



Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren

Verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen

Deel II: Pilotstudie kwantificering stofafgifte organische bronnen IJsselmeergebied

R.C.M. Verdonschot



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren

Verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen

Deel II: Pilotstudie kwantificering stofafgifte organische bronnen IJsselmeergebied

R.C.M. Verdonschot

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoeksthema MMIP E3 Duurzame rivieren, meren en intergetijdengebieden (projectnummer BO-43-118-001).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, januari 2024

Gereviewd door:

Jip de Vries, onderzoeker aquatische ecologie, Wageningen Environmental research

Akkoord voor publicatie:

Karin Andeweg, teamleider Water & Voedsel

Rapport 3324

ISSN 1566-7197

Verdonschot, R.C.M., 2024. *Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren; Verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen*. Deel II: Pilotstudie kwantificering stofafgifte organische bronnen IJsselmeergebied. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3324. 28 blz.; 10 fig.; 2 tab.; 22 ref.

Om de effecten van inrichting, beheer en gebruik van de grote wateren op het voedselweb en de ecologische draagkracht beter te kunnen afwegen, is het belangrijk processen en factoren te betrekken op voor het systeem ecologisch relevante ruimtelijke schaalniveaus. Een belangrijke rol is hierbij weggelegd voor het transport van stoffen in land-waterovergangen. Om effectieve keuzes te kunnen maken bij het ontwerp van verbindingen tussen land en water, is het van belang habitatelementen te identificeren die een grote bijdrage kunnen leveren aan het genereren van stofstromen naar de grote wateren. Ook is het belangrijk te weten wat de relatieve bijdrage van deze externe bronnen is ten opzichte van interne bronnen. De bijdrage van een aantal veelvoorkomende bronnen van organisch materiaal (in de vorm van wilg, riet, fonteinkruid en ganzenuitwerpselen) aan de stofconcentraties in het water is in het laboratorium onderzocht. Hieruit blijkt dat er grote variatie is in afgifte van organisch materiaal tussen plantensoorten in termen van concentraties, afgiftesnelheid en -tijd, en biobeschikbaarheid. Dit betekent dat voor een gebalanceerde afgifte de verschillende bronnen naast elkaar moeten voorkomen. Om een stabiele basis voor het voedselweb te leggen, moet er daarom gestreefd worden naar een heterogene oeverbegroeiing, inclusief de aanwezigheid van wilgenbos.

To be able to determine the effects of the development, utilization and management of the large lakes and rivers in the Netherlands on the ecosystems' food web and ecological carrying capacity it is important to consider the relevant environmental factors and processes on the correct spatial scale. The transport of organic matter and nutrients across riparian ecotones is a major driver of lake and river ecosystem functioning. Knowledge on which external terrestrial habitat elements contribute to these fluxes from ecotones is important in the design of shoreline or riparian habitat restoration as well as their relative contribution in comparison to internal sources. Here the release of dissolved organic carbon and nutrients from a number of common sources of organic matter (reed, willow, pondweed, geese droppings) is investigated in the laboratory. There was considerable variation in release of organic matter between plant species in terms of amount, timing and duration of release, and availability for the microbial community. This means that it is important that different sources are available at the same time at a location to provide a diverse flux of matter which could contribute to the food web base. This means that in restoration heterogeneous shoreline vegetation development should be stimulated, including the presence of willow forest.

Trefwoorden: systeemecologie, stofstromen, wetlands, organische koolstof, IJsselmeergebied

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/646247> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan).

Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3324 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: IJssel-Vechtdelta, Ralf Verdonschot

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Schets kennisbehoefte	11
1.2 Doel en vraagstelling	11
1.3 Leeswijzer	12
2 Achtergrond	13
2.1 Wat is opgelost organisch materiaal?	13
2.2 Welke rol speelt het in aquatische systemen en wat is de relatie met land-waterovergangen?	14
3 Methode	15
3.1 Bronnen	15
3.2 Opzet experiment	15
3.3 Analyse	16
4 Resultaten	17
4.1 Organische koolstof	17
4.1.1 Doorgroeid fonteinkruid	17
4.1.2 Ganzenkeutels	18
4.1.3 Riet	19
4.1.4 Wilg	20
4.2 Metabolisme	21
4.3 Nutriënten	21
5 Discussie en implicaties van de bevindingen voor beheer en beleid	23
5.1 Grote verschillen in afgifte en biobeschikbaarheid tussen plantensoorten	23
5.2 Belang van het streven naar heterogene water- en oevervegetaties	23
5.2.1 Moerasvegetaties	24
5.2.2 Natte bossen	24
5.3 Rol van ganzen	24
5.4 Hoe komen de stoffen effectief in het meer terecht? Het belang van connectiviteit en transport	25
Literatuur	26

Verantwoording

Rapport: 3324

Projectnummer: 5200046981

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker aquatische ecologie

naam: Dr. Jip de Vries

datum: 25-9-2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Karin Andeweg

datum: 31-10-2023

Woord vooraf

Dat de toevoer van stoffen en organisch materiaal vanuit oeverzones en het achterland naar het open water belangrijk zijn voor het ecologisch functioneren van meer- en rivierecosystemen, wordt steeds meer onderkend. Deze stofstromen zijn in de Nederlandse grote wateren momenteel echter onderbroken of slechts in beperkte mate aanwezig, wat de afgelopen jaren lijkt te hebben geleid tot onder andere verstoorde en eenzijdiger voedselwebrelaties en een verminderd ecosysteem-functioneren.

In het kader van de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) wordt door Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland in opdracht van de Ministeries van I&W en LNV gewerkt aan het realiseren van ecologisch systeemherstel in de grote wateren. Voor het formuleren van effectieve maatregelen om de ecologische draagkracht te verbeteren of het optimaliseren van de huidige inrichting en het beheer, is het belangrijk beter in beeld te brengen welke kansen en beperkingen er op dit moment zijn met betrekking tot stofstromen, zodat beleidsmatig een goede afweging gemaakt kan worden waar, op welke schaal en hoe maatregelen kunnen worden ingezet.

In deze rapportage wordt de bijdrage van een aantal veelvoorkomende bronnen van stoffen in het IJsselmeergebied aan de stofstromen in het IJsselmeergebied aan de hand van laboratoriumproeven gekwantificeerd. Deze informatie is nodig voor het inschatten van het belang van stofstromen vanuit oeverecotopen of het achterland naar de grote wateren en draagt hiermee bij aan een onderbouwing van concepten vanuit de PAGW, zoals het realiseren van achteroevers als potentiële bron van stoffen om het voedselweb in de grote wateren een impuls te geven.

Een belangrijk woord van dank gaat uit naar Anne-Marie van Noord en Janien van der Grefte voor hun inspanningen in het veld en het laboratorium. Daarnaast wil ik Leen Kool en Kevin Verdel (Ministerie van LNV), Anna de Kluijver (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland), Perry Cornelissen en IJsbrand Zwart (Staatsbosbeheer) en Harry Bouwhuis (Waterschap Zuiderzeeland) bedanken voor hun waardevolle bijdragen aan de totstandkoming en uitvoering van dit onderzoek.

Ralf Verdonchot
Wageningen, november 2023

Samenvatting

Om het ecologisch functioneren van de grote wateren beter te kunnen begrijpen, is inzicht nodig in hoe processen op de schaal van stroomgebieden verlopen, omdat wat er in het achterland gebeurt uiteindelijk doorwerkt op de abiotische en biotische processen die zich afspelen in de grote wateren. Vanuit kennis van de samenhang en het functioneren van systemen op een grotere landschappelijke schaal kan worden ingezet op het herstellen van grootschalige natuurlijke processen. Mogelijk ligt hier de sleutel tot verbetering van de waterkwaliteit en het behalen van natuurdoelen in de grote wateren.

Recentelijk is duidelijk geworden dat een belangrijke rol is weggelegd voor het transport van stoffen van de terrestrische natte natuur (rietlanden, ruigtes, wilgenbos) naar het aquatische ecosysteem. Om effectieve keuzes te kunnen maken bij het ontwerp van verbindingen tussen land en water in het natuurherstel, is het van groot belang te begrijpen welke habitatelementen van ecotopen een bijdrage kunnen leveren aan het genereren van relevante stofstromen naar de grote wateren. Dit is bijvoorbeeld relevant in het kader van het ontwerpen van achteroevers of het vaststellen van het beheer van de vegetatie van aangelegde eilanden.

Om hier een beeld van te krijgen, is in het laboratorium een pilotstudie verricht naar de potentiële bijdrage van een aantal in het IJsselmeergebied veelvoorkomende bronnen van organisch materiaal aan de stofconcentraties in het water. Het ging hierbij om riet, wilg en fonteinkruid als plantaardige bronnen. Daarnaast zijn ganzenkeutels getest als dierlijke bron. Waterplanten vormen een interne bron van stoffen, omdat deze in het water zelf voorkomen. De overige drie bronnen komen van buiten het aquatisch systeem en vormen daarmee een toevoeging vanuit het aanliggende terrestrische milieu. De onderzochte stoffen waren organisch koolstof, totaalstikstof en totaalfosfor.

De laboratoriumstudie liet zien dat in de herfst afgestorven waterplanten zorgen voor een verhoging van de concentratie opgeloste koolstof en nutriënten in het water. Hetzelfde geldt voor de terrestrische bronnen; afgestorven blad van riet, ingevallen wilgenbladeren en ganzenkeutels leveren een bijdrage aan de stoffenbalans. Wel bleek er in de tijd een grote variatie te zijn in de afgifte van organische koolstof in termen van afgiftesnelheid, -tijd en biobeschikbaarheid. De afbraak van afgestorven waterplanten geeft bijvoorbeeld een relatief kortdurende piek aan het begin van het decompositieproces, gevolgd door een snelle daling van de concentratie, terwijl bij wilgenbladeren een meer geleidelijke afname optreedt na de initiële piek. Bij riet treedt juist een langdurige, maar relatief lage afgifte op. Dit betekent dat voor een gebalanceerde afgifte de verschillende bronnen naast elkaar moeten voorkomen in de grote wateren. Het streven naar heterogene begroeiingen, inclusief wilgenbos, is daarmee belangrijk om een stabiele basis voor het voedselweb te leggen.

Naast de aanwezigheid van bronnen van organische stof in de oeverzone is het van groot belang dat dit materiaal de grote wateren ook kan bereiken: naast beschikbaarheid is connectiviteit binnen land-waterovergangen daarom essentieel om stofstromen te activeren. Belangrijke stuurknoppen zijn hierbij het peilbeheer en de vorm van de land-waterovergang. Hier is een waterpeil waarbij inundaties optreden in het winterhalfjaar, wanneer veel organisch materiaal beschikbaar is voor transport, een optimale situatie. Dit zorgt dat materiaal meegevoerd kan worden met het water richting het meer. Een geleidelijke overgang tussen water en land, waarbij geen barrières aanwezig zijn in de vorm van dijken en gemalen die transportroutes onderbreken, is daarnaast ook een belangrijk element. Hierbij zorgt de variatie in milieuomstandigheden (nat-droog, hoog-laag) verder voor gewenste heterogeniteit in de vegetatie. Echter, inpassing van deze principes is een uitdaging door de andere gebruiksfuncties van de grote wateren, wat betekent dat moet worden gezocht naar een optimalisatie die gebruikmaakt van natuurlijke principes, maar deze integreert in de huidige randvoorwaarden.

1 Inleiding

1.1 Schets kennisbehoefte

Het belang van oppervlakte, connectiviteit en gradiënten voor het ecologisch functioneren van de grote wateren is bekend, maar hoe dit kan worden gerealiseerd binnen de gestelde randvoorwaarden (dijken, verhardingen, kunstwerken t.b.v. waterveiligheid, tegennatuurlijk peilbeheer i.v.m. zoetwatervoorziening) en de beschikbare ruimte is nauwelijks onderbouwd (Van Riel et al., 2020; Verdonschot, 2020). Een belangrijke rol is hierbij weggelegd voor het transport van organisch materiaal en nutriënten in de vorm van fosfaat. Organisch materiaal komt in verschillende vormen voor in het water; van koolstof in opgeloste vorm tot grove plantenresten. Dit materiaal is afkomstig uit buitendijkse rietlanden of binnendijks gelegen moerassystemen en kan vervolgens het voedselweb van de grote wateren verrijken (Noordhuis & Vonk, 2022; Verdonschot et al., 2022). Zo'n verrijking zou de recente negatieve veranderingen in het voedselweb van het IJsselmeergebied kunnen ombuigen, wat zich onder andere uit in voedselgebrek voor vis en vogels, afnemende productie en biodiversiteitsverlies (Noordhuis, 2010; De Leeuw et al., 2020).

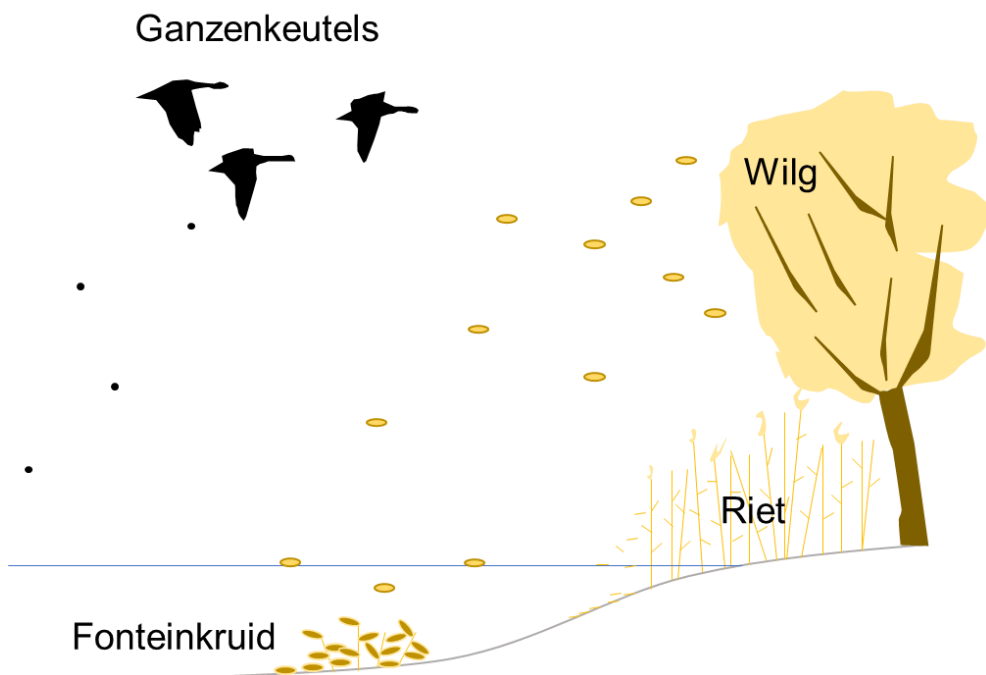
Omdat het areaal buitendijkse en direct met het meer in contact staande moeras-ecotopen in het IJsselmeergebied zeer beperkt is, ontstaan er steeds meer initiatieven om landschap-overstijgende verbindingen tussen binnendijkse en buitendijkse aquatische systemen te realiseren. Binnen programma's als Agenda IJsselmeergebied 2050, LIFE IP Deltanatuur en PAGW is de ambitie om in het IJsselmeergebied meer achteroevers te ontwikkelen en de laatste jaren zijn er verschillende nieuwe initiatieven opgekomen, zoals de ontwikkeling van de Wieringerhoek en de Oostvaardersoevers. In dit laatste project is het de bedoeling om het Markermeer te verbinden met de moerasgebieden de Oostvaardersplassen en Lepelaarplassen. Omdat dit een groot oppervlak aan bestaand moerasgebied betreft, heeft dit de potentie om een significant effect op het ecologisch functioneren en de productiviteit van het Markermeer te bewerkstelligen. De vraag is echter welke habitatelementen van het moerasgebied potentieel de grootste bijdrage kunnen leveren aan de beschikbaarheid van stoffen voor het meer-ecosysteem en hoe dit zich verhoudt tot bronnen die in het meer zelf voorkomen.

1.2 Doel en vraagstelling

Om effectieve keuzes te kunnen maken bij het ontwerp van een achterland-meer-verbinding, zoals de Oostvaardersoevers, is het van groot belang te begrijpen welke habitatelementen binnen water- en moeras-ecotopen een bijdrage kunnen leveren aan het genereren van een relevante stofstroom naar de grote wateren.

Om deze vraag te beantwoorden, is in het najaar van 2022 in het laboratorium een pilotstudie verricht naar de potentiële bijdrage van een aantal bronnen van organisch materiaal aan de stofconcentraties in het water, waarmee is onderzocht (Figuur 1.1):

- Welke bijdrage bronnen van organisch materiaal die voorkomen in de oeverzone leveren aan het meer-ecosysteem. Het gaat hierbij om in de herfst in het water gevallen afgestorven bladeren van riet en wilg.
- Hoe deze bijdrage zich verhoudt tot de bijdrage aan de stoffenconcentraties die geleverd wordt door:
 - een interne plantaardige bron, in de vorm van aan het einde van het groeiseizoen afgestorven plantendelen van fonteinkruid.
 - een externe dierlijke bron, in de vorm van de keutels van op de aanliggende graslanden grazende ganzen.



Figuur 1.1 Bronnen van organisch materiaal in een meer-ecosysteem die zijn onderzocht in deze studie.

1.3 Leeswijzer

In deze pilotstudie wordt verkend welke bijdrage verschillende bronnen van stoffen kunnen leveren aan het meer-ecosysteem, wat kan dienen als een onderbouwing van de keuzes voor het realiseren en/of verbinden van bepaalde ecotoop-typen in de grote wateren.

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 informatie gegeven over de rol van organisch materiaal. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de methode beschreven waarmee de stofafgifte van de verschillende bronnen is gekwantificeerd. Hoofdstuk 4 bevat de resultaten, gevolgd door een discussie en de conclusies in hoofdstuk 5. Ten slotte worden in hoofdstuk 6 aanbevelingen gedaan over de toepassing van de verkregen resultaten.

2 Achtergrond

2.1 Wat is opgelost organisch materiaal?

In het water aanwezig opgelost organisch materiaal (DOM) bestaat uit een groot aantal verschillende soorten verbindingen, die zijn opgebouwd uit de hoofdelementen koolstof (C), waterstof (H), zuurstof (O), stikstof (N), fosfor (P) en zwavel (S). Daarnaast komen in veel kleinere hoeveelheden diverse sporenelementen voor. Deze verbindingen zijn vooral gegeneerd tijdens microbiële afbraakprocessen van organisch materiaal. Dit materiaal kan afkomstig zijn van bijvoorbeeld afgestorven planten en algen, dode dieren en afgifte uit veenbodems. Wanneer hoge concentraties aanwezig zijn, kan het water bruin kleuren, waarbij de veroorzakende stoffen ook wel met de term humuszuren of tannine worden aangeduid (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Instroom van water met een hoge concentratie opgelost organisch materiaal, donkergekleurd door tannine afkomstig van organisch materiaal uit een elzenbos.

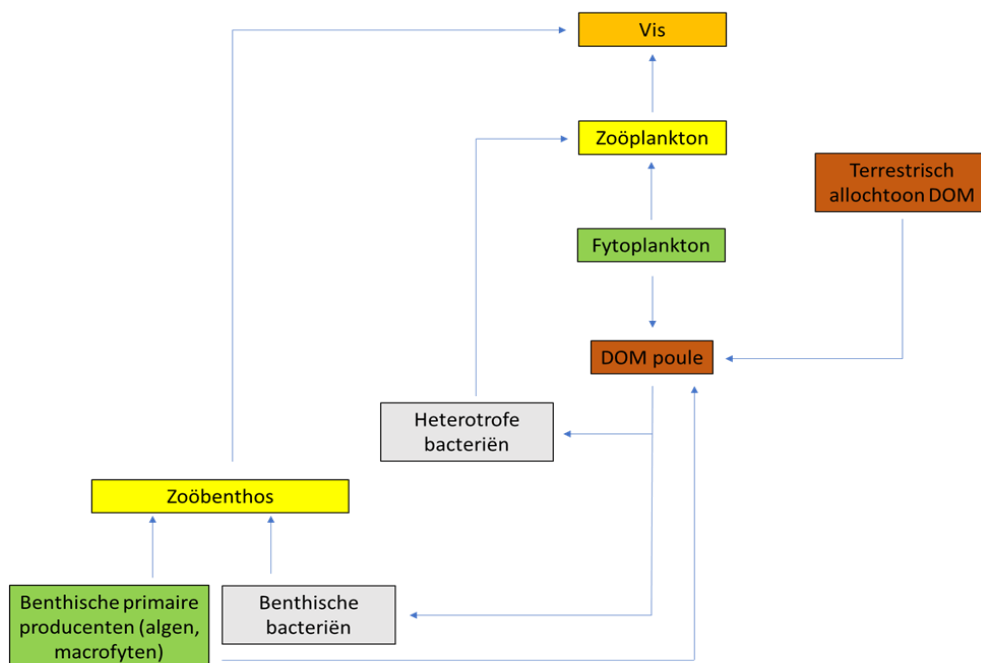
Het DOM onderscheidt zich van fijn organisch materiaal (FPOM) op basis van de grootte van de deeltjes, waarbij de grens gewoonlijk ligt op 0,45 μm . Het opgeloste organisch materiaal kan verder worden opgesplitst naar opgeloste organische koolstof (DOC), stikstof (DON) en fosfor (DOP), maar omdat DOC domineert in de samenstelling en relatief eenvoudig en betrouwbaar gemeten kan worden, wordt dit meestal gelijkgesteld aan de hoeveelheid DOM (Finlay & Parr, 2017). In deze studie wordt daarom ook met DOC-concentraties gewerkt.

Op een specifieke plek in een waterlichaam of moeras is de hoeveelheid koolstof opgeslagen in deeltjes (POC) veelal groter dan de hoeveelheid DOC (deze twee componenten samen worden totaal organisch koolstof, oftewel TOC genoemd). Dit zijn bijvoorbeeld de organische deeltjes in bladpakketten of sliblagen op de bodem van een waterlichaam. Wanneer er gekeken wordt naar het transport over grotere afstanden domineert juist DOC, omdat dit veel makkelijker met waterstromen kan worden meegevoerd (Finlay & Parr, 2017). Dit maakt het daarmee relevant voor het onderzoek naar stofstromen in de context van uitwisseling tussen onderdelen van een watersysteem.

2.2 Welke rol speelt het in aquatische systemen en wat is de relatie met land-waterovergangen?

De DOC speelt een belangrijke rol in het functioneren van het voedselweb in het water, omdat het direct gerelateerd is aan opname-, omzettings- en afbraakprocessen in het ecosysteem. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen interne (autochtone) en externe (allochtone) bronnen (Finlay & Parr, 2017). Interne bronnen zijn bijvoorbeeld waterplanten en algen. Een belangrijke externe aanvoer komt van het semi-aquatische en terrestrische plantenmateriaal uit de oeverzone van waterlichamen (Wetzel, 1992). Het water van moerassen bevat de hoogste concentraties opgelost organisch koolstof van alle watertypen, waarbij de gemiddelde concentratie op circa 30 mg/L (3-400 mg/L) ligt (Thurham, 1985).

Via afbraakprocessen zorgen afgestorven primaire producenten aan het einde van het groeiseizoen voor een toename van de DOC-concentraties, waarna een keten van opname en afgifte in gang wordt gezet binnen het voedselweb (Figuur 2.2). De verbindingen die vrijkomen bij groei- en decompositieprocessen komen telkens in het water terecht en worden vervolgens weer opgenomen. In rivieren wordt dit vaak weergegeven als een spiraal van opname en afgifte in benedenstroomse richting.



Figuur 2.2 Voedselweb van een meer waarin de omzetting van organisch materiaal via de pelagische en benthische zone in een meer is weergegeven (Verdonschot et al., 2022). De poule van organisch materiaal (DOM) van het meer wordt zowel gevoed door allochtoon terrestrisch organisch materiaal afkomstig uit het achterland als via autochtone productie in het meer zelf. De afbraak vindt vervolgens plaats door heterotrofe pelagische en benthische bacteriën, waarna het vervolgens de hogere trofische niveaus bereikt.

Omdat DOC gemakkelijk wordt getransporteerd, kunnen waterstromen ervoor zorgen dat toestroom van organisch materiaal van elders (organische koolstoflux) zorgt voor een metabolische basis voor het voedselweb (Balzer et al., 2023). Vertaald naar de context van de grote wateren in Nederland is dit een potentieel bruikbaar concept voor het gebruik van het 'achterland' – zoals de polders, moerasgebieden, uiterwaarden en overstromingsvlakten – om het voedselweb van meren en grote rivieren een impuls te geven (Noordhuis & Vonk, 2022). Echter, de herkomst en samenstelling van het materiaal zijn belangrijk voor de biologische beschikbaarheid en daarmee relevant voor het functioneren van het ecosysteem. Daarom is het belangrijk inzicht te hebben in welke habitatelementen binnen water- en moeras-ecotopen in de grote wateren een bijdrage kunnen leveren aan het genereren van organisch materiaal-stromen.

3 Methode

3.1 Bronnen

In de late herfst zijn in het natuurgebied de Oostvaardersplassen (Provincie Flevoland) afgestorven bladeren van riet (*Phragmites australis*) en schietwilg (*Salix alba*) geplukt. Tevens zijn verse keutels van ganzen op foerageerplekken van grauwe gans *Anser* en kolgans *Anser albifrons* geraapt in de graslanden aan de rand van het moerasgebied. Aan de waterkant van het Markermeer zijn aangespoelde afstervende plantendelen van doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*) verzameld. Het materiaal is vervolgens aan de lucht gedroogd bij 20°C tot verdere verwerking (Figuur 3.1).

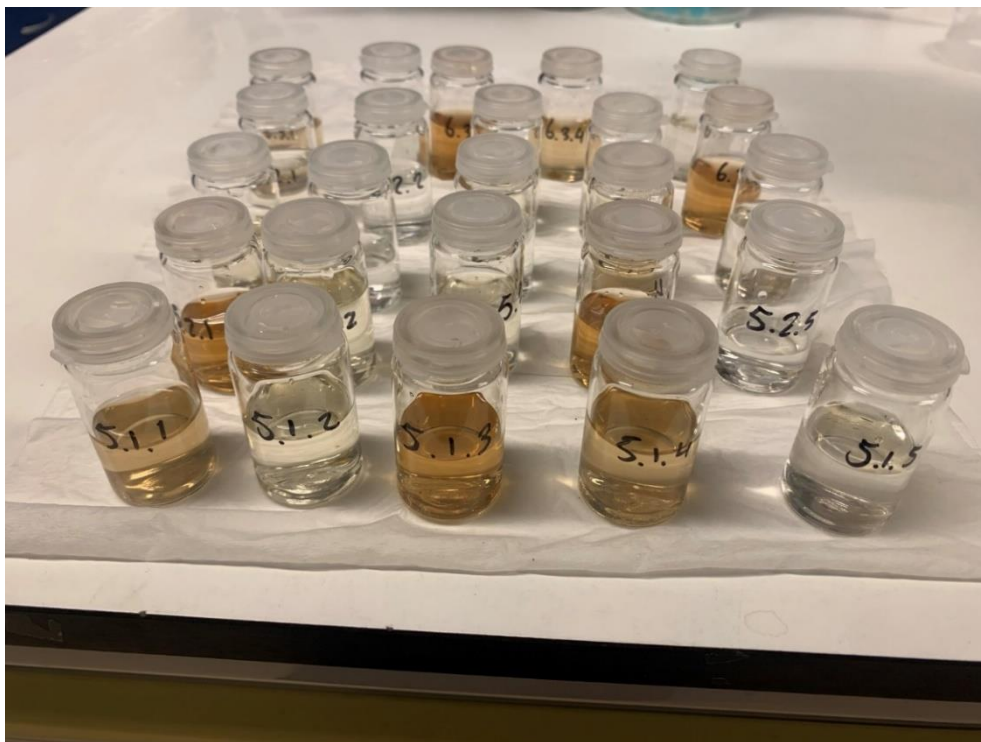


Figuur 3.1 Koolstofbronnen in het experiment, van links naar rechts: riet, wilg, fonteinkruid, ganzenkeutels.

3.2 Opzet experiment

Het gedroogde materiaal is vervolgens verdeeld in porties van 6,5 g, dat is toegevoegd aan aquaria met vijf liter gefilterd (zeef met maaswijdte 0,4 mm) water uit het Markermeer. Dit water is niet behandeld, om zo de microbiële gemeenschap intact te laten. Iedere behandeling is in vijfvoud uitgevoerd, zodat vijf replica's werden verkregen. Ook is een serie controles gebruikt met water uit het Markermeer zonder verdere toevoeging van organisch materiaal. De aquaria zijn in het donker bij een gemiddelde temperatuur van 18,6°C (bereik temperatuurf fluctuatie 16,8-19,5°C) weggezet, waarbij de behandelingen willekeurig over de opstelling met aquaria verdeeld zijn.

Het water van alle aquaria is bemonsterd op opgeloste organische koolstof bij aanvang van het experiment ($t = 0$) en vervolgens op dag 1, dag 3, dag 16 en dag 28 na toevoeging van het organisch materiaal (Figuur 3.2).



Figuur 3.2 Watermonsters experiment, waarbij de kleuring door opgelost organisch materiaal is ontstaan.

In ieder aquarium is op alle meettijdstippen de concentratie totaal organisch koolstof (TOC) en opgelost organisch koolstof (DOC) bepaald. De analyses zijn uitgevoerd met Hach Lange LCK cuvettesten (LCK385), in combinatie met de Hach Lange TOC-X5 shaker op ongefiltreerd water voor TOC en gefiltreerd water (0,45 µm Whatmann filters) om de concentratie DOC te bepalen. Eventueel werd het monster verdund om binnen het meetbereik van de test te blijven. Aan het begin en einde van de meting zijn de concentraties totaalstikstof (TN) en totaalfosfor (TP) bepaald met de Hach Lange cuvettesten LCK138 (TN) en LCK349 (TP). Bij alle analyses is, volgens LCK-analyseprotocol, gebruikgemaakt van de Hach Lange HT 200 S hoge-temperatuur-thermostaat om ontsluiting mogelijk te maken.

Er zijn geen directe metingen verricht aan de microbiële gemeenschap in de aquaria. Om de microbiële activiteit (respiratie) te monitoren, werd wel het zuurstofgehalte bepaald in alle aquaria op het moment van bemonstering ten behoeve van de chemische analyses. Hierbij indiceert een verlaagde zuurstofconcentratie in het water een hoge zuurstofvraag als gevolg van microbiële respiratie. Op deze manier kan de periode waarin metabolisme plaatsvindt worden aangeduid.

3.3 Analyse

Er is een analyse uitgevoerd van i) de TOC- en DOC-concentraties, ii) het zuurstofgehalte van het water en iii) de nutriëntengehalten (TN en TP). De gemeten waarden zijn opgebouwd uit 1) de achtergrondconcentratie van het Markermeerwater, 2) de bijdrage van het toegevoegde organisch materiaal en 3) het resultaat van de omzetting en vastlegging door de microbiële gemeenschap.

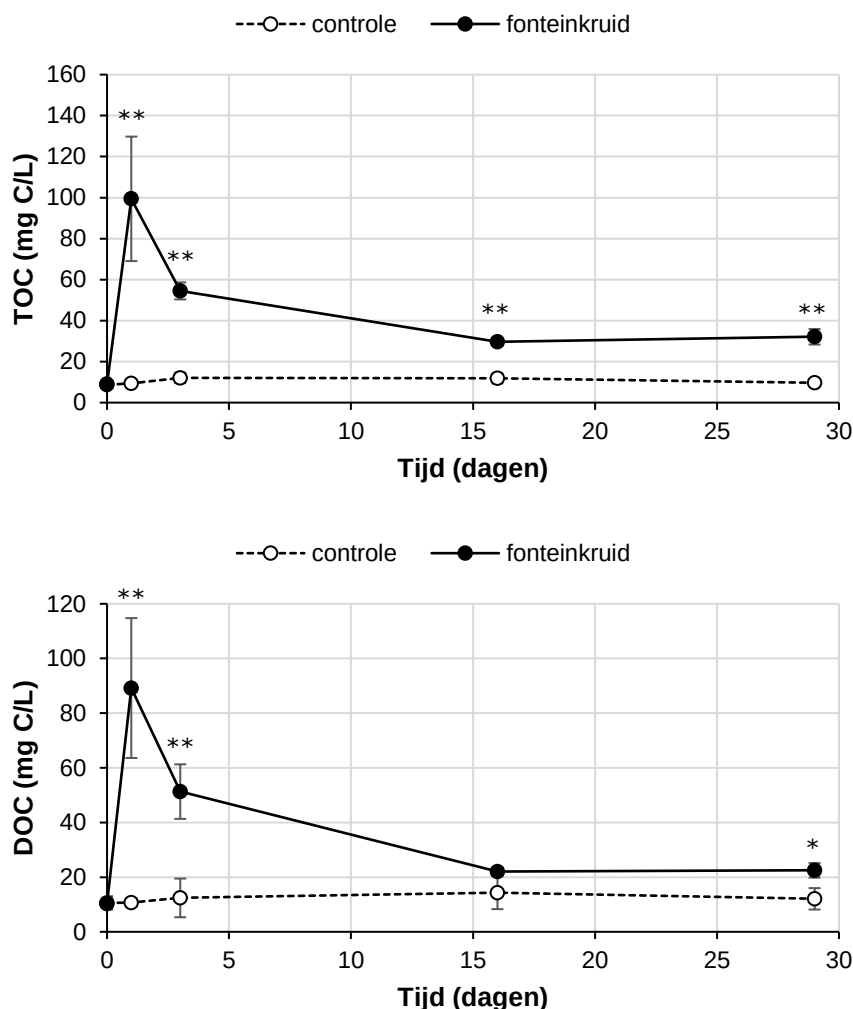
De gemiddelde concentratie TOC en DOC zijn vergeleken tussen de controle en de behandeling op verschillende tijdstippen met Mann-Whitney U-tests. Zuurstofgehalten zijn niet verder geanalyseerd, maar gebruikt als indicatie voor de intensiteit van het heterotrofe metabolisme in de aquaria. Voor de nutriënten is het verschil in de begin- en eindconcentratie per stof en behandeling getest met een Wilcoxon Signed Ranks Test en zijn de gemiddelde nutriëntengehalten na afloop van het experiment vergeleken per stof met een One Way ANOVA met een Tukey-test voor een vergelijking tussen de behandelingen.

4 Resultaten

4.1 Organische koolstof

4.1.1 Doorgroeid fonteinkruid

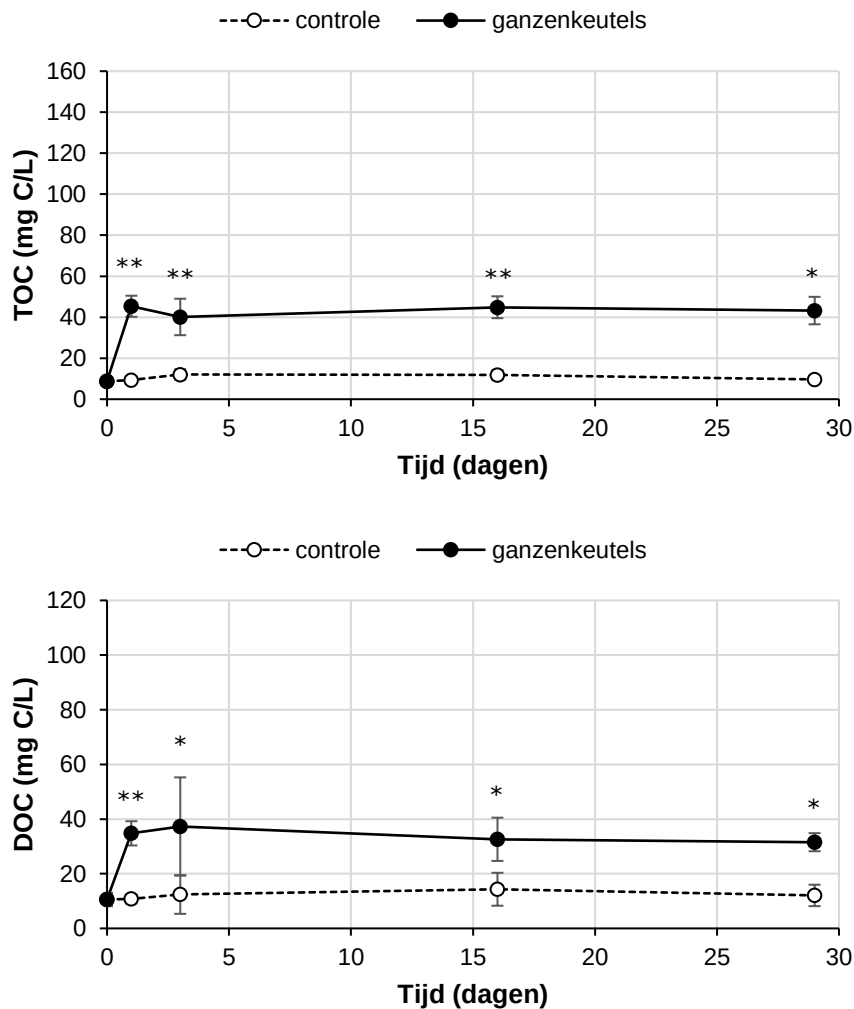
De eerste dagen na het toevoegen van dood plantenmateriaal van doorgroeid fonteinkruid is een duidelijke verhoging te zien in de concentratie TOC en DOC, met een piek op de eerste dag. In de weken daarna neemt de concentratie weer af richting de achtergrondconcentratie, maar blijft verhoogd (Figuur 4.1). Het grootste deel van de OC kwam voor in opgeloste vorm. Het waargenomen patroon indiceert dat de koolstof die vrijkomt uit het plantenmateriaal voor een groot deel door micro-organismen kan worden gemetaboliseerd, waarbij omzetting, vastlegging en verwijdering van DOC plaatsvindt. Materiaal waarbij dit optreedt, wordt ook wel labiel DOC genoemd, wat goed bioafbreekbaar is en binnen enkele dagen wordt omgezet (Finlay & Parr, 2017).



Figuur 4.1 Gemiddelde concentratie ($\pm 1SD$, $n = 5$) totaal organisch koolstof (TOC) en alleen de opgeloste fractie (DOC) in 5 L Markermeerwater in de tijd na toevoeging van 6,5 g dood organisch materiaal afkomstig van doorgroeid fonteinkruid. De DOC-waarden in de controle zijn metingen van Markermeerwater zonder toegevoegd organisch materiaal. Sterretjes geven een significant verschil aan tussen de controle en de behandeling op de verschillende tijdstippen (Mann-Witney U-tests controle versus toegevoegd per tijdstip; ** = $P < 0,01$, * $P < 0,05$).

4.1.2 Ganzenkeutels

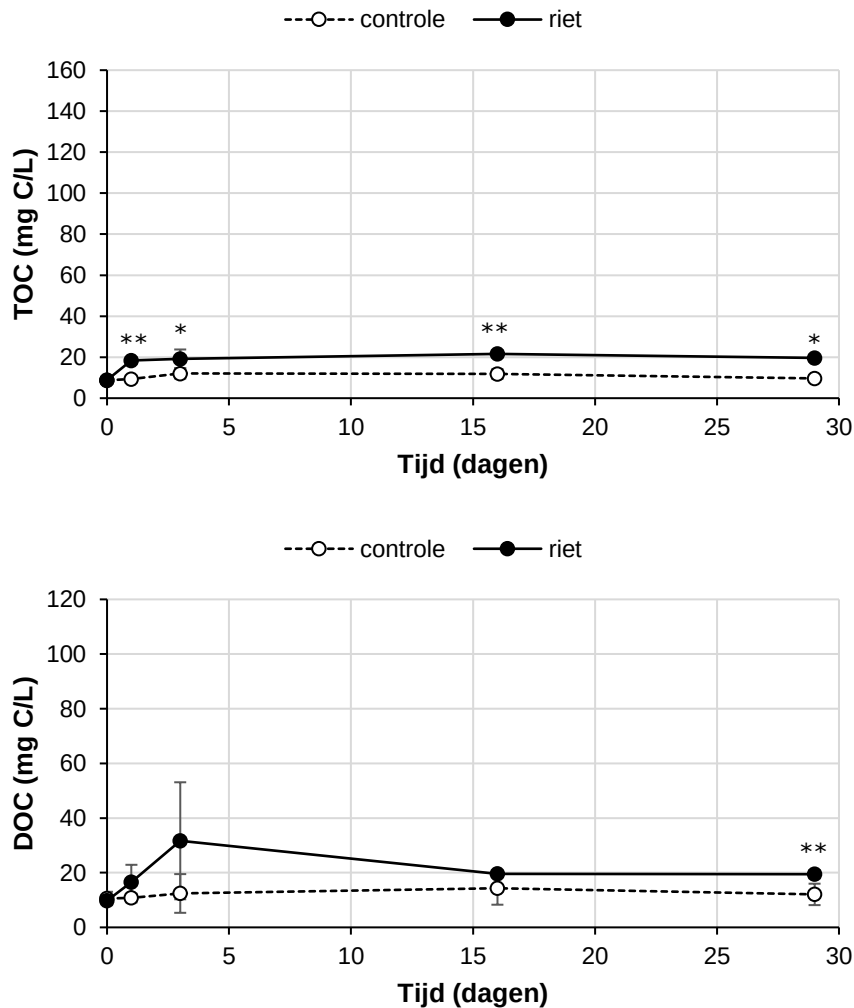
In tegenstelling tot de duidelijk verhoogde OC-gehalten na toevoeging van het plantenmateriaal van fonteinkruid laten ganzenkeutels een patroon zien waarbij wel direct TOC/DOC wordt afgegeven, waarna de concentratie in de tijd stabiliseert boven het niveau van de controle (Figuur 4.2). Het grootste deel van de OC kwam voor in opgeloste vorm. De maximale gehalten die werden afgegeven, lagen meer dan de helft lager dan bij het fonteinkruid werd waargenomen. Er bleef hiermee veel OC achter dat niet in de onderzoeksperiode van circa een maand kon worden gemetaboliseerd. Dit kan daarmee worden aangeduid als tenminste semi-labiel (weken tot maanden aanwezig; Finlay & Parr, 2017).



Figuur 4.2 Gemiddelde concentratie ($\pm 1SD$, $n = 5$) totaal organisch koolstof (TOC) en alleen de opgeloste fractie (DOC) in 5 L Markermeerwater in de tijd na toevoeging van 6,5 g ganzenkeutels. De DOC-waarden in de controle zijn metingen van Markermeerwater zonder toegevoegd organisch materiaal. Sterretjes geven een significant verschil aan tussen de controle en de behandeling op de verschillende tijdstippen (Mann-Witney U-tests controle versus toegevoegd per tijdstip; ** = $P < 0,01$, * $P < 0,05$).

4.1.3 Riet

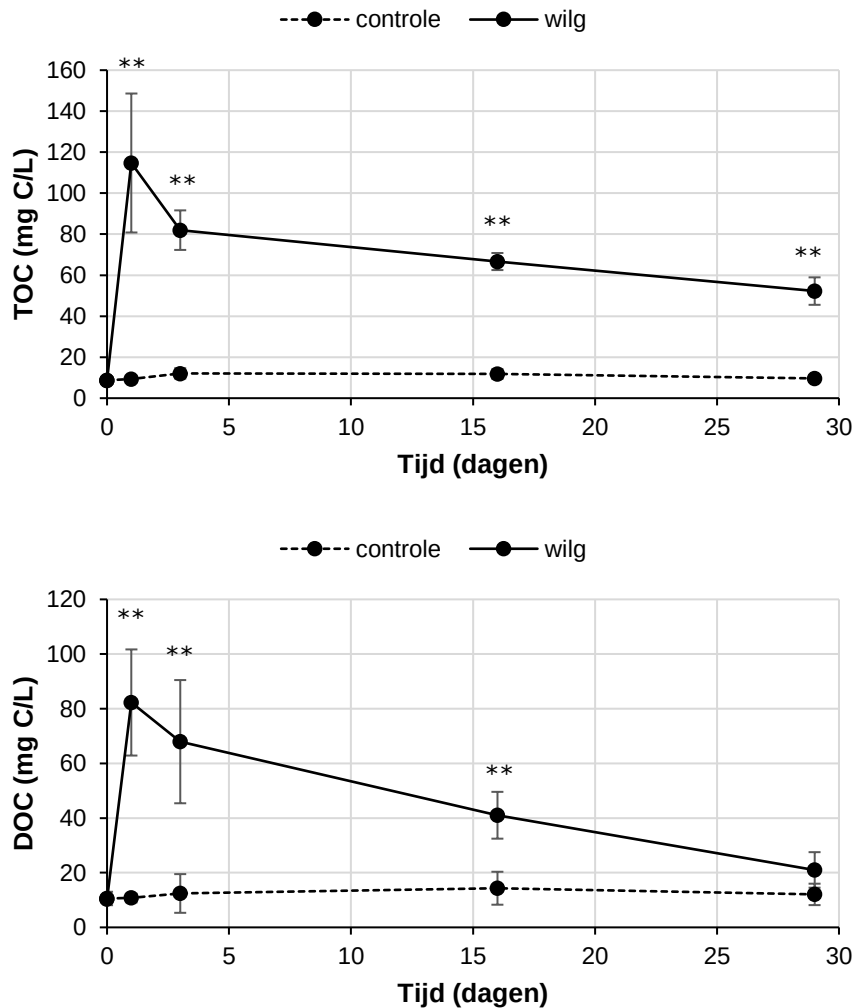
De bijdrage van dood organisch materiaal afkomstig van riet aan de OC-concentratie in het water, dat grotendeels bestond uit DOC, was duidelijk lager dan de andere behandelingen. Van een concentratiepiek was net zoals bij de ganzenkeutels geen sprake, wat aangeeft dat het materiaal grotendeels bestond uit semi-labiel of refractair organische koolstof (Figuur 4.3).



Figuur 4.3 Gemiddelde concentratie ($\pm 1SD$, $n = 5$) totaal organisch koolstof (TOC) en alleen de opgeloste fractie (DOC) in 5 L Markermeerwater in de tijd na toevoeging van 6,5 g afgestorven bladeren van riet. De DOC-waarden in de controle zijn metingen van Markermeerwater zonder toegevoegd organisch materiaal. Sterretjes geven een significant verschil aan tussen de controle en de behandeling op de verschillende tijdstippen (Mann-Witney U-tests controle versus toegevoegd per tijdstip; ** = $P < 0,01$, * $P < 0,05$).

4.1.4 Wilg

De afgifte van OC door bladeren van wilg volgt een vergelijkbaar patroon in OC-concentraties als fonteinkruid, alleen verloopt de afname van de concentratie in de tijd na de piek op de eerste dag geleidelijker, waardoor een groter verschil tussen de behandeling en de controle aanwezig is op de meetpunten (Figuur 4.4).



Figuur 4.4 Gemiddelde concentratie ($\pm 1SD$, $n = 5$) totaal organisch koolstof (TOC) en alleen de opgeloste fractie (DOC) in 5 L Markermeerwater in de tijd na toevoeging van 6,5 g afgestorven wilgenblad. De DOC waarden in de controle zijn metingen van Markermeerwater zonder toegevoegd organisch materiaal. Sterretjes geven een significant verschil aan tussen de controle en de behandeling op de verschillende tijdstippen (Mann-Witney U-tests controle versus toegevoegd per tijdstip; ** = $P < 0,01$, * $P < 0,05$).

4.2 Metabolisme

Het verloop van de gemiddelde zuurstofgehalten in de aquaria in de tijd geeft aan dat er sprake was van heterotroof metabolisme in de behandelingen (Tabel 4.1). De startconcentratie zuurstof was nabij het verzadigingspunt voor de toevoeging van het plantenmateriaal, maar daalde naar hypoxische condities op dag 1 en dag 3 (m.u.v. riet) (Tabel 4.1). Op dag 16 was de zuurstofconcentratie weer normoxisch, maar benaderde nog niet in alle gevallen de beginconcentratie en de concentratie van de controle-aquaria met alleen water uit het Markermeer. Het optreden van een stijging in de zuurstofgehalten geeft aan dat de metabolische processen afnemen, maar nog niet compleet gestopt zijn, omdat er nog afbreekbaar materiaal over is.

Tabel 4.1 Gemiddelde ($\pm 1SD$, $n = 5$) zuurstofconcentratie ten tijde van de monstername voor de DOC-bepaling op verschillende meetmomenten. Hypoxische condities (concentratie < 3 mg/L) zijn aangegeven door deze te onderstrepen. Een daling van het zuurstofgehalte ten opzichte van de controle geeft aan dat er heterotroof metabolisme optreedt.

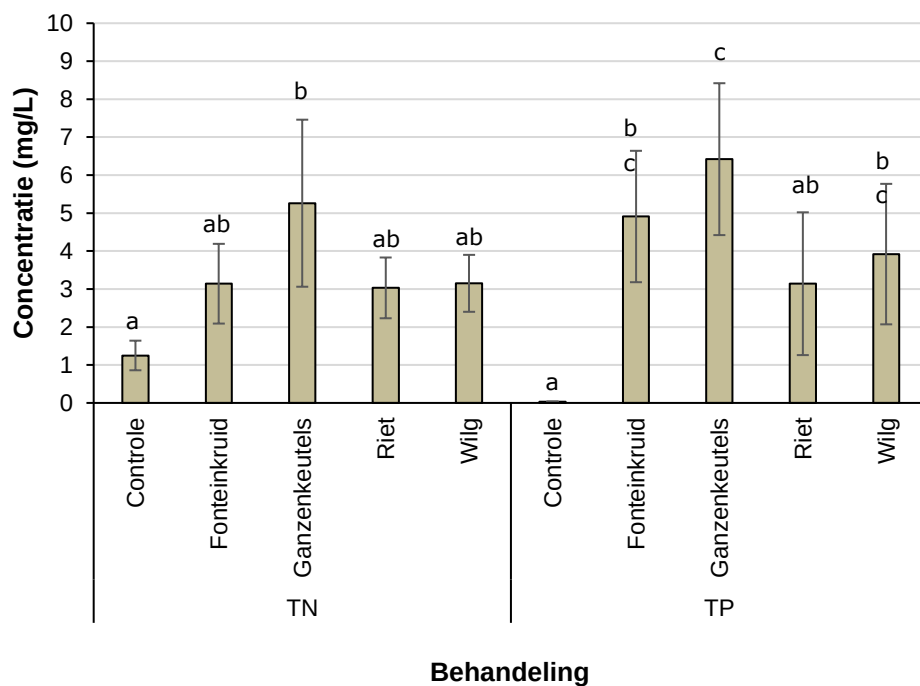
Meetmoment (dag)	Zuurstofconcentratiebehandeling (mg/L)				
	Controle	Fonteinkruid	Ganzenkeutels	Riet	Wilg
0	9,56 (0,01)	9,59 (0,05)	9,59 (0,03)	9,59 (0,05)	9,57 (0,03)
1	9,21 (0,09)	<u>0,54 (0,39)</u>	<u>0,22 (0,10)</u>	<u>2,35 (0,89)</u>	<u>2,07 (0,71)</u>
3	9,47 (0,17)	<u>0,96 (0,51)</u>	<u>1,31 (1,30)</u>	5,75 (1,28)	<u>1,41 (1,94)</u>
16	9,46 (0,84)	5,98 (0,76)	5,85 (2,47)	8,21 (0,45)	8,38 (0,24)

4.3 Nutriënten

Toevoeging van organisch materiaal leidde in alle gevallen tot een stijging van de concentratie totaalfosfor en totaalstikstof in het water (Tabel 4.2). Toevoeging van ganzenkeutels leidde wel tot relatief hoge concentraties in het water ten opzichte van de andere behandelingen; voor TP gold dit in beperktere mate ook voor fonteinkruid en wilg (Figuur 4.3).

Tabel 4.2 Gemiddelde ($\pm 1SD$, $n = 5$) nutriëntengehalten voor totaalfosfor (TP) en totaalstikstof (TN) bij aanvang en na afloop van het experiment bij verschillende behandelingen. Het verschil in begin- en eindconcentratie per stof en behandeling is getest met een Wilcoxon Signed Ranks Test (* $P < 0,05$; n.s. niet significant).

Behandeling	Stof	Meetmoment (dag)		Significantie verschil dag 0 en 29 (Wilcoxon signed rank tests)
		0	29	
Controle	TN	1,16 (0,15)	1,25 (0,39)	n.s.
	TP	0,04 (0,01)	0,03 (0,01)	n.s.
Fonteinkruid	TN	1,25 (0,42)	3,14 (1,05)	*
	TP	0,04 (0,01)	4,91 (1,73)	*
Ganzenkeutels	TN	1,15 (0,19)	5,26 (2,20)	*
	TP	0,04 (0,01)	6,42 (2,00)	*
Riet	TN	1,10 (0,03)	3,03 (0,80)	*
	TP	0,04 (0,01)	3,14 (1,88)	*
Wilg	TN	1,33 (0,38)	3,15 (0,75)	*
	TP	0,04 (0,01)	3,92 (1,85)	*



Figuur 4.3 Gemiddelde ($\pm 1SD$, $n = 5$) nutriëntengehalten voor totaalfosfor (TP) en totaalstikstof (TN) in 5 L Markermeerwater na afloop van het experiment (dag 29), waarbij 6,5 g dood organisch materiaal werd toegevoegd. De controle bestaat uit metingen van Markermeerwater zonder toegevoegd organisch materiaal. Letters geven een significant verschil aan tussen de behandelingen voor de verschillende stoffen (One Way ANOVA's met Tukey-tests voor vergelijkingen tussen behandelingen).

5 Discussie en implicaties van de bevindingen voor beheer en beleid

De laboratoriumstudie laat zien dat in de herfst afgestorven waterplanten zorgen voor een verhoging van de concentratie opgeloste koolstof en nutriënten in het water. Hetzelfde geldt voor externe bronnen: afgestorven blad van riet en ingevallen wilgenbladeren uit de aanliggende moerassen en een bron van dierlijke oorsprong in de vorm van ganzenkeutels. Dit geeft aan dat alle onderzochte bronnen een bijdrage kunnen leveren aan de stoffenbalans in het IJsselmeergebied. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de consequenties van deze bevindingen voor het beheer en beleid van de grote wateren.

5.1 Grote verschillen in afgifte en biobeschikbaarheid tussen plantensoorten

Voor opgelost koolstof is er een duidelijk verschil in de hoeveelheid, het tijdsverloop en de vorm waarin stoffen aan het water worden afgegeven. De afbraak van afgestorven waterplanten geeft bijvoorbeeld een relatief kortdurende piek aan het begin van het decompositieproces, gevolgd door een snelle daling van de concentratie, terwijl bij riet een langdurige maar relatief lage afgifte optreedt. Een relatief lage bijdrage wil overigens niet zeggen dat het geen toegevoegde waarde heeft voor het systeem en daarnaast kan deze afgifte lang doorgaan of in het systeem aanwezig blijven. Zo vonden V.-Balogh et al. (2006) ook na honderd dagen nog concentraties DOC vergelijkbaar met de concentratie die wij op dag 29 vonden in ons experiment. Een verklaring hiervoor is dat de samenstelling van het plantenmateriaal verschilt en daarmee de afgifte van stoffen (Reitsema et al., 2018): de organische koolstofverbindingen die vrijkomen uit de waterplanten kunnen makkelijker worden opgenomen door de aanwezige micro-organismen (biobeschikbaar), terwijl de stoffen die vrijkomen uit het blad van riet veel moeilijker opneembaar lijken te zijn. Gevolg is dat de minder of niet biobeschikbare verbindingen langer in het water aanwezig blijven. Overigens zijn de micro-organismen die het opgeloste koolstof opnemen veelal op het materiaal zelf aanwezig, waardoor oppervlakte en complexiteit van het af te breken materiaal ook een rol kunnen spelen (Wetzel & Sondegaard, 1998). Wilgenbladeren geven ten slotte weer een ander patroon in de tijd: een hoge piek (vergelijkbaar met fonteinkruid), gevolgd door een meer geleidelijke afname van de concentratie opgelost koolstof in de tijd. Kortom, **er is grote variatie in afgifte van organische koolstof tussen plantensoorten in termen van samenstelling en concentratieverloop in de tijd**, iets wat ook bij vergelijkingen in andere systemen is vastgesteld (Zander et al., 2007).

De nutriëntengehalten zijn niet, zoals de organische koolstof, in de tijd gevolgd in het experiment. Wel is er **voor alle plantensoorten een toename waargenomen in nutriëntengehalten tussen de begin- en eindconcentratie voor zowel totaalstikstof als totaalfosfor**. Deze toename lag in dezelfde ordegrootte wanneer de verschillende soorten werden vergeleken. Naast opgelost koolstof voegt de afbraak van afgestorven plantendelen dus ook nutriënten toe aan het water, die vervolgens in het voedselweb kunnen worden opgenomen door bijvoorbeeld fytoplankton of waterplanten.

5.2 Belang van het streven naar heterogene water- en oevervegetaties

De grote variatie in afgiftepatronen van opgelost organische koolstof tussen plantensoorten en vegetaties die voorkomen in en langs de grote wateren betekent dat het van belang is dat er voldoende variatie aanwezig is in de samenstelling van water- en oevervegetaties. Dit waarborgt namelijk een kwalitatieve en kwantitatieve aanvoer voor het aquatische voedselweb over een langere tijdsperiode. De verschillen in afgifte tussen bijvoorbeeld riet en wilg laten zien dat zowel bos als moerasvegetatie hierbij een belangrijke rol speelt. Momenteel nemen deze typen door de onnatuurlijke inrichting van de oeverzones van IJsselmeergebied

slechts circa een half procent in van het totale areaal ecotopen in het ongeveer 200.000 hectare grote IJsselmeergebied (moerasvegetaties 0,3%, zachthout struweel/bos 0,2%; Remmelzwaal et al., 2017). De oppervlakte waar potentieel waterplantenvegetaties voorkomen, is groter (minstens 13% wanneer ondiep tot matig diep water als potentieel geschikt beschouwd wordt). **Dit betekent dat de grootste winst ten behoeve van het stimuleren van organische stofstromen naar het meer-ecosysteem ligt in het vergroten van het areaal moerasvegetaties en zachthoutoibos/struweel.** Dit voegt variatie in de samenstelling toe ten opzichte van het aanbod dat afkomstig is van de waterplanten.

5.2.1 Moerasvegetaties

Buitendijkse moerasvegetaties in het IJsselmeergebied bestaan momenteel vaak uit rietland, waarvan een aanzienlijk deel jaarlijks (commercieel) gesneden wordt. Deze rietlanden zijn relatief droog (landriet i.p.v. waterriet) door het gehanteerde kunstmatige waterpeil, waardoor de natuurlijke dynamiek van nat in de winter en droog in de zomer ontbreekt en daarnaast vaak verruigt, omdat ophoping van strooisel plaatsvindt bij gebrek aan doorstroming tijdens inundaties (Rijkswaterstaat, 2017). Het maaibeheer zorgt ten slotte voor eenvormige opbouw van de structuur in het rietland. Kortom, de rietlanden zijn eenvormig van samenstelling en structuur en door een gebrek aan waterdynamiek ontbreekt de interactie tussen het rietland en het aanliggende meer en daarmee de potentie voor het uitwisselen van stoffen. **Zowel geredeneerd vanuit specifieke natuurdoelstellingen (o.a. populaties moerasvogels) als vanuit de stofstromen is een sterkere connectiviteit tussen rietland en meer noodzakelijk.** Omdat de bijdrage van het riet aan het voedselweb beperkt lijkt, is het daarnaast van groot belang meer heterogeniteit in de rietlanden te stimuleren via de vestiging en uitbreiding van andere soorten moerasplanten in het rietland. Om deze soorten te faciliteren, is een natuurlijk fluctuerend waterpeil een zeer belangrijke factor, omdat dit zorgt voor de condities, nodig voor met name de kieming van moerasplanten (droogvallende kale bodem, Lenssen et al., 1997).

5.2.2 Natte bossen

Wilgen vormen een belangrijke bron van organisch koolstof en nutriënten voor het meersysteem, maar zijn geen prioritair ecotooptype in het IJsselmeergebied. De oevers van de wateren in het IJsselmeergebied zijn zeer geschikt voor het ontstaan van zachthoutoibossen, gedomineerd door wilgen. Kieming van deze bomen vindt dan ook massaal plaats langs de oevers en op aangelegde eilanden. Vanwege natuurdoelstellingen (o.a. vogels) of esthetische overwegingen (openheid landschap) vindt op veel plaatsen actief beheer plaats, waarbij wilgen worden verwijderd. **Geredeneerd vanuit het genereren van stofstromen is het toestaan van een groter areaal wilgen echter wenselijk.** Er is namelijk een verschil in opgeloste koolstofproductie tussen moerasvegetatie en moerasbos; gemiddeld genomen wordt als kengetal een waarde van 5-15 mg/L opgelost koolstof gehanteerd voor zoetwatermoeras, terwijl deze waarde op 10-30 mg/L ligt voor moerasbos (Thurham 1985). Ook geldt hierbij: hoe meer vegetatiebiomassa om detritus te produceren en des te groter de oppervlakte met detritus in het water, des te meer uitloging en opbouw van organische verbindingen er plaatsvindt. Dit is in het voordeel van bos ten opzichte van kruidachtige moerasbegroeiing in termen van organische koolstofaanvoer.

5.3 Rol van ganzen

Ganzen zijn de afgelopen decennia sterk in aantal toegenomen, zowel overwinteraars als broedvogels en overzomeraars (Buij & Koffijberg, 2019). Deze dieren foerageren vaak in landbouwgebieden (intensief grasland, bouwland met gewasresten) en slapen op grote wateren. Via de uitwerpselen ontstaat hierdoor een flux van stoffen vanuit het binnenland naar de grote wateren. Ganzen verteren maar een deel van het plantenmateriaal dat ze consumeren (Buchsbaum et al., 1986), waardoor in de uitwerpselen nog materiaal overblijft dat organische stoffen kan afgeven aan het water wanneer ze in het water of op de oever terechtkomen. Dit materiaal lijkt relatief moeilijk afbreekbaar door micro-organismen in vergelijking met bijvoorbeeld waterplanten; in het laboratoriumexperiment was afgifte door het materiaal waarneembaar, waarna tijdens de hele looptijd de concentratie op een vergelijkbaar niveau bleef. Waarschijnlijk zijn de snel afbreekbare componenten al door de ganzen verteerd. Desondanks kan op lokale schaal, bijvoorbeeld op plekken waar ganzen zich concentreren om de nacht door te brengen, lokaal een bijdrage geleverd worden

aan het toevoegen van organische stof. De toevoeging van nutriënten aan het water bleek duidelijk uit de metingen van totaalstikstof en totaalfosfaat aan het begin en het einde van het experiment. De gehalten van beide stoffen waren sterk toegenomen aan het einde van de meetperiode.

5.4 Hoe komen de stoffen effectief in het meer terecht? Het belang van connectiviteit en transport

Naast de aanwezigheid van bronnen van organische stof in de oeverzone is het van groot belang dat dit materiaal ook de grote wateren kan bereiken. Voor terrestrische vegetatie die grenst aan het waterlichaam levert dit weinig belemmeringen op, omdat blad of afgestorven plantendelen direct in het water terecht kunnen komen. Voor bronnen die verder van het water af liggen of ervan gescheiden zijn door een dijk of een gemaal, is deze connectiviteit minder vanzelfsprekend.

Om transport van materiaal in de oeverzone op gang te brengen, moet de moerasvegetatie of het wilgenbos geïnundeerd worden en tenminste enige afvoer van water hebben in de richting van het meer of rivier als transportvector. Door het tegennatuurlijke peilbeheer in het IJsselmeergebied is momenteel windopzet de voornaamste oorzaak van inundatie van de buitendijkse rietlanden. Voor de aanvoer vanuit het achterland zijn waarschijnlijk vooral de momenten met langdurige en hevige neerslag van belang, wanneer er veel water uitgemalen wordt of door rivieren wordt aangevoerd. Voor beide geldt dat de gebeurtenissen afhankelijk zijn van de weersomstandigheden en daardoor een relatief onvoorspelbaar karakter hebben. Ook kunnen deze momenten asynchroon lopen met de piek van organisch materiaal door bladval en afsterven van planten in de herfst, waardoor de aanvoer sterk in omvang kan verschillen. De terrestrische aanvoer is hiermee afwijkend van de wat betreft timing relatief voorspelbare organische stofstromen die door waterplantenvegetaties worden gegenereerd aan het einde van het groeiseizoen.

Om de connectiviteit tussen het aquatische ecosysteem en de terrestrische vegetatie te versterken, is het met de huidige randvoorwaarden (in termen van bijvoorbeeld peilbeheer) belangrijk het areaal buitendijks moeras uit te breiden binnen het IJsselmeergebied en langs de rivieren, omdat hier de kortste en directste transportroute van terrestrisch materiaal naar het aquatische systeem gerealiseerd kan worden. Ingrepen om grotere arealen moerasvegetatie te ontwikkelen die in directe verbinding staan met het meer, zoals de ontwikkeling van moerasandijvie, riet- en lisdoddebegroeiingen op de Marker Wadden (De Rijk & Löffler, 2022) en op andere plekken in het IJsselmeergebied (Trintelzand) en het buitendijkse achterland (langs rivieren, zoals IJssel en de Overijsselse Vecht), zouden op termijn een positieve uitwerking kunnen hebben op de organische stofstromen naar de grote wateren. Om de uitwisseling te faciliteren, is een geleidelijke land-waterovergang een vereiste, zodat in interactie met fluctuaties in het waterpeil een gradiënt van nat-naar-droog kan ontstaan. Hierbij blijft een tegennatuurlijk peil nog wel een barrière, omdat juist inundaties in de late herfst/begin winter voor het grootste transport van afgestorven plantenbiomassa zouden kunnen zorgen.

Literatuur

- Balzer, M. J., Hitchcock, J. N., Hadwen, W. L., Kobayashi, T., Westhorpe, D. P., Boys, C., Mitrovic, S. M. (2023) Experimental additions of allochthonous dissolved organic matter reveal multiple trophic pathways to stimulate planktonic food webs. *Freshwater Biology* 68: 821– 836.
- Buchsbaum, R., Wilson, J., Valiela, I. (1986) Digestibility of Plant Constituents By Canada Geese and Atlantic Brant. *Ecology* 67: 386-393.
- Buij, R., Koffijberg, K. (2019) Ganzen en ganzenschade in Nederland; Overzicht van kennis en kennishiaten voor effectief beleid. Rapport 2965, Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- De Leeuw, J.J., Van Donk, S.C. (2020) Hypotheses voor afname van de visstand in het IJsselmeer Wageningen Marine Research rapport C051/20a, Wageningen Marine Research, IJmuiden.
- De Rijk, S., Löffler, M. (red.) (2022) Syntheserapport KIMA. De eerste vijf jaar onderzoek op Marker Wadden. Rapport Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden.
- Doef, R., Van Ek, R. (2021) Ervaringen met het achteroeverconcept in de Koopmanspolder. *Water Matters*, juni 2021: 32-35.
- Findlay, S.E.G., Parr, T.B. (2017) Dissolved Organic Matter. P. 21-36. In: Lamberti, G.A., Hauer, F.R. (red.) *Methods in Stream Ecology (Third Edition) Volume 2: Ecosystem Function*. Academic Press.
- Lenssen, J., Menting, F., van der Putten, W., Blom, K. (1997) Soortenrijk rietmoeras vereist een natuurlijk fluctuerend waterpeil. *De Levende Natuur* 100: 131-135.
- Noordhuis, R., Vonk, A. (2022) Stoffentransport Oostvaardersoevers. Rapport 11208073-005-ZWS-0001, Deltares, Utrecht.
- Noordhuis, R. (red.) (2010) Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.
- Reitsema, R.E., Meire, P., Schoelynck, J. (2018) The Future of Freshwater Macrophytes in a Changing World: Dissolved Organic Carbon Quantity and Quality and Its Interactions With Macrophytes. *Frontiers in Plant Science* 9: 629.
- Rommelzwaal, A., Lankester, J., Aragon van den Broeke, M., Lichtendahl, M., van Konijnenburg, P., Garritsen, T., van Heusden, W. (2017) Preverkenning IJsselmeergebied. Achtergronddocument Preverkenning ecologische kwaliteit IJsselmeergebied. Rapport Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Rijkswaterstaat (2017). *Natura 2000 Beheerplan IJsselmeergebied 2017-2023*. IJsselmeer. Rapport WD1017LL055, Rijkswaterstaat.
- Thurham, E.M. (1985) *Organic geochemistry of natural waters*. Kluwer Academic Publishers Group, Dordrecht.
- V.-Balogh, K., Présing, M., Vörös, L., Tóth, N. (2006) A Study of the Decomposition of Reed (*Phragmites australis*) as a Possible Source of Aquatic Humic Substances by Measuring the Natural Abundance of Stable Carbon Isotopes. *International Review of Hydrobiology* 91: 15-28.
- Van Ek, R. (2016) Pilot Koopmanspolder. Eindrapportage monitoring. Rapport 1230049-004-BGS-0004, Deltares, Utrecht.
- Van Riel, M.C., Veraart, J.A., Verdonschot, P.F.M. (2020) Systeemanalyse van het IJsselmeergebied, een kennisinventarisatie. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- Verdonschot, R.C.M., De Vries, J., Van der Lee, G.H., Bakker, A., Van Noord, A.-M., Verdonschot, P.F.M., (2022) Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren: verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen. Deel I: Theoretisch kader en casestudie IJssel-Vechtdelta. Rapport 3214, Wageningen, Wageningen Environmental Research.
- Verdonschot, P. (2020) Een robuust Markermeer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 166: 13-15.

-
- Wetzel, R.G., and Sondergaard, M. (1998) Role of submerged macrophytes for the microbial community and dynamics of dissolved organic carbon in aquatic ecosystems. In: E. Jeppesen (red.) *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Springer Science Business Media, New York.
- Wetzel., R.G. (1992) Gradient-dominated ecosystems: sources and regulatory functions of dissolved organic matter in freshwater ecosystems. *Hydrobiologia* 229: 181-198.
- Zander, A., Bishop, A.G., Prenzler, P.D., Ryder, D.S. (2007) Allochthonous DOC in floodplain rivers: identifying sources using solid phase microextraction with gas chromatography. *Aquatic Sciences* 69: 472–483.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3324
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3324
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

