we hier hebben geïdentificeerd zijn:

- wat is de invloed van zuurstof en temperatuur?
- hoe draagt uit-/afspoeling/erosie vanuit oevers/percelen bij (o.a. koolstof als ook nutriënten)?
- wat is de invloed van baggeren en het baggerverwerkingsproces op de netto systeem-uitstoot van broeikasgasemissies?
- wat is de invloed van verzilting en/of verzoeting (o.a. osmotische effecten, maar ook sulfaat)?
- wat is de relatie tussen aan- en afvoer van stoffen (doorspoeling, verblijftijd, water-/stofbalansen) op de uitstoot van broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater? Dit ook in relatie tot langere periodes van droogte door klimaatsverandering;
- wat is de relatie met biota, bioturbatie en actief biologisch beheer (o.a. planten, vissen, kreeften)?

KENNISLEEMTE 3: WAT IS DE KOOLSTOFBALANS?

Met het broeikasgasmodel BlueCAN dat ontwikkeld is, zijn we in staat een koolstofbalans te berekenen voor een watersysteem met zowel de input van koolstof (via de lucht en oppervlaktewater) als het verlies van koolstof (via de lucht en oppervlaktewater). Uiteindelijk willen we een koolstofbalans van het gehele stroomgebied. Betrouwbare gegevens over uit- en afspoeling van koolstof en de fractionering (afbreekbaarheid) hiervan en de invloed van processen welke de beschikbaarheid en de vorm van koolstof beïnvloeden (kennisleemte 2) ontbreken nog, maar zijn essentieel om de input van koolstof in watersystemen en daarmee de uitstoot van broeikasgasemissies te kunnen inschatten.

De belangrijkste openstaande vragen zijn:

- wat is de omvang van de input van koolstof in verschillende (type) watersystemen en hoe varieert dit door het seizoen heen?
- wat is de temporele variatie in koolstoffluxen in het watersysteem?
- wat is de ruimtelijke variatie in emissies binnen een watersysteem?
- wat zijn de essentiële processen rond de bodemmatrix?

KENNISLEEMTE 4: WAT IS DE BROEIKASGASEMISSIE OVER DE GEHELE LEVENSCYCLUS VAN KOOLSTOF?

Het onderzoek focust nu sterk op de broeikasgasemissie uit oppervlaktewater. Aspecten als waar komt de koolstof vandaan (kennisleemte 3) en waar komt de koolstof terecht (op lange en korte termijn) zijn tot nu toe sterk onderbelicht. Veel slib in de Nederlandse wateren verplaatst zich naar benedenstreams of wordt vroeg of laat verwijderd door bijvoorbeeld baggeren. De bagger wordt vervolgens weer verwerkt. Dit deel van de levenscyclus is nu niet goed in beeld. In andere projecten, o.a. DuNaG (bijlage 4), wordt gemeten aan broeikasgasemissie uit nat grondverzet. Resultaten hieruit zijn interessant om meer inzicht te krijgen in de levenscyclus van koolstof in het watersysteem en het beheer daarvan.

8.3 AANBEVELINGEN

Uit ons onderzoek, alsmede wetenschappelijke studies, is wel duidelijk dat de omvang van broeikasgasemissies uit oppervlaktewater substantieel kan zijn. We weten ook dat handelingsperspectief ligt op het vlak van het verminderen van de input van koolstof en nutriënten en het verbeteren van inrichting en ecologische kwaliteit (zie Conclusies). Het is echter terrein-, water- en natuurbeheerders nog niet mogelijk een beeld te geven van de omvang van deze emissies in een bepaald gebied en te weten welke maatregelen hoeveel reductie oplevert. Kortom, de huidige stand van kennis levert de beheerders nog geen handvatten voor directe en gerichte acties.

Onze aanbeveling is om verder onderzoek op te zetten gericht op een verbetering van de BlueScan tool zodat deze voor alle relevante watertypes in een betreffend beheergebied eenvoudig een schatting kan geven met de bijbehorende suggesties voor reductie. Als eerste actie stellen we de huidige Deltafact te updaten met de informatie uit deze rapportage. Dan zou een reflectie moeten plaatsvinden tussen de hier genoemde kennisleemtes en het lopende en voorgenomen onderzoek in Nederland (Bijlage 4 voor een eerste inventarisatie). Aangevuld met wat er internationaal gedaan wordt en gepubliceerd is. Deze reflectie zal een stap zetten richting een kennisagenda die noodzakelijk is voor het dichten van de genoemde kennisleemtes. Bij het uitvoeren van de kennisagenda en de keuzes van het onderzoek zijn de volgende aandachtspunten voor de praktijk van terrein- en waterbeheerder belangrijk:

- Focus op de onderdelen en het detailniveau die voor de verdere ontwikkeling van de BlueScan tool noodzakelijk is.
- Nu is de tool geschikt voor meren en plassen. Gebaseerd op eerder onderzoek lijkt het in ieder geval relevant om de tool verder uit te breiden naar lijnvormige wateren zoals sloten en kanalen.
- Bepaal voor welke andere wateren uitbreiding van de tool noodzakelijk is. De vraag is of we ook moeten verbreden naar rivieren, beken, vennen en poelen en stadswateren. Een literatuurstudie zou wellicht kunnen aangeven of deze wateren ook significant bijdragen en dus opgenomen moeten worden in het onderzoek.

Vooruitlopend op de toekomstige verplichting worden broeikasgasemissies vanuit kunstmatige oppervlaktewateren inmiddels (vanaf 2022) gerapporteerd middels de emissieregistratie. Dit gebeurt op Tier 1 niveau. Dat betekent dat gebruik wordt gemaakt van door in de IPCC guidelines beschreven (default) emissiefactoren. Vanaf 2023 wordt vanuit de Emissieregistratie gestreefd naar een rapportage op Tier 2 of 3 niveau. Dit betekent dat er landelijke emissiecijfers gebruikt gaan worden (Tier 2), eventueel ruimtelijk opgesplitst naar de verschillende typen wateren met bijbehorende emissiecijfers (Tier 3). Het is daarom belangrijk om de BlueScan tool zodanig verder te ontwikkelen dat het aansluit op de mogelijkheden die Tier 3 zal gaan bieden voor de specificatie van emissiecijfers.

Het uitgangspunt van BlueCAN is vanaf de start in 2019 geweest om theoretische kennis op het gebied van broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren te ontsluiten via een praktisch kader en eenvoudige tools, en om op grond van de praktijkervaringen wetenschappers te inspireren. Dit met als doel om én het kennisniveau te vergroten en de toepassing van kennis in de praktijk te versnellen. BlueCAN kan ook in het vervolg inspirerend blijven werken op ander (veelal wetenschappelijk) onderzoek en de basis vormen voor nieuwe onderzoeksvorstellen.

9

LITERATUUR

- Abdul Malak, D., Marin, A.I., Trombetti, M., San Roman, S., Carbon pools and sequestration potential of wetlands in the European Union, European Topic Centre on Urban, Land and Soil Systems, Viena and Malaga, 2021, ISBN 978-3-200-07433-0.
- 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 CH₄ and N₂O fluxes from small inland waters: An experimental approach. *Aquatic Botany*, 180 (October 2021), 103527. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2022.103527>
- 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), 1-8.
- Arcadis, 2021. Klimaatmonitor Waterschappen Verslagjaar 2020 Unie van Waterschappen. Rapportnummer D10039652:30.
- Bastviken, D., Cole, J., Pace, M. & Tranvik, L. (2004). Methane emissions from lakes: dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Glob. Biogeochem. Cycles* 18, 112.
- Borges, A. V., Darchambeau, F., Lambert, T., Bouillon, S., Morana, C., Brouyère, S., Hakoun, V., Jurado, A., Tseng, H. C., Descy, J. P., & Roland, F. A. E. (2018). Effects of agricultural land use on fluvial carbon dioxide, methane and nitrous oxide concentrations in a large European river, the Meuse (Belgium). *Science of the Total Environment*, 610 – 611, 342 – 355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.047>
- Buchholz, L. A., Klump, J. V., Collins, M. L. P., Brantner, C. A., & Remsen, C. C. (1995). Activity of methanotrophic bacteria in Green Bay sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 16(1), 1 – 8. [https://doi.org/10.1016/0168-6496\(94\)00063-3](https://doi.org/10.1016/0168-6496(94)00063-3).
- Coenen, P. W. H. G., Van der Maas, C. W. M., Zijlema, P. J., Arets, E. J. M. M., Baas, K., Van den Bergh, A. C. W. M., Van Huis, E. P., Geilenkirchen, G., Hoogsteen, M., Spijker, J., Te Molder, R., Dröge, R., Montfoort, J. A., Peek, C. J., Vonk, J., Oude Voshaar, S., & Dellaert, S. (2017). Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2015: National Inventory Report. http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL2017_Greenhouse-gas-emissions-in-the-Netherlands-1990-2015-national-inventory-report-2017.pdf.
- 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. doi:10.1038/s41558-017-0063-z.
- 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.

- Hotchkiss, E. R., Hall Jr, R. O., Sponseller, R. A., Butman, D., Klaminder, J., Laudon, H., Rosvall, M., & Karlsson, J. (2015). Sources of and processes controlling CO₂ emissions change with the size of streams and rivers. *Nature Geoscience*, 8(9), 696 – 699. <https://doi.org/10.1038/ngeo2507>
- 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.
- Janse, J.H., 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. PhD Thesis. Wageningen University.
- Janssen, A. B. G., Arhonditsis, G. B., Beusen, A., Bolding, K., Bruce, L., Bruggeman, J., Couture, R-M., Downing, A. S., Alex Elliott, J., Frassl, M. A., Gal, G., Gerla, D. J., Hipsey, M. R., Hu, F., Ives, S. C., Janse, J. H., Jeppesen, E., Jöhnk, K. D., Kneis, D., ... Mooij, W. M. (2015). Exploring, exploiting and evolving diversity of aquatic ecosystem models: a community perspective. *Aquatic Ecology*, 49(4), 513-548. <https://doi.org/10.1007/s10452-015-9544-1>.
- Kosten, Sarian, Fábio Roland, David M. L. Da Motta Marques, Egbert H. Van Nes, Néstor Mazzeo, Leonel Da S. L. Sternberg, Marten Scheffer, and Jon J. Cole. (2010). 'Climate-Dependent CO₂ Emissions from Lakes.' *Global Biogeochemical Cycles* 24(2):1 – 7.
- Kosten, S., Weideveld, S. T. J., Stepina, T., & Fritz, C. (2018). Mid-term report: Monitoring Greenhouse gas emissions from ditches in the Netherlands.
- Kristjansson, J. K., & Schönheit, P. (1983). Why do sulfate-reducing bacteria outcompete methanogenic bacteria for substrates? *Oecologia*, 60(2), 264 – 266. <https://doi.org/10.1007/BF00379530>
- King, G. M. (1990). Dynamics and controls of methane oxidation in a Danish wetland sediment. *FEMS Microbiology Letters*, 74(4), 309 – 323.
- Li, Y., Shang, J., Zhang, C., Zhang, W., Niu, L., Wang, L., & Zhang, H. (2021). The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review. *Science of The Total Environment*, 768, 144582.
- Maavara, T., Lauerwald, R., Laruelle, G. G., Akbarzadeh, Z., Bouskill, N. J., Van Cappellen, P., & Regnier, P. (2019). Nitrous oxide emissions from inland waters: Are IPCC estimates too high? *Global Change Biology*, 25(2), 473 – 488. <https://doi.org/10.1111/gcb.14504>
- Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R. W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., De Meester, L., Paerl, H.W., Scheffer, M. (2011). Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland waters*, 18 (1), 101-105.
- Motelica-Wagenaar, A. M., Pelsma, T. A. H. M., Moria, L., and Kosten, S. (2020): The potential impact of measures taken by water authorities on greenhouse gas emissions, *Proc. IAHS*, 382, 635 – 642, <https://doi.org/10.5194/piahs-382-635-2020>.
- Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang (2013) 'Anthropogenic and Natural Radiative Forcing'. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

- Osté, I. and Harezlak, V., 2012. BaggerNut, Watersysteemanalyse Klein Vogelenzang. Technical report for Hoogheemraadschap Rijnland by Deltares & ARCADIS; 076008146:B - Concept C01012.100078.0100.
- Paranaíba, J.R., M. Erdociain, Q. Struik, G. van Dijk, J. van der Knaap, A. Veraart, A.J.P. Smolders, S. Kosten (in prep.) Decreasing greenhouse gas emissions from dredged sediments through physical and chemical actions: effects of flooding and zeolite additions.
- Prairie, Y. T., Alm, J., Beaulieu, J., Barros, N., Battin, T., Cole, J., ... & Vachon, D. (2018). Greenhouse gas emissions from freshwater reservoirs: what does the atmosphere see?. *Ecosystems*, 21, 1058-1071.
- Peacock, M., Audet, J., Bastviken, D., Cook, S., Evans, C. D., Grinham, A., Holgerson, M. A., Högbom, L., Pickard, A. E., Zieliński, P., & Futter, M. N. (2021b). Small artificial waterbodies are widespread and persistent emitters of methane and carbon dioxide. *Global Change Biology*, 27(20), 5109–5123. <https://doi.org/10.1111/gcb.15762>.
- Peacock, M., Audet, J., Bastviken, D., Futter, M. N., Gauci, V., Grinham, A. R., Harrison, J. A., Kent, M. S., Kosten, S., Lovelock, C. E., Veraart, A. J., & Evans, C. D. (2021a). Global importance of methane emissions from drainage ditches and canals. *Environmental Research Letters*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abeb36/>.
- Raymond, P. A., Hartmann, J., Lauerwald, R., Sobek, S., McDonald, C., Hoover, M., Butman, D., Striegl, R., Mayorga, E., Humborg, C., Kortelainen, P., Dürr, H., Meybeck, M., Ciais, P., & Guth, P. (2013). Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature*, 503(7476), 355–359. <https://doi.org/10.1038/nature12760>
- Remsen, C.C., Minnich, E.C., Stephens, R.S., Buchholz, L., Lidstrom, M.E. (1989). Methane oxidation in Lake Superior sediments. *Journal of Great Lakes Research* Vol 15, Issue 1, pages 141-146
- Rietkerk, M., Silliman, B. R., Joosten, H., et al.: Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the worlds biotic carbon hotspots, *Science*, 376, eabn1479, 2022.
- Rosentreter, J. A., Borges, A. V., Deemer, B. R., Holgerson, M. A., Liu, S., Song, C., Melack, J., Raymond, P. A., Duarte, C. M., Allen, G. H., Olefeldt, D., Poulter, B., Battin, T. I., & Eyre, B. D. (2021). Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources. *Nature Geoscience*, 14(April), 225–230. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00715-2>.
- Saunio, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Raymond, P. A., Dlugokencky, E. J., Houweling, S., Patra, P. K., Ciais, P., Arora, V. K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K. M., Carrol, M., ... Zhuang, Q. (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12(3), 1561–1623. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>.
- Sebag, D., Verrecchia, E. P., Cécillon, L., Adate, T., Albrecht, R., Aubert, M., Bureau, F., Cailleau, G., Copard, Y., Decaens, T., Disnar, J. R., Hetényi, M., Nyilas, T., & Trombino, L. (2016). Dynamics of soil organic matter based on new Rock-Eval indices. *Geoderma*, 284, 185–203. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.08.025>
- Smits, J.G.C. en J.K.L. van Beek, 2009. Ontwikkeling screeningmodel eutrofiëring – Fase 1: formulering en kalibratie. Deltares rapport 1200235-008-ZWS-0001.

- Smits, J. G. C., & van Beek, J. K. L. (2013). ECO: A Generic Eutrophication Model Including Comprehensive Sediment-Water Interaction. *PLoS ONE*, 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068104>.
- Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M., Lucassen, E.C.H.E.T., Van der Velde, G.J.G.M. and Roelofs, J.G.M., 2006. Internal eutrophication: how it works and what to do about it—a review. *Chemistry and ecology*, 22(2), pp.93-111.
- Stanley, Emily H., Nora J. Casson, Samuel T. Christel, John T. Crawford, Luke C. Loken, and Samantha K. Oliver. (2016). 'The Ecology of Methane in Streams and Rivers: Patterns, Controls, and Global Significance.' *Ecological Monographs* 86(2):146–71.
- Tanis, H. R., Schep, S. A., & van Dijk, A. (2018). Waterstromen in beeld: handleiding bij de Excelrekening Waterbalans. STOWA.
- Temmink, R. J. M., Lamers, L. P., Angelini, C., Bouma, T. J., Fritz, C., Van de Koppel, J., Lexmond, R.
- Van Bergen, T. J., Barros, N., Mendonça, R., Aben, R. C., Althuisen, 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.
- Van der Knaap (2021), Mitigating greenhouse gas emissions from sludge depots: an experimental approach, Internship report Raboud University and B-WARE Research Centre.
- Van der Knaap, J., G. van Dijk, M. van Mullekom, A.J.P. Smolders, S. Kosten (in prep.) Greenhouse gas emissions from dredged material and potential mitigation measures: an experimental approach
- Velthuis, M., Kosten, S., Aben, R., Kazanjian, G., Hilt, S., Peeters, E. T., ... & 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.
- Zou, J., Ziegler, A. D., Chen, D., McNicol, G., Ciais, P., Jiang, X., Zheng, C., Wu, J., Wu, J., Lin, Z., He, X., Brown, L. E., Holden, J., Zhang, Z., Ramchunder, S. J., Chen, A., & Zeng, Z. (2022). Rewetting global wetlands effectively reduces major greenhouse gas emissions. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00989-0>.

WEBSITES

Klimaatakkoord: Den Haag, 28 juni 2019: <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>

COP26 The Glasgow Climate pact: <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>

Europese klimaatwet: Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') (document: 32021R1119)

Deltaprogramma 2022:, Den Haag, september 2021. <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/09/15/deltaprogramma-2021-versnellen-en-intensiveren-om-doelen-2050-te-halen>

STOWA Deltafact Broeikasgasemissies uit zoetwater (versie april 2020)

<https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/diversen/broeikasgasemissies-uit-zoetwater>

Circulair Baggerbeheer: STOWA (2021), Circulair Baggerbeheer - een toetsingsinstrument voor regionale bagger. Rapport 40. ISBN 978.90.5773.951.4. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202021/Stowa%202021-40%20Circulair%20Baggerbeheer.pdf>

STOWA water- en stofbalans:

www.stowa.nl/waterbalans

BIJLAGE I

FACTSHEETS

FACTSHEET BLUECAN:

AMSTERDAMSE GRACHTEN - WATERNET

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De vorige twee rondes hebben zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019) en sloten en petgaten (2020). De focus lag bij deze rondes op de relatie met waterkwaliteit (respectievelijk nutriënten en organisch stof). In deze derde ronde (2021) richten wij ons op grotere lijnvormige wateren, zoals kanalen, weteringen, boezems, singels, et cetera. Dit zijn vaak wateren met veel slibafzetting en een hoge (historische) belasting met nutriënten en/of organische stof. In totaal onderzoeken wij in deze ronde 6 casussen.

Waterschap Amstel Gooi en Vecht (Waternet) doet mee met de casus de Amsterdamse grachten. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan tool (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de CO₂ en CH₄ metingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept, waarbij er een integrale analyse gemaakt wordt van elke casus op basis van metingen en toepassing van het verbeterde BlueScan tool en een bredere systeemanalyse. Verder wordt op basis van deze resultaten een berekening gemaakt van de totale broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op de locatiekeuze en de meetmethode. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

De Amsterdamse grachten kennen een lange historie. Al enkele eeuwen spelen deze gegraven wateren een belangrijke rol in het watermanagement van de stad, de transport behoeftes en van oudsher ook de verdediging van de groeiende stad. De stad is gebouwd op veen. Om dit leefbaar te maken moest men het gebied ontwateren. Hierdoor ging het veen oxideren en inklinken met tot gevolg dat de veenlaag nu op 1 tot 4 meter onder NAP ligt. De veenbodem onder Amsterdam is slap. Daarom is de veenlaag overal in Amsterdam opgehoogd met zand. Dit om het enerzijds steviger te maken en anderzijds om voor het inklinken van het veen te compenseren. Veel van de ondiepe ondergrond in de grachten is dan ook zand.

De grachten worden tijdens wateroverschot situaties vanuit het zuiden gevoed door Amstelwater en in het noordoosten staat het systeem in verbinding met het IJmeer. Vervolgens stroomt dit water in westelijke richting naar het Noordzeekanaal. Ten tijd van droogte komt er (brak) water uit het Noordzeekanaal en IJmeer de grachten in. De aanvoer van zoet water vanuit de Amstel valt dan vrijwel weg.

3 METHODE

3.1 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van verkennende gesprekken met het waterschap en analyse van eventueel beschikbare data over het watersysteem is een eerste selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie.

Vanuit Waternet is het interessant om een handelingsperspectief te krijgen. In hoeverre moet slib wel of niet gebaggerd worden om te kunnen sturen op broeikasgasemissies. Een eerste verkenning richting dit handelingsperspectief kan onder andere uitgevoerd worden door de vergelijking te zoeken in de sliblagen en de baggerhistorie. Er is besloten om het onderzoek af te kaderen binnen het grachtensysteem. Binnen het grachtensysteem is vervolgens gezocht naar verschillen in baggerhistorie.

De locaties die zijn geselecteerd zijn (Afbeelding 1):

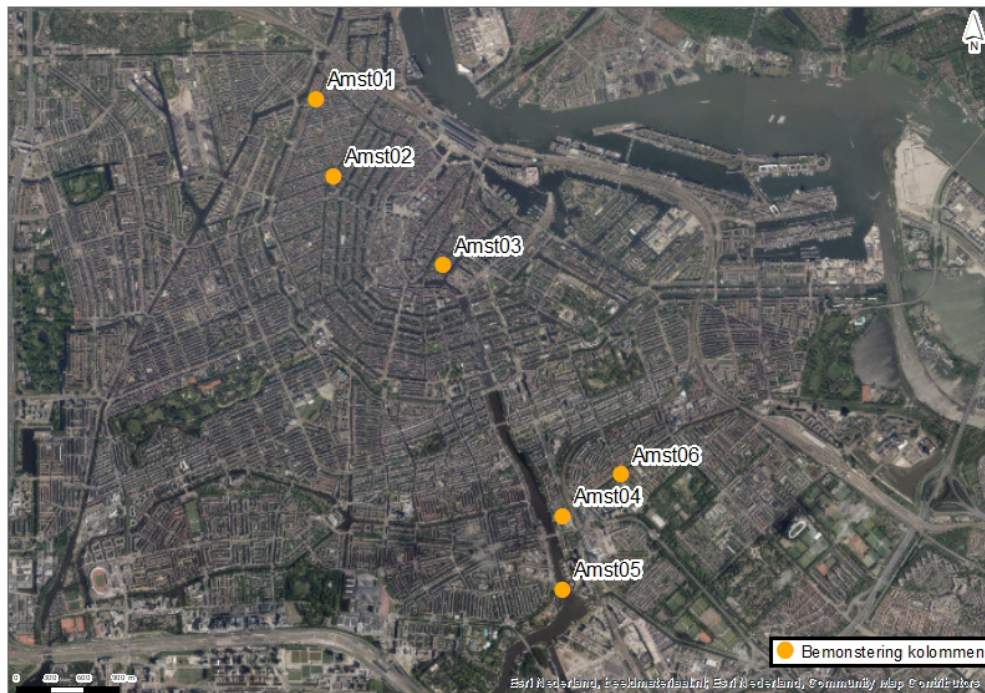
- AMST-01: Lijnbaansgracht ter hoogte van de Palmstraat. Deze locatie ligt in de Jordaan. Hier is niet gebaggerd en wordt weinig gevaren;
- AMST-02: Prinsengracht ter hoogte van de Nieuwe Leliestraat. Deze locatie wordt veel bevaren en is dan ook voor nautische redenen gebaggerd;
- AMST-03: Groenburgwal tussen de Staalstraat en de Raamgracht. Daar is lange tijd niet gebaggerd en wordt relatief weinig gevaren;
- AMST-04: Locatie in de Ringvaart ter hoogte van de Schollenburgerstraat. Tijdens het veldbezoek was nog niet duidelijk of daadwerkelijk de Ringvaart van het Watergraafsmeer

bemonsterd kon worden waar waterplanten groeien. Daarom is uit voorzorg ook een kolom gestoken in de Weesperhaven. Of deze locatie in de uiteindelijke analyses wordt meegenomen valt nog te overwegen;

- AMST-05: Locatie in de Amstel stroomopwaarts bij de Berlagebrug, ten noorden van Park Somerlust. Bij deze locatie komt het water vanuit de achterliggende veenrijke poldersystemen via de Amstel Amsterdam in. Hier wordt gebaggerd voor nautische redenen;
- AMST-06: Locatie in de Ringvaart van het Watergraafsmeer, bemonsterd vanaf de Nobelweg. Deze locatie is niet bevaren en wordt niet gebaggerd. In de Ringvaart is veel begroeiing van waterplanten.

Deze bovenstaande selectie levert drie locaties op die zijn gebaggerd voor nautische redenen en drie locaties die niet gebaggerd zijn.

AFBEELDING 1 LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE CO₂ EN CH₄ METINGEN



3.2 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Korte fluxmetingen;
3. Ebullitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 29 september op 6 locaties binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 2 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 12 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwhitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Korte fluxmetingen

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten op CO₂ en CH₄ fluxen. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van CO₂ en CH₄ bepaald. Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. per meetlocatie zijn er twee bodemkolommen (of replica's);
2. de bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond;
3. daarna is gestart met de CO₂ en CH₄ diffuse flux metingen. Deze fluxen zijn gemeten met de draagbare broeikasgas-analyzer (MGGA). Om deze metingen uit te kunnen voeren is:
 - de kolom tijdelijk afgesloten om een gesloten circuit te maken met de MGGA;
 - de concentratie CO₂ en CH₄ in het luchtdeel gedurende vier minuten één keer per seconde met de MGGA gemeten;
 - tijdens de metingen is het verloop van de concentratie visueel gevolgd. Als er sprake is van een stabiele diffuse flux dan vormen de metingen een grafiek met een min of meer vaste helling. Als dit niet zo is, dan is er sprake van andere processen, zoals gasvorming (ebullitie). In het geval van ebullitie tijdens de meting is er sprake van een sprong in de CH₄ concentratie of een versnelde opbouw van CH₄. In die gevallen is de meting herhaald;
 - na vier minuten is de gemiddelde helling over de metingen bepaald en op basis hiervan de gemiddelde flux;
 - de bodemkolommen zijn allen 3 maal op deze wijze bemeten. Naast de eerste meetdag ook op dag 8 en 16;
4. vervolgens zijn de uiteindelijke fluxen voor CO₂ en CH₄ per replica en vervolgens per meetlocatie berekend op basis van de berekende fluxen voor alle meetmomenten (dag 1, 8 en 16), waarbij uitgegaan is van het gemiddelde per meetdag (ofwel het cumulatief gemiddelde);
5. Om de CH₄ flux om te rekenen naar een flux uitgedrukt in CO₂ equivalenten is uitgegaan van een factor 28. Deze factor is gebaseerd op het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) die dezelfde factor hanteert. Er zijn argumenten om een andere factor te kiezen, maar beleidsmatig is dit de meest logische keuze.

Ad3. Ebullitiemetingen

Na het uitvoeren van de korte fluxmetingen zijn vervolgens op dag 16 de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting. Het doel hiervan is om de vorming van gasbellen (ebullitie) en de hiervan afhankelijke CO₂ en CH₄ productie te kwantificeren. Na 48 uur is het opgebouwde gas bovenin de kolom verzameld en gemeten op een specifieke gaschromatograaf. De concentraties CO₂ en CH₄ zijn vervolgens omgerekend naar een emissie per tijdseenheid en per oppervlakte. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de CO₂ en CH₄ flux en broeikasgasopbouw bemeaten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodem besproken. Daarna volgen de resultaten van de broeikasgasfluxmetingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn de waarden opgenomen van de twee kolommen (replica's) per locatie. Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem is matig organisch. Het organisch stofgehalte ligt tussen 7,4 en 24,1%. Locatie AMST-02B is een uitschieter met een lager organisch stofgehalte, 2,1%. Door het matig hoge organisch stofgehalte in de waterbodem heeft de bodem een relatief lage bulkdichtheid, tussen 0,17 en 0,64 kg/l. Ook hier is AMST-02B de uitschieter met juist een hogere dichtheid, 1,35 kg/l;
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 1,57 tot 6,41 g/kg, (AMST-02B vormt een uitschieter naar beneden met 0,35 g/kg). Dit betekent dat de waterbodems in theorie een vrij hoge primaire productie kan faciliteren (resultierend in dominantie van algen, kroos of algemene waterplanten). Er wordt hierbij uitgegaan van een vuistregel van 0,5 g P/kg²;
- De fosforconcentratie in het porievocht varieert sterk tussen de locaties en tussen de replica's met concentraties tussen 1,63 en 5,43 mg P/l (AMST-02B vormt een uitschieter naar beneden, 0,09 mg P/l). De ijzerconcentraties en fosforconcentraties in het porievocht zijn relatief hoog. De ijzer:fosfor ratio's is matig hoog (grotfweg net onder de 1 tot 5). Hierdoor zal fosfor onder zuurstofrijke condities gebonden zijn aan ijzer, waardoor de kans op nalevering klein is. Enkel in AMST05 hebben beide metingen een Fe:P ratio van onder de 1, wat betekent dat hier chemische nalevering vanuit de bodem kan plaatsvinden;
- De beschikbare ammoniumconcentraties in het porievocht zijn relatief hoog en die van nitraat laag;

2 Van Zuidam, J., (2013). Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery. Thesis Wageningen Universiteit, Wageningen.

- De waterbodems zijn licht brak met chlorideconcentraties variërend tussen 320 en 870 mg Cl/l. Locaties AMST-01 en AMST-03 bevatten gemiddeld de hoogste chlorideconcentraties, de overige drie locaties zijn iets zoeter. De waterbodems bevatten relatief lage zwavelconcentraties (tussen 1,3 en 9,9 mg S/l).

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
AMST 01 A	52.381985	4.881795	82.3	0.17	21.42	34.53	40.55	4.17	12.56	1.85
AMST 01 B			79.4	0.22	19.40	37.89	36.61	4.19	11.63	1.81
AMST 02 A	52.375840	4.884132	52.0	0.55	10.17	25.20	16.02	1.57	5.64	1.63
AMST 02 B			21.3	1.35	2.14	14.30	5.10	0.35	0.93	3.13
AMST 03 A	52.368817	4.898355	79.4	0.21	21.29	33.16	43.88	5.25	9.81	2.57
AMST 03 B			80.4	0.21	21.45	32.85	45.72	5.64	10.67	2.46
AMST 04 A	52.348925	4.914100	83.1	0.17	24.14	35.26	51.95	6.41	9.97	2.99
AMST 04 B			82.4	0.17	23.20	33.54	48.13	5.93	11.06	2.50
AMST 05 A	52.313100	4.914227	72.3	0.29	18.17	48.03	36.24	3.51	8.42	2.47
AMST 05 B			68.5	0.33	16.67	65.42	31.96	3.36	7.71	2.38
AMST 06 A	52.352267	4.921716	70.5	0.32	20.23	57.30	38.35	4.16	8.11	2.72
AMST 06 B			48.6	0.64	7.55	67.40	17.91	1.72	5.96	1.73

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
AMST 01 A	7.2	3730	885.9	164.3	868.4	14.3	2.1	3.81	0.02	27.5	2.1
AMST 01 B	7.3	3380	839.0	135.3	802.2	9.4	2.1	5.11	0.02	18.0	1.0
AMST 02 A	7.7	2780	718.6	131.4	632.1	11.2	1.6	2.44	0.02	25.9	2.6
AMST 02 B	7.6	3260	495.0	142.9	744.4	0.9	7.3	0.09	0.06	41.2	5.5
AMST 03 A	7.4	2890	851.5	151.5	623.2	13.4	2.3	3.79	0.04	20.8	2.0
AMST 03 B	7.3	2950	849.3	149.0	645.5	14.2	2.2	4.54	0.03	27.5	1.7
AMST 04 A	7.5	1731	499.4	107.2	345.2	6.1	1.2	5.43	0.04	7.8	0.6
AMST 04 B	7.3	1878	555.0	113.6	378.1	9.1	1.3	5.27	0.03	12.4	1.0
AMST 05 A	7.6	2420	536.3	123.4	568.9	5.5	3.2	3.82	0.03	8.9	0.8
AMST 05 B	7.6	2430	516.7	130.0	553.2	4.5	3.6	4.47	0.03	7.1	0.6
AMST 06 A	7.8	2007	552.6	151.5	350.9	13.6	5.3	3.28	0.03	17.6	2.3
AMST 06 B	7.6	1634	439.6	99.0	319.6	2.1	9.9	1.63	0.04	11.9	0.7

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	Vocht- gehalte %	Bulk dichtheid kg/l	Org. Mat. %	Bodem							
				Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
				g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
AMST 01 A	82,3	0,17	21,42	17,73	34,53	40,55	2,87	6,64	4,17	12,56	1,85
AMST 01 B	79,4	0,22	19,4	15,32	37,89	36,61	2,13	7,53	4,19	11,63	1,81
AMST 02 A	52,0	0,55	10,17	6,95	25,2	16,02	1,04	2,37	1,57	5,64	1,63
AMST 02 B	21,3	1,35	2,14	2,77	14,3	5,1	0,31	1,54	0,35	0,93	3,13
AMST 03 A	79,4	0,21	21,29	16,34	33,16	43,88	2,55	6,58	5,25	9,81	2,57
AMST 03 B	80,4	0,21	21,45	16,86	32,85	45,72	2,62	6,64	5,64	10,67	2,46
AMST 04 A	83,1	0,17	24,14	15,67	35,26	51,95	2,26	5,87	6,41	9,97	2,99
AMST 04 B	82,4	0,17	23,2	13,88	33,54	48,13	1,93	5,53	5,93	11,06	2,5
AMST 05 A	72,3	0,29	18,17	9,74	48,03	36,24	1,55	3,69	3,51	8,42	2,47
AMST 05 B	68,5	0,33	16,67	11,66	65,42	31,96	1,9	3,51	3,36	7,71	2,38
AMST 06 A	70,5	0,32	20,23	8,69	57,3	38,35	1,34	3,44	4,16	8,11	2,72
AMST 06 B	48,6	0,64	7,55	5,59	67,4	17,91	0,81	2,03	1,72	5,96	1,73

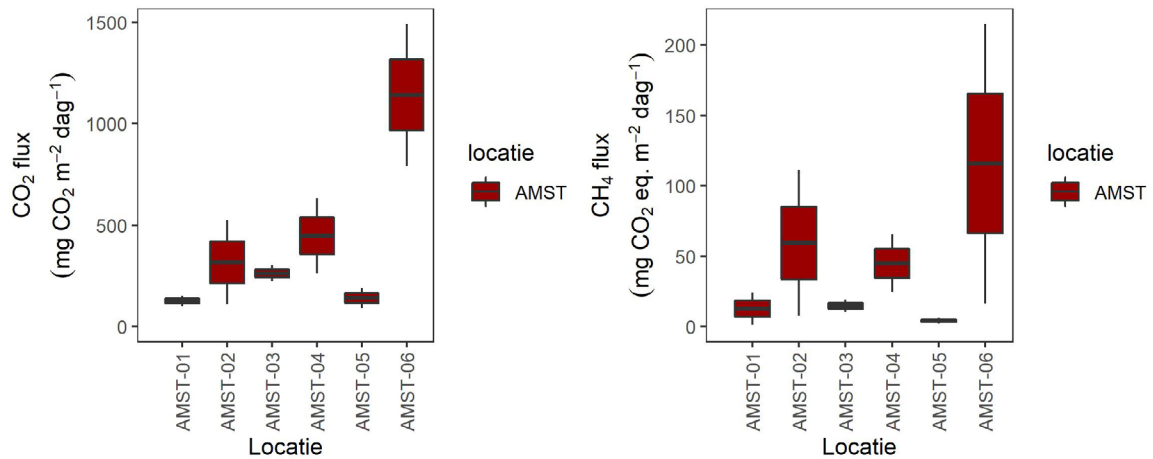
4.2 CO₂ EN CH₄ FLUX

KORTE FLUX METINGEN

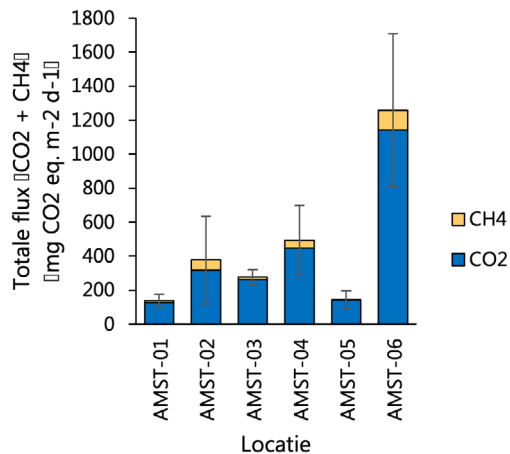
Vrijwel alle locaties gemeten in de Amsterdamse grachten stoten CO₂ en CH₄ uit (Afbeelding 2). De emissies uit de Amsterdamse grachten zijn laag in vergelijking met de andere casussen uit ronde 3 van BlueCAN.

- De CO₂ uitstoot is gemiddeld 406 ± 118 (gemiddelde ± standaardfout) mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=12). De CO₂ uitstoot varieert tussen de verschillende locaties in de Amsterdamse grachten. Hierbij heeft AMST-06 de hoogste CO₂ uitstoot (1142 ± 351 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2)), en AMST-01 en AMST-05 de laagste (resp. 126 ± 25 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2) en 142 ± 50 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2));
- De CH₄ uitstoot is gemiddeld 42 ± 18 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=12). De CH₄ uitstoot laat het zelfde patroon zien als de CO₂ uitstoot, ook hier heeft AMST-06 de hoogste flux (116 ± 99 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2)), waarbij de spreiding binnen de replica's groot is;
- Van alle locaties in de Amsterdamse grachten laat AMST-06 de hoogste totale CO₂ en CH₄ uitstoot zien (Afbeelding 3).

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELD (PER LOCATIE ZIJN DE 3 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 2 REPLICAS GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



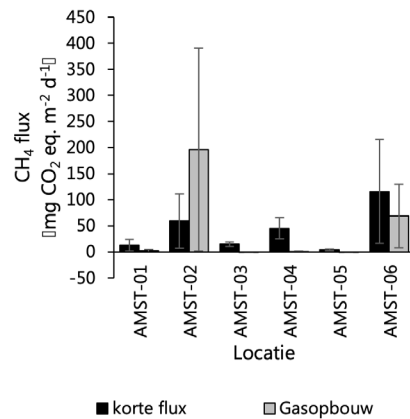
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.2.3). De resultaten van de gasopbouw meting (Afbeelding 4) laten zien dat ebullitie met name in AMST-02 en AMST-06 een rol spelen. Wel geldt voor deze locaties dat daar een grote spreiding tussen de replica's aanwezig is (iets wat voor AMST-02 al opviel in de biogeochemische data). Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid gemiddeld hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48 UUR (IN GRIJS))



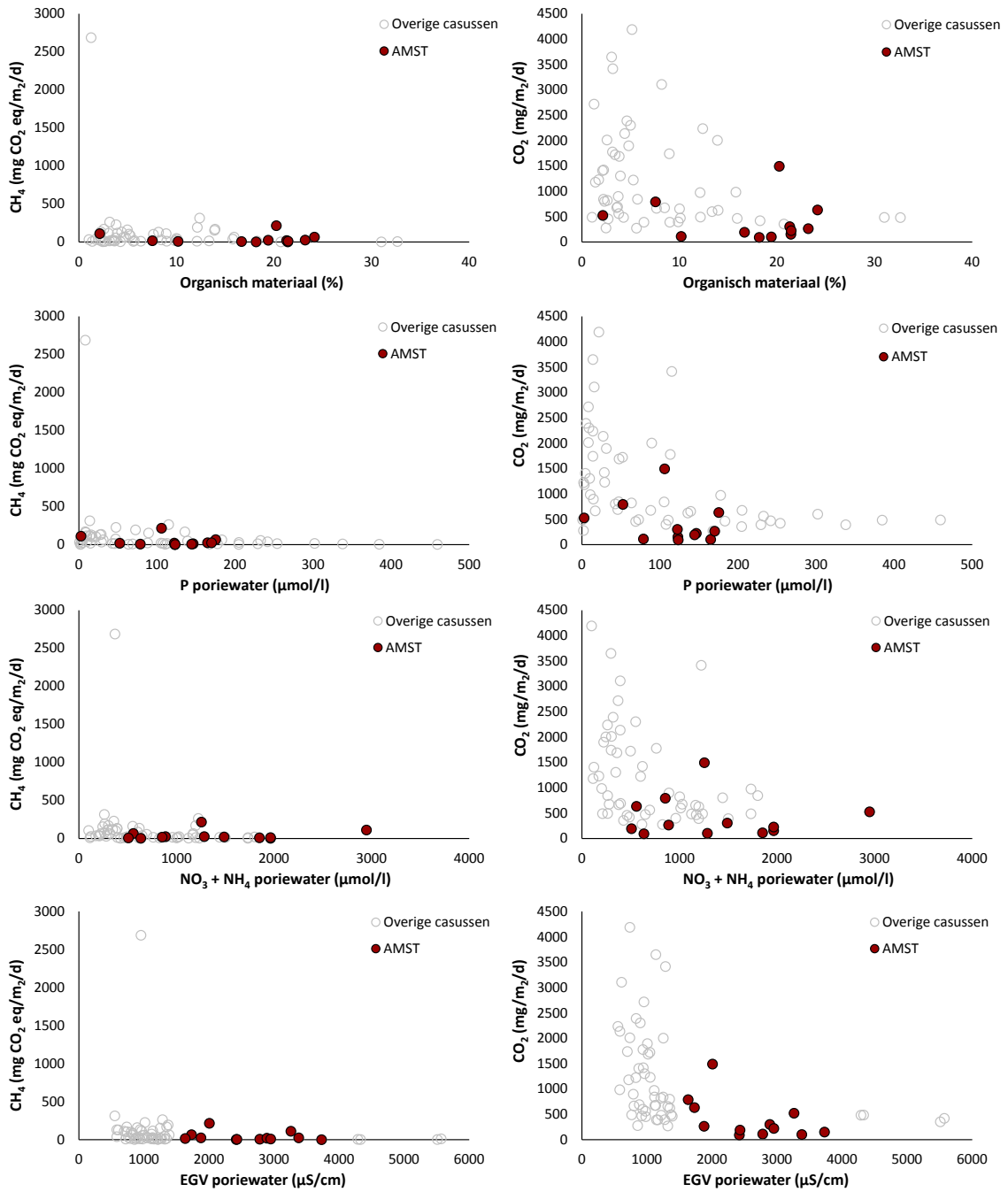
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van de Amsterdamse grachten met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de CO₂ en CH₄ emissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In de Amsterdamse grachten zijn de CO₂ en CH₄ emissies in verhouding tot de andere cases in ronde 3 relatief laag, op AMST-06 na (Afbeelding 5a. en 5b.);
- Er blijkt uit de data geen sprake van een relatie tussen de CO₂ en CH₄ emissies en het organisch stofgehalte. Dit in tegenstelling tot de zwakke relatie die hiertussen te zien was in de data van BlueCAN ronde 2;
- Er is enige relatie tussen de porievochtqualiteit en de CO₂ en CH₄ emissies;
- De fosforconcentraties in het porievocht laten over alle casussen heen geen duidelijk verband zien met de emissies (Afbeelding 5c. en 5d.). De locaties in de Amsterdamse grachten hebben in vergelijking met de andere casussen gemiddeld tot relatief hoge totaal fosforconcentraties in het porievocht, maar dit leidt niet tot hogere broeikasgasemissies;
- De porievochtconcentraties van nitraat en ammonium laten over alle casussen heen wel enig verband zien met de CO₂ emissies. Hier zijn de broeikasgasemissies hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (Afbeelding 5e. en 5f.), voor CH₄ emissies geldt dit niet. Voor de locaties binnen de Amsterdamse grachten is dit verband niet te zien;
- De CO₂ emissies blijken lager bij een hoger EGV in het porievocht (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakkere condities). Dit is in mindere mate ook te zien voor de CH₄ emissies (Afbeelding 5g. en 5h). De locaties in de Amsterdamse grachten hebben een relatief hoog EGV en verhoudingsgewijs lage CH₄ en CO₂ emissies.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH₄ EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO₂-EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO₂ EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN DONKER ROOD ZIJN DE LOCATIES IN DE AMSTERDAMSE GRACHTEN CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOFGEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEVOCHT



FACTSHEET BLUECAN:

AVERLOSCH LEIDE - WDODELTA

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De vorige twee rondes hebben zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019) en sloten en petgaten (2020). De focus lag bij deze rondes op de relatie met waterkwaliteit (respectievelijk nutriënten en organisch stof). In deze derde ronde (2021) richten wij ons op grotere lijnvormige wateren, zoals kanalen, weteringen, boezems, singels, et cetera. Dit zijn vaak wateren met veel slibaanwas en een hoge (historische) belasting met nutriënten en/of organische stof. In totaal onderzoeken wij in deze ronde 6 casussen.

Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDODelta) neemt deel met de casussen het Linthorst Homankanaal en de Averlosche Leide. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan tool (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de CO₂ en CH₄ metingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor de casus Averlosche Leide. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept, waarbij er een integrale analyse gemaakt wordt van elke casus op basis van metingen en toepassing van het verbeterde BlueScan tool en een bredere systeemanalyse. Verder wordt op basis van deze resultaten een berekening gemaakt van de totale broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op de locatiekeuze en de meetmethode. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

De Averlosche Leide is een waterloop gelegen in het buitengebied van de gemeente Deventer. De Averlosche Leide is een gegraven watergang (wetering) op zandgrond met een lengte van 5,2 km. Het is een langzaam stromende wetering in agrarisch gebied en komt uit in de Soestwetering. De oorspronkelijke bovenloop van de Averlosche Leide (de Breebroeksleiding) is door het Overijssels Kanaal afgesneden. Het Overijssels Kanaal dient nu als waterinlaat via een stuw onder vrij verval. Deze staat vaak laag en er wordt veel water ingelaten, ook ten behoeve van benedenstroomse watersystemen. Aan de westkant (einde) van de Averlosche Leide staat een automatische stuw. Als het peil te hoog is dan slaat het gemaal automatisch af. Dit is dus echter niet vaak het geval.

Het is onbekend wanneer de wetering voor het laatst gebaggerd is. In 2022 staat de wetering weer op de planning om gebaggerd te worden. De verwachting is dat er nu veel slib zal moeten liggen.

3 METHODE

3.1 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van verkennende gesprekken met het waterschap en analyse van beschikbare data over het watersysteem is een eerste selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. De uiteindelijke locatiekeuze is uitgevoerd in het veld om basis van de inzichten daar. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie.

De hoofdfocus van deze casus voor WDODelta is om meer inzicht te krijgen in de daadwerkelijke uitstoot uit hun beheergebied. De Averlosche Leide is een type watergang dat veel voorkomt in het beheergebied van WDODelta. Door naar deze casus te kijken wordt dus meer kennis vergaard over de uitstoot uit het beheergebied van WDODelta. Om een eerste indruk van de broeikasgasemissie vanuit deze wetering te krijgen is de wetering bemonsterd langs een gradiënt in de lengte van de watergang.

De locaties die in het veld zijn geselecteerd zijn (Afbeelding 1):

- AVER-01: Eerste locatie in de wetering vanaf het gemaal. De bodem was hier sterk zanderig en bevatte zeer weinig slib ($\approx 0,2$ cm). Tijdens bemonstering was de watergang 0,5 m diep ;
- AVER-02: Locatie halverwege de wetering ter hoogte van de Raalterweg. De bodem was hier evenals bij AVER-01 sterk zandig, maar bevatte een dunne sliblaag (≈ 2 cm) en er waren ondergedoken waterplanten aanwezig in de waterkolom. Tijdens bemonstering was de watergang 0,5 m diep;
- AVER-03: Locatie aan het einde van de wetering. Deze locatie bestaat uit een zandige bodem en ligt dichtbij AVER-04. AVER-03 ligt iets verder stroomafwaarts met aan de

noordzijde een aangrenzend bosperceel. Dit bosperceel heeft geleid tot een jarenlange bladinvall en accumulatie van organisch materiaal wat zich uitte in een dikkere sliblaag (≈ 10 cm);

- AVER-04: Locatie aan het einde van de wetering. Deze locatie heeft een zandige bodem. Gelegen nabij AVER-03. Maar deze locatie is in tegenstelling tot AVER-03 niet direct door blad beïnvloed en bevat een relatief dunne sliblaag (≈ 2 cm);
- AVER-05: Locatie in het Overijssels Kanaal (vanaf de brug op de Zwijnenbergerweg). Dit water beïnvloedt de Averlosche Leide. De watergang was bij bemonstering 1.5 m diep met bodemzicht. De bodem van het Overijssels Kanaal is sterk zandig met een dunne sliblaag (≈ 5 cm) met een langzame overgang tussen slibrijkszand en zand.

AFBEELDING 1 LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE CO₂ EN CH₄ METINGEN



3.2 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Korte fluxmetingen;
3. Ebullitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 27 september op 5 locaties binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 2 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 10 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwhitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Korte fluxmetingen

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten op CO₂ en CH₄ fluxen. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van CO₂ en CH₄ bepaald. Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. per meetlocatie zijn er twee bodemkolommen (of replica's);
2. de bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond;
3. daarna is gestart met de CO₂ en CH₄ diffuse flux metingen. Deze fluxen zijn gemeten met de draagbare broeikasgas-analyzer (MGGA). Om deze metingen uit te kunnen voeren is:
 - de kolom tijdelijk afgesloten om een gesloten circuit te maken met de MGGA;
 - de concentratie CO₂ en CH₄ in het luchtdeel gedurende vier minuten één keer per seconde met de MGGA gemeten;
 - tijdens de metingen is het verloop van de concentratie visueel gevolgd. Als er sprake is van een stabiele diffuse flux dan vormen de metingen een grafiek met een min of meer vaste helling. Als dit niet zo is, dan is er sprake van andere processen, zoals gasvorming (ebullitie). In het geval van ebullitie tijdens de meting is er sprake van een sprong in de CH₄ concentratie of een versnelde opbouw van CH₄. In die gevallen is de meting herhaald;
 - na vier minuten is de gemiddelde helling over de metingen bepaald en op basis hiervan de gemiddelde flux;
 - de bodemkolommen zijn allen 3 maal op deze wijze bemeten. Naast de eerste meetdag ook op dag 8 en 16;
4. vervolgens zijn de uiteindelijke fluxen voor CO₂ en CH₄ per replica en vervolgens per meetlocatie berekend op basis van de berekende fluxen voor alle meetmomenten (dag 1, 8 en 16), waarbij uitgegaan is van het gemiddelde per meetdag (ofwel het cumulatief gemiddelde);
5. om de CH₄ flux om te rekenen naar een flux uitgedrukt in CO₂ equivalenten is uitgegaan van een factor 28. Deze factor is gebaseerd op het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) die dezelfde factor hanteert. Er zijn argumenten om een andere factor te kiezen, maar beleidsmatig is dit de meest logische keuze omdat deze factor ook gebruikt wordt voor de klimaatmonitor van de Unie van Waterschappen.

Ad3. Ebullitiemetingen

Na het uitvoeren van de korte fluxmetingen zijn vervolgens op dag 16 de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting. Het doel hiervan is om de vorming van gasbellen (ebullitie) en de hiervan afhankelijke CO₂ en CH₄ productie te kwantificeren. Na 48 uur is het opgebouwde gas bovenin de kolom verzameld en gemeten op een specifieke gaschromatograaf. De concentraties CO₂ en CH₄ zijn vervolgens omgerekend naar een emissie per tijdseenheid en per oppervlakte. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de CO₂ en CH₄ flux en broeikasgasopbouw bemeaten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodem besproken. Daarna volgen de resultaten van de broeikasgasfluxmetingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling en het porievocht. In deze tabellen zijn de waarden opgenomen van de twee kolommen (replica's) per locatie. Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem is erg zandig en organisch arm. Het organisch stofgehalte varieert niet veel en ligt tussen 1 en 9%. Hierbij heeft AVER-03 (gelegen naast een bosperceel) het hoogste organisch stofgehalte. Door het lage organisch stofgehalte in de waterbodem heeft de bodem een relatief hoge dichtheid, tussen de 0,5 en 1,4 kg/l (en een hoger vochtgehalte);
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 0,10 tot 0,56 g/kg. De fosforconcentraties in het porievocht varieert tussen de locaties met concentraties tussen de 0,03 tot 0,53 mg P/l. De waterbodems bevatten relatief lage ijzerconcentraties, maar verhoudingsgewijs bevatten de bodems ook weinig fosfor. Daardoor is er een hoge Fe:P ratio waardoor de beschikbaarheid van fosfor laag is onder aerobe omstandigheden. Wel hebben zowel AVER-01 als AVER-05 een lagere Fe:P ratio, maar nog altijd boven de 1 (de grens waaronder chemische nalevering verwacht wordt). De beschikbare nitraat- en ammoniumconcentraties in het porievocht zijn laag.
- De waterbodems zijn zoet. Ze bevatten relatief lage chlorideconcentraties variërend tussen 51 en 72 mg Cl/l. De waterbodems bevatten lage zwavelconcentraties (2,4 tot 8,8 mg S/l), met uitzondering van de locaties AVER-01 en AVER-05. Deze locaties hebben zwavelconcentraties tussen 21,2 en 40,8 mg S/l. AVER-05 is gelegen in het Overijssels Kanaal en AVER-01 is de locatie in de wetering dichtbij de inlaat vanuit het Overijssels Kanaal.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
AVER 01 A	52.30445	6.22550	18.7	1.38	1.04	12.48	3.09	0.10	0.29	6.11
AVER 01 B			21.1	1.39	1.38	26.71	5.44	0.16	0.56	5.58
AVER 02 A	52.31020	6.20685	42.1	0.80	3.72	18.30	19.10	0.49	2.33	4.70
AVER 02 B			38.7	0.91	2.56	8.76	12.73	0.30	1.70	4.31
AVER 03 A	52.31449	6.19502	60.5	0.50	8.95	43.54	29.90	0.52	9.05	1.90
AVER 03 B			60.3	0.47	7.65	43.91	32.66	0.56	10.60	1.77
AVER 04 A	52.31405	6.19566	47.9	0.69	3.94	43.60	17.00	0.21	6.38	1.53
AVER 04 B			26.6	1.22	1.25	41.14	6.74	0.18	1.28	3.02
AVER 05 A	52.29646	6.24427	46.5	0.71	4.61	47.33	8.79	0.24	2.89	1.75
AVER 05 B			47.7	0.68	4.98	47.47	8.22	0.23	2.69	1.75

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
AVER 01 A	7.4	765	243.3	94.9	61.7	0.2	38.2	0.03	0.05	2.9	4.2
AVER 01 B	7.5	720	267.5	89.1	62.7	0.4	29.9	0.09	0.09	1.5	2.7
AVER 02 A	7.4	789	468.0	102.9	50.5	12.6	3.9	0.46	0.04	12.5	15.3
AVER 02 B	7.3	736	408.8	91.1	60.4	14.1	3.4	0.26	0.03	4.2	30.4
AVER 03 A	7.3	699	402.7	85.3	58.4	14.6	2.4	0.44	0.04	4.1	18.5
AVER 03 B	7.3	801	477.1	101.0	59.2	11.3	2.7	0.53	0.04	5.3	12.0
AVER 04 A	7.3	964	506.3	125.3	72.1	8.6	4.6	0.31	0.04	4.8	15.5
AVER 04 B	7.2	954	517.7	123.1	69.6	14.9	8.8	0.26	0.06	5.1	32.2
AVER 05 A	7.5	834	296.1	105.0	61.0	2.3	40.8	0.16	0.03	4.5	8.1
AVER 05 B	7.6	897	471.8	109.5	63.6	3.6	21.2	0.28	0.04	7.7	7.2

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
AVER 01 A	18,7	1,38	1,04	1,42	12,48	3,09	0,15	1,07	0,10	0,29	6,11
AVER 01 B	21,1	1,39	1,38	2,52	26,71	5,44	0,25	2,52	0,16	0,56	5,58
AVER 02 A	42,1	0,80	3,72	1,86	18,30	19,10	0,17	0,68	0,49	2,33	4,70
AVER 02 B	38,7	0,91	2,56	1,84	8,76	12,73	0,17	0,61	0,30	1,70	4,31
AVER 03 A	60,5	0,50	8,95	2,69	43,54	29,90	0,25	1,99	0,52	9,05	1,90
AVER 03 B	60,3	0,47	7,65	2,53	43,91	32,66	0,23	2,04	0,56	10,60	1,77
AVER 04 A	47,9	0,69	3,94	2,35	43,60	17,00	0,24	1,69	0,21	6,38	1,53
AVER 04 B	26,6	1,22	1,25	2,10	41,14	6,74	0,22	2,46	0,18	1,28	3,02
AVER 05 A	46,5	0,71	4,61	3,33	47,33	8,79	0,36	1,40	0,24	2,89	1,75
AVER 05 B	47,7	0,68	4,98	2,92	47,47	8,22	0,30	1,22	0,23	2,69	1,75

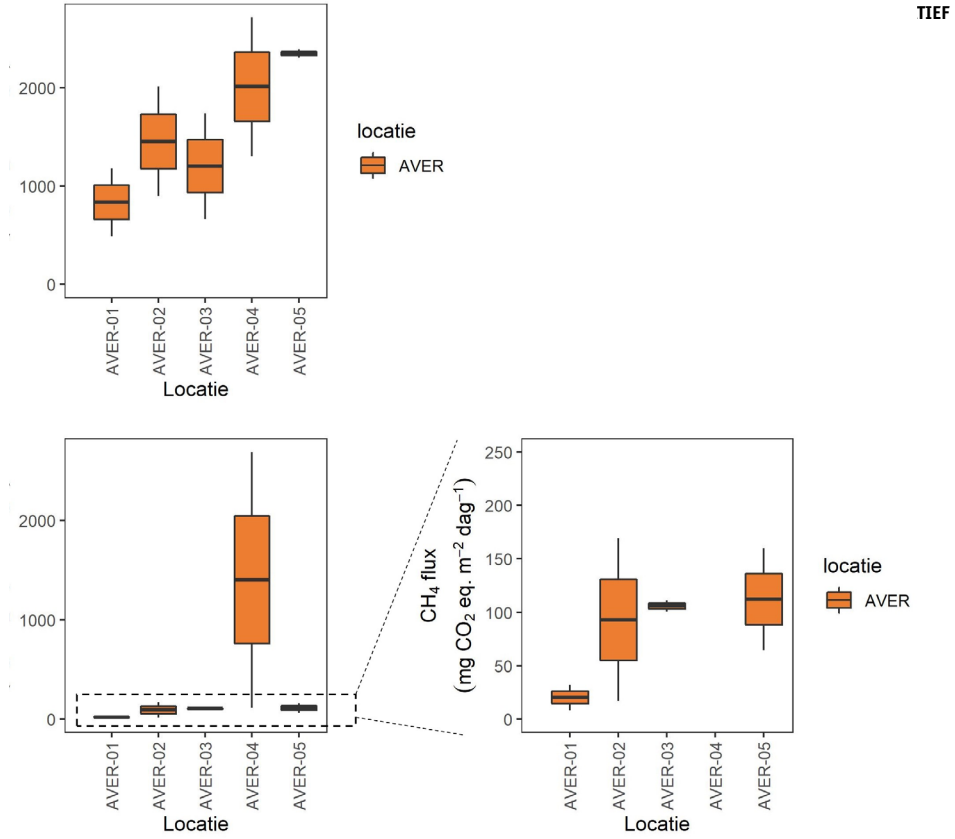
4.2 CO₂ EN CH₄ FLUX

KORTE FLUX METINGEN

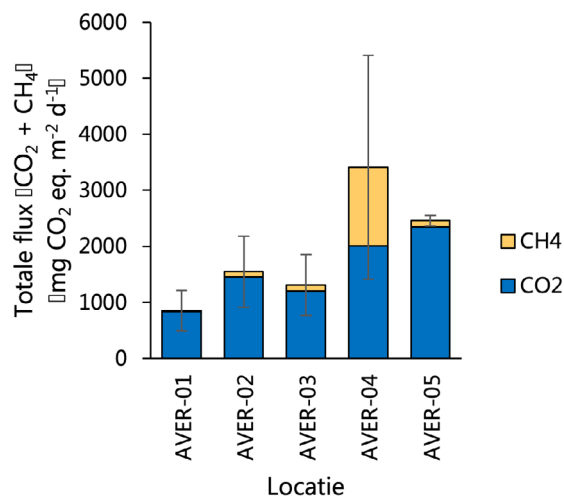
Vrijwel alle locaties gemeten in de Averlosche Leide stoten CO₂ en CH₄ uit (Afbeelding 2). De totale emissies uit de Averlosche Leide zijn relatief hoog in vergelijking met de andere casussen uit ronde 3 van BlueCAN.

- De CO₂ flux is gemiddeld 1569 ± 245 (gemiddelde \pm standaardfout) mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CO₂ flux varieert tussen de verschillende locaties in de Averlosche Leide en neemt toe van bovenstrooms (bij de inlaat) naar benedenstrooms (AVER-01 t/m AVER-04). AVER-05 (de metingen in het Overijssels Kanaal) heeft de hoogste CO₂ uitstoot (2346 ± 44 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2)), en AVER-01 (de meting dicht bij de inlaat) de laagste (834 ± 346 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2)). Hoewel AVER-01 gevoed wordt door AVER-05 is de CO₂ flux van AVER-05 van een andere orde van AVER-01. Vermoedelijk ligt dit aan het feit dat dit andere type systemen zijn. Het Overijssels Kanaal is een breed aanvoerkanaal en de Averlosche Leide is een kleine wetering (met relatief hoog debiet). Zo kan het organisch materiaal wat bij AVER-01 binnen komt -en dat in potentie tot afbraak en dus CO₂ en/of CH₄ emissies kan leiden- worden weggespoeld en vervolgens benedenstrooms pas tot uiting komen;
- De CH₄ flux is gemiddeld 347 ± 261 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CH₄ flux laat niet hetzelfde patroon zien als de CO₂ uitstoot. Met name locatie AVER-04 laat een (in verhouding tot alle andere metingen in ronde 3) enorm hoge uitstoot zien met veel spreiding tussen de replica's (1402 ± 1285 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2)). We hebben echter geen reden om aan te nemen dat hier bij bemonstering iets fout is gegaan. Alle kolommen zijn hetzelfde bemonsterd en geanalyseerd, dit lijkt een natuurlijke uitschieter te zijn. Wat deze uitschieter veroorzaakt is niet duidelijk af te leiden uit de bemeten biogeochemische parameters of karakteristieken die we in het veld hebben opgedaan. De verwachting was dat AVER-03 een hogere CH₄ uitstoot zou hebben door de invloed van bladval en aanwezigheid van een dikkere sliblaag (≈ 10 cm). Dit komt echter niet terug in de meetresultaten;
- Van alle locaties in de casus Averlosche Leide laten AVER-04, AVER-05 de hoogste totale CO₂ en CH₄ uitstoot zien (Afbeelding 3).

AFBEELDING 2 BOVEN BOXPLOT VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN ONDER DE CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹) TIEF



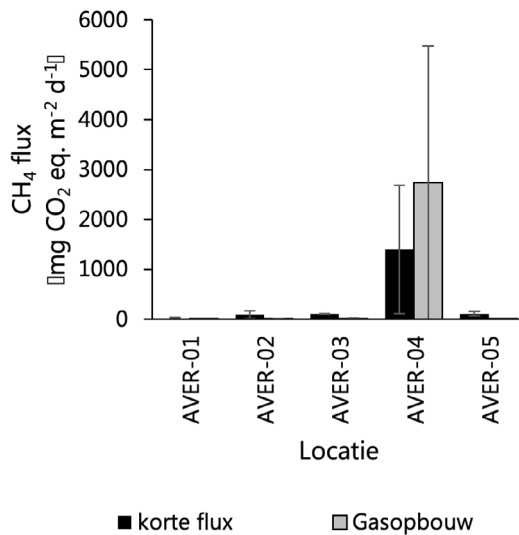
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasmismissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.2.3). De resultaten van de gasopbouw meting (Afbeelding 4) laten zien dat ebullitie in alle locaties en met name in AVER-04 een rol speelt. Ebullitie lijkt naar het einde van de wetering toe een grotere rol te spelen. Uit onze metingen wordt niet duidelijk waarom dit het geval lijkt te zijn. Wat de oorzaak hiervan is, is echter niet af te leiden uit de gemeten parameters. Ook hier hebben we wederom geen reden om uit te gaan van een meetfout. De kolommen zijn hetzelfde behandeld en bemeten in deze gasopbouw meting. De bijdrage van belvorming aan de CH₄ flux van AVER-04 kan ook de hoge CH₄ flux (Afbeelding 2) en grote spreiding daarop verklaren die in het kolom experiment gemeten is. Ebullitie troebleert dan het beeld van de CH₄ flux. Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid gemiddeld hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48 UUR (IN GRIJS))



5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

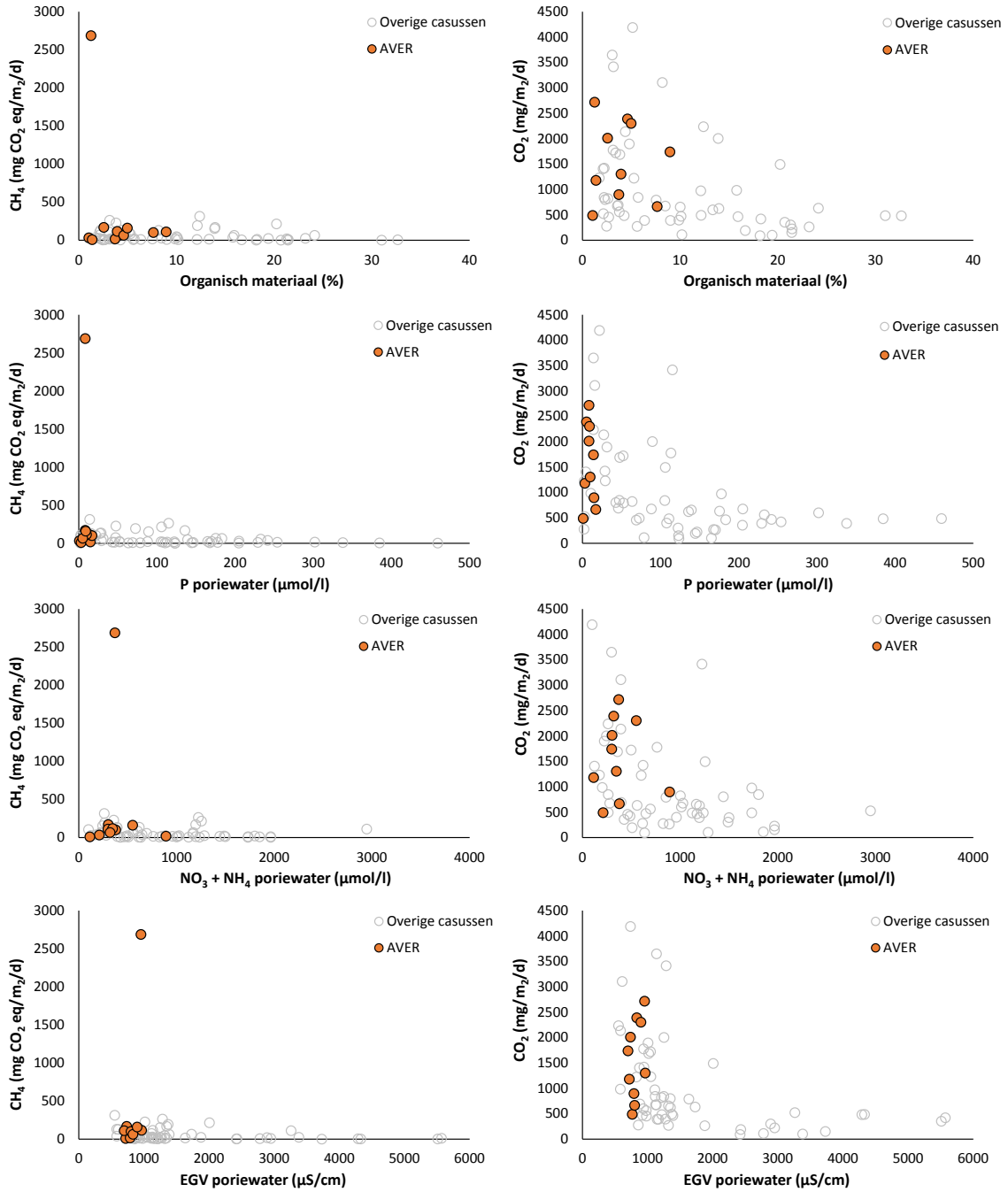
Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van de Averlosche Leide met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de CO₂ en CH₄ emissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In de Averlosche Leide zijn de CO₂ en CH₄ emissies verhoudingsgewijs relatief gemiddeld, op de (zeer) hoge CH₄ uitstoot van AVER-04b na (Afbeelding 5a. en 5b.);
- Er blijkt uit de data geen sprake van een relatie tussen de CO₂ en CH₄ emissies en het organisch stofgehalte. Dit in tegenstelling tot de zwakke relatie die hiertussen te zien was in de data van BlueCAN ronde 2;
 - Er is enige relatie tussen de porievochtqualiteit en de CO₂ en CH₄ emissies;
 - De fosforconcentraties in het porievocht laten over alle casussen heen geen duidelijk verband zien met de emissies (Afbeelding 5c. en 5d.). De locaties in de Averlosche Leide hebben in vergelijking met de andere casussen relatief lage totaal fosforconcentraties in het porievocht. De bijbehorende CO₂ en CH₄ emissies liggen in de range van andere locaties, waarbij AVER-04b er bij de CH₄ emissies uitschiet;

- De porievochtconcentraties van nitraat en ammonium laten over alle casussen heen wel enig verband zien met de CO₂ emissies. Hier zijn de broeikasgasemissies hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (Afbeelding 5e. en 5f.). Voor CH₄ emissies geldt dit niet. De locaties in de Averlosche Leide liggen in dezelfde range als andere locaties met uitzondering van locatie AVER-04b;
- De CO₂ emissies blijken lager bij een hoger EGV in het porievocht (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakke condities). Dit is in mindere mate ook te zien voor de CH₄ emissies (Afbeelding 5g. en 5h). Hier valt op dat de locaties van de Averlosche leide in vergelijking met andere locaties een erg laag EGV bevatten. Wederom vallen de locaties in dezelfde range en vormt locatie AVER-04b daarbij een uitzondering.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH₄ EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO₂-EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO₂ EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN ORANJE ZIJN DE LOCATIES IN DE AVERLOSCHLE LEIDE CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEVOCHT



FACTSHEET BLUECAN:

BOEZEMSYSTEMEN - HHNK

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De vorige twee rondes hebben zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019) en sloten en petgaten (2020). De focus lag bij deze rondes op de relatie met waterkwaliteit (respectievelijk nutriënten en organisch stof). In deze derde ronde (2021) richten wij ons op grotere lijnvormige wateren, zoals kanalen, weteringen, boezems, singels, et cetera. Dit zijn vaak wateren met veel slibaanwas en een hoge (historische) belasting met nutriënten en/of organische stof. In totaal onderzoeken wij in deze ronde 6 casussen.

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) doet mee met de casus Boezemsystemen. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan tool (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen. Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de CO₂ en CH₄ metingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept, waarbij er een integrale analyse gemaakt wordt van elke casus op basis van metingen en toepassing van de verbeterde BlueScan tool en een bredere systeemanalyse. Verder wordt op basis van deze resultaten een berekening gemaakt van de totale broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op de locatiekeuze en de meetmethode. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Het doel van het waterschap is om met deze casus een beter beeld te krijgen wat de broeikasgasemissies vanuit het gehele beheergebied is. Daarom zijn er drie locaties met elk een verschillend bodemtype geselecteerd (veen, zand en klei). Ook is er op elk van deze drie locaties een deel waar gebaggerd is en een deel dat ongebaggerd is. Zo zijn de Langereis, de Ringvaart van de Bergermeer en de Nauernasche Vaart geselecteerd als meetlocaties.

- De Langereis Is een afwateringskanaal in West-Friesland. Aan de oostkant van het kanaal bevindt zich een laag gelegen landbouw polder, de Vier Noorder Koggen polder. Aan de westkant ligt de Leyerpolder. Er zijn geen gemalen die direct op het kanaal lozen. Het kanaal was oorspronkelijk gelegen tussen het Berkmeer bij Veenhuizen en het Wieringermeer bij Aartswoud (inmiddels beide droogmakerijen). Het kanaal heeft een lengte van 6,3 km en heeft een kleibodem. Het kanaal watert voornamelijk af op het Markermeer.
- De Ringvaart van de Bergermeer is in de Middeleeuwen aangelegd om het Bergermeer droog te maken. De watergangen van de ringvaart liggen ten westen van Alkmaar en ten zuiden van Bergen in de gemeentes Alkmaar en Bergen. Ten westen hiervan beginnen de duinen. De omgeving bestaat uit grasland en enkele boerderijen. De bodem in de ringvaart is matig fijn, zwak ziltig zand.
- De Nauernasche Vaart is een kanaal ten westen van Westzaan. Het kanaal heeft een lengte van 8,5 kilometer en ligt tussen de Tochtsloot (ook: Tapsloot) bij Westknollendam en Zijkanaal D van het Noordzeekanaal bij Nauerna. Er wordt geen water ingelaten vanuit het Noordzeekanaal. De Nauernasche Vaart wordt vooral gevoed door de Westzaanpolder, Assendelft en Krommenie. Dit zijn alle drie veenpolders. De Nauernasche Vaart zelf heeft niet een veenbodem, maar door de aanvoerrote van het water ligt er veel veenslib.

3 METHODE

3.1 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

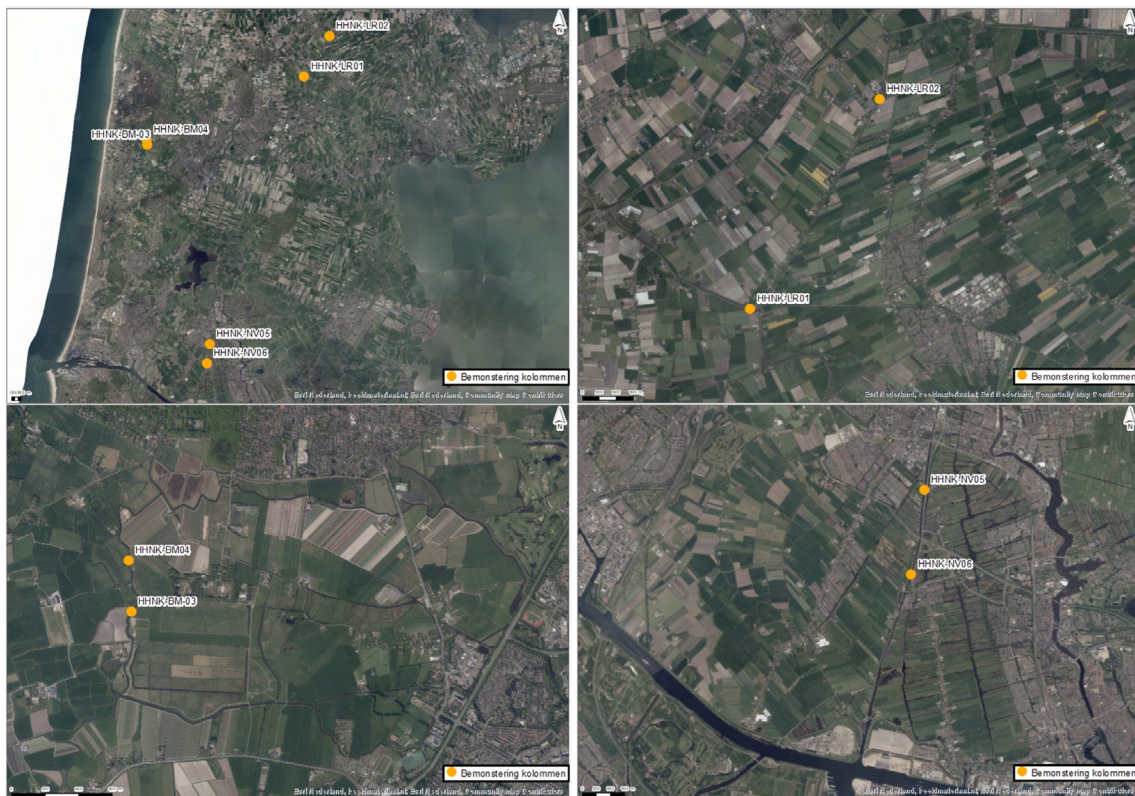
Op basis van verkennende gesprekken met het waterschap en analyse van eventueel beschikbare data over het watersysteem is een eerste selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie.

Er zijn drie boezemsystemen geselecteerd op klei, veen en zandgrond. Per grondslag is er een locatie geselecteerd die gebaggerd is en een locatie die niet gebaggerd is (3 x 2 metingen). De verwachte baggerspecie en de dikte daarvan zijn daarbij meegenomen in de overweging. De geselecteerde profielen zijn te zien in het opgestelde veldplan (bijlage I).

De locaties die zijn geselecteerd zijn (Afbeelding 1):

- HHNK-LR-01: Langereis-klei-gebaggerd. 15 meter brede watergang. Bemonsterd ter hoogte van profiel 107;
- HHNK-LR-02: Langereis-klei-ongebaggerd. 10 meter brede watergang. Bemonsterd ter hoogte van profiel 4200;
- HHNK-BM-03: Ringvaart van de Bergermeer-zand-ongebaggerd. Bemonsterd ter hoogte van vak SMM12A04 profiel 637;
- HHNK-BM-04: Ringvaart van de Bergermeer-zand-gebaggerd. Bemonsterd ter hoogte van profiel 642 en 643;
- HHNK-NV-05: Nauernasche Vaart-veen-ongebaggerd. 30 meter brede watergang. Bemonsterd ter hoogte van profiel 1102;
- HHNK-NV-06: Nauernasche Vaart-veen-gebaggerd. 30 meter brede watergang. Bemonsterd ter hoogte van profiel 1106.

AFBEELDING 1 LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE CO₂ EN CH₄ METINGEN. LINKSBOVEN HET OVERZICHT VAN ALLE ZES DE BEMONSTERDE LOCATIES. RECHTSBOVEN DE TWEE LOCATIES IN DE LANGEREIS, LINKSONDER IN DE RINGVAART IN VAN DE BERGERMEER EN RECHTSONDER IN DE NAUERNASCHE VAART



3.2 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Korte fluxmetingen;
3. Ebullitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 29 september op 6 locaties binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 2 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 12 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Korte fluxmetingen

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten op CO₂ en CH₄ fluxen. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van CO₂ en CH₄ bepaald. Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. per meetlocatie zijn er twee bodemkolommen (of replica's);
2. de bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond;
3. daarna is gestart met de CO₂ en CH₄ diffuse flux metingen. Deze fluxen zijn gemeten met de draagbare broeikasgas-analyzer (MGGA). Om deze metingen uit te kunnen voeren is:
 - de kolom tijdelijk afgesloten om een gesloten circuit te maken met de MGGA;
 - de concentratie CO₂ en CH₄ in het luchtdeel gedurende vier minuten één keer per seconde met de MGGA gemeten;
 - tijdens de metingen is het verloop van de concentratie visueel gevolgd. Als er sprake is van een stabiele diffuse flux dan vormen de metingen een grafiek met een min of meer vaste helling. Als dit niet zo is, dan is er sprake van andere processen, zoals gasvorming (ebullitie). In het geval van ebullitie tijdens de meting is er sprake van een sprong in de CH₄ concentratie of een versnelde opbouw van CH₄. In die gevallen is de meting herhaald;
 - na vier minuten is de gemiddelde helling over de metingen bepaald en op basis hiervan de gemiddelde flux;
 - de bodemkolommen zijn allen 3 maal op deze wijze bemeten. Naast de eerste meetdag ook op dag 8 en 16;
4. vervolgens zijn de uiteindelijke fluxen voor CO₂ en CH₄ per replica en vervolgens per meetlocatie berekend op basis van de berekende fluxen voor alle meetmomenten (dag 1, 8 en 16), waarbij uitgegaan is van het gemiddelde per meetdag (ofwel het cumulatief gemiddelde);
5. om de CH₄ flux om te rekenen naar een flux uitgedrukt in CO₂ equivalenten is uitgegaan van een factor 28. Deze factor is gebaseerd op het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) die dezelfde factor hanteert. Er zijn argumenten om een andere factor te kiezen, maar beleidsmatig is dit de meest logische keuze.

Ad3. Ebullitiemetingen

Na het uitvoeren van de korte fluxmetingen zijn vervolgens op dag 16 de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting. Het doel hiervan is om de vorming van gasbellen (ebullitie) en de hiervan afhankelijke CO₂ en CH₄ productie te kwantificeren. Na 48 uur is het opgebouwde gas bovenin de kolom verzameld en gemeten op een specifieke gaschromatograaf. De concentraties CO₂ en CH₄ zijn vervolgens omgerekend naar een emissie per tijdseenheid en per oppervlakte. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de CO₂ en CH₄ flux en broeikasgasopbouw bemeaten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodem besproken. Daarna volgen de resultaten van de broeikasgasfluxmetingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geven een overzicht van de bodemsamenstelling en het porievocht. In deze tabellen zijn de waarden opgenomen van de twee kolommen (replica's) per locatie. Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodems variëren van licht organisch tot licht weinig. Het organisch stofgehalte ligt tussen 8,47 en 32,64%. Door het variërende organisch stofgehalte in de waterbodems varieert ook de dichtheid (tussen 0,12 en 0,64 kg/l). Locaties HHNK-05 en HHNK-06, de locaties in de Nauernasche Vaart, hebben de meest organisch rijke waterbodem. Dit is ook het boezemsysteem waar grote veenpolders op afwateren. Het meest organisch arm is de waterbodem van het boezemsysteem de Langereis met een kleibodem (HHNK-01 en HHNK-02);
- De totale fosforgehalten in de waterbodems variëren van 0,39 tot 2,95 g/kg. De fosforconcentraties in het porievocht variëren sterk tussen de locaties en tussen de replica's met concentraties tussen 2,25 tot 11,91 mg P/l. Verhoudingsgewijs bevatten het porievocht van de waterbodems op de bemonsterde locaties in het beheergebied van HHNK weinig ijzer en veel fosfor (lage Fe:P ratio, overall (ruim) beneden de 1) wat ertoe bijdraagt dat de beschikbaarheid van fosfor hoog is. Met name op locaties HHNK-05 en HHNK-06 en in mindere mate HHNK-01 zijn fosforconcentraties in het porievocht erg hoog. Ook beschikbare ammoniumconcentraties in het porievocht zijn op het merendeel van de locaties hoog. De nitraatconcentratie is vaak laag.
- De locaties HHNK-01, HHNK-02, HHNK-03 en HHNK-04 zijn zoet (tussen 140 en 225 mg Cl/l) terwijl locaties HHNK-05 en HHNK-06 een matig brak karakter hebben (1100 en 1700 mg Cl/l). Ook bevatten locaties HHNK-05 en HHNK-06 hogere sulfaatbeschikbaarheid in vergelijking met de andere vier locaties.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
HHNK 01 A	52.7070923	4.966227	72.4	0.30	13.34	47.41	13.52	0.64	9.03	0.86
HHNK 01 B			49.4	0.64	8.47	46.11	10.60	0.39	6.59	0.92
HHNK 02 A	52.7410791	4.930683	67.9	0.36	9.86	53.20	11.25	0.58	6.94	0.93
HHNK 02 B			66.0	0.35	10.00	50.07	11.99	0.60	7.92	0.87
HHNK 03 A	52.649147	4.682708	72.2	0.31	13.96	44.00	11.54	1.31	7.43	0.89
HHNK 03 B			76.3	0.24	15.92	50.53	13.01	1.38	8.53	0.87
HHNK 04 A	52.6532002	4.682292	66.4	0.38	12.14	19.52	10.45	0.45	7.51	0.80
HHNK 04 B			74.6	0.28	13.90	23.89	13.08	0.52	9.65	0.78
HHNK 05 A	52.4843457	4.770780	87.0	0.12	31.00	22.03	33.24	2.95	24.11	0.79
HHNK 05 B			86.5	0.12	32.64	17.48	28.90	2.66	20.45	0.81
HHNK 06 A	52.467901	4.766800	78.5	0.22	20.69	30.44	26.66	1.17	21.44	0.71
HHNK 06 B			79.3	0.21	18.25	32.85	26.78	1.22	19.64	0.78

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mol/mol
HHNK 01 A	7.5	936	415.9	136.7	147.6	0.3	3.8	9.35	0.03	14.2	0.0
HHNK 01 B	8.1	1133	628.6	104.8	158.1	0.0	5.7	6.35	0.17	3.7	0.0
HHNK 02 A	7.4	1273	596.5	115.8	144.8	0.0	5.1	3.34	0.03	13.4	0.0
HHNK 02 B	7.5	1319	652.6	119.3	140.1	0.0	1.9	4.31	0.03	16.3	0.0
HHNK 03 A	7.2	1351	525.7	109.5	180.8	3.6	3.6	4.21	0.02	16.8	0.5
HHNK 03 B	7.2	1389	590.7	112.4	183.8	4.3	2.9	5.67	0.02	16.4	0.4
HHNK 04 A	7.5	1372	446.0	96.1	225.4	1.1	3.9	2.25	0.02	3.7	0.3
HHNK 04 B	7.4	1251	480.6	90.2	180.3	1.3	6.7	2.77	0.02	3.4	0.3
HHNK 05 A	7.2	4330	724.5	111.8	1103.5	4.4	9.9	14.23	0.01	24.3	0.2
HHNK 05 B	7.3	4290	645.5	112.6	1130.4	4.5	11.3	11.91	0.01	15.7	0.2
HHNK 06 A	7.6	5510	541.2	97.0	1716.4	0.5	15.0	6.34	0.01	6.0	0.0
HHNK 06 B	7.4	5570	519.3	100.8	1721.0	4.0	14.9	7.87	0.01	6.8	0.3

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	Vocht- gehalte %	Bulk dichtheid kg/l	Org. Mat. %	Bodem							
				Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
				g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
HHNK 01 A	72,4	0,30	13,34	8,19	47,41	13,52	1,59	3,78	0,64	9,03	0,86
HHNK 01 B	49,4	0,64	8,47	7,21	46,11	10,60	1,47	3,92	0,39	6,59	0,92
HHNK 02 A	67,9	0,36	9,86	7,92	53,20	11,25	1,61	4,12	0,58	6,94	0,93
HHNK 02 B	66,0	0,35	10,00	8,03	50,07	11,99	1,61	4,11	0,60	7,92	0,87
HHNK 03 A	72,2	0,31	13,96	3,92	44,00	11,54	0,81	1,51	1,31	7,43	0,89
HHNK 03 B	76,3	0,24	15,92	4,66	50,53	13,01	1,01	1,76	1,38	8,53	0,87
HHNK 04 A	66,4	0,38	12,14	3,35	19,52	10,45	0,63	1,13	0,45	7,51	0,80
HHNK 04 B	74,6	0,28	13,90	4,52	23,89	13,08	0,83	1,51	0,52	9,65	0,78
HHNK 05 A	87,0	0,12	31,00	18,58	22,03	33,24	3,51	6,79	2,95	24,11	0,79
HHNK 05 B	86,5	0,12	32,64	15,88	17,48	28,90	2,91	5,83	2,66	20,45	0,81
HHNK 06 A	78,5	0,22	20,69	13,01	30,44	26,66	2,68	5,94	1,17	21,44	0,71
HHNK 06 B	79,3	0,21	18,25	13,28	32,85	26,78	2,75	6,29	1,22	19,64	0,78

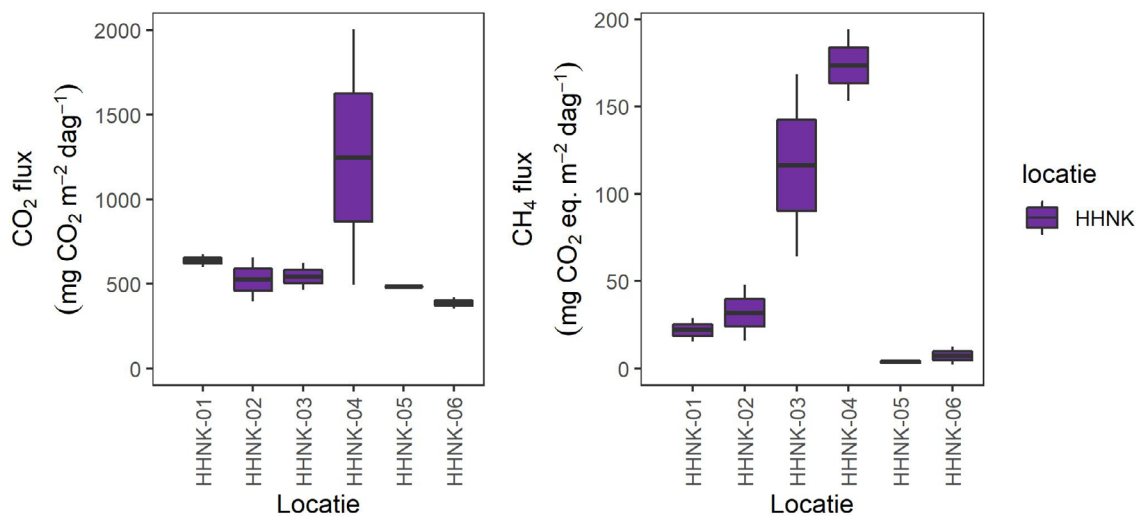
4.2 CO₂ EN CH₄ FLUX

KORTE FLUX METINGEN

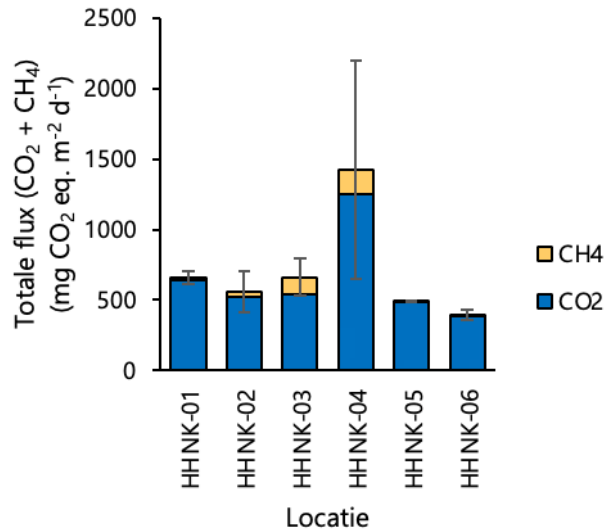
Vrijwel alle locaties gemeten in de geselecteerde boezemsystemen van HHNK stoten CO₂ en CH₄ uit (Afbeelding 2). De CO₂ flux uit deze casus is relatief laag in vergelijking met de andere casussen uit ronde 3 van BlueCAN. De CH₄ flux is relatief gemiddeld.

- De CO₂ uitstoot is gemiddeld 638 ± 128 (gemiddelde \pm standaardfout) mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=12). De CO₂ uitstoot varieert niet sterk tussen de verschillende locaties. Alleen HHNK-04 springt er bovenuit (1248 ± 755 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2));
- De CH₄ uitstoot is gemiddeld 59 ± 20 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=12). De CH₄ uitstoot laat niet hetzelfde patroon zien als de CO₂ uitstoot. Met name locatie HHNK-03 en HHNK-04, de zandlocatie (Ringvaart), laten een hogere CH₄ flux zien, met veel spreiding tussen de replica's (resp. 116 ± 52 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2) en 174 ± 20 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2));
- Van alle locaties laat HHNK-04 de hoogste totale CO₂ en CH₄ flux zien (Afbeelding 3).

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELD (PER LOCATIE ZIJN DE 3 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 2 REPLICA'S GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



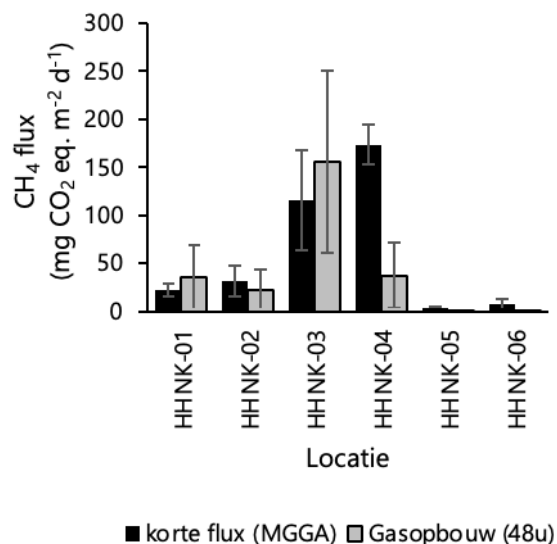
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.2.3). De resultaten van de gasopbouw meting (Afbeelding 4) laten zien dat ebullitie in bijna alle HHNK locaties een rol speelt, met name in HHNK-03. Dit kan ook de grote spreiding in de CH₄ flux van HHNK-03 verklaren die in het kolomexperiment gemeten is. Op grond van de gasopbouwmetingen verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid gemiddeld hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48 UUR (IN GRIJS))



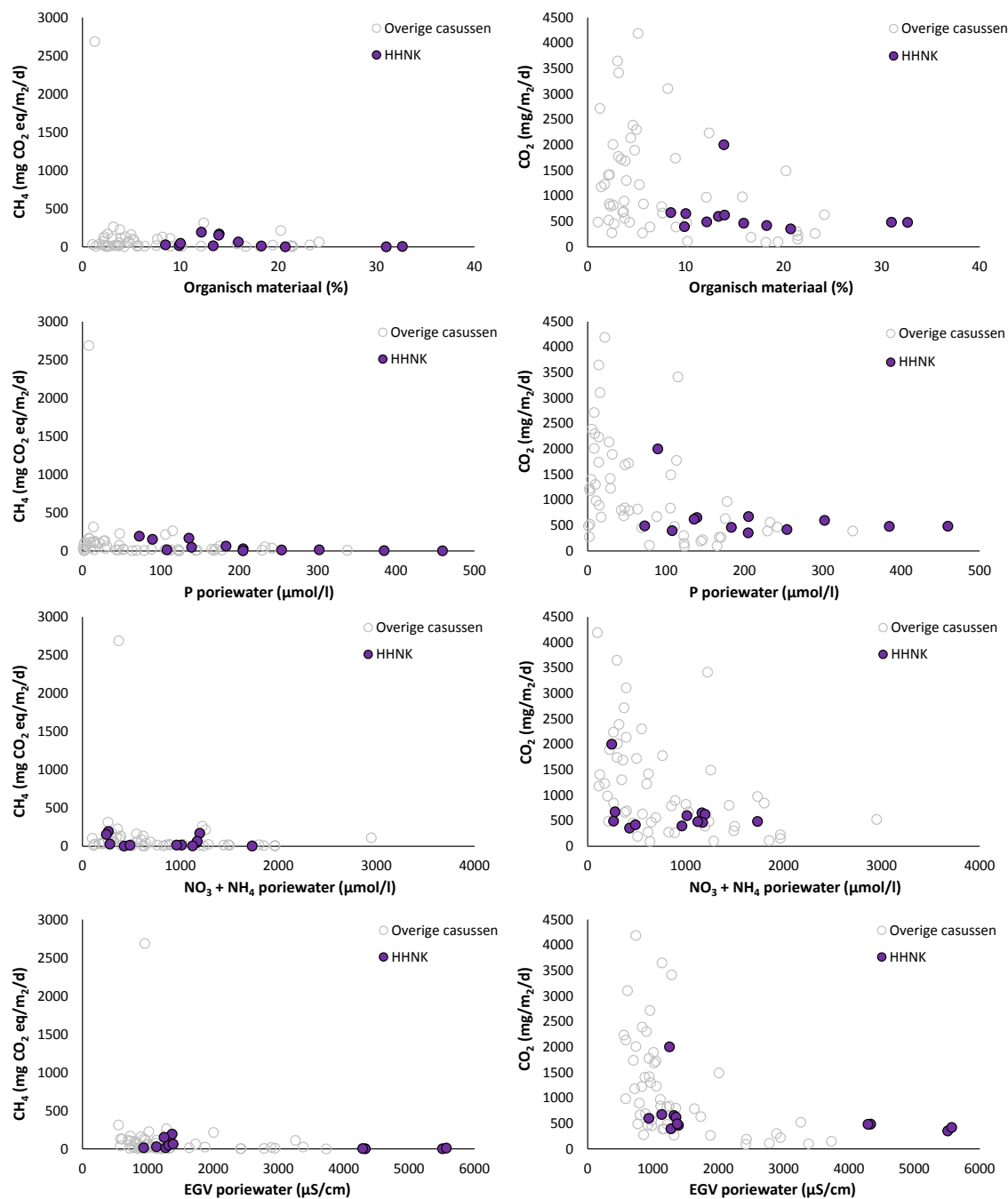
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van de 3 boezemsystemen binnen HHNK met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de CO₂ en CH₄ emissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In de 3 boezemsystemen binnen HHNK zijn de CO₂ emissies verhoudingsgewijs relatief laag en de CH₄ emissies relatief gemiddeld ten opzichte van de overige casussen binnen ronde 3 (Afbeelding 5a. en 5b.);
- Er blijkt uit de data geen sprake van een relatie tussen de CO₂ en CH₄ emissies en het organisch stofgehalte. Dit in tegenstelling tot de zwakke relatie die hiertussen te zien was in de data van BlueCAN ronde 2, hoewel dit voor de casus Oostzanerveld (HHNK) ook niet het geval was;
- Er is enige relatie tussen de porievocht kwaliteit en de CO₂ en CH₄ emissies:
 - De fosforconcentraties in het porievocht laten over alle casussen heen geen duidelijk verband zien met de emissies (Afbeelding 5c. en 5d.). De locaties in het beheergebied van HHNK hebben in vergelijking met de andere casussen relatief hoge totaal fosforconcentraties in het porievocht, maar dit leidt niet tot een hogere CO₂ en CH₄ emissies;
 - De porievochtconcentraties van nitraat en ammonium laten over alle casussen heen wel enig verband zien met de CO₂ emissies. Hier zijn de broeikasgasemissies hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid, voor CH₄ emissies geldt dit niet (Afbeelding 5e. en 5f.). De porievochtconcentraties van nitraat en ammonium in de locaties binnen het beheergebied van HHNK zijn gemiddeld tot relatief hoog. Er is geen (duidelijke) relatie met de CH₄ en CO₂ emissies;
 - De CO₂ emissies blijken lager bij een hoger EGV in het porievocht (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakkere condities). Dit is in mindere mate ook te zien voor de CH₄ emissies (Afbeelding 5g. en h). Hier valt op dat de locaties in het beheergebied van HHNK in vergelijking met andere locaties een relatief hoog EGV hebben. Daar waar de EGV hoog is, is de emissie relatief laag. Of hier sprake is van een oorzakelijk verband is onzeker.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN PAARS ZIJN DE LOCATIES IN DE BOEZEMSYSTEMEN CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOFGEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEVOCHT



FACTSHEET BLUECAN: DE WIEDEN – NATUURMONUMENTEN

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De eerste ronde heeft zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019). De focus lag bij deze ronde op de relatie met waterkwaliteit, met name de nutriënten. In deze tweede ronde (2020) richten wij ons op kleine lijnvormige watersystemen zoals sloten en petgaten. Hierbij ligt de focus wederom op de relatie met waterkwaliteit maar ditmaal ook met meer aandacht voor het organisch stof. In totaal onderzoeken wij deze relatie aan de hand van 6 casussen.

Natuurmonumenten (NM) doet mee met de casus De Wieden. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan instrument (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de broeikasgasmetingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 jaar leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept en wordt een integrale analyse gemaakt van elke casus op basis van metingen, toepassing van het verbeterde model en een bredere systeemanalyse, wordt een berekening gemaakt van de broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

De deelname van Natuurmonumenten aan het onderzoeksproject BlueCAN is mede mogelijk gemaakt door het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN).

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op het reeds uitgevoerde verkennend onderzoek, de daaruit volgende selectie van meetlocaties voor de broeikasgasmetingen en het onderzoek zelf. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Het natuurgebied De Wieden, gelegen in Noordwest Overijssel, is een vergraven laagveen-gebied met een oppervlakte van ca. 9500 ha. Het gebied wordt gekenmerkt door twee grote veenplassen (de Belterwijde en Beulakerwijde) en petgaten. In de petgaten treedt verlanding op en komen zeldzame trilveenvegetaties voor met onder andere veenmosorchis en rood schorpioenmos. Het gebied maakt samen met de Weerribben onderdeel uit van de boezem van Noordwest Overijssel. In dit boezemgebied liggen veel polders die voor de watervoorziening afhankelijk zijn van de boezem.

Het onderzoek richt zich op het petgatengebied rond de Walengracht, omdat hier een ander onderzoeksproject loopt in relatie tot CO₂. In dit Care-Peat project zijn ca. 8 tot 10 ha nieuwe petgaten gegraven, waarmee de verlanding wordt teruggezet en CO₂ opname wordt gestimuleerd. Het vrijgekomen koolstofrijke materiaal is geconserveerd in een vooroever aan de noordkant van de Beulakerwijde. Het doel van dit onderzoek is een vergelijking tussen de emissie vanuit reeds bestaande en nieuw gegraven petgaten. Dit geeft inzicht in de effectiviteit van de CO₂ opname als gevolg van verlanding in verhouding tot de totale CO₂ balans van reeds bestaande en nieuwe petgaten.

Uit de eerste ronde metingen van het BlueCAN-onderzoek (2019) blijkt dat de hydrologie en de waterkwaliteit beide een belangrijke bepalende factor vormen in relatie tot de broeikasgasemissie uit oppervlaktewater. In de tweede (2020) en derde ronde (2021) metingen onderzoeken we dit verder. Over de hydrologie en waterkwaliteit is al veel bekend door een studie die zeer recent is uitgevoerd (Witteveen+Bos, 2021). Zo weten we dat:

- de waterkwaliteit in de Wieden en Weerribben over het algemeen goed is met relatief lage nutriëntenconcentraties. De waterkwaliteit is de laatste jaren verbeterd. Dit heeft geleid tot (geleidelijk) herstel van ondergedoken watervegetatie in de grote plassen;
- de Walengracht in de buurt van gemaal Stroink ligt. Bij gemaal Stroink wordt zowel water ingelaten ten tijde van droogte als water uitgelaten ten tijde van wateroverschot. Hierdoor passeert er door en rondom de Walengracht veel water. Dit water is met name afkomstig uit de in het gebied gelegen polders die hun wateroverschot op het boezemsysteem lozen. Deze polders hebben vaak een relatief slechte waterkwaliteit. Een andere bron van water in de winter is de in het oosten gelegen Steenwijker Aa, die weer een relatief goede waterkwaliteit heeft. In de zomermaanden passeert er juist veel water dat wordt aangevoerd vanuit gemaal Stroink om het gebied van voldoende water te voorzien. Dit water is afkomstig uit het Vollenhovenmeer en kent een relatief goede waterkwaliteit.

3 METHODE

3.1 VOORVERKENNING

In november 2020 is een verkennend onderzoek uitgevoerd met als doel zicht te krijgen in de bodemheterogeniteit. In deze verkenning is er rondom het gebied van de Walengracht gezocht naar een gradiënt in waterbodemkarakteristieken van inlaat (Walengracht) richting haarvatsysteem (petgaten). Het betreft karakteristieken als het organisch stofgehalte in de bodem en de ijzer-, fosfor- en sulfaatconcentraties in zowel de bodem als in het bodemporievocht.

3.2 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

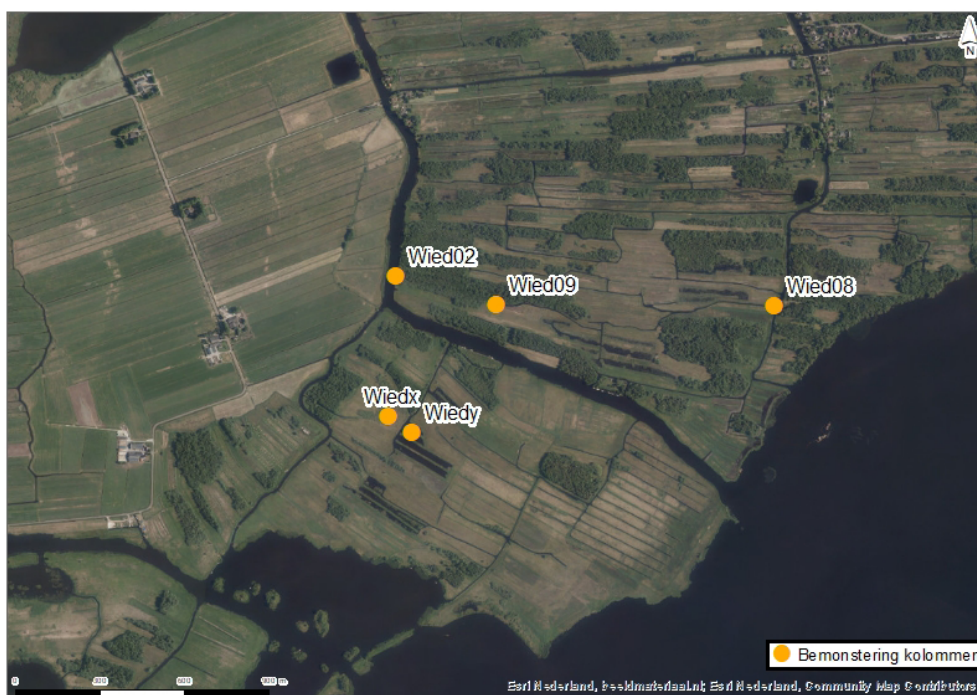
Op basis van de verkenning is vervolgens een selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie.

Uit de verkenning blijkt geen sterke gradiënt van inlaat naar haarvat zichtbaar in de waterbodemkarakteristieken. We hebben de selectie in plaats daarvan gebaseerd op andere verschillen in het gebied. Afbeelding 1 geeft een overzicht van geselecteerde locaties:

- WIED-02: een brede watergang die relatief veel water doorvoert en die bevaren wordt
- WIED-08: een smallere watergang die richting petgaten loopt en waar enkel met kleine boot of kano gevaren wordt;
- WIED-09: een meetpunt in een doodlopende haarvat;
- WIED-X: een nieuw gegraven petgat (Care-Peat project);
- WIED-Y: een relatief oud petgat.

De twee petgaten WIED-X en WIED-Y liggen dichtbij elkaar, zodat de condities, met uitzondering van de ouderdom, zoveel mogelijk vergelijkbaar zijn. De petgaten worden bijvoorbeeld gevoed door hetzelfde inlaatwater.

AFBEELDING 1 SELECTIE VAN LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE BEPALING VAN BROEIKASGASEMISSIES



3.3 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Kolomexperimenten;
3. Ebulitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 18 september 2021 op 5 plekken binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 3 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 15 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Kolomexperimenten

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten voor broeikasgasflux. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van de broeikasgassen CO₂ en CH₄ bepaald. De bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond, waarna gestart is met broeikasgasflux metingen. Voor de broeikasgas-emissie meting is de kolom tijdelijk afgesloten, om een gesloten circuit te maken met de draagbare broeikasgas analyser (MGGA), welke de concentratie CO₂ en CH₄ per seconde bepaald. De bodemkolommen zijn allen bemeten op dag 1, 2, 4, 8 en 16 na acclimatisatie, waarbij elke meting zo'n 4 minuten duurde. De emissies zijn vervolgens berekend door van deze emissie over deze dagen het oppervlak onder de grafiek te berekenen en te middelen per dag (cumulatief gemiddelde). Om CH₄ om te rekenen naar CO₂ equivalenten is factor 28 gebruikt. Er is nu gekozen om deze factor te hanteren omdat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) deze ook hanteert. Daarmee is dit momenteel beleidsmatig een logische keuze.

Ad3. Ebulitie

Op dag 16 zijn vervolgens de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting, waarbij ook gas via bellen (ebullitie) bijdraagt aan de totale gasopbouw. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waardes laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de broeikasgasflux bemeten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodemkarakteristieken besproken, daarna volgen de resultaten van de broeikasgasflux metingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn gemiddelde waarden opgenomen van de drie kolommen (replica's) per locatie met daaronder de spreiding (de standaardfout). Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem is venig, waarbij het organisch stofgehalte tussen de 40 en 50% ligt. Door het venige karakter van de waterbodem heeft de bodem een relatief lage dichtheid en relatief veel vocht;
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 0,4 tot 0,7 met een uitschieter van 1,4 g/kg (WIED-08). Door de overmaat aan ijzer en calcium is het fosfor erg immobiel. De fosforconcentratie in het poriewater is (hierdoor) relatief laag. De ijzerconcentratie (en daarmee de Fe:P ratio) is hoog wat bijdraagt aan een lage beschikbaarheid van fosfor (onder zuurstofrijke omstandigheden). Ook de beschikbare nitraat- en ammoniumconcentraties in het porievocht zijn laag. Bij WIED-X speelt wel een risico op verhoogde fosfaatbeschikbaarheid in de zomer vanuit de waterbodem door de relatief lagere Fe:P ratio;
- De waterbodems zijn zoet met lage chlorideconcentraties en relatief lage zwavelconcentraties. Locatie WIED-02 (de Walengracht) bevat wat hogere totale en beschikbare concentraties kationen in de waterbodem t.o.v. de andere vier locaties en is hiermee wat basenrijker en beter gebufferd. Hier zijn dan ook het EGV en chloride- en calciumconcentraties in het porievocht het hoogst. De andere vier locaties bevatten lagere ionenconcentraties door een minder grote invloed van het boezemwater en meer invloed van regenwater.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
WIED-02 gem.	52.713668	6.017208	75.2	0.3	52.6	55.2	41.3	0.7	4.2	5.6
WIED-02 st.err			1.99	0.02	18.16	5.33	1.56	0.06	0.18	0.23
WIED-08 gem.	52.712583	6.037077	90.2	0.1	59.4	23.0	40.3	1.4	12.2	1.9
WIED-08 st.err			0.50	0.01	0.24	0.19	0.55	0.03	0.12	0.01
WIED-09 gem.	52.712707	6.022485	92.8	0.1	66.8	19.8	12.4	0.4	12.6	0.6
WIED-09 st.err			0.94	0.01	2.28	0.46	0.13	0.02	0.78	0.03
WIED-X gem.	52.709123	6.016633	90.7	0.1	62.5	18.4	21.1	0.5	26.8	0.5
WIED-X st.err			0.34	0.00	5.00	0.80	2.97	0.05	4.41	0.01
WIED-Y gem.	52.708627	6.01802	88.8	0.1	58.9	21.3	18.3	0.5	15.7	0.7
WIED-Y st.err			0.80	0.01	0.25	0.56	1.01	0.00	0.95	0.00

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	Porievocht										
	pH	EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mol/mol
WIED-02 gem.	7.0	718	213	120	40	4.37	55.6	0.06	0.01	1.59	51.35
WIED-02 st.err	0.04	23.5	14.6	6.8	1.4	1.18	2.6	0.03	0.00	0.33	12.02
WIED-08 gem.	7.0	580	244	89	33	5.94	22.9	0.19	0.03	3.87	19.53
WIED-08 st.err	0.04	9.8	11.1	0.9	0.6	0.98	1.9	0.06	0.01	0.48	4.42
WIED-09 gem.	6.7	562	112	78	34	0.71	52.3	0.02	0.02	2.27	23.70
WIED-09 st.err	0.03	8.0	9.9	5.6	1.5	0.28	1.6	0.00	0.01	0.13	5.66
WIED-X gem.	6.9	553	92	79	36	0.04	51.3	0.12	0.01	0.80	1.41
WIED-X st.err	0.08	78.2	15.8	15.8	0.5	0.01	18.1	0.11	0.00	0.19	0.79
WIED-Y gem.	7.1	595	271	87	37	2.28	8.8	0.07	0.01	4.62	19.07
WIED-Y st.err	0.02	26.0	18.7	3.5	0.2	0.62	2.8	0.02	0.00	0.97	1.43

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
WIED-02 gem.	73,1	0,3	46,8	3,7	55,2	41,3	0,3	0,8	0,7	4,2	5,6
WIED-02 st.err	1,94	0,02	16,49	0,08	5,33	1,56	0,01	0,05	0,06	0,18	0,23
WIED-08 gem.	87,3	0,1	44,8	5,7	23,0	40,3	0,5	1,5	1,4	12,2	1,9
WIED-08 st.err	0,47	0,01	0,84	0,08	0,19	0,55	0,01	0,02	0,03	0,12	0,01
WIED-09 gem.	90,1	0,1	46,9	5,0	19,8	12,4	0,4	1,6	0,4	12,6	0,6
WIED-09 st.err	0,84	0,01	1,16	0,40	0,46	0,13	0,02	0,03	0,02	0,78	0,03
WIED-X gem.	87,9	0,1	46,0	7,4	18,4	21,1	0,6	1,8	0,5	26,8	0,5
WIED-X st.err	0,36	0,00	4,34	1,37	0,80	2,97	0,11	0,17	0,05	4,41	0,01
WIED-Y gem.	86,1	0,1	45,5	5,5	21,3	18,3	0,4	1,4	0,5	15,7	0,7
WIED-Y st.err	0,78	0,01	1,06	0,13	0,56	1,01	0,04	0,06	0,00	0,95	0,00

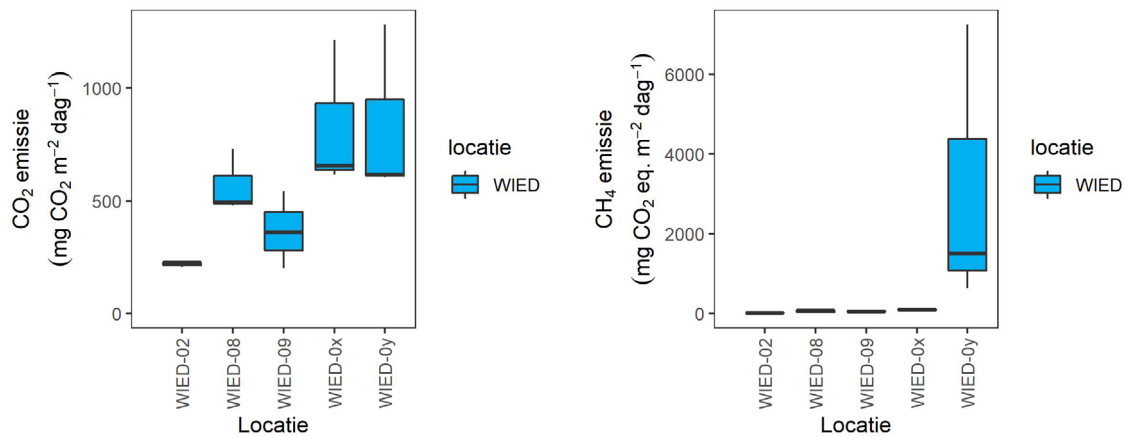
4.2 BROEIKASGASFLUX (CO₂ EN CH₄)

KORTE FLUX METINGEN

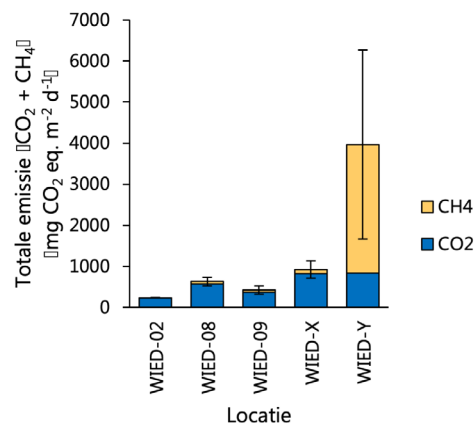
Alle locaties binnen de Wieden casus stoten CO₂ en CH₄ uit, maar met uitzondering van locatie WIED-Y vooral CO₂ (afbeelding 2). De gemiddelde broeikasgasemissie (CO₂ + CH₄) over alle locaties is 1236 ± 566 mg CO₂ eq. m⁻² d⁻¹. Dit is relatief laag vergeleken met andere locaties.

- Gemiddeld is de CO₂ uitstoot uit alle locaties van de Wieden 563 ± 85 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=15) en de CH₄ uitstoot 673 ± 480 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=15). Ten opzichte van andere locaties is de CO₂ uitstoot in de Wieden laag. De CO₂ uitstoot is het hoogst in WIED-X en WIED-Y (resp. (gemiddelde ± standard error) 828 ± 192 en 834 ± 224 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=3)) en lager voor locaties WIED-02, WIED-08 en WIED-09 (resp. 220 ± 6.8, 568 ± 82 en 368 ± 99 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=3)).
- De CH₄ uitstoot is met name hoog voor locatie WIED-Y (3130 ± 2074 mg CO₂ eq. m⁻² d⁻¹ (n=3)). Dit is een oud petgat. De overige vier locaties stoten allen minder dan 100 mg CO₂ eq. m⁻² d⁻¹ uit (range 17.7 – 96.7 mg CO₂ eq. m⁻² d⁻¹). De spreiding tussen de drie replica's in de CH₄ emissie van WIED-Y is erg groot. Dit komt omdat er van de 3 replica's een bodem is die enorm hoge uitstoot laat zien ten opzichte van de anderen twee bodems. Dit onderstreept de heterogeniteit in deze locatie en kans op hogere uitstoot in hotspots. Ondanks de spreiding kunnen we vaststellen dat de totale emissie in deze replicametingen in het oude petgat veruit het hoogst is ((CO₂ + CH₄), 3964 ± 2298 mg CO₂ eq. m⁻² d⁻¹, afbeelding 3).

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELDE (PER LOCATIE ZIJN DE 5 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 3 REPLICAS GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



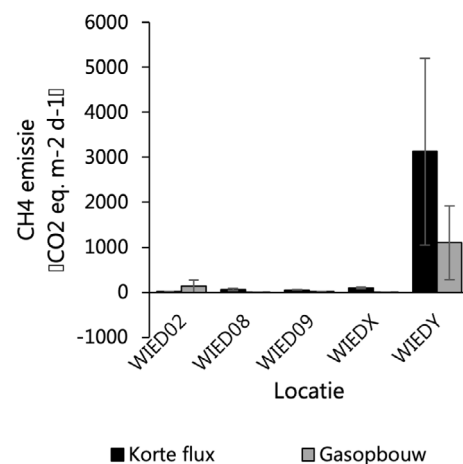
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE ($\text{MG CO}_2 \text{ M}^{-2} \text{ DAG}^{-1}$) LAAT ZIEN VAN CO_2 (BLAUW) EN CH_4 (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.3.3). De resultaten van de lange gasopbouw meting (afbeelding 4) laat zien dat gasbelvorming voor CH_4 met name in WIED-Y en in veel mindere mate in WIED-02 een rol speelt. Ook hier is de spreiding tussen de replica's bij WIED-Y erg groot (grote standaard fout), wat nogmaals bevestigt dat er grote variatie is in CH_4 emissies uit het oude petgat in de Wieden.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH_4 EMISSIE ($\text{MG CO}_2 \text{ EQ. M}^{-2} \text{ D}^{-1}$) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48U; IN GRIJS)



5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

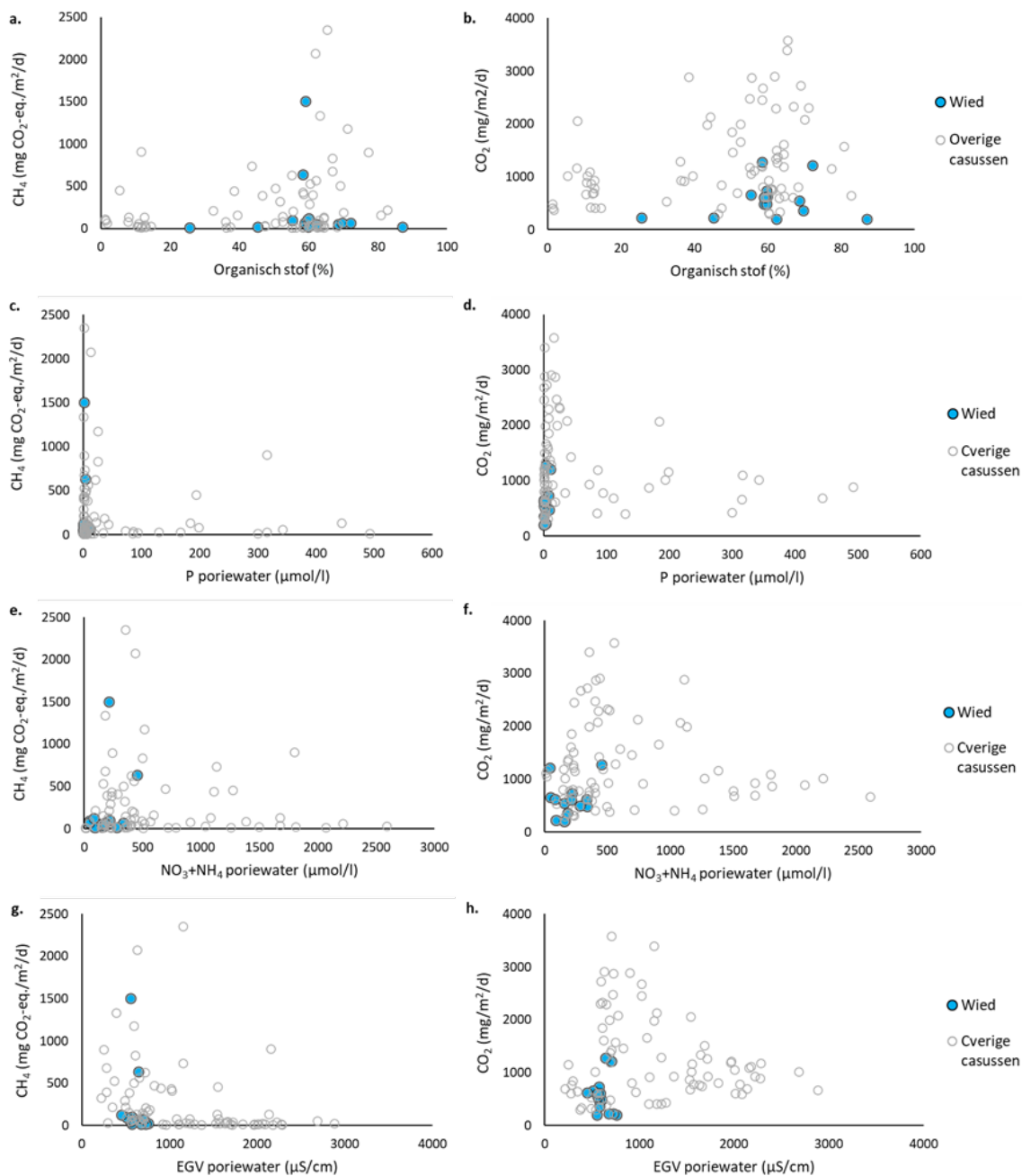
Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van de Wieden met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de broeikasgasemissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- in de Wieden zijn de broeikasgasemissie verhoudingsgewijs relatief laag is, op het oude petgat (WIED-Y) na (afbeelding 5a. en b.);
- Er lijkt sprake van een zwakke relatie tussen de broeikasgasemissies en het organisch stof gehalte. In de Wieden zien we zowel hoge (WIED Y) als lage broeikasgasemissies (overige locaties) bij relatief hoge organisch stofgehalten (afbeelding 5a. en b.);

- Ook is er enige relatie tussen de porievochtqualiteit en de broeikasgasemissie:
 - Bij lage fosforconcentraties zien we soms hoge emissies (afbeelding 5c. en d.). De locaties in de Wieden hebben in vergelijking met de andere casussen lage totaal fosforconcentraties in het poriewater;
 - Er is een vergelijkbaar beeld voor de porievochtconcentraties van nitraat en ammonium. Ook hier zijn de broeikasgasemissies hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (afbeelding 5e. en f.). En ook gelet op de stikstofbeschikbaarheid zijn de waterbodems in de Wieden relatief arm in vergelijking met de locaties in andere casussen;
 - De CH₄ emissie blijkt over het algemeen lager bij een hoger EGV in het poriewater (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakkere condities). Voor de CO₂ emissie komt dit verband niet naar voren (afbeelding 5g. en h). De locaties in de Wieden hebben in vergelijking met de andere casussen een relatief laag EGV gehalte.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN LICHT BLAUW ZIJN DE LOCATIES IN DE WIEDEN CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEWATER



FACTSHEET BLUECAN:

DE WOULDSE DROOGMAKERIJ - DELFLAND

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De eerste ronde heeft zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019). De focus lag bij deze ronde op de relatie met waterkwaliteit, met name de nutriënten. In deze tweede ronde (2020) richten wij ons op kleine lijnvormige watersystemen zoals sloten en petgaten. Hierbij ligt de focus wederom op de relatie met waterkwaliteit maar ditmaal ook met meer aandacht voor het organisch stof. In totaal onderzoeken wij deze relatie aan de hand van 6 casussen.

Het Hoogheemraadschap van Delfland (Delfland) doet mee met de casus de Woudse droogmakerij. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen van gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan instrument (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de broeikasgasmetingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept en wordt een integrale analyse gemaakt van elke casus op basis van metingen, toepassing van het verbeterde model en een bredere systeemanalyse, wordt een berekening gemaakt van de broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op het reeds uitgevoerde verkennend onderzoek, de daaruit volgende selectie van meetlocaties voor de broeikasgasmetingen en het onderzoek zelf. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

De Woudse droogmakerij is een kleipolder met veel glastuinbouw. Het totale oppervlak is 8 ha. De polder wordt in het noorden begrensd door de Zweth en in het zuiden door De Meer, een kronkelende sloot (afbeelding 1). De droogmakerij ligt relatief laag in het landschap (-4.2 m NAP) en bijvoorbeeld zo'n 2 meter lager dan de omliggende Woudsepolder. Er is vrijwel geen veen meer in de bodem aanwezig. De sloten tussen de kassen zijn relatief klein (0.5 tot 2 m breed) Er wordt in de noordwest hoek water ingelaten vanuit het de Zweth. Het wateroverschot wordt uitgemalen via gemaal de Woudsche Droogmakerij aan de oostkant. Er zitten relatief veel nutriënten in het water, waarbij de glastuinbouw verantwoordelijk is voor veruit het grootste deel van de belasting. Ook is bekend dat er vrijwel geen waterplanten in de sloten voorkomen en dat het oppervlaktewater in de watergangen vaak troebel is.

3 METHODE

3.1 VOORVERKENNING

In november 2020 is een verkennend onderzoek uitgevoerd met als doel zicht te krijgen in de bodemheterogeniteit. In deze verkenning is er in het kassengebied gezocht naar een de gradiënt in waterbodemkarakteristieken van inlaat naar uitlaat. Het betreft karakteristieken als het organisch stofgehalte in de bodem en de ijzer-, fosfor- en sulfaatconcentraties in zowel de bodem als in het bodemporievocht.

3.2 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van de verkenning is vervolgens een selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd zijn. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie. Uit de verkenning blijkt dat er een gradiënt van inlaat naar uitlaat in de waterbodemkarakteristieken aanwezig is. Deze gradiënt was mede de basis voor de keuze van locaties voor broeikasgasmetingen. Afbeelding 1 geeft een overzicht van geselecteerde locaties:

- WOULD-01: geselecteerd als representatief voor de inlaat;
- WOULD-08: begin van een doorspoelsloot tussen de kassencomplexen;
- WOULD-07: verderop in dezelfde doorspoelsloot tussen de kassencomplexen. Dit meetpunt is gekozen, omdat het in de verkenning relatief hoge nutriëntenwaarden in het porievocht had;
- WOULD-09: geselecteerd als representatief voor de uitlaat;
- WOULD-03: een meetpunt in een doodlopende smalle sloot. Deze sloot lijkt representatief voor veel watergangen in het beheergebied van Delfland, waarbij de watergangen in vrij afstromend gebied liggen en voornamelijk stagnant zijn. Door deze representativiteit is

ook dit meetpunt geselecteerd.

AFBEELDING 1 SELECTIE VAN LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE BEPALING VAN BROEIKASGASEMISSIES



3.3 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Kolomexperimenten;
3. Ebulitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 18 september 2021 op 5 plekken binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 3 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 15 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Kolomexperimenten

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten voor broeikasgasflux. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van de broeikasgassen CO₂ en CH₄ bepaald. De bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatisiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond, waarna gestart is met broeikasgasflux metingen. Voor de broeikasgas-emissie meting is de kolom tijdelijk afgesloten, om een gesloten circuit te maken met de draagbare broeikasgas analyzer (MGGA), welke de concentratie CO₂ en CH₄ per seconde bepaald. De bodemkolommen zijn allen bemeten op dag 1, 2, 4, 8 en 16 na acclimatisatie, waarbij elke meting zo'n 4 minuten duurde. De emissies zijn vervolgens berekend door van

deze emissie over deze dagen het oppervlak onder de grafiek te berekenen en te middelen per dag (cumulatief gemiddelde). Om CH_4 om te rekenen naar CO_2 equivalenten is factor 28 gebruikt. Er is nu gekozen om deze factor te hanteren omdat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) deze ook hanteert. Daarmee is dit momenteel beleidsmatig een logische keuze.

Ad3. Ebulitie

Op dag 16 zijn vervolgens de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting, waarbij ook gas via bellen (ebullitie) bijdraagt aan de totale gasopbouw. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waardes laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de broeikasgasflux bemeten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO_2 en HCO_3), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodemkarakteristieken besproken, daarna volgen de resultaten van de broeikasgasflux metingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn gemiddelde waarden opgenomen van de drie kolommen (replica's) per locatie met daaronder de spreiding (de standaardfout). Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- De waterbodem in de Woudse droogmakerij bestaat hoofdzakelijk uit klei. Het organisch stofgehalte is dan ook laag (gemiddeld 7 tot 13%) en de bulkdichtheid hoog (0,4 tot 0,7 kg/l). Dit in vergelijking met de andere cases in ronde 2 die allemaal in gebieden liggen met een matig tot hoog organisch stofgehalte;
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems zijn zeer hoog. Deze variëren gemiddeld van 1.5 tot 2.8 g P/kg, met een uitschieter tot gemiddeld 5.4 g P/kg (WOUD-03). Dit betekent dat de waterbodem in theorie een zeer hoge primaire productie kan faciliteren (resulteerd in dominantie van algen, kroos of algemene waterplanten). Er wordt hierbij uitgegaan van een vuistregel van 0,5 g P/kg²;
- De zwavelgehalten in de waterbodem zijn relatief laag ten opzichte van de ijzergehaltes, hierdoor is de Fe:S ratio relatief hoog (> 0,5). In de bodems van de Woudse droogmakerij is de Fe:S ratio voldoende hoog dat er ijzer beschikbaar is voor de binding van fosfor. In een zwavelrijke bodem reageert zwavel namelijk met ijzer, waardoor naar verloop van tijd het ijzer voor een groot deel is vastgelegd in de waterbodem en niet meer beschikbaar is in oplossing in het porievocht (t.b.v. het binden van fosfor);
- Ook in het porievocht van de waterbodems zijn de fosforconcentraties zeer hoog (varierend van 3,8 tot 11,9 mg P/l). In verhouding tot fosfor bevatten de waterbodems in de Woudse droogmakerij in het porievocht lage ijzerconcentraties, waardoor er een lage Fe:P ratio aanwezig is en er in theorie ook veel chemische nalevering van fosfor van de waterbodem naar de waterlaag plaats kan vinden. We vermoeden dat de hoge concentraties in het porievocht ook het gevolg zijn van het moment van bemonstering. In september is de afbraak van organisch stof (van bijvoorbeeld dode algen) nog volop aan de gang, waardoor anaerobe condities ontstaan, waarbij met name ijzer en fosfor in het porievocht worden gemobiliseerd. Dat er in dit gebied sprake is van nalevering van fosfor is overigens eerder geconstateerd in het onderzoeksproject BaggerNut;
- De nitraatconcentraties in het porievocht zijn laag tot gemiddeld. De ammoniumconcentraties in het porievocht zijn hoog tot zeer hoog ten opzichte van andere casussen. Dit laatste wijst wederom op anaerobe condities als gevolg van afbraak;
- De waterbodems in de Woudse droogmakerij zijn gelet op chloride en EGV in het porievocht zoet tot licht brak van karakter, waarbij de verschillen in het gebied groot zijn. Locatie WOUD-01 springt eruit met hoge waarden voor chloride, EGV, maar ook voor bijvoorbeeld calcium en bicarbonaat. Dit lijkt te wijzen op invloed van licht brak grondwater, waarbij er mogelijk een relatie ligt met de waterkwaliteit in de Zweth.

2 Van Zuidam, J., (2013). Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery. Thesis Wageningen Universiteit, Wageningen.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICA'S PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
WOUD-01 gem.	52.005762	4.29039	64.1	0.5	10.6	38.4	16.8	2.8	5.7	1.7
WOUD-01 st.err			1.41	0.01	0.13	0.19	0.25	0.01	0.18	0.03
WOUD-03 gem.	52.006563	4.291973	65.2	0.4	12.2	39.4	19.3	5.4	9.8	1.1
WOUD-03 st.err			0.64	0.02	0.23	3.50	0.27	1.62	0.25	0.01
WOUD-07 gem.	52.00735	4.302477	51.6	0.7	7.0	34.4	12.3	1.5	4.7	1.5
WOUD-07 st.err			3.68	0.07	0.88	0.69	0.42	0.20	0.36	0.13
WOUD-08 gem.	52.009623	4.300428	61.2	0.4	12.2	27.7	20.5	2.7	8.4	1.4
WOUD-08 st.err			0.81	0.01	0.35	0.69	0.24	0.31	0.53	0.08
WOUD-09 gem.	52.007848	4.302167	59.5	0.5	13.0	38.0	20.7	2.8	10.8	1.1
WOUD-09 st.err			1.62	0.02	0.83	1.62	1.36	0.51	1.05	0.11

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICA'S PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
WOUD-01 gem.	7.2	2610	809	168	471	3.93	11.0	11.87	0.01	32.09	0.19
WOUD-01 st.err	0.02	179.5	5.5	6.5	60.5	0.31	1.7	1.70	0.00	2.18	0.02
WOUD-03 gem.	7.4	1542	533	111	181	1.82	37.6	3.83	0.01	22.45	0.29
WOUD-03 st.err	0.03	12.4	5.5	5.8	6.2	0.42	3.2	0.69	0.00	1.43	0.09
WOUD-07 gem.	7.7	1548	650	110	110	1.77	39.0	5.94	0.02	17.42	0.17
WOUD-07 st.err	0.13	2.5	33.1	22.0	13.0	0.98	8.3	0.13	0.00	1.24	0.09
WOUD-08 gem.	7.5	2169	765	93	245	1.53	51.7	8.58	0.02	24.02	0.14
WOUD-08 st.err	0.02	26.4	56.6	4.1	13.2	0.27	28.2	3.38	0.00	0.58	0.06
WOUD-09 gem.	7.7	1186	532	126	90	1.70	26.0	5.30	0.04	13.98	0.19
WOUD-09 st.err	0.15	51.4	41.7	12.8	4.5	0.51	6.1	2.03	0.01	2.18	0.04

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICA'S PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
WOUD-01 gem.	64,1	0,5	10,6	8,3	38,4	16,8	1,6	4,7	2,8	5,7	1,7
WOUD-01 st.err	1,41	0,01	0,13	0,24	0,19	0,25	0,06	0,05	0,01	0,18	0,03
WOUD-03 gem.	65,2	0,4	12,2	8,4	39,4	19,3	1,6	4,4	5,4	9,8	1,1
WOUD-03 st.err	0,64	0,02	0,23	0,17	3,50	0,27	0,04	0,05	1,62	0,25	0,01
WOUD-07 gem.	51,6	0,7	7,0	7,3	34,4	12,3	1,4	3,8	1,5	4,7	1,5
WOUD-07 st.err	3,68	0,07	0,88	0,29	0,69	0,42	0,07	0,09	0,20	0,36	0,13
WOUD-08 gem.	61,2	0,4	12,2	14,4	27,7	20,5	2,8	5,6	2,7	8,4	1,4
WOUD-08 st.err	0,81	0,01	0,35	2,43	0,69	0,24	0,47	0,10	0,31	0,53	0,08
WOUD-09 gem.	59,5	0,5	13,0	8,7	38,0	20,7	1,7	4,2	2,8	10,8	1,1
WOUD-09 st.err	1,62	0,02	0,83	0,36	1,62	1,36	0,07	0,17	0,51	1,05	0,11

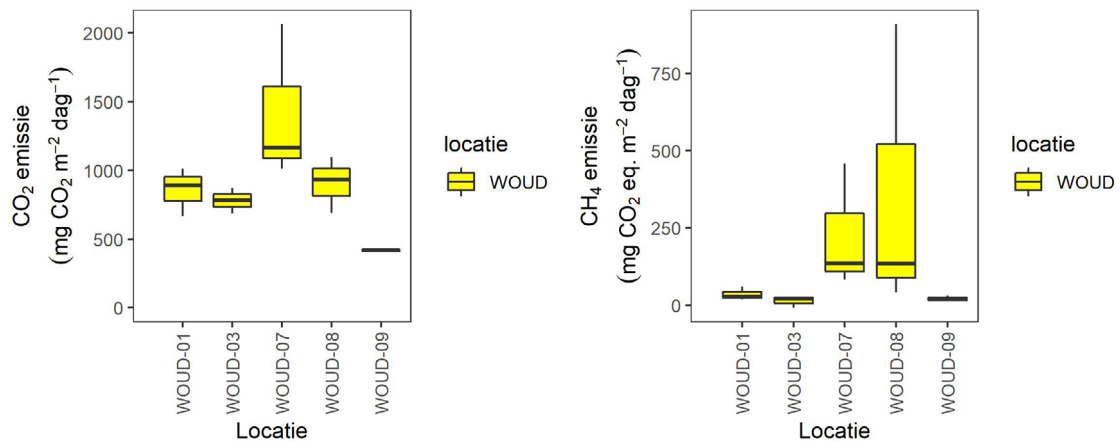
4.2 BROEIKASGASFLUX (CO₂ EN CH₄)

KORTE FLUX METINGEN

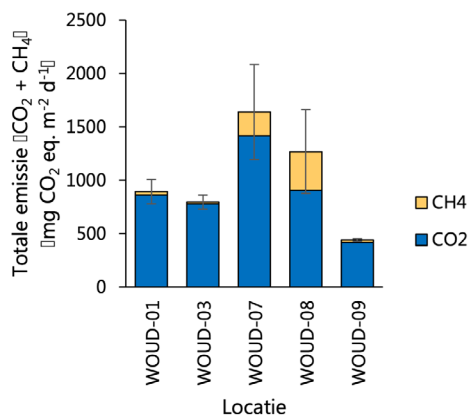
Alle locaties binnen de Woudse droogmakerij stoten CO₂ en CH₄ uit (afbeelding 2). De gemiddelde broeikasgasemissie (CO₂ + CH₄) over alle locaties is 1007 ± 168 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (afbeelding 3). De variatie in emissie van zowel CO₂ en CH₄ is groot, zowel tussen de locaties als tussen de replica's.

- Gemiddeld is de CO₂ uitstoot van de locaties van de Woudse droogmakerij 876 ± 106 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=15). Hierbij is de variatie wel groot, met name locatie WOULD-09 heeft een relatief lage CO₂ uitstoot met nauwelijks variatie tussen de replica's. WOULD-07 heeft een relatief hoge CO₂ uitstoot waarbij ook de variatie tussen de replica's groter is;
- De CH₄ emissie bedraagt gemiddeld 131 ± 63 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=15). De CH₄ emissie levert een relatief kleine bijdrage (gemiddeld 13%) aan de totale broeikasgasemissie van de Woudse droogmakerij (1007 ± 168 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹; afbeelding 3);
- Met name WOULD-07 en WOULD-08 hebben in verhouding tot de andere locaties een hoge CH₄ uitstoot (resp. 225 ± 117 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹; 362 ± 278 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3); afbeelding 2), terwijl WOULD-01, WOULD-03 en WOULD-09 minder dan 36 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ aan CH₄ uitstoten. Als we de totale broeikasgasemissie bekijken (afbeelding 3) valt op dat de CH₄ emissie alleen in WOULD-07 en WOULD-08 een noemenswaardige bijdrage levert aan de totale emissie.

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELD (PER LOCATIE ZIJN DE 5 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 3 REPLICA'S GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



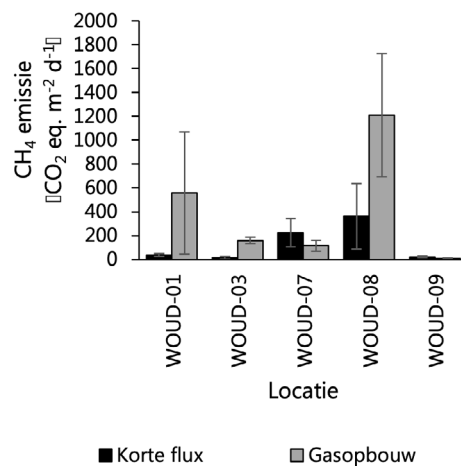
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.3.3). De resultaten van de gasopbouw meting (afbeelding 4) laten zien dat gasbelvorming van CH₄ bij vrijwel alle kolommen aanwezig is, behalve bij WOUND-09. Voor WOUND-01, WOUND-03 en WOUND-08 lijkt ebullitie in potentie een grote bron van CH₄ te kunnen zijn. Ebullitie draagt in potentie veruit het meest bij aan de totale broeikasgasemissie. Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid veel hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven. In het eindrapport zal hier uitgebreid bij stil worden gestaan.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48U; IN GRIJS)



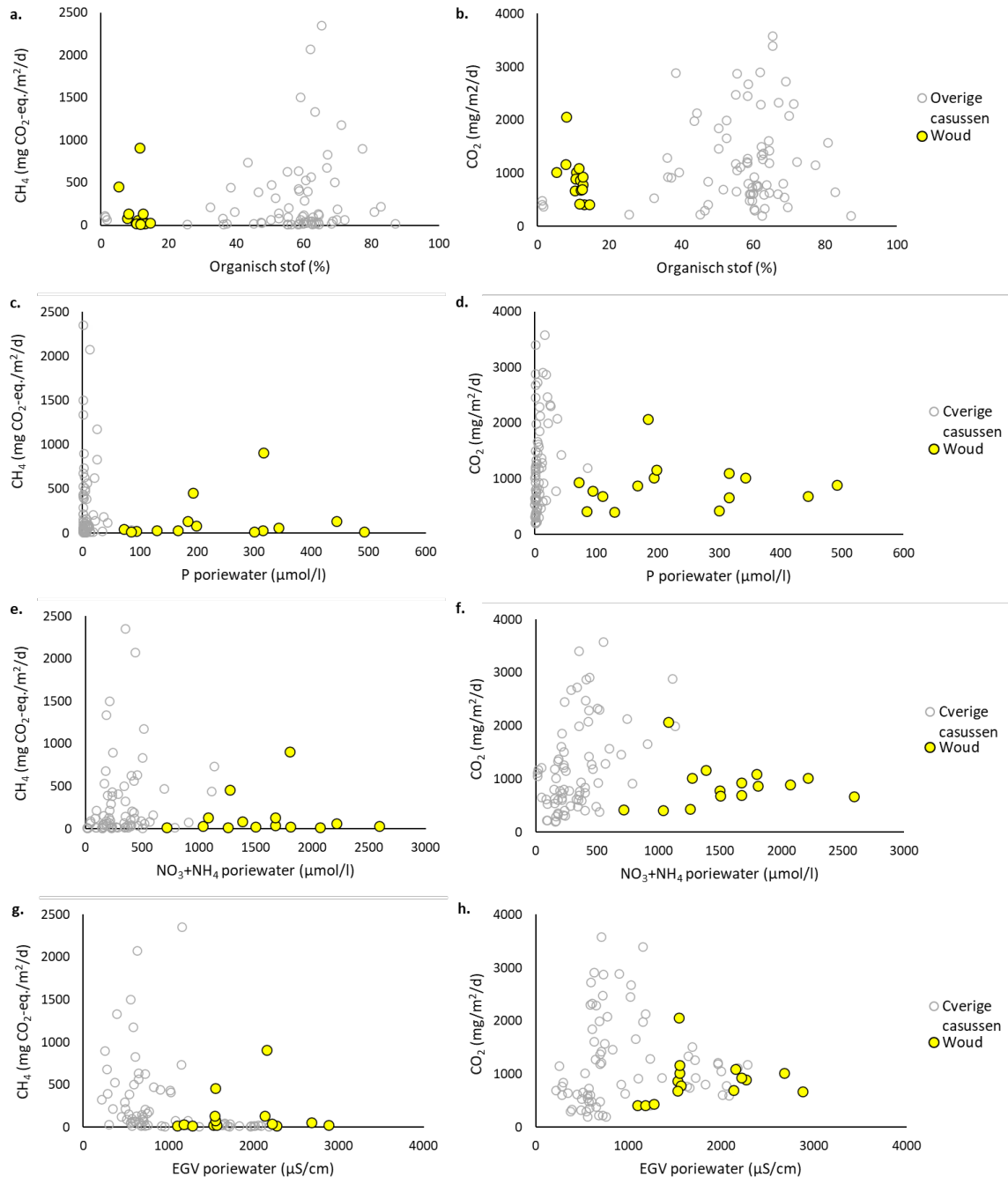
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van de Woudse droogmakerij met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de broeikasgasemissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In de Woudse droogmakerij zijn de broeikasgasemissie verhoudingsgewijs gemiddeld (voor CO₂) tot laag (voor CH₄) (afbeelding 5a. en b.), waarbij de bijdrage van ebullitie nog onvoldoende is meegenomen;
- Er lijkt sprake van een zwakke relatie tussen de broeikasgasemissies en het organisch stof gehalte. Voor de Woudse droogmakerij gaat dit niet op, omdat al deze waterbodems een relatief laag organisch stofgehalte bevatten en toch relatief hoge broeikasgasemissies uitstoten, met name CO₂ emissies. Bovendien is er geen duidelijk verband tussen de broeikasgasemissies en het organisch stof gehalte (afbeelding 5a. en b.);
- Ook is er enige relatie tussen de porievocht kwaliteit en de broeikasgasemissie:
 - Bij lage fosforconcentraties zien we soms hoge emissies (afbeelding 5c. en d.). De locaties in de Woudse droogmakerij hebben in vergelijking met de andere casussen veruit de hoogste totaal fosforconcentraties in het poriewater en een laag tot gemiddelde broeikasgasemissie. Er is geen relatie met de totaal fosforconcentraties in het poriewater;
 - Er is een vergelijkbaar beeld voor de porievochtconcentraties van nitraat en ammonium. Ook hier zijn de broeikasgasemissies hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (afbeelding 5e. en f.). De stikstofconcentratie in het porievocht van de waterbodems in de Woudse droogmakerij is relatief hoog in vergelijking met de locaties in andere casussen. Wederom is er geen verband met de broeikasgasemissie;
 - De CH₄ emissie blijkt over het algemeen lager bij een hoger EGV in het poriewater. Voor de CO₂ emissie komt dit verband niet naar voren (afbeelding 5g. en h). Bij de locaties in de Woudse droogmakerij lijkt er in het geheel geen sprake van een verband.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN GEEL ZIJN DE LOCATIES IN DE WOUDE DROOGMAKERIJ CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDE VERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEWATER



FACTSHEET BLUECAN:

LINTHORST HOMANKANAAL - WDODELTA

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeem-specifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De vorige twee rondes hebben zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019) en sloten en petgaten (2020). De focus lag bij deze rondes op de relatie met waterkwaliteit (respectievelijk nutriënten en organisch stof). In deze derde ronde (2021) richten wij ons op grotere lijnvormige wateren, zoals kanalen, weteringen, boezems, singels, et cetera. Dit zijn vaak wateren met veel slibaanwas en een hoge (historische) belasting met nutriënten en/of organische stof. In totaal onderzoeken wij in deze ronde 6 casussen.

Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDODelta) neemt deel met de casussen Linthorst Homankanaal en de Averlosche Leide. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan tool (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de CO₂ en CH₄ metingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor de casus Linthorst Homankanaal. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept, waarbij er een integrale analyse gemaakt wordt van elke casus op basis van metingen en toepassing van het verbeterde BlueScan tool en een bredere systeemanalyse. Verder wordt op basis van deze resultaten een berekening gemaakt van de totale broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

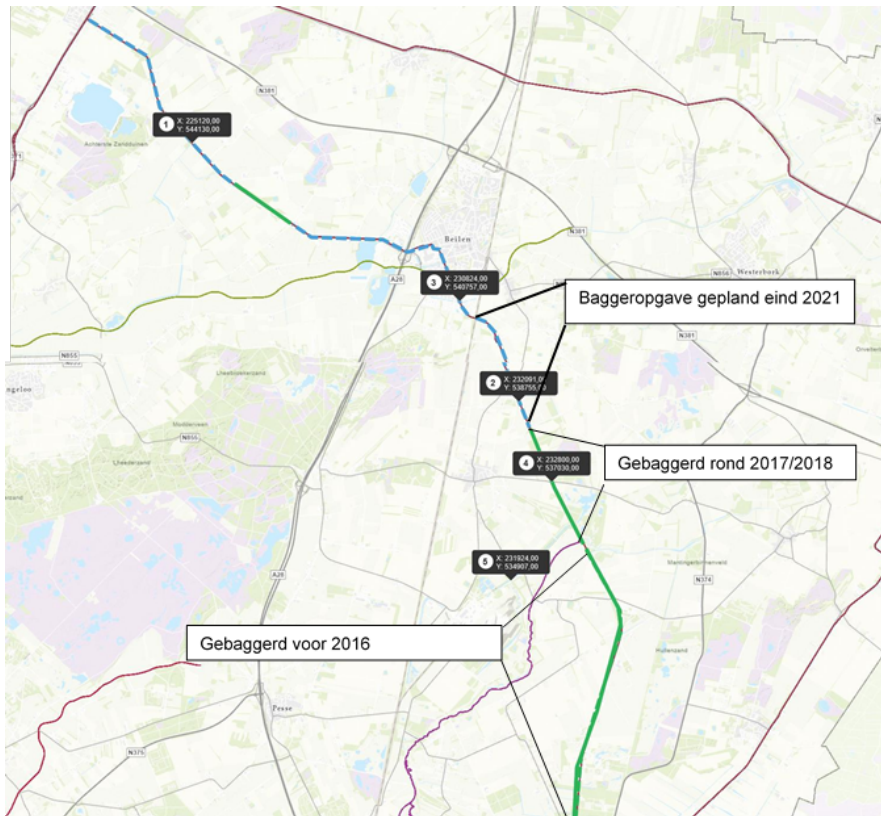
Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op de locatiekeuze en de meetmethode. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Het Linthorst Homankanaal tussen Beilen en Noordscheschut (Afbeelding 1) vormt de verbinding tussen de Hoogeveense Vaart (bij sluis/gemaal Noordseschut) in het zuiden en de Beilervaart (bij de Holthersluis in het noorden). De lengte van het kanaal is 13,5 kilometer. Het kanaal heeft een zandbodem en een gemiddelde waterdiepte van 1.6 m.

AFBEELDING 1 LIGGING VAN HET LINTHORST HOMANKANAAL EN DE BEILERVAART INCLUSIEF DE FASERING VAN BAGGERWERKZAAMHEDEN IN HET LINTHORST HOMANKANAAL. HET LINTHORST HOMANKANAAL LOOPT VANAF HET ZUIDEN TOT (GROFWEG) BEILEN, HIERNA IS HET DE BEILERVAART. DE GROENE EN BLAUWE LIJN DUIDT DE LIGGING VAN HET KANAAL



De belangrijkste (huidige) functie van het kanaal is de aan- en afvoer van water in het omliggend gebied. De afvoer (onder andere VAM-kanaal en peilvlakken die direct aangetakt zijn met een gelijk peil als het kanaal) is in het Linthorst Homankanaal een veelvoud van de wateraanvoer (ten behoeve van de watervoorziening van polders). Er wordt via gemaal Holthe geen water afgelaten vanuit het Linthorst Homankanaal richting de Beilervaart (waar het waterpeil lager is). Het afvoerwater in het Linthorst Homankanaal stroomt in zuidelijke richting en komt terecht in de Hoogeveense Vaart. Wateraanvoer vindt normaal gesproken plaats vanuit de Hoogeveense vaart, via het gemaal bij de Noordschutsluis. Via deze sluis

wordt het aangevoerde water via het Linthorst Homankanaal naar het noorden gestuurd. Deze aanvoerhoeveelheid is normaal gesproken beperkt in omvang. Via gemaal Holthe is enkel in de afgelopen droge zomers water opgepompt vanuit de Beilervaart om zo de Hoogeveens vaart te voeden tijdens droogte.

Het kanaal kenmerkt zich door de hoge voedselrijkdom wat tot uiting komt in dikke krooslagen. De laatste 15 jaren komen er regelmatig klachten over stank en kroos. De fosfaatgehalten in de bodem zijn in een eerder onderzoek (Watersysteemanalyse Beilervaart/Linthorst Homankanaal, 2021) al in beeld gebracht. Hieruit kwam naar voren dat er op sommige plaatsen een zeer productieve sliblaag bovenop de vaste bodem laag ligt

Mede door het bovenstaande inzicht is vervolgens het Linthorst Homankanaal in etappes gebaggerd (Afbeelding 1). Het zuidelijke deel is voor 2016 gebaggerd. Het middendeel is in 2017/2018 gebaggerd. Het noordelijke deel (nabij Beilen) stond/staat op de planning om eind 2021 gebaggerd te worden (na de bemonstering van BlueCAN). Het VAM-kanaal, een zijtak ten westen van het Linthorst Homankanaal, is waarschijnlijk zeer lange tijd niet gebaggerd. Hier zijn momenteel geen gegevens van bekend.

Het kanaal en het speciaal daarvoor gegraven VAM-kanaal vormde een belangrijke reden voor de vestiging van het vuilafvoerbedrijf, de VAM in Wijster. Het kanaal dat in 1926 is geopend en bevaren werd is in de jaren zeventig voor de scheepvaart gesloten. Het gehele Linthorst Homankanaal is nu niet meer bevaarbaar.

3 METHODE

3.1 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van verkennende gesprekken met het waterschap en analyse van beschikbare data over het watersysteem is een eerste selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. De uiteindelijke locatiekeuze is uitgevoerd in het veld om basis van de inzichten daar. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie.

De focus van deze casus voor WDODelta is het creëren van handelingsperspectief in relatie tot baggeren. Met de casus Linthorst Homankanaal kan door het gefaseerde baggertraject dat wordt uitgevoerd een eerste inzicht verkregen worden over het effect van baggeren op de broeikasgasemissies. Dit geeft informatie richting handelingsperspectief.

De locaties die in het veld geselecteerd zijn (Afbeelding 2):

- LINT-01: Locatie ter hoogte van de Holthersluis, een nog te baggeren locatie. De bodem bevatte hier 1 cm los, zeer fijne slib met daaronder 10 cm organisch rijk slib.;
- LINT-02: Locatie stroomopwaarts in het nog te baggeren traject. Hier lag 2 cm zeer fijn slib. De rest van de bodemkolom is zwart organisch materiaal zonder echt zand zichtbaar.;
- LINT-03: Locatie waar in 2017/2018 gebaggerd is. De bodem bevatte hier een laag van 0,2 cm los slib met daaronder een laag van 3 cm organisch rijke zand en vervolgens een laag van 3 cm zand.;
- LINT-04: Locatie iets stroomafwaarts van de nieuw aangelegde duiker ter hoogte van brug nr. 5 in het in 2017/2018 gebaggerde traject. Hier lag 2 cm los slib op de bodem met daar-

onder 15 cm organisch rijk slib/zand en de onderste 5 cm wederom zand.

- LINT-05: Locatie in het VAM-kanaal, een zijtak van het Linthorst Homankanaal waar hoogstwaarschijnlijk nog nooit gebaggerd is. Hier lag op de bodem 5 cm los slib met daar-
onder 15 cm organisch rijk zandig slib en de onderste 5 cm wederom zand.

NBI Het voornemen tijdens het veldwerk was om ook in het traject wat voor 2016 gebaggerd is kolommen te steken voor broeikasgasmetingen. In het veld bleek het niet mogelijk om dit op één bemonsteringsdag uit te voeren. Er ligt namelijk een nieuwe duiker in het kanaal (ter hoogte van brug nr. 5) waardoor de toegang tot het meest zuidelijke traject werd geblokkeerd. Hierdoor is de keuze gemaakt om in de twee bereikbare baggertrajecten (2017/2018 traject en het nog te baggeren traject) beide te bemonsteren op twee locaties. Als vijfde locatie is het VAM-kanaal geselecteerd.

AFBEELDING 2 LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE CO₂ EN CH₄ METINGEN



3.2 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Korte fluxmetingen;
3. Ebullitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 27 september op 5 locaties binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 2 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 10 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Korte fluxmetingen

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten op CO₂ en CH₄ fluxen. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van CO₂ en CH₄ bepaald. Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. per meetlocatie zijn er twee bodemkolommen (of replica's);
2. de bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond;
3. daarna is gestart met de CO₂ en CH₄ diffuse flux metingen. Deze fluxen zijn gemeten met de draagbare broeikasgas-analyzer (MGGA). Om deze metingen uit te kunnen voeren is:
 - de kolom tijdelijk afgesloten om een gesloten circuit te maken met de MGGA;
 - de concentratie CO₂ en CH₄ in het luchtdeel gedurende vier minuten één keer per seconde met de MGGA gemeten;
 - tijdens de metingen is het verloop van de concentratie visueel gevolgd. Als er sprake is van een stabiele diffuse flux dan vormen de metingen een grafiek met een min of meer vaste helling. Als dit niet zo is, dan is er sprake van andere processen, zoals gasvorming (ebullitie). In het geval van ebullitie tijdens de meting is er sprake van een sprong in de CH₄ concentratie of een versnelde opbouw van CH₄. In die gevallen is de meting herhaald;
 - na vier minuten is de gemiddelde helling over de metingen bepaald en op basis hiervan de gemiddelde flux;
 - de bodemkolommen zijn allen 3 maal op deze wijze bemeten. Naast de eerste meetdag ook op dag 8 en 16;
4. vervolgens zijn de uiteindelijke fluxen voor CO₂ en CH₄ per replica en vervolgens per meetlocatie berekend op basis van de berekende fluxen voor alle meetmomenten (dag 1, 8 en 16), waarbij uitgegaan is van het gemiddelde per meetdag (ofwel het cumulatief gemiddelde);
5. om de CH₄ flux om te rekenen naar een flux uitgedrukt in CO₂ equivalenten is uitgegaan van een factor 28. Deze factor is gebaseerd op het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) die dezelfde factor hanteert. Er zijn argumenten om een andere factor te kiezen, maar beleidsmatig is dit de meest logische keuze. Er zijn argumenten om een andere factor te kiezen, maar beleidsmatig is dit de meest logische keuze omdat deze factor ook gebruikt wordt voor de klimaatmonitor van de Unie van Waterschappen.

Ad3. Ebullitiemetingen

Na het uitvoeren van de korte fluxmetingen zijn vervolgens op dag 16 de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting. Het doel hiervan is om de vorming van gasbellen (ebullitie) en de hiervan afhankelijke CO₂ en CH₄ productie te kwantificeren. Na 48 uur is het opgebouwde gas bovenin de kolom verzameld en gemeten op een specifieke gaschromatograaf. De concentraties CO₂ en CH₄ zijn vervolgens omgerekend naar een emissie per tijdseenheid en per oppervlakte. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de CO₂ en CH₄ flux en broeikasgasopbouw bemeaten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodem besproken. Daarna volgen de resultaten van de broeikasgasfluxmetingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling en het porievocht. In deze tabellen zijn de waarden opgenomen van de twee kolommen (replica's) per locatie. Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem is overwegend zandig en relatief organisch arm. Het organisch stofgehalte varieert niet veel en ligt tussen 2 en 8%. Alleen locatie LINT-05 (VAM-kanaal) heeft een iets hoger organisch stofgehalte, 13,4 en 15,8%. Dit is ook naar verwachting doordat er hoogstwaarschijnlijk nog nooit gebaggerd is in het VAM-kanaal. De overige nog te baggeren locaties, LINT-01 en LINT-02 hebben tegen verwachting in relatief vergelijkbare organisch stofgehalten met de reeds gebaggerde locaties LINT-03 en LINT-04. Door het relatief lage organisch stofgehalte in de waterbodem heeft de bodem een relatief hoge bulkdichtheid, tussen de 0,4 en 1 kg/l (en een relatief laag vochtgehalte). LINT-05 heeft door het hogere percentage organisch stof een lagere dichtheid tussen de 0,22 en 0,28 kg/l (en een hoger vochtgehalte);
- De totale fosforgehalte in de waterbodems variëren van 0,11 tot 0,93 g/kg. LINT-04 heeft, desondanks dat dit een reeds gebaggerde locatie betreft, de hoogste fosforgehaltes in de waterbodem zitten. De fosforconcentratie in het porievocht varieert sterk tussen de locaties en tussen de replica's met concentraties tussen de 0,13 tot 1,62 mg P/l. De nog te baggeren locaties, LINT-01 en LINT-02 hebben de hoogste fosforconcentraties in het porievocht. Echter heeft locatie LINT-05 (hoogstwaarschijnlijk nooit gebaggerde locatie in het VAM-kanaal) orde grootte dezelfde fosforconcentraties als de reeds gebaggerde locaties LINT-03 en LINT-04. Ook de zwavelconcentraties in het porievocht variëren sterk, van 14,9 tot 91,1 mg S/l. De reeds gebaggerde locatie LINT-03 bevat relatief de hoogste zwavelconcentraties. Ondanks de relatief hoge zwavelbeschikbaarheid zijn de ijzerconcentraties in het porievocht niet laag. De Fe:P ratio ligt (ruim) boven de 1 (grens waaronder chemische nalevering vanuit de bodem te verwachten is). Verhoudingsgewijs bevatten alle waterbodems in het gebied meer ijzer dan fosfor wat ertoe bijdraagt dat de beschik-

baarheid van fosfor relatief laag is onder aerobe omstandigheden. De beschikbare nitraat- en ammoniumconcentraties in het porievocht zijn relatief laag;

- De waterbodems zijn zoet. Ze bevatten relatief lage chlorideconcentraties variërend tussen 40 en 115 mg Cl/l. LINT-01 en LINT-02 bevatten een wat hoger chloridegehalte ten opzichte van de overige drie locaties. Ook bevatten LINT-01 en LINT-02 hogere HCO₃ concentraties ten opzichte van de overige drie locaties, bijna tweemaal zoveel.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	Gebaggerd & dikte van slib	x-coord	y-coord	Bodem							
				Vocht-gehalte %	Bulk dichtheid kg/l	Org. Mat. %	Tot. Ca g/kg DW	Tot. Fe g/kg DW	Tot. P g/kg DW	Tot. S g/kg DW	Fe/S mol/mol
LINT 01 A	nee	52.840745	6.524658	41.8	0.86	3.40	2.04	3.45	0.25	1.38	1.43
LINT 01 B	11 cm			37.9	0.95	3.04	1.77	2.49	0.23	1.24	1.15
LINT 02 A	nee	52.838462	6.822137	53.5	0.62	4.80	2.46	4.26	0.38	1.96	1.25
LINT 02 B	17 cm			44.2	0.75	3.82	2.93	4.18	0.42	1.71	1.40
LINT 03 A	ja	52.813562	6.542082	13.8	1.00	2.11	0.71	1.95	0.11	0.53	2.12
LINT 03 B	3.2 cm			27.6	0.85	5.14	1.90	3.81	0.35	1.11	1.97
LINT 04 A	ja	52.804858	6.549620	65.5	0.38	8.17	3.91	10.72	0.93	5.27	1.17
LINT 04 B	17 cm			48.0	0.65	4.38	1.48	4.57	0.38	2.08	1.26
LINT 05 A	nee	52.806032	6.545927	76.3	0.28	12.38	4.70	10.76	0.56	7.35	0.84
LINT 05 B	20 cm			79.0	0.22	15.77	4.65	10.40	0.48	7.52	0.79

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	S mg/l	P mg/l	N-NO ₃ mg/l	N-NH ₄ mg/l	Fe/P mol/mol
LINT 01 A	7.1	1046	394.9	53.9	115.5	5.6	16.2	1.62	0.03	6.9	1.9
LINT 01 B	7.3	1137	367.7	60.7	98.9	3.2	47.1	0.43	0.08	4.1	4.0
LINT 02 A	7.4	1007	385.1	45.9	98.2	3.7	26.0	0.97	0.04	3.1	2.1
LINT 02 B	7.2	1017	399.3	47.7	103.2	5.6	23.9	1.47	0.01	5.0	2.1
LINT 03 A	7.3	874	86.5	101.0	64.8	2.4	91.1	0.13	0.13	1.6	10.1
LINT 03 B	7.0	738	155.3	78.1	51.4	5.3	56.4	0.68	0.08	1.3	4.3
LINT 04 A	7.1	609	213.0	60.1	40.0	9.3	46.1	0.49	0.04	5.5	10.7
LINT 04 B	7.2	583	148.0	56.3	35.6	9.0	33.1	0.84	0.03	5.5	5.9
LINT 05 A	7.2	553	202.6	53.4	47.6	2.4	16.8	0.44	0.03	3.6	3.0
LINT 05 B	7.3	582	254.2	62.6	45.9	1.3	14.9	0.33	0.01	2.8	2.2

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	Vocht- gehalte %	Bulk dichtheid kg/l	Org. Mat. %	Bodem							
				Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
				g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
LINT 01 A	41,8	0,86	3,40	4,09	2,04	3,45	0,57	0,40	0,25	1,38	1,43
LINT 01 B	37,9	0,95	3,04	1,97	1,77	2,49	0,24	0,21	0,23	1,24	1,15
LINT 02 A	53,5	0,62	4,80	3,06	2,46	4,26	0,36	0,29	0,38	1,96	1,25
LINT 02 B	44,2	0,75	3,82	3,02	2,93	4,18	0,34	0,29	0,42	1,71	1,40
LINT 03 A	13,8	1,00	2,11	1,83	0,71	1,95	0,22	0,19	0,11	0,53	2,12
LINT 03 B	27,6	0,85	5,14	2,85	1,90	3,81	0,33	0,30	0,35	1,11	1,97
LINT 04 A	65,5	0,38	8,17	6,58	3,91	10,72	0,61	0,60	0,93	5,27	1,17
LINT 04 B	48,0	0,65	4,38	3,38	1,48	4,57	0,29	0,31	0,38	2,08	1,26
LINT 05 A	76,3	0,28	12,38	6,66	4,70	10,76	0,62	0,64	0,56	7,35	0,84
LINT 05 B	79,0	0,22	15,77	6,58	4,65	10,40	0,61	0,62	0,48	7,52	0,79

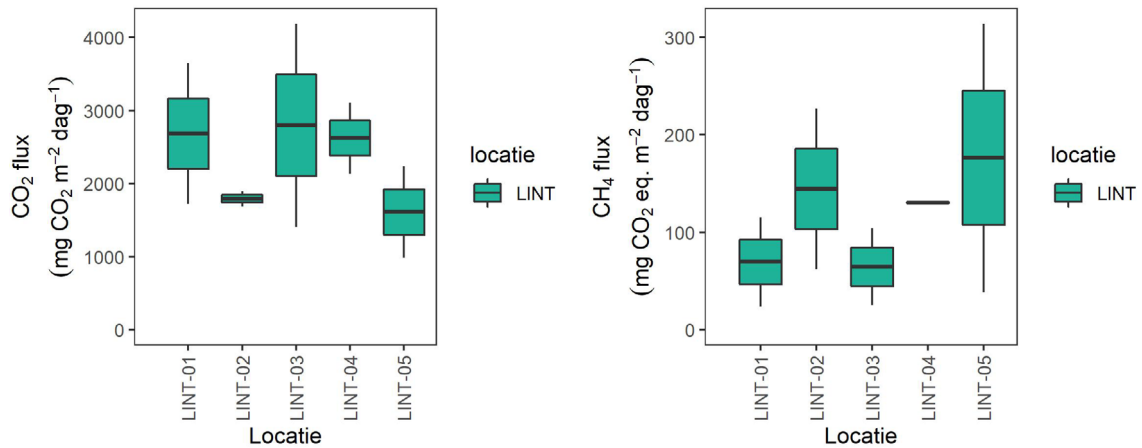
4.2 CO₂ EN CH₄ FLUX

KORTE FLUX METINGEN

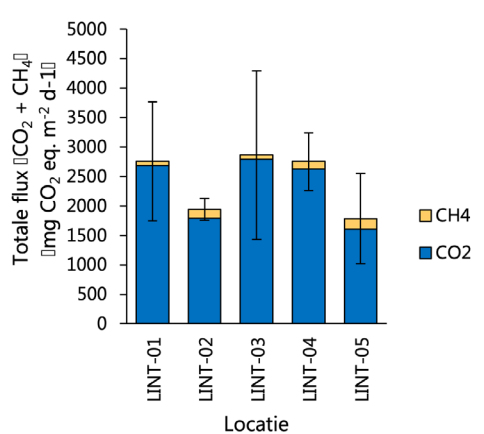
De bemonsterde locaties uit het Linthorst Homankanaal laten allen een uitstoot van CO₂ en CH₄ zien (Afbeelding 3). De CO₂ flux uit deze casus is relatief hoog in vergelijking met de andere casussen uit ronde 3 van BlueCAN, de CH₄ flux is verhoudingsgewijs relatief laag tot gemiddeld.

- De CO₂ uitstoot is gemiddeld 2302 ± 324 (gemiddelde ± standaardfout) mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CO₂ uitstoot varieert niet sterk tussen de verschillende locaties, alleen LINT-02 en LINT-05 laten een lagere CO₂ flux zien (resp. 1792 ± 104 mg CO₂ eq. M⁻² dag⁻¹ (n=2) en 1611 ± 625 mg CO₂ eq. M⁻² dag⁻¹ (n=2)), ondanks dat dit beide nog reeds te baggeren locaties betreft;
- De CH₄ uitstoot is gemiddeld 117 ± 29 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CH₄ uitstoot laat niet hetzelfde patroon zien als de CO₂ uitstoot. Met name locatie LINT-02, LINT-04 en LINT-05 laten een hogere CH₄ flux zien (resp. 145 ± 82 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2); 130 ± 1.0 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2) en 176 ± 138 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2)). Hierbij zijn LINT-02 en LINT-05 nog reeds te baggeren locaties en is dit naar verwachting. Echter is LINT-04 een reeds gebaggerde locatie en zou naar verwachting minder CH₄ moeten uitstoten. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de slibdikte die bij locatie LINT-04 is aangetroffen is van dezelfde orde grootte als bij de nog te baggeren locaties. Het tegenovergestelde is te zien tussen de reeds gebaggerde locatie LINT-03 en nog te baggeren locatie LINT-01. Deze hebben een relatief lage CH₄ uitstoot. Dit is de verwachting voor LINT-03, maar juist niet voor LINT-01. Waardoor deze verschillen in CH₄ flux waargenomen wordt is echter niet duidelijk af te leiden uit de bemeaten biogeochemische parameters en uit de karakteristieken die in het veld zijn opgedaan;
- De totale CO₂ en CH₄ flux (Afbeelding 4) varieert nauwelijks tussen de verschillende locaties, mede door grote spreiding in de afzonderlijke metingen (de replica's).

AFBEELDING 3 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELDE (PER LOCATIE ZIJN DE 3 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 2 REPLICAS GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



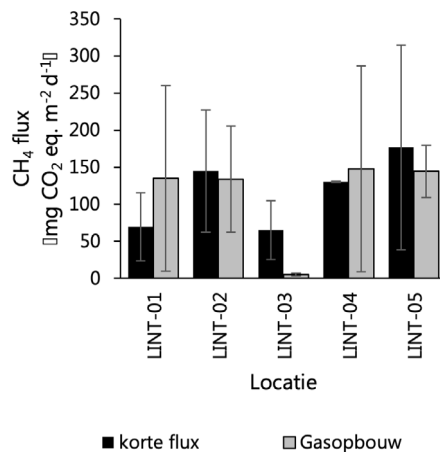
AFBEELDING 4 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.2.3). De resultaten van de gasopbouw meting (Afbeelding 5) laten zien dat ebullitie in bijna alle bemonsterde locaties van het Linthorst Homankanaal een rol speelt, behalve in LINT-03. Dit kan de grote spreiding in de CH₄ flux die is gemeten in de kolomexperimenten verklaren. Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid gemiddeld hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven. Als we de bagger-historie van deze locaties er tegen aan leggen, lijkt het baggeren geen invloed uit te oefenen op de ebullitieve flux van CH₄. Hooguit is er een voorzichtige trend te zien waarbij niet-gebaggerde locaties (LINT-02 en LINT-05) minder ebullitieve uitstoot van CH₄ laten zien dan de overige locaties. Dit doet vermoeden dat niet verstoren van het systeem door een ingreep als baggeren gunstiger uit pakt voor de ebullitieve CH₄ emissie, echter laat LINT-01 nog steeds een vrij hoge ebullitieve flux zien, wat dit vermoeden te niet doet. Van ebullitie is bekend dat het een stochastisch proces is, waardoor het moeilijk grijpbaar is wanneer het optreedt en welke parameters de ebullitieve flux kunnen verklaren.

AFBEELDING 5 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48 UUR (IN GRIJS))



5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

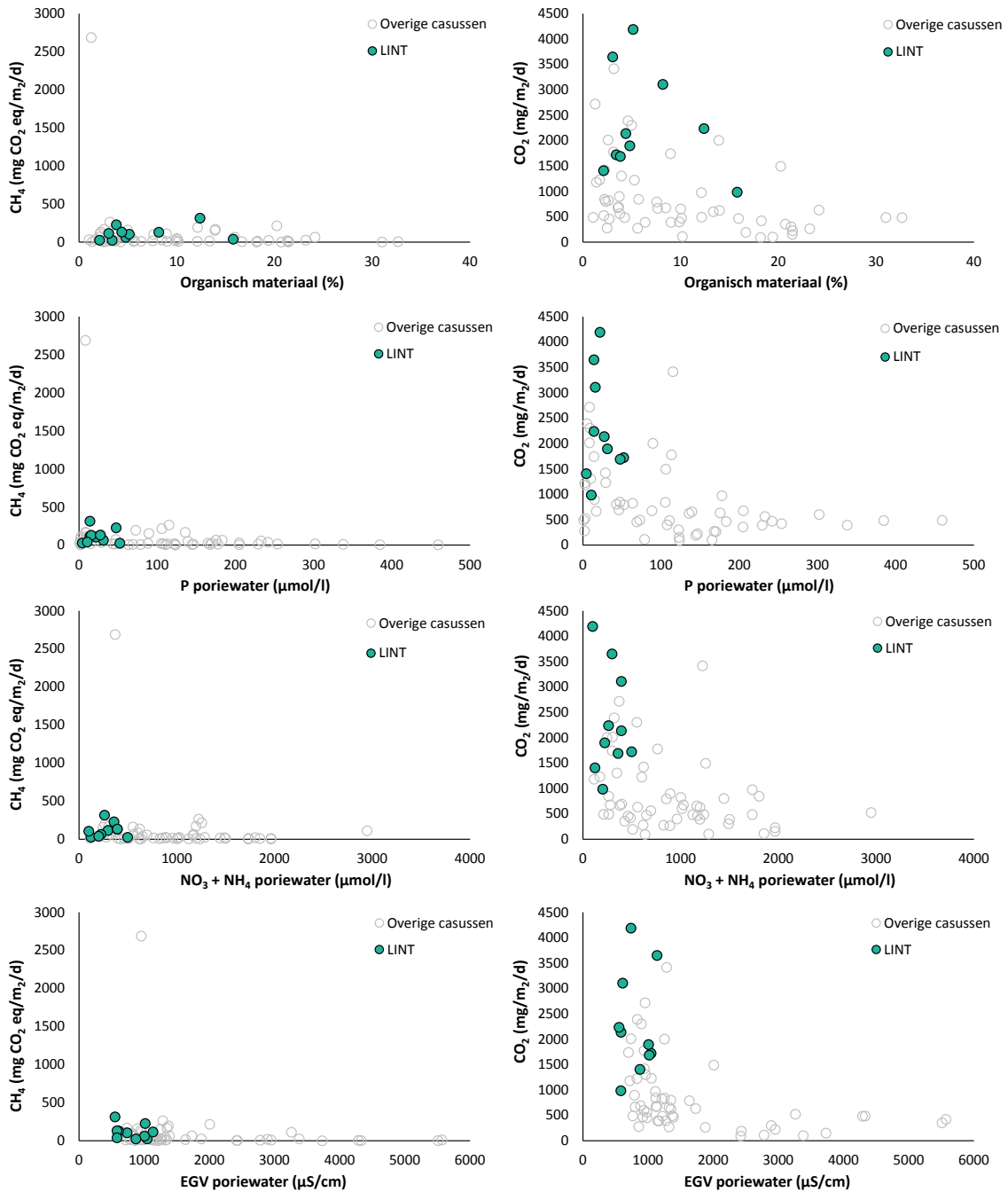
Afbeelding 6 geeft een vergelijking van de resultaten van het Linthorst Homankanaal met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de CO₂ en CH₄ emissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In het Linthorst Homankanaal is de CO₂ emissie relatief hoog in vergelijking met de andere casussen en de CH₄ emissies is verhoudingsgewijs juist relatief laag tot gemiddeld (Afbeelding 6a. en 6b.);
- Er blijkt uit de data geen sprake van een relatie tussen de CO₂ en CH₄ emissies en het organisch stofgehalte. Dit in tegenstelling tot de zwakke relatie die hiertussen te zien was in de data van BlueCAN ronde 2;
- Er is enige relatie tussen de porievochtqualiteit en de CO₂ en CH₄ emissies:
 - De fosforconcentraties in het porievocht laten over alle casussen heen geen duidelijk verband zien met de emissies (Afbeelding 6c. en 6d.). De locaties in het Linthorst Homankanaal hebben in vergelijking met de andere casussen lage totaal fosforconcentraties in het porievocht en een in verhouding tot andere casussen hoge CO₂ emissie;
 - De porievochtconcentraties van nitraat en ammonium laten over alle casussen heen wel enig verband zien met de CO₂ emissies. De CO₂ emissies zijn hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (Afbeelding 6e en 6f). Voor CH₄ emissies geldt dit niet. Ook hier geldt dat de locaties uit deze casus relatief lage concentraties nitraat en ammonium bevatten en bijdragen aan een relatief hoge CO₂ emissie;
 - De CO₂ emissies blijken lager bij een hogere EGV in het porievocht (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakkere condities). Dit is in mindere mate ook te zien voor de CH₄ emissies (Afbeelding 6g. en h). Voor het Linthorst Homankanaal valt op dat deze locaties in vergelijking met andere casussen een relatief laag EGV bevatten en hiermee verhoudingsgewijs ook hoge CO₂ emissies. Dit geldt echter niet voor de CH₄ emissies.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst

om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 6 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN BLAUWGRÖEN ZIJN DE LOCATIES IN HET LINTHORST HOMANKANAAL CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOFGEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEVOCHT



FACTSHEET BLUECAN:

NIEUWE WATER - DELFLAND

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De vorige twee rondes hebben zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019) en sloten en petgaten (2020). De focus lag bij deze rondes op de relatie met waterkwaliteit (respectievelijk nutriënten en organisch stof). In deze derde ronde (2021) richten wij ons op grotere lijnvormige wateren, zoals kanalen, weteringen, boezems, singels, et cetera. Dit zijn vaak wateren met veel slibafzetting en een hoge (historische) belasting met nutriënten en/of organische stof. In totaal onderzoeken wij in deze ronde 6 casussen.

Het Hoogheemraadschap van Delfland (Delfland) doet mee met de casus het Nieuwe Water. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan tool (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de CO₂ en CH₄ metingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept, waarbij er een integrale analyse gemaakt wordt van elke casus op basis van metingen en toepassing van het verbeterde BlueScan tool en een bredere systeemanalyse. Verder wordt op basis van deze resultaten een berekening gemaakt van de totale broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op de locatiekeuze en de meetmethode. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Het Nieuwe Water is een watergang gelegen in het Westland. Dit gebied ligt ten noorden van de Nieuwe Waterweg, ten zuiden van Den Haag, ten oosten van Hoek van Holland (en de kustlijn) en ten westen van Delft. Het Westland staat bekend om zijn intensieve glastuinbouw. Het Nieuwe Water is een vaart die zich ook grotendeels tussen de kassencomplexen bevindt.

Het Nieuwe Water is gelegen tussen de Oranjesluis en de Poelkade. Deze vaart is gemiddeld 25 meter breed. De waterbodem kent een overgang van klei naar zand. Het waterpeil wordt gehandhaafd op -0,43 m NAP. De waterdiepte is gemiddeld 1,60 m. Van oudsher gingen de tuinders met schepen over deze vaart naar de veiling in Loosduinen of Poeldijk. In die tijd was de watergang 0,5 m dieper. De vaart wordt op de huidige leggerdiepte gehouden door periodiek baggerbeheer. Onder de huidige relatief verse schone bagger ligt nog oudere (mogelijk vervuilde) bagger.

3 METHODE

3.1 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van verkennende gesprekken met het waterschap en analyse van eventueel beschikbare data over het watersysteem is een eerste selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie.

Voor het Nieuwe Water waren geen slibdiktes bekend op voorhand. Er zijn daarom locaties geselecteerd die op grofweg dezelfde afstand van elkaar liggen, waarmee een gradiënt in beeld wordt gebracht over de lengte van de watergang.

De locaties die in het veld zijn geselecteerd zijn (Afbeelding 1):

- NIEUW-01: Locatie stroomafwaarts, voor de splitsing langs de Poeldijk;
- NIEUW-02: Locatie iets ten zuiden van de N467;
- NIEUW-03: Locatie grofweg halverwege het Nieuwe Water naast een grotere uitsparing met een nieuw aangelegde natuurvriendelijke oever (nog niet goed aangeslagen);
- NIEUW-04: Locatie na de bocht ter hoogte van een nieuw aangelegde natuurvriendelijke oever;
- NIEUW-05: Locatie stroomopwaarts in de watergang naast de N220 ter hoogte van een nieuw aangelegde natuurvriendelijke oever.

AFBEELDING 1 LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE CO₂ EN CH₄ METINGEN

3.2 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Korte fluxmetingen;
3. Ebullitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 4 oktober op 5 locaties binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 2 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 10 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Korte fluxmetingen

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten op CO₂ en CH₄ fluxen. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van CO₂ en CH₄ bepaald. Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. per meetlocatie zijn er twee bodemkolommen (of replica's);
2. de bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond;
3. daarna is gestart met de CO₂ en CH₄ diffuse flux metingen. Deze fluxen zijn gemeten met de draagbare broeikasgas-analyzer (MGGA). Om deze metingen uit te kunnen voeren is:
 - de kolom tijdelijk afgesloten om een gesloten circuit te maken met de MGGA;
 - de concentratie CO₂ en CH₄ in het luchtdeel gedurende vier minuten één keer per seconde met de MGGA gemeten;

- tijdens de metingen is het verloop van de concentratie visueel gevolgd. Als er sprake is van een stabiele diffuse flux dan vormen de metingen een grafiek met een min of meer vaste helling. Als dit niet zo is, dan is er sprake van andere processen, zoals gasvorming (ebullitie). In het geval van ebullitie tijdens de meting is er sprake van een sprong in de CH₄ concentratie of een versnelde opbouw van CH₄. In die gevallen is de meting herhaald;
 - na vier minuten is de gemiddelde helling over de metingen bepaald en op basis hiervan de gemiddelde flux;
 - de bodemkolommen zijn allen 3 maal op deze wijze bemeaten. Naast de eerste meetdag ook op dag 8 en 16;
4. vervolgens zijn de uiteindelijke fluxen voor CO₂ en CH₄ per replica en vervolgens per meetlocatie berekend op basis van de berekende fluxen voor alle meetmomenten (dag 1, 8 en 16), waarbij uitgegaan is van het gemiddelde per meetdag (ofwel het cumulatief gemiddelde);
 5. Om de CH₄ flux om te rekenen naar een flux uitgedrukt in CO₂ equivalenten is uitgegaan van een factor 28. Deze factor is gebaseerd op het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) die dezelfde factor hanteert. Er zijn argumenten om een andere factor te kiezen, maar beleidsmatig is dit de meest logische keuze.

Ad3. Ebullitiemetingen

Na het uitvoeren van de korte fluxmetingen zijn vervolgens op dag 16 de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting. Het doel hiervan is om de vorming van gasbellen (ebullitie) en de hiervan afhankelijke CO₂ en CH₄ productie te kwantificeren. Na 48 uur is het opgebouwde gas bovenin de kolom verzameld en gemeten op een specifieke gaschromatograaf. De concentraties CO₂ en CH₄ zijn vervolgens omgerekend naar een emissie per tijdseenheid en per oppervlakte. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de CO₂ en CH₄ flux en broeikasgasopbouw bemeaten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodem besproken. Daarna volgen de resultaten van de broeikasgasfluxmetingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn de waarden opgenomen van de twee kolommen (replica's) per locatie. Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem bevindt zich op een overgang van klei naar zand. Het organisch stofgehalte ligt tussen 2,7 en 12,1%, waarbij locaties NIEUW-01, NIEUW-03 en NIEUW-05 de armere locaties zijn. Door het relatief lage organisch stofgehalte in de waterbodem heeft de bodem een relatief hoge bulkdichtheid, tussen de 0,4 en 1,3 kg/l;
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 0,44 tot 3,13 g/kg. Dit betekent dat het overgrote deel van de waterbodems in theorie een vrij hoge primaire productie kan faciliteren (resultierend in dominantie van algen, kroos of algemene waterplanten). Er wordt hierbij uitgegaan van een vuistregel van 0,5 g P/kg²;
- De fosforconcentratie in het porievocht varieert sterk tussen de locaties en tussen de replica's met concentraties tussen de 1,4 tot 10,5 mg P/l. Tevens bevatten de locaties ook variërende ijzerconcentraties in het porievocht. Hierdoor verschillen de verhoudingen tussen ijzer en fosfor ook sterk. Een deel van de locaties bevat wat hogere Fe:P ratio's (boven de 1). Dit zijn NIEUW-03 en in mindere mate NIEUW-01. De overige drie locaties bevatten verhoudingsgewijs minder ijzer t.o.v. fosfor en hebben Fe:P ratio's beneden de 1, wat ertoe bijdraagt dat de beschikbaarheid van fosfor hoog is;
- De beschikbare ammoniumconcentraties in het porievocht zijn relatief hoog, met name in NIEUW-01, NIEUW-02 en NIEUW-05, iets wat kan duiden op anaerobe afbraak van organisch materiaal. De nitraatconcentraties zijn vaak (zeer) laag;
- De waterbodems zijn zoet. Ze bevatten relatief lage chlorideconcentraties variërend tussen de 87 en 177 mg Cl/l. De waterbodems bevatten relatief lage zwavelconcentraties, tussen 2,4 en 8,9 mg S/l met als relatieve uitschieter locatie NIEUW-05A met 21,7 mg S/l).

2 Van Zuidam, J., (2013). Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery. Thesis Wageningen Universiteit, Wageningen.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
NIEUW 01 A	51.991405	4.189280	39.1	0.94	5.69	34.61	10.58	1.26	1.73	3.51
NIEUW 01 B			46.9	0.75	6.35	38.56	12.36	1.38	2.51	2.83
NIEUW 02 A	51.987520	4.190820	56.6	0.57	9.00	74.84	16.67	3.12	5.08	1.88
NIEUW 02 B			67.0	0.40	12.11	62.54	21.78	3.03	5.30	2.36
NIEUW 03 A	51.982392	4.189572	27.5	1.27	3.65	40.27	9.56	0.44	2.70	2.03
NIEUW 03 B			28.0	1.24	2.69	41.77	10.17	0.50	2.17	2.69
NIEUW 04 A	51.977730	4.193325	50.1	0.71	5.59	48.03	12.07	1.31	3.08	2.25
NIEUW 04 B			69.3	0.38	10.08	56.67	20.39	2.65	6.37	1.84
NIEUW 05 A	51.973535	4.196928	36.8	1.00	3.57	46.78	7.47	0.74	2.72	1.58
NIEUW 05 B			38.0	0.95	4.26	48.14	8.79	1.06	2.60	1.94

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
NIEUW 01 A	7.4	1249	636.0	125.5	130.0	9.6	4.2	3.26	0.01	25.2	1.6
NIEUW 01 B	7.1	1148	571.4	122.0	110.0	10.7	2.4	7.10	0.00	21.0	0.8
NIEUW 02 A	7.4	1167	583.3	86.6	107.3	1.2	2.9	10.47	0.01	16.8	0.1
NIEUW 02 B	7.2	1112	608.9	114.6	90.1	2.8	3.6	5.50	0.01	24.3	0.3
NIEUW 03 A	7.6	881	438.9	100.9	87.3	6.7	13.1	1.42	0.03	5.5	2.6
NIEUW 03 B	7.3	981	497.8	119.4	87.8	11.1	7.3	2.13	0.02	6.5	2.9
NIEUW 04 A	7.4	1321	549.1	104.8	176.8	2.4	8.9	5.19	0.00	11.6	0.3
NIEUW 04 B	7.2	920	410.5	88.8	101.6	3.2	5.4	7.49	0.00	9.1	0.2
NIEUW 05 A	7.2	1121	413.0	92.5	142.2	1.9	21.7	2.73	0.08	14.3	0.4
NIEUW 05 B	7.3	1218	522.3	102.6	152.2	2.9	6.5	3.43	0.01	17.3	0.5

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
NIEUW 01 A	39,1	0,94	5,69	6,93	34,61	10,58	1,53	2,73	1,26	1,73	3,51
NIEUW 01 B	46,9	0,75	6,35	7,41	38,56	12,36	1,42	3,69	1,38	2,51	2,83
NIEUW 02 A	56,6	0,57	9,00	8,42	74,84	16,67	1,78	4,18	3,12	5,08	1,88
NIEUW 02 B	67,0	0,40	12,11	13,85	62,54	21,78	2,77	6,14	3,03	5,30	2,36
NIEUW 03 A	27,5	1,27	3,65	6,24	40,27	9,56	1,24	3,25	0,44	2,70	2,03
NIEUW 03 B	28,0	1,24	2,69	7,24	41,77	10,17	1,48	3,67	0,50	2,17	2,69
NIEUW 04 A	50,1	0,71	5,59	8,67	48,03	12,07	1,73	4,39	1,31	3,08	2,25
NIEUW 04 B	69,3	0,38	10,08	13,81	56,67	20,39	2,80	6,20	2,65	6,37	1,84
NIEUW 05 A	36,8	1,00	3,57	4,74	46,78	7,47	0,93	2,47	0,74	2,72	1,58
NIEUW 05 B	38,0	0,95	4,26	5,31	48,14	8,79	1,06	2,79	1,06	2,60	1,94

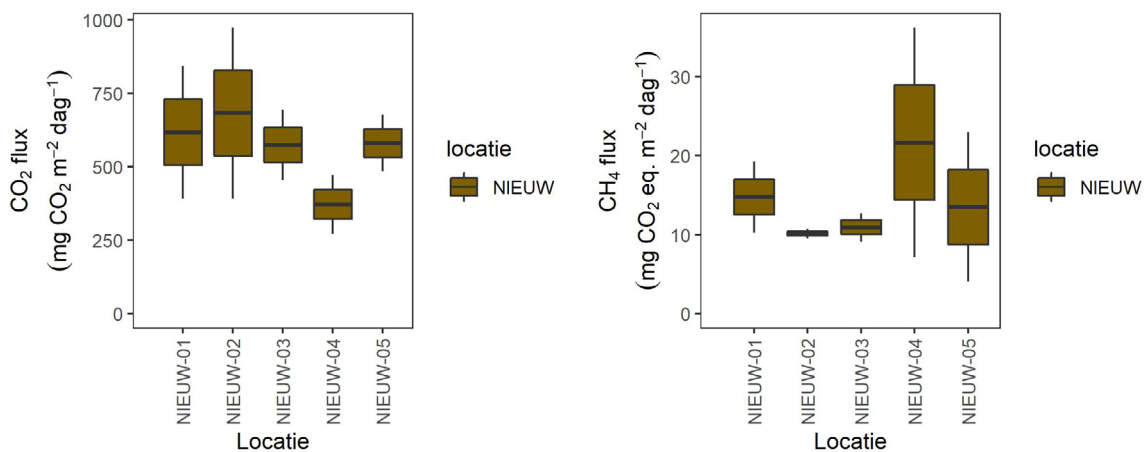
4.2 CO₂ EN CH₄ FLUX

KORTE FLUX METINGEN

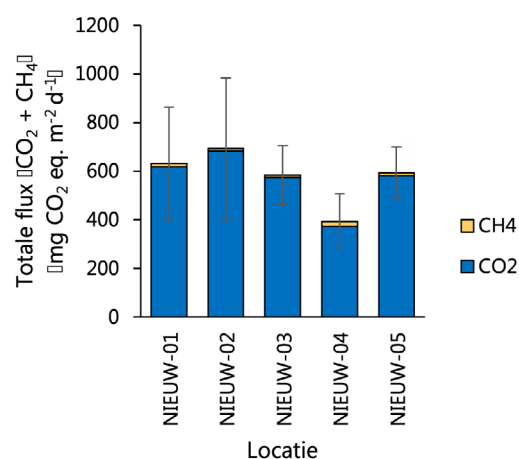
Vrijwel alle locaties gemeten in het Nieuwe Water stoten CO₂ en CH₄ uit (Afbeelding 2). De CO₂ en CH₄ flux uit deze casus zijn relatief laag in vergelijking met de andere casussen uit ronde 3 van BlueCAN.

- De CO₂ flux is gemiddeld 565 ± 70 (gemiddelde \pm standaardfout) mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CO₂ flux varieert niet sterk tussen de verschillende locaties, alleen NIEUW-04 heeft een iets lagere CO₂ flux dan de rest (372 ± 99 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2));
- De CH₄ flux was gemiddeld $14 \pm 3,0$ mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CH₄ flux varieert ook niet veel tussen de verschillende locaties. Alleen de locaties NIEUW-04 heeft een hogere CH₄ flux, maar ook veel spreiding tussen de replica's (22 ± 15 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2));
- De totale CO₂ en CH₄ flux (Afbeelding 3) wordt gedomineerd door de CO₂ flux en is gemiddeld 579 ± 98 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=10).

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELD (PER LOCATIE ZIJN DE 3 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 2 REPLICAS GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE

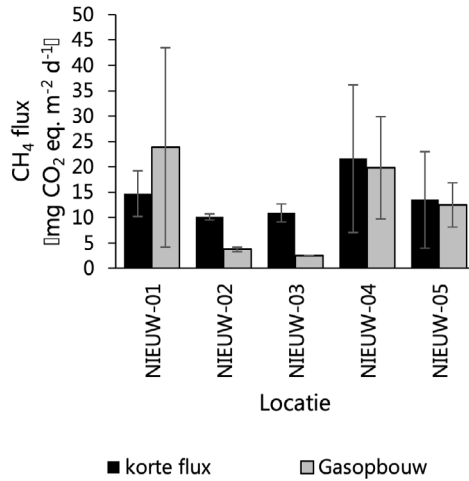


GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.2.3). De resultaten van de gasopbouw meting (Afbeelding 4) laten zien dat ebullitie met name in locaties

NIEUW-01, NIEUW-04 en NIEUW-05 een rol speelt. Dit kan ook de grote spreiding in de CH₄ flux verklaren die in de kolomexperiment gemeten is. Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid gemiddeld hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48 UUR (IN GRIJS))



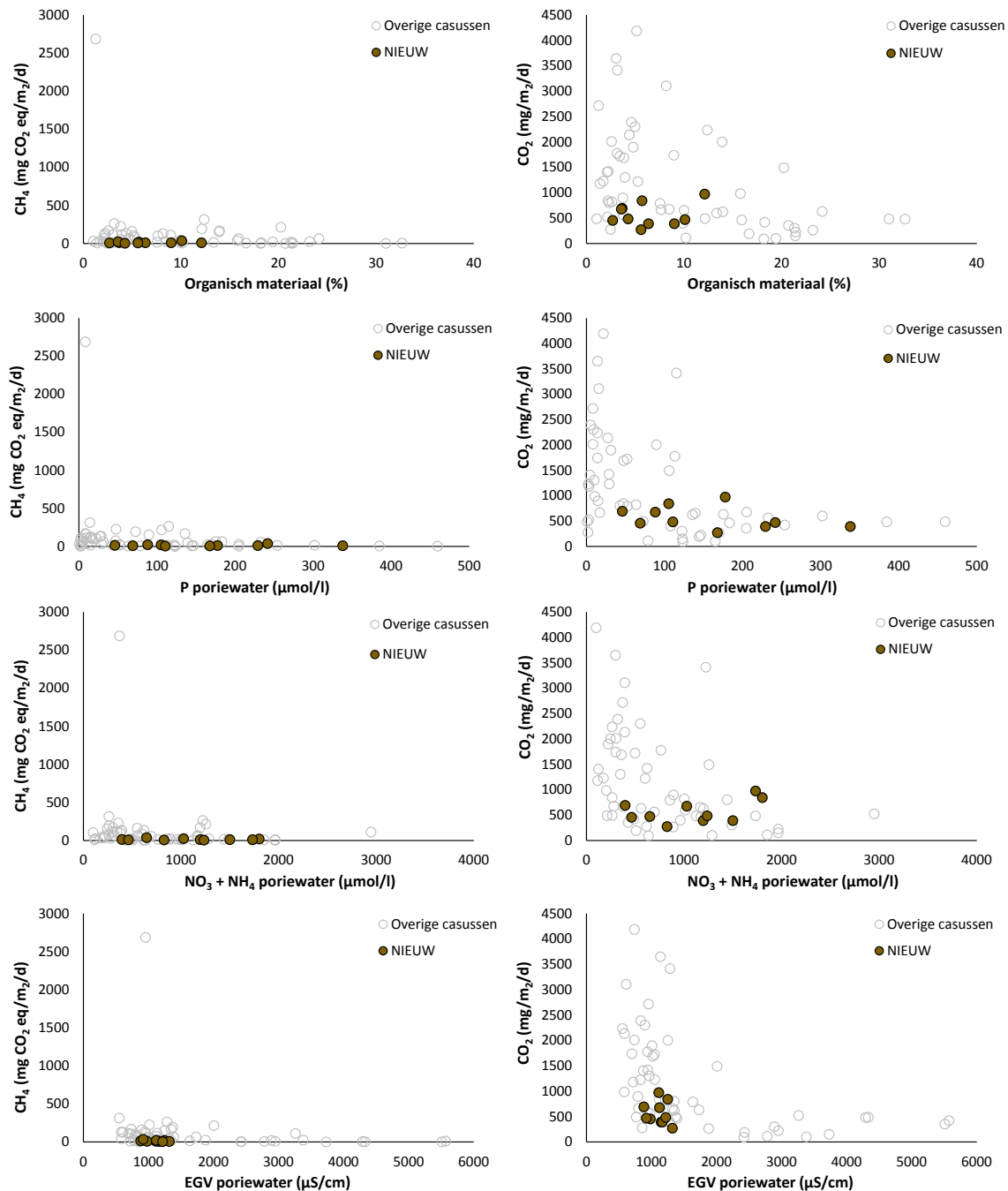
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van het Nieuwe Water met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de CO₂ en CH₄ emissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In het Nieuwe Water zijn de CO₂ en CH₄ emissies verhoudingsgewijs relatief laag ten opzichte van de overige casussen (Afbeelding 5a. en 5b.);
- Er blijkt uit de data geen sprake van een relatie tussen de CO₂ en CH₄ emissies en het organisch stofgehalte. Dit in tegenstelling tot de zwakke relatie die hiertussen te zien was in de data van BlueCAN ronde 2.;
- Er is enige relatie tussen de porievochtqualiteit en de CO₂ en CH₄ emissies;
- De fosforconcentraties in het porievocht laten over alle casussen heen geen duidelijk verband zien met de emissies (Afbeelding 5c. en 5d.). De locaties in het Nieuwe Water hebben in vergelijking met de andere casussen een gemiddelde tot zeer hoge totaal fosforconcentratie in het porievocht. Maar dit leidt niet tot hogere CO₂ of CH₄ emissies;
- De porievochtconcentraties van nitraat en ammonium laten over alle casussen heen wel enig verband zien met de CO₂ emissies. Hier zijn de broeikasgasemissies hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (Afbeelding 5e. en 5f.), voor CH₄ emissies geldt dit niet. In deze casus zijn gemiddeld tot hoge nitraat + ammoniumconcentraties in het porievocht gemeten bij relatief lage CO₂ en CH₄ emissies;
- De CO₂ emissies blijken lager bij een hoger EGV in het porievocht (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakkere condities). Dit is in mindere mate ook te zien voor de CH₄ emissies (Afbeelding 5g. en 5h). Voor het Nieuwe Water valt op dat de locaties in vergelijking met andere casussen een relatief laag EGV bevatten, maar ook relatief lage broeikasgasemissies hebben.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN BRUIN ZIJN DE LOCATIES IN DE NIEUWE WATER CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOFGEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEVOCHT



FACTSHEET BLUECAN: OOSTZANERVELD– HHNK

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De eerste ronde heeft zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019). De focus lag bij deze ronde op de relatie met waterkwaliteit, met name de nutriënten. In deze tweede ronde (2020) richten wij ons op kleine lijnvormige watersystemen zoals sloten en petgaten. Hierbij ligt de focus wederom op de relatie met waterkwaliteit maar ditmaal ook met meer aandacht voor het organisch stof. In totaal onderzoeken wij deze relatie aan de hand van 6 casussen.

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) doet mee met de casus Oostzanerveld. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen van gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan instrument (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de broeikasgasmetingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept en wordt een integrale analyse gemaakt van elke casus op basis van metingen, toepassing van het verbeterde model en een bredere systeemanalyse, wordt een berekening gemaakt van de broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op het reeds uitgevoerde verkennend onderzoek, de daaruit volgende selectie van meetlocaties voor de broeikasgasmetingen en het onderzoek zelf. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Oostzanerveld is een veenweidegebied en onderdeel van het Nationaal Landschap Laag Holland. Ook is het onderdeel van een groot laagveencomplex (Natura 2000). Er komen bedreigde soorten voor zoals de noordse woelmuis en de roerdomp. Dit gehele complex heeft historisch onder invloed van brak water gestaan. Hoewel de invloed van brak water sinds de aanleg van de Afsluitdijk sterk is afgenomen, blijft het licht brakke karakter karakteristiek voor het gebied. In het Oostzanerveld wordt het land hoofdzakelijk nog gebruikt voor extensieve landbouw, waarbij schapen en koeien per boot van perceel naar perceel gaan (vaarboeren).

Het (afwaterings)gebied Oostzanerveld wordt opgedeeld door de spoorlijn Zaandam-Hoorn. Het gebied ten noorden van deze spoorlijn is aangewezen als casus voor BlueCAN. Het gebied is rijk aan water en karakteristiek is een grote watergang van noordoost naar zuidwest. Het Oostzanerveld wordt in het noordoosten gevoed met water uit de Ringvaart van de Wijde Wormer. Ook is er een kleinere inlaat aan de noordwestzijde waar water vanuit de Braaksloot het gebied in kan stromen.

3 METHODE

3.1 VOORVERKENNING

In november 2020 is een verkennend onderzoek uitgevoerd met als doel zicht te krijgen in de bodemheterogeniteit. In deze verkenning is er gezocht naar een gradiënt van inlaat (Ringvaart van de Wijde Wormer) naar uitlaat (onder de spoorbrug) door het systeem heen. Het betreft karakteristieken als het organisch stofgehalte in de bodem en de ijzer-, fosfor- en sulfaatconcentraties in zowel de bodem als in het bodemporievocht.

3.2 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van de verkenning is vervolgens een selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie. Uit de verkenning blijkt er enige gradiënt van inlaat naar uitlaat in de waterbodemkarakteristieken aanwezig te zijn. Deze gradiënt was mede de basis voor de keuze van locaties voor broeikasgasmetingen. Afbeelding 1 geeft een overzicht van geselecteerde locaties:

- OOST-01: representatief voor het deel van het gebied dat onder invloed staat van inlaat (dicht bij het belangrijkste inlaatpunt);
- OOST-03: deze locatie ligt ten wat ten noorden van de hoofdwatgang, in een secundaire watergang. Deze locatie ligt het verloop van de gradiënt, het dichtstbij OOST-01;

- OOST-05: deze locatie ligt ook iets ten noorden van de hoofdwatgang. Deze locatie ligt ongeveer in het midden van de gradiënt van inlaat richting uitlaat;
- OOST-06: deze locatie ligt in de buurt van OOST-05, maar aan de andere zijde van de hoofdwatgang van oost naar west. Deze locatie wordt gekenmerkt door hogere zwavelwaarden in het porievocht wat interessant is, omdat in het beheergebied van HHNK veel gebieden beïnvloed worden door (licht)brak grondwater met hoge sulfaatwaarden;
- OOST-07: deze locatie wijkt enigszins af, met hogere fosfor- en zwavelwaarden in het porievocht. Hierdoor is ook dit punt interessant om te selecteren voor de broeikasgasbemonstering om zoveel mogelijk spreiding te garanderen.

NB! Er is geen locatie die direct representatief is voor het water dat het gebied verlaat (onder de spoorlijn). We hebben nadrukkelijk gekozen voor meer inzicht in de variatie in het gebied in relatie tot het water dat ingelaten wordt.

AFBEELDING 1 SELECTIE VAN LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE BEPALING VAN BROEIKASGASEMISSIES



3.3 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Kolomexperimenten;
3. Ebulitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 18 september 2021 op 5 plekken binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 3 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 15 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitex sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring naar het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Kolomexperimenten

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten voor broeikasgasflux. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van de broeikasgassen CO₂ en CH₄ bepaald. De bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond, waarna gestart is met broeikasgasflux metingen. Voor de broeikasgas-emissie meting is de kolom tijdelijk afgesloten, om een gesloten circuit te maken met de draagbare broeikasgas analyzer (MGGA), welke de concentratie CO₂ en CH₄ per seconde bepaald. De bodemkolommen zijn allen bemeten op dag 1, 2, 4, 8 en 16 na acclimatisatie, waarbij elke meting zo'n 4 minuten duurde. De emissies zijn vervolgens berekend door van deze emissie over deze dagen het oppervlak onder de grafiek te berekenen en te middelen per dag (cumulatief gemiddelde). Om CH₄ om te rekenen naar CO₂ equivalenten is factor 28 gebruikt. Er is nu gekozen om deze factor te hanteren omdat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) deze ook hanteert. Daarmee is dit momenteel beleidsmatig een logische keuze.

Ad3. Ebullitie

Op dag 16 zijn vervolgens de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting, waarbij ook gas via bellen (ebullitie) bijdraagt aan de totale gasopbouw. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waardes laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de broeikasgasflux bemeten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodembedemkarakteristieken besproken, daarna volgen de resultaten van de broeikasgasflux metingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn gemiddelde waarden opgenomen van de drie kolommen (replica's) per locatie met daaronder de spreiding (de standaardfout). Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem is venig, het organisch stofgehalte varieert enigszins tussen de vijf locaties en ligt tussen de 50 en 65%. Door het venige karakter van de waterbodem heeft de bodem een relatief lage bulkdichtheid;
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 0,8 tot 1,1 g P/kg. Dit betekent dat de waterbodem in theorie een vrij hoge primaire productie kan faciliteren (resulteerd in dominantie van algen, kroos of algemene waterplanten). Er wordt hierbij uitgegaan van een vuistregel van 0,5 g P/kg²;
- De zwavelgehaltes in de waterbodem zijn relatief hoog ten opzichte van de ijzergehaltes, hierdoor is de Fe:S ratio laag (< 0,5). In een zwavelrijke bodem reageert zwavel namelijk met ijzer, waardoor naar verloop van tijd het ijzer voor een groot deel is vastgelegd in de waterbodem en niet meer beschikbaar is in oplossing in het porievocht (t.b.v. het binden van fosfor);
- De porievochtconcentraties in de waterbodem laten verschillen zien. In algemene zin bevatten de waterbodems in Oostzanerveld gemiddeld tot lage fosforconcentraties, zeer lage ijzerconcentraties en hoge sulfaatconcentraties in het porievocht. Verhoudingsgewijs bevat het porievocht in de waterbodems in het Oostzanerveld vrijwel geen tot zeer weinig ijzer (lage Fe:P ratio) met uitzondering van OOST-01, wat kan bijdragen aan een hoge beschikbaarheid van fosfor. Toch zijn de actuele fosforconcentraties in het porievocht laag. Dit kan erop wijzen dat de afbraak van organisch materiaal beperkt blijft. Een uitzondering vormt locatie OOST-07 met een gemiddelde waarde van 0,67 mg P/l in het porievocht en in veel mindere mate OOST-01 met een gemiddelde waarde van 0,08 mg P/l. De relatief hoge NO₃-concentraties in met name OOST-03, OOST-06 en in mindere mate OOST-05 wijzen op aerobe condities in de waterbodem wat een bevestiging kan zijn van de beperkte afbraak. De licht brakke condities zouden hier van invloed op kunnen zijn (zie volgende punt). Bij locatie OOST-07 zijn de NO₃-concentraties het laagst en de NH₄-concentraties het hoogst wat laat zien dat afbraak hier wel speelt;
- Alle locaties hebben een licht brak karakter, de chlorideconcentraties in het porievocht variëren tussen de 250 en 400 mg Cl/l. Hierdoor zijn ook het EGV en enkele kationconcentraties verhoogt zoals calcium. Locatie OOST-07 bevat gemiddeld de hoogste chlorideconcentratie gevolgd door OOST-01. De overige drie locaties zijn iets zoeter;
- De locaties OOST-01 en OOST-03 bevatten hogere sulfaatbeschikbaarheid in vergelijking met de andere drie locaties (respectievelijk 212,0 en 164,7 mg S/l ten opzichte van concentraties onder 92 mg S/l);
- De beschikbare nitraat- en ammoniumconcentraties in het porievocht zijn relatief laag vergeleken met de andere locaties in ronde 2 van BlueCAN en bij locatie OOST-01 zeer laag.

2 Van Zuidam, J., (2013). Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery. Thesis Wageningen Universiteit, Wageningen.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
00ST-01 gem.	52.472037	4.88248	92.0	0.1	55.6	19.4	24.5	1.1	33.2	0.4
00ST-01 st.err			0.15	0.00	0.37	0.06	0.25	0.02	0.46	0.00
00ST-03 gem.	52.468692	4.877757	91.2	0.1	58.4	19.4	19.7	1.0	29.3	0.4
00ST-03 st.err			0.19	0.00	0.11	0.15	0.18	0.01	0.40	0.00
00ST-05 gem.	52.466029	4.872308	91.5	0.1	62.3	22.0	16.4	0.8	28.0	0.3
00ST-05 st.err			0.27	0.00	0.11	0.13	0.09	0.03	0.11	0.00
00ST-06 gem.	52.46743	4.871116	92.2	0.1	60.7	18.9	15.0	1.0	25.5	0.3
00ST-06 st.err			0.32	0.00	0.35	0.25	0.18	0.04	0.34	0.00
00ST-07 gem.	52.462368	4.859202	90.6	0.1	62.2	23.2	17.3	1.1	29.6	0.3
00ST-07 st.err			0.46	0.01	1.18	0.28	0.54	0.06	0.47	0.01

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	pH	EGV	Porievocht									
			HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P	
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mol/mol
00ST-01 gem.	6.7	2152	108	187	328	0.06	212.0	0.08	0.02	0.17	1.22	
00ST-01 st.err	0.04	81.7	13.6	8.1	11.3	0.02	16.2	0.06	0.02	0.01	0.63	
00ST-03 gem.	6.7	1919	160	160	308	0.00	164.7	0.03	0.80	2.01	0.06	
00ST-03 st.err	0.04	44.2	21.5	7.3	9.3	0.00	13.5	0.01	0.31	0.33	0.05	
00ST-05 gem.	7.1	1682	235	115	294	0.01	90.9	0.05	0.12	2.85	0.15	
00ST-05 st.err	0.05	20.2	22.3	1.9	1.1	0.01	7.1	0.01	0.02	0.25	0.07	
00ST-06 gem.	7.0	1668	228	114	293	0.00	91.9	0.05	0.97	4.27	0.04	
00ST-06 st.err	0.01	27.2	9.6	6.0	0.4	0.00	3.3	0.01	0.38	0.32	0.04	
00ST-07 gem.	7.1	2051	405	126	389	0.00	70.0	0.67	0.03	4.58	0.00	
00ST-07 st.err	0.03	20.2	13.4	2.7	1.4	0.00	2.8	0.20	0.00	0.43	0.00	

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
00ST-01 gem.	92,0	0,1	55,6	9,9	19,4	24,5	1,6	4,3	1,1	33,2	0,4
00ST-01 st.err	0,15	0,00	0,37	0,25	0,06	0,25	0,04	0,03	0,02	0,46	0,00
00ST-03 gem.	91,2	0,1	58,4	9,9	19,4	19,7	1,6	4,4	1,0	29,3	0,4
00ST-03 st.err	0,19	0,00	0,11	0,43	0,15	0,18	0,08	0,05	0,01	0,40	0,00
00ST-05 gem.	91,5	0,1	62,3	6,6	22,0	16,4	1,1	4,0	0,8	28,0	0,3
00ST-05 st.err	0,27	0,00	0,11	0,11	0,13	0,09	0,01	0,04	0,03	0,11	0,00
00ST-06 gem.	92,2	0,1	60,7	10,1	18,9	15,0	1,6	4,6	1,0	25,5	0,3
00ST-06 st.err	0,32	0,00	0,35	0,26	0,25	0,18	0,04	0,08	0,04	0,34	0,00
00ST-07 gem.	90,6	0,1	62,2	7,7	23,2	17,3	1,3	4,6	1,1	29,6	0,3
00ST-07 st.err	0,46	0,01	1,18	0,38	0,28	0,54	0,09	0,11	0,06	0,47	0,01

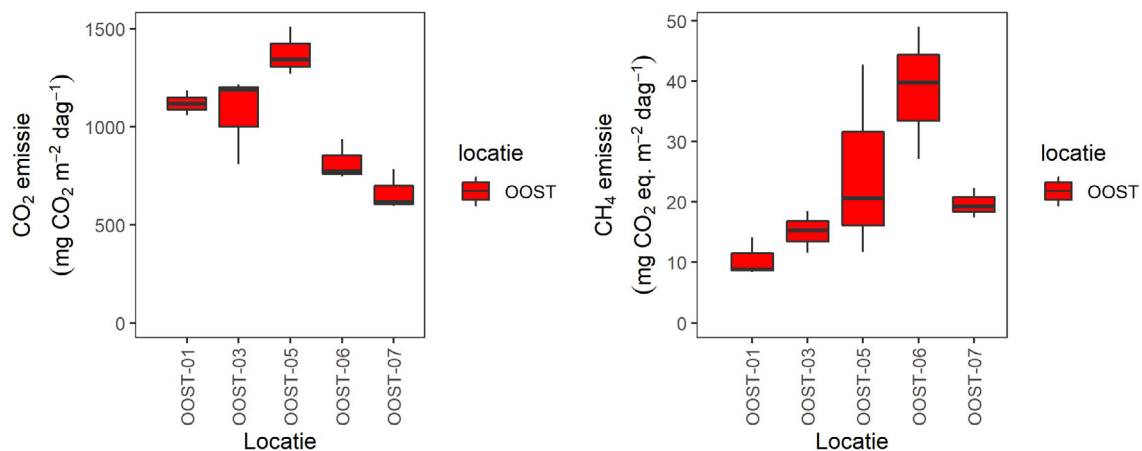
4.2 BROEIKASGASFLUX (CO₂ EN CH₄)

KORTE FLUX METINGEN

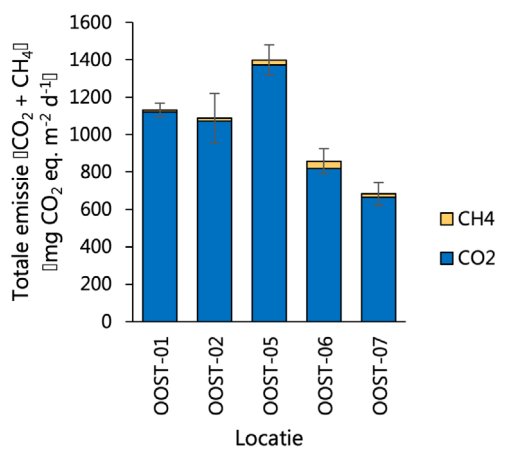
Alle bemeeten locaties binnen Oostzanerveld stoten CO₂ en CH₄ uit (afbeelding 2). De gemiddelde broeikasgasemissie (CO₂ + CH₄) over alle locaties is 1031 ± 75 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹.

- Gemiddeld is de CO₂ uitstoot 1009 ± 72 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=15).
- De CO₂ uitstoot varieert vrij sterk tussen de locaties van Oostzanerveld (afbeelding 2). De CO₂ emissie is het hoogst in locatie OOST-03, OOST-01 en OOST-05 (resp. 1120 ± 36; 1072 ± 131; 1373 ± 71 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=3)), en lager in OOST-06 en OOST-07 (resp. 818 ± 60; 664 ± 60 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=3)). De CO₂ emissie wordt grof gezien lager naar mate de gradiënt van inlaat richting uitlaat gevolgd wordt (m.u.v. OOST-05). Ten opzichte van de andere casussen is de CO₂ emissie uit het Oostzanerveld gemiddeld.
- Gemiddeld is de CH₄ uitstoot 21,8 ± 3,3 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹. Ten opzichte van de andere casussen is de CH₄ emissie uit het Oostzanerveld zeer laag (de laagste van alle casussen). De bijdrage van CH₄ emissie aan de totale broeikasgasemissie van de Oostzanerveld locaties is met zo'n 2% van de totale emissie (1031 ± 75 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹) minimaal; afbeelding 3).
- De CH₄ emissie varieert in absolute zin tussen de locaties in Oostzanerveld, maar vergeleken met de andere locaties binnen ronde 2 zijn de concentraties allemaal laag. Hier valt op dat de uitstoot vanaf OOST-01 (10,5 ± 1,9 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3)) via OOST-03 (15,1 ± 2,0 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3)) en OOST-05 (25,0 ± 9,2 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3)), tot aan OOST-06 (38,7 ± 6,3 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3)) de CH₄ uitstoot telkens iets hoger wordt.

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELDE (PER LOCATIE ZIJN DE 5 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 3 REPLICAS GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



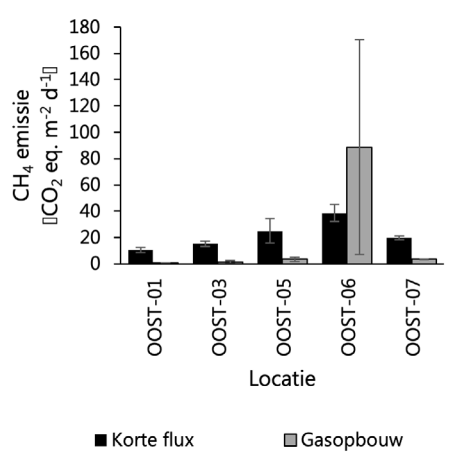
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.3.3). De resultaten van de gasopbouw meting (Afbeelding 4) laten zien dat ebullitie met name voor OOST-06 een rol lijkt te spelen. Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie voor met name locatie OOST-06 in werkelijkheid hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven en mogelijk speelt dit ook op andere locaties. De absolute broeikasgasemissie blijft ook met de gemeten ebullitie laag.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48U; IN GRIJS)



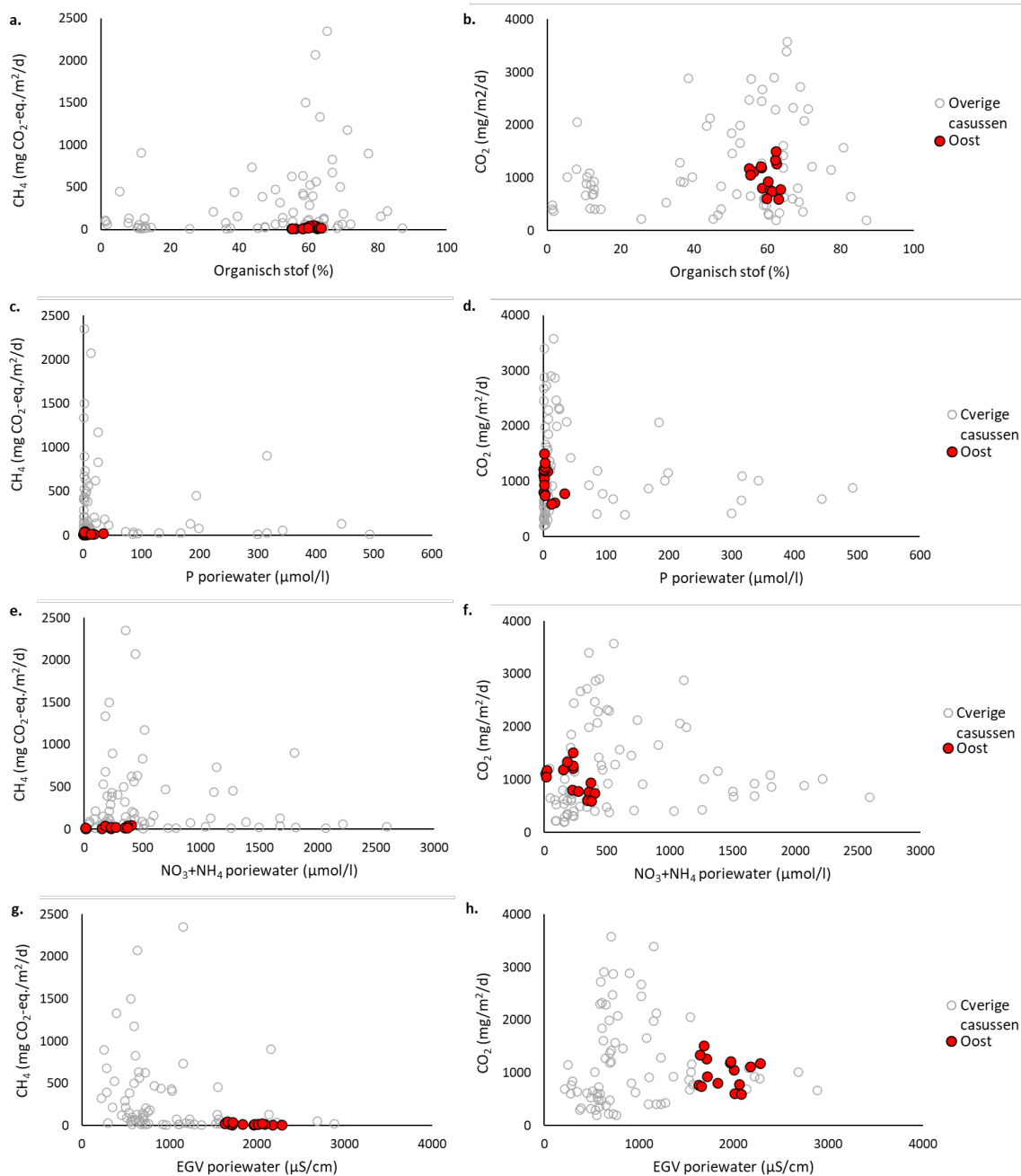
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van het Oostzanerveld met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de broeikasgasemissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In het Oostzanerveld is de broeikasgasemissie verhoudingsgewijs relatief laag, met name door de zeer lage bijdrage van CH_4 emissie (laagste van alle casussen);
- Er lijkt sprake van een zwakke relatie tussen de broeikasgasemissies en het organisch stof gehalte. Over het algemeen komen er hogere broeikasgasemissies uit waterbodems met een hoger organisch stof gehalte. In het Oostzanerveld is er ondanks de hoge organisch stofgehalten toch sprake van een zeer lage CH_4 emissie (afbeelding 5a.). De CO_2 emissie is in gezien het organisch stofgehalte laag tot gemiddeld in vergelijking met de overige casussen (afbeelding 5b.). Er lijkt geen sprake van een directe relatie tussen het gehalte aan organisch stof en de broeikasgasemissie in het Oostzanerveld;
- Ook is er enige relatie tussen de porievocht kwaliteit en de broeikasgasemissie:
 - Bij lage fosforconcentraties in het porievocht van de waterbodem zien we soms hoge emissies (afbeelding 5c. en d.). De locaties in het Oostzanerveld hebben in vergelijking met de andere casussen (zeer) lage totaal fosforconcentraties in het poriewater maar ook lage emissies van met name CH_4 en in mindere mate CO_2 ;
 - Er is een vergelijkbaar beeld voor de porievochtconcentraties van nitraat en ammonium. Ook hier zijn de CH_4 emissies gemiddeld hoger bij lagere stikstofconcentratie in het porievocht (afbeelding 5e. en f.). Voor CO_2 is dit verband minder duidelijk. De ammoniumconcentratie in het porievocht van de waterbodem van het Oostzanerveld is gemiddeld ten opzichte van de andere casussen. Wat niet uit de afbeelding duidelijk wordt, is dat in het porievocht in de waterbodems van het Oostzanerveld relatief hoge NO_3 -concentraties worden gemeten. Dit wijst op aerobe condities in de waterbodem en mogelijk ook op een beperkte afbraak van organisch stof. In de rapportage zullen we hier uitgebreider op ingaan;
 - De CH_4 emissie blijkt over het algemeen lager bij een hoger EGV in het poriewater. Voor de CO_2 emissie komt dit verband niet naar voren (afbeelding 5g. en h). De locaties in het Oostzanerveld hebben in vergelijking met andere locaties een hoog EGV en een zeer lage CH_4 emissie. Daarnaast past het Oostzanerveld voor wat betreft CO_2 in het beeld van de andere metingen.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN ROOD ZIJN DE LOCATIES IN DE OOSTZANERVELD CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDE VERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEWATER



FACTSHEET BLUECAN:

POPPENHUIZEN - WETTERSKIP FRYSLÂN

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De eerste ronde heeft zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019). De focus lag bij deze ronde op de relatie met waterkwaliteit, met name de nutriënten. In deze tweede ronde (2020) richten wij ons op kleine lijnvormige watersystemen zoals sloten en petgaten. Hierbij ligt de focus wederom op de relatie met waterkwaliteit maar ditmaal ook met meer aandacht voor het organisch stof. In totaal onderzoeken wij deze relatie aan de hand van 6 casussen.

Het Wetterskip Fryslân doet mee met de casus Poppenhuizen. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen van gestoken waterbodempluimen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan instrument (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de broeikasgasmetingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodempluimen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept en wordt een integrale analyse gemaakt van elke casus op basis van metingen, toepassing van het verbeterde model en een bredere systeemanalyse, wordt een berekening gemaakt van de broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op het reeds uitgevoerde verkennend onderzoek, de daaruit volgende selectie van meetlocaties voor de broeikasgasmetingen en het onderzoek zelf. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Ten noorden van Aldeboarn (gemeente Heereveen) ligt het buurtschap Poppenhuizen. Poppenhuizen maakt deel uit van het Friese Veenweidegebied in zuidoost-Friesland. Het hydrologisch afgebakende gebied Poppenhuizen heeft een oppervlakte van 630 hectare. Poppenhuizen wordt ingesloten door de Beesterdyk aan de zuidkant, de Prikwei aan de westkant, Warniahuizen aan de oostkant en de Swetterwei aan de noordkant.

Poppenhuizen heeft voornamelijk veenweidegronden. Op enkele plekken ligt een kleilaag op het veen of is de kleilaag vermengd met het veen. Poppenhuizen bestaat volledig uit agrarisch gebied (veenweidegrasland). Het gebied ligt op ± -1 m NAP.

Er lopen al vele onderzoeken in deze polder. Het is één van de hoofdonderzoeksgebieden voor het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV). Dit onderzoek focust op broeikasgasemissie uit de percelen, terwijl BlueCAN gefocust is op broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater.

3 METHODE

3.1 VOORVERKENNING

In november 2020 is een verkennend onderzoek uitgevoerd met als doel zicht te krijgen in de bodemheterogeniteit. In deze verkenning is gezocht naar een de gradiënt in water-bodemkarakteristieken van inlaat naar uitlaat. Het betreft karakteristieken als het organisch stofgehalte in de bodem en de ijzer-, fosfor- en sulfaatconcentraties in zowel de bodem als in het bodemporievocht.

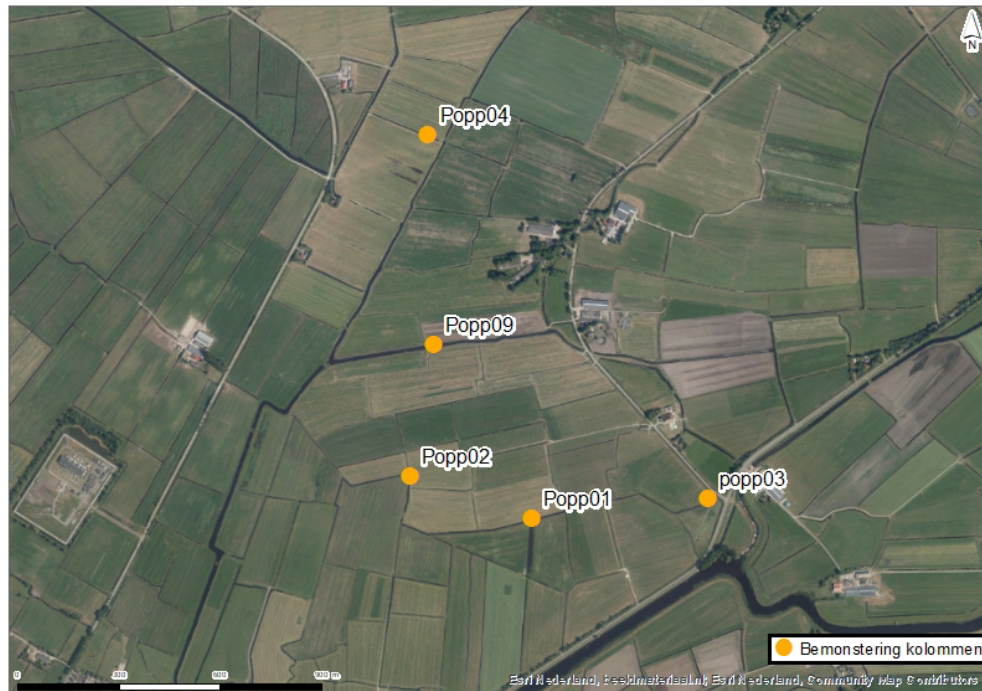
3.2 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van de verkenning is een selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie. Uit de verkenning blijkt geen overduidelijk patroon van inlaat naar uitlaat aanwezig te zijn. Er is dan ook gekozen om de meetpunten te selecteren waarbij er de meeste spreiding binnen de casus te vinden is op basis van het organisch stofgehalte en de ijzer-, fosfor- en sulfaatconcentraties in zowel de bodem als in het porievocht.

- POPP-03: relatief veel ijzer, hoge fosforgehaltes in de bodem en in het porievocht en een laag organische stofgehalte;
- POPP-01: laagste ijzer/zwavel ratio en laagst fosforgehalte in de bodem en relatief hoog organisch stofgehalte;

- POPP-02: relatief hoog organisch stofgehalte, relatief laag fosforgehalte in de bodem en het laagste zwavelgehalte in de bodem.
- POPP-09: laagste organisch stofgehalte, hoogste zwavelgehalte in de bodem en relatief hoog fosforgehalte;
- POPP-04: hoogste organisch stofgehalte, laagste fosforgehalte in de bodem en relatief veel zwavel.

AFBEELDING 1 SELECTIE VAN LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE BEPALING VAN BROEIKASGASEMISSIES



3.3 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Kolomexperimenten;
3. Ebulitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 18 september 2021 op 5 plekken binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 3 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 15 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Kolomexperimenten

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten voor broeikasgasflux. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van de broeikasgassen CO₂ en CH₄ bepaald. De bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond, waarna gestart is met broeikasgasflux metingen. Voor de broeikasgas-emissie meting is de kolom tijdelijk afgesloten, om een gesloten circuit te maken met de draagbare broeikasgas analyzer (MGGA), welke de concentratie CO₂ en CH₄ per seconde bepaald. De bodemkolommen zijn allen bemeten op dag 1, 2, 4, 8 en 16 na acclimatisatie, waarbij elke meting zo'n 4 minuten duurde. De emissies zijn vervolgens berekend door van deze emissie over deze dagen het oppervlak onder de grafiek te berekenen en te middelen per dag (cumulatief gemiddelde). Om CH₄ om te rekenen naar CO₂ equivalenten is factor 28 gebruikt. Er is nu gekozen om deze factor te hanteren omdat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) deze ook hanteert. Daarmee is dit momenteel beleidsmatig een logische keuze.

Ad3. Ebulitie

Op dag 16 zijn vervolgens de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting, waarbij ook gas via bellen (ebullitie) bijdraagt aan de totale gasopbouw. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie. Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de broeikasgasflux bemeten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodemkarakteristieken besproken. Daarna volgen de resultaten van de broeikasgasflux metingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn gemiddelde waarden opgenomen van de drie kolommen (replica's) per locatie met daaronder de spreiding (de standaardfout). Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem is overwegend venig, met enige invloed van klei. Het organisch stofgehalte varieert tussen 30 en 70% organisch stof. Door het overwegend venige karakter van de waterbodem heeft de bodem een relatief lage bulkdichtheid. Het verschil in het aandeel van veen en klei komt terug in de verschillen in het organisch stofgehalte en de bulkdichtheid tussen de locaties. Hoe hoger het aandeel klei hoe lager het organisch stofgehalte en hoe hoger de bulk dichtheid;
- De totale fosforgehaltes in de bodem zijn relatief hoog. Deze variëren tussen de 0,7 en 1,1 g P/kg met als uitschieter de hoge concentratie van 2,0 g P/kg in POPP-03. Dit betekent dat de waterbodem in theorie een hoge primaire productie kan faciliteren (resultierend in dominantie van algen, kroos of algemene waterplanten). Er wordt hierbij uitgegaan van een vuistregel van 0,5 g P/kg²;
- De zwavelgehalten en de ijzergehaltes in de waterbodem zijn relatief hoog. Behalve POPP-04, hebben de locaties een relatief hoge Fe:S ratio ($\geq 0,5$). Bij deze locaties is de Fe:S ratio voldoende hoog dat er ijzer beschikbaar is voor de binding van fosfor. In een zwavelrijke bodem reageert zwavel namelijk met ijzer, waardoor naar verloop van tijd het ijzer voor een groot deel is vastgelegd in de waterbodem en niet meer beschikbaar is in oplossing in het porievocht (t.b.v. het binden van fosfor);
- De totale fosforconcentraties in het porievocht van de waterbodems variëren van 0,02 tot 0,32 mg P/l. Verhoudingsgewijs bevatten de waterbodems ook (erg) veel ijzer (hoge Fe:P ratio). Dit draagt bij aan een lage beschikbaarheid van fosfor ondanks de hoge totaal P concentraties in de waterbodem. De chemische nalevering van P lijkt hierdoor beperkt, hoewel ook andere factoren een rol kunnen spelen;
- De nitraat- en ammoniumconcentraties in het porievocht zijn laag tot hoog (NH₄ varieert van 2,38 mg/l tot 13,92 mg/l en NO₃ van 0,01 mg/l tot 0,08 mg/l);
- De waterbodems zijn relatief zoet met gemiddeld lage chlorideconcentraties. Enkele kationen zoals calcium, magnesium (niet weergegeven) maar ook zwavel zijn relatief hoog waardoor het poriewater een verhoogd EGV bevat.

2 Van Zuidam, J., (2013). Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery. Thesis Wageningen Universiteit, Wageningen.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELDE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
POPP-01 gem.	53.056565	5.91486	86.2	0.1	42.0	14.0	22.7	1.1	16.6	0.8
POPP-01 st.err			1.14	0.01	1.85	1.19	1.92	0.22	0.22	0.07
POPP-02 gem.	53.0572	5.909542	89.0	0.1	61.2	20.2	23.4	0.9	20.4	0.7
POPP-02 st.err			0.24	0.00	9.81	1.63	3.05	0.21	1.03	0.07
POPP-03 gem.	53.056553	5.92267	83.7	0.2	36.5	17.7	37.4	2.0	16.4	1.3
POPP-03 st.err			0.56	0.01	0.37	1.28	0.86	0.06	0.75	0.07
POPP-04 gem.	53.06626	5.910425	89.7	0.1	60.7	20.6	21.7	0.7	29.0	0.4
POPP-04 st.err			0.39	0.00	2.28	0.43	0.89	0.03	0.75	0.01
POPP-09 gem.	53.060712	5.910617	86.0	0.1	60.0	23.6	20.4	0.7	22.2	0.5
POPP-09 st.err			0.89	0.01	6.39	0.51	1.61	0.12	1.21	0.02

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELDE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
POPP-01 gem.	6.0	1078	20	162	28	6.65	186.9	0.11	0.01	13.92	57.74
POPP-01 st.err	0.14	89.2	10.3	21.7	0.6	2.49	21.6	0.07	0.00	1.77	26.61
POPP-02 gem.	6.6	882	46	122	21	5.16	144.2	0.15	0.03	10.24	22.44
POPP-02 st.err	0.04	100.6	5.4	17.1	0.1	1.95	24.0	0.03	0.02	1.27	9.90
POPP-03 gem.	6.5	1231	112	225	27	21.52	207.2	0.32	0.01	8.64	40.54
POPP-03 st.err	0.02	73.6	2.7	25.7	1.6	2.70	21.7	0.07	0.00	1.19	7.17
POPP-04 gem.	6.8	1065	101	123	55	0.21	148.0	0.02	0.01	4.05	7.36
POPP-04 st.err	0.03	44.3	10.5	7.2	1.7	0.06	7.8	0.00	0.00	0.48	2.70
POPP-09 gem.	7.1	1034	120	144	31	0.35	154.7	0.11	0.08	2.38	3.27
POPP-09 st.err	0.02	97.6	10.2	18.5	0.9	0.19	22.4	0.04	0.07	0.44	2.46

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELDE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
POPP-01 gem.	86,2	0,1	42,0	9,7	14,0	22,7	1,2	1,9	1,1	16,6	0,8
POPP-01 st.err	1,14	0,01	1,85	0,92	1,19	1,92	0,14	0,10	0,22	0,22	0,07
POPP-02 gem.	89,0	0,1	61,2	8,0	20,2	23,4	1,0	2,7	0,9	20,4	0,7
POPP-02 st.err	0,24	0,00	9,81	1,68	1,63	3,05	0,16	0,14	0,21	1,03	0,07
POPP-03 gem.	83,7	0,2	36,5	13,7	17,7	37,4	1,6	2,6	2,0	16,4	1,3
POPP-03 st.err	0,56	0,01	0,37	0,67	1,28	0,86	0,09	0,08	0,06	0,75	0,07
POPP-04 gem.	89,7	0,1	60,7	8,2	20,6	21,7	0,9	3,7	0,7	29,0	0,4
POPP-04 st.err	0,39	0,00	2,28	0,37	0,43	0,89	0,04	0,07	0,03	0,75	0,01
POPP-09 gem.	86,0	0,1	60,0	5,9	23,6	20,4	0,8	3,4	0,7	22,2	0,5
POPP-09 st.err	0,89	0,01	6,39	0,79	0,51	1,61	0,05	0,08	0,12	1,21	0,02

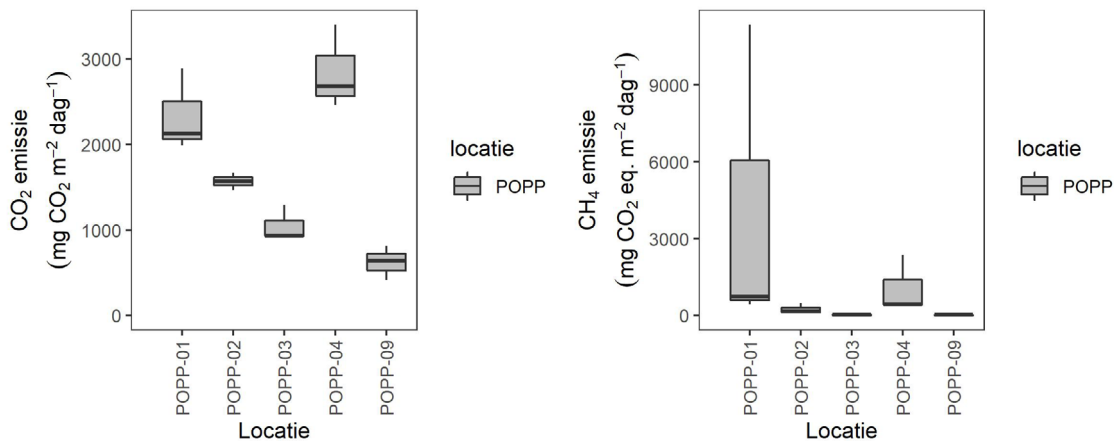
4.2 BROEIKASGASFLUX (CO₂ EN CH₄)

KORTE FLUX METINGEN

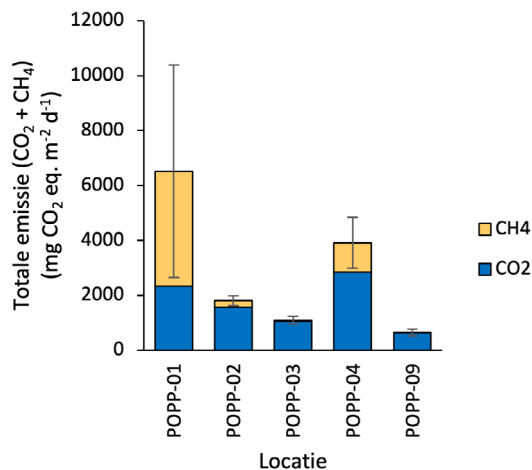
Alle locaties binnen de Poppenhuizen casus stoten CO₂ en CH₄ uit (afbeelding 2). De emissie is gemiddeld tot hoog in vergelijking met de andere casussen in ronde 2 van BlueCAN. Tussen de Poppenhuizen locaties was er veel variatie in broeikasgas uitstoot.

- De CO₂ emissie was gemiddeld (gemiddelde ± standaard fout) 1684 ± 230 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=15). POPP-04 heeft de hoogste CO₂ uitstoot binnen Poppenhuizen. De CO₂ emissie van alle Poppenhuizen locaties is relatief hoog in vergelijking met de andere casussen;
- De CH₄ emissie was gemiddeld 1109 ± 748 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=15). POPP-01 heeft veruit de grootste CH₄ emissie (1065 ± 644 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3)), waarbij de spreiding binnen de replica's groot is;
- De totale broeikasgasemissie is het hoogst in POPP-01 en vervolgens POPP-04 (afbeelding 3). De emissie op de andere locaties is veel lager, waarbij de CH₄ emissie bijna nul is.

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELD (PER LOCATIE ZIJN DE 5 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 3 REPLICA'S GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE

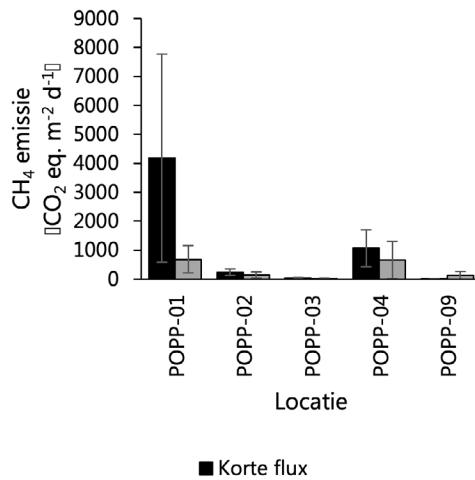


GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.3.3). De resultaten van de gasopbouw meting (afbeelding 4) laten zien dat ebullitie met name in POPP-01 en POPP-04 een rol lijkt te spelen. Dit verklaart mogelijk ook de grote spreiding in CH₄ emissie

van POPP-01. Ebulitie is lastig te meten. Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid gemiddeld hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48U; IN GRIJS)



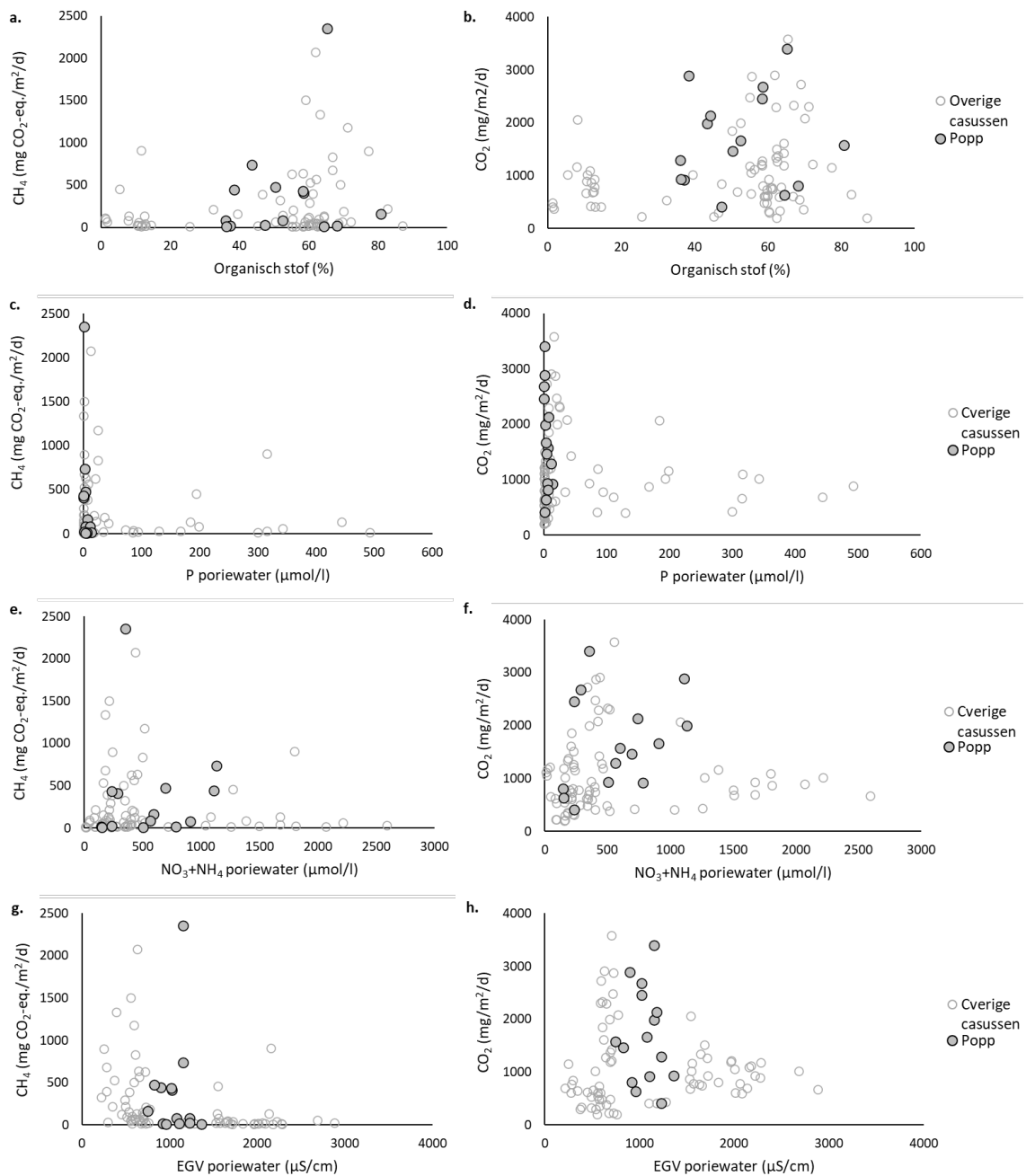
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van Poppenhuizen met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de broeikasgasemissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In Poppenhuizen zijn de broeikasgasemissie relatief hoog, waarbij er sprake is van een grote spreiding in zowel de CO₂ als CH₄ emissie (afbeelding 5a. en b.);
- Er lijkt sprake van een zwakke relatie tussen de broeikasgasemissies en het organisch stof gehalte. In Poppenhuizen is er geen duidelijke (directe) relatie tussen de broeikasgasemissies en het organisch stofgehalte (afbeelding 5a. en b.);
- Ook is er uitgaande van de resultaten van alle casussen enige relatie tussen de porievocht-kwaliteit en de broeikasgasemissie:
 - Bij lage fosforconcentraties zien we soms hoge emissies (afbeelding 5c. en d.). De locaties in Poppenhuizen hebben in vergelijking met de andere casussen lage totaal fosforconcentraties in het poriewater. Er is geen directe relatie met de emissie;
 - Er is een vergelijkbaar beeld voor de porievochtconcentraties van nitraat en ammonium uitgaande van alle casussen. Ook hier zijn CH₄ emissies ogenschijnlijk wat lager bij hogere stikstofbeschikbaarheid. Voor CO₂ is dit verband minder duidelijk (afbeelding 5e. en f.). Voor Poppenhuizen geldt dat er enige relatie zichtbaar lijkt tussen de stikstofconcentratie (NO₃+NH₄) en de broeikasgasemissie. Voor zowel CO₂ als NH₄ geldt dat als de som van NO₃+NH₄ laag is in het porievocht de emissie ook relatief laag is en bij toename van de concentratie de emissie gemiddeld toeneemt;
 - De CH₄ emissie blijkt over het algemeen lager bij een hoger EGV in het poriewater. Voor de CO₂ emissie komt dit verband niet naar voren (afbeelding 5g. en h). De locaties in Poppenhuizen hebben een gemiddeld EGV. Er is geen (directe) relatie met de broeikasgasemissie.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN DONKER GRIJS ZIJN DE LOCATIES IN DE POPPENHUIZEN CASUS WEERGEGEVEN, IN LICHT GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDE VERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEWATER



FACTSHEET BLUECAN: TREKVAART - RIJNLAND

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De vorige twee rondes hebben zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019) en sloten en petgaten (2020). De focus lag bij deze rondes op de relatie met waterkwaliteit (respectievelijk nutriënten en organisch stof). In deze derde ronde (2021) richten wij ons op grotere lijnvormige wateren, zoals kanalen, weteringen, boezems, singels, et cetera. Dit zijn vaak wateren met veel slibafzetting en een hoge (historische) belasting met nutriënten en/of organische stof. In totaal onderzoeken wij in deze ronde 6 casussen.

Het Hoogheemraadschap van Rijnland (Rijnland) doet mee met de casus de Trekvaart (Haarlem-Leiden). Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan tool (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de CO₂ en CH₄ metingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept, waarbij er een integrale analyse gemaakt wordt van elke casus op basis van metingen en toepassing van het verbeterde BlueScan tool en een bredere systeemanalyse. Verder wordt op basis van deze resultaten een berekening gemaakt van de totale broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op de locatiekeuze en de meetmethode. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

De Trekvaart is een gegraven vaarverbinding tussen Haarlem en Leiden. De vaart begint in Haarlem aan de Zijlsingel en loopt tot de voormalige Mareport in Leiden en heeft een totale lengte van 28,4 km. De Trekvaart heeft een waterdiepte van 2,5 m. De gemiddelde breedte van de watergang is 20 m. Het is een vaart op zandgrond met een hierdoor sterk zandige waterbodem met een erg dun of zelf geheel ontbrekende sliblaag (0,5 tot max. 2 cm slib). De Trekvaart ligt als boezemsysteem midden in een gebied met veel bollenteelt. Daardoor is de Trekvaart ook het meest eutrofe kanaal binnen het beheergebied van Rijnland. De Trekvaart is voor het laatst in 2013 gebaggerd. Het doorzicht lag tijdens het veldbezoek tussen de 60 en 80 cm.

3 METHODE

3.1 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van verkennende gesprekken met het waterschap en analyse van eventueel beschikbare data over het watersysteem is een eerste selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie.

Rijnland vermoedt dat hun veengebieden de hoogste broeikasgasuitstoot hebben. Echter dit eutrofe kanaal (op zandgrond) is een blinde vlek. Door de hoge externe belasting in dit gebied is er een mogelijkheid dat ook dit kanaal hoge broeikasgasemissies heeft. Inzicht in de emissies vanuit de hele Trekvaart zijn dan ook gewenst. De waterkwaliteit wordt op 3 punten in de Trekvaart maandelijks gemonitord. Op deze punten is te zien dat er een flinke gradiënt in de fosforconcentratie zit. Van zuid naar noord verdubbeld deze gemiddeld (van circa 0,4 naar 0,9 mg P/l). Mede daarom is besloten om over een lengtegradiënt te gaan monstern.

De locaties die in het veld zijn geselecteerd zijn (Afbeelding 1):

- TREK-01: Locatie ter hoogte van een kleine voetgangersbrug van de Leidsevaart naar de Prinsessekade;
- TREK-02: Locatie ter hoogte van een kleine voetgangersbrug van Heemstede en Buitenplaats Leyduin;
- TREK-03: Locatie ter hoogte van waterkwaliteitsmeetpunt 'Leidse Trekvaart vanaf brug Margrietlaan Hillegom' van het waterschap;
- TREK-04: Locatie ter hoogte van waterkwaliteitsmeetpunt 'Haarlemmer Trekvaart brug aan de Delfweg' van het waterschap;
- TREK-05: Locatie ter hoogte van waterkwaliteitsmeetpunt 'Haarlemmer Trekvaart vanaf Noordwijkerhoekbrug' van het waterschap.

AFBEELDING 1 LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE CO₂ EN CH₄ METINGEN

3.2 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Korte fluxmetingen;
3. Ebullitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 4 oktober op 5 locaties binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 2 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 10 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Korte fluxmetingen

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeaten op CO₂ en CH₄ fluxen. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van CO₂ en CH₄ bepaald. Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd:

1. per meetlocatie zijn er twee bodemkolommen (of replica's);
2. de bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond;
3. daarna is gestart met de CO₂ en CH₄ diffuse flux metingen. Deze fluxen zijn gemeten met de draagbare broeikasgas-analyzer (MGGA). Om deze metingen uit te kunnen voeren is:
 - de kolom tijdelijk afgesloten om een gesloten circuit te maken met de MGGA;
 - de concentratie CO₂ en CH₄ in het luchtdeel gedurende vier minuten één keer per seconde met de MGGA gemeten;

- tijdens de metingen is het verloop van de concentratie visueel gevolgd. Als er sprake is van een stabiele diffuse flux dan vormen de metingen een grafiek met een min of meer vaste helling. Als dit niet zo is, dan is er sprake van andere processen, zoals gasvorming (ebullitie). In het geval van ebullitie tijdens de meting is er sprake van een sprong in de CH₄ concentratie of een versnelde opbouw van CH₄. In die gevallen is de meting herhaald;
 - na vier minuten is de gemiddelde helling over de metingen bepaald en op basis hiervan de gemiddelde flux;
 - de bodemkolommen zijn allen 3 maal op deze wijze bemeaten. Naast de eerste meetdag ook op dag 8 en 16;
4. vervolgens zijn de uiteindelijke fluxen voor CO₂ en CH₄ per replica en vervolgens per meetlocatie berekend op basis van de berekende fluxen voor alle meetmomenten (dag 1, 8 en 16), waarbij uitgegaan is van het gemiddelde per meetdag (ofwel het cumulatief gemiddelde);
 5. om de CH₄ flux om te rekenen naar een flux uitgedrukt in CO₂ equivalenten is uitgegaan van een factor 28. Deze factor is gebaseerd op het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) die dezelfde factor hanteert. Er zijn argumenten om een andere factor te kiezen, maar beleidsmatig is dit de meest logische keuze.

Ad3. Ebullitiemetingen

Na het uitvoeren van de korte fluxmetingen zijn vervolgens op dag 16 de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting. Het doel hiervan is om de vorming van gasbellen (ebullitie) en de hiervan afhankelijke CO₂ en CH₄ productie te kwantificeren. Na 48 uur is het opgebouwde gas bovenin de kolom verzameld en gemeten op een specifieke gaschromatograaf. De concentraties CO₂ en CH₄ zijn vervolgens omgerekend naar een emissie per tijdseenheid en per oppervlakte. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de CO₂ en CH₄ flux en broeikasgasopbouw bemeaten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodem besproken. Daarna volgen de resultaten van de broeikasgasfluxmetingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn de waarden opgenomen van de twee kolommen (replica's) per locatie. Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem is erg zandig en organisch arm. Het organisch stofgehalte ligt tussen 1,5 en 5,5%. Door het lage organisch stofgehalte in de waterbodem heeft de bodem een relatief hoge bulkdichtheid, tussen 1,1 en 1,4 kg/l (en een lager vochtgehalte);
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 0,23 tot 0,81 g/kg. Dit betekent dat de waterbodems schommelen rond het punt dat de bodems in theorie hoge primaire productie kunnen faciliteren (resultierend in dominantie van algen, kroos of algemene waterplanten). Er wordt hierbij uitgegaan van een vuistregel van 0,5 g P/kg²;
- De fosforconcentraties in het porievocht variëren sterk tussen de locaties en tussen de replica's (tussen 0,6 tot 7,21 mg P/l). De ijzerconcentraties (en daarmee de Fe:P ratio) in het porievocht zijn relatief laag wat bijdraagt aan een hogere beschikbaarheid van fosfor, met uitzondering van TREK-01 en in mindere mate TREK-03;
- De beschikbare ammoniumconcentraties in het porievocht zijn relatief hoog met name in TREK-02, iets wat kan duiden op anaerobe afbraak van organisch materiaal. De nitraatconcentratie varieert van verwaarloosbaar tot wat verhoogde concentraties (dit zou daar op aerobe condities kunnen wijzen);
- De waterbodems zijn zoet. Ze bevatten relatief lage chlorideconcentraties variërend tussen 78 en 130 mg Cl/l. De waterbodems bevatten relatief gemiddeld tot hoge zwavelconcentraties (9,9 en de 50 mg S/l).

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
TREK 01 A	52.36778	4.61542	22.3	1.39	2.46	18.46	5.22	0.33	0.79	3.77
TREK 01 B			25.6	1.26	5.27	15.42	4.55	0.31	0.74	3.53
TREK 02 A	52.35304	4.60383	29.8	1.18	2.60	20.36	5.18	0.54	1.81	1.64
TREK 02 B			29.4	1.21	2.31	19.55	5.43	0.60	2.22	1.40
TREK 03 A	52.31359	4.56882	32.6	1.10	3.16	32.30	5.84	0.81	1.64	2.05
TREK 03 B			27.6	1.25	2.24	33.79	5.39	0.53	1.43	2.16
TREK 04 A	52.27714	4.53623	31.0	1.12	3.78	39.35	5.81	0.72	2.17	1.54
TREK 04 B			29.1	1.16	3.13	32.85	4.90	0.56	1.69	1.67
TREK 05 A	52.22660	4.46827	22.9	1.38	2.20	25.06	4.80	0.40	2.37	1.16
TREK 05 B			23.3	1.38	1.72	16.82	3.92	0.23	2.04	1.10

2 Van Zuidam, J., (2013). Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery. Thesis Wageningen Universiteit, Wageningen.

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV <i>μS/cm</i>	HCO ₃ <i>mg/l</i>	Ca <i>mg/l</i>	Cl <i>mg/l</i>	Fe <i>mg/l</i>	S <i>mg/l</i>	P <i>mg/l</i>	N-NO ₃ <i>mg/l</i>	N-NH ₄ <i>mg/l</i>	Fe/P <i>mol/mol</i>
TREK 01 A	7.9	857	223.5	81.5	91.8	0.1	50.0	0.06	0.07	8.5	1.1
TREK 01 B	7.5	828	314.2	71.0	83.7	0.3	27.9	0.06	0.03	8.4	2.9
TREK 02 A	7.7	1213	569.0	133.0	105.7	0.7	31.3	1.97	0.01	14.0	0.2
TREK 02 B	8.0	1347	682.7	142.4	123.2	0.7	20.4	1.33	0.01	20.2	0.3
TREK 03 A	7.6	1285	716.8	154.8	98.1	4.3	12.4	3.56	0.10	17.0	0.7
TREK 03 B	7.7	942	450.2	114.0	78.6	2.5	17.2	0.89	0.07	8.6	1.6
TREK 04 A	7.7	978	477.0	101.0	99.6	1.4	9.9	7.21	0.00	9.7	0.1
TREK 04 B	7.7	938	387.6	94.1	94.9	0.8	17.2	3.51	0.00	10.7	0.1
TREK 05 A	7.8	1117	395.1	100.1	127.5	0.4	31.5	1.46	0.06	3.6	0.2
TREK 05 B	7.9	1050	307.2	88.6	129.7	0.1	32.7	0.90	0.01	2.4	0.1

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. PER LOCATIE STAAT VOOR BEIDE REPLICA'S (A EN B) DE GEMETEN WAARDE WEERGEGEVEN

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	<i>kg/l</i>	%	<i>g/kg DW</i>	<i>g/kg DW</i>	<i>g/kg DW</i>	<i>g/kg DW</i>	<i>g/kg DW</i>	<i>g/kg DW</i>	<i>g/kg DW</i>	<i>mol/mol</i>
TREK 01 A	22,3	1,39	2,46	3,10	18,46	5,22	0,31	1,02	0,33	0,79	3,77
TREK 01 B	25,6	1,26	5,27	2,91	15,42	4,55	0,35	1,04	0,31	0,74	3,53
TREK 02 A	29,8	1,18	2,60	3,88	20,36	5,18	0,55	0,99	0,54	1,81	1,64
TREK 02 B	29,4	1,21	2,31	3,10	19,55	5,43	0,43	0,93	0,60	2,22	1,40
TREK 03 A	32,6	1,10	3,16	2,31	32,30	5,84	0,35	1,59	0,81	1,64	2,05
TREK 03 B	27,6	1,25	2,24	2,24	33,79	5,39	0,32	1,42	0,53	1,43	2,16
TREK 04 A	31,0	1,12	3,78	3,21	39,35	5,81	0,55	1,96	0,72	2,17	1,54
TREK 04 B	29,1	1,16	3,13	2,85	32,85	4,90	0,47	1,78	0,56	1,69	1,67
TREK 05 A	22,9	1,38	2,20	3,97	25,06	4,80	0,42	1,68	0,40	2,37	1,16
TREK 05 B	23,3	1,38	1,72	2,64	16,82	3,92	0,34	0,91	0,23	2,04	1,10

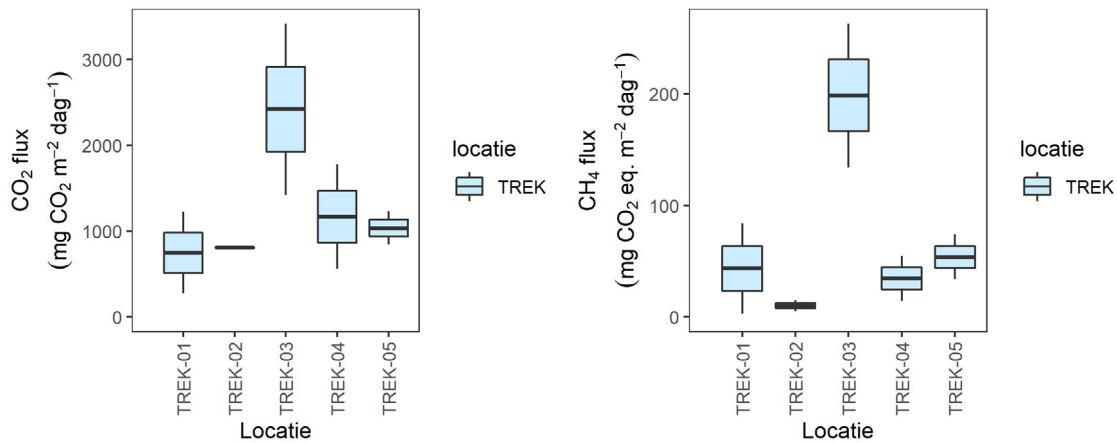
4.2 CO₂ EN CH₄ FLUX

KORTE FLUX METINGEN

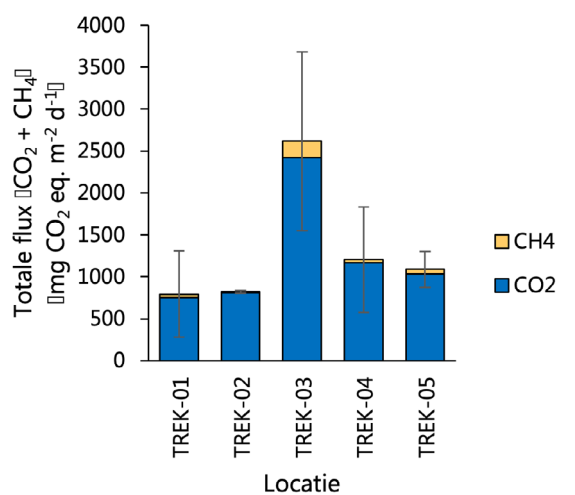
Vrijwel alle locaties gemeten in de Trekvaart stoten CO₂ en CH₄ uit (Afbeelding 2). De CO₂ en CH₄ flux uit deze casus zijn gemiddeld in vergelijking met de andere casussen uit ronde 3 van BlueCAN:

- De CO₂ flux is gemiddeld 1237 ± 278 (gemiddelde ± standaardfout) mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CO₂ flux varieert niet sterk tussen de verschillende locaties, alleen TREK-03 laat een hogere CO₂ flux dan de rest 2418 ± 997 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2));
- De CH₄ uitstoot is gemiddeld 68 ± 25 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=10). De CH₄ flux varieert niet sterk tussen de verschillende locaties, ook hier laat TREK-03 een hoge flux zien (198 ± 64 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=2));
- De totale CO₂ en CH₄ flux (Afbeelding 3) wordt gedomineerd door de CO₂ flux en is het hoogst voor TREK-03.

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELD (PER LOCATIE ZIJN DE 3 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 2 REPLICA'S GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



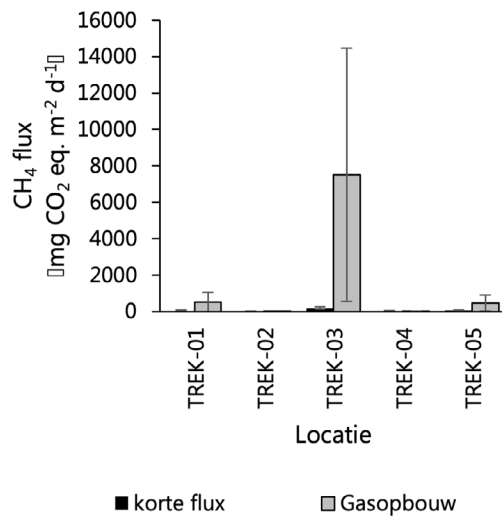
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodembodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.2.3). De resultaten van de gasopbouw meting (Afbeelding 4) laten zien dat ebullitie in bijna alle locaties van de Trekvaart een (soms zeer grote) rol speelt, maar met name in TREK-03 (één van de hoogste gemeten ebullities in ronde 2 en ronde 3) en in mindere mate in TREK-01 en TREK-05. Wel geldt voor al deze locaties dat er een grote spreiding tussen de replica's aanwezig is. De werkelijke CH₄ emissie in de Trekvaart kan gemiddeld hoger zijn dan in de vorige paragraaf (de flux metingen) beschreven is.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48 UUR (IN GRIJS))



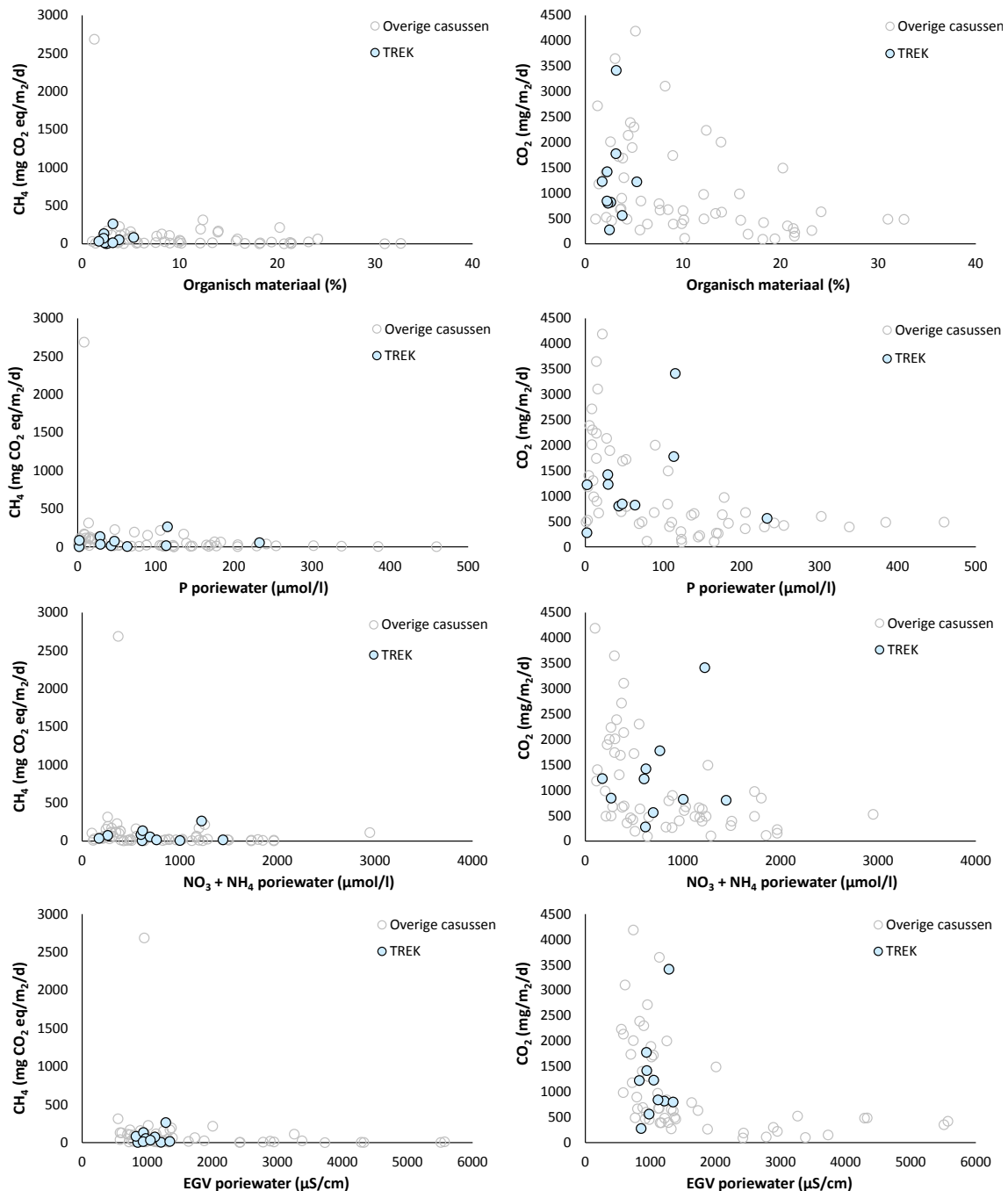
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van de Trekvaart met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de CO₂ en CH₄ emissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In de Trekvaart zijn de CO₂ en CH₄ emissies relatief gemiddeld in vergelijking met de andere casussen van ronde 3 (op de hoge CH₄ flux van TREK-03 na) (Afbeelding 5a. en 5b.);
- Er blijkt uit de data geen sprake van een relatie tussen de CO₂ en CH₄ emissies en het organisch stofgehalte. Dit in tegenstelling tot de zwakke relatie die hiertussen te zien was in de data van BlueCAN ronde 2;
- Er is enige relatie tussen de porievochtqualiteit en de CO₂ en CH₄ emissies:
 - De fosforconcentraties in het porievocht laten over alle casussen heen geen duidelijk verband zien met de emissies (Afbeelding 5c. en 5d.). De locaties in de Trekvaart hebben in vergelijking met de andere casussen wel een lichte trend tussen de totaal fosforconcentraties in het porievocht en de CO₂ emissies. Bij hogere fosforconcentraties zijn ook (iets) hogere CO₂ emissies gemeten. Voor CH₄ emissies geldt dit ook;
 - De porievochtconcentraties van nitraat en ammonium laten over alle casussen heen wel enig verband zien met de CO₂ emissies. De CO₂ emissies zijn hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (Afbeelding 5e en 5f). Voor CH₄ emissies geldt dit niet. De locaties uit deze casus volgen dit patroon redelijk, behalve dat er sprake is van één hoge CO₂ emissies bij een hogere NO₃ + NH₄ concentratie;
 - De CO₂ emissies blijken lager bij een hoger EGV in het porievocht (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakkere condities). Dit is in mindere mate ook te zien voor de CH₄ emissies (Afbeelding 5g. en 5h). Voor de Trekvaart valt op dat deze locaties in vergelijking met andere casussen een relatief laag EGV bevatten maar ook een hele smalle bandbreedte bevatten qua EGV. De CO₂ en CH₄ emissies lijken iets toe te nemen bij een hogere EGV.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELTE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELTE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN LICHT BLAUW ZIJN DE LOCATIES IN DE TREKVAART CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEVOCHT



FACTSHEET BLUECAN: DE VUNTUS– WATERNET

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeem-specifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De eerste ronde heeft zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019). De focus lag bij deze ronde op de relatie met waterkwaliteit, met name de nutriënten. In deze tweede ronde (2020) richten wij ons op kleine lijnvormige watersystemen zoals sloten en petgaten. Hierbij ligt de focus wederom op de relatie met waterkwaliteit maar ditmaal ook met meer aandacht voor het organisch stof. In totaal onderzoeken wij deze relatie aan de hand van 6 casussen.

Het Waterschap Amstel Gooi en Vecht (Waternet) doet mee met de casus de Vuntus. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen aan gestoken waterbodemkolommen, gemeten water- en waterbodemkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan instrument (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de broeikasgasmetingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodemkolommen en de corresponderende water- en waterbodemkarakteristieken voor deze casus. In juni 2022 leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept en wordt een integrale analyse gemaakt van elke casus op basis van metingen, toepassing van het verbeterde model en een bredere systeemanalyse, wordt een berekening gemaakt van de broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op het reeds uitgevoerde verkennend onderzoek, de daaruit volgende selectie van meetlocaties voor de broeikasgasmetingen en het onderzoek zelf. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

De Vuntus is onderdeel van de Oostelijke Vechtplassen, een Natura2000 gebied bestaand uit een reeks van laagveengebieden tussen de Vecht en de oostrand van de Utrechtse heuvelrug. De Vuntus is gelegen ten oosten van de Loenderveense Plas en ten noorden van de Loodsrechtse Plassen, waarmee het hydrologisch in directe verbinding staat. De Vuntus is ten opzichte van andere plassen in dit Natura2000 gebied een kleine plas. Het westelijk deel van de Vuntus is een open plas, het oostelijke deel van de plas bestaat uit grasland en moerasbos met een aantal plassen met legakkers erin. Bijzonder aan de Vuntus is de geïsoleerde ligging. Er zijn twee smalle toegangssloten, waardoor het enkel voor kleine recreatieboten en kanoërs begaanbaar is.

De Vuntus is een laagveenplas met een zeer voedselrijke waterbodem (heeft eerder waterbodemonderzoek vanuit Waternet aangewezen) die potentieel veel voedingsstoffen kan naleveren. Ook is bekend dat er in de dit gebied wegzijging optreedt. In het aangrenzende oostelijke gelegen gebied (Kromme Rade) is de waterbodem juist minder voedselrijk, maar staat het water meer onder invloed van uit- en afspoeling. Inzicht krijgen in het verschil tussen deze twee gebieden wat betreft emissies is hier erg interessant. Dat geeft een goede basis voor het formuleren van geschikte maatregelen.

3 METHODE

3.1 VOORVERKENNING

In november 2020 is een verkennend onderzoek uitgevoerd met als doel zicht te krijgen in de bodemheterogeniteit. In deze voorverkenning is zowel de Vuntus als de Kromme Rade bemonsterd om ook inzicht te krijgen in de mogelijke verschillen in broeikasgasemissie door de afwijkende samenstelling van de waterbodems. Het betreft karakteristieken als het organisch stofgehalte in de bodem en de ijzer-, fosfor- en sulfaatconcentraties in zowel de bodem als in het bodemporievocht.

3.2 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Door de voorverkenning is inzichtelijk geworden dat de bodemkarakteristieken van het oostelijke gebied (de Kromme Rade) inderdaad afwijken ten opzichte van de Vuntus. Met deze kennis blijft het interessant om dit verschil ook mee te nemen in de broeikasgasmetingen. Afbeelding 1 geeft een overzicht van geselecteerde locaties:

- VUNT-03: locatie op de open plas van de Vuntus aan de westkant;
- VUNT-Y: locatie op de open plas van de Vuntus aan de oostkant;
- VUNT-04: locatie in het meer beschutte deel van de plas;

- VUNT-Z: locatie in een open plas in het oostelijke gebied, de Kromme Rade;
- VUNT-X: locatie in een open plas in het oostelijke gebied, de Kromme Rade.

AFBEELDING 1 SELECTIE VAN LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE BEPALING VAN BROEIKASGASEMISSIES



3.3 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Kolomexperimenten;
3. Ebulitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 18 september 2021 op 5 plekken binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 3 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 15 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitex sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Kolomexperimenten

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten voor broeikasgasflux. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van de broeikasgassen CO₂ en CH₄ bepaald. De bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond, waarna gestart is met broeikasgasflux metingen. Voor de broeikasgasemissie meting is de kolom tijdelijk afgesloten, om een gesloten circuit te maken met de draagbare broeikasgas analyzer (MGGA), welke de concentratie CO₂ en CH₄ per seconde bepaald. De bodemkolommen zijn allen bemeten op dag 1, 2, 4, 8 en 16 na acclimatisatie, waarbij elke meting zo'n 4 minuten duurde. De emissies zijn vervolgens berekend door van

deze emissie over deze dagen het oppervlak onder de grafiek te berekenen en te middelen per dag (cumulatief gemiddelde). Om CH_4 om te rekenen naar CO_2 equivalenten is factor 28 gebruikt. Er is nu voor gekozen om deze factor te hanteren omdat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) deze ook hanteert. Daarmee is dit momenteel beleidsmatig een logische keuze.

Ad3. Ebulitie

Op dag 16 zijn vervolgens de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting, waarbij ook gas via bellen (ebullitie) bijdraagt aan de totale gasopbouw. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waardes laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de broeikasgasflux bemeten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO_2 en HCO_3), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodemkarakteristieken besproken, daarna volgen de resultaten van de broeikasgasflux metingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn gemiddelde waarden opgenomen van de drie kolommen (replica's) per locatie met daaronder de spreiding (de standaardfout). Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

- De waterbodem in de Vuntus heeft een grote spreiding in het organisch stofgehalte doordat een deel van de locaties in meer of mindere mate een zanderig bodem hebben en een deel venig. Dit maakte het bemonsteren in sommige gevallen ook moeizaam, met name locatie VUNT-Y. Deze grote variatie heeft ook gevolgen voor de chemische samen-

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

stelling van de verschillende locaties binnen de casus. Zo is met name locatie VUNT-Y erg zanderig en arm in organisch stof terwijl de andere locaties een hogere en bredere range in organisch stofgehaltes bevatten;

- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 0.3 tot 0.7 g P/kg met uitzondering van VUNT-Y (0.0 g P/kg). Verhoudingsgewijs bevatten de waterbodems in de Vuntus geen hoge ijzergehalte en vaak wel verhoogd sulfaatgehalte. Hierdoor is de Fe:S ratio vaak laag (< 0,5). In een zwavelrijke bodem reageert zwavel namelijk met ijzer, waardoor naar verloop van tijd het ijzer voor een groot deel is vastgelegd in de waterbodem en niet meer beschikbaar is in oplossing in het porievocht (t.b.v. het binden van fosfor);
- De porievochtconcentraties in de waterbodem laten verschillen zien. In algemene zin bevatten de waterbodems in de Vuntus lage fosforconcentraties en zeer lage ijzerconcentraties in het porievocht. De Fe:P ratio in het porievocht is hierdoor laag (< 0,61). Dit betekent dat de actuele fosforconcentraties niet hoog zijn maar ook dat deze bodems weinig fosfor kunnen binden en dat in de zomer chemische nalevering vanuit de waterbodem voor een toename van fosfor kan zorgen;
- De beschikbaarheid van nitraat- en ammonium in het porievocht is gezien de concentraties in het porievocht relatief laag. Ammonium ontstaat bij de afbraak van organisch materiaal;
- De waterbodems zijn relatief zoet met gemiddeld lage chlorideconcentraties. Deze locaties bevatten dan ook een relatief laag EGV;
- Kijkend naar de verschillen tussen het oostelijke deel (de Kromme Rade) en het westelijke deel (de Vuntus) valt op dat de locaties in het oostelijke deel (VUNT-X en VUNT-Z) de hoogste organisch stofgehaltes en relatief hoge fosfor- en zwavel concentraties in de bodem heeft ten opzichte van het westelijke deel.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELDE WAARDES VAN DE 3 REPLICA'S PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT). LOCATIES VUNT-X EN VUNT-Z LIGGEN IN HET OOSTELIJKE DEEL (DE KROMME RADE). LOCATIES VUNT-03, VUNT-04 EN VUNT-Y LIGGEN IN HET WESTELIJKE DEEL

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
VUNT-03 gem.	52.212923	5.070977	86.2	0.1	56.7	15.8	3.1	0.3	5.3	0.3
VUNT-03 st.err			0.93	0.01	5.17	2.38	0.17	0.01	0.19	0.02
VUNT-04 gem.	52.211905	5.086325	84.4	0.2	44.0	15.5	1.9	0.3	5.4	0.2
VUNT-04 st.err			3.26	0.04	8.35	1.65	0.80	0.11	1.92	0.01
VUNT-X gem.	52.21202	5.096255	90.3	0.1	58.7	15.8	3.3	0.5	8.0	0.3
VUNT-X st.err			1.73	0.02	9.35	1.60	0.35	0.13	1.74	0.03
VUNT-Y gem.	52.210982	5.08299	18,62	1,36	1.4	0.6	0.6	0.0	0.3	1.4
VUNT-Y st.err			1,11	0,01	0.15	0.05	0.12	0.00	0.03	0.31
VUNT-Z gem.	52.214978	5.097345	92,9	0,07	70.2	13.2	3.7	0.7	11.4	0.2
VUNT-Z st.err			0,23	0,00	6.44	3.17	0.50	0.18	2.71	0.03

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT). LOCATIES VUNT-X EN VUNT-Z LIGGEN IN HET OOSTELIJKE DEEL (DE KROMME RADE). LOCATIES VUNT-03, VUNT-04 EN VUNT-Y LIGGEN IN HET WESTELIJKE DEEL

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV $\mu\text{S}/\text{cm}$	HCO_3 mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	S mg/l	P mg/l	N- NO_3 mg/l	N- NH_4 mg/l	Fe/P mol/mol
VUNT-03 gem.	7.2	432	177	52	42	0.01	16.7	0.08	0.02	2.68	0.19
VUNT-03 st.err	0.13	53.8	44.2	9.7	0.5	0.00	3.5	0.06	0.00	0.31	0.09
VUNT-04 gem.	7.2	502	133	71	43	0.00	19.6	0.01	0.01	2.24	0.00
VUNT-04 st.err	0.02	13.4	37.4	2.2	1.2	0.00	3.8	0.00	0.00	0.53	0.00
VUNT-X gem.	6.9	253	90	27	28	0.01	11.6	0.06	0.04	4.57	0.13
VUNT-X st.err	0.04	22.9	16.8	2.3	0.2	0.01	2.5	0.02	0.01	0.64	0.11
VUNT-Y gem.	7.8	671	247	86	33	0.12	49.1	0.08	0.23	6.35	0.61
VUNT-Y st.err	0.05	20.0	2.2	29.9	5.1	0.06	20.6	0.03	0.12	0.41	0.29
VUNT-Z gem.	7.0	300	74	33	31	0.01	19.2	0.04	0.15	2.59	0.19
VUNT-Z st.err	0.10	21.7	11.1	3.5	0.2	0.01	4.8	0.01	0.11	0.07	0.12

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICAS PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT). LOCATIES VUNT-X EN VUNT-Z LIGGEN IN HET OOSTELIJKE DEEL (DE KROMME RADE). LOCATIES VUNT-03, VUNT-04 EN VUNT-Y LIGGEN IN HET WESTELIJKE DEEL

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte %	Bulk dichtheid kg/l	Org. Mat. %	Tot. Al $\text{g}/\text{kg DW}$	Tot. Ca $\text{g}/\text{kg DW}$	Tot. Fe $\text{g}/\text{kg DW}$	Tot. K $\text{g}/\text{kg DW}$	Tot. Mg $\text{g}/\text{kg DW}$	Tot. P $\text{g}/\text{kg DW}$	Tot. S $\text{g}/\text{kg DW}$	Fe/S mol/mol
VUNT-03 gem.	86,2	0,1	56,7	1,7	15,8	3,1	0,1	0,9	0,3	5,3	0,3
VUNT-03 st.err	0,93	0,01	5,17	0,52	2,38	0,17	0,03	0,13	0,01	0,19	0,02
VUNT-04 gem.	84,4	0,2	44,0	2,1	15,5	1,9	0,1	0,6	0,3	5,4	0,2
VUNT-04 st.err	3,26	0,04	8,35	0,34	1,65	0,80	0,03	0,09	0,11	1,92	0,01
VUNT-X gem.	90,3	0,1	58,7	2,8	15,8	3,3	0,1	0,9	0,5	8,0	0,3
VUNT-X st.err	1,73	0,02	9,35	0,44	1,60	0,35	0,02	0,07	0,13	1,74	0,03
VUNT-Y gem.	18,62	1,36	1,4	0,7	0,6	0,6	0,0	0,1	0,0	0,3	1,4
VUNT-Y st.err	1,11	0,01	0,15	0,01	0,05	0,12	0,00	0,00	0,00	0,03	0,31
VUNT-Z gem.	92,9	0,07	70,2	2,3	13,2	3,7	0,2	0,7	0,7	11,4	0,2
VUNT-Z st.err	0,23	0,00	6,44	0,23	3,17	0,50	0,05	0,17	0,18	2,71	0,03

4.2 BROEIKASGASFLUX (CO_2 EN CH_4)

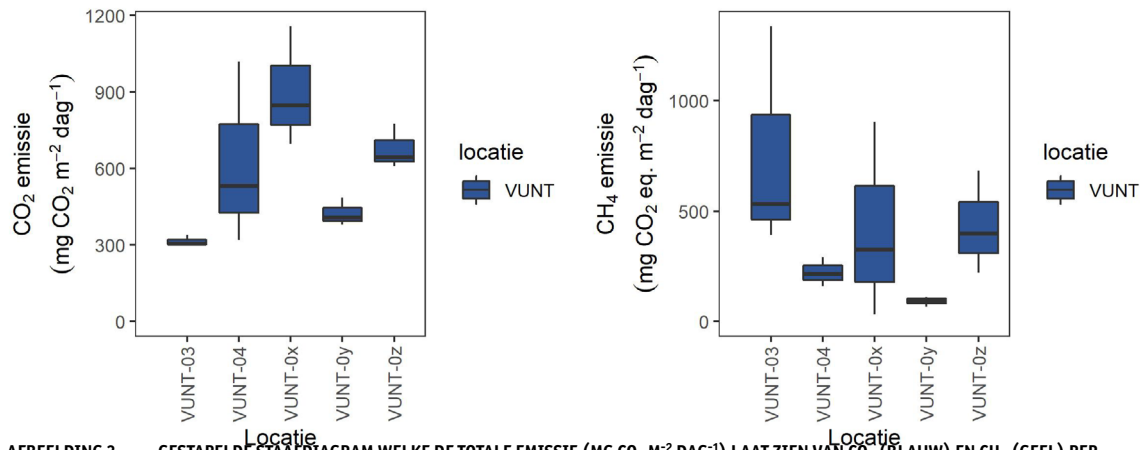
KORTE FLUX METINGEN

Alle locaties gemeten in de Vuntus stoten CO_2 en CH_4 uit (afbeelding 2). Binnen de locaties van de Vuntus is variatie te zien in CO_2 en CH_4 emissies.

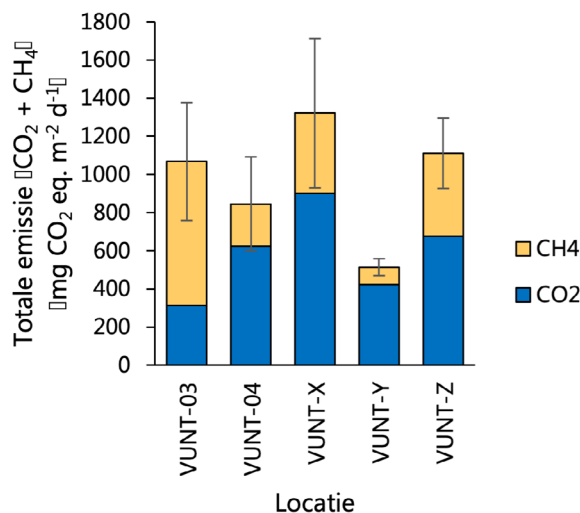
- Gemiddeld is de CO_2 uitstoot (gemiddelde \pm standaard fout) $588 \pm 70 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ($n=15$). De CO_2 emissie is het laagst in VUNT-03 ($314 \pm 13 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ($n=3$)), gevolgd door VUNT-Y ($424 \pm 31 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ($n=3$)) en VUNT-04 ($623 \pm 207 \text{ mg CO}_2 \text{ eq. m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ($n=3$)), waarbij VUNT-X en VUNT-Z de hoogste CO_2 emissie laten zien (resp. $901 \pm 136 \text{ mg CO}_2 \text{ eq. m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ en $677 \pm 51 \text{ mg CO}_2 \text{ eq. m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$). Ten opzichte van andere casussen is de CO_2 emissie in de Vuntus laag.
- Gemiddeld is de CH_4 uitstoot $384 \pm 92 \text{ mg CO}_2 \text{ eq. m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ($n=15$). De CH_4 emissie levert een flinke bijdrage (~40%) aan de totale broeikasgas emissie ($972 \pm 162 \text{ mg CO}_2 \text{ eq. m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$). Dit is ook terug te zien per kolom in afbeelding 3. De CH_4 emissie is het hoogst in VUNT-03, VUNT-X en VUNT-Z (resp. $753 \pm 295 \text{ mg CO}_2 \text{ eq. m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$; $421 \pm 255 \text{ mg CO}_2$

eq. m⁻² dag⁻¹; 434 ± 134 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3)) en het laagst in VUNT-04 en VUNT-Y (resp. 222 ± 39 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹; 91,1 ± 13 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=3)). Ten opzichte van andere casussen is de CH₄ emissie in de Vuntus aan de hoge kant.

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELDE (PER LOCATIE ZIJN DE 5 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 3 REPLICAS GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



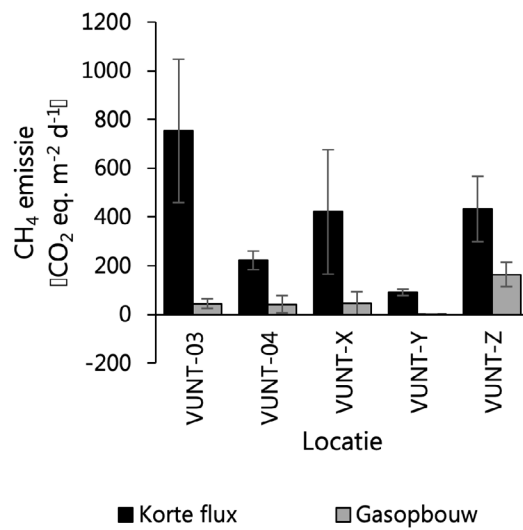
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) LAAT ZIEN VAN CO₂ (BLAUW) EN CH₄ (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodembodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.3.3). De resultaten van de gasopbouw meting (afbeelding 4) laten zien dat ebullitie bij vrijwel alle kolommen aanwezig is. Enkel voor locatie VUNT-Y is deze bijdrage zeer beperkt. Op grond hiervan verwachten we dat de CH₄ emissie in werkelijkheid hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven. In het eindrapport zal hier uitgebreid bij stil worden gestaan.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH₄ EMISSIE (MG CO₂ EQ. M⁻² D⁻¹) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48U; IN GRIJS)



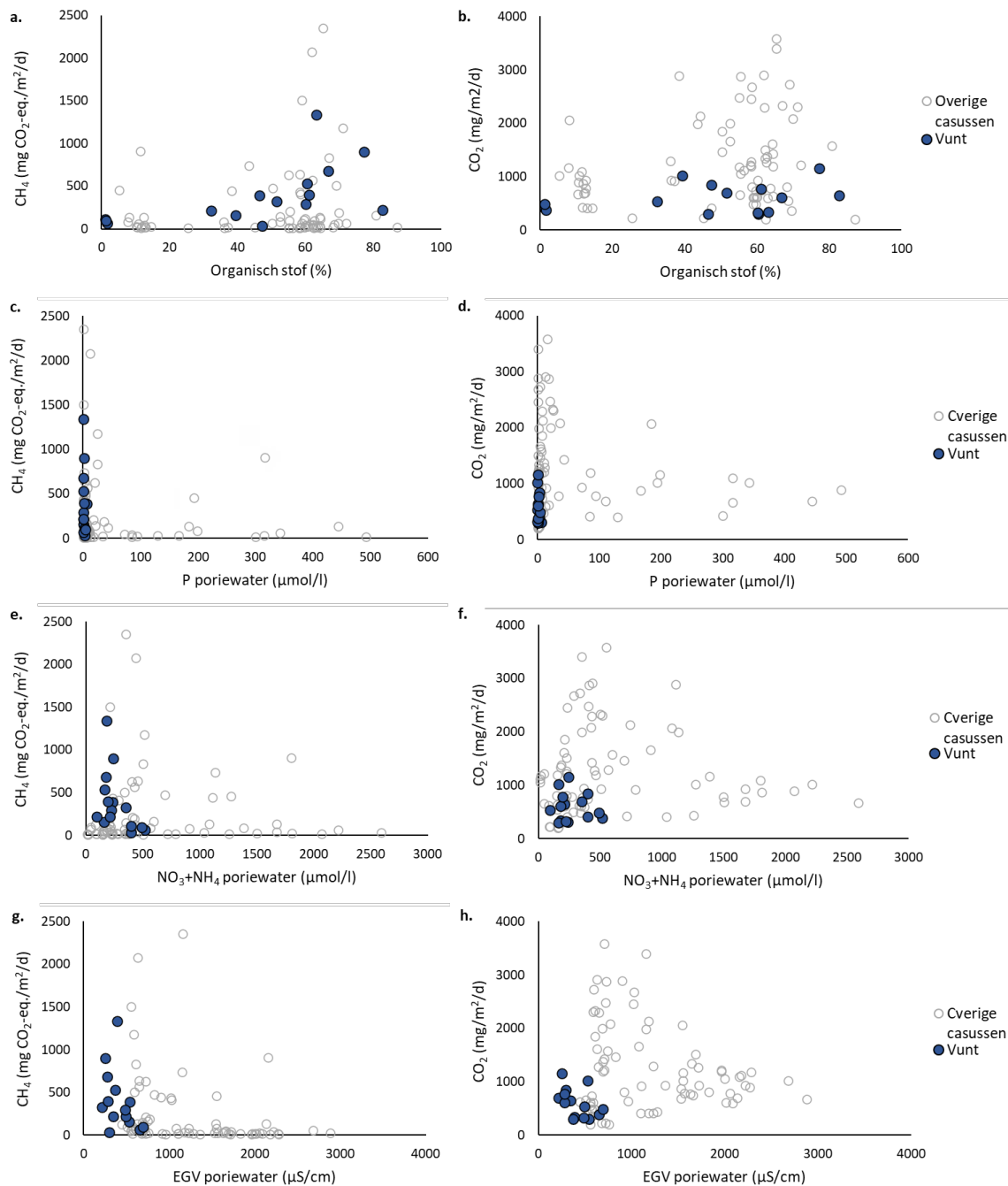
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van de Vuntus met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de broeikasgasemissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

- In de Vuntus zijn de broeikasgasemissie verhoudingsgewijs laag tot gemiddeld, waarbij de verschillen tussen de metingen in de Vuntus relatief groot zijn (afbeelding 5a. en b.);
- Er lijkt sprake van een zwakke relatie tussen de broeikasgasemissies en het organisch stof gehalte. In de Vuntus neemt de emissie van CH₄ gemiddeld toe bij een hoger organisch stofgehalte in de bodem. Dit geldt niet voor CO₂ (afbeelding 5a. en b.);
- Ook is er enige relatie tussen de porievochtqualiteit en de broeikasgasemissie;
- Bij lage fosforconcentraties zien we soms hoge emissies (afbeelding 5c. en d.). De locaties in de Vuntus hebben in vergelijking met de andere casussen zeer lage (bijna verwaarloosbare) totaal fosforconcentraties in het poriewater;
- Er is een vergelijkbaar beeld voor de porievochtconcentraties van nitraat en ammonium. Ook hier zijn de broeikasgasemissies gemiddeld hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (afbeelding 5e. en f.). De locaties in de Vuntus hebben in vergelijking met de andere casussen relatief lage totaal stikstofconcentraties NO₃ + NH₄ in het poriewater;
- De broeikasgasemissie blijkt over het algemeen lager bij een hoger EGV in het poriewater (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakkere condities) (afbeelding 5g. en h). De locaties in de Vuntus worden gekenmerkt door een zeer lage EGV ten opzichte van de andere locaties en liggen voor CO₂ relatief laag in de grafiek.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH₄ EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIES (UITGEZET IN CO₂-EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO₂ EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN DONKER BLAUW ZIJN DE LOCATIES IN DE VUNTUS CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDE VERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEWATER



FACTSHEET BLUECAN:

ZEGVELD - HDSR

1 INLEIDING

Er is nog veel onbekend over broeikasgasemissies uit zoete oppervlaktewateren. Hoewel we op grond van de eerste resultaten van een pilotstudie schatten dat de omvang substantieel is (Deltafact - Broeikasgasemissies uit zoetwater), is er nog onvoldoende inzicht in de precieze omvang van de broeikasgasemissies, de bepalende processen en de mogelijke stuurknoppen. Hiermee zijn we onvoldoende in staat de omvang gebiedsbreed en systeemspecifiek te kwantificeren en om er een technisch handelingsperspectief aan te verbinden. Met het TKI project “Broeikasgasemissies uit zoetwater (BlueCAN)” willen wij de omvang van de broeikasgasemissie vanuit verschillende type wateren in beeld brengen en vergelijken met andere bronnen van broeikasgasemissies. Daarnaast wil BlueCAN het inzicht vergroten in de achterliggende processen aan de hand van een systeemanalyse en metingen in diverse watertypes, en de ontwikkeling van een prototype quick scan tool voor het berekenen van broeikasgasemissies.

Binnen BlueCAN wordt gekeken naar broeikasgasemissies uit een variëteit van watersystemen. De eerste ronde heeft zich gericht op ondiepe meren en plassen (2019). De focus lag bij deze ronde op de relatie met waterkwaliteit, met name de nutriënten. In deze tweede ronde (2020) richten wij ons op kleine lijnvormige watersystemen zoals sloten en petgaten. Hierbij ligt de focus wederom op de relatie met waterkwaliteit maar ditmaal ook met meer aandacht voor het organisch stof. In totaal onderzoeken wij deze relatie aan de hand van 6 casussen.

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) doet mee met de casus Zegveld. Daarbij is het doel om de broeikasgasemissie uit het oppervlaktewater in beeld te brengen aan de hand van een water- en stoffenbalans, broeikasgasmetingen van gestoken waterbodempluimen, gemeten water- en waterbodempluimkarakteristieken, de toepassing van een prototype quickscan instrument (BlueScan) en een systeemanalyse. Door de deelname wordt verder gebouwd aan het inzichtelijk maken en kwantificeren van de relevante processen en aan inzicht in de relatie met de stuurknoppen die de beheerder tot zijn beschikking heeft om de broeikasgasemissies uit het oppervlaktewater te verminderen.

Deze voorliggende factsheet laat de eerste resultaten zien van de broeikasgasmetingen die zijn uitgevoerd op de verzamelde waterbodempluimen en de corresponderende water- en waterbodempluimkarakteristieken voor deze casus. In juni volgend jaar leveren wij een overkoepelde rapportage. Hierin wordt de analyse verdiept en wordt een integrale analyse gemaakt van elke casus op basis van metingen, toepassing van het verbeterde model en een bredere systeemanalyse, wordt een berekening gemaakt van de broeikasgasemissie en wordt een relatie gelegd met systeemkenmerken en processen.

Leeswijzer

In deze factsheet vindt u eerst een gebiedsomschrijving, waarbij ingegaan wordt op specifieke kenmerken van het casusgebied. Vervolgens wordt er in de methode beknopt ingegaan op het reeds uitgevoerde verkennend onderzoek, de daaruit volgende selectie van meetlocaties voor de broeikasgasmetingen en het onderzoek zelf. Hierna volgen de resultaten van de uitgevoerde metingen. De factsheet wordt afgesloten met een (eerste) vergelijking tussen de resultaten van deze casus en de overige casussen van deze ronde.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

Polder Zegveld is een veenweidepolder, gelegen tussen Woerden en de Nieuwkoopse Plassen. Het overgrote deel van polder Zegveld bestaat uit agrarisch gebied met grasland als voornaamste gebruik. Het praktijkonderzoek BlueCAN focust op broeikasgasemissie uit oppervlaktewater in de percelen rond het Veenweide Innovatie Centrum (VIC). Het onderzoeksgebied wordt in het noorden begrensd door de Oude Meije, ten zuiden door de Slimmenwetering (zie ook afbeelding 1). In dit gebied wordt ook onderzoek gedaan naar broeikasgasemissies uit de percelen. Dit in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide (NOBV). De keuze voor de selectie van dit specifieke gebied binnen polder Zegveld is gemaakt, omdat het goed toegankelijk is, omdat er al veel bekend is van het gebied, maar vooral om aan te kunnen sluiten bij de resultaten van het NOBV. Door de onderzoeksresultaten van BlueCan en NOBV te combineren ontstaat er een completer beeld van de totale uitstoot uit veenweidegebied en van de bijdrage van percelen en sloten. Dit is voor beide onderzoeken relevant en bovendien een primeur.

3 METHODE

3.1 VOORVERKENNING

In november 2020 is een verkennend onderzoek uitgevoerd met als doel zicht te krijgen in de bodemheterogeniteit. In deze verkenning is gezocht naar de variatie in waterbodemkarakteristieken tussen de verschillende slootkantbeheer, droogleggingstypes en verschillende ecologische toestanden in en langs de sloot die in het onderzoeksgebied voorkomen. Het betreft karakteristieken als het organisch stofgehalte in de bodem en de ijzer-, fosfor- en sulfaatconcentraties in zowel de bodem als in het bodemporievocht.

3.2 LOCATIEKEUZE VAN EMISSIEMETINGEN

Op basis van de verkenning is vervolgens een selectie van locaties gemaakt voor het verzamelen van de bodemkernen waarop de broeikasgasmetingen uitgevoerd worden. Hieronder gaan we in op de bevindingen en de implicaties voor de selectie. Uit de verkenning blijkt er niet een duidelijk patroon te zien is in de waterbodemkarakteristieken. Er is voor gekozen om locaties te selecteren waarbij de spreiding in beheer en in de ecologische toestand in en langs de sloten het grootst is. Afbeelding 1 geeft een overzicht van geselecteerde locaties:

- ZEGV-07: locatie die intensief gemaaid wordt. Een dergelijke sloot is erg representatief voor het beheergebied van het waterschap;
- ZEGV-03: locatie met een ecologisch gezien goede staat: er was krabbenscheer aanwezig én heeft een laag slootpeil;
- ZEGV-05: locatie is geselecteerd omdat dit een brede doorvoersloot is;
- ZEGV-06: locatie die altijd op een gangbare wijze gemaaid is en een redelijk laag sloot-

peil heeft (ofwel een grote drooglegging). Hiermee is deze locatie representatief voor veel watergangen binnen het beheergebied van het waterschap en niet specifiek voor Zegveld;

- ZEGV-01: locatie die niet gemaaid wordt. Hoewel dit niet representatief is voor het beheergebied, is het juist wel interessant om inzicht te krijgen in de uitstoot in een dergelijke sloot.

AFBEELDING 1 SELECTIE VAN LOCATIES WAAR DE BODEMKERNEN ZIJN GESTOKEN VOOR DE BEPALING VAN BROEIKASGASEMISSIES



3.3 ANALYSESTAPPEN EMISSIES EN BODEMKARAKTERISTIEKEN

Voor het bepalen van de emissie en de relatie met de hiervoor sturende factoren zijn de volgende (analyse)stappen uitgevoerd:

1. Veldwerk;
2. Kolomexperimenten;
3. Ebulitiemetingen;
4. Bodem- en wateranalyses.

Ad1. Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op 18 september 2021 op 5 plekken binnen de casus. Daarbij zijn op elke plek 3 replica bodemkolommen gestoken binnen enkele meters van elkaar. In totaal zijn er 15 bodemkolommen per casus gestoken met een Uwitec sampler. Deze zijn vervolgens afgesloten en vervolgens met zo min mogelijk verstoring na het veldwerk naar het lab gebracht. Tevens is op deze locaties in het veld de pH, de geleidbaarheid, het doorzicht en de diepte gemeten.

Ad2. Kolomexperimenten

De gestoken bodemkolommen zijn in het lab bemeten voor broeikasgasflux. Met deze metingen wordt de netto opname of uitstoot van de broeikasgassen CO₂ en CH₄ bepaald. De bodemkolommen hebben eerst een week geacclimatiseerd op 12 °C, waarbij de kolom open aan de lucht stond, waarna gestart is met broeikasgasflux metingen. Voor de broeikasgasemissie meting is de kolom tijdelijk afgesloten, om een gesloten circuit te maken met de draagbare broeikasgas

analyzer (MGGA), welke de concentratie CO₂ en CH₄ per seconde bepaald. De bodemkolommen zijn allen bemeten op dag 1, 2, 4, 8 en 16 na acclimatisatie, waarbij elke meting zo'n 4 minuten duurde. De emissies zijn vervolgens berekend door van deze emissie over deze dagen het oppervlak onder de grafiek te berekenen en te middelen per dag (cumulatief gemiddelde). Om CH₄ om te rekenen naar CO₂ equivalenten is een factor 28 gebruikt. Er is nu gekozen om deze factor te hanteren omdat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC's AR5¹) deze ook hanteert. Daarmee is dit momenteel beleidsmatig een logische keuze.

Ad3. Ebullitie

Op dag 16 zijn vervolgens de kolommen afgesloten voor een 48 uur broeikasgasopbouw meting, waarbij ook gas via bellen (ebullitie) bijdraagt aan de totale gasopbouw. Hierna kan de vergelijking gemaakt worden tussen de reeds uitgevoerde fluxmetingen (ad2. Kolomexperimenten) en deze broeikasgasopbouw metingen. Als de gasopbouw meting veel hogere waarden laat zien dan is het aannemelijk dat in die specifieke kolom ebullitie heeft plaatsgevonden. Dit is dus een eerste verkenning naar de mogelijkheid en de orde grootte van ebullitie.

Daarna zijn bodem- en watermonsters genomen voor analyse van bodem- en waterkwaliteit.

Ad4. Bodem en wateranalyses

De bodem en watermonsters van de bodemkernen die reeds voor de broeikasgasflux bemeten zijn, zijn vervolgens geanalyseerd op hun biogeochemische samenstelling van het porievocht en de waterbodem. Zo zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- bodem drooggewicht en organisch stofgehalte bepalen;
- bodem destructie;
- standaardmetingen oppervlakte water, porievocht (EGV, pH, hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃), alkaliniteit);
- opgelost methaan en sulfide analyse van het porievocht;
- organisch stof (TOC/DOC) in het oppervlakte- en porievocht;
- elementenanalyse;
- kwaliteitsbepaling van organisch stof (Rock Eval).

4 RESULTATEN

Als eerst worden de resultaten van de biogeochemische analyses van de waterbodemkarakteristieken besproken, daarna volgen de resultaten van de broeikasgasflux metingen. Hieronder worden de belangrijkste eerste resultaten van beide onderdelen besproken.

4.1 BIOGEOCHEMISCHE SAMENSTELLING WATERBODEM

Tabel 1 en 2 geeft een overzicht van de bodemsamenstelling. In deze tabellen zijn gemiddelde waarden opgenomen van de drie kolommen (replica's) per locatie met daaronder de spreiding (de standaardfout). Tabel 3 geeft de uitgebreidere onderliggende dataset weer. Hieronder zijn puntsgewijs de belangrijkste opvallende zaken binnen deze casus benoemd:

1 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- De waterbodem is venig, waarbij het organisch stofgehalte tussen de 50 en 70% ligt. De totaal waarden van verschillende stoffen (calcium, ijzer, fosfor, etc.) liggen binnen een relatief kleine bandbreedte wat aangeeft dat de bodemsamenstelling vergelijkbaar is tussen de locaties binnen deze casus;
- De totale fosforgehaltes in de waterbodems variëren van 0,8 tot 1,2 g P/kg. Dit betekent dat de waterbodem in theorie een vrij hoge primaire productie kan faciliteren (resulteerd in dominantie van algen, kroos of algemene waterplanten). Er wordt hierbij uitgegaan van een vuistregel van 0,5 g P/kg²;
- De zwavelgehalten in de waterbodem zijn relatief hoog ten opzichte van de ijzergehaltes, hierdoor is de Fe:S ratio laag (< 0,5). In een zwavelrijke bodem reageert zwavel namelijk met ijzer, waardoor naar verloop van tijd het ijzer voor een groot deel is vastgelegd in de waterbodem en niet meer beschikbaar is in oplossing in het porievocht (t.b.v. het binden van fosfor);
- De porievochtconcentraties in de waterbodem laten verschillen zien. In algemene zin bevatten de waterbodems in Zegveld hoge fosforconcentraties en lage ijzerconcentraties in het porievocht. De Fe:P ratio in het porievocht is hierdoor laag (< 0,58). Dit betekent dat ijzer in deze waterbodems weinig fosfor kan binden en dat in de zomer chemische nalevering vanuit de waterbodem voor een flinke toename van fosfor kan zorgen. Of dit daadwerkelijk gebeurt en in welke mate hangt mede af van (onder andere):
 - de hoeveelheid organisch stof in de bodem (in Zegveld zeer hoog);
 - de totale hoeveelheid calcium. Fosfor bindt ook aan calcium (ook hoog in Zegveld);
 - de ecologische toestand. Is er een kroosmat aanwezig? Of zijn er juist ondergedoken waterplanten. Deze toestand heeft veel invloed op de zuurstofhuishouding en daarmee het redoxpotentiaal van de waterbodem (de ecologische toestand varieert in Zegveld).

We vermoeden dat de hoge concentraties in het porievocht ook het gevolg zijn van het moment van bemonstering. In september is de afbraak van organisch stof nog volop aan de gang, waardoor anaerobe condities ontstaan, waarbij met name ijzer en fosfor in het porievocht worden gemobiliseerd;

- De nitraatconcentraties in het porievocht zijn laag. De ammoniumconcentraties in het porievocht zijn laag tot gemiddeld in vergelijking met andere casussen die in ronde 2 van het onderzoek zijn bemonsterd. Ammonium ontstaat bij de afbraak van organisch materiaal.
- Locatie 6 (een watergang die qua beheertype representatief is voor een groot deel van het beheergebied) kent ten opzicht van de andere locaties in dit onderzoeksgebied veel hogere P-concentraties ($1,7 \pm 0,5$ mg/l), Fe-concentraties ($2,1 \pm 1,3$ mg/l) en NO₃-concentraties ($0,03 \pm 0,02$ mg/l) in het porievocht. Het lijkt erop dat hier meer sprake is van afbraak van organisch stof dan bij de andere locaties;
- De waterbodems in Zegveld zijn zoet en hebben een gemiddelde chlorideconcentratie en EGV in vergelijking met andere locaties die in ronde 2 van het onderzoek zijn bemonsterd.

2 Van Zuidam, J., (2013). Macrophytes in drainage ditches, functioning and perspectives for recovery. Thesis Wageningen Universiteit, Wageningen.

TABEL 1 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICA'S PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	x-coord	y-coord	Bodem							
			Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. P	Tot. S	Fe/S
			%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
ZEGV-01 gem.	52.136658	4.837808	89.3	0.1	59.1	26.0	14.7	0.9	24.2	0.3
ZEGV-01 st.err			0.97	0.01	4.44	0.35	0.45	0.04	0.44	0.00
ZEGV-03 gem.	52.126738	4.840287	89.0	0.1	63.1	25.3	13.0	0.9	24.0	0.3
ZEGV-03 st.err			0.45	0.01	1.14	0.45	0.21	0.05	0.86	0.01
ZEGV-05 gem.	52.135982	4.841673	89.9	0.1	54.4	23.0	18.5	1.1	25.2	0.4
ZEGV-05 st.err			0.45	0.01	0.93	0.13	0.64	0.02	0.64	0.01
ZEGV-06 gem.	52.133635	4.83339	88.1	0.1	66.2	26.0	12.8	1.2	19.9	0.4
ZEGV-06 st.err			1.20	0.02	1.88	0.42	1.47	0.20	0.63	0.05
ZEGV-07 gem.	52.139577	4.833092	90.7	0.1	69.0	26.2	13.1	0.8	24.5	0.3
ZEGV-07 st.err			0.27	0.00	1.22	0.22	0.57	0.07	0.16	0.01

TABEL 2 MEETGEGEVENS VAN DE PORIEVOCHTMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICA'S PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	pH	Porievocht									
		EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mol/mol
ZEGV-01 gem.	6.9	639	229	77	65	0.07	13.3	0.23	0.00	2.81	0.19
ZEGV-01 st.err	0.07	25.4	25.0	6.6	1.0	0.01	2.0	0.04	0.00	0.12	0.04
ZEGV-03 gem.	7.2	661	269	79	57	0.18	11.8	0.37	0.01	6.60	0.34
ZEGV-03 st.err	0.14	22.8	6.1	3.6	1.7	0.06	1.6	0.07	0.00	0.55	0.15
ZEGV-05 gem.	7.2	710	359	88	60	0.13	7.9	0.61	0.01	5.42	0.12
ZEGV-05 st.err	0.03	12.8	15.7	0.6	1.1	0.01	3.2	0.03	0.00	0.25	0.01
ZEGV-06 gem.	7.1	721	341	89	63	2.14	5.9	1.70	0.03	6.12	0.58
ZEGV-06 st.err	0.05	26.2	31.6	4.5	0.9	1.33	1.4	0.47	0.02	0.17	0.21
ZEGV-07 gem.	7.0	595	223	60	72	0.16	11.1	0.56	0.03	6.28	0.22
ZEGV-07 st.err	0.05	5.7	26.4	1.4	1.8	0.03	8.0	0.21	0.01	0.79	0.08

TABEL 3 MEETGEGEVENS VAN DE BODEMMETINGEN. DIKGEDRUKT STAAN DE GEMIDDELTE WAARDES VAN DE 3 REPLICA'S PER LOCATIE. DAARONDER DE SPREIDING HIERBINNEN (DE STANDAARDFOUT)

Locatie	Bodem										
	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	g/kg DW	mol/mol
ZEGV-01 gem.	89,3	0,1	59,1	15,0	26,0	14,7	1,3	2,8	0,9	24,2	0,3
ZEGV-01 st.err	0,97	0,01	4,44	0,34	0,35	0,45	0,08	0,09	0,04	0,44	0,00
ZEGV-03 gem.	89,0	0,1	63,1	13,8	25,3	13,0	1,2	3,5	0,9	24,0	0,3
ZEGV-03 st.err	0,45	0,01	1,14	0,18	0,45	0,21	0,01	0,06	0,05	0,86	0,01
ZEGV-05 gem.	89,9	0,1	54,4	16,4	23,0	18,5	1,6	3,3	1,1	25,2	0,4
ZEGV-05 st.err	0,45	0,01	0,93	0,84	0,13	0,64	0,10	0,12	0,02	0,64	0,01
ZEGV-06 gem.	88,1	0,1	66,2	11,5	26,0	12,8	1,1	2,8	1,2	19,9	0,4
ZEGV-06 st.err	1,20	0,02	1,88	0,81	0,42	1,47	0,09	0,06	0,20	0,63	0,05
ZEGV-07 gem.	90,7	0,1	69,0	13,3	26,2	13,1	1,2	3,0	0,8	24,5	0,3
ZEGV-07 st.err	0,27	0,00	1,22	0,73	0,22	0,57	0,08	0,05	0,07	0,16	0,01

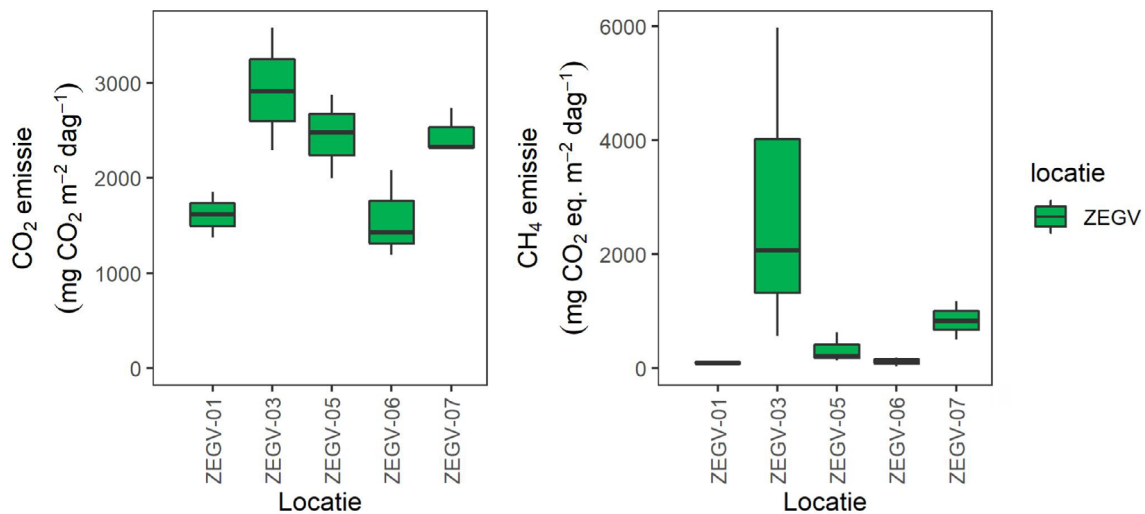
4.2 BROEIKASGASFLUX (CO₂ EN CH₄)

KORTE FLUX METINGEN

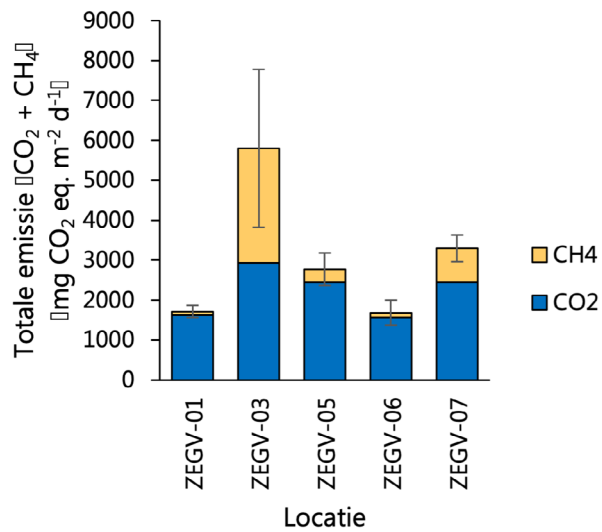
Alle locaties gemeten in Zegveld stoten CO₂ en CH₄ uit (afbeelding 2). De gemiddelde broeikasgasemissie (CO₂ + CH₄) over alle locaties is 3055 ± 562 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹. Daarmee is de totale broeikasgasemissie uit Zegveld het hoogst ten opzichte van alle casussen. De gemiddelde broeikasgasemissie (CO₂ + CH₄) van alle casussen uit ronde 2 is 1682 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹.

- Gemiddeld is de CO₂ uitstoot 2203 ± 170 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=15). Tussen de verschillende locaties van Zegveld zit wel wat variatie in de CO₂ emissies (afbeelding 2). Zo is de CO₂ emissie in ZEGV-01 en ZEGV-06 (resp. 1616 ± 138 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹; 1569 ± 266 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹ (n=3)) duidelijk lager dan in de overige 3 locaties (ZEGV03 2926 ± 372 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹; ZEGV-05 2448 ± 254 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹; ZEGV-07 2457 ± 138 mg CO₂ m⁻² dag⁻¹). Ten opzichte van de andere casussen is de CO₂ emissie in Zegveld het hoogst.
- Gemiddeld is de CH₄ uitstoot 852 ± 393 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ (n=15). De CH₄ emissie draagt gemiddeld zo'n 28% bij aan de totale broeikasgas emissie, maar het verschil in de bijdrage van CH₄ ten opzichte van CO₂ tussen locaties is zeer groot (afbeelding 3). De CH₄ emissie is het laagst in ZEGV-01 en ZEGV-06 (resp. 99,8 ± 19 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹ en 116 ± 45 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹) en verreweg het hoogst in ZEGV-03 (2874 ± 1612 mg CO₂ eq. m⁻² dag⁻¹). Ten opzichte van de andere casussen is de CH₄ emissie relatief hoog, maar dit komt vooral door locatie ZEGV-03 (waar Krabbenscheer groeit).

AFBEELDING 2 LINKS BOXPLOTS VAN DE CO₂ EMISSIES (MG CO₂ M⁻² DAG⁻¹) PER LOCATIE EN RECHTS CH₄ EMISSIES (MG CO₂ EQ. M⁻² DAG⁻¹). EMISSIES ZIJN BEREKEND ALS CUMULATIEF GEMIDDELD (PER LOCATIE ZIJN DE 5 METINGEN DOOR DE TIJD VAN DE 3 REPLICAS GEMIDDELD). LET OP: DE WAARDEN OP DE Y-AS ZIJN VERSCHILLEND



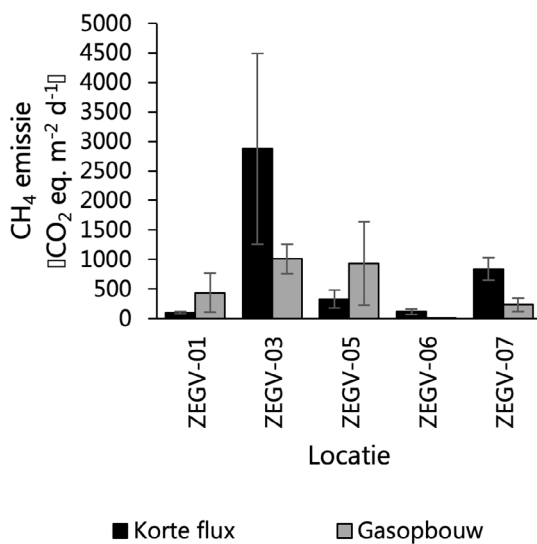
AFBEELDING 3 GESTAPELDE STAAFDIAGRAM WELKE DE TOTALE EMISSIE ($\text{MG CO}_2 \text{ M}^{-2} \text{ DAG}^{-1}$) LAAT ZIEN VAN CO_2 (BLAUW) EN CH_4 (GEEL) PER LOCATIE



GASOPBOUW (48U) METINGEN

Als inschatting van de bijdrage die belvorming (ebullitie) heeft op de totale broeikasgasemissie van de waterbodem is er een gasopbouw meting uitgevoerd (zie hst. 3.3.3). De resultaten van de gasopbouw meting (afbeelding 4) laten zien dat gasbelvorming van CH_4 (ebullitie) in vrijwel alle kolommen voorkomt, behalve in ZEGV-06. Op grond hiervan verwachten we dat de CH_4 emissie in werkelijkheid hoger is dan in de vorige paragraaf beschreven. In het eindrapport zal hier uitgebreid bij stil worden gestaan.

AFBEELDING 4 VERGELIJKING VAN DE CH_4 EMISSIE ($\text{MG CO}_2 \text{ EQ. M}^{-2} \text{ D}^{-1}$) TUSSEN KORTE FLUX METINGEN (GEMETEN MET MGGA (IN ZWART)) EN GASOPBOUW (48U; IN GRIJS)



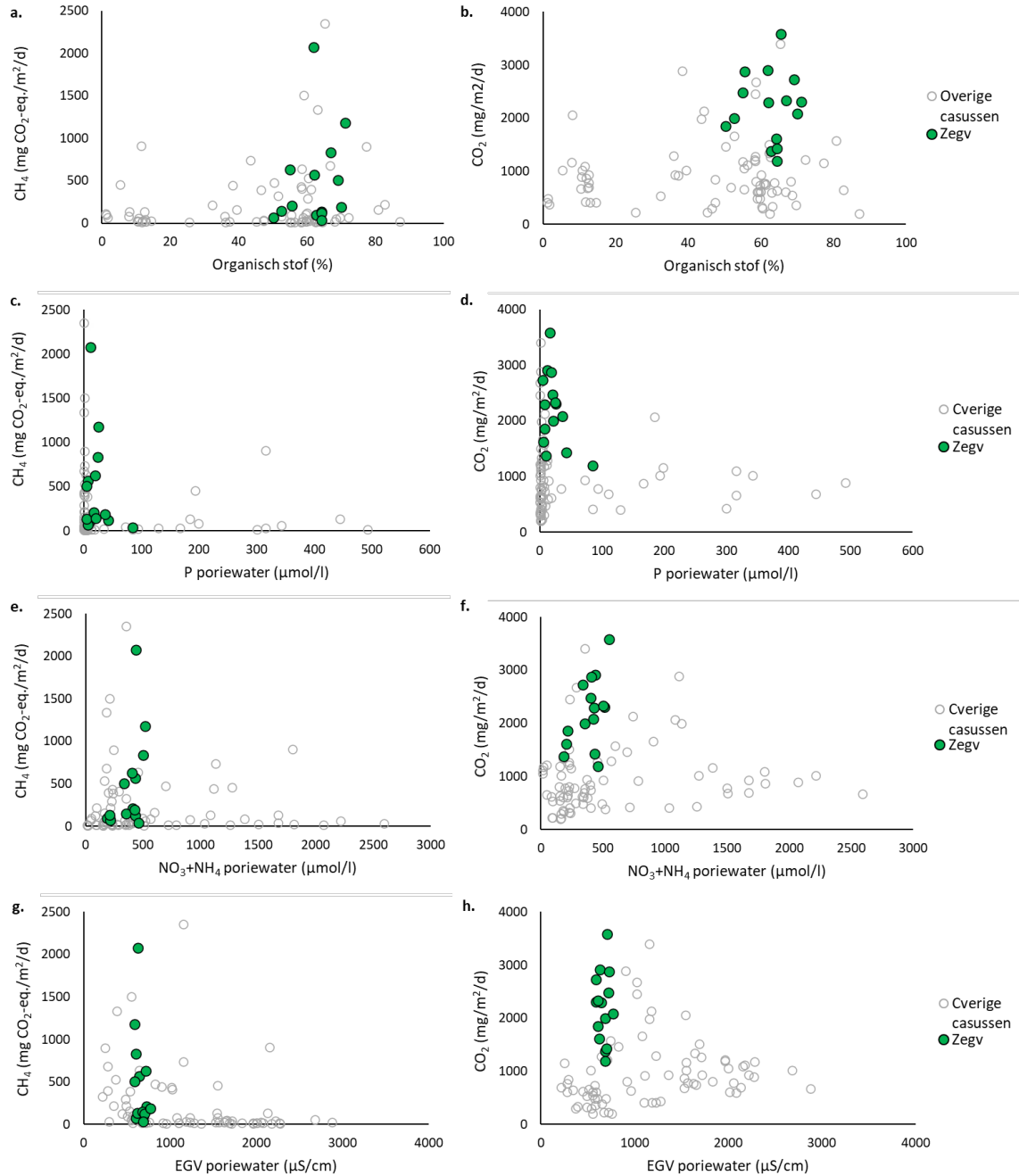
5 VERGELIJKING MET OVERIGE CASUSSEN

Afbeelding 5 geeft een vergelijking van de resultaten van Zegveld met de overige vijf bemonsterde casussen, waarbij eerste relaties tussen de biogeochemische samenstelling van de waterbodem en de broeikasgasemissies zijn onderzocht voor een selectie van parameters. De belangrijkste bevindingen zijn:

1. In Zegveld zijn de broeikasgasemissies verhoudingsgewijs het hoogst. Dit geldt met name voor CO₂. Voor CH₄ is er sprake van verschillen tussen locaties met zowel lage als hoge emissies;
2. Er lijkt sprake van een zwakke relatie tussen de broeikasgasemissies en het organisch stof gehalte. In Zegveld is deze trend ook te zien. Bij de hogere organisch stofgehaltes is er meer broeikasgasemissies. Dit geldt niet voor de CO₂ emissie (afbeelding 5a. en b.);
 - Ook is er enige relatie tussen de porievocht kwaliteit en de broeikasgasemissie:
 - Bij lage fosforconcentraties zien we soms hoge emissies (afbeelding 5c. en d.). De locaties in Zegveld hebben in vergelijking met de andere casussen een gemiddelde totaal fosforconcentraties in het poriewater;
 - Er is een vergelijkbaar beeld voor de porievochtconcentraties van nitraat en ammonium. Ook hier zijn de broeikasgasemissies hoger bij lagere stikstofbeschikbaarheid (afbeelding 5e. en f.). Ook is de stikstofbeschikbaarheid ten opzichte van de andere casussen in Zegveld laag tot gemiddeld;
 - De CH₄ emissie blijkt over het algemeen lager bij een hoger EGV in het poriewater (een indicatie voor hogere ion-concentraties en brakke condities). Voor de CO₂ emissie komt dit verband minder sterk naar voren (afbeelding 5g. en h). Voor de locaties in Zegveld is de variatie in het EGV zo laag dat hier geen trend zichtbaar is met de broeikasgasemissie.

NB! Dit is slechts een eerste vergelijking tussen de chemische samenstelling van de waterbodem en broeikasgasemissies voor een selectie van parameters. In de overkoepelende rapportage (juni 2022) zullen de gegevens van alle binnen het BlueCAN-project verzamelde casussen onderling vergeleken worden en in een systeemanalyse perspectief worden geplaatst om vervolgens met een grotere dataset en meer achterliggend systeembegrip meer inzicht te krijgen in verbanden en indicaties voor sturende factoren achter de broeikasgasemissies vanuit het oppervlaktewater.

AFBEELDING 5 EEN SELECTIE VAN BIOGEOCHEMISCHE PARAMETERS UITGEZET TEGEN DE GEMIDDELDE CH_4 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (UITGEZET IN CO_2 -EQUIVALENTEN) LINKS, EN DE GEMIDDELDE CO_2 EMISSIE PER BEMONSTERINGSLOCATIE (RECHTS). IN GROEN ZIJN DE LOCATIES IN DE ZEGVELD CASUS WEERGEGEVEN, IN GRIJS DE RESULTATEN UIT DE OVERIGE VIJF CASUSSEN. IN A. EN B. HET ORGANISCH STOF GEHALTE IN DE WATERBODEM, IN C. EN D. DE TOTAAL FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN E. EN F. DE NITRAAT- + AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER, IN G. EN H. HET ELEKTRISCH GELEIDE VERMOGEN (EGV) VAN HET PORIEWATER



BIJLAGE II

TOELICHTING EN VERANTWOORDING

GEKOZEN METHODIEK VELD- EN

LABANALYSE

WAAROM IS ER GEKOZEN VOOR KOLOMETINGEN IN EEN LABORATORIUM OMGEVING?

Het hoofddoel van het meetonderdeel binnen BlueCAN was om een indicatie te krijgen van de omvang van broeikasgasemissies voor alle onderzoekslocaties, welke vervolgens onderling (tussen de casussen) goed te vergelijken moeten zijn. Bovendien is de wens om vast te stellen of de waterbodemsamenstelling een grote invloed heeft op de broeikasgasemissies. Door ex situ (kolom)metingen uit te voeren is dit zo goed mogelijk gescheiden van andere invloeden. De set-up met kolommetingen al dan niet gecombineerd met een veldmeting kan je vergelijken met een *snapshot* (één foto) van wat er jaarrond gebeurt. Om dat goed te begrijpen moet dien je veel meer *snapshots* te verkrijgen (= uiteindelijk een film), dit zou echter veel te duur worden.

Door te kiezen voor kolommetingen in een gecontroleerde laboratoriumomgeving kiezen we ervoor om zoveel mogelijk omgevingscondities en variaties daarin gelijk te stellen voor alle kolommen (denk aan temperatuur, wind, regen, luchtvochtigheid, zonlicht, luchtdruk, waterstroming, flora/fauna). Daarmee verkleinen we de afhankelijkheid van weersinvloeden van de specifieke bemonsteringsdag in het veld, welke voornamelijk ruis in de dataset op zou leveren en het moeilijker zou maken om verschillen en patronen te herkennen. Ook sluiten we met de kolommetingen een heleboel variatie tussen de casussen uit. Daarmee kunnen we vergelijken hoe bodemcondities invloed hebben op de broeikasgasemissies en dat is waar we in eerste instantie naar opzoek waren.

Kolommetingen hebben ook nadelen. Zo sluit je o.a. het stuk waterbodem dat je naar het laboratorium brengt af van de rest van het ecosysteem waardoor er ook geen instroom/uitstroom van bijvoorbeeld nutriënten plaatsvindt. Daarnaast zal de bodemkolom door het schudden tijdens het vervoer richting het laboratorium gasbellen uit de bodem verliezen. Door een bodemkolom te steken en daaraan te meten verandert het systeem in stilstaand water, dit is van belang voor de stromende wateren. Dit zijn slechts een paar nadelen. Echter, de nadelen van veldmetingen, de onzekerheden en potentiële ruis die daaruit voortkomt heeft ons doen besluiten toch voor kolommetingen te kiezen, daarbij het hoofddoel voor ogen houdend (bepalen van de omvang van de broeikasgasemissies op verschillende locaties in Nederland die onderling vergelijkbaar zijn en waarbij de rol van de bodemsamenstelling beoordeeld kan worden).

Er zijn bewuste keuzes gemaakt voor het uitsluiten van flora en fauna in de bodemkolommen, de temperatuur in de klimaatcel, incubaties in het donker en de manier van meten. Dit alles met als doel de kolommen zo vergelijkbaar mogelijk te houden en een goede indruk te

krijgen van de omvang van de broeikasgasemissies voor alle casussen. Tevens is besloten de kolommen 7 dagen te laten acclimatiseren. Door vervoer zijn de meeste gasbellen in bodems met een lagere dichtheid vrijgekomen, om de bellen weer te laten ontstaan is tijd nodig zodat anaerobe processen de kans krijgen om weer actief te worden en methaan te produceren. Daarnaast is er bewust op meerdere momenten nadat de kolommen in het laboratorium arriveerden gemeten aan de broeikasgasfluxen (in ronde 2 was dit dag 1,2,4, 8 en 16 en in ronde 3 was dit dag 1, 8 en 16). Dit hebben we gedaan om een beeld te krijgen van de gemiddelde flux per locatie. Indien deze flux over deze periode heen alleen maar op zou bouwen naar meer en meer uitstoot, zou dat kunnen indiceren dat de bodem totaal anaeroob aan het worden is, waarbij we dan vraagtekens zouden krijgen over de omvang van deze flux en dit nader kunnen onderzoeken. Dit was echter niet het geval.

WAAROM IS DE BEMONSTERING IN DE MAAND SEPTEMBER GEBEURD?

Wij hebben gekozen voor de maanden (eind) augustus en september omdat uit de literatuur bekend is dat broeikasgasemissies uit wateren meestal op zijn hoogst zijn aan het einde van de zomer, begin van de herfst. Omdat door corona ronde 2 (2021) nog bemonsterd moesten worden is er gekozen om dit gelijktijdig met ronde 3 (2022) uit te voeren. Op die manier kunnen we nog meer voldoen aan de wens van vergelijkbaarheid tussen de bodemkolommen om op die manier een betrouwbare inschatting te kunnen maken van de omvang van de broeikasgasemissies.

HOE IS ZO'N KOLOM OPGEBOUWD?

De kolom is 60 cm lang en zodra de bodem gestoken is (met een UWITEC sampler) hebben we de bodem laag gemiddeld zo'n 24 cm hoog laten komen (40 % van de kolom), de rest bestaat uit bovenstaand water. De onderkant van de kolom is afgesloten met een rubberen stopper, de bovenkant met een plastic cap. We hebben getracht op alle locaties gelijke bodemvolumes te verzamelen i.v.m. vergelijkbaarheid tussen locaties. Op basis van literatuur is bekend dat de hoogste broeikasgasproductie en -afbraak in de bovenste 10 cm van de bodemlaag plaatsvindt daarom hebben wij ons daarop gefocust. Daarnaast weten we uit de literatuur dat de samenstelling van de waterbodem invloed heeft op de microbiële kwaliteit van die bodem, maar daar zit ook nog een fysische barrière overheen (diffusielimitatie van gassen/chemische stoffen). Deze is medebepalend voor het actieve deel van de bodem waar emissies geproduceerd worden en potentieel weer afgebroken (methaanoxidatie).

HOE ZIJN BROEIKASGASEMISSIES GEMETEN?

Om de omvang van broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren te bepalen en te vergelijken voor verschillende locaties, waarbij de invloed van de bodemsamenstelling beoordeeld zou kunnen worden, is bewust gekozen voor een broeikasgasmeetmethode die aan deze eisen voldoet. De set-up met bodemkolommen onder gecontroleerde condities in het laboratorium maakt kortdurende metingen met een broeikasgas analyzer (Microportable Greenhouse Gas Analyzer - MGGA) mogelijk. De metingen met de MGGA geven inzicht in de diffuse flux en staan ons toe om de kolom slechts voor korte duur (5 à 10 minuten). Dit laatste is belangrijk omdat het langdurig afsluiten van de kolom het hele water-bodemsysteem anaeroob kan maken, waardoor de gemeten fluxen met name voor CH₄ enorm hoog kunnen worden en het de vraag is in hoeverre dat nog representatief is voor het watersysteem waar deze bodem afkomstig van is. De manier waarop de kolommen bemeten worden met de MGGA is vergelijkbaar aan hoe er gemeten wordt met een (drijvende) fluxkamer in het veld.

Meten met continu meetsystemen zoals Eddy Covariance meetmasten of een drone zijn voor de systemen die wij bemeten helaas ongeschikt. Eddy Covariance meet een bepaald gebied rondom de mast afhankelijk van de windrichting. In het geval van lijnvormige (smalle) wateren is het erg uitdagend om dan voldoende meetgegevens te bemachtigen om iets te zeggen over de broeikasgasflux uit het watersysteem. Drone metingen aan broeikasgassen zijn relatief nieuw en worden gebruikt om bijvoorbeeld broeikasgas concentraties boven een waterzuiveringsinstallatie te meten. De sensoren om deze concentraties te meten moeten licht van gewicht zijn en daarmee leveren ze vaak in op de gevoeligheid van de sensor. Daarmee zijn ze vaak te ongevoelig voor de relatief lage broeikasgasconcentraties die in de lucht boven de watersystemen bemeten in BlueCAN te vinden zijn en dus ongeschikt als meetmethode.

Ebullitie van CH_4 is een andere belangrijke route van het broeikasgas CH_4 . Ebullitie meten is complex, omdat het een stochastisch proces is in zowel ruimte als tijd. Het kan goed zijn dat in één en hetzelfde water er op een bepaalde plaats veel ebullitie te zien en te meten is terwijl een halve meter verder op de bodem niet zo actief is. Vandaag de dag is het nog altijd uitdagend om ebullitie in kaart te brengen en zijn er meerdere methoden in omloop. Allen hebben dezelfde uitdaging van het inschatten in hoe goed de meting een representatie vormt van de werkelijke vrijgekomen uitstoot via de ebullitie route. In onze set-up hebben we ervoor gekozen om slechts een indruk te krijgen van ebullitie van CH_4 door te meten aan de opbouw van broeikasgassen in de gasfase boven de water-bodemkolom over een periode van 48 uur, waarbij de kolom afgesloten was van de atmosfeer. Op deze wijze is de kans groot dat als er sprake is van ebullitie in een kolom, dat deze dan ook meetbaar is in de gasfase boven de kolom.

WAAROM ZIJN ER ALLEEN BODEM- EN PORIEVOCHTPARAMETERS AAN HET EINDE VAN HET KOLOMEXPERIMENT VERZAMELD?

Het bemonsteren van de bodem in kolomexperimenten voor metingen aan bodemmateriaal is destructief. Dat betekent dat je een monster ontleemt aan de huidige opstelling en dat niet weer terug kan brengen in die opstelling. Omdat dit een verstoring is van de bodemkolom is ervoor gekozen dit niet te doen en te wachten tot het einde van de meetserie met verzamelen van bodemmonsters voor analyse. Porievocht zou technisch gezien wel redelijk onverstord kunnen worden verzameld, echter zouden we het budget enorm overschrijden door op alle flux-meetdagen ook porievocht monsters te verzamelen, met het aantal meetdagen en analyses zou dit behoorlijke volumes van porievocht betreffen wat dan weer verstrend werkt op de processen in de bodemkolom en daarbij is het de vraag in hoeverre ons dit nieuwe, interessante informatie oplevert. Daarom is ervoor gekozen ook porievocht pas aan het einde van de kolommetingen te verzamelen.

HOE ZIJN DE RESULTATEN UIT KOLOMMETINGEN IN LABORATORIUM SET-UP TE VERTALEN NAAR VELD SITUATIE?

Zoals hierboven beschreven zitten er grote verschillen tussen metingen aan bodemkolommen en metingen in het veld. Elk kent zijn voor- en nadelen en op basis daarvan is nagegaan wat het beste past bij het hoofddoel van dit onderzoek en gekozen voor de kolommetingen. Belangrijk daarbij is dan wel hoe de resultaten hieruit zich vertalen naar de veldsituatie. Deze vertaling vereist voorzichtigheid, immers is niet in het veld bepaald wat de omvang van de broeikasgasemissies is en is het dus lastig te zeggen in hoeverre dit de ware broeikasgasemissie benaderd. Wat we wel weten uit ervaringen van andere onderzoeken waarbij kolommen en veldmetingen parallel hebben plaatsgevonden is dat metingen aan kolommen in vergelijking met veldmetingen vaak een onderschatting van de totale emissie geven.

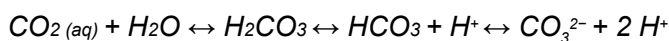
BIJLAGE III

UITGEBREIDE METHODE MODELLERING

III.1 PH MODULE IN DELFT3D-GHG

De pH-module in de Delwaq processenbibliotheek (PH_CARB) berekent het carbonaatevenwicht. Belangrijke variabelen zijn hierbij het totaal inorganische koolstof (TIC) en de alkaliniteit (ALKA). TIC representeert het geheel van koolstofdioxide (CO₂), koolzuur (H₂CO₃), en de bicarbonaat en carbonaat-ionen (HCO₃⁻ en CO₃²⁻). Alkaliniteit (hardheid) is de zuur bufferende capaciteit van het water. In het model wordt alkaliniteit uitgedrukt in bicarbonaat equivalenten: 1 meq/L = 61 mg/L van bicarbonaat equivalenten.

De pH hangt en het carbonaatevenwicht hangen af van temperatuur en de concentratie van H⁺ (pH=log₁₀(H⁺)):



CO₂ (aq) staat voor het CO₂ dat is opgelost in water, welke in chemisch evenwicht is met het CO₂ in de gas fase; CO₂ in de gas fase wordt uitgedrukt als 'partial CO₂' (pCO₂). Alkaliniteit wordt berekend als de som van alle zuur bufferende stoffen:

$$Alkalinity \equiv 2 CO_3^{2-} + HCO_3^- + other \text{ (mmol/liter)}$$

CO₃²⁻ en HCO₃⁻ vormen carbonaathardheid en representeren >95 % van de totale alkaliniteit. Ecosysteemprocessen die invloed hebben op het carbonaat-evenwicht zijn de reaeratie, primaire productie, nitrificatie, en de dissolutie en precipitatie van calciumcarbonaat (CaCO₃). In het model zijn deze laatste twee niet meegenomen. Calciumcarbonaat komt o.a. voor in de schelp van slakken en schelpdieren. Dissolutie van calciumcarbonaat treedt vooral op in het sediment, onder invloed van lage pH waarden. Wel berekent het model de verzadiging van calciet en aragoniet en geeft daarmee een indicatie van de (langzame) buffering door deze carbonaatmineralen.

III.2 OVERZICHT MODELVARIABLEN, PROCESSEN, EN PARAMETERWAARDEN IN DELFT3D-GHG

Tabellen 21 en 22 geven een overzicht van de gebruikte modelvariabelen en processen. Voor de totale set van parameterwaarden wordt verwezen naar (Smits en van Beek, 2013). Naar aanleiding van de kalibratie is wel een aantal modelcoëfficiënten in het Delft3D-GHG model aangepast:

- bioturbatie en dispersie coëfficiënten; In Delft3d-ECO varieert de bioturbatie-coëfficiënt vlak bij het sediment-water interface lineair tussen 2.8x10⁻⁶ m².d⁻¹ (Juni-September) en 2.8x10⁻⁷ m².d⁻¹ (Januari-Februari). Naar diepere lagen neemt deze waarde exponentieel af tot 10 % op een diepte van 4 cm en vrijwel nul op een diepte van 10 cm. De dispersie-coëfficiënt varieert lineair tussen 7.73x10⁻⁴ m².d⁻¹ (Juni-September) en 1.78x10⁻⁴ m².d⁻¹ (Januari-Februari). Deze waarden leiden tot relatief hoge zuurstofconcentraties in de bodem waarbij methanogenese niet of nauwelijks optreedt. Om de methanogenese te stimuleren (om deze in lijn te brengen met waarden zoals gemeten in de stadsvijver van Malden) zijn de bovengenoemde coëfficiënten verlaagd. Om zoveel mogelijk van de oorspronkelijke waarden uit te gaan, is er voor gekozen om enkel de zomerwaarden aan te passen. Dit is gedaan door de voorgeschreven waarden in mei t/m oktober uit

de tijdserie te verwijderen. Achterliggende gedachte is dat de bioturbatie negatief wordt beïnvloedt door lage zuurstofconcentraties die in deze zomermaanden optreden, en zo het positieve effect van temperatuur compenseren. Het moge duidelijk zijn dat dit nader onderzoek behoeft. Idealiter worden in de toekomst de positieve en negatieve feedback van temperatuur en zuurstofgehalte op de bioturbatie en dispersie coëfficiënten op een meer mechanistische manier in het model verwerkt;

- schalingsfactor ebullitie ($fscEbul=0.1$); deze schalingsfactor bepaalt de mate van oversaturatie, en moet een waarden hebben tussen de nul en de één. Bij een waarde van $fscEbul=1$ vindt er ebullitie plaats zodra de verzadigingsconcentratie van methaan wordt gepasseerd; bij een waarde nul vindt er geen ebullitie plaats. In het Delft3D-ECO model (waar de focus niet lag op broeikasgasemissies) stond de schalingsfactor ingesteld op een waarde van één. In werkelijkheid worden methaانبellen in de bodem vaak een tijdje vastgehouden voordat ze ebulleren. De mate waarin dat gebeurt wordt bepaald door allerlei systeemkenmerken (zoals bodemsamenstelling en structuur) en processen die daar invloed op hebben (zoals bioturbatie en menselijke verstoring);
- de snelheid en de halfsaturatie waarde van methaanoxidatie ($RcMetOx20 = 3.0 \text{ g C.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$; $KsMet = 0.05 \text{ g C.m}^{-3}$). De aangepaste waarden leiden tot een grotere methaanoxidatie flux dan in het Delft3D-ECO model. Beide waarden vallen binnen de range van gemeten waarden in de literatuur (Remsen et al., 1989; Buchholz et al., 1995; King, 1990).

TABEL III. 1 OVERZICHT MODELVARIABLEN IN DELFT3D-GHG

Symbol	Description	Unit
FDIATOMS_E	Freshwater diatoms energy type	g C.m^{-3}
FDIATOMS_P	Freshwater diatoms phosphorus type	g C.m^{-3}
GREENS_E	green algae energy type	g C.m^{-3}
GREENS_N	green algae nitrogen type	g C.m^{-3}
GREENS_P	green algae phosphorus type	g C.m^{-3}
BLUEGRN_E	Blue-greens energy type	g C.m^{-3}
BLUEGRN_N	Blue-greens nitrogen type	g C.m^{-3}
BlueGrn_P	Blue-greens phosphorus type	g C.m^{-3}
POC/N/P1	fast decomposing particulate organic C/N/P/S	g C/N/P.m^{-3}
POC/N/P2	moderately slow decomposing particulate organic	g C/N/P.m^{-3}
POC/N/P3	C/N/P/S slow decomposing particulate organic C/N/P/S	g C/N/P.m^{-3}
DOC/N/P	very slow decomposing (refractory) dissolved organic C/N/P	g C/N/P.m^{-3}
NO3	nitrate	g N.m^{-3}
NH4	ammonium	g N.m^{-3}
PO4	dissolved phosphate	g P.m^{-3}
AAP	adsorbed phosphate	g P.m^{-3}
VIVP	vivianite-like phosphate	g P.m^{-3}
APATP	apatite-like phosphate	g P.m^{-3}
Si	dissolved silicate	g Si.m^{-3}
OPAL	opaline silicate	g Si.m^{-3}
DO	dissolved oxygen	$\text{g O}_2.\text{m}^{-3}$
SO4	sulphate	g S.m^{-3}
SUD	dissolved sulphide	g S.m^{-3}
SUP	particulate sulphide	g S.m^{-3}
CH ₄	methane	g C.m^{-3}

Symbol	Description	Unit
IM1/2/3	silt in sediment/sand in sediment/silt in water	g .m ⁻³
Cl	Chloride	g Cl.m ⁻³
TIC	Total inorganic carbon	g C.m ⁻³
ALKA	alkalinity	g HCO ₃ ⁻ .m ⁻³

TABEL III. 2 OVERZICHT MODELPROCESSEN IN DELFT3D-GHG

Abbreviation	process	unit
gro	net phytoplankton growth (gross production – respiration)	g C.m ⁻³ .d ⁻¹
mrt	phytoplankton mortality	g C.m ⁻³ .d ⁻¹
grz	grazing by zooplankton	g X.m ⁻³ .d ⁻¹
rsp/exc	respiration/excretion by zooplankton	g X.m ⁻³ .d ⁻¹
min/con	mineralization/conversion of detrital organic matter uptake of nutrients by phytoplankton	g X.m ⁻³ .d ⁻¹
upt nit	nitrification	g N.m ⁻³ .d ⁻¹
ads	adsorption of phosphate	g P.m ⁻³ .d ⁻¹
pre/dis	precipitation/dissolution	g X.m ⁻³ .d ⁻¹
sox	sulphide oxidation	g S.m ⁻³ .d ⁻¹
mox/moo/mos	methane oxidation/with oxygen/with sulphate	g C.m ⁻³ .d ⁻¹
rea	reaeration	g O ₂ .m ⁻³ .d ⁻¹
vol/ebu	volatilization/ebullition of methane	g C.m ⁻³ .d ⁻¹
set	settling	g X.m ⁻³ .d ⁻¹
bur/tur	burial/bioturbation of particulate substances in the sediment	g X.m ⁻³ .d ⁻¹
spg/irg	seepage/bioirrigation of dissolved substances in the sediment	g X.m ⁻³ .d ⁻¹
pH	integrated calculation of pH, carbonate system	g X.m ⁻³ .d ⁻¹

III.3 COMPLEMENTARITEIT DELFT3D-GHG EN PCLAKE

TABEL III. 3 VERGELIJKING PCLAKE EN DELFT3D-ECO+ OP BASIS VAN ELEMENTEN BENODIGD VOOR KOOLSTOFMODELLERING

Benodigd element	PCLake	Delft3D-GHG
Totale hoeveelheid Organische koolstof (TOC)	Algen, waterplanten, en detritus	Algen en detritus (geen waterplanten)
Vorming van methaan (CH ₄) en andere relevante processen	Nee (gedeeltelijke info over koolstoffluxen in water en bodem)	Ja (volledige info over koolstoffluxen in water en bodem)
Totale hoeveelheid Anorganische koolstof (TIC)	Nee (gedeeltelijke koolstofbalans)	Ja (sluitende koolstofbalans incl. chemisch evenwicht CO ₂ en pH)
Sedimentatie en resuspensie	Sedimentatie en resuspensie van algen, detritus, en zwevend stof o.b.v. strijklengte en omwoeling door vis	Netto sedimentatie van algen en detritus

III.4 MODELINVOER DELFT3D-GHG EN PCLAKE

ALGEMENE INVOER

Meteorologische factoren (wind, instraling en temperatuur) zijn gebaseerd op een standaard jaar, welke steeds worden herhaald over de gehele (inspeel)periode. Verder zijn er aannames gedaan over de stoffenfracties van de lozingen (b.v. snel versus langzaam afbreekbaar detritus) op basis van standaard aannames uit PCLake.

MODELINVOER BLUECAN CASUSSEN

Voor elke casus is de benodigde informatie ingewonnen bij de desbetreffende waterbeheerder om de water- en stofbalans zo compleet mogelijk op te stellen. Niet elke casus bleek geschikt om als één gesimplificeerd en gemiddeld watersysteem (één bakje in de rekentool) te benaderen. Om die reden is in specifiek gevallen en in overleg met de betrokken waterbeheerder een water- en stofbalans voor één of meerdere (vergelijkbare) locaties opgesteld en alleen als er op dat niveau ook voldoende data beschikbaar was. Ten slotte is in enkele gevallen gebruik gemaakt van gegevens uit een SOBEK-model. Dit heeft geresulteerd in 4 modelcasussen in ronde 1, 21 modelcasussen in ronde 2&3, en de stadsvijver in Malden.

TABEL III. 4 **SYSTEEMKENMERKEN VAN DE VIER BLUECAN CASUSSEN IN RONDE 1 EN DE STADSVIJVER MALDEN**

Systeemkenmerken	Dobbeplas	Wormer- Jisperveld	Oostmadeplas	Loenderveense plas	Stadsvijver Malden
P-belasting (mg/m ² /d)	0.5	6.6	10	0.2	10
waterdiepte (m)	2	1	1.6	2.3	1.5
strijklengte (m)	450	700	300	1500	50
bodemtype (-)	klei	veen	zand	veen	Klei
debiet (mm/dag)	4	7	42	4	0.1
oppervlakte (ha)	13.5	140	10	237	0.46
N/P-ratio belasting	10	6.6	3.2	10	10
C/N-ratio belasting	25	25	25	25	45

TABEL III. 5 **SYSTEEMKENMERKEN VAN DE BLUECAN CASUSSEN IN RONDE 2 EN 3**

Casus ronde	Casus naam	Meetlocatie	Waterdiepte (m)	Debiet (mm/d)	P-belasting (mg/m ² /dag)	N-belasting (mg/m ² /dag)	Bodemtype
2	Poppenhuizen	POPP01; POPP02; POPP03; POPP04; POPP09	1.25	45.00	8.90	26.80	veen
2	Zegveld	ZEGV01; ZEGV03; ZEGV05; ZEGV06	0.48	95.00	26.60	266.70	veen
2	Vuntus	VUNT03; VUNT04; VUNTX; VUNTY; VUNTZ	1.29	5.03	0.45	8.12	veen
2	Woudse droogmakerij	WOUD1; WOUD03; WOUD07; WOUD08; WOUD09	0.52	44.00	13.70	85.16	klei
2	De Wieden	WIED09; WIEDX; WIEDY	0.72	12.00	0.40	8.44	veen
2	Oostzanerveld	OOST01 ;OOST03; OOST05; OOST06; OOST07	0.5	22.00	7.00	31.90	veen
3	Amsterdamse grachten	AMST05	3	145.14	44.99	378.81	zand
3	Amsterdamse grachten	AMST06	1.7	29.74	5.15	74.96	zand
3	HHNK- Rinvaart Bergermeer	HHNK03;HHNK04	0.9	30.05	42.62	156.20	zand
3	HHNK- Langereis	HHNK03;HHNK04	1.4	81.13	23.84	237.15	klei
3	HHNK-Nauenasche Vaart	HHNK05;HHNK06	2.1	45.06	32.88	255.40	veen
3	Nieuwe Water	NIEUW02;NIEUW03;	1.1	47.03	16.53	131.92	zand/klei
3	Nieuwe Water	NIEUW04;NIEUW05	1.25	46.83	16.77	139.23	zand/klei
3	Nieuwe Water	NIEUW01	0.75	43.03	14.85	113.47	zand/klei
3	Trekvaart	TREK01	2	23.48	34.04	62.45	zand
3	Trekvaart	TREK02	2	23.48	34.04	62.45	zand
3	Trekvaart	TREK03	2	24.80	54.56	84.57	zand
3	Trekvaart	TREK04	2	24.75	47.02	84.89	zand
3	Trekvaart	TREK05	2	26.42	34.61	92.20	zand
3	Linthorst Homankanaal	LINT01;LINT02	0.8	176.00	72.68	138.46	zand
3	Averlosche Leide	AVER01; AVER02; AVER03; AVER04; AVER05	0.55	380.00	26.67	517.30	zand

MODELINVOER GROTE SET BEREKENINGEN

Voor het doorrekenen van de grote set van fictieve watersystemen is een aantal systeemkenmerken gevarieerd:

- waterdiepte
- debiet/verblijftijd
- nutriëntenbelasting
- verhouding N/P van de belasting
- sedimenttype
- strijklengte

De inputvariabelen zijn als volgt gevarieerd:

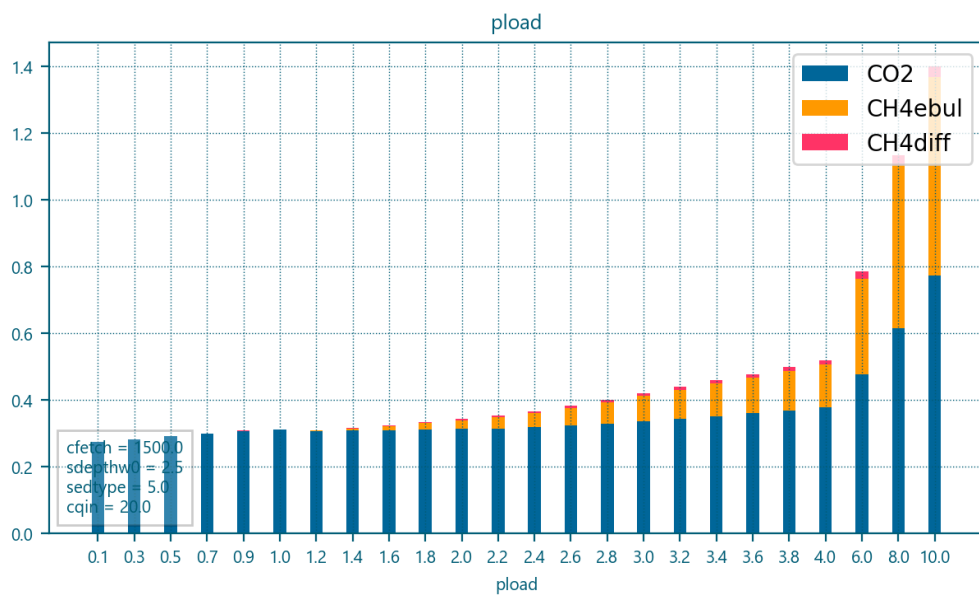
- voor de strijklengtes zijn de volgende waarden doorgerekend: 250, 500, 750, 1000, 1500, 3000, 5000 en 10000 meter;
- de sedimenttypen zand, veen en klei zijn doorgerekend op basis van de *presets* zoals gedefinieerd in (Janse, 2005);
- het debiet is gevarieerd op basis van de volgende waarden: 4, 7, 10, 20, 50, 100 en 200 mm/d;
- de waterdiepte is gevarieerd van 1 tot 4 meter diep met stappen van 0.5 meter;
- de externe P-belasting is gevarieerd van 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4, 6, 8 en 10 mg/m²/d.

N.B. Bepaalde combinaties van inputvariabelen leverden foutmeldingen en instabiliteit op; deze zijn uit de dataset gehaald.

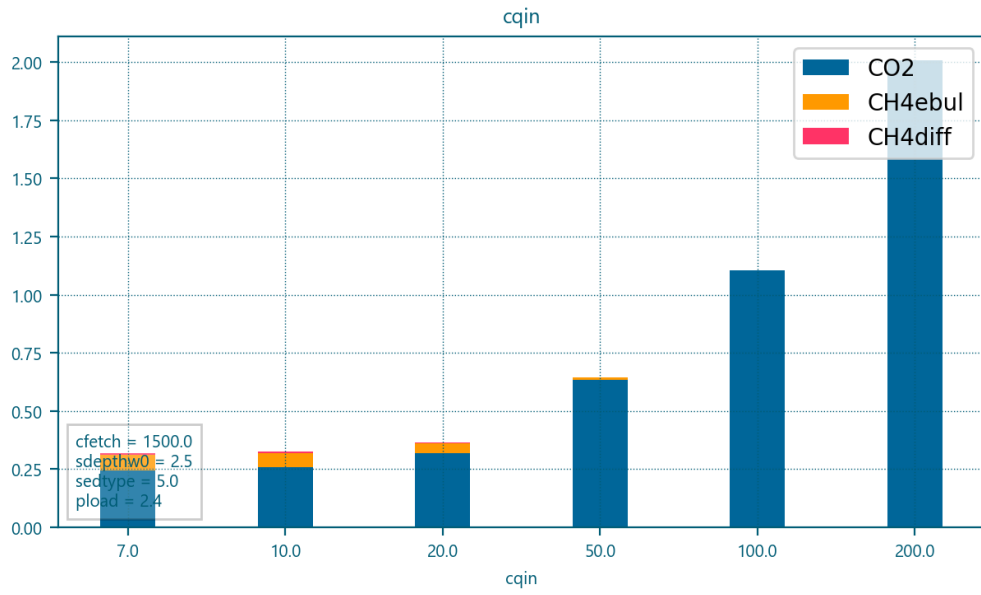
Voor de N:P ratios en de fractie organisch materiaal van de inkomende stoffstromen wordt gebruik gemaakt van de standaardinstellingen van PCLake: C/N-ratio=25: 1 (g/g); N/P-ratio 10:1 (g/g).

III.5 RELATIE BROEIKASGASEMISSIES MET SYSTEEMKENMERKEN

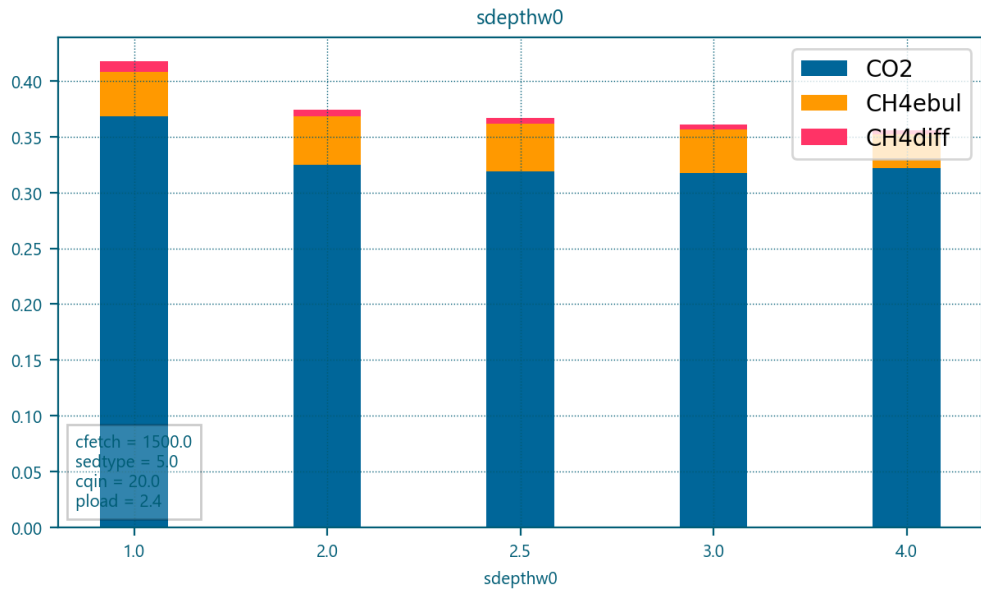
FIGUUR III. 1 JAARGEMIDDELTE BROEIKASGASEMISSIES (GCO₂-EQ/M²/D) BEREKEND MET HET BLUECAN MODEL VOOR EEN GROTE SET FICTIEVE WATERSYSTEMEN EN UITGEZET TEGEN P-BELASTING (MGP/M²/D)



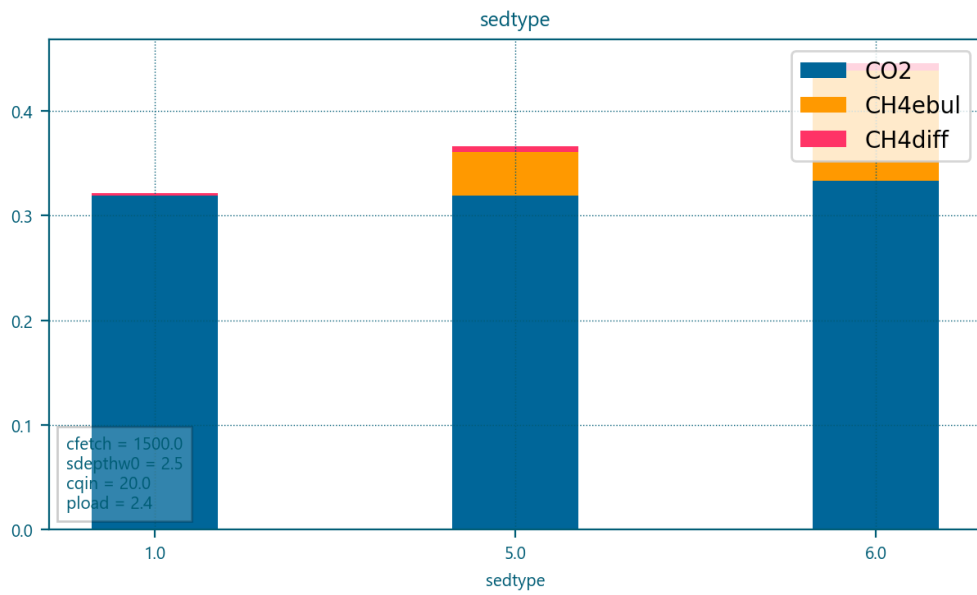
FIGUUR III. 2 JAARGEMIDDELDE BROEIKASGASEMISSIES (GCO₂-EQ/M²/D) BEREKEND MET HET BLUECAN MODEL VOOR EEN GROTE SET FICTIEVE WATERSYSTEMEN EN UITGEZET TEGEN DEBIET (MM/M²/D)



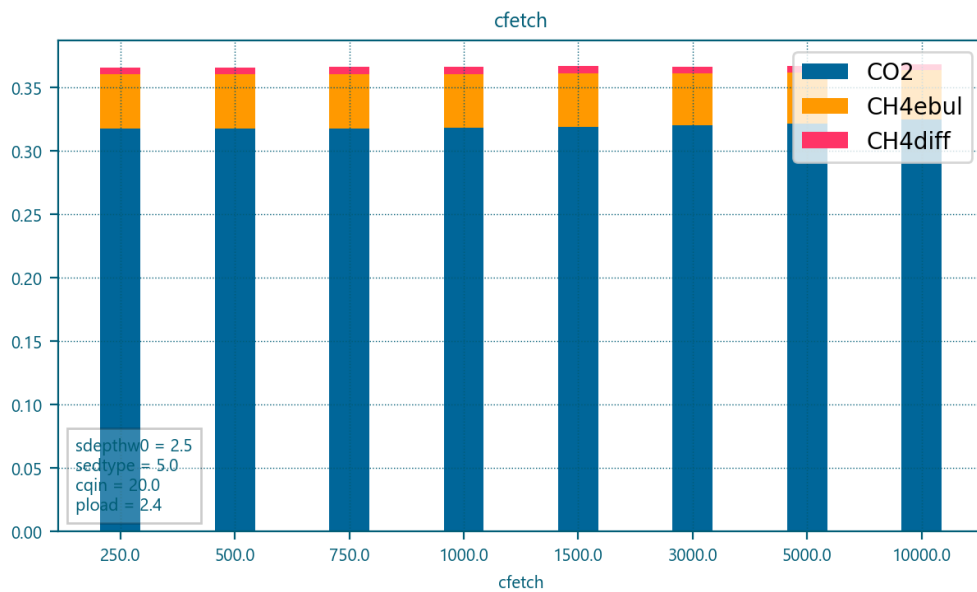
FIGUUR III. 3 JAARGEMIDDELDE BROEIKASGASEMISSIES (GCO₂-EQ/M²/D) BEREKEND MET HET BLUECAN MODEL VOOR EEN GROTE SET FICTIEVE WATERSYSTEMEN EN UITGEZET TEGEN DIEPTE (M)



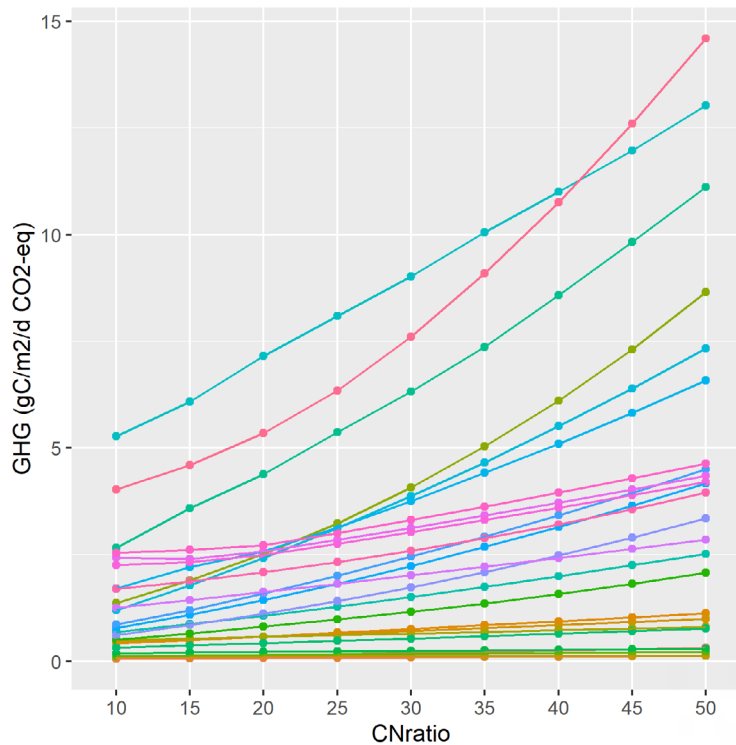
FIGUUR III. 4 JAARGEMIDDELDE BROEIKASGASEMISSIES (GCO₂-EQ/M²/D) BEREKEND MET HET BLUECAN MODEL VOOR EEN GROTE SET FICTIEVE WATERSYSTEMEN EN UITGEZET TEGEN SEDIMENT TYPE (1 = KLEI, 5 = VEEN, 6 = ZAND)



FIGUUR III. 5 JAARGEMIDDELDE BROEIKASGASEMISSIES (GCO₂-EQ/M²/D) BEREKEND MET HET BLUECAN MODEL VOOR EEN GROTE SET FICTIEVE WATERSYSTEMEN EN UITGEZET TEGEN STRIJKLENGTE (M)



FIGUUR III. 6 DE BROEIKASGASUITSTOOT BEREKEND VOOR EEN RANGE VAN CN-RATIO'S VOOR ALLE BLUECAN CASUSSEN. DE C/N-RATIO VAN DE NUTRIËNTENBELASTING WORDT NIET OF NAUWELIJKS GEMETEN IN HET VELD, EN IS OOK NIET GEVARIEERD IN DE GROTE SET FICTIEVE WATERSYSTEMEN, MAAR DEZE MODELRESULTATEN LATEN ZIEN DAT EEN GROTERE C/N-RATIO OVER HET ALGEMEEN LEIDT TOT EEN GROTERE BROEIKASGASUITSTOOT. WEL VERSCHILT DE TOENAME ERG PER CASUS

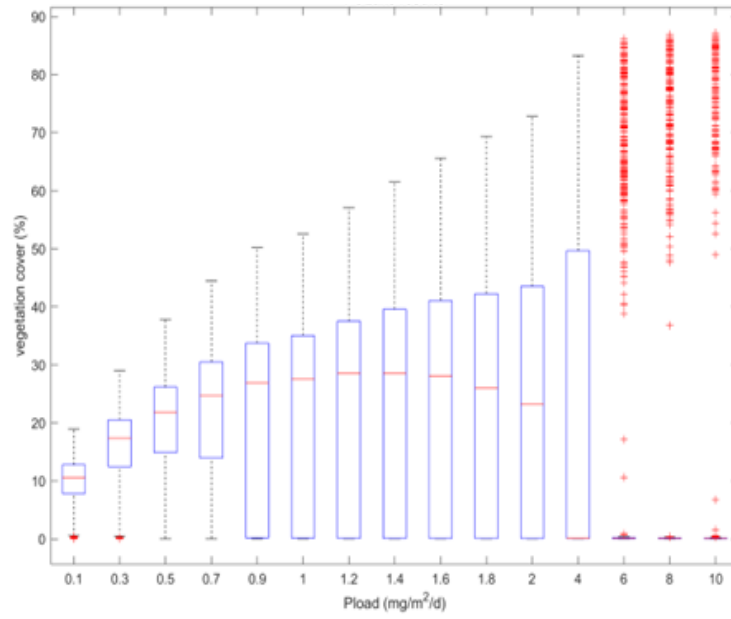


III.6 CH₄ CORRECTIE GEBASEERD OP MACROPHYTENBEDEKKING

In afbeelding 5.12 is een overzicht gegeven van de door PCLake berekende plantbedekking (%) bij verschillende P-belastingen op basis van alle 13.600 berekeningen. Er lijkt sprake van een knippunt tussen 2-6 mg P/m²/d, waarbij de waterplantenbedekking grotendeels verdwijnt (uitgaande van de mediaan).

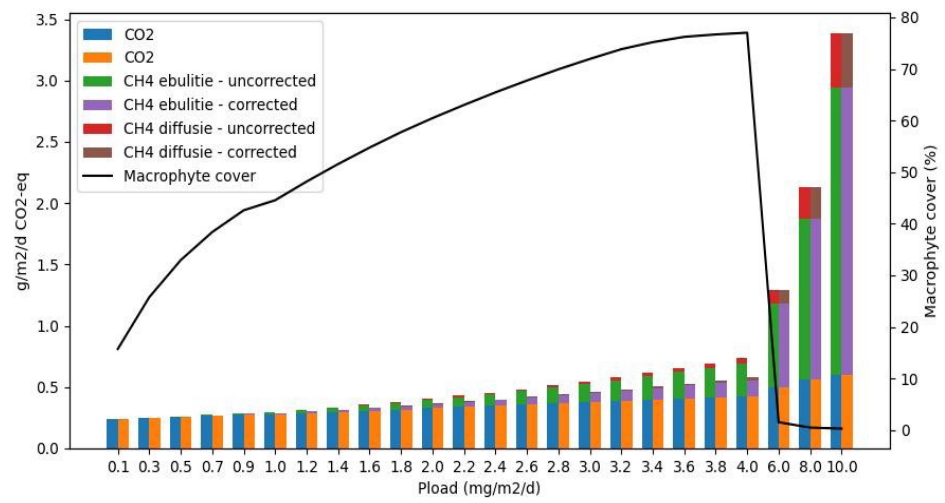
Conclusie is dus dat - hoewel Delft3D-GHG niet expliciet waterplanten modelleert- er met name een uitstoot van methaan verwacht wordt in het bereik waarin PCLake geen of weinig waterplanten verwacht. In de (relatief enkele) gevallen dat er wel een methaan-emissie wordt berekend met Delft3D-GHG en er wel waterplanten worden berekend met PCLake, wordt een correctie toegepast. Deze correctie heeft dus geen grote invloed op de gemiddelde jaargemiddelde broeikasgasuitstoot.

FIGUUR III. 7 **BEREKENDE PLANTBEDEKKING (%) BIJ VERSCHILLENDE P-BELASTINGEN DOOR PCLAKE OP BASIS VAN DE DATASET VOOR DE QUICKSCAN-TOOL BLUESCAN**



FIGUUR III. 8 **GEMODELLEERDE METHAANUITSTOOT AL DAN NIET GECORRIGEERD VOOR PLANTBEDEKKING BIJ VERSCHILLENDE P-BELASTINGEN**

CH4 corrected based on macrophyte cover



BIJLAGE IV

AANPALENDE PROJECTEN EN INITIATIEVEN

Naast BlueCAN zijn er inmiddels meerdere nationale en internationale onderzoeksprojecten waarbij (een onderdeel van) de broeikasgasemissie vanuit oppervlaktewateren wordt onderzocht. In de tabel is een overzicht opgenomen van projecten en initiatieven die raken aan het onderzoek dat is uitgevoerd door BlueCAN. Daaronder zijn enkele van deze onderdelen verder toegelicht.

TABEL IV.1

Initiatief/project	
EcoShape Tafel: Beneficial use of sediments Track: Carbon Cycling	https://www.ecoshape.org/en/www.ecoshape.org
CEDA (Central Dredging Association) Broeikasgasemissiescommissie	https://www.dredging.org/
Transitiepad Kustlijn zorg en vaargeulonderhoud	Klimaatneutraal en Circulair - Rijkswaterstaat innoveert (rwsinnoveert.nl)
RVO tafel - blue carbon meeting	
DuNaG	https://kia-landbouwwatervoedsel.nl/project/duurzaam-nat-grondverzet-voor-klimaat-en-natuur-dunag/
Circ Sed	https://www.stowa.nl/publicaties/circulair-baggerbeheer-een-toetsings-instrument-voor-regionale-bagger-inclusief-tool
Reducing the ecosystem-based carbon footprint of coastal engineering	https://www.wetlands.org/publications/reducing-the-ecosystem-based-carbon-footprint-of-coastal-engineering/
Proeftuin Duurzame rivieren	https://tkideltatechnologie.nl/proeftuin/proeftuin-duurzame-rivieren/#:~:text=In%202020%20is%20gestart%20met,Sediment%20Rijnmond
Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV)	https://www.nobveenweiden.nl/over-nobv/
ISBAM	https://www.ecoshape.org/en/get-started/white-paper-integrated-system-based-asset-management/
DIGS: Decreasing greenhouse gas emissions from surface waters by climate-smart water management	https://www.ru.nl/en/research/research-projects/digs
Bioturbators drive greenhouse gas emissions from shallow inland waters	https://www.nwo.nl/projecten/vividi203098
CO ₂ -storage in lakes	https://www.ru.nl/ribes/@1287396/veni-grant-mandy-velthuis-iwvr/
Interreg CarePeat (Wieden)	https://www.nweurope.eu/projects/project-search/care-peat-carbon-loss-reduction-from-peatlands-an-integrated-approach/
S2S: Sediment to Soil	https://hyd.ifu.ethz.ch/research/fluval-systems/s2s.html
RestCOAST: Large scale Restoration of coastal ecosystems through rivers to sea connectivity	REST-COAST

NOBV - Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (2019 - 2024), onderdeel oppervlaktewater loopt door 2025

Binnen het NOBV (onderdeel van het klimaatakkoord, sector Landbouw en Landgebruik) wordt er onderzoek gedaan naar de uitstoot van broeikasgassen in het veenweidegebied. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de uitstoot uit de bodem en uit het oppervlaktewater. PhD Judith van der Knaap is per 1 september begonnen met als doel het bepalen van emissies uit sloten en een vergelijking met emissies uit percelen. De aanpak is gericht op mechanistisch inzicht en het identificeren van milieuv variabelen die een voorspellende waarde hebben voor broeikasgasemissie, waarbij idealiter een mechanistisch model wordt

ontwikkeld (geen doel op zich, maar om onderliggende processen te duiden). Dit model kan dan worden toegepast op andere veenweidegebieden dan die waar het onderzoek zich op focust. Ten slotte is het doel om een meetprotocol te ontwikkelen.

Het onderzoek wordt gedurende twee jaar (2022 - 2023) uitgevoerd op twee locaties in het westen van Nederland: Langeweide en Zegveld. De keuze is gebaseerd op logistieke overwegingen (locaties relatief dichtbij elkaar) en verschillen in fysieke kenmerken. Er wordt in het onderzoek intensief in het water gemeten, zoveel mogelijk hoogfrequent, met variatie in tijd en ruimte. Events zijn extra interessant, zoals metingen net na een intensieve regenbui. Er wordt op de locaties ook intensief op het land gemeten door andere onderzoekers binnen het NOBV (incl. Eddy Covariantie (EC)-masten).

Voorbeelden van omgevingscondities/milieuvariabelen waar expliciet aandacht voor is, zijn:

- wel/geen drainage;
- wel/geen haarvat (één of tweezijdig aangetakte watergang);
- koppeling aan beheer (zoals schonen en baggeren).

Een PhD binnen het NOBV consortium gaat een nieuw type meetinstrument ontwikkelen om ebullitie in sloten te meten met zo min mogelijk verstoring. Uit eerdere ervaring blijkt dat druk bij het positioneren van de kamer zorgde voor het ontsnappen van bubbels. Er is een werkgroep 'sloten en meren' binnen NOBV ingesteld om het onderzoek te begeleiden.

Meer info:

- NOBV – Veenweiden (nobveenweiden.nl)

DIGS - Decreasing greenhouse gas emissions from surface waters by climate-smart water management (2022-2025)

De meetlocaties van het DIGS project (2 PhD's en een postdoc) liggen juist op niet veengebieden, maar wat meer open, ondiepe grote wateren. Verder is er naast de metingen op diverse locaties veel aandacht voor modellering. Idealiter komt DIGS tot een heatmap voor Nederland waarbij (eventuele) hotspot van broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren te zien zijn, een meetprotocol (voor wie is ongespecificeerd) en een model voor broeikasgasemissie uit oppervlaktewater. Binnen DIGS is er ook aandacht voor effecten van (waterkwaliteits)maatregelen, zoals baggeren, ijzeradditie, verbrakking, et cetera. Naast de broeikasgasemissie is er veel aandacht voor koolstofopslag. Hiervoor wordt een seismisch apparaat (een subbottom profiler) ingezet voor een gedetailleerd beeld van de bodemopbouw. Aan de hand van isotopen accumulatie kan de ouderdom van koolstof bepaald worden in verschillende lagen.

Er wordt onderzoek gedaan op verschillende locaties, zoals in een nader vast te stellen locatie in de randmeren waar niet gebaggerd wordt. Hier wordt onderzoek gedaan in transecten met de subbottom profiler en worden bodemkolommen gestoken, waarna onderzocht wordt of de kolommen en het 'subbottom' profiel gekoppeld kunnen worden. Dit type onderzoek kan ook interessant zijn in zandwinplassen waar veel sedimentatie plaatsvindt van organisch materiaal. Het eerste jaar wordt intensief gemeten op specifieke locaties. De jaren erna wordt verbreed, waarbij de dichtheid aan metingen per locatie afneemt.

Voorbeelden van locaties waar expliciet een relatie met maatregelen wordt onderzocht zijn kasteelvijver Brabantse Delta waar kleinschalige experimenten zijn gedaan met phoslock, ijzeradditie en baggeren (eerste resultaat ‘bagger op korte termijn mitigerend’) en Westzaan in relatie tot verbrakking, waarbij een koppeling wordt gelegd met het lopend verbrakkings-onderzoek daar.

Er zijn diverse partijen betrokken. Met deze partijen wordt frequent overlegd middels gebruikersbijeenkomsten. Partijen zijn onder andere Witteveen+Bos (in kind bijdrage), AKWA/NIOO, WEnR, Brabantse Delta, Waternet en RWS.

Meer info:

- New project on greenhouse gas emission from Dutch surface waters granted. - Aquatic Ecology & Environmental Biology (ru.nl)

VIDI - Bioturbators drive greenhouse gas emissions from shallow inland waters

Er is recent een VIDI-voorstel van Sarian Kosten gehonoreerd. Hierin is vooral aandacht voor bioturbatie als belangrijk mechanisme in relatie tot broeikasgasemissie uit oppervlaktewater. Er worden twee PhD's aangesteld die zich gaan richten op respectievelijk de effecten van bioturbatie op de microbiologische processen (consumptie-productie) en op de transport pathways (opbouwen bubbels, diffusie) en uiteindelijk de effecten van bioturbatie op broeikasgasemissies.

VENI - CO₂ -storage in lakes (2022 - 2025)

Dit onderzoek ‘Rethink the carbon sink: pathways to enhance carbon storage in lake ecosystems’ betreft een zogenaamd VENI-onderzoek uitgevoerd door Mandy Velthuis als Postdoc onderzoeker. De focus ligt op een aanpassing van het model PCLake, waarbij met name aandacht is voor de relevante waterkolomprocessen in relatie tot broeikasgasemissie (fytoplankton, zoöplankton, et cetera). Een belangrijk deel van het onderzoek is gericht op een tijdreeksanalyse op basis van een Duits meer dat tussen 3 en 5 meter diep is. Daarnaast worden experimenten uitgevoerd, waarin het voedselweb wordt gemanipuleerd.

DuNaG - Duurzaam Nat Grondverzet voor natuur en klimaat (2022 - 2025)

DuNaG (Duurzaam Nat Grondverzet voor klimaat en natuur) heeft als doel om inzicht te krijgen in de omvang van broeikasgasemissies als gevolg van nat grondverzet. Aanleiding is dat er veel nat grondverzet nodig is voor grootschalige natuurontwikkeling (PAGW: Programmatische Aanpak Grote Wateren), maar dat er nog geen beeld is van de omvang van broeikasgasemissie uit het materiaal (grond, slib). Ook onderhoud van grote wateren gaat mogelijk gepaard met broeikasgasemissie. DuNaG gaat op twee of drie locaties meten, waarbij in 2021 gestart is met metingen aan de aanleg van een nieuw eiland van de Marker Wadden. Hierbij wordt een Eddy Covariance (EC) toren ingezet voor continue metingen. Daarnaast worden kolommetingen uitgevoerd (zoals bij BlueCAN) en worden kamermetingen gedaan. Dit samen moet een beeld geven van de omvang van de emissie en inzicht geven in achterliggende factoren (organisch stofgehalte, samenstelling organische stof, et cetera). Tenslotte wordt een (eenvoudig) conceptueel model ontwikkeld en een eerste (eenvoudig) handelingsperspectief geschetst. Link naar DuNaG.

Interreg CarePeat

Er wordt onderzoek gedaan naar broeikasgasemissies in de Wieden. Hierbij wordt zowel naar emissies vanuit het water als emissies vanuit het land gekeken. Natuurmonumenten is hier nauw bij betrokken. Andere Nederlandse partners zijn Van Hall Larenstein en Eurosite. Lead partner is Natuurpunt uit Vlaanderen. Andere partijen komen uit Frankrijk, UK en Ierland. In de pilot Wieden worden petgaten aangelegd. Door deze te creëren komt er meer ruimte vrij voor waterplanten om te groeien. In deze petgaten kunnen planten koolstof vastleggen. Ook ontstaat er ruimte voor veenontwikkeling, waarmee koolstof wordt opgenomen.

BIJLAGE V

OVERIGE MEETDATA EN TABELLEN

TABELLEN RONDE 2, BODEM PARAMETERS IN G/KG DROOGGEWICHT (DW). DATA UIT REPLICA KOLOMMEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW						mol/mol	
OOST-01	92.0	0.1	55.6	9.9	19.4	24.5	1.6	4.3	1.1	33.2	0.4
OOST-03	91.2	0.1	58.4	9.9	19.4	19.7	1.6	4.4	1.0	29.3	0.4
OOST-05	91.5	0.1	62.3	6.6	22.0	16.4	1.1	4.0	0.8	28.0	0.3
OOST-06	92.2	0.1	60.7	10.1	18.9	15.0	1.6	4.6	1.0	25.5	0.3
OOST-07	90.6	0.1	62.2	7.7	23.2	17.3	1.3	4.6	1.1	29.6	0.3

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW						mol/mol	
POPP-01	86.2	0.1	42.0	9.7	14.0	22.7	1.2	1.9	1.1	16.6	0.8
POPP-02	89.0	0.1	61.2	8.0	20.2	23.4	1.0	2.7	0.9	20.4	0.7
POPP-03	83.7	0.2	36.5	13.7	17.7	37.4	1.6	2.6	2.0	16.4	1.3
POPP-04	89.7	0.1	60.7	8.2	20.6	21.7	0.9	3.7	0.7	29.0	0.4
POPP-09	86.0	0.1	60.0	5.9	23.6	20.4	0.8	3.4	0.7	22.2	0.5

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW						mol/mol	
VUNT-03	86.2	0.1	56.7	1.7	15.8	3.1	0.1	0.9	0.3	5.3	0.3
VUNT-04	84.4	0.2	44.0	2.1	15.5	1.9	0.1	0.6	0.3	5.4	0.2
VUNT-X	90.3	0.1	58.7	2.8	15.8	3.3	0.1	0.9	0.5	8.0	0.3
VUNT-Y	529.4	0.8	1.4	0.7	0.6	0.6	0.0	0.1	0.0	0.3	1.4
VUNT-Z	113.3	0.1	70.2	2.3	13.2	3.7	0.2	0.7	0.7	11.4	0.2

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW						mol/mol	
WIED-02	75.2	0.3	52.6	3.7	55.2	41.3	0.3	0.8	0.7	4.2	5.6
WIED-08	90.2	0.1	59.4	5.7	23.0	40.3	0.5	1.5	1.4	12.2	1.9
WIED-09	92.8	0.1	66.8	5.0	19.8	12.4	0.4	1.6	0.4	12.6	0.6
WIED-X	90.7	0.1	62.5	7.4	18.4	21.1	0.6	1.8	0.5	26.8	0.5
WIED-Y	88.8	0.1	58.9	5.5	21.3	18.3	0.4	1.4	0.5	15.7	0.7

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
WOUD-01	64.1	0.5	10.6	8.3	38.4	16.8	1.6	4.7	2.8	5.7	1.7
WOUD-03	65.2	0.4	12.2	8.4	39.4	19.3	1.6	4.4	5.4	9.8	1.1
WOUD-07	51.6	0.7	7.0	7.3	34.4	12.3	1.4	3.8	1.5	4.7	1.5
WOUD-08	61.2	0.4	12.2	14.4	27.7	20.5	2.8	5.6	2.7	8.4	1.4
WOUD-09	59.5	0.5	13.0	8.7	38.0	20.7	1.7	4.2	2.8	10.8	1.1

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
ZEGV-01	89.3	0.1	59.1	15.0	26.0	14.7	1.3	2.8	0.9	24.2	0.3
ZEGV-03	89.0	0.1	63.1	13.8	25.3	13.0	1.2	3.5	0.9	24.0	0.3
ZEGV-05	89.9	0.1	54.4	16.4	23.0	18.5	1.6	3.3	1.1	25.2	0.4
ZEGV-06	88.1	0.1	66.2	11.5	26.0	12.8	1.1	2.8	1.2	19.9	0.4
ZEGV-07	90.7	0.1	69.0	13.3	26.2	13.1	1.2	3.0	0.8	24.5	0.3

TABELLEN RONDE 3, BODEM PARAMETERS IN G/KG DROOGGEWICHT (DW). DATA UIT REPLICAS KOLONNEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
LINT-01	39.9	0.9	3.2	3.0	1.9	3.0	0.4	0.3	0.2	1.3	1.3
LINT-02	48.8	0.7	4.3	3.0	2.7	4.2	0.4	0.3	0.4	1.8	1.3
LINT-03	20.7	0.9	3.6	2.3	1.3	2.9	0.3	0.2	0.2	0.8	2.0
LINT-04	56.7	0.5	6.3	5.0	2.7	7.6	0.5	0.5	0.7	3.7	1.2
LINT-05	77.7	0.2	14.1	6.6	4.7	10.6	0.6	0.6	0.5	7.4	0.8

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
AVER-01	19.9	1.4	1.2	2.0	19.6	4.3	0.2	1.8	0.1	0.4	5.8
AVER-02	40.4	0.9	3.1	1.9	13.5	15.9	0.2	0.6	0.4	2.0	4.5
AVER-03	60.4	0.5	8.3	2.6	43.7	31.3	0.2	2.0	0.5	9.8	1.8
AVER-04	37.3	1.0	2.6	2.2	42.4	11.9	0.2	2.1	0.2	3.8	2.3
AVER-05	47.1	0.7	4.8	3.1	47.4	8.5	0.3	1.3	0.2	2.8	1.8

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
HHNK-01	60.9	0.5	10.9	7.7	46.8	12.1	1.5	3.8	0.5	7.8	0.9
HHNK-02	67.0	0.4	9.9	8.0	51.6	11.6	1.6	4.1	0.6	7.4	0.9
HHNK-03	74.3	0.3	14.9	4.3	47.3	12.3	0.9	1.6	1.3	8.0	0.9
HHNK-04	70.5	0.3	13.0	3.9	21.7	11.8	0.7	1.3	0.5	8.6	0.8
HHNK-05	86.8	0.1	31.8	17.2	19.8	31.1	3.2	6.3	2.8	22.3	0.8
HHNK-06	78.9	0.2	19.5	13.1	31.6	26.7	2.7	6.1	1.2	20.5	0.7

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
AMST-01	80.9	0.2	20.4	16.5	36.2	38.6	2.5	7.1	4.2	12.1	1.8
AMST-02	36.7	0.9	6.2	4.9	19.7	10.6	0.7	2.0	1.0	3.3	2.4
AMST-03	79.9	0.2	21.4	16.6	33.0	44.8	2.6	6.6	5.4	10.2	2.5
AMST-04	82.7	0.2	23.7	14.8	34.4	50.0	2.1	5.7	6.2	10.5	2.7
AMST-05	70.4	0.3	17.4	10.7	56.7	34.1	1.7	3.6	3.4	8.1	2.4
AMST-06	59.6	0.5	13.9	7.1	62.3	28.1	1.1	2.7	2.9	7.0	2.2

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
TREK-01	23.9	1.3	3.9	3.0	16.9	4.9	0.3	1.0	0.3	0.8	3.7
TREK-02	29.6	1.2	2.5	3.5	20.0	5.3	0.5	1.0	0.6	2.0	1.5
TREK-03	30.1	1.2	2.7	2.3	33.0	5.6	0.3	1.5	0.7	1.5	2.1
TREK-04	30.1	1.1	3.5	3.0	36.1	5.4	0.5	1.9	0.6	1.9	1.6
TREK-05	23.1	1.4	2.0	3.3	20.9	4.4	0.4	1.3	0.3	2.2	1.1

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	g/kg DW							mol/mol
NIEUW-01	43.0	0.8	6.0	7.2	36.6	11.5	1.5	3.2	1.3	2.1	3.2
NIEUW-02	61.8	0.5	10.6	11.1	68.7	19.2	2.3	5.2	3.1	5.2	2.1
NIEUW-03	27.7	1.3	3.2	6.7	41.0	9.9	1.4	3.5	0.5	2.4	2.4
NIEUW-04	59.7	0.5	7.8	11.2	52.3	16.2	2.3	5.3	2.0	4.7	2.0
NIEUW-05	37.4	1.0	3.9	5.0	47.5	8.1	1.0	2.6	0.9	2.7	1.8

TABELLEN RONDE 2, BODEM PARAMETERS IN MOL/KG DROOGGEWICHT (DW). DATA UIT REPLICIA KOLOMMEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%			mmol/kg DW					mol/mol
OOST-01	92.0	0.1	55.6	367.8	484.0	439.1	41.3	177.6	37.0	1035.3	0.4
OOST-03	91.2	0.1	58.4	366.8	484.9	352.9	40.6	180.2	30.7	913.1	0.4
OOST-05	91.5	0.1	62.3	244.0	548.7	294.4	27.8	164.9	26.9	874.1	0.3
OOST-06	92.2	0.1	60.7	374.6	472.6	268.1	41.3	189.2	33.2	796.3	0.3
OOST-07	90.6	0.1	62.2	284.5	578.9	309.9	33.4	191.2	35.8	924.1	0.3

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
POPP-01	86.2	0.1	42.0	360.5	349.2	406.5	30.8	78.2	33.9	516.9	0.8
POPP-02	89.0	0.1	61.2	298.2	504.1	418.3	24.6	112.9	28.6	635.9	0.7
POPP-03	83.7	0.2	36.5	506.6	442.7	669.7	40.7	105.5	65.0	510.7	1.3
POPP-04	89.7	0.1	60.7	304.8	513.3	387.8	23.6	153.1	21.6	905.3	0.4
POPP-09	86.0	0.1	60.0	220.3	589.3	366.1	21.0	140.1	22.1	693.2	0.5

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
VUNT-03	86.2	0.1	56.7	62.2	394.9	56.3	3.0	37.9	8.2	166.0	0.3
VUNT-04	84.4	0.2	44.0	77.6	386.5	34.6	3.3	26.7	9.0	167.1	0.2
VUNT-X	90.3	0.1	58.7	104.6	393.0	59.9	3.0	35.6	16.7	250.0	0.3
VUNT-Y	529.4	0.8	1.4	25.3	15.5	10.6	1.0	4.5	1.4	8.0	1.4
VUNT-Z	113.3	0.1	70.2	85.1	329.1	65.5	3.9	30.5	22.1	354.1	0.2

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
WIED-02	75.2	0.3	52.6	135.5	1378.1	739.1	6.9	33.4	23.7	131.6	5.6
WIED-08	90.2	0.1	59.4	210.1	574.8	721.5	11.9	60.5	46.2	381.1	1.9
WIED-09	92.8	0.1	66.8	184.7	494.8	222.7	10.4	64.1	12.3	393.2	0.6
WIED-X	90.7	0.1	62.5	274.5	460.0	378.6	16.6	74.6	17.1	834.1	0.5
WIED-Y	88.8	0.1	58.9	202.7	532.0	327.8	10.5	57.0	15.3	488.0	0.7

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
WOUD-01	64.1	0.5	10.6	308.9	956.8	301.0	40.9	191.6	91.1	177.3	1.7
WOUD-03	65.2	0.4	12.2	312.3	983.8	345.3	41.6	182.8	174.8	304.8	1.1
WOUD-07	51.6	0.7	7.0	269.9	858.4	220.8	35.1	157.3	49.9	146.3	1.5
WOUD-08	61.2	0.4	12.2	532.3	690.3	366.4	70.4	229.0	88.1	261.1	1.4
WOUD-09	59.5	0.5	13.0	322.4	948.3	371.5	44.1	174.2	89.0	338.2	1.1

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
ZEGV-01	89.3	0.1	59.1	554.1	647.9	262.7	34.2	114.8	28.4	753.2	0.3
ZEGV-03	89.0	0.1	63.1	512.5	631.7	232.4	29.5	142.5	28.0	747.0	0.3
ZEGV-05	89.9	0.1	54.4	609.1	574.4	332.0	41.6	136.6	37.0	785.3	0.4
ZEGV-06	88.1	0.1	66.2	424.8	649.2	229.5	27.3	115.6	37.9	620.3	0.4
ZEGV-07	90.7	0.1	69.0	492.0	652.8	234.7	30.3	124.3	27.4	764.2	0.3

TABELLEN RONDE 3, BODEM PARAMETERS IN MOL/KG DROOGGEWICHT (DW). DATA UIT REPLICAS KOLOMMEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
LINT-01	39.9	0.9	3.2	112.3	47.5	53.2	10.3	12.6	7.7	40.9	1.3
LINT-02	48.8	0.7	4.3	112.6	67.3	75.5	9.0	11.9	13.0	57.2	1.3
LINT-03	20.7	0.9	3.6	86.6	32.5	51.5	7.0	9.9	7.4	25.5	2.0
LINT-04	56.7	0.5	6.3	184.5	67.2	136.9	11.5	18.8	21.1	114.6	1.2
LINT-05	77.7	0.2	14.1	245.4	116.6	189.5	15.8	25.9	16.8	231.9	0.8

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
AVER-01	19.9	1.4	1.2	73.0	488.9	76.4	5.2	74.0	4.2	13.3	5.8
AVER-02	40.4	0.9	3.1	68.6	337.6	285.0	4.4	26.7	12.8	62.8	4.5
AVER-03	60.4	0.5	8.3	96.7	1091.0	560.1	6.2	82.8	17.4	306.4	1.8
AVER-04	37.3	1.0	2.6	82.5	1057.2	212.6	5.8	85.3	6.4	119.5	2.3
AVER-05	47.1	0.7	4.8	115.7	1182.7	152.3	8.5	53.9	7.5	87.0	1.8

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
HHNK-01	60.9	0.5	10.9	285.5	1166.6	216.0	39.1	158.3	16.7	243.5	0.9
HHNK-02	67.0	0.4	9.9	295.6	1288.4	208.1	41.1	169.3	19.0	231.6	0.9
HHNK-03	74.3	0.3	14.9	159.0	1179.2	219.8	23.3	67.2	43.6	248.9	0.9
HHNK-04	70.5	0.3	13.0	145.9	541.6	210.7	18.7	54.3	15.7	267.6	0.8
HHNK-05	86.8	0.1	31.8	638.6	492.8	556.3	82.1	259.5	90.5	694.9	0.8
HHNK-06	78.9	0.2	19.5	487.3	789.5	478.5	69.4	251.4	38.6	640.5	0.7

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
AMST-01	80.9	0.2	20.4	612.5	903.4	690.8	63.9	291.4	135.0	377.1	1.8
AMST-02	36.7	0.9	6.2	180.1	492.7	189.1	17.2	80.4	31.0	102.6	2.4
AMST-03	79.9	0.2	21.4	615.1	823.5	802.2	66.1	271.7	175.7	319.3	2.5
AMST-04	82.7	0.2	23.7	547.5	858.2	895.9	53.6	234.5	199.2	327.8	2.7
AMST-05	70.4	0.3	17.4	396.6	1415.3	610.5	44.1	148.2	111.0	251.5	2.4
AMST-06	59.6	0.5	13.9	264.6	1555.6	503.7	27.5	112.6	94.9	219.4	2.2

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
TREK-01	23.9	1.3	3.9	111.3	422.7	87.4	8.4	42.4	10.3	23.9	3.7
TREK-02	29.6	1.2	2.5	129.5	497.9	95.0	12.5	39.6	18.3	62.9	1.5
TREK-03	30.1	1.2	2.7	84.3	824.4	100.6	8.5	62.0	21.6	47.9	2.1
TREK-04	30.1	1.1	3.5	112.3	900.7	95.9	13.1	77.0	20.5	60.2	1.6
TREK-05	23.1	1.4	2.0	122.5	522.4	78.1	9.7	53.3	10.2	68.8	1.1

Locatie	Vocht- gehalte	Bulk dichtheid	Org. Mat.	Tot. Al	Tot. Ca	Tot. Fe	Tot. K	Tot. Mg	Tot. P	Tot. S	Fe/S
	%	kg/l	%	mmol/kg DW							mol/mol
NIEUW-01	43.0	0.8	6.0	265.8	912.8	205.4	37.7	132.2	42.6	66.1	3.2
NIEUW-02	61.8	0.5	10.6	412.7	1713.7	344.2	58.2	212.1	99.4	161.9	2.1
NIEUW-03	27.7	1.3	3.2	249.8	1023.5	176.6	34.7	142.4	15.3	75.9	2.4
NIEUW-04	59.7	0.5	7.8	416.6	1306.1	290.7	57.9	218.0	63.9	147.2	2.0
NIEUW-05	37.4	1.0	3.9	186.3	1184.1	145.6	25.4	108.1	29.0	83.0	1.8

TABELLEN RONDE 2 PORIEVOCHT PARAMETERS IN MG/ LITER. DATA UIT REPLICAS KOLONNEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	pH	EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		μS/cm	mg/l							mol/mol	
OOST-01	6.7	2152	108	187	328	0.06	212.0	0.08	0.02	0.2	1.2
OOST-03	6.7	1919	160	160	308	0.00	164.7	0.03	0.80	2.0	0.1
OOST-05	7.1	1682	235	115	294	0.01	90.9	0.05	0.12	2.9	0.2
OOST-06	7.0	1668	228	114	293	0.00	91.9	0.05	0.97	4.3	0.0
OOST-07	7.1	2051	405	126	389	0.00	70.0	0.67	0.03	4.6	0.0

Locatie	pH	EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		μS/cm	mg/l							mol/mol	
POPP-01	6.0	1078	20	162	28	6.6	186.9	0.11	0.01	13.9	57.7
POPP-02	6.6	882	46	122	21	5.2	144.2	0.15	0.03	10.2	22.4
POPP-03	6.5	1231	112	225	27	21.5	207.2	0.32	0.01	8.6	40.5
POPP-04	6.8	1065	101	123	55	0.2	148.0	0.02	0.01	4.1	7.4
POPP-09	7.1	1034	120	144	31	0.4	154.7	0.11	0.08	2.4	3.3

Locatie	pH	EGV	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P
		μS/cm	mg/l							mol/mol	
VUNT-03	7.2	432	177	52	42	0.01	16.7	0.08	0.02	2.7	0.2
VUNT-04	7.2	502	133	71	43	0.00	19.6	0.01	0.01	2.2	0.0
VUNT-X	6.9	253	90	27	28	0.01	11.6	0.06	0.04	4.6	0.1
VUNT-Y	7.8	671	247	86	33	0.12	49.1	0.08	0.23	6.3	0.6
VUNT-Z	7.0	300	74	33	31	0.01	19.2	0.04	0.15	2.6	0.2

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
WIED-02	7.0	718	213	120	40	4.4	55.6	0.06	0.01	1.6	51.4
WIED-08	7.0	580	244	89	33	5.9	22.9	0.19	0.03	3.9	19.5
WIED-09	6.7	562	112	78	34	0.7	52.3	0.02	0.02	2.3	23.7
WIED-X	6.9	553	92	79	36	0.0	51.3	0.12	0.01	0.8	1.4
WIED-Y	7.1	595	271	87	37	2.3	8.8	0.07	0.01	4.6	19.1

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
WOUD-01	7.2	2610	809	168	471	3.93	11.0	11.9	0.01	32.1	0.2
WOUD-03	7.4	1542	533	111	181	1.82	37.6	3.8	0.01	22.5	0.3
WOUD-07	7.7	1548	650	110	110	1.77	39.0	5.9	0.02	17.4	0.2
WOUD-08	7.5	2169	765	93	245	1.53	51.7	8.6	0.02	24.0	0.1
WOUD-09	7.7	1186	532	126	90	1.70	26.0	5.3	0.04	14.0	0.2

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
ZEGV-01	6.9	639	229	77	65	0.07	13.3	0.23	0.00	2.8	0.2
ZEGV-03	7.2	661	269	79	57	0.18	11.8	0.37	0.01	6.6	0.3
ZEGV-05	7.2	710	359	88	60	0.13	7.9	0.61	0.01	5.4	0.1
ZEGV-06	7.1	721	341	89	63	2.14	5.9	1.70	0.03	6.1	0.6
ZEGV-07	7.0	595	223	60	72	0.16	11.1	0.56	0.03	6.3	0.2

TABELLEN RONDE 3 PORIEVOCHT PARAMETERS IN MG/ LITER. DATA UIT REPLICIA KOLOMMEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
LINT-01	7.2	1092	381	57.3	107.2	4.4	31.6	1.0	0.06	5.5	3.0
LINT-02	7.3	1012	392	46.8	100.7	4.7	24.9	1.2	0.02	4.1	2.1
LINT-03	7.2	806	121	89.5	58.1	3.8	73.7	0.4	0.11	1.5	7.2
LINT-04	7.1	596	180	58.2	37.8	9.2	39.6	0.7	0.03	5.5	8.3
LINT-05	7.2	568	228	58.0	46.8	1.8	15.9	0.4	0.02	3.2	2.6

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
AVER-01	7.4	743	255	92.0	62.2	0.3	34.0	0.1	0.07	2.2	3.4
AVER-02	7.3	763	438	97.0	55.5	13.4	3.7	0.4	0.04	8.3	22.9
AVER-03	7.3	750	440	93.2	58.8	13.0	2.6	0.5	0.04	4.7	15.2
AVER-04	7.3	959	512	124.2	70.9	11.7	6.7	0.3	0.05	5.0	23.9
AVER-05	7.5	866	384	107.2	62.3	3.0	31.0	0.2	0.03	6.1	7.6

Locatie	pH	EGV <i>μS/cm</i>	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P <i>mol/mol</i>
						<i>mg/l</i>					
HHNK-01	7.8	1035	522	120.8	153	0.1	4.8	7.9	0.10	9.0	0.0
HHNK-02	7.5	1296	625	117.6	142	0.0	3.5	3.8	0.03	14.9	0.0
HHNK-03	7.2	1370	558	111.0	182	4.0	3.3	4.9	0.02	16.6	0.4
HHNK-04	7.5	1312	463	93.1	203	1.2	5.3	2.5	0.02	3.5	0.3
HHNK-05	7.2	4310	685	112.2	1117	4.5	10.6	13.1	0.01	20.0	0.2
HHNK-06	7.5	5540	530	98.9	1719	2.2	14.9	7.1	0.01	6.4	0.2
Locatie	pH	EGV <i>μS/cm</i>	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P <i>mol/mol</i>
						<i>mg/l</i>					
AMST-01	7.2	3555	862	150	835	11.8	2.1	4.5	0.02	22.8	1.6
AMST-02	7.6	3020	607	137	688	6.0	4.5	1.3	0.04	33.6	4.0
AMST-03	7.3	2920	850	150	634	13.8	2.2	4.2	0.04	24.2	1.9
AMST-04	7.4	1805	527	110	362	7.6	1.3	5.3	0.03	10.1	0.8
AMST-05	7.6	2425	526	127	561	5.0	3.4	4.1	0.03	8.0	0.7
AMST-06	7.7	1821	496	125	335	7.8	7.6	2.5	0.04	14.7	1.5

Locatie	pH	EGV <i>μS/cm</i>	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P <i>mol/mol</i>
						<i>mg/l</i>					
TREK-01	7.7	843	269	76.2	87.7	0.2	39.0	0.1	0.05	8.5	2.0
TREK-02	7.9	1280	626	137.7	114.5	0.7	25.9	1.6	0.01	17.1	0.2
TREK-03	7.7	1114	584	134.4	88.3	3.4	14.8	2.2	0.08	12.8	1.1
TREK-04	7.7	958	432	97.6	97.2	1.1	13.5	5.4	0.00	10.2	0.1
TREK-05	7.8	1084	351	94.4	128.6	0.3	32.1	1.2	0.03	3.0	0.1

Locatie	pH	EGV <i>μS/cm</i>	HCO ₃	Ca	Cl	Fe	S	P	N-NO ₃	N-NH ₄	Fe/P <i>mol/mol</i>
						<i>mg/l</i>					
NIEUW-01	7.3	1199	604	123.7	120.0	10.2	3.3	5.2	0.01	23.1	1.2
NIEUW-02	7.3	1140	596	100.6	98.7	2.0	3.2	8.0	0.01	20.5	0.2
NIEUW-03	7.5	931	468	110.1	87.6	8.9	10.2	1.8	0.02	6.0	2.7
NIEUW-04	7.3	1121	480	96.8	139.2	2.8	7.1	6.3	0.00	10.3	0.2
NIEUW-05	7.2	1170	468	97.5	147.2	2.4	14.1	3.1	0.04	15.8	0.4

TABELLEN RONDE 2 PORIEVOCHT PARAMETERS IN $\mu\text{MOL/LITER}$. DATA UIT REPLICAS KOLOMMEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
00ST-01	6.7	2152	1775	4673	9259	1.04	2.6	6612	1.5	12	1.2
00ST-03	6.7	1919	2616	3988	8684	0.08	0.9	5137	57.1	143	0.1
00ST-05	7.1	1682	3851	2879	8296	0.24	1.7	2836	8.5	204	0.2
00ST-06	7.0	1668	3744	2844	8269	0.03	1.7	2865	69.3	305	0.0
00ST-07	7.1	2051	6639	3145	10962	0.09	21.6	2183	2.0	327	0.0

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
POPP-01	6.0	1078	325	4042	804	119.0	3.7	5829	0.4	994	57.7
POPP-02	6.6	882	760	3059	586	92.4	4.9	4496	1.8	731	22.4
POPP-03	6.5	1231	1832	5619	763	385.4	10.3	6460	0.5	617	40.5
POPP-04	6.8	1065	1649	3075	1542	3.8	0.6	4615	1.0	289	7.4
POPP-09	7.1	1034	1962	3592	876	6.3	3.6	4825	5.9	170	3.3

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
VUNT-03	7.2	432	2897	1300	1197	0.2	2.7	522	1.6	191	0.2
VUNT-04	7.2	502	2185	1764	1224	0.0	0.3	611	0.6	160	0.0
VUNT-X	6.9	253	1476	687	789	0.2	2.1	360	2.7	326	0.1
VUNT-Y	7.8	671	4041	2144	926	2.2	2.7	1532	16.4	453	0.6
VUNT-Z	7.0	300	1210	820	873	0.2	1.3	599	10.9	185	0.2

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
WIED-02	7.0	718	3491	2990	1123	78.3	1.8	1734	1.0	113	51.4
WIED-08	7.0	580	3994	2225	917	106.4	6.3	714	2.2	277	19.5
WIED-09	6.7	562	1834	1937	956	12.7	0.5	1632	1.5	162	23.7
WIED-X	6.9	553	1512	1962	1010	0.7	3.9	1601	0.6	57	1.4
WIED-Y	7.1	595	4447	2168	1056	40.8	2.2	274	1.0	330	19.1

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
WOUD-01	7.2	2610	13261	4195	13299	70.3	383.1	343	0.8	2290	0.2
WOUD-03	7.4	1542	8740	2779	5108	32.5	123.6	1172	1.0	1603	0.3
WOUD-07	7.7	1548	10644	2748	3100	31.7	191.9	1217	1.1	1244	0.2
WOUD-08	7.5	2169	12541	2333	6907	27.4	277.1	1611	1.3	1714	0.1
WOUD-09	7.7	1186	8717	3159	2537	30.5	171.3	812	2.7	998	0.2

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	N- NO_3	N- NH_4	Fe/P mol/mol
ZEGV-01	6.9	639	3750	1927	1839	1.3	7.5	415	0.2	201	0.2
ZEGV-03	7.2	661	4405	1975	1601	3.3	12.0	368	0.8	471	0.3
ZEGV-05	7.2	710	5888	2193	1704	2.4	19.7	245	0.7	387	0.1
ZEGV-06	7.1	721	5580	2214	1785	38.3	54.9	185	1.9	437	0.6
ZEGV-07	7.0	595	3654	1500	2043	2.9	18.1	346	2.1	448	0.2

TABELLEN RONDE 3 PORIEVOCHT PARAMETERS IN $\mu\text{MOL/LITER}$. DATA UIT REPLICAS KOLONNEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	NO_3	NH_4	Fe/P mol/mol
LINT-01	7.2	1092	6249	1433	3024	78	986	33	3.9	394	3.0
LINT-02	7.3	1012	6427	1169	2840	84	777	39	1.6	289	2.1
LINT-03	7.2	806	1981	2238	1639	69	2299	13	7.7	104	7.2
LINT-04	7.1	596	2958	1455	1065	164	1235	21	2.4	390	8.3
LINT-05	7.2	568	3743	1450	1319	33	494	12	1.6	230	2.6

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	NO_3	NH_4	Fe/P mol/mol
AVER-01	7.4	743	4185	2299	1754	5.9	1061	1.9	5.00	157	3.4
AVER-02	7.3	763	7185	2425	1564	239.4	115	11.5	2.63	595	22.9
AVER-03	7.3	750	7209	2329	1659	231.9	80	15.5	2.83	336	15.2
AVER-04	7.3	959	8391	3105	2000	210.0	208	9.1	3.63	355	23.9
AVER-05	7.5	866	6292	2680	1758	52.8	967	7.0	2.33	433	7.6

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	NO_3	NH_4	Fe/P mol/mol
HHNK-01	7.8	1035	8559	3019	4311	2.6	148	254	7.1	639	0.01
HHNK-02	7.5	1296	10235	2938	4018	0.5	109	124	2.0	1061	0.00
HHNK-03	7.2	1370	9148	2773	5143	71.0	101	159	1.4	1183	0.45
HHNK-04	7.5	1312	7593	2328	5722	21.9	166	81	1.6	253	0.27
HHNK-05	7.2	4310	11225	2804	31507	79.9	331	422	0.9	1427	0.19
HHNK-06	7.5	5540	8690	2472	48482	40.3	466	229	0.6	456	0.16

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	NO_3	NH_4	Fe/P mol/mol
AMST-01	7.2	3555	14134	3744	23563	212	65.6	144.0	1.17	1624	1.6
AMST-02	7.6	3020	9944	3427	19414	108	139.2	40.8	2.97	2396	4.0
AMST-03	7.3	2920	13936	3756	17893	247	70.1	134.4	2.76	1725	1.9
AMST-04	7.4	1805	8640	2759	10202	136	40.3	172.7	2.42	721	0.8
AMST-05	7.6	2425	8628	3166	15827	90	106.3	133.9	2.06	570	0.7
AMST-06	7.7	1821	8130	3131	9457	140	236.1	79.2	2.59	1053	1.5

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	NO_3	NH_4	Fe/P mol/mol
TREK-01	7.7	843	4406	1906	2475	4.0	1215	2.0	3.5	605	2.0
TREK-02	7.9	1280	10256	3442	3229	12.5	806	53.1	0.7	1222	0.2
TREK-03	7.7	1114	9563	3359	2491	61.3	463	71.8	6.1	915	1.1
TREK-04	7.7	958	7085	2438	2743	20.0	422	173.0	0.3	729	0.1
TREK-05	7.8	1084	5755	2358	3627	5.2	1001	38.1	2.4	216	0.1

Locatie	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	HCO_3	Ca	Cl	Fe	S	P	NO_3	NH_4	Fe/P mol/mol
NIEUW-01	7.3	1199	9894	3093	3386	181.8	102.6	167.2	0.39	1650	1.2
NIEUW-02	7.3	1140	9769	2513	2784	35.8	101.0	257.8	0.47	1464	0.2
NIEUW-03	7.5	931	7676	2753	2470	159.3	316.9	57.4	1.76	427	2.7
NIEUW-04	7.3	1121	7863	2419	3927	49.9	222.2	204.7	0.32	738	0.2
NIEUW-05	7.2	1170	7664	2438	4153	43.0	438.6	99.3	3.05	1129	0.4

TABELLEN RONDE 2 VELDDATA EN GHG FLUX EN OPBOUW DATA. DATA UIT REPLICAS KOLONNEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
OOST-01	52.472	4.88248	6.93	15.6	760	15.5	20	40	8.81	1116.59	0.66
OOST-03	52.4687	4.87776	7	16.4	1590	19.6	10	30	15.34	1189.98	0.59
OOST-05	52.466	4.87231	7	16.2	1561	16	10	30	20.56	1342.27	3.73
OOST-06	52.4674	4.87112	7	16.2	1558	16.1	25	50	39.78	771.17	10.9
OOST-07	52.4624	4.8592	7	16.2	1625	16.4	30	70	19.33	613.19	3.48

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
POPP-01	53.0566	5.91486	6.94	19.1	359	18.9	40	40	740.13	2129.18	367.47
POPP-02	53.0572	5.90954	6.8	18.8	381	18.6	50	50	162.28	1571.3	63.62
POPP-03	53.0566	5.92267	7.51	19.4	375	19.4	30	30	18.24	933.39	11.27
POPP-04	53.0663	5.91043	7.69	19.3	967	19.2	20	20	432.19	2679.09	14.77
POPP-09	53.0607	5.91062	7.04	19.9	523	19.7	40	40	19.04	636.89	2.9

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
VUNT-03	52.2129	5.07098	ND	ND	ND	ND	40	150	531.35	304.3	51.76
VUNT-04	52.2119	5.08633	ND	ND	ND	ND	50	100	215.39	532.47	10.58
VUNT-X	52.212	5.09626	ND	ND	250	20.6	25	80	325.6	847.21	-0.02
VUNT-Y	52.211	5.08299	ND	ND	ND	ND	45	80	96.37	406.7	1.43
VUNT-Z	52.215	5.09735	ND	ND	ND	ND	40	110	398.63	644.9	195.42

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
WIED-02	52.7137	6.01721	ND	ND	440	17.6	75	170	17.33	224.74	0.2
WIED-08	52.7126	6.03708	ND	ND	386	19.3	60	90	68.38	492.04	6.87
WIED-09	52.7127	6.02249	ND	ND	338	18.8	105	105	52.31	359.65	5.26
WIED-X	52.7091	6.01663	ND	ND	411	17.4	70	70	97.5	654.23	3.5
WIED-Y	52.7086	6.01802	ND	ND	410	17.7	80	80	1505.66	614.37	600.94

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
WOUD-01	52.0058	4.29039	ND	ND	853	18.4	32	32	28.71	891.39	53.18
WOUD-03	52.0066	4.29197	ND	ND	887	19.4	35	40	21.77	782.65	175.2
WOUD-07	52.0074	4.30248	ND	ND	781	18.7	9	9	135.22	1162.93	96.57
WOUD-08	52.0096	4.30043	ND	ND	951	18.7	7	7	133.64	932.67	1551.73
WOUD-09	52.0078	4.30217	ND	ND	645	19.5	18	32	17.91	417.42	4.82

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
ZEGV-01	52.1367	4.83781	ND	ND	534	21.4	32	32	95.25	1615.77	168.85
ZEGV-03	52.1267	4.84029	ND	ND	599	20.6	50	50	2074.74	2908.57	1161.06
ZEGV-05	52.136	4.84167	ND	ND	600	21.6	35	35	208.54	2477.8	421.36
ZEGV-06	52.1336	4.83339	ND	ND	573	21.9	55	62	122.25	1430.38	2.11
ZEGV-07	52.1396	4.83309	ND	ND	513	23.8	20	20	833.97	2328.27	345.64

TABELLEN RONDE 3 VELDDATA EN GHG FLUX EN OPBOUW DATA. DATA UIT REPLICIA KOLOMMEN IS BINNEN ELKE CASUS GEMIDDELD PER LOCATIE

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
AMST-01	5.2E+07	4881795	8.16	13.8	2042	13.8	75	200	12.77	126.16	2.27
AMST-02	5.2E+07	4884132	8.15	13.8	2240	13.8	90	235	59.4	317.7	196.24
AMST-03	5.2E+07	4898355	8.11	13.9	2210	13.9	95	180	14.81	262.34	-0.09
AMST-04	5.2E+07	4914100	8.18	14.1	1334	13.1	160	220	45.1	447.95	0.86
AMST-05	5.2E+07	4914227	8.19	15.5	918	15.5	95	300	4.17	141.75	-0.09
AMST-06	5.2E+07	4921716	8.17	14.7	1557	17.7	95	170	115.83	1142.19	69.1

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
AVER-01	5230445	622550	7.22	18.1	627	18.1	52	52	20.33	834.47	2.07
AVER-02	5231020	620685	7.71	18.2	626	18.2	45	45	92.94	1454.37	5.13
AVER-03	5231449	619502	7.94	18.4	615	18.4	43	43	105.89	1202.34	11.79
AVER-04	5231405	619566	8.04	18.5	621	18.5	57	57	1401.8	2010.28	2741.86
AVER-05	5229646	624427	8.33	18.8	623	18.8	155	155	112.23	2346.02	5.04

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
HHNK-01	5.3E+08	4.9E+07	7.84	16.4	1025	ND	100	165	21.99	637.56	35.37
HHNK-02	5.3E+08	4930683	7.7	16.3	1052	ND	105	115	31.81	526.16	21.76
HHNK-03	5.3E+07	4682708	7.77	16.2	1596	ND	90	80	116.24	544.52	155.38
HHNK-04	5.3E+08	4682291	7.74	14	686	ND	75	108	173.55	1247.78	37.51
HHNK-05	5.2E+08	4.8E+07	7.97	15.8	3450	ND	20	200	3.71	483.98	1.23
HHNK-06	5.2E+07	4766800	7.89	16.6	6070	ND	35	220	7.23	387.6	1.23

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	RD	RD		°C	uS/cm	°C	cm	cm	mg CO ₂ eq./m ² /d		
LINT-01	5.3E+07	6524658	7.97	18	965	17.7	70	70	69.65	2685.12	135.01
LINT-02	5.3E+07	6822137	7.96	17.4	900	17.2	85	85	144.7	1792.16	133.65
LINT-03	5.3E+07	6542082	7.77	16.8	496	16.7	60	60	64.83	2797.97	5.04
LINT-04	5.3E+07	6549620	7.6	16.7	395	16.4	80	100	130.43	2621.77	147.79
LINT-05	5.3E+07	6545927	7.48	16.7	417	16.5	60	70	176.54	1610.51	144.42

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	<i>RD</i>	<i>RD</i>		°C	<i>uS/cm</i>	°C	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>mg CO₂ eq./m²/d</i>		
NIEUW-01	5.2E+07	4189280	7.45	13.6	556	14	55	75	14.75	617.16	23.84
NIEUW-02	5.2E+07	4190820	7.43	13.5	573	14	85	150	10.15	682.68	3.78
NIEUW-03	5.2E+07	4189572	7.56	13.7	548	14.3	70	70	10.94	573.79	2.5
NIEUW-04	5.2E+07	4193325	7.63	13.9	519	14.3	75	150	21.65	371.63	19.83
NIEUW-05	5.2E+07	4196928	7.65	14.2	516	15.9	65	100	13.51	580.32	12.5

Locatie	Velddata								GHG fluxen		
	x-coord	y-coord	pH	temp (pH)	EGV	temp (EGV)	Doorzicht	Diepte	CH ₄ flux	CO ₂ flux	Opbouw CH ₄ (48h)
	<i>RD</i>	<i>RD</i>		°C	<i>uS/cm</i>	°C	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>mg CO₂ eq./m²/d</i>		
TREK-01	5236778	461542	7.9	13.8	868	14	80	180	43.55	749.74	523.37
TREK-02	5235304	460383	7.89	14	876	13.9	65	200	10.27	811.15	4.56
TREK-03	5231359	456882	7.93	14.1	876	14.2	60	190	198.44	2417.88	7521.85
TREK-04	5227714	453623	7.88	14	870	14.2	65	190	34.55	1169.63	9.61
TREK-05	5222660	446827	8.2	14.2	965	14.2	70	230	53.76	1036.41	469.07

BIJLAGE VI

BEGRIPPENLIJST

Begrip	Definitie
Bioturbatie	Het door elkaar werken en verplaatsen van sediment door organismen (zowel planten als dieren)
CircSed	Modelinstrumentarium ontwikkeld door STOWA om in beeld te brengen hoe waterbeheerders baggerspecie het best circulair kunnen toepassen. Één van de criteria is de uitstoot van broeikasgasemissies.
Climate-carbon feedback	Deze term refereert naar het effect dat het veranderende klimaat heeft op de koolstofcyclus en vice versa. Door het veranderende klimaat komt er meer CO ₂ vrij bij bijvoorbeeld bosbranden en afbraakprocessen, waardoor het klimaat nog sterker verandert (positieve feedback-loop). Door opname van CO ₂ door planten, de bodem en oceanen wordt verdere opwarming juist afgeremd (negatieve feedback-loop).
CO ₂ eq (CO ₂ equivalent)	Dit is het effect van een kg CO ₂ uitstoot op klimaatopwarming. Deze eenheid wordt gebruikt om het opwarmend vermogen van verschillende gassen te kunnen vergelijken. Zie ook GWP.
DIGS	Decreasing greenhouse gas emissions from surface waters by climate-smart water management. Onderzoek van diverse onderzoeksinstituten en water management stakeholders naar broeikasgasemissies uit oppervlaktewateren, met aandacht voor effecten van (waterkwaliteits)maatregelen.
DuNaG	Duurzaam Nat Grondverzet voor natuur en klimaat. Onderzoek naar de omvang van broeikasgasemissies als gevolg van nat grondverzet.
Ebullitie	Uitstoot van broeikasgassen via opborreling van gasbellen
Eddy Covariantie masten	Met deze methode worden met gevoelige apparatuur vanaf een mast luchtbeweging en concentraties van gassen geregistreerd. Door deze gegevens te combineren kan de uitstoot van (broeikas)gassen in een bepaald gebied gemeten worden.
GWP	Global warming potential (aardopwarmingsvermogen). Dit is een aanduiding voor de mate waarin een broeikasgas kan bijdragen tot klimaatopwarming. Het GWP is een relatieve maat: het opwarmingsvermogen in een periode van 100 jaar van een kg van een bepaald broeikasgas ten opzichte van een kg CO ₂ . Dit wordt meestal uitgedrukt in CO ₂ equivalenten (een CO ₂ equivalent is het effect van een kg CO ₂ -uitstoot op klimaatopwarming).
Kamermetingen	Met deze methode wordt in het veld een fluxkamer op het water gezet. Dit is een soort omgekeerd aquarium dat alle gassen opvangt die vrijkomen. De gassen worden vervolgens gemeten.
Kolommetingen	Met deze methode worden bodemkolommen verzameld in het veld, waarna in het laboratorium broeikasgasemissie wordt gemeten.
Kortcyclisch CO ₂	CO ₂ die in kortcyclische bronnen zit, zoals biomassa en bodem, waarbij de koolstofkringloop wordt gesloten door opname van CO ₂ door planten, bomen en algen.
Langcyclisch CO ₂	CO ₂ die in langcyclische bronnen zit opgeslagen (geologische, atmosferische, oceaan en minerale CO ₂ -opslag. Fossiele bronnen, zoals aardolie, aardgas, steenkolen en bruinkool, vallen hier ook onder. Het duurt miljoenen jaren voordat deze grondstoffen zijn aangevuld.
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry (landgebruik, veranderingen in landgebruik en bosbouw). Broeikasgasemissies en CO ₂ -verwijdering van deze sector worden jaarlijks gerapporteerd aan het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties en de klimaatboekhouding over het Kyoto-protocol. Daarnaast worden er LULUCF klimaatrapportages opgesteld voor de Europese Commissie.
Methaanoxidatie	De afbraak van methaan door bepaalde micro-organismen. Hierbij wordt methaan met behulp van zuurstof afgebroken tot CO ₂ en water.
Methanogenese	De vorming van methaan door bepaalde micro-organismen. Hierbij wordt een koolstofverbinding (zoals CO ₂ of azijnzuur) omgezet naar methaan. Hierbij wordt geen zuurstof gebruikt.
NOVB	Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden. Onderdeel van het klimaatakkoord, sector landbouw en landgebruik. Dit onderzoek richt zich op uitstoot van broeikasgassen uit bodem en oppervlaktewater in veenweidegebieden.
Technology readiness levels (TRL)	Dit is een door de NASA bedacht systeem om aan te geven in welke fase de ontwikkeling van een nieuwe technologie zit. Deze niveaus lopen van 1 (ontdekking van de technologie) tot 9 (technologie is marktklaar).
Gg	gigagram (10 ⁹ g)
Tg	teragram (10 ¹² g)
Mt	megaton (100 miljoen kg of 10 ¹² g)
Pg	petagram (10 ¹⁵ g)

Begrip	Definitie
TIC	Total Inorganic Carbon. Dit is de som van anorganische koolstofsoorten, zoals CO ₂ , koolzuur of (bi)carbonaat.
TOC	Total Organic Carbon. Dit geeft aan hoeveel koolstof er in organische stoffen in het water of in de bodem zit.
Tier	Een bepaalde rangorde, preferentie of categorie
DOC	Dissolved organic carbon. Dit is de fractie organische koolstof in water die door een filter past van 0,22-0,7 micrometer. Dit koolstof zit in verschillende stoffen, van simpele koolwaterstoffen tot complexe humuszuren.