

Monitoring waterkwaliteit en vegetatieontwikkeling in de Volgermeerpolder

Monitoringsjaar 2021



-Eindrapport-

Opdrachtgever: Gemeente Amsterdam • Projectnummer: PR 21.054 • Rapportnummer: RP-21.054.21.112

Auteurs: Yvon Verstijnen, Jelmer van Doorn, Eva Remke, Fons Smolders en Piet-Jan Westendorp •

Datum: 26-07-2022

Monitoring waterkwaliteit en vegetatieontwikkeling in de Volgermeerpolder

Monitoringsjaar 2021

Definitief

Yvon Verstijnen
Jelmer van Doorn
Eva Remke
Fons Smolders
Piet-Jan Westendorp



Titel rapport:

*Monitoring waterkwaliteit en vegetatieontwikkeling in de Volgermeerpolder, monitoringsjaar 2021
Eindrapport v2*

Auteurs:

Yvon Verstijnen, Jelmer van Doorn, Eva Remke, Fons Smolders en Piet-Jan Westendorp

Opdrachtgever:

Gemeente Amsterdam

Contactpersoon: Frank van Hage, Ariënne Henstra



Rapportnummer:

RP-21.054.21.112

Contactgegevens:

Onderzoekcentrum B-WARE BV
Radboud Universiteit Nijmegen
Mercator III, Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

Contactpersoon:

Yvon Verstijnen MSc

Tel: 024-21 22 206

y.verstijnen@b-ware.eu

www.b-ware.eu

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	De rapportage	2
2	Methode	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Monstername monitoring waterkwaliteit	4
2.3	Laboratoriumanalyses monitoring waterkwaliteit	7
2.4	Inventarisatie watervegetatie	7
2.5	Monstername monitoring veenontwikkeling	8
2.6	Respiratieproef monitoring veenontwikkeling	8
2.7	Laboratoriumanalyses organisch materiaal en respiratieproef	9
3	Resultaten	11
3.1	Ontwikkeling waterkwaliteit en vegetatie.....	11
3.1.1	Effecten inlaat boezemwater.....	12
3.1.2	Voedselrijkdom van het oppervlaktewater	12
3.1.3	Chlorofyl-a concentraties	13
3.1.4	Buffercapaciteit	15
3.1.5	De aanwezigheid van waterplanten en kranswieren	16
3.1.6	Sulfaatdynamiek in relatie tot veenontwikkeling.....	19
3.2	Monitoring veenontwikkeling	19
3.2.1	Ophoping organisch materiaal.....	20
3.2.2	Samenstelling organisch materiaal	21
3.2.3	Respiratieproef veenontwikkeling	23
3.2.4	Pilotonderzoek slib- en rietinbreng.....	30
4	Conclusies.....	33
5	Referenties	35
6	Bijlagen	37

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Ten noorden van Amsterdam, tegen het dorp Broek in Waterland, ligt het recreatie- en natuurgebied de Volgermeerpolder. Tussen 1920 en 1955 vond in dit gebied nog veenwinning plaats. Van het gewonnen veen werd turf gemaakt, dat in die tijd werd gebruikt als brandstof. Door de veenwinning ontstonden petgaten: diepe langgerekte wateren. In deze petgaten werd afval gestort. Aanvankelijk betrof dit alleen huisvuil, maar in de periode 1950-1980 werden ook grote hoeveelheden chemisch afval in de Volgermeerpolder gestort. Zo ontstond onder de rook van Amsterdam één van de grootste stortplaatsen van Nederland en West-Europa (Buijs *et al.*, 2005). In de jaren 1980 kwam steeds meer het besef wat zich op de Volgermeerpolder had voltrokken. Hoewel de Volgermeerpolder een jaar na de eerste ontdekking van gifvaten werd afgesloten duurde het uiteindelijk nog vele jaren voor de sanering plaatsvond. Om contact- en verspreidingsrisico van het afval te voorkomen, werd voor de sanering van de Volgermeerpolder gekozen voor een bovenafdichtingsconstructie in combinatie met een monitoringszone. De bovenafdichting bestaat uit grond en een HDPE-folie als waterremmende laag. De toegepaste grond op de Volgermeerpolder is hoofdzakelijk afkomstig uit de regio. HDPE-folie heeft echter een beperkte levensduur, van circa 70 tot 100 jaar. Om te voorkomen dat de folie op termijn moet worden vervangen en het gebied weer zou moeten worden afgegraven, werd een innovatief concept ontwikkeld: de 'Natural Cap'. Dit concept betreft een geleidelijke, functionele overname van de kunstmatige bovenafdichtingsconstructie door een natuurlijke laag van een levende veenvormende vegetatie, die leidt tot de ontwikkeling van een afdichtende laag organisch materiaal.

In het inrichtingsplan (Vista, 2001) van de Volgermeerpolder worden verschillende natuurdoelen beschreven. Het gaat hierbij om zowel droge als natte natuurdoelen (zie ook eerdere rapporten zoals Witteveen+Bos, 2019; Verstijnen *et al.*, 2020). In deze rapportage worden uitsluitend de natte natuurdoelen behandeld. Het gaat hierbij om:

1. Helder en plantenrijk water (watergangen, sawa's);
2. Veenvorming en verlanding (in de sawa's).

Vanaf 2008 kwam tijdens de realisatiefase van de sanering meer aandacht voor de ecologische ontwikkelingen in het gebied. Destijds werd aan de Advies Combinatie Volgermeerpolder gevraagd om advies te geven over het realiseren en behouden van een goede waterkwaliteit. Daarna volgden adviezen over vegetatieontwikkeling, maaibeheer, waterbeheer en veenontwikkeling. De Advies Combinatie Volgermeerpolder (ACV) schreef een beheerplan en een monitoringsplan (ACV, 2010 en 2011) voor de Volgermeerpolder, dat in de jaren erna werd gebruikt, geëvalueerd en bijgesteld. Het is belangrijk om de ecologische ontwikkeling van de Volgermeerpolder te blijven volgen, zodat met beheer tijdig kan worden geanticipeerd op zowel gewenste als ongewenste situaties en om te bepalen of veenontwikkeling perspectief heeft.

Evaluatie en visie op monitoring 2020-2030

De waterkwaliteit op de Volgermeerpolder wordt sinds 2011 structureel gevolgd. Deze is nog steeds (heel) goed (helder en soortenrijk water), zeker in vergelijking met het (troebele en soortenarme) water uit de Waterlandse boezem. Een goede waterkwaliteit is voor de Volgermeerpolder erg belangrijk en niet alleen voor de biodiversiteit of beleving. In een robuust watersysteem treden problemen met bijvoorbeeld blauwalgen of botulisme minder snel op. Daarbij is voor de vorming van de 'Natural cap' water nodig dat geschikt is voor veenontwikkeling.

Tot en met 2020 heeft er jaarlijks een monitoring van de waterkwaliteit plaatsgevonden in 13 watersystemen binnen de Volgermeerpolder (o.a. Verstijnen et al., 2021). In 2020 heeft een uitgebreide evaluatie van de ecologische ontwikkelingen en de monitoring plaatsgevonden. Naar aanleiding van deze evaluatie heeft Gemeente Amsterdam een visie op ecologie en beheer voor de komende 10 jaar opgesteld. Aan de hand van de visie is het monitoringsplan aangepast (Bijlage 5 van de offerte-uitvraag). Sinds de opening van het gebied in 2011 is er meer zicht op de ontwikkeling van natuurdoelen en waterkwaliteit. In de visie is opgenomen dat de haalbaarheid van veenontwikkeling beter gevolgd moet worden. Veenontwikkeling is voor de sawa's het uiteindelijke natuurdoel. Deze verloopt echter via verschillende stadia, waarin de waterkwaliteit van cruciaal belang is. Voorwaarde voor een goede (laag)veenontwikkeling is matig voedselrijk oppervlaktewater waarin waterplanten en helofyten domineren. Als gevolg van de matige voedselrijkdom heeft dit watertype vaak een hoge biodiversiteit. De veenontwikkeling zelf kost tijd en is een balanskwesitie van afbraak en ophoping van organisch materiaal. In eerdere rapportages worden de natuurdoelen van de Volgermeerpolder meer uitgebreid beschreven (Witteveen+Bos, 2019; Verstijnen *et al.* 2020).

In het nieuwe monitoringsplan worden de ontwikkelingen van de waterkwaliteit en het eventueel optreden van (blauw)algenbloei nog steeds gevolgd. Nieuw onderdeel van de monitoring is het kwantificeren van de ophoping van organisch materiaal tot nu toe (0-meting) en dit structureel te volgen in de komende jaren, zodat hierover na een periode van circa 10 jaar onderbouwde besluiten kunnen worden genomen.

1.2 De rapportage

In deze rapportage worden de resultaten van de monitoring van waterkwaliteit en veenontwikkeling (0-meting ophoping organisch materiaal) in 2021 besproken. In hoofdstuk 2 volgt een beschrijving van de gehanteerde methodes. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de resultaten van de monitoring beschreven. In hoofdstuk 4 zijn conclusies en aanbevelingen opgenomen. Tot slot volgen nog een opsomming van gebruikte literatuur en bronnen en zijn nog enkele bijlagen met data en figuren opgenomen.

2 METHODE

2.1 Inleiding

Om de ontwikkeling van de natte natuurdoelen (helder plantenrijk water en veenvorming) te volgen en te evalueren worden deze gemonitord. Waterkwaliteit en vegetatie-ontwikkeling werden tot nu toe jaarlijks op verschillende momenten in het groeiseizoen in 13 wateren (sawa's, centrale watergang en zijtakken V7 en V9 en het rietmoeras R13) van de Volgermeerpolder bemonsterd. Deze wateren zijn destijds als monitoringslocaties gekozen om een beeld te krijgen van de ontwikkelingen in het hele gebied. Nu, na circa 10 jaar monitoring zijn er op basis van de monitoringsresultaten en ervaringen enkele nieuwe monsterlocaties geselecteerd en worden nu voortaan in totaal 9 wateren gevolgd (Tabel 2.1).

Voor de selectie van monitoringslocaties is rekening gehouden met de samenhang tussen de verschillende doelen en een efficiënte uitvoering van de monitoring. De uiteindelijke selectie van de locaties voor de monitoring van ophoping van organisch materiaal (OM) werden na het uitvoeren van oriënterende metingen (mei 2021) vastgelegd. In het nieuwe monitoringsplan van de gemeente worden deze keuzes voor de monitoringslocaties nader toegelicht. In 2020 werden voor bijna alle sawa's op basis van verschillende kenmerken als oppervlakte en diepte, doelen opgesteld (Witteveen+Bos, 2020; Tabel 2.1) .

Sinds 2017 wordt een pilot uitgevoerd in 4 sawa's (B & L-sawacluster), waarin getracht wordt de veenvorming in de sawa's te stimuleren door voedselrijkere bodems (slootbagger) in te brengen, rietmaaisel toe te voegen en vraatbescherming toe te passen. In de pilot werden voorheen de vegetatieontwikkeling en biogeochemische processen in oppervlaktewater, bodem en porievocht gevolgd. Door (met name) problemen met de uitvoering van het waterbeheer werden in 2020 en 2021 in de pilot geen metingen aan bodem of porievocht uitgevoerd, maar werd de pilot alleen nog extensief gevolgd door veenvormende vegetatie (riet, lisdodde en zeebies) te monitoren.

In de monitoring van veenontwikkeling zijn locaties betrokken waar momenteel wel en waar geen organisch materiaal ophoopt. Op deze locaties werd vastgelegd welke vegetatie aanwezig is. Indien organisch materiaal aanwezig was, werd onderzocht wat de afbreekbaarheid hiervan is (elementair op basis van ICP en CN-analyse i.c.m. respiratie-metingen, zie paragraaf 2.6 en 2.7). Dit om te bepalen of de ophoping van het organische materiaal ook op langere termijn blijvend is of dat deze op termijn alsnog (langzaam) wordt afgebroken en de ophoping van organisch stof slechts van tijdelijke aard is.

Tabel 2.1. Selectie van wateren voor de monitoring van waterkwaliteit en veenontwikkeling. OM = organisch materiaal. Tevens is weergegeven welk 'doel' er voor de sawa is opgesteld (Witteveen+Bos, 2020).

Monitoring waterkwaliteit	Relevante aspecten voor selectie	Monitoring veenvorming	Relevante aspecten voor selectie**	Doel
A1*	Controle en spreiding	A1	Klein, veel begroeiing, veel OM	Riet
D2*	Diepe sawa, risico blauwalg			Krabbenscheer
E3	Diepe sawa, risico blauwalg			Riet
F2	Diepe sawa, risico blauwalg			Riet
F6*	Diepe sawa, risico blauwalg			Krabbenscheer
H5	Controle en spreiding	H5	Klein, OM gemeten voorheen	Riet
I3	Controle en spreiding			Overig
L1	Controle en spreiding, tevens pilot			Riet
V1*	Ter check waterkwaliteit bufferwater, effect inlaat boezem*			Overig
		B1	Groot, variatie in begroeiing en OM	Riet
		C3	Middelgroot, veel begroeiing, weinig OM	Riet
		D4	Middelgroot, variatie in rietgroei en OM	Riet
		E4	Groot, abrupte overgang van kraag met OM naar kale bodem	Riet
		G1	Middelgroot, veel begroeiing, weinig OM	Krabbenscheer
		I2	Groot, zandbodem, begroeiing	Overig
		L6	Klein, veel dun riet, weinig OM	Riet

* Onderdeel van monitoringsprogramma voorgaande jaren.

**beschreven in de memo 'Bepalen sawa's t.b.v. veenvorming' (Henstra, A. 7-5-2021).

2.2 Monsternamen monitoring waterkwaliteit

Gedurende het zomerhalfjaar van eind april tot en met eind augustus 2021 werden viermaal de 9 verschillende wateren (sawa's en centrale watergang) op de Volgermeerpolder bemonsterd (Figuur 2.1). De meetmethodiek sluit aan op de KRW-monitoringstrategie van oppervlaktewateren en is

geschikt om eventuele variatie in het seizoen te kunnen volgen. In elk water werden de volgende metingen uitgevoerd:

- Veldmetingen: pH, EGV (met behulp van HQD-meter), doorzicht (secchi-schijf) (oppervlaktewater);
- Monsternamen van oppervlaktewater:
 - Ten behoeve van o.a. elementenanalyses en chlorofylbepaling (maat voor algenbiomassa);
 - Eenmalig is een extra watermonster genomen van het inlaatwater van het gebied (april).
- Eenmalig (september) een opname van de waterplantenbedekkingen.

Oppervlaktewatermonsters werden 10 cm onder het wateroppervlak verzameld en luchtdicht afgesloten in HDPE potten.

In september werden ook de vier sawa's bezocht waar sinds 2017 de pilotstudie plaatsvindt (Witteveen+Bos, 2018). Het betreft de sawa's L1, L4, L5 en B5. In elke sawa zijn drie plots van 1 m² (PQ's) uitgezet (m.u.v. sawa L5, waar zich zes plots bevinden). In deze sawa's werden de volgende metingen uitgevoerd:

- Eenmalig 'eenvoudige' vegetatieopname per PQ.



Figuur 2.1. Overzicht van de Volgermeerpolder met de meetlocaties van de monitoring van waterkwaliteit en vegetatie zoals ze in 2021 werden bemonsterd (witomrande locaties). Zie Witteveen+Bos (2020) voor de stroomrichtingen.

2.3 Laboratoriumanalyses monitoring waterkwaliteit

Na monsternamen werden de oppervlaktewatermonsters voor de auto-analyser 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.

Chlorofyl-a in water

Het chlorofyl-a gehalte werd bepaald met behulp van een **PhytoPam**. Hierbij werd op basis van fluorescentie niet alleen een chlorofyl-a waarde bepaald, maar werden ook de gemeten chlorofyl-concentraties gesplitst in groenalgal, blauwalgal en kiezelwier (diatomeeën).

Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)

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 ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van respectievelijk 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.

Metingen oppervlaktewater

In april werden de volgende variabelen in het laboratorium gemeten: De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl_2 elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO_2 en HCO_3^-) werd bepaald met behulp van infrarood gasanalyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met $0,01 \text{ mol l}^{-1}$ zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5).

2.4 Inventarisatie watervegetatie

Opname waterplantenbedekking

De inventarisatie van de vegetatie werd, met een kleine aanpassing, uitgevoerd conform de methode van voorgaande jaren (Witteveen+Bos, 2019; Verstijnen *et al.*, 2020).

In de hiervoor genoemde 9 wateren (Tabel 2.1; monitoring waterkwaliteit) werden half september opnames gemaakt van de watervegetatie. Hierbij werden de bedekkingspercentages van de ondergedoken waterplanten geschat. In aanvulling op de methode van voorgaande jaren werd ook de bedekking van helofyten ingeschat. De opnames konden vlakdekkend worden gemaakt door met een waadbroek door de sawa's te lopen. Tijdens het systematisch aflopen van de sawa's werden schattingen gemaakt van het percentage van de sawa dat bedekt was met water, percentages kranswieren, hogere waterplanten, helofyten en indien van toepassing het percentage kale waterbodem. De percentages kranswieren en hogere waterplanten werden geschat op basis van het open wateroppervlak en niet op basis van de gehele water (aangezien het schatten van deze bedekkingen tussen de helofyten lastig is). Deze methode geeft een globaal beeld van de vegetatie ontwikkeling in de wateren.

Vegetatieopnamen pilotsawa's

In de pilotsawa's werden in de PQ's (1 m²) waar in voorgaande jaren bodemvocht werd verzameld, het voorkomen van riet, lisdodde en zeebies (heen) met de Braun-Blanquet schaal geïventariseerd (zie Tabel 2.1).

Tabel 2.2. Toegepaste Braun-Blanquet symbolen en bedekkingen.

Symbool	Bedekking (%)	Abundantie
r	≤1	1 individu
+	≤1	2-5 individuen, aanwezig
1	≤5	6-50 individuen, duidelijk aanwezig
2m	≤5	>50 individuen, sterk aanwezig
2a	5-15	n.v.t.
2b	16-25	n.v.t.
3	26-50	n.v.t.
4	51-75	n.v.t.
5	76-100	n.v.t.

2.5 Monstername monitoring veenontwikkeling

Begin juli 2021 werden in 9 sawa's (Tabel 2.1, monitoring veenontwikkeling) monsters genomen van het opgehoopte organisch materiaal. Dit werd steeds gedaan op een raai van drie monsterpunten, vanaf de oever tot in het open water (Bijlage II). De locaties werden vastgelegd met een dGPS. Indien aanwezig werd het opgehoopte materiaal zo mogelijk bemonsterd met een grondboor of met de hand. In het veld bleek het namelijk erg lastig om met name in de rietkragen goede monsters te nemen van de bodem inclusief het aanwezige organisch materiaal en daarbij ook rekening te houden met de onderliggende folie. Per locatie werd een inschatting gemaakt van de laagdikte van het organisch materiaal.

Op de locaties werd, binnen een vlak van 1 m² rondom het monsterpunt, ook een vegetatieopname (bedekkingen) gemaakt met speciale aandacht voor veenvormende vegetatie (riet, lisdodde en zeebies).

Het bemonsterde organisch materiaal werd luchtdicht verpakt en in het laboratorium verwerkt voor verdere analyse. Zie paragraaf 2.7. Een deel van het verse materiaal werd gebruikt in een respiratieproef om de afbreekbaarheid van het materiaal vast te stellen (paragraaf 2.6).

2.6 Respiratieproef monitoring veenontwikkeling

In een laboratorium experiment werd onder gecontroleerde omstandigheden de productie van koolstofdioxide en methaan onderzocht als maat voor de afbreekbaarheid van het organisch materiaal uit de sawa's. Er zijn drie behandelingen ingezet: (1) anaeroob (zuurstofloos) met extra toevoeging van sulfaat, (2) anaeroob en (3) aeroob (zuurstofhoudend) (Figuur 2.2). Er is gekozen voor een extra sulfaatadditie om te onderzoeken of een verhoogde sulfaatconcentratie leidt tot een verhoogde afbraak. Voor de Volgermeerpolder is dit zeer relevant, vanwege de aanwezigheid van zwavelrijke bodems en het hoge zwavelgehalte van de Waterlandse boezem. Bij waterinlaat vanuit de boezem in drogere perioden kan mogelijk extra sulfaat worden aangevoerd naar de sawa's. Sulfaat kan onder zuurstofarme of zuurstofloze omstandigheden als alternatieve elektronenacceptor fungeren en zodoende potentieel tot een hogere afbraak van organische stof leiden.

De anaerobe en anaerobe+sulfaat behandelingen zijn ingezet met het organisch materiaal van de locaties in de raai van oever tot open water (A-B-C; Bijlage II). De aerobe behandelingen zijn alleen ingezet met het organisch materiaal dat verzameld werd op locatie A (oever) en B (rietkraag bij waterkant) (Bijlage II). Per behandeling werd circa 10 gram vers organisch materiaal geïncubeerd in glazen incubatieflesjes ($10 \pm 0,5$ g FW; $1,23 \pm 0,7$ g DW; circa 10% van het flesvolume). De flesjes (120 ml) werden vervolgens gevuld met 20 ml oppervlaktewater om een zogenaamde 'slurrie' te maken. Het toegevoegde water bestond uit oppervlaktewater uit negen verschillende sawa's. Op deze manier ontstond er een headspace (de gasruimte in de fles) van 88 ml (120-12-20 ml). Voor de anaerobe behandeling met extra sulfaat werd voor het vullen sulfaat in de vorm van Na_2SO_4 toegediend aan het water tot een eindconcentratie van 5 mmol/L sulfaat. De flesjes met de anaerobe behandelingen zijn ongeveer een halve minuut doorborreld met (zuurstof-vrij) stikstofgas om eventueel aanwezig methaan, koolstofdioxide en zuurstof uit het substraat en de headspace te verwijderen. De incubatieflessen werden in een donkere klimaatkamer gezet met een constante temperatuur van 17°C voor een periode van 4 weken (Figuur 2.2). De concentraties koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4) in de headspace zijn gemeten direct na het inzetten en na 1, 2, 3, 6, 8, 10, 14 en 27 dagen. Op het laatste tijdstip werd alleen methaan gemeten.



Figuur 2.2. Overzicht opzet incubatie experiment (links) en close-up van een van de incubatieflesjes (rechts).

Als maat voor de afbreekbaarheid van het organisch materiaal is de productiesnelheid van koolstofdioxide en methaan bepaald. Dit werd gedaan door een regressie van de lineaire concentratiestijgingen in de headspace te bepalen, afhankelijk van het tijdstip waarop de curve afvlakt. De naleveringssnelheid is de richtingscoëfficiënt van deze regressielijn.

2.7 Laboratoriumanalyses organisch materiaal en respiratieproef

Gasmetingen

Metingen aan koolstofdioxidegas werden uitgevoerd met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA). Methaangas werd gemeten door 100 μl headspace in een gaschromatograaf te spuiten (HP 5890 GC, flame ionization detector, Porapak Q column (80/200 mesh)).

Destructie

Door het plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogd

plantmateriaal 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 destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES (zie paragraaf 2.3).

C/N-analyse plantmateriaal

Voor de analyse van de totale hoeveelheid koolstof (C) en stikstof (N) werd een deel van het verzamelde en gedroogde plantmateriaal fijngemalen met een kogelmaler. Afhankelijk van het soortelijk gewicht van het materiaal, werd een kleine hoeveelheid (ca. 3 mg) van het gemalen materiaal in een tinnen container afgewogen, waarna het in een CNS-elementenanalyser (Vario Micro Cube, Elementar) werd geanalyseerd.

3 RESULTATEN

3.1 Ontwikkeling waterkwaliteit en vegetatie

De oppervlaktewaterkwaliteit wordt vanaf 2011 op verschillende locaties op de Volgermeerpolder gevolgd (Figuur 3.1). Aanvankelijk was de monitoring vooral gericht op het tijdig signaleren van problemen (blauwalg, botulisme). Later werd het realiseren van specifieke natuurdoelen belangrijker. In het nieuwe monitoringsplan is hier nog steeds aandacht voor, maar zijn de natuurdoelen specifiek gemaakt en is meer aandacht voor het aspect veenontwikkeling. Om processen in het oppervlaktewater te kunnen volgen werden verschillende parameters gemeten. De precieze monitoringsactiviteiten zijn uitgewerkt in het monitoringsplan. In 2021 omvatte de monitoring de inventarisatie van waterplanten en helofyten en het bepalen van verschillende fysisch-chemische parameters van het oppervlaktewater.

Op basis van de verzamelde meetgegevens tussen april en september 2021 zijn zomergemiddelde waarden berekend. In dit rapport worden alle gegevens van 2021 weergegeven in een tabel, zoals ook werd gedaan in voorgaande rapportages:

- In Tabel 3.1 worden de zomergemiddelde waarden van 2021 voor verschillende gemeten variabelen weergegeven. Met rood en groen is aangegeven of de streefwaarden voor de variabelen wel of niet overschreden worden, waarbij de streefwaarden zijn gebaseerd op de meest recente KRW-maatlatten. Voor sawa's is daarbij gebruik gemaakt van de GEP-waarden (Goed Ecologisch Potentieel) die zijn opgesteld voor het watertype M14 (ondiepe, matige grote gebufferde plassen), terwijl voor de centrale watergang gebruik is gemaakt van het watertype M3 (gebufferde regionale kanalen) (van der Molen *et al.*, 2012). De streefwaarde voor de sulfaatconcentratie is afgeleid van het advies voor laagveenwateren in Lamers *et al.* (2010) en Vermaat *et al.*, 2012 en is < 100 mg/l (idealiter < 20 mg/l; maar dat blijkt in West-Nederland echter nauwelijks haalbaar).

Dit geeft op hoofdlijnen een beeld van de waterkwaliteit in 2021. In de nieuw geselecteerde sawa's vonden in 2021 de eerste metingen plaats en kunnen geen trends worden afgeleid. Voor de sawa's die al langer gemonitord worden kan wel een vergelijking plaatsvinden met voorgaande jaren. In het monitoringsplan is nu opgenomen dat in 2022 een uitgebreidere analyse van de meetresultaten over meerdere meetjaren en wateren wordt uitgevoerd. Omdat in voorgaande jaren bleek dat er doorgaans weinig schommelingen tussen jaren op treden, is nu gekozen voor het uitvoeren van een trendanalyse na drie meetjaren (in plaats van jaarlijks). In deze rapportage worden de resultaten van 2021 daarom beknopt beschreven.



Figuur 3.1. Watergang V7 in juli 2020.

Tabel 3.1. Zomergemiddelde waarde voor waterkwaliteitsvariabelen in de Volgermeerpolder in 2021 (rood = overschrijding streefwaarde; groen = waarde onder streefwaarde; oranje = waarde voor sulfaat tussen 20 en 100 mg/l; voor de witte variabelen worden geen concrete streefwaarden gehanteerd).

2021		NO ₃	NH ₄	O-PO ₄	Tot-P	Cl	SO ₄	pH	EGV	HCO ₃	Chl-a
Sawa's	eenheid	mg N/l	mg N/l	mg P/l	mg/l	mg/l	mg/l	veld	veld	mg/l	Phytopam
	streefwaarde				< 0,09	< 200	< 20-100	5,5 tot 8,5	400		23
A1		0.01	0.03	0.00	0.02	12	16	7.9	410	201	7
D2		0.01	0.05	0.02	0.12	27	77	8.1	504	176	15
E3		0.01	0.07	0.01	0.04	32	108	8.1	573	164	28
F2		0.01	0.06	0.01	0.05	22	114	8.2	569	162	31
F6		0.01	0.13	0.02	0.09	26	94	8.1	545	167	19
H5		0.00	0.04	0.00	0.03	28	95	7.7	533	198	12
I3		0.00	0.04	0.00	0.02	15	33	8.1	442	181	8
L1		0.01	0.04	0.00	0.02	38	8	8.0	394	189	7
Watergang	streefwaarde				< 0,15	< 300	< 20-100	5,5 tot 8,5			
V1		0.00	0.10	0.01	0.04	28	179	8.1	730	228	10

3.1.1 Effecten inlaat boezemwater

Het inlaten van relatief voedselrijk boezemwater uit Waterland kan de waterkwaliteit in de Volgermeerpolder doen verslechteren, waarmee de doelen 'helder en plantenrijk watersysteem' en 'veenontwikkeling' onder druk kunnen komen te staan. Aan de hand van het Elektrisch Geleidend Vermogen (EGV) en daarmee samenhangend de chlorideconcentraties is het mogelijk om de effecten van inlaat van boezemwater (hogere Cl- en EGV-waarden) zichtbaar te maken.

De zomer van 2021 was in tegenstelling tot de voorgaande jaren (2018-2020) een relatief natte zomer, zonder extreem droge of hete perioden. In april is naast de 9 waterpartijen ook een monster genomen van het inlaatwater (boezemwater). De EGV was hier 992 µS/cm, met een chloridegehalte van 87 mg/l. Het EGV en de chloridegehalten in de sawa's en centrale watergang (V1) waren doorgaans een stuk lager (Tabel 3.1) dan de inlaat en waren gemiddeld lager dan de streefwaarde voor chloride. De gegevens bevestigen dat er geen sprake is geweest van waterinlaat in de bemonsterde sawa's. Alleen in D2 werd op 25 augustus een verhoogde chlorideconcentratie gemeten ten opzichte van eerder in het jaar, terwijl de EGV in het veld niet hoger was (Bijlage IV). Het sulfaatgehalte was juist aanzienlijk lager (ook ten opzichte van de inlaat) en het ijzergehalte was hoger dan voorheen. Het waterniveau in de sawa was in augustus vrij laag. Inlaat is ook hier niet aan de orde geweest. Mogelijk - zoals ook in voorgaande monitoringsjaren is verondersteld - worden de verhoogde chloride concentraties veroorzaakt door het effect van indamping.

Samenvatting effecten inlaat boezemwater

De zomer van 2021 was in tegenstelling tot de drie voorgaande zomers vrij nat en koel, waardoor sawa's niet droog hebben gestaan. Er heeft in de sawa's geen waterinlaat vanuit de Waterlandse boezem (Veenderijgracht) plaatsgevonden.

3.1.2 Voedselrijkdom van het oppervlaktewater

Planten en algen hebben nutriënten (voedingsstoffen) nodig om te kunnen groeien, waarbij stikstof en fosfor van groot belang zijn. De voedselrijkdom van een plas is van invloed op hun groei. De beschikbaarheid van nutriënten leidt tot concurrentie onder planten en algen. Een teveel aan

nutriënten leidt in watersystemen tot woekering van wortelende waterplanten of dominantie van kroos of (blauw)algen.

Wateren kunnen op basis van grenswaarden worden ingedeeld in verschillende niveaus van voedselrijkdom (trofiegraad). In de praktijk blijken de grenswaarden echter niet zo hard. De concentraties nutriënten in de waterlaag kunnen variabel zijn en de ecologische toestand waarin een water verkeerd is afhankelijk van veel verschillende factoren. Er zijn meerdere methoden/indelingen die gebruikt worden voor oppervlaktewateren. De grens tussen oligotroof (voedselarm) en mesotroof (matig voedselrijk) ligt bijvoorbeeld rond de 0,01 mg/l ortho-P (Bloemendaal en Roelofs, 1988) of op 0,01 mg/l totaal-P én een chlorofyl-a gehalte van 2,5 µg/l op basis van de OECD-normen (OECD, 1982). In deze rapportage wordt voor totaal-P een grenswaarde van de KRW-methode aangehouden, zoals beschreven in paragraaf 3.1. In STOWA (2008) zijn naast grenswaarden voor P en N ook grenswaarden voor doorzicht en turbiditeit opgenomen, maar ook voor de voedselrijkdom van waterbodems. De samenstelling en voedselrijkdom van de waterbodem zijn erg bepalend voor de oppervlaktewaterkwaliteit en het voorkomen van bepaalde soorten (b.v. waterplanten). Grenswaarden kunnen worden gebruikt bij de beoordeling van wateren, maar om te begrijpen welke processen er spelen is het van belang het geheel aan relevante parameters te beschouwen en ook voldoende rekening te houden met variatie in de tijd.

In 2021 werden fosfor (P), nitraat en ammonium gemeten in het oppervlaktewater. Behalve voor sawa D2 waren de P-concentraties beneden de KRW-streefwaarde (Tabel 3.1). De P-concentratie lag in D2 in 2020 en verschillende voorgaande jaren ook boven de streefwaarde. In 2021 werd de hoogste P-concentratie gemeten in juni (0,18 mg/l) (Bijlage IV). F6, die in voorgaande jaren boven de streefwaarde uitkwam, had in 2021 een gemiddelde P-concentratie net onder de streefwaarde (0,088 mg/l), met de hoogste concentratie in juli van 0,17 mg P/l. Voor nitraat en ammonium zijn er geen streefwaarden, maar de concentraties zijn doorgaans laag in alle waterpartijen (gemiddeld <1 µmol NO₃/l en <10 µmol NH₄/l). Dit is ook voor de sawa's met een doelstelling voor de ontwikkeling van krabbenscheer (D2, F6 zie Tabel 2.1) voldoende laag.

Veenderijgracht

De Veenderijgracht is onderdeel van de Waterlandse boezem. Bij watertekorten op de Volgermeerpolder kan water uit de Veenderijgracht worden ingelaten. Het oppervlaktewater van de Veenderijgracht is eenmalig in april bemonsterd. Op dat moment werden een P-concentratie van 0,09 mg/l (3 µmol/l) en een nitraat- en ammoniumconcentratie van respectievelijk 2,9 en 42 µmol/l (0,04 en 0,59 mg N/l) gemeten.

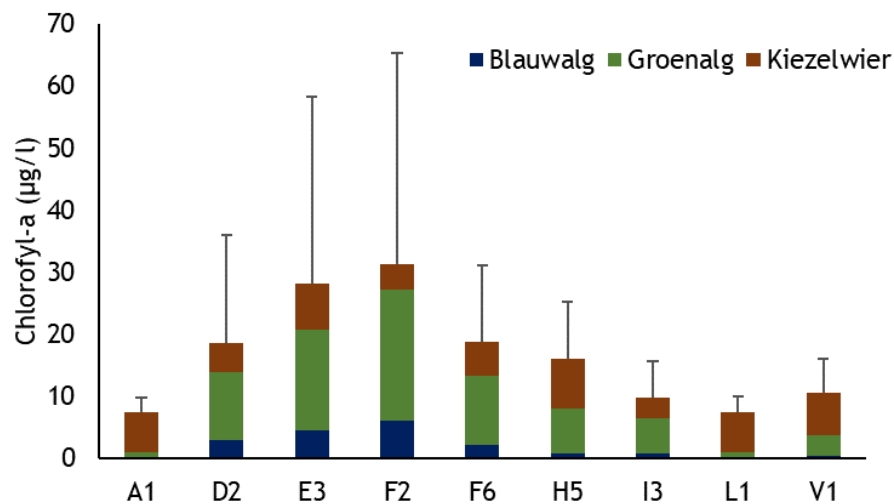
3.1.3 Chlorofyl-a concentraties

De zomergemiddelde chlorofyl-a concentratie is een maat voor de algenbiomassa in het water. In 2020 bleven bijna alle wateren onder de streefwaarde van 23 µg/l. Sawa F6 was in 2020 omgeslagen van een waterplanten- naar een door (blauw)algen gedomineerd systeem (Verstijnen *et al.*, 2021). In 2021 was hier geen sprake van en bleef de gemiddelde concentratie onder de 23 µg/l (Tabel 3.1), waarschijnlijk mede door de natte en koelere zomer. In sawa F6 werden in 2021 ook weinig ondergedoken waterplanten aangetroffen.

Van de 9 gemonitorde sawa's hadden alleen de sawa's E3 en F2, met respectievelijk 28 en 31 µg/l, chlorofyl-a waarden net boven de streefwaarde. De hogere gemiddelde chlorofyl-a concentratie is vooral toe te schrijven aan de maanden juli en/of augustus. Sawa's E3 en F2 zijn sinds 2021 onderdeel van de monitoring vanwege grotere oppervlak en/of diepte en daarmee een potentieel verhoogd risico

op (blauw)algenbloei. In 2019 werden deze sawa's vanwege dit potentiële risico eenmalig bemonsterd. Toen werden chlorofyl-waarden lager dan 10 µg/l gemeten (Verstijnen *et al.*, 2020).

De blauwalgenbiomassa bleef in 2021 laag en er zijn in de gemonitorde waterpartijen geen bloeien opgetreden (Figuur 3.2). In de sawa's A1 en L1 zijn met de metingen helemaal geen blauwalgen aangetroffen. Deze chlorofyl-a metingen gaven daarmee geen risico's omtrent blauwalg. Tijdens de vegetatie-opnamen in september werden in sawa's D2, E3 en F2 slijmerige bolletjes in de waterlaag en op waterplanten aangetroffen (Figuur 3.3). Onder andere de blauwalgen *Gloeotrichia pisum* en *Nostoc pruniforme*, en het bruinwier *Ophrydium versatile* kennen deze verschijningsvorm. Om welke soort het hier gaat is niet nader onderzocht.



Figuur 3.2. Gemiddelde chlorofyl-a concentraties (µg/l) van de groepen blauwalg, groenalg en kiezelwier (PhytoPam metingen 2021, inclusief standaarddeviatie van het totaal).



Figuur 3.3. In sawa's D2, E3 en F2 werden slijmerige bolletjes aangetroffen (mogelijk *Ophrydium versatile* of *Gloeotrichia pisum*). Hier gehecht aan waterplanten in F2.

Samenvatting voedselrijkdom en aanwezigheid van (blauw)algenbloeien

De voedselrijkdom was in de meeste sawa's en de centrale watergang in 2021 voldoende laag ten opzichte van de streefwaarde (fosfor). Alleen in sawa D2 werd de streefwaarde voor P overschreden. Anorganisch stikstof (nitraat en ammonium) was relatief laag in de gemonitorde wateren. De zomergemiddelde chlorofyll-a concentraties waren in de meeste wateren laag. Alleen in sawa's E3 en F2 waren de gemiddelde concentraties verhoogd. In sawa F6 was in tegenstelling tot 2020 geen sprake van een blauwalgenbloei.

3.1.4 Buffercapaciteit

De buffercapaciteit van het water heeft invloed op de ontwikkeling van bepaalde plantensoorten en op de afbraaknelheid van organisch materiaal en dus ook van veen. Afbraak van organisch materiaal wordt gestimuleerd door de aanwezigheid van bufferstoffen en vooral elektronenacceptoren. Bij aerobe afbraak wordt netto zuur geproduceerd. Hierdoor kan de activiteit van bacteriën worden geremd, waardoor de afbraaknelheid afneemt. Indien er echter voldoende bufferstoffen aanwezig zijn, zoals in de Volgermeerpolder, wordt het zuur geneutraliseerd en de afbraak gestimuleerd.

Het oppervlaktewater dat in de Volgermeerpolder aanwezig is kan gekarakteriseerd worden als sterk gebufferd en alkalisch. De pH (gemeten in het veld) lag gemiddeld genomen tussen de 7,7 (sawa H5) en 8,2 (sawa F2) en bevonden zich onder de KRW-grenswaarde van 8,5 (Tabel 3.1). De pH in F6 was ten opzichte van 2020 ook een stuk lager (8,1 t.o.v. 9,4). De alkaliniteit lag tussen de 2,7 en 3,6 mEq/l in de wateren. De waarden zijn wel aan de hoge kant voor eventuele krabbenscheerontwikkeling. Hiervoor kan voor de pH een grenswaarde van 7,5 (8,0) worden aangehouden.

Het bicarbonaatgehalte in het oppervlaktewater in de sawa's en watergangen stijgt gemiddeld al sinds de eerste metingen in 2011. Voor bicarbonaat is er geen KRW-streefwaarde. De concentraties in de deels nieuw gemonitorde waterpartijen in 2021 lagen tussen 162 (sawa F2) en 228 (watergang V1) mg/l (Tabel 3.1 en Bijlage IV). Deze range komt grofweg overeen met de voorgaande twee jaar. Van de waterpartijen die eerder al in de monitoring zaten is te zien dat de concentraties vergelijkbaar of gemiddeld hoger waren dan in 2020 (Verstijnen *et al.*, 2021). De eerdere verwachting dat er voor lange tijd sprake zal blijven van zeer sterk gebufferde watersystemen (Verstijnen *et al.*, 2021) is dan ook nog steeds aan de orde. Hierin hebben bepaalde planten een groeivoordeel zoals waterpest (*Elodea nuttallii*), grof hoornblad (*Ceratophyllum demersum*), aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) en verschillende fonteinkruiden zoals glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*) en schedefonteinkruid (*P. pectinatus*). Dit komt grotendeels overeen met de huidige vegetatiesamenstelling in veel sawa's (zie Bijlage I). In 2021 werden in de gemonitorde wateren dan ook planten gevonden die kenmerkend zijn voor gebufferde wateren. Het gaat hierbij om soorten die bicarbonaat als anorganische koolstofbron kunnen gebruiken,

Samenvatting buffercapaciteit

De buffering van de sawa's en watergang was vrij hoog (onder invloed van sulfaatreductie en kalkrijke bodems), en vergelijkbaar met de eerdere monitoring (o.a. Verstijnen *et al.*, 2020, 2021). Koolstoflimitatie speelt geen rol voor de groei van waterplanten die in staat zijn bicarbonaat te gebruiken.

3.1.5 De aanwezigheid van waterplanten en kranswieren

De huidige samenstelling van de vegetatie, zowel de soorten waterplanten als de bedekkingspercentages, geeft inzicht in de toestand waarin de desbetreffende sawa of watergang zich bevindt. Er kan in de Volgermeerpolder onderscheid worden gemaakt tussen de volgende ecologische toestanden:

1. Troebel en algenrijk water;
2. Helder en plantenrijk water met pionierssoorten zoals kranswieren (voornamelijk mesotrofe condities);
3. Helder en plantenrijk water met hogere waterplanten die veelal kenmerkend zijn voor relatief eutrofe (voedselrijke) bodemcondities;
4. Helder en plantenrijk water met hogere waterplanten die kenmerkend zijn voor mesotrofe condities.

In Figuur 3.5 is de bedekking van de waterplanten weergegeven zoals gescoord in september 2021. In tegenstelling tot voorgaande jaren zijn helofyten dit keer wel meegenomen in de scores. Dit geeft een beter beeld van de vegetatie in de sawa's. In Bijlage I zijn de resultaten van de bedekking van de jaren 2015 t/m 2020 weergegeven.

Er was meestal bodemzicht op de monsterniveaus in de sawa's (bij de doorwaadbare waterkant), met name in het voorjaar. In juli en/of augustus was er niet altijd bodemzicht (Bijlage IV). Troebelheid van oppervlaktewater wordt onder andere veroorzaakt door in het water zwevende algen en/of gesuspendeerde bodemdeeltjes (zwevend stof). Welke factor bepalend is voor het doorzicht kan worden vastgesteld door het meten van chlorofyl-a en zwevend stof. Chlorofyl-a is gemeten in de monitoring (paragraaf 3.1.3) en leek in enkele gevallen (mede) een oorzaak voor verminderd doorzicht; zwevend stof is niet gemeten.

De vegetatie-opnames werden uitgevoerd in dezelfde wateren als die voor de monitoring van waterkwaliteit. (Dit zijn dus deels andere sawa's dan in de voorgaande jaren.) Ten tijde van de vegetatie-opnames waren alle sawa's tot in de schuine oeverwal gevuld met water. De waterdiepte varieerde van 50 cm (E3) tot ≥ 100 cm (A1).

In het H-cluster werd H5 gemonitord, welke in het doelendocument als 'rietsawa' is aangewezen. Hier werden net als in H1 en H6 in voorgaande jaren, veel kranswieren aangetroffen (97%) (Figuur 3.4). Het betrof voornamelijk de soorten stekelharig kransblad (*Chara hispida*) en brakwaterkransblad (*Chara canescens*) (een zeer zeldzame soort in Nederland, die ook werd gevonden in H6, Verstijnen *et al.*, 2020). Daarnaast werd ook schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) aangetroffen. In L1 en D2 kwamen schedefonteinkruid en relatief veel kranswieren voor, maar dit betrof de soort gewoon kransblad (*Chara vulgaris*). In E3 werd gewoon kransblad in kleine aantallen waargenomen, terwijl schedefonteinkruid hier een groot deel van de waterplantenbedekking uitmaakte (40%). In D2 is sprake van enige ontwikkeling van helofyten (Figuur 3.5), terwijl de sawa als toekomstig doel ontwikkeling van krabbenscheer heeft meegekregen (Tabel 2.1). Dit hoeft niet tot problemen te leiden omdat helofyten en krabbenscheer ook naast elkaar kunnen voorkomen.

F6 heeft ook als toekomstig doel krabbenscheerontwikkeling (en waterbuffer) (Witteveen+Bos, 2020) en had nauwelijks bedekking met kranswieren, waterplanten of helofyten. Ook in F2 waren er weinig helofyten, maar was de bedekking met waterplanten (schedefonteinkruid, grof hoornblad (*Ceratophyllum demersum*)) iets hoger (15%). In beide sawa's werd ook draadwier op de bodem aangetroffen.

In de sawa's A1 en I3 werden geen of nauwelijks kranswieren of andere waterplanten gevonden en in I3 ook weinig helofyten (7%). In A1 daarentegen was een groot deel van de sawa bedekt met helofyten (riet *Phragmites australis* en lisdodde *Typha sp.*), overeenkomstig met eerdere jaren. Deze sawa is in het doelendocument opgenomen als 'rietsawa' (Witteveen+Bos, 2020).

In de centrale watergang (V1) werd op drie sublocaties de vegetatie bekeken. Kranswieren werden nauwelijks waargenomen en ook weinig waterplanten. De bedekking aan helofyten was wat hoger (25%) in het zuidelijke deel van het water (V1.1) dan in het noordelijke deel (V1.3), waar de watergang ook breder is (7%) (Figuur 3.5). De gevonden waterplanten in de centrale watergang waren onder andere stijve waterranonkel (*Ranunculus circinatus*), grof hoornblad en waterpest. Op de bodem werden net als in 2020 (Verstijnen *et al.*, 2021) draadwieren aangetroffen, waarmee de bodem voor een belangrijk deel bedekt was (Figuur 3.4).

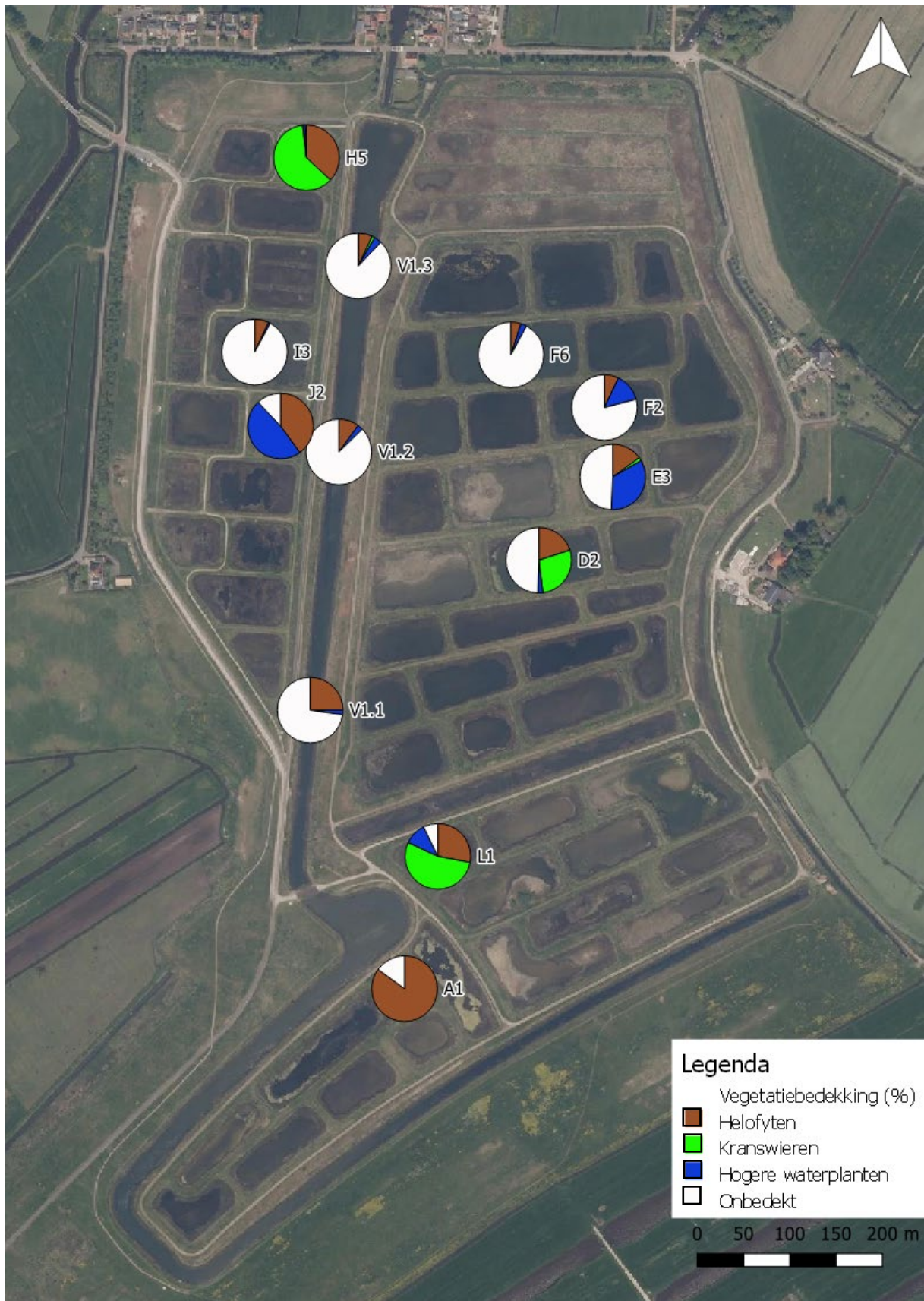
Sawa A1 had de hoogste bedekking met helofyten (85%), maar daarnaast hadden ook sawa's H5 en L1 een bedekking met riet van meer dan 25% (Figuur 3.5). In de noordoosthoek van sawa J2 waar vanuit het STW onderzoek Peat Cap nog steeds vitaal krabbenscheer aanwezig is, was de helofytenbedekking 40%. Op deze locatie werd verder nog een bedekking van 80% aan waterplanten genoteerd, waaronder krabbenscheer (*Stratiotes aloides*) en waterpest. In J2 en A1 werd op de bodem een volledige bedekking van afgestorven vegetatie gevonden. In H5 was dit circa 30%; (vooral tussen het riet).

Samenvatting waterplanten en kranswieren

Tussen de sawa's zijn verschillen aanwezig in bedekkingen aan waterplanten, kranswieren en helofyten. Vijf van de acht sawa's waren voor meer dan 50% bedekt in 2021. De meeste kranswieren werden in het H-cluster gevonden (H5), het meeste riet in sawa A1. De gevonden waterplanten zijn doorgaans kenmerkende soorten voor gebufferd water (o.a. schedefonteinkruid en grof hoornblad).



Figuur 3.4. Links: Chara-vegetatie in H5. Midden: Rietbegroeiing in L1. Rechts: Opgeharkt draadwier in V1.



Figuur 3.5. Vegetatiebedekkingen op basis van het totale wateroppervlak van helofyten, hogere waterplanten, kranswieren en het onbegroeide wateroppervlak van de gemonitorde wateren in 2021. In bijlage I is eenzelfde kaart weergegeven zoals voorgaande jaren: zonder de helofyten.

3.1.6 Sulfaatdynamiek in relatie tot veenontwikkeling

Sulfaat is zoals hiervoor genoemd een belangrijke variabele in het voorkomen van bepaalde plantensoorten en voor de veenvorming. Uit de metingen die tussen 2011 en 2020 zijn uitgevoerd, bleek dat de sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater in de eerste twee jaar (2011 tot 2013) duidelijk waren afgenomen in de sawa's die toen gemonitord werden (Figuur 3.5). De concentraties lagen echter daarna nog vaak boven de gewenste streefwaarde (<20-100 mg/l).

Van de deels nieuwe negen sawa's waren er in 2021 twee sawa's met een gemiddelde sulfaatconcentratie <20 mg/l. Dit waren sawa's A1 (16 mg/l) en L1 (8 mg/l) (Tabel 3.1). Sawa A1 wordt gemonitord sinds 2011 en laat een blijvend dalende trend zien (Verstijnen *et al.*, 2021). De concentraties in L1 waren in 2021 lager dan in eerder gemeten jaren (als onderdeel van de pilot).

Sawa's D2, F6, H5 en I3 hadden gemiddelde sulfaatconcentraties beneden de suboptimale streefwaarde van 100 mg/l. F6 en D2 hadden in 2020 gemiddelde concentraties boven de 100 mg/l. In de sawa's E3 en F2 lagen de gemiddelde concentraties boven 100 mg/l. Verder was in de Veenderijgracht (gemeten in april: 191 mg/l) en de centrale watergang V1 (gemiddeld 179 mg/l) sprake van aanzienlijk hogere sulfaatconcentraties dan in het oppervlaktewater van de sawa's (Bijlage IV).

De veenopbouw en -afbraak wordt overigens niet alleen door de sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater bepaald. Het waterpeilregime speelt vermoedelijk een nog veel belangrijkere rol. Te lage waterstanden en droogte zullen tot ongewenste, zeer aerobe condities leiden waarin geen veenopbouw meer kan plaatsvinden. Het opgehoopte organisch materiaal wordt dan juist afgebroken tot onder andere CO₂ dat in de atmosfeer wordt opgenomen. Deze aerobe afbraak verloopt vele malen sneller dan de anaerobe (zuurstofloze) afbraak. Een sterke afwisseling tussen droogval en inundatie remt de accumulatie van organische materiaal in de sawa's sterk, door het zogenoemde 'redoxwiel' (zie Verstijnen *et al.* 2020). In 2021 heeft er tot zover bekend geen droogval in de sawa's plaatsgevonden.

Aangezien de sawa's sterk kunnen verschillen in morfologie zijn in 2020 door Witteveen+Bos specifieke doelen per sawa opgesteld. In die studie is uitgewerkt wat het beste doel is voor een sawa op basis van onder andere diepte, grootte en het mogelijke peilbeheer. De doelen zijn: 1) wateropslag, 2) rietontwikkeling of 3) krabbenscheerontwikkeling. Om de krabbenscheerontwikkeling te testen, is krabbenscheer als pilot in sawa F7 uitgezet eind 2020. De eerste resultaten hiervan zullen in een apart rapport worden verwerkt.

Samenvatting sulfaatdynamiek

Twee (A1 en L1) van de negen wateren hadden gemiddeld voldoende lage sulfaatconcentraties (<20 mg/l) in 2021. In de centrale watergang, de Veenderijgracht en sawa E3 en F2 waren de sulfaatconcentraties te hoog (>100 mg/l) en in de overige wateren waren ze suboptimaal (20-100 mg/l). De aanwezigheid van teveel sulfaat kan nadelig zijn voor de gewenste veenvorming.

3.2 Monitoring veenontwikkeling

Voor de Volgermeerpolder is destijds - als het saneringsconcept Natural Cap - als doel gesteld dat er over ongeveer 75 jaar in de sawa's een veenlaag aanwezig is die de functie van de HDPE folie over kan nemen, zodat deze niet vervangen hoeft te worden. In de periode 2020-2030 moet blijken of dit een haalbaar principe is. In de voorgaande paragraaf is ingegaan op het verloop van de waterkwaliteit

in de sawa's. Deze is van grote invloed op het wel of niet optreden van veenvorming. Een groot deel van de veenvorming vindt bij helofyten aanvankelijk plaats in de bodem via wortelpakketten (zie o.a. Verstijnen *et al.* (2020)). De potenties voor veenvorming werden tot nu toe indirect afgeleid op basis van de fysisch-chemische waterkwaliteit, met name de sulfaatconcentraties van oppervlaktewater en de vegetatie-ontwikkeling. De anaerobe afbraak van organisch materiaal verloopt namelijk sneller onder sulfaatrijke condities (Jørgensen 1982; Lamers *et al.* 1998).

3.2.1 Ophoping organisch materiaal

Tijdens het veldwerk werd in juli 2021 op een drietal locaties binnen negen sawa's een inschatting gemaakt van de ophoping van organisch materiaal (vanaf de oever tot richting het midden van de sawa) om een beeld te krijgen van de bodemopbouw (zie ook hoofdstuk 2 en bijlage II).

In de meeste sawa's was de oeverzone begroeid met helofyten (vaak een kraag van riet en/of lisdodde) en was het midden van de sawa nagenoeg onbegroeid met potentiële veenvormers (Bijlage II en V). Dit kwam grotendeels ook overeen met de gevonden organische laag in en/of op de bodem. Het opgehoopte materiaal bestond vaak uit afgestorven blad, stengels en wortels van helofyten. In de meeste sawa's was de organische laag aan de oever (locatie A) dikker of gelijk aan de locaties aan de rand van de rietkraag (locatie B) en was de locatie richting het midden van de sawa (locatie C) het minst of niet bedekt met een organische laag (Figuur 3.6 en Tabel 3.2). Wanneer er geen organische laag werd gevonden, werd er ook geen veenvormende vegetatie waargenomen en is er ook geen vegetatieopname gemaakt.

Tabel 3.2. Overzicht van de dikte van de organische laag (cm) en het bedekkingspercentage van soorten die een bedekking van 33% of hoger hadden in ten minste één van de plots. Zie bijlage V voor het complete overzicht.

code	Dikte organische laag	Riet	Lisdodde	Zwanenbloem	Breekbaar kransblad*	Drepanocladus sp.***	Harig wilgenroosje
A1 A	10	94	0				
A1 B	10	40	0				
A1 C	7	40	0				
B1 A	5,5	95	0				
B1 B	1,5	47	0	5			
B1 C	4,5	0	0	35			
C3 A	4	100	0				
C3 B	4	95	0				
C3 C	1,5	29	0				
D4 A	1,5	87	0				9
D4 B	1,5	80	9				
E4 A	2,5	50	0				40
E4 B	2,5	49	0				
G1 A	2	90	0				
G1 B	3	97	0				
H5 A	3	95	0				1
H5 B	10	87	3				
I2 A	2	68	0				
I2 B	2	20	50				
I2 C	1	0	5		70**		

code	Dikte organische laag	Riet	Lisdodde	Zwanenbloem	Breekbaar kransblad*	Drepanocladus sp.***	Harig wilgenroosje
L6 A	2,5	100	0			50	
L6 B	2,5	93	0			3	
L6 C	1,5	45	0			1	

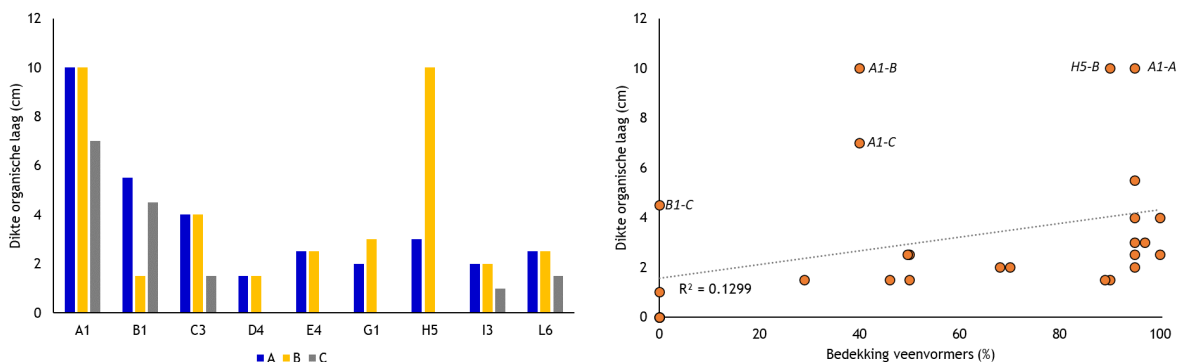
*waarschijnlijk breekbaar kransblad (*Chara globularis*)

**afstervend, mogelijk door veranderende lage waterstand?

***een mossoort waarschijnlijk *D. aduncus*

In tegenstelling tot de resultaten van de metingen die in 2020 in H5 plaatsvonden, lijkt er in 2021 meer organisch materiaal aanwezig op locatie B dan op locatie A. Dit suggereert dat de ophoping van organisch materiaal ook binnen een sawa variabel kan zijn. Op beide locaties was voornamelijk riet aanwezig. In het midden van de sawa (locatie C) groeide veel kranswieren (*C. canescens* en *C. hispida*), maar was er geen zichtbaar organisch materiaal aanwezig (Figuur 3.6). Sawa H5 ligt in het oudste sawacluster van de Volgermeerpolder, waardoor de vegetatieontwikkeling en vorming van organisch materiaal hier het langst kon plaatsvinden.

In de sawa's I3 en L6 was er begroeiing aanwezig in de gehele sawa. Op de locatie richting het midden (C) werd ook organisch materiaal aangetroffen (Figuur 3.6 links). De locaties A en B waren in beide sawa's gelegen in de riet (L6) of riet/lisdoddekraag (I2). In L6-A was er ook veel sikkelmos aanwezig (waarschijnlijk moerassikkelmos: *Drepanocladus aduncus*). Ten tijde van de bemonstering was er in sawa I2 een vreemde geur te ruiken, die waarschijnlijk werd veroorzaakt door (afstervende) kranswieren op locatie C (*C. globularis*).



Figuur 3.6. Links) Dikte van de gevonden organische laag per locatie in negen sawa's, vanaf de oeverrand (locatie A) richting het midden van de sawa (C). Rechts) Dikte van de gevonden organische laag uitgezet tegen de bedekking van de potentiële veenvormers (riet, lisdodde, heen) (%).

Samenvatting ophoping organisch materiaal

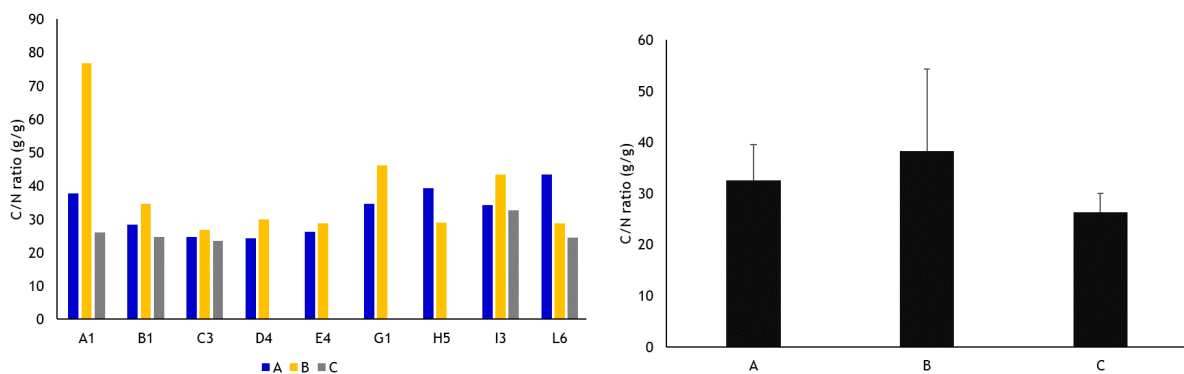
In de meeste sawa's was de organische laag aan de oever dikker of gelijk aan de locaties aan de rand van de rietkraag en was de locatie richting het midden van de sawa het minst of niet bedekt met een organische laag. Aan de rand werden vaak de meeste helofyten waargenomen. De dikste organische laag werd aangetroffen in sawa A1 (10 cm). Op sommige locaties werd geen organische laag gevonden.

3.2.2 Samenstelling organisch materiaal

De samenstelling van organisch materiaal is van invloed op de afbreekbaarheid (Overbeek et al., 2018). De afbreekbaarheid wordt bepaald door complexe verbindingen zoals lignine, hemicellulose en cellulose. De C/N ratio is indicatief voor de afbreekbaarheid van organisch materiaal. Een uitgebreide studie van C/N ratio's liet zien dat intacte veenbodems een mediane C/N ratio van 49,0 hadden (Loisel

et al., 2014). Een lagere waarde (C/N 23,7) werd gevonden in gedegradeerde (afgebroken) veenbodems (Leifeld *et al.*, 2020), terwijl de C/N ratio van minerale bodems nog veel lager is (10,9) (Batjes, 2009).

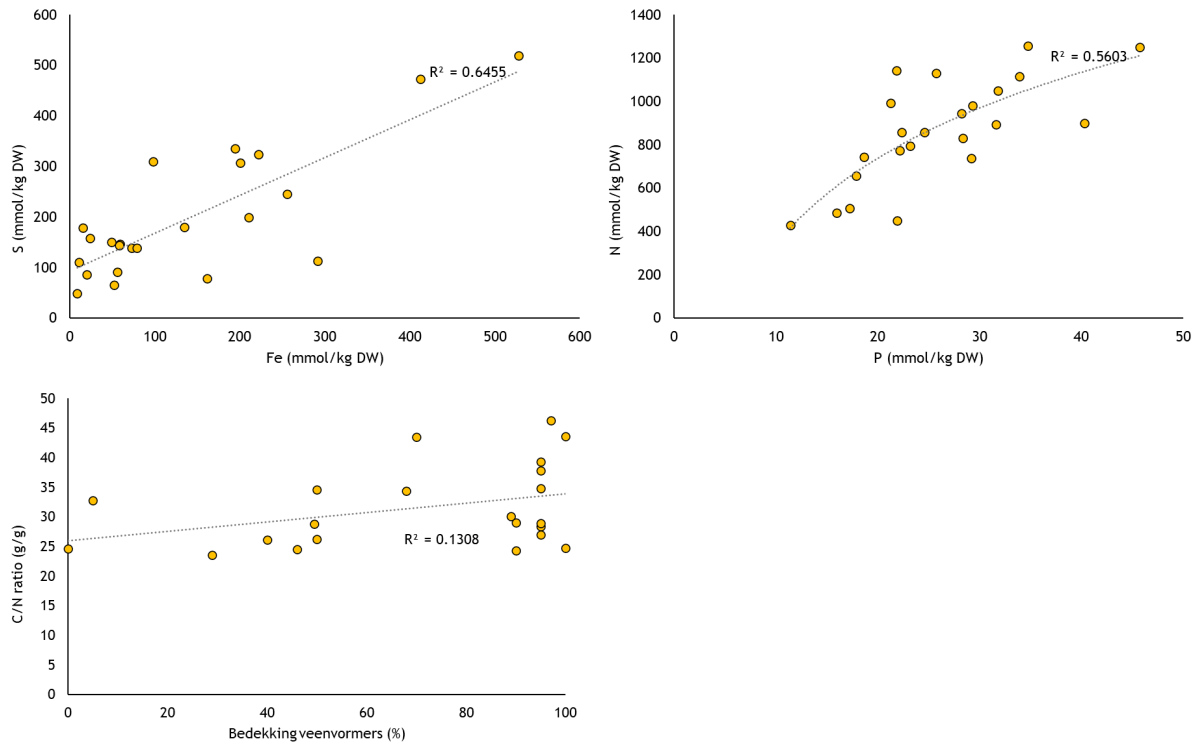
De elementenconcentraties van het organische materiaal verschilden soms sterk binnen een sawa en tussen sawa's (Bijlage III). De C/N ratio ligt doorgaans tussen de 20 en 40, maar was bijvoorbeeld in A1B sterk verhoogd (Figuur 3.7), wat aanwezigheid van houtachtiger en slechter afbreekbaar materiaal indiceert. Het organische materiaal in de B-plots had in de meeste sawa's iets hogere C/N ratio's dan in de A- en C-plots. Dit duidt erop dat de omstandigheden in deze B-plots mogelijk het beste zijn voor de opbouw van een organische laag of dat het organisch materiaal minder ver is afgebroken. Levende planten hebben een hogere C/N ratio en deze neemt af naarmate het organische materiaal verder afbreekt.



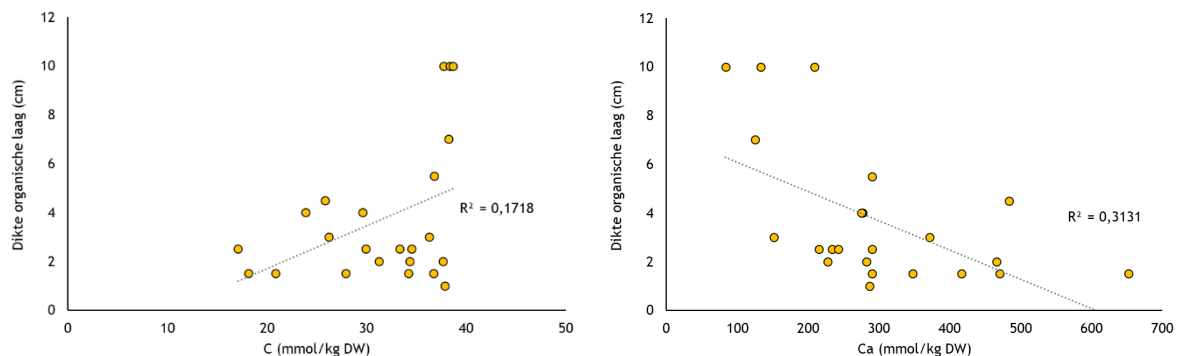
Figuur 3.7. Links) C/N ratio (g/g) van het organisch materiaal per sawa, per plot (A, B, C). Rechts) C/N ratio (g/g) gemiddeld \pm SD per plot.

Verder is er in het organische materiaal een positieve correlatie te vinden tussen het zwavel- en ijzergehalte en tussen het stikstof- en fosforgehalte (Figuur 3.9). Hoe meer ijzer er kan worden vastgelegd hoe meer zwavel er ook wordt vastgelegd. Dit geldt ook voor stikstof en fosfor. Hierbij lijkt het echter dat de correlatie iets afzwakt wanneer de fosforconcentratie hoger wordt. Er lijkt verder een zwakke correlatie te zijn tussen de C/N ratio en de dikte van de laag organische materiaal ($R^2=0,14$), maar deze vervalst wanneer de hoge C/N ratio van A1B niet wordt meegenomen (Bijlage VI). Er lijkt dan wel sprake van een zwakke positieve correlatie tussen de bedekking van veenvormers en de C/N ratio (Figuur 3.8 onder).

De dikte van de organische laag vertoonde een zwakke positieve correlatie met koolstofgehalte in het materiaal en een matige negatieve correlatie met het calciumgehalte (Figuur 3.9). Het lijkt er dus op dat bij meer opgehoopt organisch materiaal sprake is van een hoger koolstofgehalte en een lager calciumgehalte, dan wanneer er weinig materiaal is opgehoopt. Dit kan wijzen op een relatief hoger aandeel aan moeilijk afbreekbaar materiaal (Azeez *et al.*, 2009). De vegetatie van de locaties waar het meeste organische materiaal heeft opgehoopt bestond uit riet (Tabel 3.2 in paragraaf 3.2.1).



Figuur 3.8. Linksonder) correlatie tussen zwavel- (S) en ijzer- (Fe) gehalte (mmol/kg drooggewicht) en rechtsboven) tussen stikstof- (N) en fosfor (P) gehalte (mmol/kg drooggewicht). Linksonder) C/N ratio (g/g) exclusief locatie A1B, versus bedekking veenvormers (riet, lisdodde en zeebies) (%).



Figuur 3.9. Links) dikte organische laag (cm) versus koolstof (C) gehalte (mmol/kg drooggewicht) en Rechts) versus calcium (Ca) gehalte (mmol/kg drooggewicht).

Samenvatting samenstelling organisch materiaal

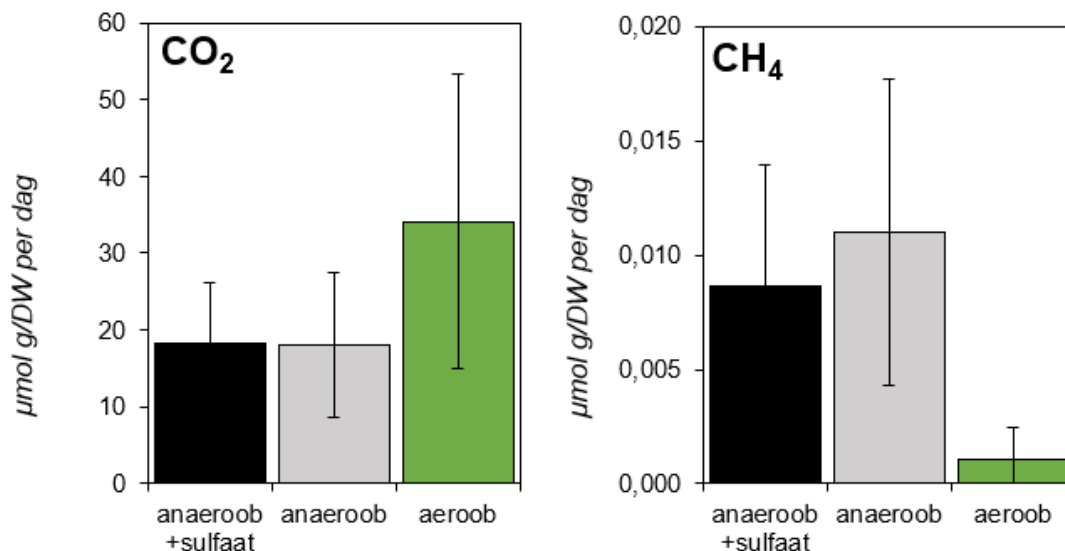
De C/N ratio is een maat voor de afbreekbaarheid van organisch materiaal. Het organisch materiaal in de plots aan de rand van de rietkragen had in de meeste sawa's iets hogere C/N ratio's dan in de andere plots. Dit duidt erop dat de omstandigheden hier mogelijk het beste zijn voor de opbouw van een organische laag of dat het organisch materiaal minder ver is afgebroken. Verder werd er geen (sterk) verband gevonden tussen de C/N ratio van het materiaal en de bedekking aan veenvormers.

3.2.3 Respiratieproef veenontwikkeling

De gemiddelde CO₂ (koolstofdioxide) productie (per dag) van de onderzochte sawa's is bijna twee keer zo hoog onder aerobe condities ($38 \pm 19 \mu\text{mol g/DW}$ per dag) vergeleken met anaerobe condities

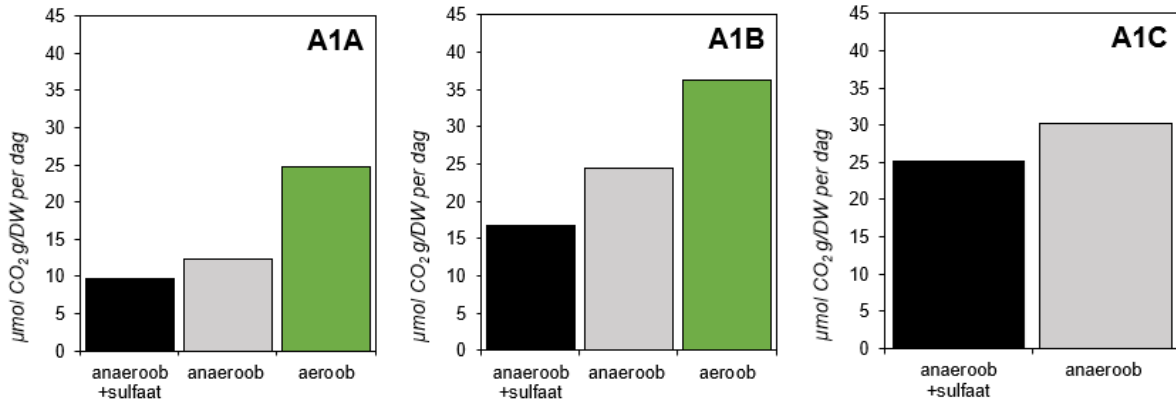
($18 \pm 9 \mu\text{mol g/DW}$ per dag; Figuur 3.10). Er werd geen invloed van sulfaattoediening in de anaerobe behandeling waargenomen op de gemiddelde CO_2 productie. Dit komt mogelijk doordat het toegevoegde oppervlaktewater van de Volgermeerpolder al relatief sulfaatrijk was ($800 \mu\text{mol/l}$).

De gemiddelde CH_4 (methaan) productie (per dag) was het hoogst onder anaerobe condities ($0,011 \pm 0,01 \mu\text{mol g/DW}$ per dag) waarbij de toediening van extra sulfaat slechts tot een lichte afname van de CH_4 productie leidde ($0,009 \pm 0,01 \mu\text{mol g/DW}$ per dag; Figuur 3.10). Onder aerobe condities werd er nauwelijks CH_4 geproduceerd ($\leq 0,001 \mu\text{mol g/DW}$ per dag). Dit werd ook verwacht, aangezien methanogene bacteriën zeer gevoelig zijn voor zuurstof en alleen onder strikt anaerobe omstandigheden kunnen groeien. Ze kunnen CO_2 als alternatieve elektronenacceptor gebruiken voor de afbraak van organisch materiaal waarbij methaan wordt gevormd. De CO_2 productie was velen malen hoger dan de methaanproductie. De totale C-productie ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$) werd dus voornamelijk door de CO_2 productie bepaald en slechts voor een klein deel door CH_4 . Hoewel ook andere processen mede een rol kunnen spelen zal een hoge beschikbaarheid van alternatieve elektronenacceptoren (zoals nitraat, driewaardig ijzer en sulfaat) sterk bijdragen aan een snellere decompositie van organisch materiaal onder zuurstofloze omstandigheden (Keller en Bridgham, 2007).



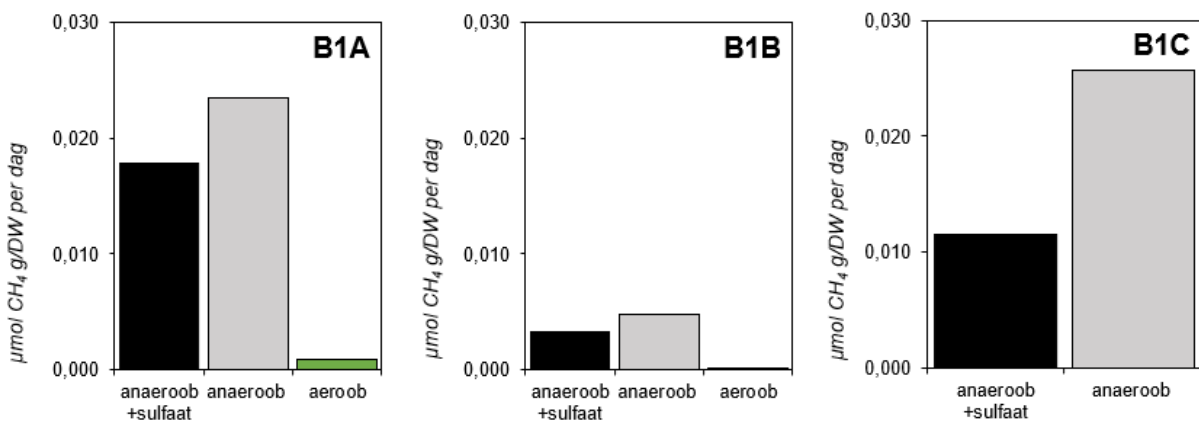
Figuur 3.10. Gemiddelde CO_2 (links) en CH_4 (rechts) productie ($\mu\text{mol g/DW}$ per dag) van de negen sawa's over de drie behandeling. Foutbalken geven standaarddeviatie van het gemiddelde weer.

De verschillen in CO_2 en CH_4 productie per locatie (A,B,C) in de verschillende sawa's is weergegeven in Bijlage VII en VIII en voor twee sawa's in Figuur 3.11 en Figuur 3.12. De aerobe behandeling is alleen ingezet op de A en B locaties (zie Bijlage II). Sawa A1 laat het patroon zien dat over het algemeen gevonden werd in de verschillende sawa's met meer CO_2 productie onder aerobe omstandigheden, ongeacht de locatie in de sawa zelf (A-B; Figuur 3.11). Uitzondering hierop zijn sawa B1 (locatie B) en C3 (locatie B) waarbij er onder aerobe condities bijna evenveel of juist minder CO_2 productie plaatsvindt dan onder anaerobe condities (Bijlage VII). Tussen de locaties binnen een sawa waren de verschillen variabel; soms was de productie hoger in de A-locatie, soms juist niet.



Figuur 3.11. De CO_2 productie ($\mu\text{mol g/DW per dag}$) van sawa A1 op de verschillende locaties in de raai van oever tot open water (A-B-C). De aerobe behandeling is alleen ingezet op de A en B locaties (zie Bijlage II).

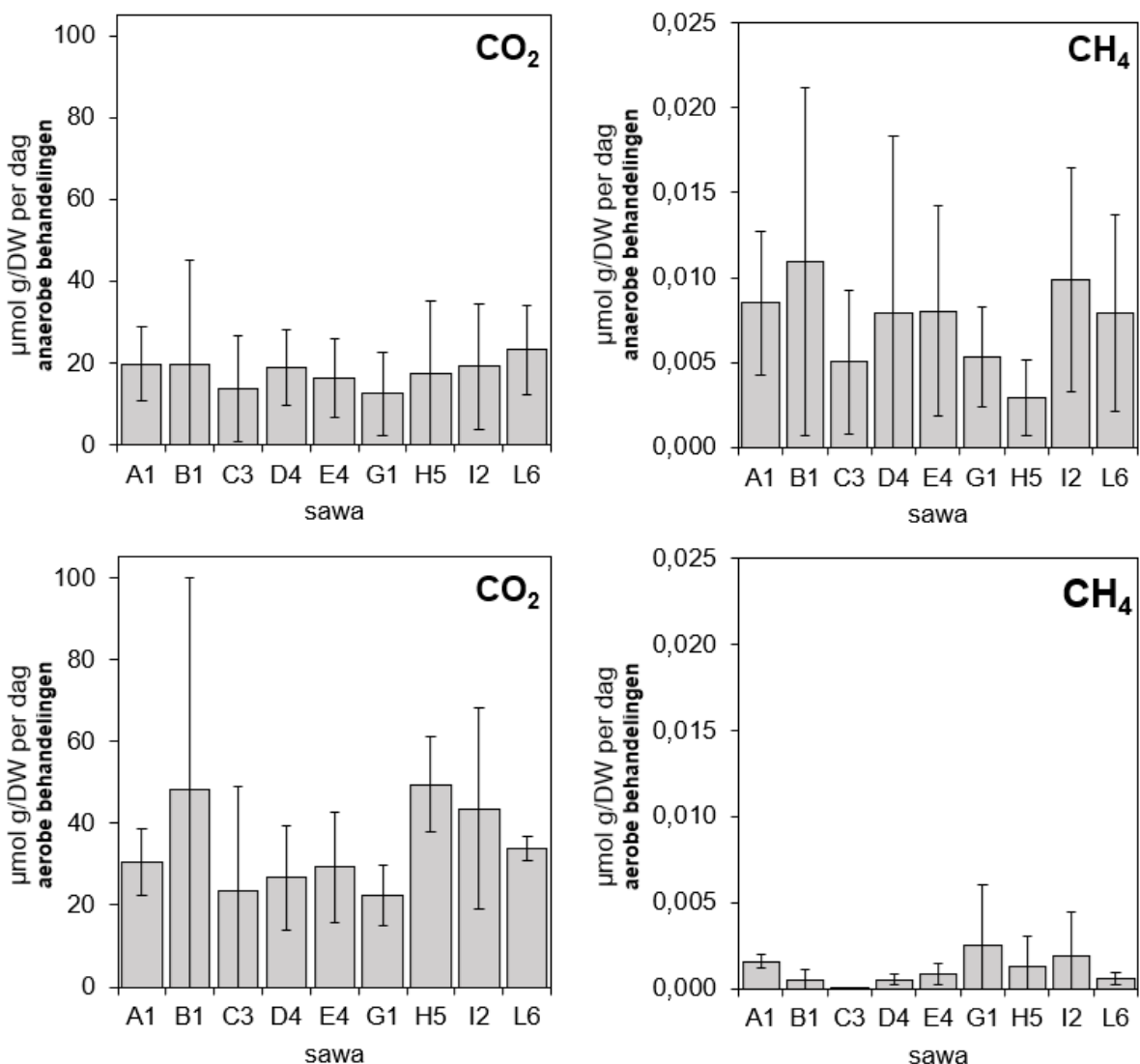
In de meeste sawa's was de CH_4 productie het hoogst in de anaerobe behandeling en werd een lichte afname gevonden in de behandeling met extra sulfaat, ongeacht de locatie in de sawa zelf (Bijlage VIII). Methaan wordt gevormd door methanogenese (omzetting van CO_2 naar CH_4) onder anaerobe omstandigheden, maar wordt vaak geremd bij hogere sulfaatconcentraties (Smolders *et al.*, 2002). Dit heeft te maken met het feit dat sulfaat reducerende (oftewel sulfide producerende) en methaan producerende bacteriën dezelfde organische substraten (met name acetaat) gebruiken. Sulfaatreductie is energetisch gunstiger is dan methanogenese, waardoor sulfaatreducerders beter kunnen concurreren. In sawa B1 is zichtbaar dat de methaanproductie afgeremd lijkt te worden door de toevoeging van sulfaat in de anaerobe behandeling (Figuur 3.12). Dit geldt met name voor locatie C (open water). Hier was de methaanproductie onder anaerobe omstandigheden met sulfaat twee keer zo laag als zonder extra toevoeging van sulfaat. Voor de sawa's E4 (locatie A), G1 (locatie A), H5 (locatie B) en I2 (locatie A) was de CH_4 productie echter hoger onder anaerobe omstandigheden met extra toevoeging van sulfaat, maar deze verschillen waren steeds klein (Bijlage VIII). Ook voor CH_4 bleken de verschillen tussen de locaties binnen 1 sawa variabel. In enkele gevallen leek de productie het hoogst op de A locaties, maar in anderen was het juist weer lager dan of vergelijkbaar met B en/of C locaties.



Figuur 3.12. De CH_4 productie ($\mu\text{mol g/DW per dag}$) van het organisch materiaal uit sawa B1 op de verschillende locaties in de raai van oever tot open water (A-B-C). De aerobe behandeling is alleen ingezet op de A en B locaties (zie Bijlage II).

De totale CO₂ en CH₄ productie per sawa is voor de anaerobe(+sulfaat) en aerobe behandelingen weergegeven in Figuur 3.13. Hieruit blijkt dat met name onder aerobe condities er meer verschil is in CO₂ productie tussen de sawa's. De hoogste CO₂ productie per dag (dus de meeste afbraak) werd gevonden voor het organisch materiaal uit de sawa's B1, H5 en I2 (> 40 μmol g/DW per dag). In sawa B1 werd ook de hoogste CH₄ productie waargenomen (maar ook de grootste spreiding) onder anaerobe condities terwijl in sawa H5 onder anaerobe condities opvallend minder CH₄ geproduceerd werd vergeleken met de andere sawa's.

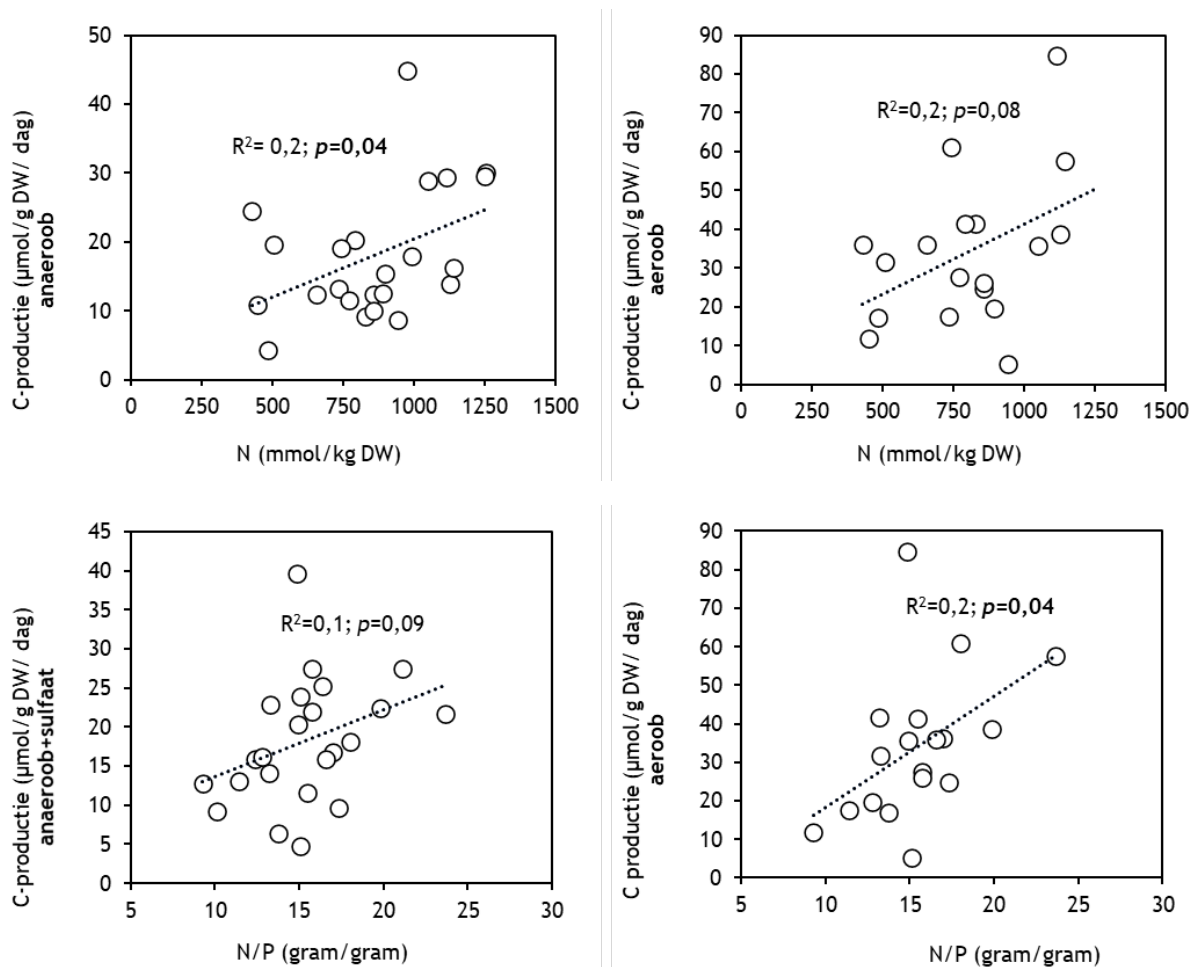
De gevonden CO₂-productiewaarden onder anaerobe condities zijn vergelijkbaar (t.o.v. 0,23-38,64 μmol g/DW per dag) en onder aerobe condities gemiddeld lager (t.o.v. 0,23-113,63 μmol g/DW per dag) vergeleken met een aantal incubatie experimenten met laagveenbodems uit het buitenland. De gevonden CH₄-productiewaarden zijn vergelijkbaar of juist hoger dan gevonden in de literatuur (<0,02 - 0,19 μmol g/DW per dag; Moore & Dalve, 1997; Hao, 2019; Zhang et al., 2021).



Figuur 3.13. De gemiddelde CO₂ (links) en CH₄ (rechts) productie (μmol g/DW per dag) in de verschillende sawa's onder anaerobe (boven) en aerobe (onder) condities. Foutbalken geven standaarddeviatie van het gemiddelde weer.

Er werden geen sterke correlaties gevonden tussen de totale C-productie (CO_2+CH_4) en de samenstelling van het organisch materiaal in het incubatie experiment. Echter, de C-productie nam enigszins toe met het stikstofgehalte in het organisch materiaal in zowel de anaerobe ($R^2=0,2$; $p=0,04$) als aerobe behandeling ($R^2=0,2$; $p=0,08$; Figuur 3.14). Vergelijkbare patronen werden gevonden met de N/P ratio van het organisch materiaal, waarbij de C-productie significant positief correleerde in de aerobe behandeling ($R^2=0,2$; $p=0,04$). Het lijkt er dus op dat een hoger N-gehalte in het organisch materiaal zorgt voor een iets snellere afbraak van organisch materiaal.

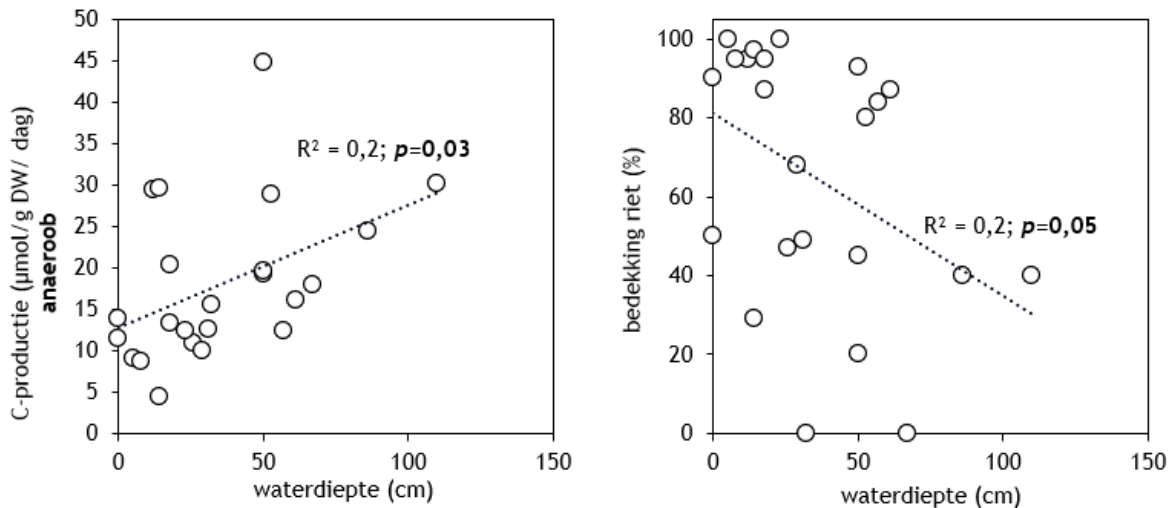
De dikte van de gevonden laag organisch materiaal was echter niet gerelateerd aan het N-gehalte ($R^2=0,01$, $p=0,23$) en zeer zwak positief gecorreleerd met de C/N ratio ($R^2=0,14$, $p=0,12$) (Figuur 3.8). Verder werden negatieve verbanden gevonden in alle behandelingen tussen de totale C-productie en de K, Al en Mg concentraties in het organisch materiaal ($p<0,05$; voor K alleen in de anaerobe+sulfaat behandeling). Dit kan duiden op de aanwezigheid van lutumdeeltjes (kleideeltjes) tussen het organisch materiaal in de incubatieflesjes.



Figuur 3.14. Enkele correlaties tussen de totale C-productie in de sawa's ($\mu\text{mol g/DW per dag}$) en N concentraties; N/P ratio's in het organisch materiaal van het incubatie experiment.

Daarnaast was de totale C-productie onder anaerobe condities significant gecorreleerd met waterdiepte ($R^2=0,2$; $p=0,03$), waarbij er meer productie was met toenemende waterdiepte (Figuur 3.15). Er werd ook een lichte toename van de CH_4 productie gevonden met de waterdiepte onder anaerobe condities. Dit kan verklaard worden door de significante afname van rietbedekking (en dus wortelbiomassa) met waterdiepte ($R^2=0,2$; $p=0,05$).

Riet is een potentiële veenvormer met vaak hogere C/N ratio's dan waterplanten. Hierdoor kan de afbreekbaarheid lager zijn, hoewel ook andere eigenschappen van planten zoals N/P, C/P, lignine en cellulose van invloed kunnen zijn op de afbreekbaarheid van organisch materiaal (Tomassen *et al.*, 2004; Longhi *et al.*, 2008; Lan *et al.*, 2012). Dit kwam ook naar voren uit een, weliswaar zwak, negatief, verband tussen totale C-productie en percentage rietbedekking in de anaerobe behandeling ($R^2=0,1$). In de diepere delen van een sawa, bestaat het aanwezige organisch stof dus mogelijk voor een relatief groter deel uit waterplanten.



Figuur 3.15. Correlaties tussen de totale C-productie ($\mu\text{mol g/DW}$ per dag), rietbedekking en de waterdiepte van de sawa's.

De relatie tussen de totale C-productie (CO_2+CH_4) onder de verschillende behandelingen in het incubatie experiment en de aanwezigheid van verschillende waterplanten in de sawa's is verder uitgelicht in Tabel 3.3. Er werden geen sterke verbanden gevonden tussen de aanwezigheid van waterplanten en de totale C-productie (Figuur 3.16). In sawa B1A werd de hoogste totale C-productie gemeten in zowel de anaerobe met toegevoegd sulfaat als de aerobe behandeling (Tabel 3.3). In deze sawa kwamen, weliswaar in zeer lage bedekkingen, de soorten *Equisetum spec.*, (paardenstaart), *Iris pseudacorus* (gele lis) en *Lycopus europeaus* (wolfspoot) voor (Tabel 3.3). Verder kwam gele lis ook in lage bedekking voor in sawa G1A waar onder anaerobe omstandigheden (+sulfaat) ook een relatief hoge totale C-productie werd gemeten ($27,5 \mu\text{mol g/DW}$ per dag). Mogelijk dat de aanwezigheid van deze soorten bijdraagt aan een hogere afbreekbaarheid van het organische materiaal.

De laagste C-productie-waarden werden gemeten op locaties met een hoge rietbedekking. In de plot waar geen riet stond maar wel veel zwanenbloem (B1C) was de C-productie lager dan het gemiddelde, wat er op duidt dat de gevormde organische laag hier onder anaerobe omstandigheden minder snel zal afbreken dan op verschillende andere locaties.

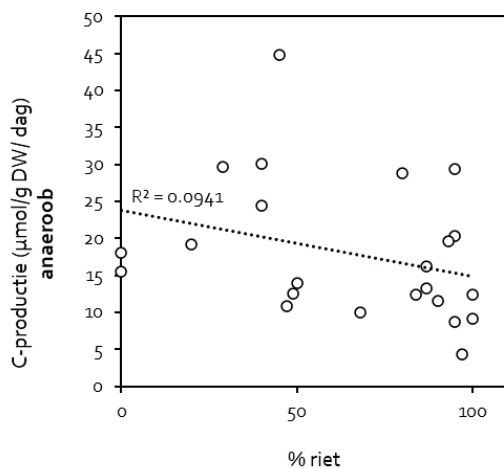
Verder was opvallend dat in sawa I2C zowel de bedekking van *C. globularis* (breekbaar kransblad) als de totale C-productie ($27,5 \mu\text{mol g/DW}$ per dag) onder anaerobe omstandigheden (+sulfaat) hoog waren. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat kranswieren doorgaans veel makkelijk afbreekbaar zijn dan helofyten.

Tabel 3.3. Overzicht van de totale C-productie ($\mu\text{mol CO}_2+\text{CH}_4$ g/DW per dag) en de bedekking van een aantal soorten aanwezig in de verschillende sawa's. Zie bijlage V voor het complete overzicht.

code	totale C-productie ($\mu\text{mol g/DW per dag}$)			%	%	%	%	%	%	%
	Anaeroob +sulfaat	Anaeroob	Aeroob							
A1 A	9,7	12,4	24,8	94						
A1 B	16,8	24,5	36,2	40						
A1 C	25,2	30,1		40						
B1 A	39,7	29,4	84,8	95				1	1	5
B1 B	12,8	10,9	11,8	47		5				
B1 C	9,2	15,5				35				
C3 A	14,2	9,1	41,5	100						
C3 B	4,8	8,7	5,3	95						
C3 C	15,9	29,6		29						
D4 A	13,1	13,3	17,5	87						
D4 B	20,4	28,8	35,8	80	9					
E4 A	22,4	13,9	38,7	50						
E4 B	16,3	12,5	19,7	49						
G1 A	27,5	11,5	27,6	90					5	
G1 B	6,4	4,3	17,1	97						
H5A	11,6	20,3	41,3	95				0,5		
H5 B	21,7	16,2	57,7	87	3					
I2 A	21,9	10,0	26,1	68						
I2 B	18,2	19,2	61,0	20	50					
I2 C	27,5	18,0			5		70**			
L6 A	15,9	12,4	36,0	100						
L6 B	22,9	19,6	31,6	93						
L6 C	23,9	44,8		45						

*waarschijnlijk breekbaar kransblad (*Chara globularis*)

**afstervend, mogelijk door veranderende lage waterstand?



Figuur 3.16. Correlatie tussen de totale anaerobe C-productie ($\mu\text{mol g/DW per dag}$) en rietbedekking (%) van de sawa's.

Het is goed om te realiseren dat de resultaten van de respiratieproef vooral laten zien in welke mate de verschillende, in de sawa's verzamelde, substraten afbreken. In principe zal echter nooit alle gevormde organische materiaal afbreken en zal er dus per definitie altijd (enige) accumulatie van organisch materiaal plaatsvinden.

Samenvatting respiratieproef veenontwikkeling

Tussen de locaties en behandelingen (aeroob, anaeroob en anaeroob+extra sulfaat) zitten verschillen in de koolstof-(C-)productie. De C-productie bestond voor het grootste deel uit CO₂ en is een maat voor de afbreekbaarheid (hoe meer C-productie, hoe hoger de afbreekbaarheid). De meeste afbraak vond plaats onder zuurstofhoudende (aerobe) omstandigheden. Voor veenopbouw zijn anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden daarom het beste.

Toevoeging van extra sulfaat leidde in de proef niet direct tot meer afbraak (mogelijk door de al relatief hoge sulfaatconcentraties in het water uit de Volgermeerpolder).

Er was een positief verband tussen de C-productie en het stikstof (N)-gehalte van het organische materiaal gevonden. Materiaal dat minder N bevatte, bleek minder goed afbreekbaar. Daarnaast nam de totale C-productie onder zuurstofloze (anaerobe) condities in de sawa's toe met de waterdiepte, terwijl de rietbedekking juist afnam met de waterdiepte. Er werden verder geen sterke verbanden gevonden tussen de totale C-productie in het incubatie experiment met de bedekking van waterplanten in de sawa's.

3.2.4 Pilotonderzoek slib- en rietinbreng

In het PeatCap-onderzoek (STW) is gebleken dat er veenvorming in de sawa's kan optreden. Met name riet kan hier een belangrijke rol bij spelen. Uiteindelijk zou de ontwikkeling over kunnen gaan van laagveen (rietmoeras) naar veenmosrietland en hoogveen. Ten behoeve van de stimulering van de eerste veenvorming vanuit water- en oeverplanten is in 2017 een pilot gestart in de sawa's van het B&L-cluster. In deze pilot worden de resultaten van het PeatCap-onderzoek opgeschaald. In de pilot zijn drie behandelingen ten behoeve van het stimuleren van de rietontwikkeling getest.

Zie ook o.a. Witteveen+Bos (2018; 2019).

De gewenste waterstanden zijn van diepste PQ naar ondiepste PQ:

- Hoog: 15-25 cm;
- Midden: 5-10 cm;
- Laag: -1-5 cm.

Tabel 3.4 geeft een overzicht van de ingrepen die in de pilotsawa's zijn gedaan, waardoor verschillende behandelingen met aanbrengen van slib en/of rietmaaisel kunnen worden onderzocht. Per sawa zijn drie PQ's ingericht. Bij de start van de metingen in 2018 zijn drie extra PQ's ingericht in sawa L5 (slib+riet). Zie ook o.a. Witteveen+Bos (2018; 2019).

Tabel 3.4. Behandelingen van de pilot.

Sawa	Behandeling	Omschrijving
L1	Controle	Geen materiaal toegevoegd
L4	Effect van rietmaaisel	Circa 2 cm rietmaaisel (stengel + halm) toegevoegd over de gehele sawa
L5	Effect van slib en rietmaaisel	Circa 5 cm slib en 2 cm rietmaaisel (stengel + halm) toegevoegd over de gehele sawa
B5	Effect van slib	Circa 5 cm slib toegevoegd over de gehele sawa

In 2021 is eenmalig een grove vegetatieopname gedaan, waarbij alleen riet, lisdodde en zeebies werden gescoord. De resultaten worden hieronder weergegeven.

Voor veenontwikkeling is riet een belangrijke soort, omdat deze relatief moeilijk afbreekbaar is en veel biomassa kan vormen. Andere plantensoorten zoals bijvoorbeeld lisdodde en zeebies kunnen echter ook bijdragen aan veenvorming. Door een ruwe opname van deze soorten krijgen we inzicht in de aanwezigheid van de soorten per PQ (plot).

In de meeste PQ's komt riet voor (Tabel 3.5). Ten opzichte van 2020 zijn het dezelfde PQ's waarin nu ook weer riet wordt aangetroffen. In de ondiepere PQ's en PQ's aan de oever is vrijwel overal een aanzienlijke hoeveelheid riet aanwezig. Verder valt op dat het aandeel riet vanaf 2017 toeneemt in veel van de PQ's en met name in L5 (slib+riet) (Tabel 3.5). In PQ B5.1 is de rietbedekking echter wat afgenomen in vergelijking met 2020, terwijl deze in B5.2 juist wat is toegenomen. In L1 (controle) en L4 (riet) is het riet nog niet verder uitgebreid naar PQ2.

Tabel 3.5. Bedekking van riet weergegeven op basis van de Braun-Blanquet schaal (zie uitleg Tabel 2.1), weergegeven per plot in de jaren 2017 tot en met 2021.

Sawa	PQ (plot)	Waterstand	Behandeling	2017	2018	2019	2020	2021
L1	PQ1	Hoog	Controle	1	2a	4	5	5
L1	PQ2	Laag	Controle	1	r			
L1	PQ3	Midden	Controle	r				
L4	PQ1	Laag	Riet	1	3	5	4	4
L4	PQ2	Midden	Riet	r	r	+		
L4	PQ3	Hoog	Riet	1	+	1		
B5	PQ1	Laag	Slib	1	2b	3	3	2a
B5	PQ2	Midden	Slib	1	1	+	1	2a
B5	PQ3	Hoog	Slib	1	r			
L5	PQ1	(laag)	Slib+Riet (oud)	1	1	2a	2a	3
L5	PQ2	(midden)	Slib+Riet (oud)	1	1	3	2a	3
L5	PQ3	(hoog)	Slib+Riet (oud)	+	1	1	1	2b
L5	PQ4	Laag	Slib+Riet (nieuw)	n.v.t.		+	2a	3
L5	PQ5	Midden	Slib+Riet (nieuw)	n.v.t.		+	+	3
L5	PQ6	Hoog	Slib+Riet (nieuw)	n.v.t.	r			

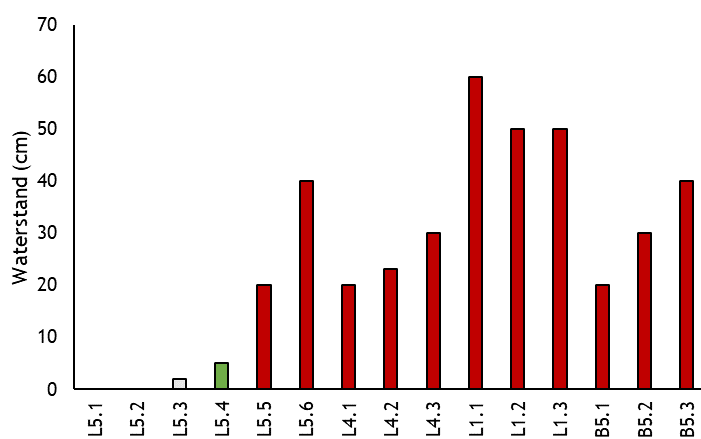
Lisdodde is nauwelijks aanwezig en alleen waargenomen in PQ L1.1 (Tabel 3.6). Lisdodde was niet meer aanwezig in de PQ's van L4. Zeebies komt in grotere bedekking voor dan lisdodde, maar is minder talrijk dan riet. Zeebies komt in alle sawa's voor, met de hoogste dichtheid in PQ2 van de

sawa met slibbehandeling en PQ1 van de sawa met behandeling riet+slib. Zeebies is toegenomen of gelijk gebleven ten opzichte van 2020.

Tabel 3.6. Bedekking lisdodde en heen/zeebies in 2020 en 2021 weergegeven op basis van de Braun-Blanquet schaal (zie uitleg Tabel 2.1), weergegeven per plot.

Sawa	PQ	Waterstand	Behandeling	2020 Lisdodde	2020 Zeebies	2021 Lisdodde	2021 Heen
L1	PQ1	Hoog	Controle	1	1	1	
L1	PQ2	Laag	Controle				
L1	PQ3	Midden	Controle		r		
L4	PQ1	Laag	Riet	1			
L4	PQ2	Midden	Riet				
L4	PQ3	Hoog	Riet	r	r		1
B5	PQ1	Laag	Slib				
B5	PQ2	Midden	Slib		3		3
B5	PQ3	Hoog	Slib				1
L5	PQ1	(laag)	Slib+Riet (oud)		2a		2a
L5	PQ2	(midden)	Slib+Riet (oud)				r
L5	PQ3	(hoog)	Slib+Riet (oud)		2a		3
L5	PQ4	Laag	Slib+Riet (nieuw)		2b		2b
L5	PQ5	Midden	Slib+Riet (nieuw)				
L5	PQ6	Hoog	Slib+Riet (nieuw)				

Tijdens de vegetatieopnamen werden ook de waterstanden genoteerd (Figuur 3.17). In vrijwel alle plots was de waterstand hoger dan gewenst. Alleen in sawa L5 was de waterstand zodanig dat PQ 4 binnen de gewenste range viel. De waterstanden in PQ 5 en 6 waren aan de hoge kant. Als echter PQ 3 hierin ook wordt meegenomen dan is er wel de gewenste gradiënt in diepte van plasdras naar een hogere waterstand (20 cm in PQ 5). Hoe de waterstanden vóór september 2021 waren is niet bekend. Het aandeel riet in de PQ's van L5 is het sterkst toegenomen ten opzichte van vorig jaar.



Figuur 3.17. Waterstand (cm) in september 2021 in de pilotplots. Groen: waterstand binnen gewenste range, rood: waterstand te hoog (zie boven Tabel 3.2). Grijs: geen range.

De ontwikkeling van riet lijkt dus over de jaren weldegelijk op gang te komen en is naar verwachting onder meer afhankelijk van het verloop van de waterstanden door het groeiseizoen heen. Ook vraagt mogelijk nog een rol spelen bij de vegetatieontwikkeling. Met name in de riet+slib sawa lijkt het riet zich tot nu toe het meest uit te breiden.

4 CONCLUSIES

Op basis van de monitoringsresultaten en ontwikkeling van de natuurwaarden en waterkwaliteit in het gebied heeft Gemeente Amsterdam met Onderzoekcentrum B-WARE en Witteveen+Bos een evaluatie uitgevoerd. Deze heeft geresulteerd in een visie voor de komende circa 10 jaar (2020-2030) en in een aangepast monitoringsplan. Hierin worden monitoringactiviteiten verder toegespitst op de doelen en ontwikkelingen van en in het gebied, zoals het in beeld krijgen van de eventuele ophoping van organisch materiaal (veenvorming) in de sawa's. Vanaf het jaar 2021 is gestart met de metingen volgens het aangepaste monitoringsplan.

Monitoring waterkwaliteit en waterplanten

- In het algemeen is de waterkwaliteit - onder andere op basis van de nutriëntenconcentraties en pH - van de negen verschillende wateren in de Volgermeerpolder goed te noemen. De wateren zijn te karakteriseren als matig voedselrijk en sterk gebufferd, helder en plantenrijk.
- Doordat in 2021 nieuwe wateren werden geselecteerd voor de monitoring, kon voor de meeste wateren nog geen trendanalyse worden gemaakt. Conform het aangepaste monitoringsplan zal een wat uitgebreidere (trend)analyse eens per drie jaar worden uitgevoerd.
- De concentraties van verschillende algengroepen - op basis van de chlorofyl-a metingen - waren doorgaans voldoende laag. Dit is het resultaat van de oppervlaktewaterkwaliteit, maar kan ook mede worden toegeschreven aan de weersomstandigheden. De zomer in 2021 was ten opzichte van de voorgaande zomers overwegend minder droog en warm dan voorgaande zomers.
- In sawa F6 zijn in tegenstelling tot de zomer 2020 geen blauwalgenbloeien opgetreden.
- Doordat in 2021 andere sawa's voor de monitoring werden geselecteerd, is er op dit moment voor die sawa's geen beeld van de vegetatiesuccessie. Tussen de sawa's zijn wel verschillen in bedekking van de diverse vegetaties vastgesteld.
- Vijf van de acht monitoringssawa's hebben een bedekking $\geq 50\%$ aan vegetatie (kranswieren, hogere waterplanten en helofyten) en drie minder dan 50%. De centrale watergang heeft ook een lagere bedekking.
- Er heeft geen waterinlaat in de sawa's plaatsgevonden. Tot zover bekend heeft er ook geen droogval van de sawa's plaatsgevonden. Vaak of langdurige droogstand is niet wenselijk in verband met de afbraak van organisch materiaal.
- De sulfaatconcentraties zijn in de meeste gevallen aan de hoge kant of te hoog (boven de streefwaarde), wat nadelig kan zijn voor de opbouw van organisch materiaal (al blijkt dit niet direct uit de respiratieproef; zie hieronder, punt 6). In sawa's A1 en L1 is de concentratie sulfaat van het oppervlaktewater wel voldoende laag.

Monitoring veenopbouw

- Uit de inventarisatie van riet in de plots - van de pilot slib- en rietinbreng met als doel de ontwikkeling van riet te versnellen - blijkt riet in verschillende plots uit te breiden. Echter, in de plots waar in 2020 nog geen riet groeide komt in 2021 - mogelijk vanwege de waterdiepte en/of vraat - nog steeds geen riet voor.
- Er lijkt in de meeste sawa's nog maar weinig veenopbouw te hebben plaatsgevonden. Hoewel in enkele sawa's er al wel een meetbare organische laag werd aangetroffen (H5, A1 en in iets mindere mate B1) van 6 tot 10 cm dik.

- Er werd overwegend meer organisch materiaal aangetroffen aan de randen van de sawa's, waar vaak de meeste helofyten (voornamelijk riet) werden waargenomen. In één plot bleek het organische materiaal voornamelijk door aanwezigheid van zwanenbloem te worden gevormd.
- Op basis van het incubatie experiment blijkt de afbraak van organisch materiaal in de onderzoeksawa's met name bepaald te worden door de CO₂ productie en in mindere mate door CH₄ vorming. Dit laatste kan er mee te maken hebben dat het water in de sawa's doorgaans veel sulfaat bevat. Het is bekend dat de methaanproductie geremd kan worden als het oppervlaktewater hoge sulfaatconcentraties bevat omdat sulfaatreducerende bacteriën concurreren met methanogenen voor organische substraten (Abram and Nedwell, 1978; Tomassen *et al.*, 2004).
- Daarnaast is in het incubatie experiment de totale C-productie het laagst onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden. Afbraak van organisch materiaal is doorgaans minder sterk onder anaerobe condities vergeleken met aerobe condities, omdat anaerobe afbraak energetisch ongunstiger is. Dit houdt dus in dat anaerobe condities essentieel zijn voor de ophoping van organisch materiaal in de sawa's. Hiervoor is het belangrijk om het waterpeil in de sawa's voldoende hoog te houden.
- Er werden geen grote effecten van de toevoeging van sulfaat in de anaerobe behandeling gezien op enerzijds een toename van de totale C-productie (zoals vermeld in Lamers *et al.*, 1998) of anderzijds remming van CH₄ productie (slechts lichte remming). Doordat het oppervlaktewater van de Volgermeerpolder al relatief hoge sulfaatconcentraties bevat heeft de toevoeging van extra sulfaat waarschijnlijk geen sterk effect gehad op de afbraak van het organisch materiaal, ten opzichte van de zuurstofloze behandeling zonder extra sulfaat.
- De verschillen in C-productie tussen de sawa's kunnen verklaard worden aan de hand van de karakteristieken en samenstelling van het oppervlaktewater van de verschillende sawa's. Zo is de CH₄ productie in sawa H5 opvallend lager dan in de andere sawa's en bevat H5 ook relatief hoge sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater (zie Bijlage IV) wat de methaanproductie geremd kan hebben.
- Er werd met name een positief verband gevonden tussen de totale C-productie en het stikstof (of N/P ratio) gehalte van het organisch materiaal. Het is bekend dat organisch materiaal met verhoogde stikstofgehaltes beter afbreekbaar is (o.a. Aerts & Caluwe, 1999; Bragazza *et al.*, 2006). Daarnaast nam de totale C-productie onder anaerobe condities in de sawa's toe met de waterdiepte, terwijl de rietbedekking juist afnam met de waterdiepte. Dit indiceert dat er minder afbraak en meer ophoping van organisch materiaal plaatsvindt op locaties met een hoge rietbedekking. Het is bekend dat riet een potentiële veenvormer is, met name onder anaerobe condities (Zerbe *et al.*, 2013).
- De totale C-productie was lager dan gemiddeld op de locatie waar veel zwanenbloem stond (B1C), wat er op duidt dat de gevormde organische laag hier minder snel zal afbreken onder anaerobe omstandigheden dan op de andere locaties. Er werden verder geen hele sterke correlaties gevonden tussen de totale C-productie in het incubatie experiment met de bedekking van andere waterplanten in sawa's.

5 REFERENTIES

- Abram, J. W. and Nedwell, D. B. (1978). Inhibition of methanogenesis by sulphate reducing bacteria competing for transferred hydrogen. *Archives of Microbiology* 117: 89–92
- ACV (2010). Ecologisch beheerplan Volgermeerpolder. Rapportnr. R001-4696827PJS-sbb-V02-NL, Advies Combinatie Volgermeer, Deventer.
- ACV (2011). Ecologisch monitoringsplan Volgermeerpolder. Rapportnr. R001-4696851ROY-lnk-V01-NL, Advies Combinatie Volgermeer, Deventer.
- ACV (2013). Ecologisch beheer en monitoring Volgermeerpolder 2012. Rapportnr. R001-1206911PJS-sbb-V01-NL, Advies Combinatie Volgermeer, Deventer.
- ACV (2014). Monitoringsrapport 2013 Volgermeerpolder. Rapportnr. R003-1206911PJS-sbb-V01-NL, Advies Combinatie Volgermeer, Deventer.
- ACV (2015). Ecologisch beheer en monitoring Volgermeerpolder 2014. Rapportnr. R004-1206911PJS-sbb-V01-NL, Advies Combinatie Volgermeer, Deventer.
- Aerts, R. & de Caluwe, H. (1999). Nitrogen deposition effects on carbon dioxide and methane emissions from temperate peatland soils. *Oikos*, 84: 44-54
- Batjes, N. H. (2009). Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. *Soil Use and Management* 25: 124-127.
- Bloemendaal, F.H.J.L & J.G.M. Roelofs (1988). *Waterplanten en waterkwaliteit*. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.
- Bragazza, L., Freeman, C., Jones, T., Rydin, H., Limpens, J., Fenner, N., ... & Toberman, H. (2006). Atmospheric nitrogen deposition promotes carbon loss from peat bogs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103: 19386-19389.
- Buijs G.J., Trommelen J. & Kaars S. (2005) *Gifpolder Volgermeer: van veen tot veen*. Uitgeverij Noord-Holland - ISBN: 9789071123887
- Hao, Y. (2019). *Characterization of Peat Bog CO₂ and CH₄ Production Potentials in relation to Peat Physico-chemical Properties and Vegetation Composition* (Doctoral dissertation, The Ohio State University)
- Jørgensen, B.B. (1982). Mineralization of organic matter in the sea bed-the role of sulphate reduction. *Nature*, 296: 643-645.
- Keller, J. K., & Bridgman, S. D. (2007). Pathways of anaerobic carbon cycling across an ombrotrophic-minerotrophic peatland gradient. *Limnology and Oceanography*, 52(1), 96-107.
- Lamers, L., Mulderij, G., Schouwenaars, J., Klinge, M., Jaarsma, N., van der Wielen, S., Verhoeven, J., Verberk, W., Esselink, H., Ibelings, B., van Donk, E. & Roelofs, J.G.M. (2010). *Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2006-2009*. Rapportnr. 2010/dk134-O, Ministerie van LNV, Directie Kennis en Innovatie, Ede.
- Lamers, L.P.M., Tomassen, H.B.M. & Roelofs, J.G.M. (1998). Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology*, 32: 199-205.
- Lamers, L.P.M., Tomassen, H.B.M. & Roelofs, J.G.M. (1998). Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology*, 32: 199-205.
- Lan, Y., Cui, B., You, Z., Li, X., Han, Z., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2012). Litter decomposition of six macrophytes in a eutrophic shallow lake (Baiyangdian Lake, China). *CLEAN-Soil, Air, Water*, 40(10), 1159-1166.
- Leifeld, J., Klein, K. & Wüst-Galley, C. (2020). Soil organic matter stoichiometry as indicator for peatland degradation. *Scientific Reports*, 10: 7634.
- Loisel, J. et al. (2014). A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. *Holocene* 24: 1028-1042.
- Longhi, D., Bartoli, M., & Viaroli, P. (2008). Decomposition of four macrophytes in wetland sediments: Organic matter and nutrient decay and associated benthic processes. *Aquatic Botany*, 89(3), 303-310.

- Moore, T. R., & Dalva, M. (1997). Methane and carbon dioxide exchange potentials of peat soils in aerobic and anaerobic laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 1157-1164.
- OECD (1982). *Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Parijs, 154 pp.
- RWS WVL (2012). *Blauwalgenprotocol 2012*. Gedownload juni 2020 van www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@177789/blauwalgen/
- Smolders, A. J., Tomassen, H. B., Lamers, L. P., Lomans, B. P., & Roelofs, J. G. (2002). Peat bog restoration by floating raft formation: the effects of groundwater and peat quality. *Journal of Applied Ecology*, 39(3), 391-401.
- STOWA (2008). *Van Helder naar troebel en weer terug. EEN ECOLOGISCHE SYSTEEMANALYSE EN DIAGNOSE VAN ONDIEPE MEREN EN PLASSEN VOOR DE KADERRICHTLIJN WATER*. Jaarsma N.G., M. Klinge en L.P.M. Lamers. STOWA-rapportnummer 2008-04; ISBN 978.90.5773.386.4
- Tomassen, H. B., Smolders, A. J., Lamers, L. P., & Roelofs, J. G. (2004). Development of floating rafts after the rewetting of cut-over bogs: the importance of peat quality. *Biogeochemistry*, 71: 69-87.
- van der Molen, D.T.; R. Pot; C.H.M. Evers & L.L.J. van Nieuwerburgh (eds.) (2012). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn water 2015-2021*. Stowa 2012-31.
- Vermaat J., Harmsen J., Hellmann F., van der Geest H., de Klein J., Kosten S., Smolders A. & Verhoeven J. (2012). *Zwavedynamiek in het West-Nederlandse laagveengebied, met het oog op klimaatsverandering*. Rapport AE-12/01.
- Verstijnen Y., Smolders, F, Remke E. & Westendorp P.J. (2020). *Monitoring waterkwaliteit en vegetatieontwikkeling in de Volgermeerpolder*. Rapportnummer RP-18.222.20.31. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Verstijnen Y., Smolders, F, Remke E. & Westendorp P.J. (2021). *Monitoring waterkwaliteit en vegetatieontwikkeling in de Volgermeerpolder*. Rapportnummer RP-20.041.20.117. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Vista (2001). *Definitief ontwerp Volgermeerpolder*.
- Witteveen+Bos (2016). *Ecologisch advies Volgermeerpolder: Monitoring waterkwaliteit en veenontwikkeling in 2015*. Rapportnr. ASD529-92/16-004.425, Witteveen+Bos, Deventer.
- Witteveen+Bos (2017). *Volgermeerpolder 2016: Ecologisch beheer en monitoring*. Rapportnr. ASD529-93/17-009.813, Witteveen+Bos, Deventer.
- Witteveen+Bos (2018). *Volgermeerpolder 2017: Ecologisch beheer en monitoring*. Rapportnr. 102468/18-012.231, Witteveen+Bos, Deventer.
- Witteveen+Bos (2019). *Volgermeerpolder 2018: Ecologisch beheer en monitoring*. Rapportnr. 107948/19-010.657, Witteveen+Bos, Deventer.
- Witteveen+Bos (2020). *Ecologische monitoring Volgermeerpolder 2019: Advies doelen per sawa in de Volgermeerpolder 2019*. Rapportnr. 114106/20-017.755.
- Zerbe, S., Steffenhagen, P., Parakenings, K., Timmermann, T., Frick, A., Gelbrecht, J., & Zak, D. (2013). Ecosystem service restoration after 10 years of rewetting peatlands in NE Germany. *Environmental management*, 51: 1194-1209.
- Zhang, H., Tuittila, E. S., Korrensalo, A., Laine, A. M., Uljas, S., Welti, N., ... & Lohila, A. (2021). Methane production and oxidation potentials along a fen-bog gradient from southern boreal to subarctic peatlands in Finland. *Global Change Biology*, 27: 4449-4464.

6 BIJLAGEN

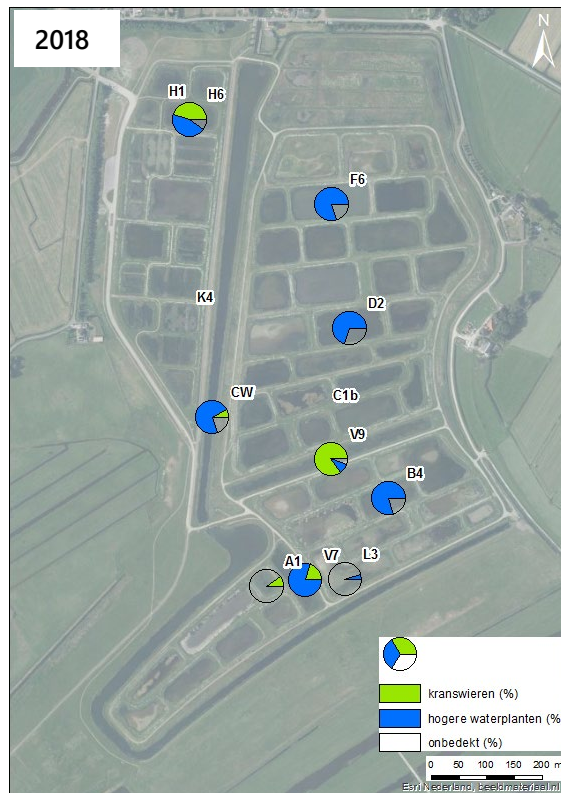
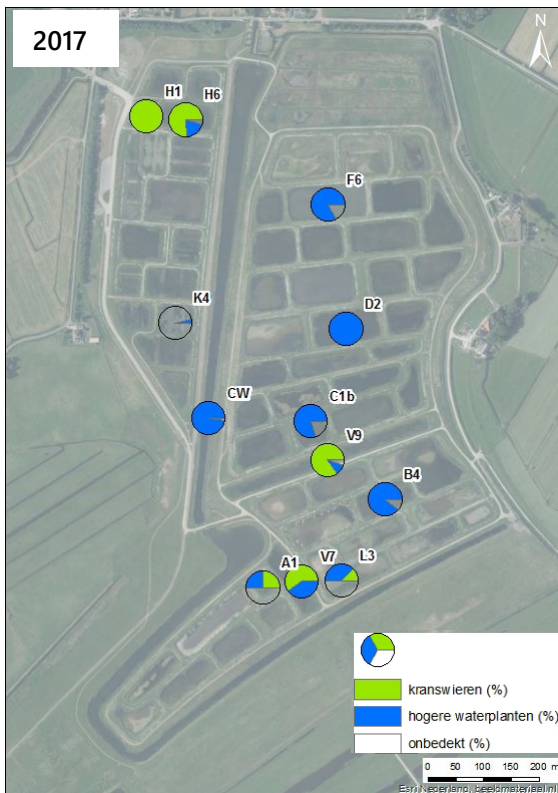
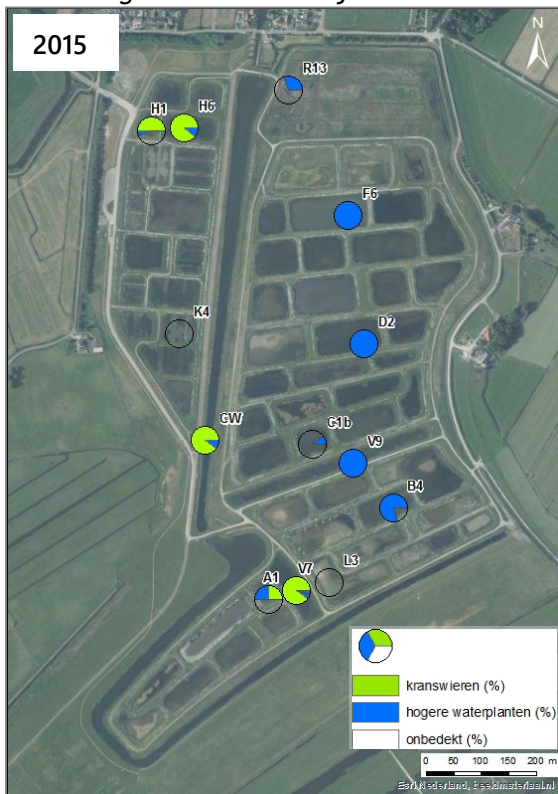
I. Overzicht vegetatie monitoring

Overzicht van de inundatie van de sawa en bedekkingen (van het wateroppervlak) aan waterplantenvegetatie en kranswieren, zoals waargenomen tijdens de opname in september 2021 in de monitoringswateren.

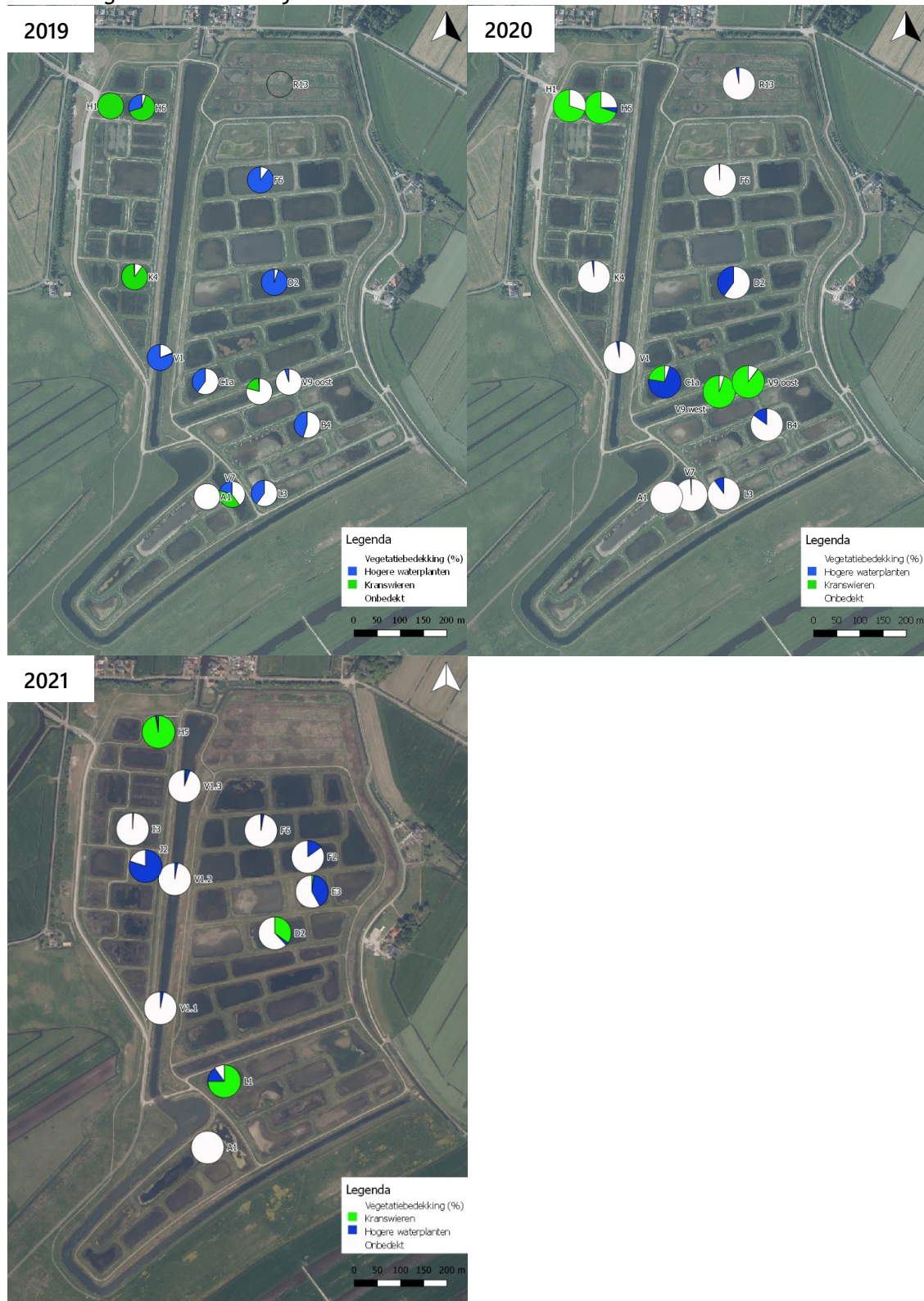
Sawa/ water	Water in sawa (%)	Bed. krans- wieren open water- opp. (%)	Bed. hogere water- planten open water- opp. (%)	Bed. helofyten hele wateropp. (%)	Bed. kaal open water- opp. (%)	Beschrijving submerse vegetatie en inundatie.
A1	100	0	0	85	100	Gehele sawa vol met riet en lisdodde. Watervorkje. In midden dunner en kleiner riet dan aan de randen. Op bodem ophoping dood organisch materiaal/rietstrooisel. Soorten submerse planten: geen. Diepte water: ca 100 cm. Doorzicht: ca. 40 cm.
D2	100	35	3	20	62	Helofyten veel in NO-hoek. (blauw)wierbolletjes. Soorten submerse planten: <i>Chara vulgaris</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> . Diepte water: 65 cm aan rand (dieper in midden). Doorzicht: bodemzicht (aan rand)
E3	100	2	40	15	58	Wilg op oever. (blauw)wierbolletjes. Soorten submerse planten: <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Chara vulgaris</i> . Diepte water: 50 cm. Doorzicht: 25 cm
F2	100	0	15	7	85	Groenwier op bodem, sulfidegeur, (blauw)wierbolletjes. Flab aan rand (ca. 3-5%) Soorten submerse planten: <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Lemna trisulca</i> . Diepte water: 70 cm aan rand. Doorzicht: bodemzicht
F6	100	0	3	5	97	Hoge waterstand. Wilg op oever. Groenwier op bodem (5%) Soorten submerse planten: <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Elodea nuttallii</i> . Diepte water: 80 cm aan rand (dieper in midden). Doorzicht: bodemzicht aan rand
H5	100	97	2	37	1	Tussen riet geen kranswier, alleen dode biomassa (ca. 30%).

						Soorten submerse planten: <i>Chara canescens</i> , <i>Chara hispida</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> . Diepte water ca. 55 cm Doorzicht: bodemzicht
I3	100	0	1	7	99	Water leek recent een stuk gezakt. Geen groenwier, kale bodem. Soorten submerse planten: <i>Myriophyllum spicatum</i> . Diepte water: 65 cm Doorzicht: 30 cm
J2 (NO- hoek)	100	0	80	40	20	Extra meegenomen in monitoring. Ca. kwart van de gehele sawa bekeken. Riet en Lisdodde, watervorkje. Veel dode biomassa op bodem. Soorten (submerse) planten: <i>Statiotes aloides</i> (ca. 90%), <i>Elodea nuttallii</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> Diepte water: 110 cm Doorzicht: 50 cm
L1	100	75	15	28	10	Vrij veel FLAB aan de kanten van het water. Soorten submerse planten: <i>Chara vulgaris</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> . <i>Alisma plantago-aquatica</i> (enkele), <i>Epilobium</i> (enkele) Diepte water ca. 65 cm Doorzicht: bodemzicht
V1.1 zuid	100	0	3	25	97	Veel groenwier op de bodem, iedere hark met bijna 100% groenwier. Visjes. Soorten submerse planten: <i>Ranunculus circinatus</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> . Diepte water: 100 cm (dieper in het midden). Doorzicht: > 50 cm.
V1.2 midden	100	0	3	10	97	Veel groenwier op de bodem, iedere hark met bijna 100% groenwier. Ook tussen riet. Soorten submerse planten: <i>Ranunculus circinatus</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Alisma plantago-aquatica</i> . Diepte water: 100 cm (dieper in het midden). Doorzicht: 70 cm.
V1.3 noord	100	1,5	4	7	94,5	Veel groenwier op de bodem, iedere hark met bijna 100% groenwier. Soorten submerse planten: <i>Ranunculus circinatus</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Elodea nuttallii</i> , <i>Chara vulgaris</i> (?) onder het groenwier. Diepte water: 85 cm (dieper in het midden). Doorzicht: bodemzicht.

Kaarten met de gemonitorde bedekkingen van waterplanten en kranswieren in de monitoringswateren van de jaren 2015 t/m 2020.

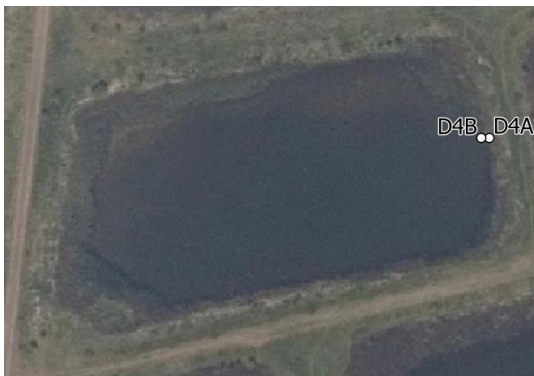


Vervolg Kaarten met de gemonitorde bedekkingen van waterplanten en kranswieren in de monitoringswateren van de jaren 2015 t/m 2020.



II. Locaties organisch materiaal

Kaartjes met de locaties waar organisch materiaal is verzameld; per één of twee sawa's.





Bedekking (%) van de potentiële veenvormers (riet, lisdodde, heen) op de locaties.





III. Plantchemische gegevens organisch materiaal

code	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mmol/kg DW</i>	<i>mg/g DW</i>	<i>mg/g DW</i>	<i>mmol/g DW</i>	<i>mmol/g DW</i>	<i>g/g</i>
	tot-Al	tot-Ca	tot-Cl	tot-Fe	tot-K	tot-Mg	tot-Mn	tot-Na	tot-P	tot-S	tot-Si	tot-Zn	N	C	N	C	C/N
A1 A	28.4	133.1	149.0	59.0	13.8	21.2	3.3	7.3	22.3	145.7	18.5	0.4	12.0	453.1	0.9	37.7	37.8
A1 B	10.3	83.6	175.1	8.5	17.5	14.6	37.2	8.6	11.4	48.3	16.3	0.4	6.0	460.6	0.4	38.3	76.8
A1 C	7.5	125.6	98.3	10.6	18.2	23.2	16.8	5.7	34.7	110.1	13.1	0.4	17.6	459.3	1.3	38.2	26.1
B1 A	15.3	290.1	156.6	72.7	39.7	35.9	21.4	12.2	33.9	138.3	14.9	0.6	15.6	441.6	1.1	36.8	28.3
B1 B	115.1	290.2	151.2	161.0	66.6	63.3	8.9	27.2	21.9	77.7	15.0	0.6	6.3	217.8	0.4	18.1	34.6
B1 C	115.3	483.2	141.0	291.3	83.8	71.3	9.7	28.1	40.3	112.2	19.8	0.6	12.6	310.3	0.9	25.8	24.6
C3 A	215.2	276.9	150.4	412.6	83.2	103.3	8.1	18.2	28.4	472.8	21.8	1.2	11.6	286.3	0.8	23.8	24.7
C3 B	135.1	274.7	200.3	200.5	72.5	75.4	10.0	13.3	28.2	307.1	24.3	1.3	13.2	355.2	0.9	29.6	26.9
C3 C	40.6	347.9	161.9	58.4	52.9	43.0	61.9	6.8	45.7	144.0	17.8	0.7	17.5	410.9	1.2	34.2	23.5
D4 A	120.2	652.2	116.6	210.0	57.6	86.5	16.4	17.9	29.2	199.2	18.6	0.7	10.3	250.5	0.7	20.9	24.3
D4 B	25.0	470.6	81.9	48.7	19.0	25.8	10.2	10.3	31.8	149.3	16.6	0.5	14.7	441.3	1.0	36.7	30.0
E4 A	62.2	233.3	166.0	194.2	62.1	39.8	9.0	11.4	25.7	334.5	18.8	0.6	15.8	414.3	1.1	34.5	26.2
E4 B	73.1	290.3	256.5	221.4	71.5	54.3	10.3	59.5	31.6	323.8	17.1	0.6	12.5	359.2	0.9	29.9	28.7
G1 A	37.7	465.4	100.1	527.5	17.2	57.9	5.6	9.6	22.2	518.7	12.9	0.6	10.8	375.1	0.8	31.2	34.7
G1 B	138.1	371.5	210.7	255.5	67.5	77.0	3.1	58.5	15.9	244.8	14.0	0.9	6.8	314.3	0.5	26.2	46.2
G5 A	34.0	151.4	256.7	97.9	105.1	53.8	7.0	30.7	23.2	308.7	16.0	0.8	11.1	436.0	0.8	36.3	39.3
G5 B	4.5	209.1	77.7	15.1	7.3	15.2	11.2	2.6	21.8	178.6	8.4	0.3	16.0	464.3	1.1	38.7	29.0
I2 A	69.9	282.6	121.6	134.9	36.4	46.3	4.0	14.1	24.6	179.5	19.6	0.5	12.0	412.0	0.9	34.3	34.3
I2 B	9.2	227.8	61.7	19.6	11.8	19.3	1.8	4.8	18.6	85.8	15.7	0.3	10.4	452.2	0.7	37.6	43.5
I2 C	9.7	286.6	125.5	24.0	14.5	24.6	7.6	3.4	21.2	157.4	14.3	0.3	13.9	455.1	1.0	37.9	32.7
L6 A	54.1	242.4	75.2	52.1	15.3	31.6	2.3	3.4	17.9	65.2	18.7	0.5	9.2	400.2	0.7	33.3	43.5
L6 B	79.4	215.3	72.6	55.9	23.6	26.7	3.2	6.6	17.3	91.1	15.3	0.5	7.1	205.0	0.5	17.1	28.9
L6 C	95.6	416.0	112.2	78.8	54.1	44.1	24.3	7.3	29.3	138.3	17.1	0.6	13.7	335.3	1.0	27.9	24.5

5-7-2021	L1	7.82	358	bz	0.1	1.7	0.2	752	41	878	0.6	921	813	2.3	74	322	2.9	802	0.9	57	4.8	0.0			6.17	6.17
5-7-2021	V1	8.07	701	bz	0.1	1.8	0.2	661	79	651	0.6	2460	613	0.6	157	590	3.4	764	0.9	1884	24.5	0.0	1.02		8.37	9.39
25-8-2021	A1	7.58	396	25	0.9	4.2	0.1	346	45	197	0.0	1690	107	1.7	73	313	4.3	235	0.1	114	105.3	0.0	2.85		7.65	10.5
25-8-2021	D2	8.1	483	bz	0.6	4.8	1.3	1352	132	1361	0.0	1272	1210	10.9	163	436	3.4	1387	4.8	317	13.3	0.0			5.87	5.87
25-8-2021	E3	7.83	586	55	0.4	12.6	0.4	615	98	466	0.0	2210	385	0.5	128	551	4.1	524	1.0	1506	165.0	0.0	9.13	20.97	1.9	32
25-8-2021	F2	8.19	586	50	0.5	10.0	0.3	797	148	731	0.0	2083	598	0.5	185	534	6.2	723	0.8	1128	136.3	0.0	11.51	59.79	3.36	74.66
25-8-2021	F6	8.41	571	bz	0.1	8.8	0.1	660	83	573	0.0	2093	456	2.0	116	578	3.8	622	0.7	1300	53.3	0.0	6.76	21.68	7.42	35.86
25-8-2021	H5	7.24	462	45	0.2	3.0	0.0	749	32	679	0.0	1852	537	0.9	46	380	6.0	719	0.0	808	112.1	0.0	1.39	11.05	12.17	24.61
25-8-2021	I3	7.93	412	15	0.6	7.1	0.0	424	50	339	0.0	1566	223	2.3	77	350	1.7	312	0.0	396	45.6	0.0	0.82	10.1	4.41	15.33
25-8-2021	L1	8.09	416	bz	0.4	3.4	0.0	794	53	913	0.0	1317	763	1.6	78	369	1.2	830	0.0	69	3.2	0.0		2.11	8.58	10.69
25-8-2021	V1	7.9	639	bz	0.3	25.1	0.4	709	89	621	0.0	2380	511	0.5	127	595	1.7	655	2.0	1572	65.9	0.0	0.6	4.06	11.59	16.25

V. Vegetatie plots organisch materiaal

% bedekking	A1			B1			C3			D4		E4		G1		H5		I2			L6		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	a	b	a	b	a	b	c	a	b	c		
water	0	40	60	0	50	60	0	5	70	0	10	0	50	0	3	1	10	30	30	90	0	5	40
struik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
gras	95	60	40	98	50	5	100	95	29	90	89	50	49	90	97	98	90	68	70	5	100	95	50
kruid	5	0	0	2	5	35	0	0	1	10	1	50	1	10	0	1	0	2	0	0	0	0	10
macrofyten	0	0	1	0	10	20	0	0	5	30	10	0	40	0	0	0	5	0	0	70	50	3	0
riet	94	40	40	95	47	0	100	95	29	87	80	50	49	90	97	95	87	68	20	0	100	93	45
heen	1	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0,5	5	0	0	0	0	0	0	0	2	1
lisdodde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	3	0	50	5	0	0	0
zeggies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potentiële veenvormers	95	40	40	95	50	0	100	95	29	90	89	50	49,5	95	97	95	90	68	70	5	100	95	46
waterdiepte [cm]	57	86	110	12	26	32	5	8	14	18	53	0	31	0	14	18	61	29	50	67	23	50	50
Andere planten (%)																							
Alisma plantago-aquatica									0,5				33				0,1						
Berula erecta													1										
Butomus umbellatus					5	35																	
Chara sp.						1											1						
Chara globularis (?)																				70*			
Convolvulus sepium										1													
Drepanocladus sp.***																					50	3	1
Elodea canadensis						5																	
Eleocharis palustris						5																1	5**
Epilobium hirsutum										9	40					1							
Euisetum fluviatile																		2	0,1				
Equisetum spec.					1											0,5							
Heracleum sphondylium												10											
Iris pseudacorus						1									5								
Juncus maritimus						2-3											3						
Lemna minor																					0,1		
Lemna trisulca		1	1																		0,1		
Lycopus europeus						5																	
Lythrum salicaria															1								
Mentha aquatica													0,5		4								5
Potamogeton pectinatus						5									1								
Riccia fluitans		5	5																				
Rumex crispus																							0,1

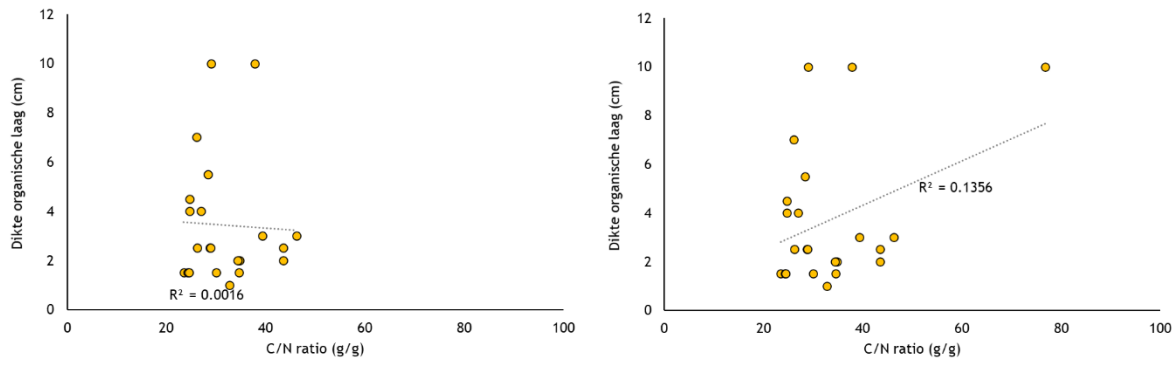
als er geen percentages voor een plot opgenomen zijn, waren er geen bijzondere planten om op te nemen

*afstervend, mogelijk door veranderende lage waterstand?

**direct naast plot

***waarschijnlijk *D. aduncus*

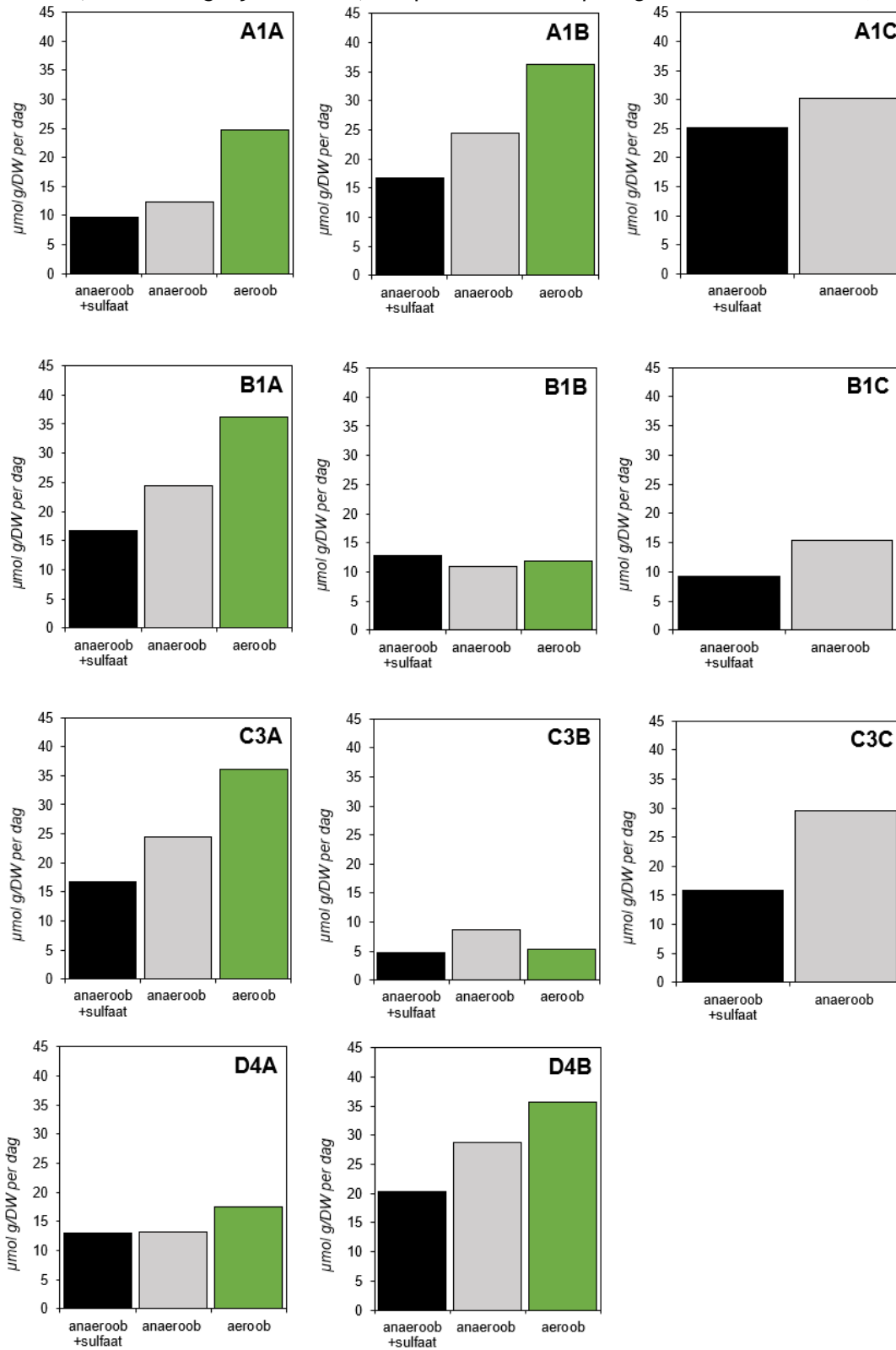
VI. Dikte organische laag versus C/N

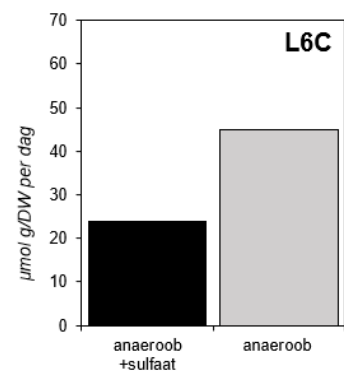
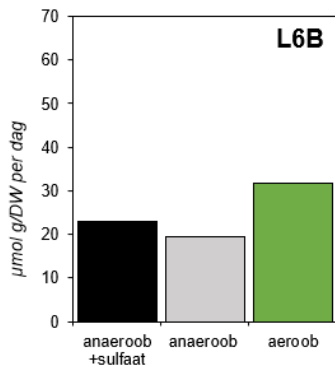
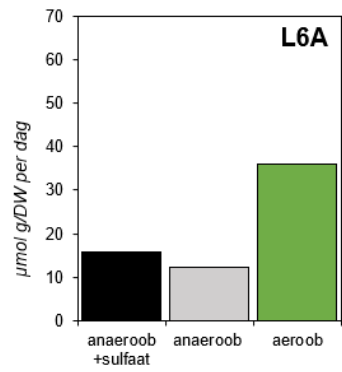
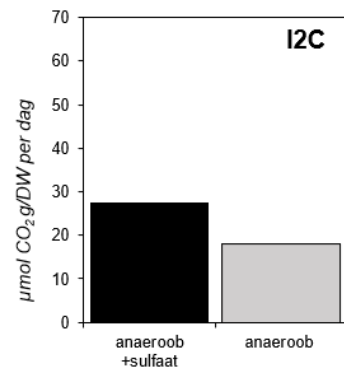
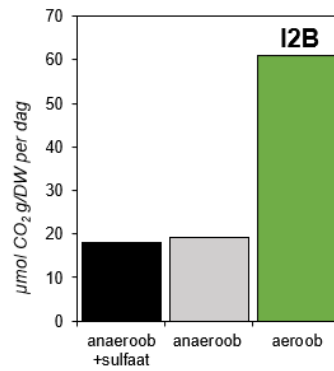
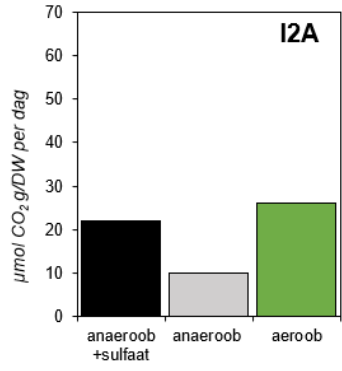
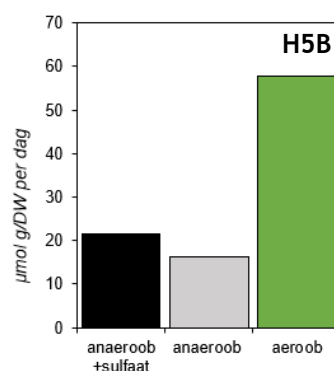
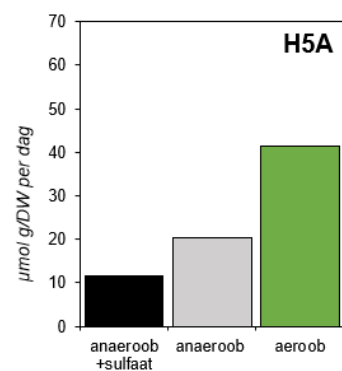
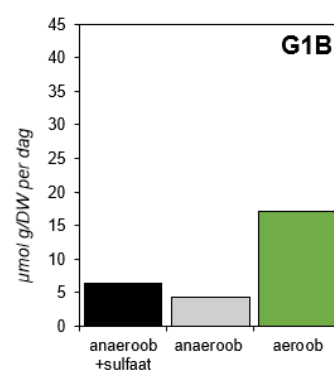
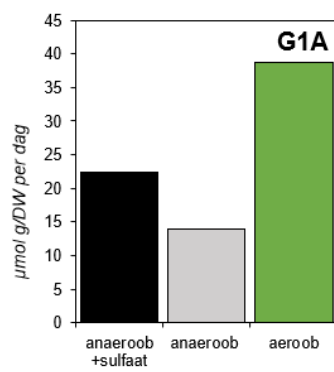
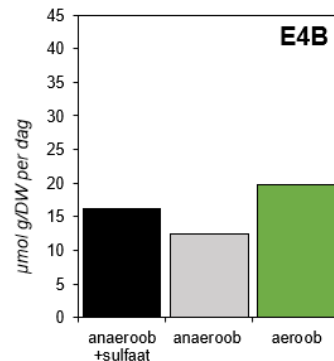
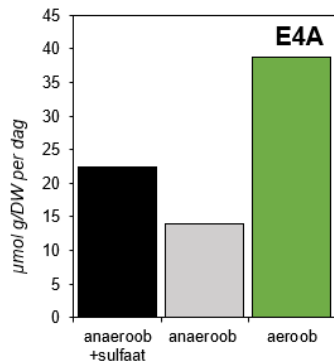


Dikte organische laag (cm) versus C/N ratio (g/g) van het organische materiaal. Links) exclusief A1B. Recht) inclusief A1B (C/N = 77).

VII. Gemiddelde CO₂ productie (μmol g/DW per dag) in de verschillende locaties van de sawa's

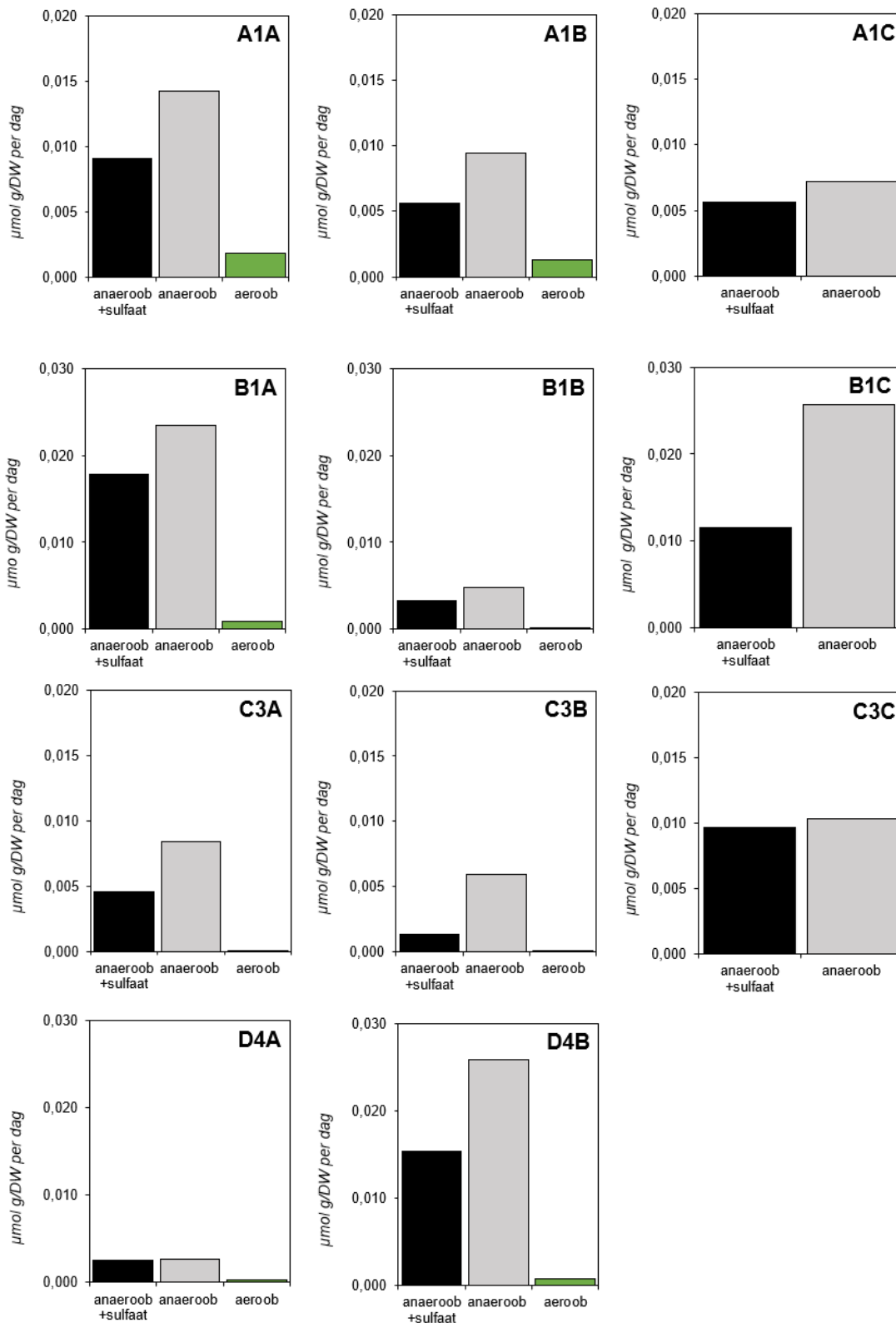
A: oever; B: rietkraag bij waterkant; C: open water. *Let op: hoger bereik Y-as sawa H, I en L.*

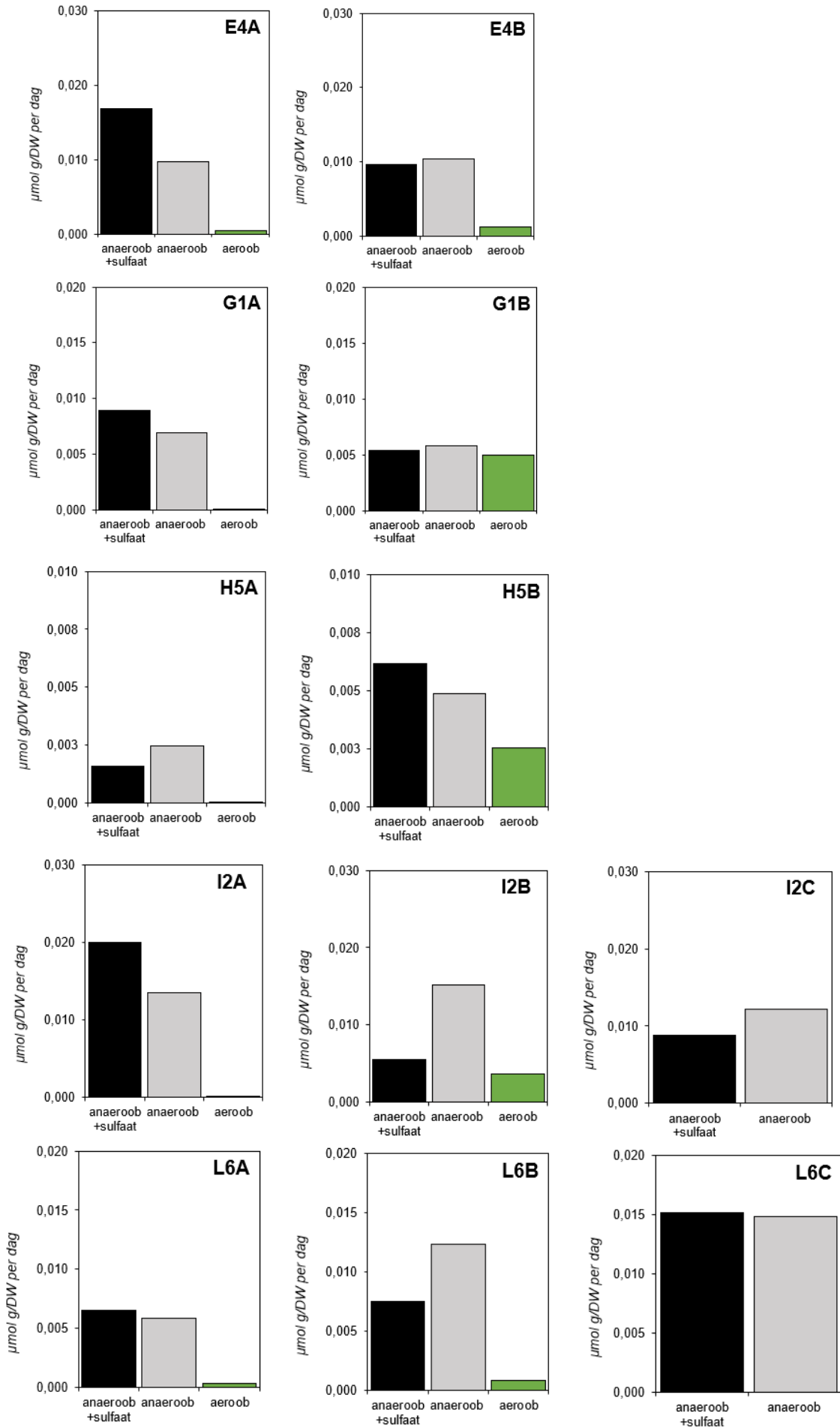




VIII. Gemiddelde CH₄ productie (μmol/g DW) in de verschillende locaties van de sawa's

A: oever; B: rietkraag bij waterkant; C: open water. *Let op: hoger bereik Y-as sawa B, D, E en I.*





B
ware

www.b-ware.eu