



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

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

Deel I: Theoretisch kader en casestudie IJssel-Vechtdelta

R.C.M. Verdonschot, J. de Vries, G.H. van der Lee, A. Bakker, A.-M. van Noord, P.F.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 bij het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen

Deel I: Theoretisch kader en casestudie IJssel-Vechtdelta

R.C.M. Verdonschot, J. de Vries, G.H. van der Lee, A. Bakker, A.-M. van Noord, P.F.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 onderzoekthema MMIP E3 Duurzame rivieren, meren en intergetijdegebieden (projectnummer BO-43-118-001).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, december 2022

Gereviewd door:

Dr. A. de Kluijver, Ecologisch adviseur PAGW, Rijksdienst voor ondernemend Nederland

Akkoord voor publicatie:

K. Andeweg, teamleider Water & Food

Rapport 3214
ISSN 1566-7197

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 bij het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen. Deel I: Theoretisch kader en casestudie IJssel-Vechtdelta*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3214. 60 blz.; 17 fig.; 2 tab.; 36 ref.

Om de effecten van inrichting, beheer en gebruik op het voedselweb en de ecologische draagkracht van de grote wateren beter te kunnen afwegen, is het belangrijk processen en factoren te betrekken op voor het systeem ecologisch relevante ruimtelijke schaalniveaus. Hierbij is niet alleen de situatie op lokale schaal van belang, maar spelen ook grootschaligere, landschap-overstijgende processen een essentiële rol. Het gaat hierbij om de verbindingen tussen de grote wateren met het achterland en de rol die ze spelen in het ecosysteem- van functioneren via onder andere het transport van materiaal. In deze rapportage beschrijven we het belang verbindingen met oeverzones en het achterland met betrekking tot stofstromen, in het bijzonder voor organisch materiaal. Ook bevat het de resultaten van een pilotstudie in de IJssel-Vechtdelta, waar in het najaar van 2021 de concentraties organische koolstof en nutriënten op systeemsschaal in beeld gebracht zijn om beter inzicht te krijgen in de bronnen en routes die deze stoffen binnen het systeem afleggen.

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. This means that besides the local context, the overarching environmental processes operating on large spatial scales are important. For the large lakes and rivers an important connecting element is the inflow of resources from inland catchments. In this report we describe which connections are present and how these connections between ecosystems influence ecosystem functioning, which a special emphasis on organic matter. To illustrate this concept a field study was carried out in autumn 2021 to determine the pathways of organic matter and nutrient transport in the IJssel-Vecht-delta.

Trefwoorden: systeemecologie, stofstromen, organische koolstof, IJsselmeergebied

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/581561> 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.

© 2022 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 3214 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: IJssel-Vechtdelta, Ralf Verdonschot

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Schets kennisbehoefte	13
1.2 Doel en vraagstelling	13
1.3 Leeswijzer	14
2 Theoretisch kader	15
2.1 Rol van verbindingen met het achterland en consequenties voor het ecosysteem-functioneren	15
2.2 Type verbindingen met het achterland	16
2.2.1 Ruimtelijke aspecten	17
2.2.2 Temporele aspecten	20
2.3 Aanvoer vanuit het achterland als motor van het voedselweb in de grote wateren	21
2.3.1 Voedselweb in de grote wateren en veranderingen hierin in de tijd	21
2.3.2 De rol van externe aanvoer van materiaal voor het functioneren van de grote wateren	22
3 Verbindingen met het achterland in de praktijk: casus stofstromen IJssel-Vechtdelta	25
3.1 Doel en opzet veldstudie	25
3.2 Systeembeschrijving	25
3.3 Methode	27
3.3.1 Meetpuntselectie	27
3.3.2 Monsternamen en analyse van het verzamelde materiaal	27
3.3.3 Dataverwerking	28
3.4 Resultaten	28
3.4.1 Totaal organisch koolstof	28
3.4.2 Totaal stikstof	36
3.4.3 Totaal fosfor	36
3.4.4 Elementaire ratio's	36
4 Discussie en conclusies	37
5 Potentiële maatregelen ter bevordering van de aanvoer van organisch materiaal naar de grote wateren	39
6 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	41
Literatuur	42
Bijlage 1 Meetlocaties	44
Bijlage 2 Resultaten analyses nutriënten en elementaire ratio's	53



Verantwoording

Rapport: 3214

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: Adviseur ecologie PAGW, Rijksdienst voor ondernemend Nederland

naam: dr. A. de Kluijver

datum: 9-11-2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: K. Andeweg

datum: 21-11-2022

Woord vooraf

Dat de toevoer van stoffen en organisch materiaal vanuit oeverzones en het achterland naar het open water belangrijk is voor het ecologisch functioneren van meer- en rivierecosystemen wordt steeds meer onderkend. Echter zijn deze stofstromen in de Nederlandse grote wateren momenteel onderbroken of slechts in beperkte mate aanwezig, wat de afgelopen jaren heeft geleid tot onder andere verstoorde (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 beschrijven we aan de hand van wetenschappelijke literatuur en rapporten het belang van verbindingen met oeverzones en het achterland met betrekking tot stofstromen, in het bijzonder voor organisch materiaal. Ook bevat het de resultaten van een pilotstudie in de IJssel-Vechtdelta. Deze 'PAGW-hotspot' vormt een knooppunt van verbindingen tussen verschillende watertypen. Hier hebben we in het najaar van 2021 de concentraties organische koofstof en nutriënten op systeemschaal in beeld gebracht om beter inzicht te krijgen in de bronnen en routes die deze stoffen binnen het systeem afleggen. Dit kan als basis dienen voor een handelingsperspectief op landschapsniveau.

Tot slot, hartelijk dank aan Jeroen Veraart (WENR) en de medewerkers van de Rijksdienst voor ondernemend Nederland, Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer voor het meedenken bij het onderzoek en hun aanvullingen op deze rapportage, in het bijzonder Anna de Kluijver, Wouter van Heusden en Luc Jans.

Samenvatting

Om het ecologisch functioneren van de grote wateren beter te kunnen begrijpen, is inzicht nodig over de invloed van factoren op landschapsschaal, omdat deze uiteindelijk doorwerken op de abiotische en biotische processen die zich afspelen in de grote wateren. Vanuit kennis van samenhang en functioneren op een grotere landschappelijke schaal, wordt inzetten op grootschalige natuurlijke processen mogelijk de sleutel tot verbetering van de waterkwaliteit en het behalen van natuurdoelen in de grote wateren.

Een belangrijke rol is hierbij weggelegd voor de verbindingen met het achterland. Het gaat om de waterstromen die vanuit het regionale watersysteem via rivier- en beekmondingen, polderboezems en kanalen naar de grote wateren lopen. Het is echter nog de vraag hoeveel deze verbindingen bijdragen – in termen van stofstromen – aan het ecosysteem-functioneren van de grote wateren. Deze stofstromen vormen namelijk de basis voor het voedselweb van de grote wateren. Daarnaast is het belangrijk inzicht te hebben in hoe bepaalde routes van stoffen kunnen worden versterkt. Kan door gebruik te maken van de verbindingen met het achterland via de regionale watersystemen of de stroomgebieden van grote rivieren een kwaliteitsverbetering in de grote stilstaande wateren worden gerealiseerd?

Deze studie focust zich op de IJssel-Vechtdelta, een knooppunt van verbindingen tussen het IJsselmeer en het achterland in de vorm van een netwerk van rivieren, kanalen en polderboezems. Aan de hand van wetenschappelijke literatuur en rapporten is beschreven wat de aanvoer van water en stoffen uit het achterland betekent voor het functioneren van het IJsselmeergebied in relatie tot de huidige toestand van het voedselweb van het IJsselmeer. Hieruit komt naar voren dat naast het intern geproduceerde organisch materiaal met nutriënten als basis voor het ecosysteem-functioneren van grote wateren ook extern geproduceerd materiaal een zeer belangrijke rol kan spelen. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om dood organisch materiaal afkomstig van terrestrische of oevervegetatie, dat met waterstromen uit het achterland wordt meegevoerd. Het grootste deel bereikt de grote wateren in opgeloste vorm of als zeer fijne deeltjes, waarna het wordt omgezet en opgenomen door micro-organismen en zo verder in de voedselketen wordt opgenomen.

Belangrijk is dat wanneer de interne productie in een systeem terugloopt, bijvoorbeeld door het voedselarmere worden als gevolg van een verminderde nutriëntenlast, de afhankelijkheid van de externe aanvoer voor het ecosysteem-functioneren groter wordt. Met de recente negatieve veranderingen in het voedselweb van het IJsselmeergebied, zoals voedselgebrek voor vis en vogels, afnemende productie en biodiversiteitsverlies in het achterhoofd, zou het mogelijk kunnen zijn dat de afname van de eutrofiëring tot gevolg heeft dat de afhankelijkheid van allochtone aanvoer van organisch materiaal als basis voor de productiviteit is toegenomen. Er zijn echter geen gegevens over de organisch materiaalstromen in de grote wateren voorhanden om deze hypothese te testen. Daarom is aan de hand van de IJssel-Vechtdelta casus in beeld gebracht hoe deze verbindingen tussen de grote wateren en het achterland er daadwerkelijk uitzien, waarbij aan de hand van metingen aan stofstromen tussen de verschillende systemen de samenhang wordt gekwantificeerd.

In de IJssel-Vechtdelta-casestudie is een eerste stap gezet om op landschapsschaal te onderzoeken wat de invloed is van de IJssel en de regionale watersystemen in het 'achterland' op het IJsselmeergebied en hoe deze verbindingen bijdragen aan het ecologisch functioneren van het meer-ecosysteem. Dit is onderzocht aan de hand van stofstromen die als basis voor het voedselweb fungeren: totaal organische koolstof (TOC), totaal stikstof (N) en totaal fosfor (P). Door de ruimtelijke patronen van deze stoffen te kwantificeren, zijn de routes in beeld gebracht die zorgen voor de aanvoer van voedingsstoffen naar het IJsselmeer. Er is gemeten in grote en kleinere rivieren en hun nevengeulen, vaarten en sloten in polders, afwateringsgebieden van beken, meren en hun buitendijkse rietlanden. Door deze hiaten in te vullen, kan richting gegeven worden aan hoe bepaalde routes van stoffen kunnen worden versterkt ten behoeve van het ecosysteem-functioneren, om zo veranderingen in het voedselweb van de grote wateren te kunnen bewerkstelligen en zo de geconstateerde afnemende natuurlijke productie en het verlies van biodiversiteit tegen te gaan.

Er is gemeten in november 2021, de periode waarin veel dood organisch materiaal beschikbaar komt in de vorm van afgestorven plantendelen. Er zijn metingen verricht op veertig locaties in de IJssel-Vechtdelta, de IJssel en de verbonden regionale watersystemen. Tijdens en de periode voorafgaand aan de metingen was de rivierafvoer laag t.o.v. het langjarig gemiddelde. Uit de metingen bleek dat de belangrijkste aanvoerroute, de rivier de IJssel (circa 70% van de aanvoer naar het IJsselmeer), zeer weinig organische stof toevoerde (2,8-4,7 mg/L TOC). Kleinere rivieren (Overijsselse Vecht, Zwarte water) en polders bleken hogere concentraties organische stof te bevatten, maar hebben tevens een veel geringere afvoer, waardoor de bijdrage in het totale watervolume sterk verdund wordt. De concentratie organische stof bij de uitstroom van het Ketelmeer in het IJsselmeer bleek dan ook laag (3,2 mg/L TOC).

De lage uitstroom van organisch materiaal is overigens niet beperkt tot de grote wateren, maar begint al in het regionale watersysteem, waar de secundaire watergangen (sloten) hogere gehalten bevatten dan de primaire watergangen (vaarten). In de secundaire wateren werden de hoogste concentraties organische stof gemeten, tot 36,5 mg/L TOC in een sloot in veengebied in de boezem van Noordwest-Overijssel. In deze systemen is sprake van een zeer lage afvoer, waardoor er weinig transport plaats kan vinden. Een beperkende rol van gemalen en stuwen in de stofstromen werd niet duidelijk uit het onderzoek en leek door de wisselende verhoudingen voor en na de constructies contextafhankelijk.

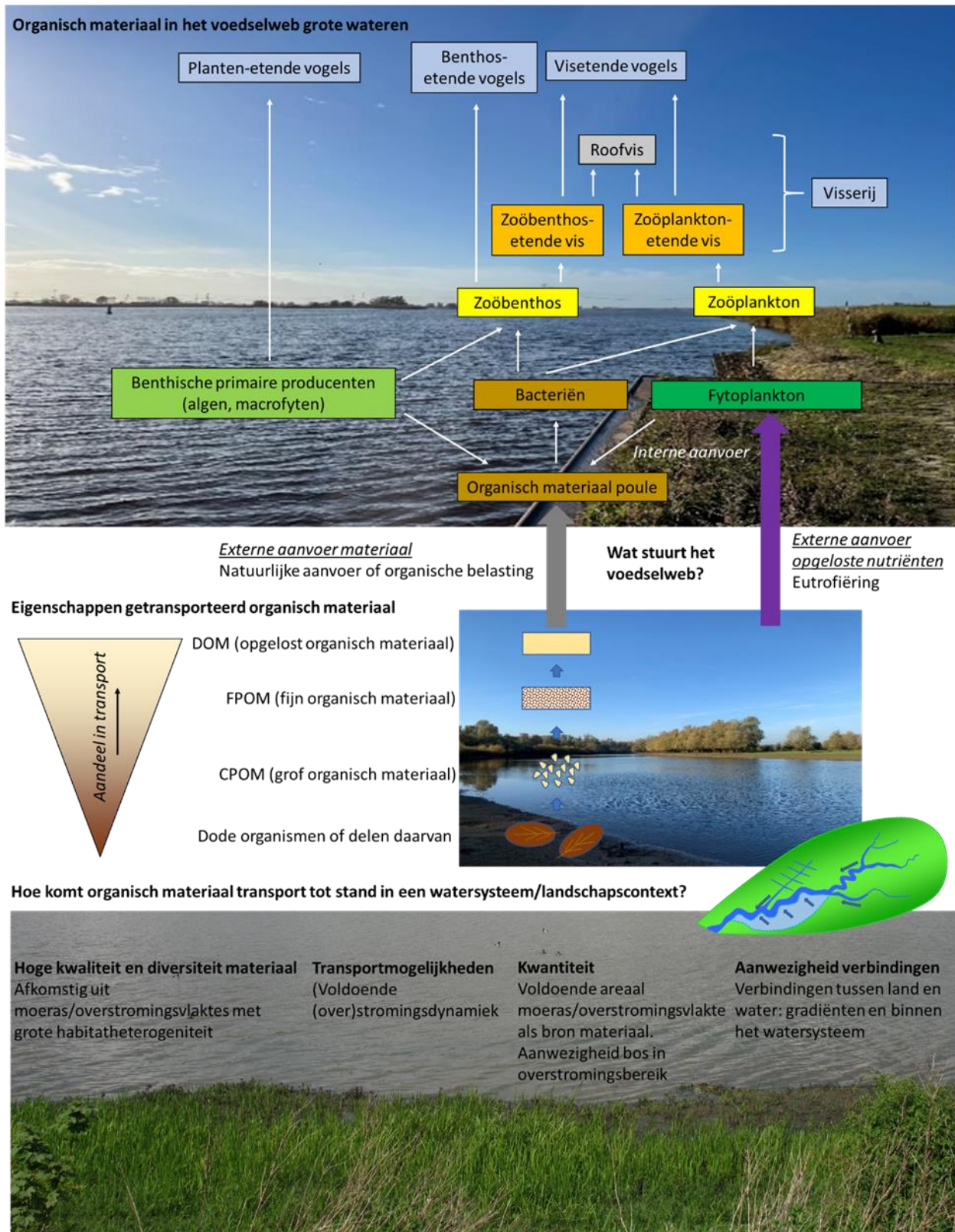
Er is tevens gekeken naar potentiële interne bronnen in de grote wateren die organisch materiaal fluxen konden genereren, de buitendijkse rietmoerassen die in de IJsselmonding aanwezig zijn en nevengeulen langs de rivieren. De meetpunten in de krekens/sloten in de rietlanden en in de nevengeulen lieten vergelijkbare concentraties zien met het water in de meren en rivieren. De reden hiervoor moet waarschijnlijk gezocht worden in het ontbreken van lokale uitwisseling van oppervlaktewater met de rietzone in de meren of tussen de uiterwaard en de rivier op het moment van de metingen. Er was sprake van abrupte overgangen tussen water en land, die pas verbonden worden bij hoge afvoeren of sterke golfslag waarbij inundatie van het land optreedt en organische stof kan worden meegevoerd. Graduele land-water-overgangen waar continu uitwisseling kan plaatsvinden, zoals velden met waterriet, waren niet aanwezig op de meetpunten.

De metingen aan N en P lieten zien dat de toevoer van nutriënten nog steeds aanzienlijk was, zowel in de grote wateren als in het regionale watersysteem. Van een voedselarme situatie was dus geen sprake. De toevoer van organische stof was echter veel lager dan te verwachten op basis van referentiesituaties. Om de aanvoer naar het IJsselmeer substantieel te verhogen, zou gekeken kunnen worden naar de grote rivieren en riviertjes die kwantitatief de grootste aanvoer vanuit het achterland verzorgen. Het zijn vooral overstromingsvlakten en moerassen die hierin een grote rol kunnen spelen. De verwachting is dan ook dat, om de situatie in het IJsselmeer te verbeteren, er gestuurd moet worden op het grootschalig terugbrengen van moerasnatuur in de uiterwaarden van de IJssel, het Zwarte water en de Overijsselse Vecht waarbij periodiek voldoende dynamiek optreedt (puls-karakter) om transport van materiaal naar het IJsselmeer mogelijk te maken. Naast voldoende oppervlakte is het ook belangrijk in te zetten op kwalitatief hoogwaardige natte natuur, oftewel systemen met voldoende heterogeniteit, gegenereerd door gradiënten door wisselwerking van nat-droog, hoog-laag, voedselarm-voedselrijk enzovoorts. Dit leidt niet alleen tot een hoge biodiversiteit ter plaatse, maar ook tot een verrijkte aanvoer naar de grote wateren door een grotere variatie in samenstelling, duurzaamheid en daarmee voedselkwaliteit.

Dit onderzoek heeft een aantal inzichten opgeleverd over het systeem-functioneren, maar een aantal aspecten moet nog nader ingevuld worden. Dit onderzoek is een momentopname van lage afvoer met weinig transport, aanvullende metingen tijdens perioden met hoge afvoeren zijn nodig om het puls-karakter van toevoer van organische stof in beeld te krijgen en zo een bandbreedte van organisch materiaal transport te kwantificeren. Ook is het van belang een beter beeld te krijgen van de herkomst van het organisch materiaal, bijvoorbeeld wat de verhouding is tussen natuurlijke versus antropogene bronnen. Daarnaast is niet duidelijk hoe het organisch materiaal zijn weg vindt in het voedselweb van het IJsselmeer, waar en door wat wordt het opgenomen en hoe het doorwerkt naar de hogere trofische niveaus. Daarbij is het ook een belangrijke vraag of de herkomst of kwaliteit van belang is. Om maatregelen te kunnen nemen, is het tot slot van belang beter in beeld te krijgen hoe stofstromen functioneren onder relatief goede omstandigheden, zodat de relevante aspecten hiervan kunnen worden omgezet naar maatregelen.

Figuur S.1 geeft een conceptueel overzicht van de rol van de aanvoer van organisch materiaal bij het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied.

Organisch materiaal transport vanuit het achterland als motor achter het ecologisch functioneren van de grote wateren



Figuur S.1 Visuele weergave van de rol van organisch materiaal binnen het voedselweb van de grote wateren en de relatie met het achterland met betrekking tot potentiële bronnen en transportmogelijkheden.

1 Inleiding

1.1 Schets kennisbehoefte

Veel maatregelen in de grote wateren zijn gericht op het creëren van habitat voor doelsoorten en op compensaties voor de belemmering van ecologische ontwikkelingen als gevolg van hun artificiële en statische inrichting. Ambities worden daarbij vooral gebiedsspecifiek benaderd in plaats van op de schaal van de werkelijke functionele ecologische eenheden. Veelal is dit de schaal van het stroomgebied, waarbij nadrukkelijk de samenhang tussen het achterland en de grote wateren in beeld komt. De gebiedsspecifieke benadering lijkt een belangrijke oorzaak voor het uitblijven van succesvolle ontwikkelingen in de grote wateren en is een gevolg van het onvoldoende betrekken van het systeem-functioneren op een groter landschappelijk schaalniveau (Veraart et al., 2021).

Een voorbeeld is de constatering van negatieve veranderingen in het voedselweb van het IJsselmeergebied, zoals voedselgebrek voor vis en vogels, afnemende productie, biodiversiteitsverlies en dominantie van uitheemse soorten (Noordhuis, 2010; De Leeuw et al., 2020). Belangrijke componenten die bepalend zijn voor het ecologisch functioneren, zoals graduele land-water-overgangen in het litoraal en verbindingen met het achterland via polderwateren (bijv. achteroevers), rivieren en beken of met het Waddengebied, zijn wel in beeld, maar een integraal en groter ruimtelijk en temporeel beeld van de randvoorwaarden en de schaal die nodig is om veranderingen teweeg te brengen, is nauwelijks onderbouwd (Van Riel et al., 2020). Hierdoor is de effectiviteit van (potentiële) maatregelen moeilijk te bepalen.

Juist vanuit kennis van samenhang en functioneren op een grotere landschappelijke schaal wordt inzetten op grootschalige natuurlijke processen mogelijk, de sleutel tot verbetering van de waterkwaliteit en het behalen van natuurdoelen in de grote wateren (Verdonschot, 2020). Voor een hogere effectiviteit van maatregelen is het met name noodzakelijk om het ecologisch functioneren van samenhangende watersystemen onder de huidige omstandigheden beter te begrijpen. Hierbij is het ook belangrijk in beeld te hebben hoe – vaak meerdere – stressoren invloed hebben op het huidige functioneren van deze systemen.

Een eerste stap om het ecologisch functioneren van de grote wateren beter te begrijpen, is het verkrijgen van een beter overzicht van sleutelfactoren op landschapsschaal, dat wil zeggen welke grootschalige processen de biologische relaties (waaronder voedselwebben en niet-voedsel relaties) beïnvloeden. Een belangrijke rol is hierbij weggelegd voor de externe (achterland-waterlichaam) verbindingen en hoe deze bijdragen aan het ecosysteem-functioneren van de grote wateren waar ze op afwateren. Kennis hierover draagt bij aan methodeontwikkeling om het effect van inrichting, beheer en gebruik op het voedselweb en de ecologische draagkracht in grote wateren beter te kunnen afwegen t.b.v. de besluitvorming in water- en natuurbeleid. Ook geeft het een beter inzicht hoe herstel van functionele processen op landschapsschaal kan bijdragen aan de veerkracht en robuustheid van de grote wateren voor grootschalige milieuveranderingen, zoals klimaatverandering.

1.2 Doel en vraagstelling

Omdat herstel op een voldoende grote schaal binnen de grote wateren moeilijk te realiseren is, door onder andere onomkeerbare landschappelijke veranderingen en waterveiligheidsaspecten, kan door gebruik te maken van de verbindingen met het achterland via de regionale watersystemen of de stroomgebieden van grote rivieren in het geval van het IJsselmeergebied mogelijk toch de benodigde areaalvergroting worden gerealiseerd. Het gaat hierbij om de waterstromen die vanuit het regionale watersysteem via rivier- en beekmondingen, polderboezems en kanalen naar de grote wateren lopen, inclusief de verbinding tussen grote rivieren en meren.

Deze verbindingen kunnen een belangrijke functie hebben voor het ecosysteem-functioneren van de ontvangende systemen, maar de vraag is:

- i. Welke bijdrage deze verbindingen met het achterland op dit moment al leveren in termen van de stofstromen die als basis voor het voedselweb fungeren.
- ii. Hoe bepaalde routes van stoffen kunnen worden versterkt ten behoeve van het ecosysteem-functioneren om zo veranderingen in het voedselweb van de grote wateren te kunnen bewerkstelligen.

1.3 Leeswijzer

In deze studie wordt de invloed die het 'achterland' heeft op het IJsselmeergebied beschreven en hoe dit bijdraagt aan het ecologisch functioneren van het meer-ecosysteem. We concentreren ons hierbij op de IJssel-Vechtdelta, een knooppunt van verbindingen tussen het IJsselmeer en het achterland in de vorm van een netwerk van rivieren, kanalen en polderboezems.

We beschrijven aan de hand van wetenschappelijke literatuur en rapporten de functie die de aanvoer van water uit het achterland heeft binnen het functioneren van het IJsselmeergebied in relatie tot de huidige toestand waarin het voedselweb van het meer zich bevindt (Hoofdstuk 2). Dit schetst het theoretische kader achter de verbindingen tussen grote wateren en het achterland.

Vervolgens wordt aan de hand van een casus (IJssel-Vechtdelta) in beeld gebracht hoe deze verbindingen tussen de grote wateren en het achterland er daadwerkelijk uitzien, waarbij aan de hand van metingen aan stofstromen tussen de verschillende systemen de samenhang wordt gekwantificeerd (Hoofdstuk 3).

Ten slotte wordt ingegaan op de relatie met beheer en inrichting van het rivierengebied en de polders en hoe dit zich verhoudt tot maatregelen binnen het IJsselmeergebied en in de regionale watersystemen in het achterland (Hoofdstuk 4).

2 Theoretisch kader

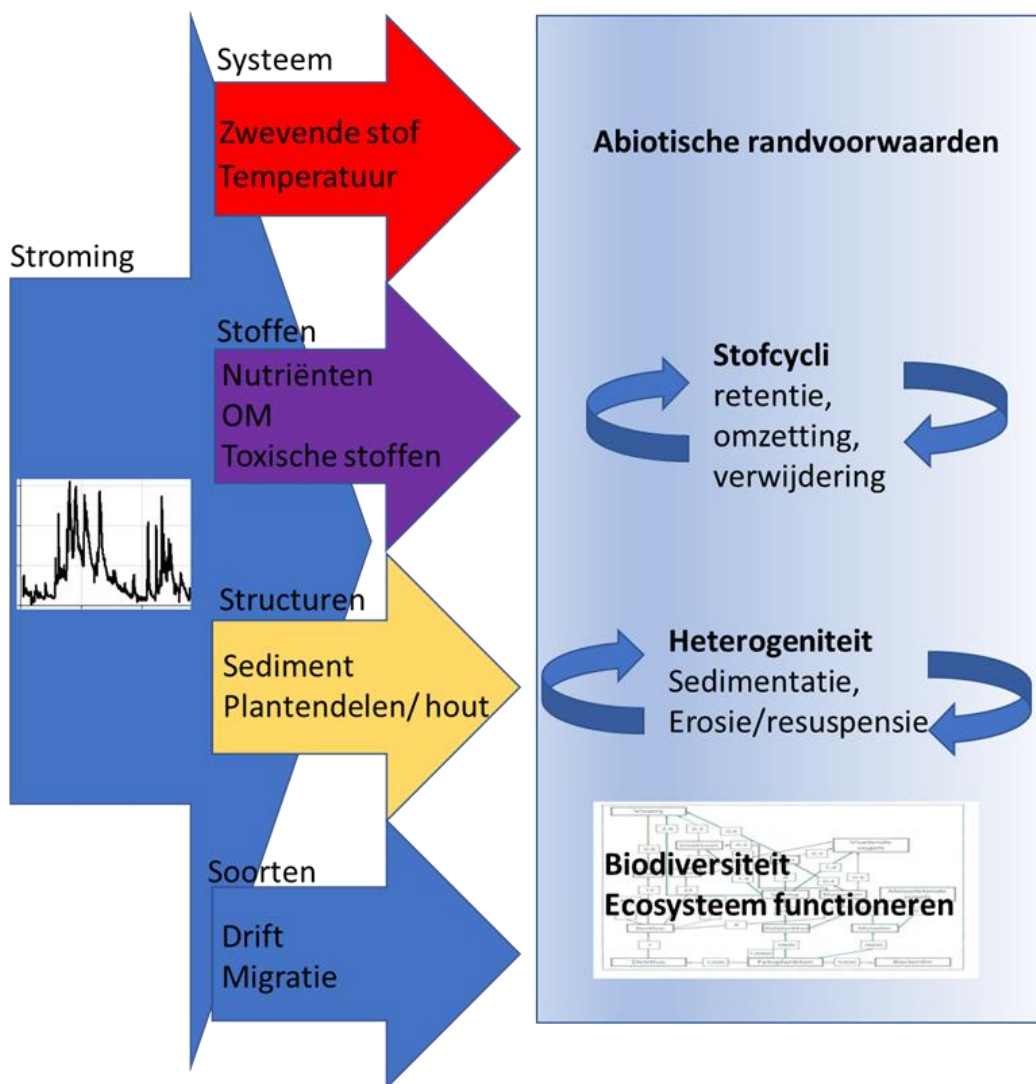
2.1 Rol van verbindingen met het achterland en consequenties voor het ecosysteem-functioneren

Dat grote wateren niet in isolatie functioneren, wordt steeds meer onderkend, niet alleen het belang van de litorale en de benthische zone voor de processen in het waterlichaam, maar ook de verbinding met het achterland (Marcarelli et al., 2019; Vander Zanden & Vadeboncoeur, 2020; Richardson et al., 2021). Er kan namelijk een aantal functies worden onderscheiden die samenhangen met de aanwezigheid van een verbinding, die weer gekoppeld kunnen worden aan het 5-S-model voor robuuste meer-systemen (Verdonschot 2020; Figuur 2.1):

1. Beïnvloeding van de **stroomrandvoorwaarden**, bijvoorbeeld via verschillen in watertemperatuur tussen het aangevoerde water en het ontvangende water en de hoeveelheid materiaal die in suspensie is en zo het lichtklimaat onder water kan beïnvloeden.
2. Aanvoer van water via **stroming**, die zo een bijdrage aan de waterbalans van het ontvangende systeem levert. Het volume fluctueert in de tijd en kan tussen de seizoenen en van jaar tot jaar verschillen, samenhangend met bijvoorbeeld de hoeveelheid neerslag in de stroom- of afwateringsgebieden. Het heeft daarmee effect op alle andere factorgroepen, bijvoorbeeld de hoeveelheid stoffen en materiaal dat naar de grote wateren getransporteerd wordt. Relevant in deze context zijn ook de effecten van klimaatverandering, die via afvoer veranderingen kunnen doorwerken op het ontvangende systeem.
3. Aanvoerroute van **stoffen**, zoals opgelost organisch materiaal (OM), nutriënten (N, P), andere relevante stoffen (C, Si, Fe) en toxicanten. Deze stoffen kunnen zowel een natuurlijke herkomst hebben (bijv. oevervegetatie) of zijn antropogeen en afkomstig van diffuse bronnen (agrarisch landgebruik) of puntbronnen (lozingspunten effluent, proceswater). In het ontvangende water worden de stoffen opgenomen, omgevormd, opgeslagen en afgevoerd, vaak met een cyclisch verloop door opname- en afbraakprocessen. Dit worden stoffenspiralen genoemd die aan de basis van het ecosysteem-functioneren staan.
4. Vorming van **structuren**; aanvoer van sediment, van fijn materiaal (slib) tot macrostructuren in de vorm van stammen en takken. In wisselwerking met stroming leidt afzetting tot heterogeniteit in het ontvangende systeem, bijvoorbeeld van de substraatsamenstelling van de bodem. In de monding van rivieren en beken in meren sorteert het aangevoerde sediment uit onder invloed van de stroomsnelheid; grotere, zwaardere korrels sedimenteren (grind, zand) dicht bij de monding, terwijl kleinere deeltjes (slib) verder meegevoerd worden. Bij veel wateraanvoer, door golfwerking, scheepvaart en bioturbatie, kan het materiaal weer opnieuw in transport worden gebracht.
5. Uitwisseling en versterking van populaties van **soorten**. Verplaatsingen kunnen plaatsvinden naar het ontvangende systeem via actieve of passieve drift. Hierbij laten organismen zich met het water naar stroomafwaarts meevoeren en komen zo in het ontvangende systeem terecht. Een andere vorm, die bijvoorbeeld voorkomt bij vissen, zijn periodiek herhaalde verplaatsingen, oftewel migratiebewegingen tussen het achterland en de grote wateren om bijvoorbeeld te overwinteren.

Aanvoerwater

Ontvangend water



Figuur 2.1 Koppeling tussen het regionale watersysteem en de grote wateren met een aantal belangrijke processen, gerangschikt volgens het 5S-model van Verdonschot (2020).

2.2 Type verbindingen met het achterland

Grote wateren zijn onlosmakelijk verbonden met de kleinere watersystemen en het achterland dat ze afwateren. In grote systemen, zoals de benedenloop van een rivier of een meer, is de invloed het grootst in de overgangszone tussen het aanvoerende en het ontvangende systeem. Dit is de zone waar de 'pluim' van water en meegevoerd materiaal afkomstig uit het aanvoerende systeem zich uitstrekt in het ontvangende water, totdat deze door menging en verdunning niet meer te onderscheiden is (Figuur 2.2). Vaak zijn deze overgangszones belangrijke biologische en biochemische hotspots waar de biodiversiteit relatief hoog is en veel ecosysteemprocessen zich afspelen (Larson et al., 2013).



Figuur 2.2 Overgangszone tussen het aanvoerende systeem en het ontvangende systeem; afgebeeld is de uitmonding van het Oorgat in het Markermeer.

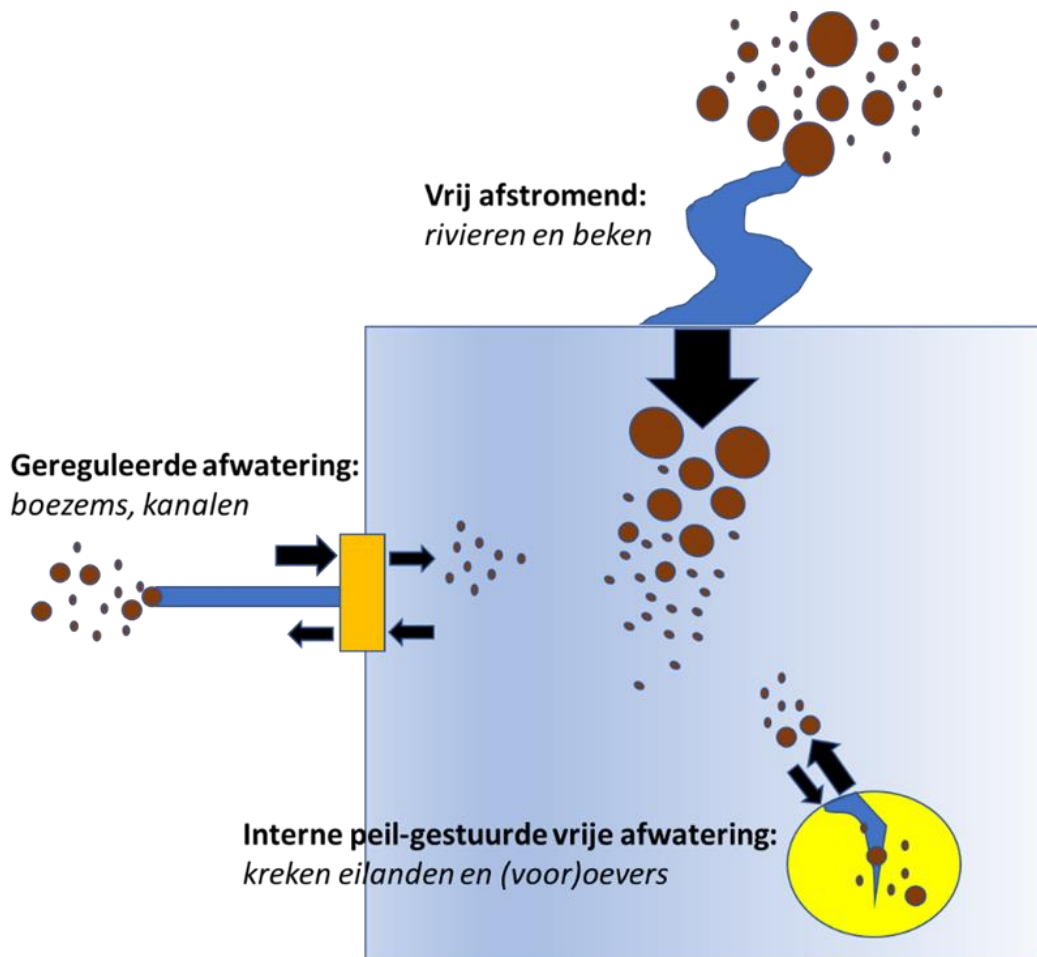
2.2.1 Ruimtelijke aspecten

Hoe groot de overgangszone tussen het achterland en de grote wateren is, hangt af van het type verbinding. In de Nederlandse systemen bestaan verbindingen voornamelijk uit drie varianten (Figuur 2.3):

1. **Vrij afstromende systemen;** transport vanuit het afwaterende achterland (afwateringsgebied) via vrij afstromende rivieren en beken is continu mogelijk. Het aantal vrij afstromende wateren is relatief beperkt. In het IJsselmeergebied gaat het bijvoorbeeld om de IJssel en kleinere rivieren als de Vecht, Eem en het Zwarte Water/Overijsselse Vecht en beken die in de Veluwerandmeren afwateren. Stoffen, materiaal en soorten kunnen ongehinderd verplaatst worden. Overigens geldt dit voor het benedenstroomse deel van het afwateringsgebied; verder bovenstrooms zijn in de rivieren wel kunstwerken te vinden die interfereren met het transport van materiaal. Volledig vrije afstroming van het complete stroomgebied is beperkt tot de beken, bijvoorbeeld de Hierdense beek, waarvan het stroomgebied ononderbroken in het Veluwemeer kan afwateren.
2. **Gereguleerde afwatering vanuit het achterland,** waarbij de vrije verbinding met het achterland is afgesloten door een kunstwerk. Uitlaten/spuien van water is gereguleerd via gemalen vanuit polderboezems, kanalen e.d. op het waterlichaam. Het kunstwerk vormt een fysieke barrière, waardoor alleen opgeloste stoffen en gesuspendeerd materiaal vrij getransporteerd kunnen worden tijdens het uitlaten van water. Grover materiaal (bijv. zand, hout) wordt tegengehouden en bereikt het ontvangende water niet. Daarnaast heeft de aanvoer vanuit het achterland een temporeel en gepiekt karakter: alleen bij een wateroverschot in het achterland wordt water uitgelaten, gewoonlijk in het winterhalfjaar, en na hevige regenval in het zomerhalfjaar. De volumes kunnen daarmee van jaar tot jaar verschillen. Vaak wordt er tijdens droge perioden ook water ingelaten om tekorten aan te vullen of om verzilting tegen te gaan. Met deze omgekeerde waterstroom worden stoffen en materiaal juist verder het achterland in getransporteerd. Soorten kunnen zich alleen vrij verplaatsen wanneer daar voorzieningen voor zijn

getroffen, zoals vispassages. Processen zoals drift zijn verstoord door de kunstmatige route die het water moet afleggen.

3. **Interne, peilgestuurde vrije afwatering**; in het IJsselmeergebied zijn projecten gerealiseerd, zoals vooroevers en eilanden waarin naar natuurlijk voorbeeld krekensystemen zijn aangelegd of wegverlengingen van de route die het water moet afleggen waardoor de uitwisseling tussen water en land gefaciliteerd wordt. Voorbeelden zijn de eilanden van de Markerwadden en het Trintelzand. Door peilwisseling, zowel door peilbeheer als natuurlijk door windopzet, treedt in deze systemen stroming op, waardoor stoffen, materiaal en soorten vanuit het hart van het systeem naar het omliggende water getransporteerd kan worden en omgekeerd. Wanneer er voldoende vegetatieontwikkeling plaatsvindt (moerasvorming), kan dit een belangrijke bron van organisch materiaal en stoffen vormen.



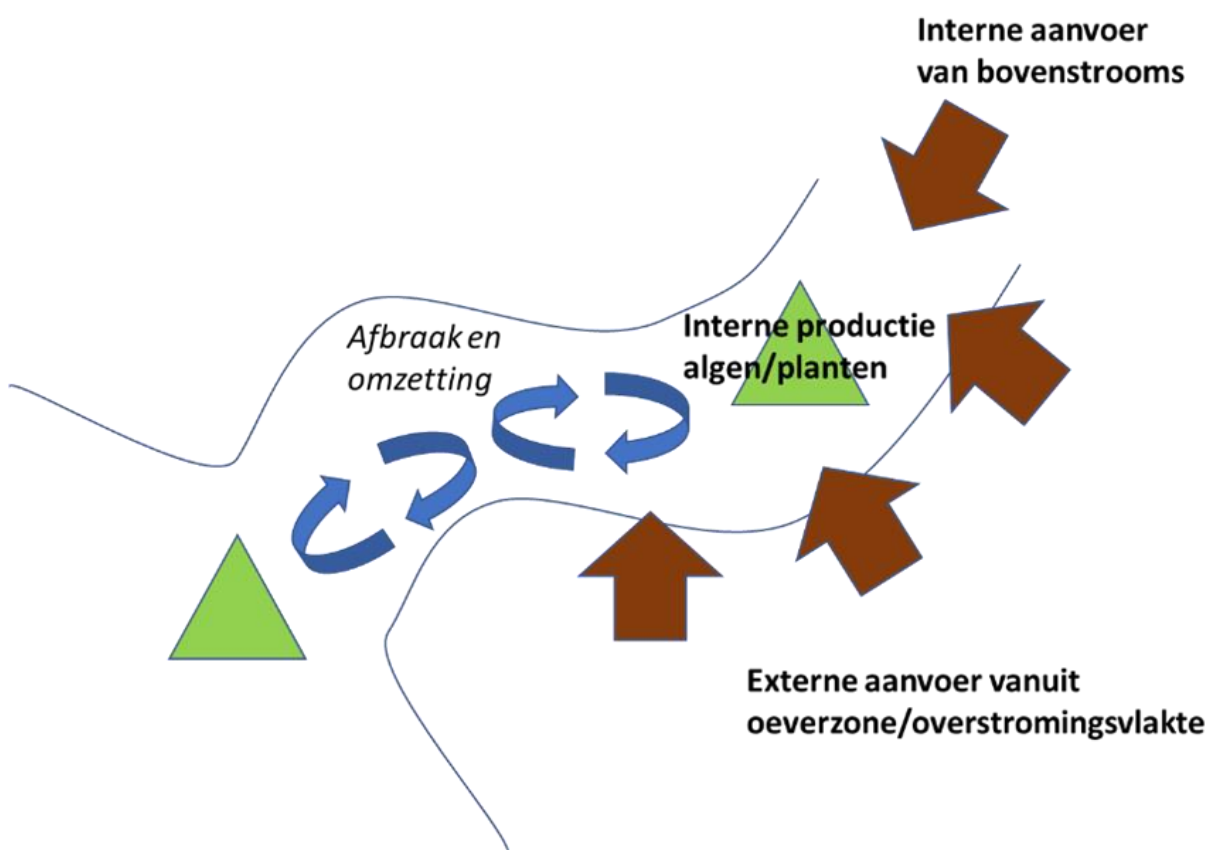
Figuur 2.3 Drie belangrijkste afwateringsroutes vanaf het land naar de grote wateren.

De getransporteerde materialen en stoffen veranderen zowel tijdens het transport als op het moment dat ze in het ontvangende water terechtkomen. Dit proces kan puur fysisch zijn, zoals erosie en fragmentatie onder invloed van stroming en het in aanraking komen met ander materiaal. Dit geldt bijvoorbeeld voor mineraal materiaal dat erodeert of het uit elkaar vallen van bladeren. Ook treden chemische reacties op waardoor stoffen worden omgezet. Een groot deel van de veranderingen heeft echter een biologische component, te denken valt aan de microbiële afbraak of consumptie van organisch materiaal door macrofauna, opname van stoffen uit het water door algen en planten. Deze omzettingen zorgen ervoor dat het materiaal transformeert tijdens de weg die het aflegt door het systeem. De omzetting van nutriënten tijdens het transport naar benedenstrooms wordt ook wel beschreven als 'nutrient spiraling concept' (Newbold et al., 1981). Dit concept beschrijft het cyclische proces waarbij nutriënten die in de waterstroom worden meegevoerd en worden opgenomen, bijvoorbeeld door algen, zo tijdelijk worden vastgehouden en wanneer de algen sterven en mineraliseren, de stoffen weer vrijkomen en verder naar benedenstrooms worden meegevoerd.

De biologische afbraak van materiaal tijdens transport van een beekbovenloop naar de benedenloop van een rivier in relatie met de organismen die een rol spelen in dit proces is enkele decaden geleden beschreven in het *'river continuum concept'* (RCC; Vannote et al., 1980). Het RCC beschrijft de veranderingen in de energiebronnen en de gemeenschap van consumenten die hiervan gebruikmaken in stroomafwaartse richting van bron tot de riviermonding. Hierbij is de veronderstelling dat in de bovenloop de energiebasis van het systeem bestaat uit terrestrisch organisch materiaal uit het beekbegeleidend bos dat in de beek terecht is gekomen en dat de afbraak hiervan door microben en macrofauna plaatsvindt. Het omgezette organisch materiaal wordt als fijne deeltjes of in opgeloste vorm verder naar benedenstrooms getransporteerd richting de middenloop om daar weer opgenomen te worden door producenten (algen, planten), die vervolgens weer geconsumeerd worden. Ten slotte wordt het materiaal (in veelal opgeloste vorm) nog verder stroomafwaarts getransporteerd om daar in het grote water benedenstrooms weer te worden opgenomen, met name door fytoplankton en bacteriën.

In het RCC werd uitgegaan van een sterke aanvoer van organisch materiaal vanuit de bovenstroomse delen. In het later ontwikkelde *'flood pulse concept'* (Junk et al., 1989) werd een tweede belangrijke route benoemd, de uitwisseling met de aanliggende terrestrische systemen middels periodieke overstroming verder benedenstrooms in het systeem. Het gaat hierbij om de uitwisseling van materiaal met de aanliggende (semi)terrestrische systemen, bijvoorbeeld de moerassystemen en overstromingsvlakten in rivierdalen, die ervoor zorgt dat materiaal en stoffen van het terrestrische milieu (overstromingsvlakte) naar de rivier worden getransporteerd worden, al dan niet in omgezette vorm.

Worden deze concepten samengenomen, dan betekent dit dat een groot deel van het materiaal dat gebruikt wordt door organismen in grote wateren afkomstig is van een combinatie van lokale interne productie (fytoplankton, benthische algen, waterplanten) en externe (terrestrische) input vanuit de oeverzones en overstromingsvlaktes van plantendelen, grof en fijn organisch materiaal en opgelost organisch materiaal (Figuur 2.4). Dit materiaal ondergaat tijdens het transport naar benedenstrooms continu transformaties door de omzetting, opname en afgifte die plaatsvinden door onder andere consumptie en afbraak.

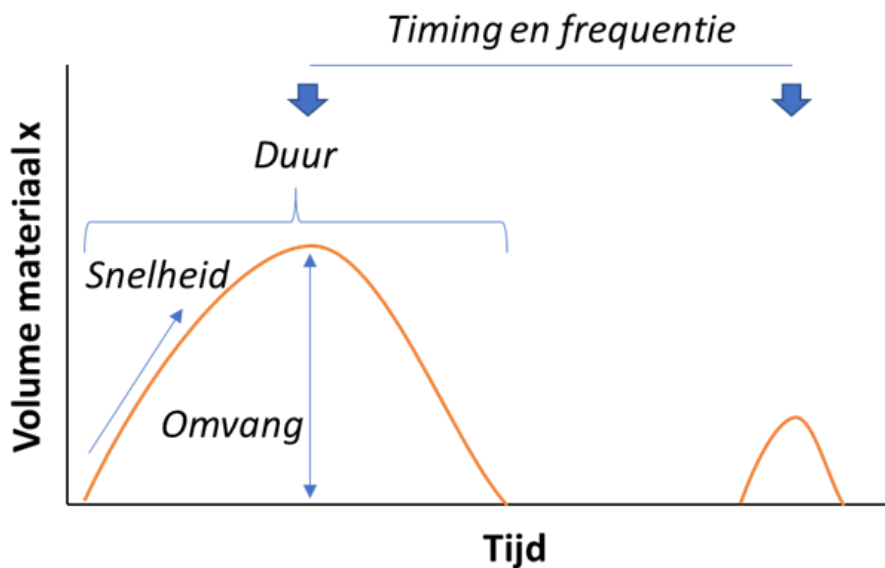


Figuur 2.4 Transportroute van organisch materiaal in benedenstroomse richting, waarbij interne bovenstroomse aanvoer, externe (terrestrische) aanvoer en interne productie worden onderscheiden, waarbij telkens transformatie van het materiaal plaatsvindt door bijvoorbeeld afbraakprocessen en andere omzettingen.

Het hierboven beschreven patroon met transport van materiaal naar benedenstrooms en seriële omzettingen vraagt vrije verbindingen binnen het water (van bron tot monding) en gaat daarmee alleen op voor vrij afwaterende systemen. Het transport en de omzettingen in systemen met een gereguleerde afwatering vanuit het achterland is onderbroken, waardoor cycli anders verlopen dan bij een vrije afwatering het geval zou zijn. Deze onderbrekingen worden voor rivieren beschreven in het 'serial discontinuity concept' (Ward & Stanford, 1983) en kunnen voor veranderingen in het verloop van ecosysteemprocessen zorgen. Ook voor de meeste vrij afstromende systemen in de Nederlandse situatie ontbreekt het aan open verbindingen met het terrestrische systeem als gevolg van bijvoorbeeld bedijking, waardoor uitwisseling met de overstromingsvlakten in de uiterwaarden gehinderd wordt. Hierdoor is onder andere de externe aanvoer van organisch materiaal naar de rivier veel lager dan in een natuurlijke situatie het geval zou zijn, maar het heeft ook allerlei andere ecologische consequenties voor kenmerkende soorten en voedselwebben van het rivierengebied (Kurstjens et al., 2020).

2.2.2 Temporele aspecten

In alle gevallen heeft de aanvoer van materiaal een duidelijk gepiekt karakter. Ook al is er sprake van vrije afvoer in een rivier, er wordt niet continu evenveel en hetzelfde materiaal aangevoerd. Dit verloopt juist sterk pulsgewijs. Het grote belang van deze pulsen voor het ecosysteem-functioneren is reeds lang bekend uit onderzoek naar het functioneren van de koppeling tussen de afvoer van rivieren en de interactie met hun overstromingsvlakten tijdens perioden van overstroming (Junk et al., 1989; Tockner et al., 2000). Essentieel om te begrijpen wat de effecten op het ecosysteem-functioneren zijn van deze wisselingen in aanvoer is de tijdscomponent: factoren als timing, duur, snelheid, frequentie en voorspelbaarheid (Figuur 2.5).



Figuur 2.5 Temporele aspecten aanvoer materiaal naar grote wateren vanuit achterland die relevant zijn voor het ecologisch functioneren.

In Nederland is het aanvoerpatroon van stoffen en materiaal deels voorspelbaar en volgt het ritme van de seizoenen; aan het einde van het groeiseizoen neemt bijvoorbeeld het aandeel getransporteerd plantenmateriaal toe omdat de vegetatie afsterft en bladverliezende bomen hun bladeren kwijtraken. Daarnaast is de afvoer in het winterhalfjaar hoger als gevolg van het overschot aan neerslag waardoor er meer materiaal meegevoerd kan worden. Echter, een belangrijke rol is weggelegd voor minder voorspelbare gebeurtenissen, zoals perioden met hevige neerslag met piekafvoeren tot gevolg, waardoor de oppervlakkige afspoeling in het achterland toeneemt en overstromingen optreden en grote hoeveelheden materiaal in transport worden gebracht. Voor de toevoer van grof materiaal en hout zijn bijvoorbeeld stormen een belangrijke factor.

2.3 Aanvoer vanuit het achterland als motor van het voedselweb in de grote wateren

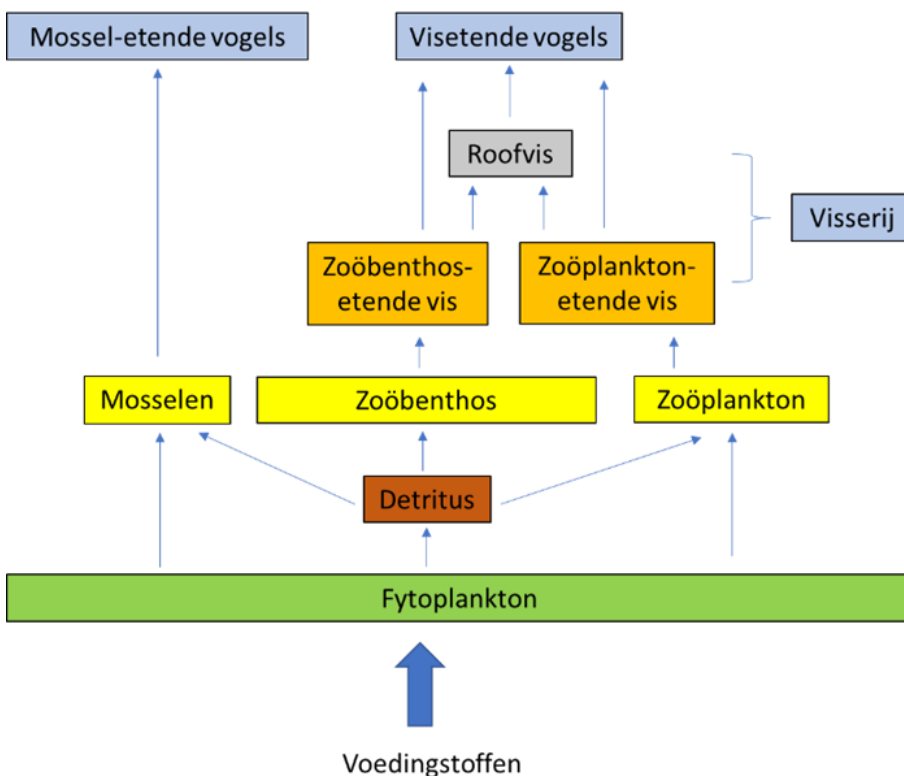
Kennis van de structuur en het functioneren van voedselwebben is van groot belang om te begrijpen hoe een ecosysteem werkt en welke aangrijpingspunten er zijn voor het (herstel)beheer. Door het voedselweb in kaart te brengen, wordt een beter inzicht verkregen over hoe de energie-/stofstromen binnen een systeem lopen en welke predator-prooi-relaties er tussen organismen zijn. Het brengt daarmee de samenstelling van de levensgemeenschap en het ecosysteem-functioneren bij elkaar en maakt de consequenties inzichtelijk van verstoringen of veranderingen in het systeem (Thompson et al., 2012).

2.3.1 Voedselweb in de grote wateren en veranderingen hierin in de tijd

Wanneer er veranderingen optreden in het aanvoerende systeem kan er een cascade aan veranderingen optreden in het ontvangende systeem. Deze effecten starten aan de basis, via veranderingen in de aanvoer van stoffen en materiaal. Een voorbeeld van deze relatie kan worden gevonden in het IJsselmeergebied, waar in de tweede helft van de vorige eeuw de uit het achterland aangevoerde hoge stikstof- (N-) en fosfaat(P-)vrachten zorgen voor een grote productie van fytoplankton (levend of afgestorven als detritus), die de basis vormde van het voedselweb (Lammens & Hoesper, 1998; Lammens 2001; Figuur 2.6).

De drie geïdentificeerde primaire voedselketens in het IJsselmeer waren:

- Fytoplankton – mosselen – mossel-etende vogels.
- Fytoplankton – zoöplankton – zoöplankton-etende vis – roofvis – visetende vogels (+ visserij).
- Fytoplankton – detritus – zoöbenthos – zoöbenthos-etende vis – roofvis – visetende vogels (+ visserij).



Figuur 2.6 Voedselweb IJsselmeergebied naar Lammens (2001).

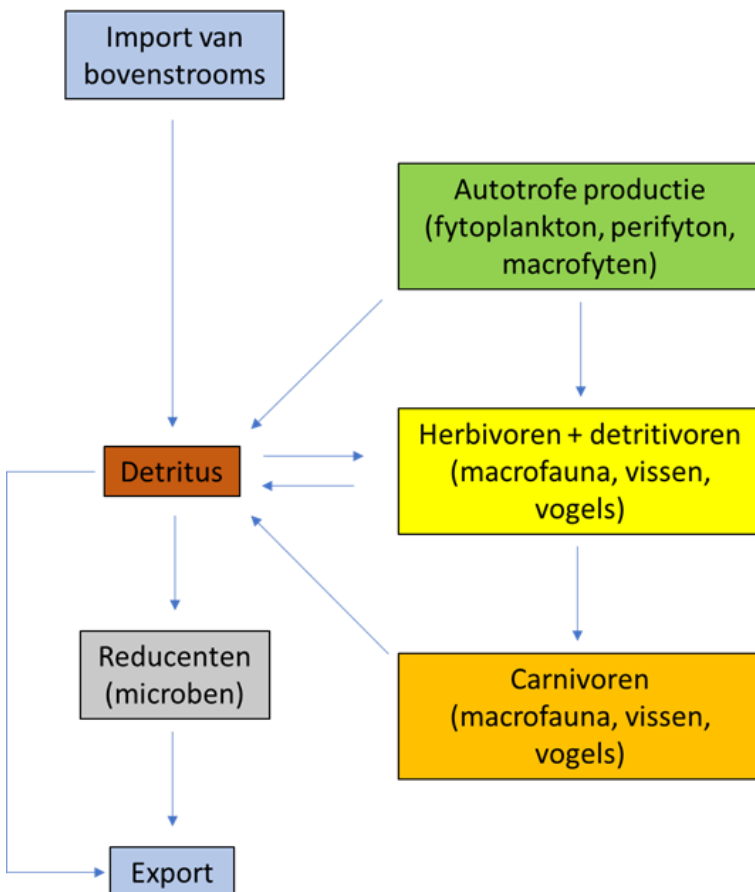
Waterkwaliteitsverbeteringen zorgden ervoor dat in de jaren nul de gehaltenes fosfor (P) en stikstof (N) in het aanvoerwater dusdanig waren gedaald dat dit ervoor zorgde dat de groei van fytoplankton beperkt werd (Noordhuis, 2014). Ook werd recentelijk een afname van met name oudere jaarklassen van vis in het IJsselmeergebied vastgesteld. De Leeuw & Van Donk (2020) hebben een hypothese geformuleerd dat deze

vermindering van het fytoplankton doorwerkt in de voedselketen via kleinere hoeveelheden zoöplankton en zoöbenthos, met weer als gevolg voedselgebrek bij zowel planktivore vis als bij benthivore vis. Met de afname van antropogene eutrofiëring en organische belasting lijkt het systeem dus afhankelijker geworden van de 'natuurlijke' aanvoer van stoffen uit een litorale (= oever) zone of vanuit het achterland.

Dit beeld past op de trend in het onderzoek naar het functioneren van meren, waarbij het steeds duidelijker wordt dat zowel het litorale als het pelagische (= in het water) voedselweb van meer-ecosystemen afhankelijk zijn van de input van stoffen/materiaal van buiten het meer, aangevoerd vanuit de oeverzone en het achterland (Solomon et al., 2011). Juist deze habitatelementen zijn echter grotendeels verdwenen door bedijking van de meer-oevers en rivieruiterwaarden, waardoor moerassen en overstromingsvlaktes zijn verdwenen of sterk geïsoleerd geraakt van het hoofdwatersysteem. Dit probleem was natuurlijk eerder ook al aanwezig, maar werd waarschijnlijk gemaskeerd door de hypertrofie in het verleden (De Leeuw & Van Donk, 2020).

2.3.2 De rol van externe aanvoer van materiaal voor het functioneren van de grote wateren

Het voedselweb van het aangevoerde water uit de Rijn, waarvan de IJssel een vertakking is met daarbinnen een transport- en spiraalcomponent (zie ook paragraaf 2.2), laat duidelijk de externe aanvoer als basis van het voedselweb zien, dat naast de interne productie bestaat (Figuur 2.7) (Marchand, 1997). Recenter onderzoek met stabiele isotopen van Riel et al. (2006) voor de periode 2001-2003 laat zien dat de basis van het voedselweb van de Rijn bestaat uit terrestrisch plantmateriaal, fytoplankton, benthische algen en organisch materiaal, waarbij terrestrische planten en fytoplankton de belangrijkste bron lijken te vormen.



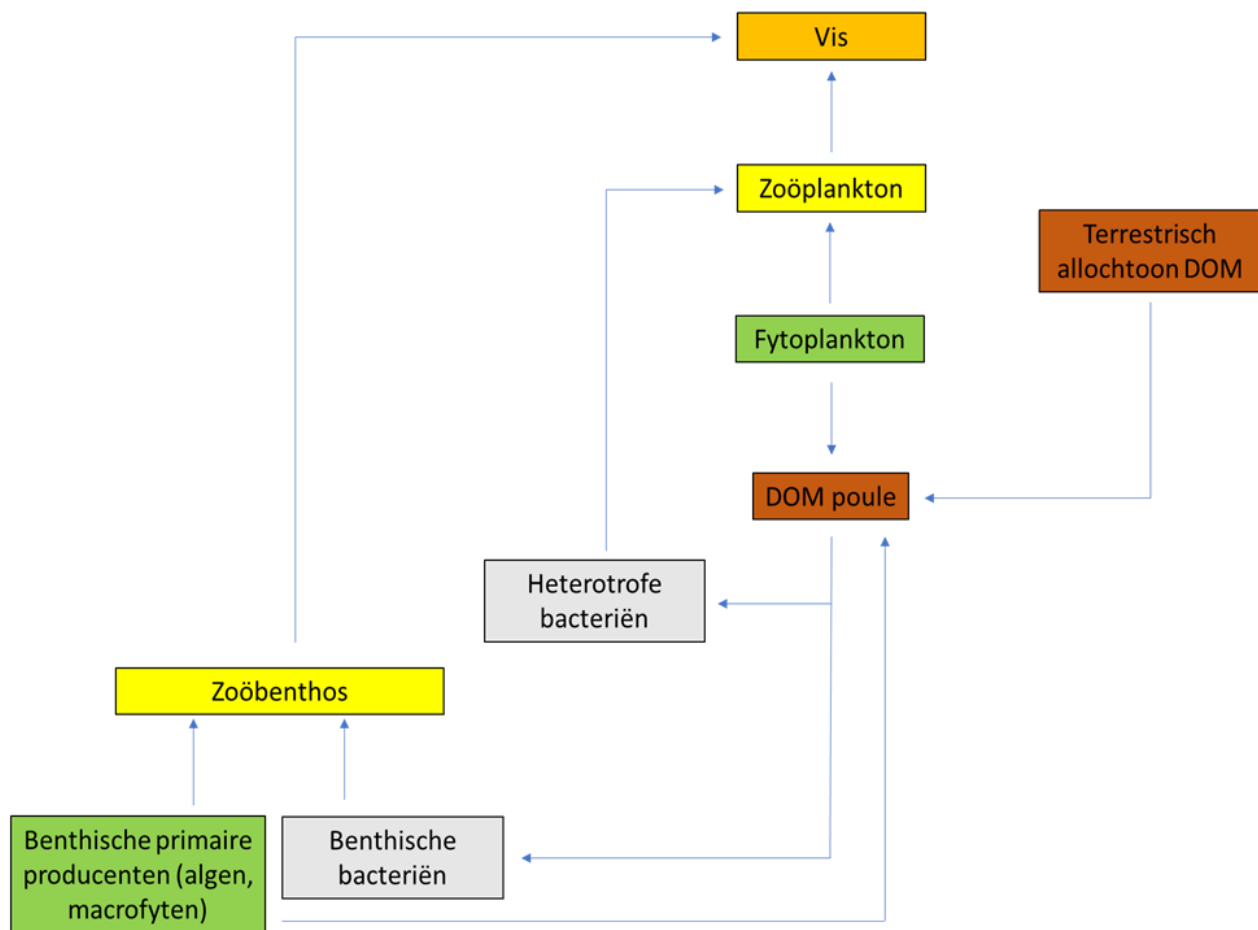
Figuur 2.7 Voedselweb van de Rijn zoals opgesteld door Marchand (1997).

Naast de voedingsstoffen (N, P) is dus ook de aanvoer van organisch materiaal van belang. Het functioneren van aquatische systemen wordt zelfs voor een belangrijk deel gestuurd door de organische materiaalcyclus (Wetzel, 2001). Het grootste gedeelte van het organisch materiaal in aquatische systemen is niet-levend en komt zowel voor als partikels (POM), oftewel deeltjes/fragmenten, als in opgeloste vorm (DOM). Vaak is de hoeveelheid opgelost materiaal vele malen hoger dan de hoeveelheid materiaal in partikel-vorm.

In meren wordt gewoonlijk een aanzienlijk deel van het POM intern (ook wel autochtoon genoemd) geproduceerd, bijvoorbeeld door algen en waterplanten, zeker onder voedselrijke omstandigheden. De fractie externe (ook wel allochtoon genoemd) POM bestaat vooral uit fijne tot grovere fragmenten die in suspensie worden getransporteerd met waterstromen, terwijl slechts een minimaal deel bestaat uit complete bladeren of andere plantenresten. De extreemste vorm is het transport van hout, wat gewoonlijk vooral plaatsvindt bij piekafvoeren en dan met name in de rivieren.

Transport van grof materiaal treedt alleen op in situaties waar vrije afwatering mogelijk is; wanneer kunstwerken aanwezig zijn in de vorm van stuwen en sluizen wordt het grove materiaal tegengehouden en kan alleen fijn materiaal passeren. Hetzelfde geldt voor passief afwaterende systemen, zoals bij het spuien van boezemwater uit polders. Verder treedt ook aanvoer van levende planten(delen) en dieren op met de stroming. Voor planten is dit dispersie van zaden, propagulen en fragmenten, voor dieren is dit passieve drift naar benedenstreams of actieve migratie (bijv. vis). Deze laatste vorm kan zowel van rivier/boezem naar meer als andersom optreden en kan worden gefaciliteerd door vismigratievoorzieningen. Als deze dieren worden geconsumeerd of sterven, komen ze uiteindelijk ook in de organisch-materiaalkringloop terecht.

Voor meren met een verbinding met het achterland geldt echter dat het DOM de hoofdmoot vormt van het aangevoerde allochtone organisch materiaal, wat dus in opgeloste vorm met het water wordt meegevoerd (Wetzel, 2001). Gewoonlijk wordt deze vorm van organisch materiaal uitgedrukt in de hoeveelheid opgelost organisch koolstof (DOC). Het aangevoerde materiaal verzamelt zich in het meer en kan daar direct worden omgezet door bacteriën (zowel pelagisch en bentisch na sedimentatie) of indirect wanneer het aggregeert met andere materialen (waardoor het bij uitvlokking weer POM wordt). Vervolgens werkt deze omzetting door op de hogere schakels in de voedselketen (Figuur 2.8).



Figuur 2.8 Voedselweb van een meer waarin de omzetting van organisch materiaal via de pelagische en benthische zone is weergegeven (naar Creed et al. (2018)). De poule van organisch materiaal (DOM) van het meer wordt zowel gevoed door allochtoon terrestrisch organisch materiaal afkomstig uit het achterland en 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.

Er geldt dat des te voedselartermer het meer is, des te belangrijker de allochtone input van organisch materiaal wordt voor de productiviteit en de andere schakels in het voedselweb van een meer (Jansson et al., 2000; Pace et al., 2007; Wilkinson et al., 2013). Met negatieve veranderingen in het voedselweb van het IJsselmeergebied zoals voedselgebrek voor vis en vogels, afnemende productie, biodiversiteitsverlies en dominantie van uitheemse soorten (Noordhuis, 2010; De Leeuw et al., 2020) in het achterhoofd, zou het mogelijk kunnen zijn dat de afname van de eutrofiëring tot gevolg heeft dat de afhankelijkheid van allochtone aanvoer van organisch materiaal als basis voor de productiviteit is toegenomen. Er zijn echter geen gegevens over de organisch materiaalstromen in de grote wateren voorhanden om deze hypothese te testen. Met het onderzoek in het volgende hoofdstuk wordt daarom geprobeerd hier meer inzicht in te krijgen.

3 Verbindingen met het achterland in de praktijk: casus stofstromen IJssel-Vechtdelta

3.1 Doel en opzet veldstudie

In het vorige hoofdstuk is beschreven dat de rol van externe aanvoer van stoffen voor het functioneren van het ontvangende water van groot belang kan zijn. Voor het IJsselmeergebied zijn er nog veel onduidelijkheden over in welke mate de koppeling met het achterland bijdraagt aan de aanvoer van stoffen (Van Riel et al., 2020). Om de stofstromen beter te kwantificeren, is in het najaar van 2021 een veldstudie uitgevoerd in de IJssel-Vechtdelta om beter in beeld brengen hoe achterland en meer via organische stofstromen met elkaar verbonden zijn.

In de veldstudie is aandacht besteed aan de ruimtelijke patronen in organische koolstofstromen en nutriënten in de verschillende grote en kleinere wateren die het IJsselmeer voeden. In meer detail is gekeken naar potentiële hotspots van organisch materiaal die in directe verbinding staan met het IJsselmeer: de buitendijkse rietlanden in de IJsselmonding en de nevengeulen in de uiterwaarden van de IJssel en Overijsselse Vecht. Ook is onderzocht wat voor invloed de aanwezigheid van gemalen zou kunnen hebben op het transport van organisch materiaal vanuit het achterland naar het meer.

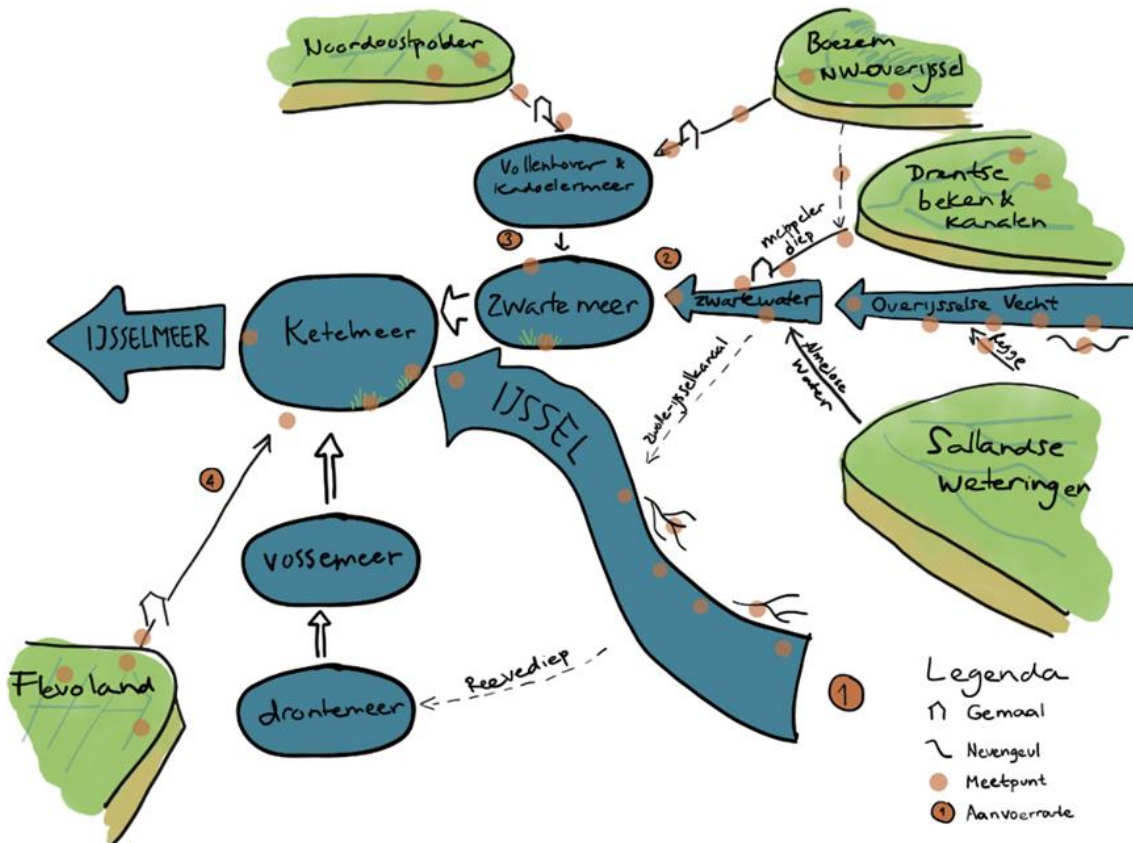
3.2 Systeembeschrijving

De IJssel-Vechtdelta vormt de overgang naar het IJsselmeer en is in zijn huidige vorm ontstaan na de aanleg van de Noordoostpolder en Flevoland. Het water komt er vanuit de rivieren, beken, boezems en kanalen uit het achterland in een aantal opeenvolgende meren terecht om vervolgens naar het IJsselmeer te stromen. De verblijftijd varieert van tien dagen tot één maand in het Zwarte meer en drie dagen in het Ketelmeer (Noordhuis, 2010). De volgende afwateringsroutes kunnen worden onderscheiden (Figuur 3.1):

1. De **IJssel** watert het stroomgebied van de Rijn af en vormt daarmee, met een gemiddeld debiet van 432 m³/s in de winter en gemiddeld 355 m³/s in de zomer, het grootste aandeel in de wateraanvoer van het IJsselmeer (70%) (Tabel 3.1). Bij hoge afvoeren is er een tweede route waarlangs het water geleid kan worden, via de hoogwatergeul Reevediep, waarna het water loopt via het Drontermeer, Vossemeer en uiteindelijk het Ketelmeer. Tussen de IJssel en het Zwarte Meer ligt een verbinding, het Ganzendiep, die is afgesloten met een sluis aan de IJsselijde (Ganzensluis). Het Ganzendiep en de aangetakte watergangen (Goot, Veneriete) volgen daardoor het peil van het Zwarte Meer. Daarnaast ligt er een verbinding tussen de IJssel en het Zwarte Water, het Zwolle-IJssel-kanaal, dat door middel van de Spooldersluis beide wateren scheidt.
2. Het **Zwarte Water** mondt uit in het Zwarte Meer en is een samenvloeiing van drie systemen: de Drentse kanalen en beken, de Overijsselse Vecht en de Sallandse weteringen. Het Meppelerdiep watert achterliggende **Drentse beken en kanalen** (2a) af, o.a. de Drentsche Hoofdvaart, de Hoogeveense vaart, de Oude Vaart, de Wold Aa en de Reest. Normaal gesproken is deze vrij afwaterend, maar er is wel een keersluis aanwezig en een gemaal (Zedemuden) voor hoogwatersituaties. Het stroomgebied van het riviertje de **Overijsselse Vecht** (2b) bevat veel stuwen, maar kan mogelijk gedeeltelijk vrij afwateren via de bij alle stuwen aangelegde vispassages. Het riviertje komt uit op het Zwarte Water. Het Almelse kanaal watert het stelsel van **Sallandse weteringen** (2c) af, o.a. de Soestwetering, Nieuwe wetering en het Overijssels kanaal.
3. Het **Vollenhovermeer – Kadoelermeer** mondt uit in het Zwarte meer en ontvangt water vanuit de **Noordoostpolder** (via Zwolse vaart) en de **Boezem van Noordwest-Overijssel** (via Ettenlandsch kanaal). Deze afwatering loopt via de gemalen Smeenge en Stroink en is dus niet vrij afstromend. Het gemaal Smeenge wordt weinig gebruikt in verband met de relatief hoge chlorideconcentratie in het water van de Noordoostpolder t.o.v. Vollehovermeer en Kadoelermeer. Bij de overgang van het Kadoelermeer

naar het Zwarte Meer is een keersluis aanwezig, deze wordt enkel gesloten wanneer een hoge waterstand in het Zwarte Meer het noodzakelijk maakt het gebied rond Vollenhove te beschermen tegen overstromingen.

- Ten slotte ontvangt het Ketelmeer water vanuit **Flevoland**. Deze route loopt via de Lage en Hoge Vaart door het Gemaal Colijn, dus er is geen vrije afstroming mogelijk. Ook is er een indirecte kwelstroom vanuit Flevoland.



Figuur 3.1 Schematische weergave IJssel-Vechtdelta met de belangrijkste verbindingen tussen de regionale watersystemen in het achterland en het IJsselmeergebied, met aanvoerroutes van stoffen via de: 1. IJssel (hoofdroute); 2. Overijsselse Vecht / Drenthe - Zwarte water; 3. Noordoostpolder / Boezem Noordwest Overijssel - Vollenhove/Kadoelermeer; 4. Flevoland.

Tabel 3.1 Kengetallen van de afvoer vanuit het achterland voor de belangrijkste achterland-IJsselmeer verbindingen in de IJssel-Vechtdelta.

Compartment watersysteem		Gemiddelde jaarafvoer watergangen achterland per bron (m ³ /s)						
		Projectgroep Ketelmeer 1989 / Toet & Blom 1992	Stevens & Thomasson 2014	Immerzeel et al. 2006	Arcadis, 2004/ Cusell et al. 2013	Noordhuis 2010	Reeze et al. 2017	
IJssel		382.9/ca. 300	379.3	-	-	432 winter, 355 zomer	330	
Zwarte Meer	Zwarte water	Drentse beken en kanalen (Meppelerdiep)	43.6	48.1	-	-	83-100 winter 43- 45 zomer	-
		Overijsselse Vecht			-	-		-
		Sallandse wateringen			-	-		-
	Vollenhovermeer & Kadoelmeer	Noordoostpolder (gemaal Smeenge)	-	4.1	0.6	-	-	-
		Boezem Noordwest- Overijssel (gemaal Stroink)	-		-	3.4/3.3	-	-
Flevoland (gemaal Colijn)		3.1	7.5	-	-	-	-	

3.3 Methode

3.3.1 Meetpuntselectie

Om een beeld te krijgen van de stofstromen in de IJssel-Vechtdelta en het achterland zijn veertig meetlocaties gekozen (Figuur 3.2, Tabel 3.2, Bijlage 1). Hiervoor zijn eerst de hoofdroutes, knooppunten en samenvloeiingen van de waterstromen in kaart gebracht, waarna meetpunten op potentieel relevante locaties zijn geselecteerd.

Daarnaast zijn er locaties meegenomen die een belangrijke rol kunnen spelen in de toevoer van organisch materiaal of die juist als onderbreking kunnen fungeren. Het gaat hierbij om de volgende situaties:

- Buitendijkse rietlanden aan de oevers van het Ketelmeer en Zwarte Meer.
- Regionale watersysteem; de haarvaten in het achterland (sloten en vaarten).
- Nevengeulen in de uiterwaarden van de IJssel en Overijsselse Vecht.
- Gemalen, situatie boven- en benedenstrooms.

3.3.2 Monsternamen en analyse van het verzamelde materiaal

De bemonsteringen zijn uitgevoerd in november 2021. Er is gekozen voor de maand november, omdat in deze periode de aanwas van dood organisch materiaal het hoogst is in verband met het afsterven van bovengrondse plantendelen en bladval van bomen na het einde van het groeiseizoen.

De afvoeren in de meetperiode waren relatief laag, net zoals in de periode voorafgaand aan de bemonsteringen (med. L. Jans). De gehele maand lag de afvoer nabij of onder het 5%-percentiel van het langjarig gemiddelde. Daarnaast was er in juli 2021 sprake geweest van een zomerhoogwater dat veel materiaal heeft aangevoerd.

Op elk van de meetpunten is – op enkele meters van de oever verwijderd – een oppervlaktewatermonster op een diepte van circa 50 cm genomen. Hiervan is telkens in drievoud een 50 ml watermonster in Nalgene flesjes verzameld voor drie replica's. Op slechts een enkel meetpunt werd sporadisch grof tot fijn organisch materiaal (CPOM-FPOM) aangetroffen in de waterkolom. Het met het blote oog zichtbare organisch materiaal is daarom in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De watermonsters zijn vervolgens getransporteerd naar het laboratorium en gekoeld bewaard bij een temperatuur van 6°C tot de analyses uitgevoerd konden worden.

Voor ieder monster zijn de concentraties totaal organisch koolstof (TOC), totaal stikstof (TN) en totaal fosfor (TP) bepaald. De analyses zijn uitgevoerd met ongefilterd water met behulp van Hach Lange LCK cuvettesten. De TOC-concentratie is bepaald volgens de uitdrijfmethode met behulp van de LCK385 cuvettest in combinatie met de Hach Lange TOC-X5 shaker. Om binnen het meetbereik te blijven, was verdunning met een factor 2 voor een aantal TOC-bepalingen noodzakelijk. Voor TN is de cuvettest LCK138 gebruikt en voor TP LCK349. Bij alle analyses is, volgens LCK-analyse protocol, gebruikgemaakt van de Hach Lange HT 200 S hoge-temperatuur-thermostaat voor ontsluiting. Voor meetpunt 20 waren slechts twee replica's bruikbaar.

3.3.3 Dataverwerking

De gegevensverwerking is uitgevoerd in R (R core team 2020). Verschillen tussen meetpunten per watertype zijn bepaald met behulp van Tukey-testen ($p = 0.05$) met het package agricolae.

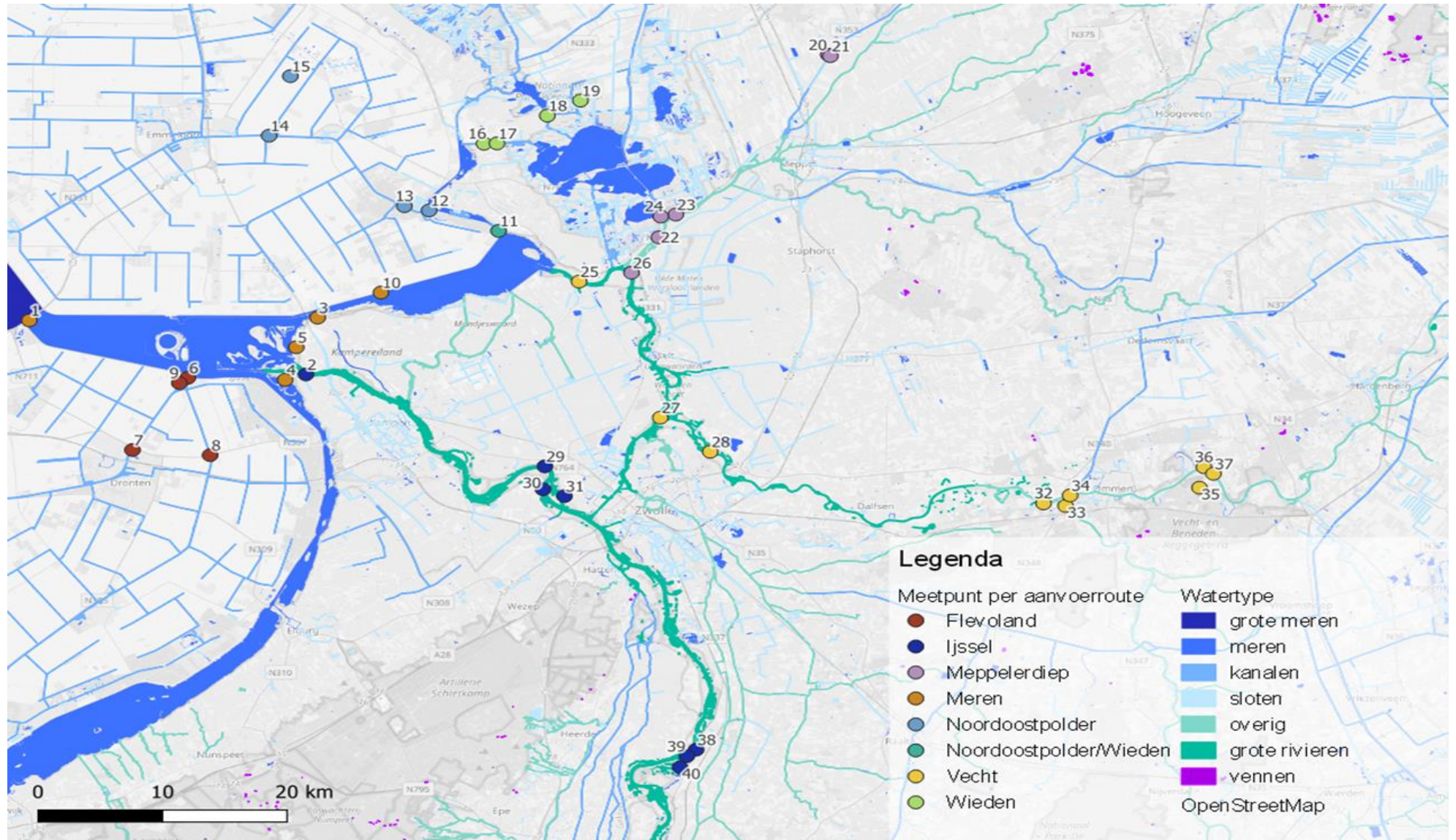
3.4 Resultaten

3.4.1 Totaal organisch koolstof

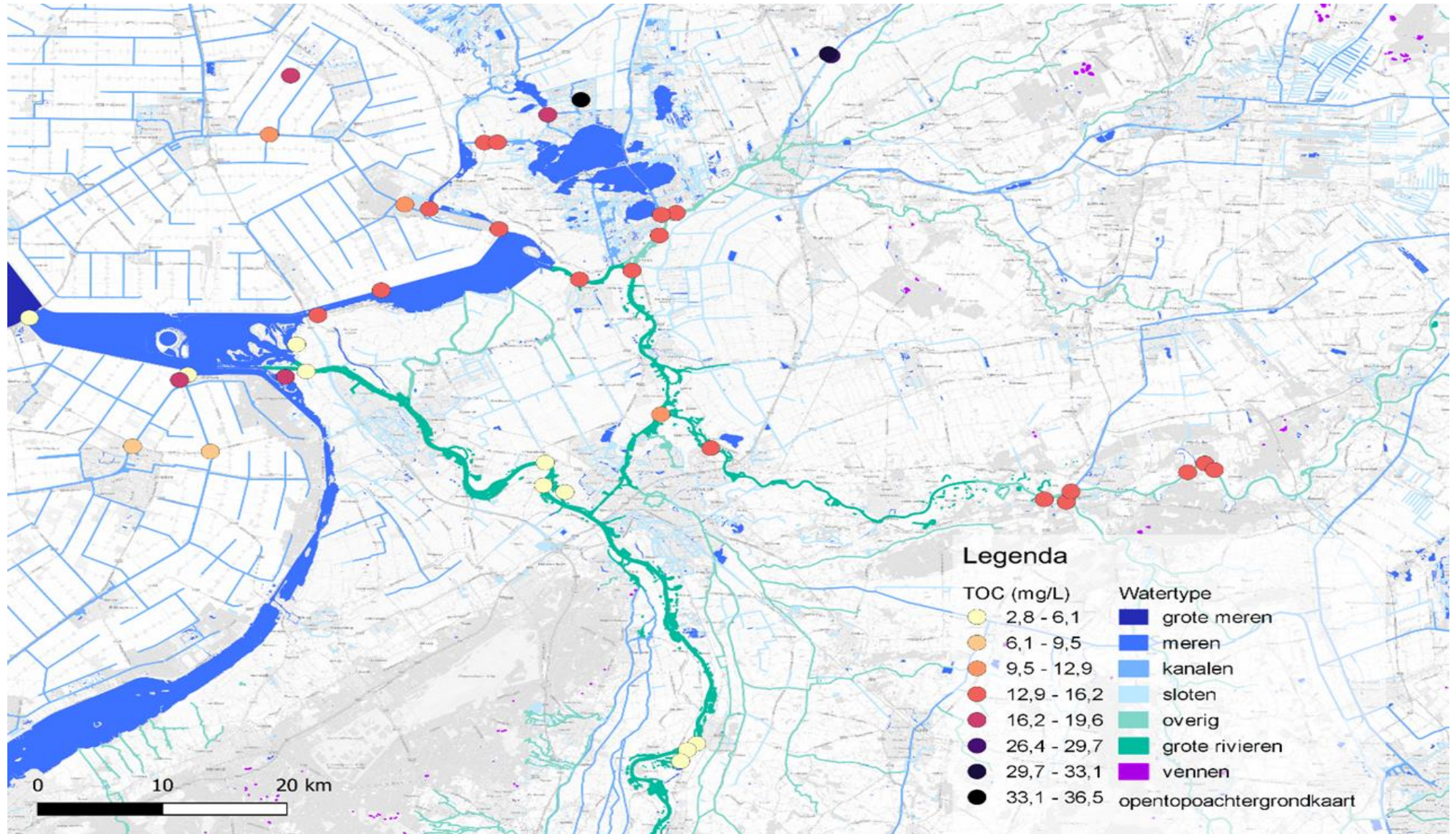
De gemeten gemiddelde totaal organisch koolstofconcentraties (TOC) lagen tussen de 2,8 en 36 mg/L (Tabel 3.2). De concentratie was het laagst op de meetpunten in de rivier de IJssel (2,8-4,7 mg/L) (Figuur 3.3; Figuur 3.4). In de Overijsselse Vecht, Noordoostpolder/Wieden (grotere wateren) en Noordoostpolder werden gemiddelde TOC-waarden gemeten (9,9-18,9 mg/L). De TOC-concentratie was het hoogst in een sloot in natuurgebied de Wieden (36,5 mg/L), gevolgd door het Meppelerdiep (28,1 mg/L) en een sloot in het afwateringsgebied hiervan (30,0 mg/L). De TOC-concentraties op de andere meetpunten in de boezem van Noordwest-Overijssel en de Drentse beken en kanalen waren gemiddeld en onderling vergelijkbaar (15,5-18,9 mg/L) (Figuur 3.3; Figuur 3.4). In Flevoland waren de concentraties ook afhankelijk van de ligging van het meetpunt (variërend van laag tot gemiddeld in de sloten).

3.4.1.1 Meren en hun oeverzones

In de meren zijn de concentraties verschillend afhankelijk van de ligging van het meetpunt (Figuur 3.3; Figuur 3.4). Het Zwarte Meer laat middelmatige concentraties zien, die vergelijkbaar zijn met de aanvoerroutes vanuit de Overijsselse Vecht en de Noordoostpolder/Wieden, terwijl het Ketelmeer duidelijk onder invloed staat van de IJssel, met relatief lage TOC-concentraties van gemiddeld 3,2 mg/L. De concentraties in de oeverzones van het Ketelmeer en Zwarte Meer lijken, ondanks de aanwezigheid van rietzones en vooroevers, die van het open water te volgen. De oeverzone van het Vossenmeer net ten zuiden van het Ketelmeer, die gevoed wordt vanuit de Veluwerandmeren, heeft een vergelijkbare concentratie als die van het Zwarte Meer en ligt duidelijk hoger dan de oeverzone ten noorden van het Keteldiep, die voornamelijk IJsselwater ontvangt.



Figuur 3.2 Overzicht van de ligging van de meetpunten in de grote wateren van de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland die zijn bemonsterd in de veldstudie. Appendix A geeft een impressie van de meetlocaties.

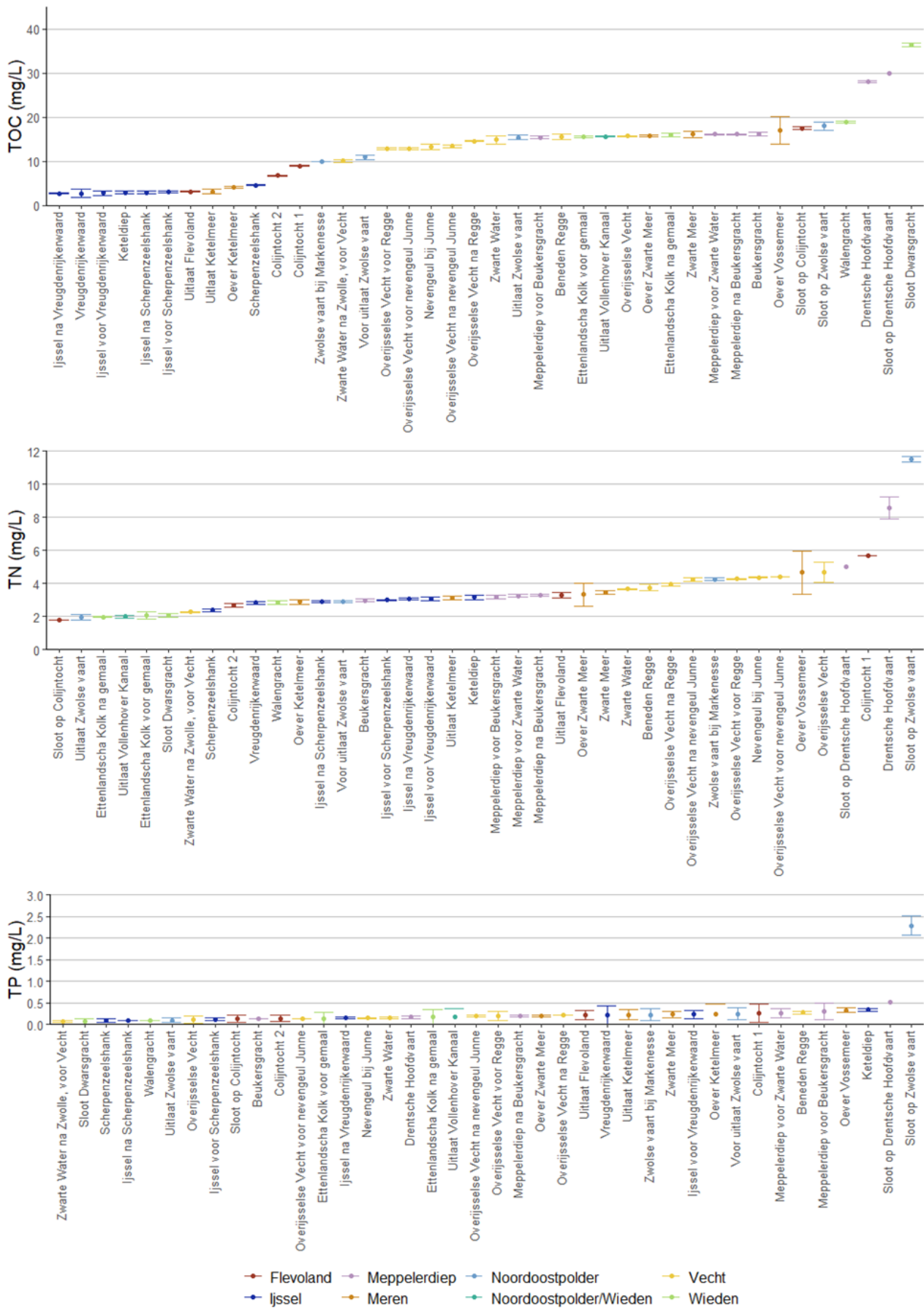


Figuur 3.3 Overzicht van de gemiddelde ($n = 3$) totaal organisch koolstof(TOC-)concentraties in november 2021 op meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland.

Tabel 3.2 Gemeten gemiddelde (± 1 standaarddeviatie, *sd*, $n = 3$) concentraties totaal organisch koolstof (TOC), stikstof (TN) en fosfor (TP) (mg/l) en de molratio's tussen deze concentraties op de meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en de regionale watersystemen in het achterland.

Locatienr	Locatiennaam	Type	TOC		TN		TP		TOC:TN		TOC:TP		TN:TP	
			gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd
1	Uitlaat Ketelmeer in IJsselmeer	Meer	3.22	0.46	3.11	0.11	0.23	0.12	1.21	0.16	46.16	27.42	38.77	24.97
2	Keteldiep	Meer	2.94	0.33	3.17	0.15	0.34	0.03	1.09	0.16	22.10	2.20	20.53	2.14
3	Oever Zwarte Meer	Oevers	15.83	0.25	3.33	0.70	0.20	0.02	5.70	1.07	207.02	22.08	37.77	11.54
4	Oever Vossemeer	Oevers	17.03	3.18	4.67	1.30	0.33	0.06	4.32	0.36	132.39	16.31	30.82	4.98
5	Oever Ketelmeer	Oevers	4.15	0.17	2.89	0.14	0.24	0.24	1.67	0.03	314.88	480.78	185.38	282.27
6	Uitlaat Flevoland	Meer	3.19	0.09	3.29	0.17	0.22	0.10	1.13	0.09	45.22	26.50	39.10	20.71
7	Colijntocht 1	Regionaal	9.02	0.16	5.68	0.02	0.26	0.21	1.85	0.03	134.08	86.66	72.56	47.53
8	Colijntocht 2	Regionaal	6.79	0.09	2.68	0.11	0.14	0.07	2.95	0.11	149.07	60.86	50.28	19.85
9	Sloot op Colijntocht	Regionaal	17.53	0.35	1.79	0.02	0.13	0.09	11.43	0.26	448.58	212.24	39.55	19.23
10	Zwarte Meer	Meer	16.17	0.68	3.46	0.11	0.23	0.07	5.45	0.14	190.89	55.02	35.15	10.75
11	Uitlaat Vollenhove Kanaal	Meer	15.70	0.10	2.00	0.09	0.19	0.19	9.18	0.33	499.73	504.69	53.91	54.49
12	Uitlaat Zwolse vaart	Meer	15.47	0.55	1.96	0.16	0.10	0.06	9.23	0.43	626.26	554.72	68.02	60.48
13	Voor uitlaat Zwolse vaart	Regionaal	10.97	0.50	2.93	0.06	0.24	0.14	4.37	0.12	139.29	63.90	32.15	15.43
14	Zwolse vaart bij Markenese	Regionaal	9.93	0.05	4.26	0.10	0.23	0.14	2.72	0.05	160.66	128.25	58.92	46.61
15	Sloot op Zwolse vaart	Regionaal	18.07	0.95	11.50	0.17	2.29	0.22	1.83	0.08	20.48	1.26	11.19	0.89
16	Ettenlandscha Kolk na gemaal	Regionaal	16.00	0.46	1.97	0.03	0.18	0.17	9.46	0.19	467.89	447.13	48.91	45.88
17	Ettenlandscha Kolk voor gemaal	Regionaal	15.67	0.21	2.07	0.21	0.14	0.14	8.88	0.74	594.02	579.29	71.04	74.20
18	Walengracht	Regionaal	18.93	0.25	2.84	0.09	0.10	0.00	7.77	0.17	506.91	28.87	65.30	5.07
19	Sloot Dwarsgracht	Regionaal	36.47	0.47	2.07	0.13	0.08	0.07	20.56	1.09	1988.42	1190.93	95.93	57.05
20	Sloot op Drentsche Hoofdvaart	Regionaal	-	-	4.84	1.21	0.71	0.46	-	-	-	-	23.18	18.63
21	Drentsche Hoofdvaart	Regionaal	28.13	0.15	8.56	0.68	0.17	0.03	3.85	0.27	438.59	65.07	114.85	23.08
22	Meppelerdiep na Beukersgracht	Regionaal	16.20	0.10	3.29	0.04	0.20	0.02	5.75	0.10	212.01	17.67	36.90	3.65
23	Beukersgracht	Regionaal	16.23	0.38	2.99	0.09	0.13	0.00	6.34	0.16	315.36	3.82	49.75	1.81
24	Meppelerdiep voor Beukersgracht	Regionaal	15.50	0.26	3.19	0.11	0.30	0.19	5.67	0.27	169.83	80.25	29.88	13.95
25	Zwarte Water	Riviertje	14.93	0.91	3.67	0.03	0.16	0.02	4.75	0.28	240.02	49.42	50.27	7.43
26	Meppelerdiep voor Zwarte Water	Regionaal	16.17	0.06	3.26	0.08	0.26	0.10	5.79	0.13	173.83	56.36	30.12	10.23
27	Zwarte Water na Zwolle, voor Vecht	Riviertje	10.12	0.25	2.28	0.04	0.07	0.02	5.18	0.13	406.62	106.83	78.69	22.26
28	Overijsselse Vecht	Riviertje	15.73	0.12	4.69	0.62	0.12	0.09	3.96	0.48	985.13	1289.18	279.53	385.51
29	IJssel na Vreugdenrijkerwaard	Rivier	2.75	0.14	3.09	0.05	0.15	0.02	1.04	0.05	49.05	9.76	46.88	6.93
30	IJssel voor Vreugdenrijkerwaard	Rivier	2.81	0.42	3.09	0.11	0.23	0.10	1.06	0.13	34.39	11.26	33.68	14.91
31	Vreugdenrijkerwaard	Nevengeul	2.80	0.92	2.82	0.09	0.22	0.21	1.15	0.34	58.29	46.25	47.09	29.77
32	Overijsselse Vecht na Regge	Riviertje	14.60	0.10	3.95	0.09	0.22	0.00	4.32	0.09	171.75	4.31	39.80	1.44
33	Beneden Regge	Regionaal	15.63	0.68	3.76	0.21	0.28	0.03	4.85	0.08	147.11	12.60	30.32	2.13

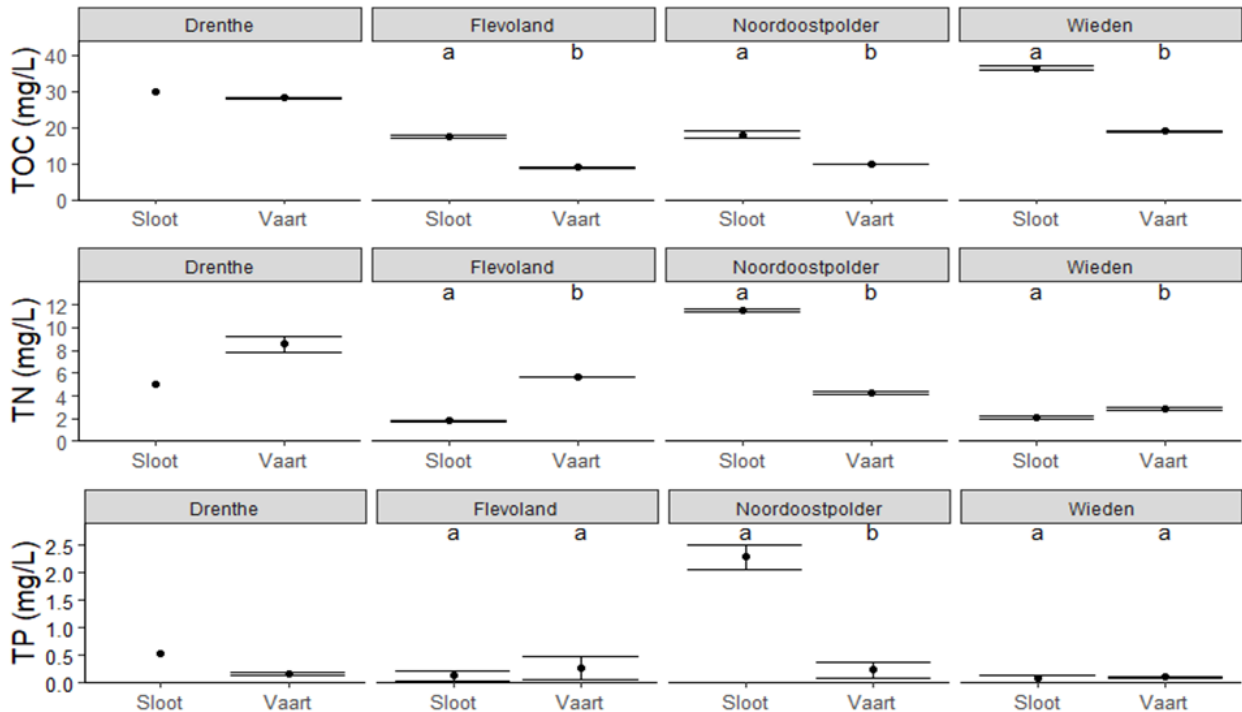
Locatiernr	Locatiennaam	Type	TOC		TN		TP		TOC:TN		TOC:TP		TN:TP	
			gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd	gem.	sd
34	Overijsselse Vecht voor Regge	Riviertje	12.93	0.15	4.27	0.04	0.19	0.11	3.53	0.01	200.88	81.27	56.95	23.17
35	Overijsselse Vecht na nevengeul Junne	Riviertje	13.43	0.25	4.24	0.10	0.19	0.02	3.70	0.04	182.14	16.48	49.30	4.81
36	Nevengeul bij Junne	Nevengeul	13.30	0.66	4.36	0.04	0.15	0.01	3.56	0.18	231.87	18.85	65.27	5.67
37	Overijsselse Vecht voor nevengeul Junne	Riviertje	12.97	0.23	4.39	0.00	0.14	0.00	3.45	0.06	237.66	6.58	68.97	1.75
38	IJssel na Duursche Waarden	Rivier	2.96	0.34	2.90	0.04	0.10	0.01	1.19	0.14	80.66	11.39	67.69	4.47
39	IJssel voor Duursche Waarden	Rivier	3.11	0.15	3.00	0.03	0.12	0.04	1.21	0.07	68.58	15.46	57.19	15.20
40	Duursche Waarden Scherpenzeelshank	Nevengeul	4.65	0.10	2.38	0.06	0.09	0.04	2.28	0.04	160.07	68.10	70.50	30.64



Figuur 3.4 Gemeten totaal organisch koolstof- (TOC), totaal stikstof- (TN) en totaal fosfor (TP-) concentraties voor alle meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland, met kleurcodering per aanvoerroute.

3.4.1.2 Regionale watersystemen

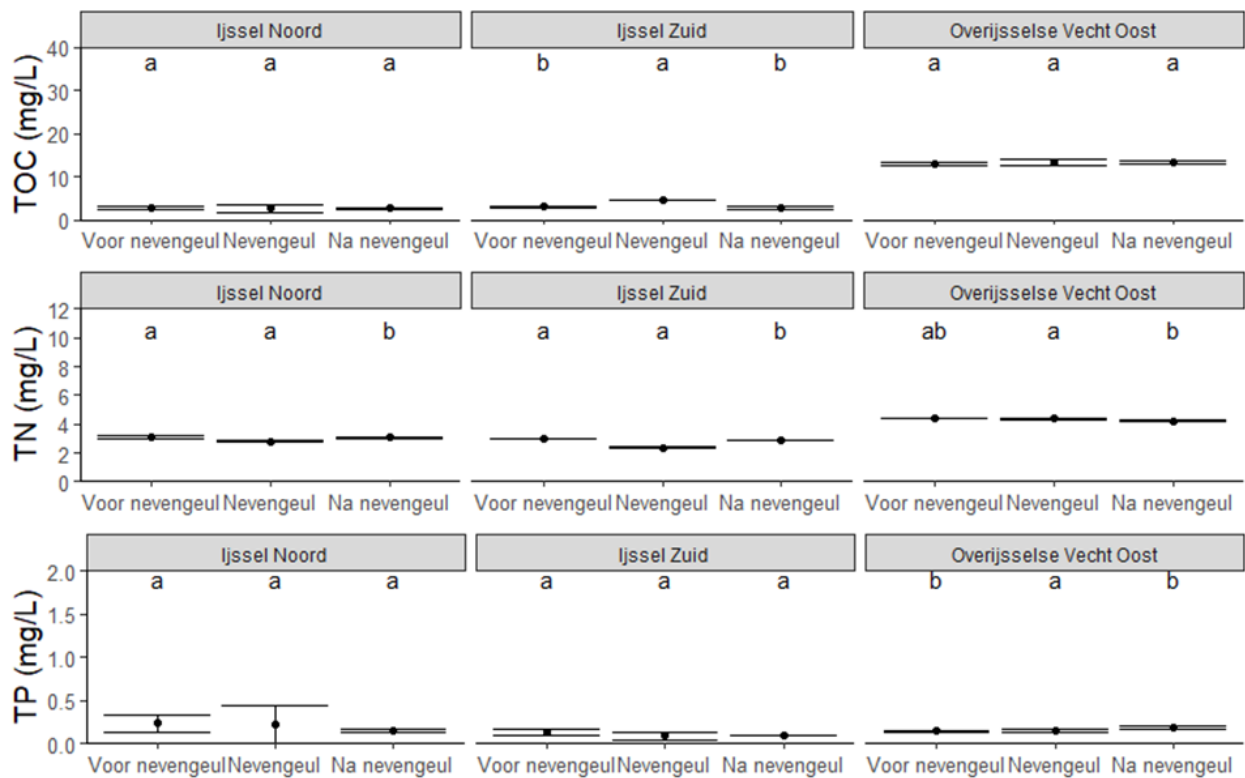
De gemeten concentraties bleken sterk afhankelijk van de ligging van het meetpunt binnen de hiërarchische structuur van het afwateringssysteem: van de haarvaten die het secundaire watersysteem vormen (sloten, beken) tot in de grote watergangen van het primaire watersysteem (weteringen, vaarten en kanalen). De gemeten concentratie TOC was in veel gevallen in het secundaire watersysteem hoger dan in het primaire watersysteem waar ze op afwateren (Figuur 3.5).



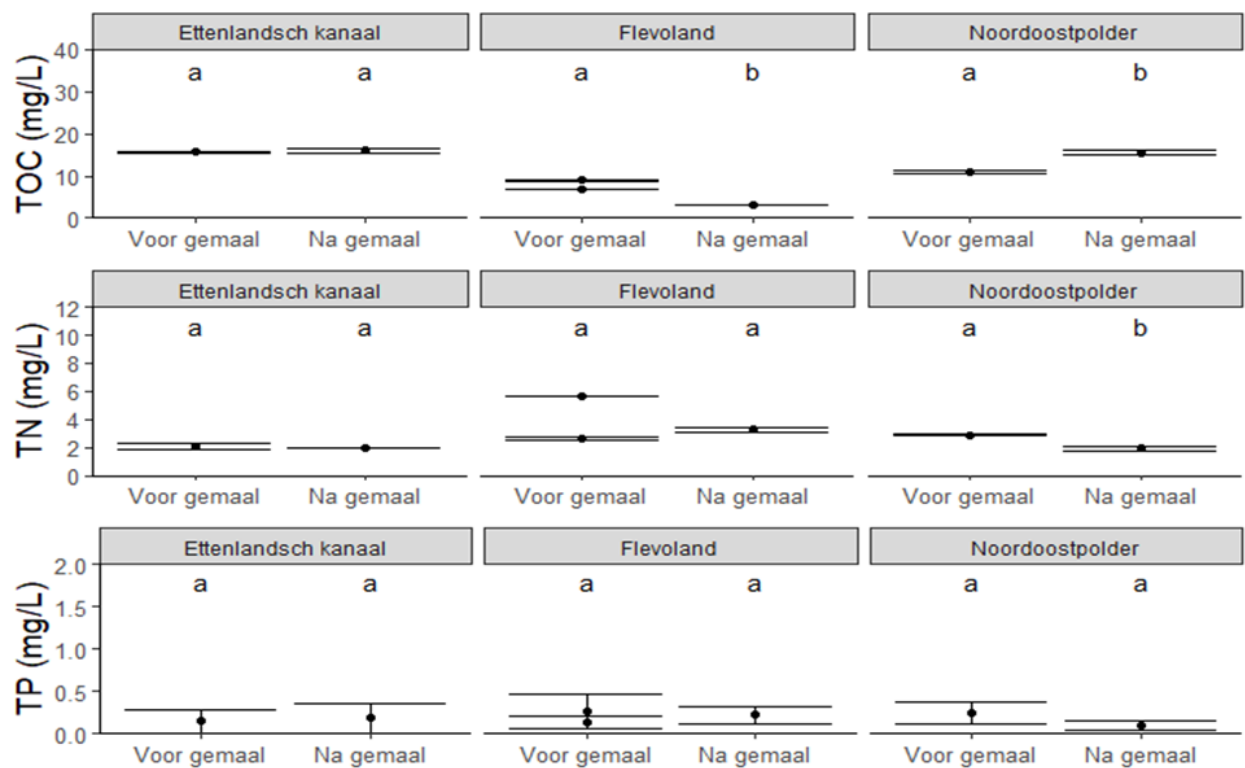
Figuur 3.5 Vergelijking tussen de gemeten totaal organisch koolstof- (TOC), totaal stikstof- (TN) en totaal fosfor (TP-)concentraties voor meetpunten in secundaire watergangen (sloot) en de bijbehorende primaire watergangen (vaart) in het regionale watersysteem. Letters geven significante verschillen tussen de watertypen aan op basis van Tukey-tests ($p < 0.05$). De slootlocatie in Drenthe is gebaseerd op slechts twee replica's en is daarom niet getest.

3.4.1.3 Nevengeulen rivieren

De verwachting was dat nevengeulen in de uiterwaarden van de IJssel en de Overijsselse Vecht konden fungeren als een potentiële aanvoerroute van organisch materiaal. De meetpunten in de nevengeulen bleken alleen in het geval van de Scherpenzeelshank in de Duursche waarden (meetpunten IJssel-zuid) een verhoogde TOC-concentratie te bevatten, in de geulen in de Vreugderijkerwaard (meetpunten IJssel-noord) en de nevengeul Junne langs de Overijsselse Vecht werden geen hogere concentraties gemeten dan in de rivier (Figuur 3.6). De Scherpenzeelshank wordt gekenmerkt door een grote oeverlengte met veel houtige vegetatie op de oevers en ondiepe zijtakken met moerasvegetatie. Waarschijnlijk verklaart dit de hogere gemeten TOC-gehalten. Echter komt dit niet tot uiting in het benedenstroomse meetpunt in de IJssel, omdat de geul bij lage rivierafvoeren, zoals tijdens de meetperiode, maar een zeer beperkte verbinding heeft met de rivier. Alleen met hoge rivierafvoeren wordt deze geul duidelijk meestromend en ontstaat er connectiviteit met de rivier. Ook de verbinding tussen de rivier en de meestromende nevengeul in de Vreugderijkerwaard is gering. De duikers zijn klein gedimensioneerd, waardoor er bij lage afvoer slechts een fractie van het debiet van de IJssel door de nevengeul gaat. Daar komt bij dat door de lage afvoer, de afwezigheid van bomen en korte vegetatie door intensieve begrazing van de aanliggende gronden weinig aanvoer van organisch materiaal mogelijk is. De nevengeul Junne ontvangt een groter deel van het debiet van het riviertje de Overijsselse Vecht, maar ligt diep ingesneden, waardoor er maar weinig contact is tussen de geul en de aanliggende gronden. Er is slechts een smalle strook moerasvegetatie met wat boomopslag aanwezig. Er werd geen significant verhoogde concentratie TOC gemeten in de nevengeul en na de uitstroom.



Figuur 3.6 Vergelijking tussen de gemeten totaal organisch koolstof- (TOC), totaal stikstof- (TN) en totaal fosfor(TP-)concentraties voor meetpunten boven- en benedenstrooms in de hoofdgeul van de rivier en in de aangetakte nevengeul. Letters geven significante verschillen tussen de watertypen aan op basis van Tukey-tests ($p < 0.05$).



Figuur 3.7 Vergelijking tussen de gemeten totaal organisch koolstof- (TOC), totaal stikstof- (TN) en totaal fosfor(TP-)concentraties voor meetpunten boven- en benedenstrooms de uitstroom van het gemaal dat de scheiding vormt tussen de grote wateren en het regionale watersysteem in het achterland. Letters geven significante verschillen tussen de watertypen aan op basis van Tukey-tests ($p < 0.05$). In Flevoland zijn twee vaarten voor het gemaal bemonsterd.

3.4.1.4 Gemalen

De aanwezigheid van gemalen zou het transport van organisch materiaal vanuit het regionale watersysteem naar de grote wateren kunnen verhinderen. Dit zien we echter niet consistent terug in de metingen (Figuur 3.7). In Flevoland is minder TOC gemeten direct na het gemaal dan voor het gemaal. Het gemaal in het Ettenlandsch kanaal, dat de boezem van Noordwest-Overijssel afwatert, laat geen verschil zien voor en na het gemaal. Benedenstrooms van het gemaal in de Zwolse vaart, dat de Noordoostpolder afwatert, is zelfs een hogere TOC gemeten. Dit kan worden verklaard doordat bij dit benedenstroomse punt waarschijnlijk ook de afvoer van het Vollenhovermeer wordt gemeten, dat het relatief TOC-rijke water van de Wieden afvoert. Net als voor de nevengeulen geldt dat de metingen zijn uitgevoerd tijdens een periode met lage afvoeren, waardoor relatief weinig water werd uitgemalen op het moment dat de metingen werden verricht.

3.4.2 Totaal stikstof

De totaal stikstof(TN-)concentraties van het oppervlaktewater lagen voor de meeste meetpunten tussen de 2 en 5 mg N/L in november 2021. Slechts op enkele meetpunten in het regionale watersysteem werd een hogere TN-concentratie gemeten, namelijk in de sloten en bijbehorende vaarten in het Meppelerdiep en de Noordoostpolder (Figuur 3.4 en 3.5).

De TN-concentraties laten, net als de TOC-concentraties ruimtelijke patronen zien, met lage waarden in de Wieden en bovenstrooms in de IJssel en hogere waarden bovenstrooms in de Overijsselse Vecht en het Meppelerdiep (Figuur 3.4, Bijlage 2).

De TN-concentratie in het water van de rivier de IJssel blijkt in stroomafwaartse richting licht toe te nemen.

3.4.3 Totaal fosfor

De gemeten TP-concentratie ligt grotendeels rond 0,1-0,3 mg/L (Figuur 3.4, Bijlage 2). Twee zeer hoge waarden werden gemeten in sloten in de Noordoostpolder en in Drenthe. Over het algemeen was de variatie binnen de replica's van een meetpunt groter dan de variatie tussen de meetpunten.

3.4.4 Elementaire ratio's

Demolaire verhouding tussen koolstof en stikstof, de C/N-ratio, volgt het patroon van de TOC-concentraties (Bijlage 2). De ratio's voor N/P en C/P laten geen duidelijk patroon zien door de hoge variatie in P (Bijlage 2).

4 Discussie en conclusies

In de casestudie IJssel-Vechtdelta is een eerste stap gezet om op landschapsschaal te onderzoeken wat de invloed is van de IJssel en de regionale watersystemen in het 'achterland' op het IJsselmeergebied en hoe deze verbinding bijdraagt aan het ecologisch functioneren van het meer-ecosysteem. Dit is onderzocht aan de hand van stofstromen die als basis voor het voedselweb fungeren: organische koolstof en nutriënten. Door de ruimtelijke patronen van deze stoffen te kwantificeren, zijn de routes in beeld gebracht die zorgen voor de aanvoer van voedingsstoffen naar het IJsselmeer. Juist met betrekking tot deze regionale stofstromen zijn er grote kennislacunes (Van Riel et al., 2021). Door deze hiaten in te vullen, kan richting gegeven worden aan hoe bepaalde routes van stoffen kunnen worden versterkt ten behoeve van het ecosysteem-functioneren, om zo veranderingen in het voedselweb van de grote wateren te kunnen bewerkstellingen en de geconstateerde afnemende natuurlijke productie en het verlies van biodiversiteit tegen te gaan. Omdat herstel op een voldoende grote schaal binnen de grote wateren moeilijk te realiseren is, kunnen – door gebruik te maken van de verbindingen met het achterland via de regionale watersystemen of de stroomgebieden van grote rivieren – mogelijk de hiervoor benodigde ingrepen worden gerealiseerd.

De aanvoer van organische koolstof naar het IJsselmeergebied bleek laag tijdens de meetperiode, terwijl nutriëntengehalten op systeemsschaal relatief hoog waren.

Binnen het theoretisch kader is het belang geschetst van de aanvoer van organisch materiaal (in partikelvorm en als opgelost koolstof) voor het ecosysteem-functioneren van meren. Tegelijkertijd laat de veldstudie zien dat de IJssel, die de grootste wateraanvoer naar het IJsselmeer vormt (ca. 70% van het totale volume), tijdens de meetperiode (lage afvoersituatie) slechts geringe hoeveelheden organisch koolstof (TOC) naar het IJsselmeergebied toevoerde (2,8-4,7 mg/L). De kleinere rivieren (Overijsselse Vecht, Zwarte Water) en polders bleken hogere concentraties te bevatten, maar droegen door een geringere afvoer veel minder bij aan het budget van het totale systeem. Hierdoor was, door verdunning, de TOC-concentratie bij de uitstroom van het Ketelmeer in het IJsselmeer laag (3,2 mg/L). Ter vergelijking: Wetzel (2001) geeft de volgende kengetallen voor TOC voor verschillende watersystemen: grondwater mediane waarde TOC 0,7 mg/L; regenwater 1,1 mg/L; oligotrofe meren 2,2 mg/L; rivieren 7,0 mg/L; eutrofe meren 12 mg/L; moerassen 17 mg/L en veenwateren 33 mg/L. Lake Peipsi, een systeem dat vaak als referentie wordt gebruikt voor het IJsselmeer, heeft een DOC-waarde van ten minste 11 mg/L (Toming et al., 2016/ Lammens et al., 2007). Dit laat zien dat de toevoer van organische koolstof naar het IJsselmeer in de meetperiode erg laag was; het benaderde de situatie van oligotrofe meren.

De nutriëntengehalten van het aangevoerde water lagen hoger dan onder referentieomstandigheden bij dit watertype hoort. Stikstof TN viel op basis van het kwaliteitselement nutriënten op de maatlat voor watertype R7 (langzaam stromende rivier/nevengeul op zand/klei; Van der Molen et al., 2018) in de toestandklasse matig, en voor het IJsselmeer (instroom, watertype grote diepe gebufferde meren met open verbinding naar zee M21b) in de klasse slecht. De IJssel scoorde voor fosfor TP matig tot ontoereikend, voor het IJsselmeer ontoereikend. De nutriëntengehalten liggen hiermee nog steeds boven de ecologisch geprefereerde waarden. Overigens zijn de gehalten al wel sterk gedaald ten opzichte van de concentraties die in de jaren 70 van de vorige eeuw werden gemeten (Noordhuis, 2010).

Er is weinig informatie over TOC-gehalten in het aanvoerwater uit het verleden (o.a. meetmogelijkheden waren destijds beperkt), maar gegevens van de Waal uit 1978-1980 duiden op gemiddeld 8,3 mg/L in de Waal (Eisma et al., 1982). Mogelijk zijn de TOC-gehalten, net als de nutriëntengehalten, de laatste decennia gedaald. Hierbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat met het bepalen van het TOC er geen onderscheid gemaakt wordt tussen de verschillende bronnen van organisch materiaal, oftewel de natuurlijke toevoer van terrestrische en moerasvegetatie, fytoplankton (zowel natuurlijk als verstoringseffect bij eutrofiëring) en antropogene punt- en diffuse bronnen (organische belasting). Deze laatste bron kan een aanzienlijk deel van de vracht zijn in sterk antropogeen belaste systemen (Abril et al., 2002). Dit speelt in de rivieren hoogstwaarschijnlijk ook een belangrijke rol, omdat in de jaren 70 en 80 de natuurlijke aanvoer naar alle waarschijnlijkheid niet hoger was dan nu. Het zou zelfs in de lijn der verwachting liggen dat de waarden

momenteel hoger zouden liggen dan in de tweede helft van de vorige eeuw door het grote aantal natuurontwikkelingsprojecten in het rivierengebied ('Ruimte voor de Rivier'), maar bijvoorbeeld ook door beekherstelprojecten in het achterland die een betere verbinding tussen het watersysteem en de aanliggende terrestrische systemen faciliteren.

Kortom, op basis van deze exploratieve studie kan worden geconcludeerd dat in een lage afvoersituatie in november de toevoer van nutriënten naar het IJsselmeergebied aanzienlijk is, terwijl de toevoer van organische koolstof lager is dan verwacht op basis van de gehalten in andere systemen.

Organische koolstofstromen bleken vaak al in het regionale watersysteem onderbroken.

De lage uitstroom van TOC bleek niet beperkt tot de grote wateren, maar was al waarneembaar in de metingen in het regionale watersysteem. De hoogste TOC-concentraties werden veelal gemeten in de sloten (secundaire watergangen), met als hoogste waarde een concentratie van 36,5 mg/L in een sloot in het natuurgebied de Wieden in de boezem van Noordwest-Overijssel. In het primaire watersysteem – de vaarten, kanalen en weteringen waar de sloten op afwateren –, bleken de concentraties vaak significant lager te liggen. Naast de lagere concentraties is bovendien ook de hoeveelheid water die uit deze sloten en vaarten wordt afgevoerd gemiddeld genomen laag. Onder 'normale' omstandigheden draagt dit daarmee maar in geringe mate bij aan de input van TOC die verder kan worden geëxporteerd naar de grote wateren. Een beperkende rol van gemalen in de stofstromen werd niet duidelijk uit de metingen en leek door de wisselende verhoudingen voor en na de gemalen contextafhankelijk.

Buitendijkse rietvelden en vooroevers in de meren en nevengeulen langs rivieren leverden in de meetperiode geen organisch materiaal aan de grote wateren.

De met vooroevers afgeschermdde luwe delen van de meren in de IJsselmonding, waar ook buitendijkse rietvelden aanwezig zijn, bleken geen hogere TOC-concentraties te bevatten dan de open delen van het meer. Het intern in het systeem genereren van een organisch materiaal flux, bijvoorbeeld via de buitendijkse rietlanden, kon tijdens de meetperiode niet worden aangetoond. De reden hiervoor moet waarschijnlijk gezocht worden in het ontbreken van directe uitwisseling tussen het water en de zone met riet, omdat graduele nat-droogovergangen – die kenmerkend zijn voor moerasgebieden in de randzone van natuurlijke meren – ontbraken. In de huidige situatie hoopt de afgestorven vegetatie zich op het droge deel van de oever op. Dit materiaal wordt vervolgens alleen incidenteel tijdens extreme windwerking en golfslag het meer in getransporteerd. Om een meer continue uitwisseling te faciliteren, zijn gradueel aflopende oevers met een zonering in moerasvegetatie (o.a. waterriet) noodzakelijk, welke op de meetlocaties niet aanwezig waren. Een aanwijzing voor de meerwaarde van deze land-waterovergangen was zichtbaar in de nevengeul de Scherpenzeelshank in de Duursche waarden, die wordt gekenmerkt door een grote oeverlengte met veel houtige vegetatie op de oevers en ondiepe zijtakken met moerasvegetatie. Hier werden verhoogde TOC-gehalten gemeten. Echter was de connectiviteit van de nevengeul met de IJssel en het debiet onvoldoende om een significante bijdrage te leveren aan het riviersysteem, waardoor de meerwaarde in de huidige situatie klein was.

5 Potentiële maatregelen ter bevordering van de aanvoer van organisch materiaal naar de grote wateren

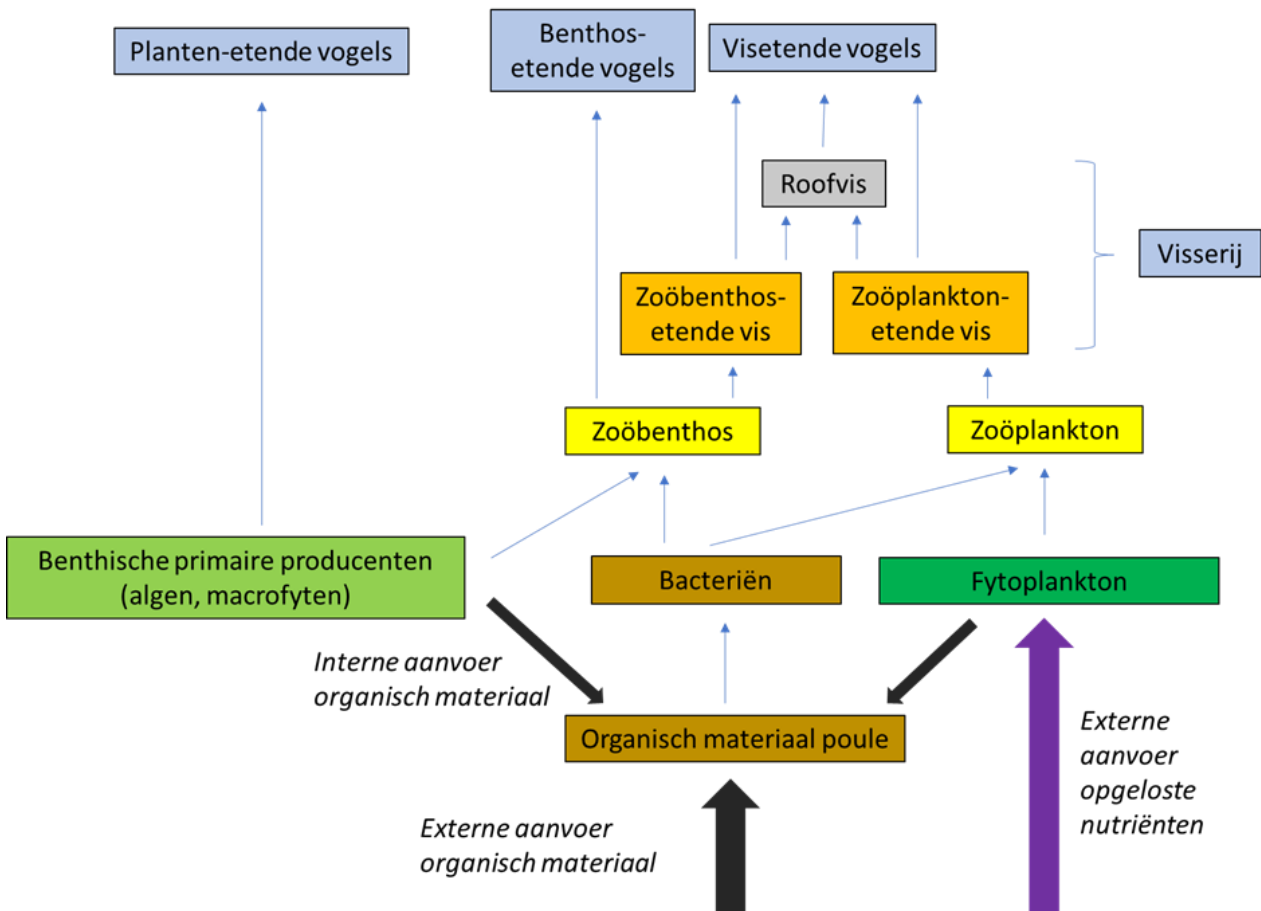
Het tot stand brengen van een meer structurele aanvoer van organisch materiaal en andere stoffen naar de grote wateren kan het voedselweb en het ecosysteem-functioneren een impuls geven. Voor de meren geldt dat de uitwisseling tussen de buitendijkse rietlanden en vooroevers zou moeten worden versterkt. Echter wordt dit momenteel verhinderd door onder andere een tegennatuurlijk waterpeil in het IJsselmeer en de aanwezigheid van harde land-waterovergangen door oeververdedigingswerken. Ondanks initiatieven, zoals de platen in het Ketelmeer, de Marker Wadden en het Trintelzand waarbij wordt ingezet op meer graduele land-water overgangen, blijft de oppervlakte relatief beperkt ten opzichte van het volume van de meren waarin ze gesitueerd zijn.

Om de aanvoer van organische koolstof naar het IJsselmeer substantieel te verhogen, zou op een grotere schaal gekeken kunnen worden naar de grote rivieren en riviertjes die kwantitatief de grootste aanvoer vanuit het achterland verzorgen en potentieel de grootst geschikte oppervlakten voor uitwisseling bevatten (bijvoorbeeld via de uiterwaarden). Uit onderzoek blijkt dat de TOC-concentratie in rivieren, naast klimatologische omstandigheden (hoeveelheid neerslag), sterk beïnvloed wordt door de aanwezigheid van wetlands (Mullholand, 2003). Het gaat hierbij om bijvoorbeeld overstromingsvlakten en moerassen in lage delen van de uiterwaard of oude armen. Het organisch materiaal kan vanuit deze systemen de rivier pulsgewijs bereiken tijdens perioden van overstromingen (Junk et al., 1989; Tockner et al., 2000). Dit onderzoek laat zien dat de in de uiterwaarden aangelegde nevengeulen in potentie deze rol kunnen hebben, zoals de verhoogde TOC-concentratie in de Scherpenzeelshank in de Duursche Waarden laat zien, die veel bos op de oevers heeft en zones met moerasvegetatie bevat. Echter vervullen ze deze rol niet door een slechte connectiviteit met de rivier, die pas bij zeer hoge rivierafvoeren – die niet jaarlijks voorkomen – tot stand wordt gebracht.

Het terugbrengen van grote arealen aan moerasnatuur in de uiterwaarden van de IJssel, het Zwarte water en de Overijsselse Vecht waarbij voldoende connectiviteit aanwezig is (via dynamiek) om meer structureel transport van materiaal naar het IJsselmeer mogelijk te maken, zou voor de eerdergenoemde impuls kunnen zorgen. Het belang van deze overstromingsnatuur is recentelijk in beeld gebracht door Kurstjens et al. (2020). De randvoorwaarden om dit te realiseren, zijn in vier punten samen te vatten:

1. **Voldoende areaal natte natuur** in het rivierdal. Voor verdere areaalvergroting kunnen mogelijk ook de beekdalen die op het rivierdal uitmonden worden betrokken. Alleen bij voldoende oppervlakte kan een organische stofstroom worden gegenereerd van voldoende omvang om invloed te hebben op het ecologisch functioneren van het IJsselmeer.
2. **Kwalitatief hoogwaardige natte natuur**, oftewel systemen met voldoende heterogeniteit, gegenereerd door gradiënten door wisselwerking nat-droog, hoog-laag, voedselarm-voedselrijk etc. Dit leidt niet alleen tot een hoge biodiversiteit ter plaatse, maar ook tot een verrijkte aanvoer naar de grote wateren door een grotere variatie in samenstelling, duurzaamheid en daarmee voedselkwaliteit. Hierbij is nadrukkelijk ook een belangrijke rol voor bos weggelegd. Juist bomen vervullen een belangrijke rol in de toevoer van organisch materiaal naar aquatische systemen, omdat ze een diversiteit aan materiaal genereren via hout, blad, vruchten etc. Het stimuleren van bos in het overstromingsbereik van de rivier leidt tot effecten die kunnen doorwerken in het IJsselmeer.
3. Het **optreden van voldoende afvoerdynamiek**. Om stofstromen tussen de natte natuur en de grote wateren tot stand te brengen, is het noodzakelijk dat er regelmatig sprake is van overstroming gevolgd door het weer terugtrekken van het water in het rivierdal. Deze pulsbeving zorgt ervoor dat stoffen worden meegevoerd richting de grote wateren en de verschillende compartimenten van het systeem met elkaar worden verbonden.
4. **Open verbindingen tussen (deel)systemen**. Om transport mogelijk te maken, moeten er zo veel mogelijk open verbindingen aanwezig zijn tussen uiterwaard en rivier en rivier en meer, zodat transport met zo min mogelijk obstakels kan plaatsvinden.

De doorwerking van de toevoer van extern gegenereerd organisch materiaal op het voedselweb van het IJsselmeer is weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Voedselweb IJsselmeer met daarin de rol van de aanvoer van organisch materiaal vanuit het achterland verwerkt en de omzetting daarvan door bacteriën als basis, die bestaat naast de route via de externe aanvoer van voedingsstoffen. Gebaseerd op Lammens & Hosper (1998) en Creed et al. (2018).

6 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Het onderzoek dat binnen de casestudie is uitgevoerd, geeft een eerste inzicht in de potentiële bronnen van organisch materiaal en de routes die het af kan leggen vanuit het regionale watersysteem naar en door de grote wateren. Er zijn echter nog een aantal kennishiaten en -vragen die nader onderzoek vergen:

Kwantificering temporele variatie organisch materiaal stromen. Er is onder condities met een lage afvoer gemeten (en daarmee laag transport). De vraag is wat de temporele variatie in het transport van organisch materiaal is. Een kwantitatief groot aandeel van het materiaal kan ook in relatief korte tijd worden getransporteerd, bijvoorbeeld tijdens een periode met hoge afvoer.

Herkomst organisch materiaal. Wat is de exacte herkomst van het organisch materiaal dat wordt getransporteerd naar het IJsselmeergebied? Hoe is de verhouding natuurlijke versus antropogene bronnen, bijvoorbeeld terrestrische vegetatie, oevervegetatie, agrarisch landgebruik en puntbronnen?

Rol en doorwerking in het voedselweb. Het is de vraag hoe het organisch materiaal zijn weg vindt in het voedselweb van het IJsselmeer, waar en door wat wordt het opgenomen, hoe werkt het door naar de hogere trofische niveaus? Maakt de herkomst/kwaliteit uit?

Voordat maatregelen genomen kunnen worden om de organisch materiaalstromen richting het IJsselmeergebied te versterken, is meer kennis nodig over:

Opbouwen referentiebeeld 'goed' functioneren. Er moet een beter beeld komen van hoe de stofstromen functioneren onder minder verstoorde omstandigheden. Mogelijk kan er een vergelijking gemaakt worden met een referentiesysteem, om zo tot een definitie te komen van een 'goed functionerend' systeem.

Beeld functioneren huidige Nederlandse overstromingsvlaktes. Kwantificering van de hoeveelheid organisch materiaal transport uit bestaande overstromingsvlaktes langs de grote rivieren kan inzicht geven in de potentie van herstelmaatregelen elders; wat zijn de randvoorwaarden waaronder voldoende transport kan optreden?

Literatuur

- Abril, G., Nogueira, M., Etcheber, H., Cabeçadas, G., Lemaire, E., Brogueira, M.J. (2002) Behaviour of Organic Carbon in Nine Contrasting European Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54: 241- 262.
- Creed, I.F., Bergström, A.-K., Trick, C.G., Grimm, N.B., Hessen, D.O., Karlsson, J., Kidd, K.A., Kritzberg, E., McKnight, D.M., Freeman, E.C., Senar, O.E., Andersson, A., Ask, J., Berggren, M., Cherif, M., Giesler, R., Hotchkiss, E.R., Kortelainen, P., Palta, M.M., Vrede, T., Weyhenmeyer, G.A. (2018) Global change-driven effects on dissolved organic matter composition: Implications for food webs of northern lakes. *Global Change Biology* 24: 3692-3714.
- 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.
- Eisma, D., Cadée, G.C., Laane, R. (1982) Supply of suspended matter and particulate and dissolved organic carbon from the Rhine to the Coastal North Sea. In: Degens, E.T. (ed.). *Transport of carbon and minerals in major world rivers. SCOPE/UNEP Sonderbd.52. Mitt. Geol. Paläont. Inst. University of Hamburg*. P. 483–506.
- Jansson, M., Bergström, A.-K., Blomqvist, P., Drakare, S. (2000) Allochthonous organic carbon and phytoplankton/bacterioplankton production relationships in lakes. *Ecology* 81: 3250-3255.
- Junk, W., Bayley, P.B., Sparks, R.E. (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. P. 110-127 in Dodge, D.P. (ed). *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106.
- Kurstjens, G., Nijssen, M., van Winden, A., Dorenbosch, M., Moller Pillot, H., van Turnhout, C., Veldt, P. (2020) Natte overstromingsvlakten in het riviereengebied. *Ecologisch functioneren en ontwikkelkansen, rapport 2020/OBN237-RI. VBNE, Driebergen*.
- Lammens, E. (2001) Het voedselweb van het IJsselmeer en Markermeer. *De Levende Natuur* 102: 210-214.
- Lammens, E., Hoesper, H. (1998) Het voedselweb van het IJsselmeer en Markermeer. *Trends, gradienten en stuurbaarheid. RIZA rapport 98.003, RIZA, Lelystad*.
- Larson, J.H., Trebitz, A.S., Steinman, A.D., Wiley, M.J., Mazur, M.C., Pebbles, V., Braun, H.A., Seelbach, P.W. (2013) Great Lakes rivermouth ecosystems: Scientific synthesis and management implications. *Journal of Great Lakes Research* 39: 513-524.
- Lammens, E., van Luijn, F., Wessels, Y., Bouwhuis, H., Noordhuis, R., Portielje, R., & van der Molen, D. (2007) Towards ecological goals for the heavily modified lakes in the IJsselmeer area, The Netherlands. In *European Large Lakes Ecosystem changes and their ecological and socioeconomic impacts* (pp. 239- 247). Springer, Dordrecht.
- Marcarelli, A.M., Coble, A.A., Meingast, K.M., Kane, E.S., Brooks, C.N., Buffam, I., Green, S.A., Huckins, C.J., Toczydlowski, D., Stottlemeyer, R. (2019) Of small streams and great lakes: Integrating tributaries to understand the ecology and biogeochemistry of Lake Superior. *Journal of the American Water Resources Association* 55: 442–458.
- Marchand, M. (1997) Het voedselweb van de Rijn - een verkenning. *EHR Publicatie no. 70, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer & Afvalwaterbehandeling, Lelystad*.
- Mulholland, P.J. (2003) Large-scale patterns in dissolved organic carbon concentration, flux, and sources. In *Aquatic ecosystems* (pp. 139-159). Academic Press.
- Newbold, J.D., Elwood, J.W., O'Neill, R.V., Winkle, W.V. (1981) Measuring nutrient spiralling in streams, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 860-863.
- 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.
- Pace M.L., Carpenter S.R., Cole J.J., Coloso J.J., Kitchell J.F., Hodgson J.R. et al. (2007) Does terrestrial organic carbon subsidize the planktonic food web in a clear-water lake? *Limnology and Oceanography* 52: 2177-2189.
- Projectgroep Ketelmeer (1989) *Integraal waterbeheer ketelmeer inventarisatie van functies, beleid en onderzoek*. Rijkswaterstaat, Lelystad.

-
- R Core Team (2020) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, www.R-project.org.
- Richardson, J.S., Michalski, T., Becu, M. (2021) Stream inflows to lake deltas: A tributary junction that provides a unique habitat in lakes. *Freshwater Biology* 66: 2021-2029.
- Reeze, B., Van Winden, A., Postma, J., Pot, R., Hop, J., Liefveld, W. (2017) Watersysteemrapportage Rijntakken 1990-2015. Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie. Bart Reeze Water & Ecologie, Harderwijk.
- Solomon, C.T., Carpenter, S.R., Clayton, M.K., Cole, J.J., Coloso, J.J., Pace, M.L., Vander Zanden, M.J., Weidel, B.C. (2011) Terrestrial, benthic, and pelagic resource use in lakes: results from a three-isotope Bayesian mixing model. *Ecology* 92: 1115-1125.
- Stevens, J., Thomasson, W. (2014) Van IJssel naar meer. Afwentelingsonderzoek voor de stroomgebieden van IJssel en Vecht die via de meren afwateren op de Waddenzee. Van Hall Larenstein, Leeuwarden.
- Tockner, K., Malard, F., Ward, J.V. (2000) An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes* 14: 2861-2883.
- Toet, C., Blom, G. (1992) Integraal Waterbeheer Ketelmeer. Modelling van slibtransport in het Ketelmeer. Landbouwniversiteit Wageningen. Vakgroep Natuurbeheer/Rijkswaterstaat.
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., Nöges, T. (2016) First experiences in mapping lake water quality parameters with Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing* 8: 640.
- Thompson, R.M., Dunne, J.A., Woodward, G. (2012) Freshwater food webs: towards a more fundamental understanding of biodiversity and community dynamics. *Freshwater Biology* 57: 1329-1341.
- Van Riel, M.C., Verdonschot, R.C.M., Verdonschot, P.F.M. (2021) Systeemanalyse van het IJsselmeergebied; Verkenning van de water- en stoffenstromen in het IJsselmeergebied voor de toepassing in een systeemanalyse. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
- 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.
- Van Riel, M.C., Van der Velde, G., Rajagopal, S., Marguillier, S., Dehairs, F., Bij de Vaate, A. (2006) Trophic relationships in the Rhine food web during invasion and after establishment of the Ponto-Caspian invader *Dikerogammarus villosus*. *Hydrobiologica* 565: 39-58.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., Cushing, C.E. (1980) The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Vander Zanden, M.J., Vadeboncoeur, Y. (2020) Putting the lake back together 20 years later: what in the benthos have we learned about habitat linkages in lakes? *Inland Waters* 10: 305-321.
- Veraart, J.A., Baptist, M.J., Tangelder, M., Verdonschot, P.F.M., Pedroli, G.B.M. (2021) Ecologie, rendement en samenhang: Bouwstenen voor onderzoek naar de grote wateren. *Landschap* 38: 68-71.
- Verdonschot, P. (2020) Een robuust Markermeer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 166: 13-15.
- Ward, J.V., Stanford, J.A. (1983) The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. P. 29-42. In: Fontaine, T.D., Bartell, S.M. (Eds.) *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann Arbor Science, Ann Arbor.
- Wilkinson, G.M., Carpenter, S.R., Cole, J.J., Pace, M.L., Yang, C. (2013) Terrestrial support of pelagic consumers: patterns and variability revealed by a multilake study. *Freshwater Biology* 58: 2037-2049.

Bijlage 1 Meetlocaties

Locatienr	Locatiennaam	Coördinaten	
		x	y
1	Uitlaat Ketelmeer	52.61021	5.64280
2	Keteldiep	52.58140	5.84257
3	Oever Zwarte Meer	52.61164	5.85100
4	Oever Vossemeer	52.57850	5.82755
5	Oever Ketelmeer	52.59588	5.83561
6	Uitlaat Flevoland	52.57958	5.75723
7	Colijntocht 1	52.54113	5.71731
8	Colijntocht 2	52.53837	5.77338
9	Sloot op Colijntocht	52.57679	5.75117
10	Zwarte Meer	52.62500	5.89674
11	Uitlaat Vollenhover Kanaal	52.65782	5.98168
12	Uitlaat Zwolse vaart	52.66867	5.93148
13	Voor uitlaat Zwolse vaart	52.67099	5.91366
14	Zwolse vaart bij Markenese	52.70843	5.81598
15	Sloot op Zwolse vaart	52.74003	5.83133
16	Ettenlandscha Kolk na gemaal	52.70418	5.97115
17	Ettenlandscha Kolk voor gemaal	52.70431	5.98050
18	Walengracht	52.71907	6.01686
19	Sloot Dwarsgracht	52.72708	6.04081
20	Sloot op Drentsche Hoofdvaart	52.75142	6.21976
21	Drentsche Hoofdvaart	52.75068	6.22128
22	Meppelerdiep na Beukersgracht	52.65436	6.09742
23	Beukersgracht	52.66650	6.10964
24	Meppelerdiep voor Beukersgracht	52.66545	6.09882
25	Zwarte Water	52.63085	6.03976
26	Meppelerdiep voor Zwarte Water	52.63554	6.07766
27	Zwarte Water na Zwolle, voor Vecht	52.55836	6.09844
28	Overijsselse Vecht	52.54020	6.13449
29	IJssel na Vreugdenrijkerwaard	52.53241	6.01511
30	IJssel voor Vreugdenrijkerwaard	52.52018	6.01375
31	Vreugdenrijkerwaard	52.51654	6.02925
32	Overijsselse Vecht na Regge	52.51266	6.37518
33	Beneden Regge	52.51128	6.39109
34	Overijsselse Vecht voor Regge	52.51689	6.39438
35	Overijsselse Vecht na nevengeul Junne	52.52102	6.48785
36	Nevengeul bij Junne	52.53197	6.49103
37	Overijsselse Vecht voor nevengeul Junne	52.52845	6.49789
38	IJssel na Scherpenzeelshank	52.38105	6.12435
39	IJssel voor Scherpenzeelshank	52.37758	6.11760
40	Scherpenzeelshank	52.37160	6.11273

Locatie 1 – uitlaat Ketelmeer



Locatie 2 - Keteldiep



Locatie 3 – oever Zwarte Meer



Locatie 4 – oever Vossemeer



Locatie 5 – oever Ketelmeer



Locatie 6 – uitlaat Flevoland



Locatie 7 – Colijntocht 1



Locatie 8 – Colijntocht 2



Locatie 9 – sloot op Colijntocht



Locatie 10 – Zwarte Meer



Locatie 11 – uitlaat Vollenhover Kanaal



Locatie 12 – uitlaat Zwolse vaart



Locatie 13 – voor uitlaat Zwolse vaart



Locatie 15 – sloot op Zwolse vaart
Geen beeldmateriaal

Locatie 14 – Zwolse vaart bij Markenese
Geen beeldmateriaal

Locatie 16 – Ettenlandscha Kolk na gemaal



Locatie 17 – Ettenlandsche Kolk voor gemaal



Locatie 18 - Walengracht



Locatie 19 - Dwarsgracht



Locatie 20 - sloot op Drentsche Hoofdvaart



Locatie 21 - Drentsche Hoofdvaart



Locatie 22 - Meppelerdiep na Beukersgracht



Locatie 23 - Beukersgracht



Locatie 24 - Meppelerdiep na Beukersgracht



Locatie 25 – Zwarte Water



Locatie 26 – Meppelerdiep voor Zwarte Water



Locatie 27 – Zwarte Water na Zwolle, voor Vecht



Locatie 28 – Overijsselse Vecht



Locatie 29 – IJssel na Vreugderijkerwaard, bij Zalkerveer Locatie 30 – IJssel voor Vreugderijkerwaard



Locatie 31 - Vreugderijkerwaard



Locatie 32 – Overijsselse Vecht na Regge

Geen beeldmateriaal



Locatie 33 – Beneden Regge



Locatie 34 – Overijsselse Vecht voor Regge



Locatie 35 – Overijsselse vecht na nevengeul Junne



Locatie 36 – nevengeul Junne



Locatie 37 – Overijsselse Vecht voor nevengeul Junne



Locatie 38 – IJssel na Scherpenzeelshank



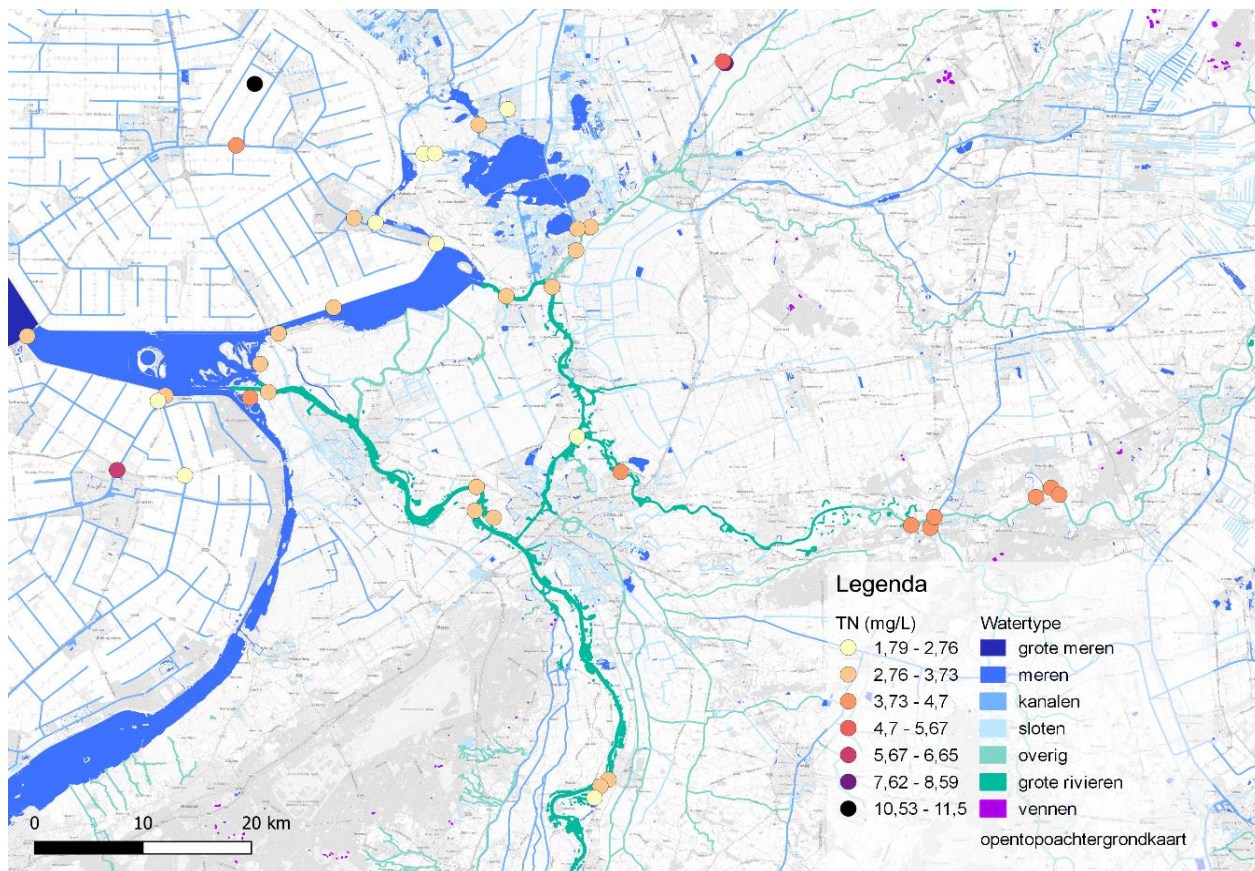
Locatie 39 – IJssel voor Scherpenzeelshank



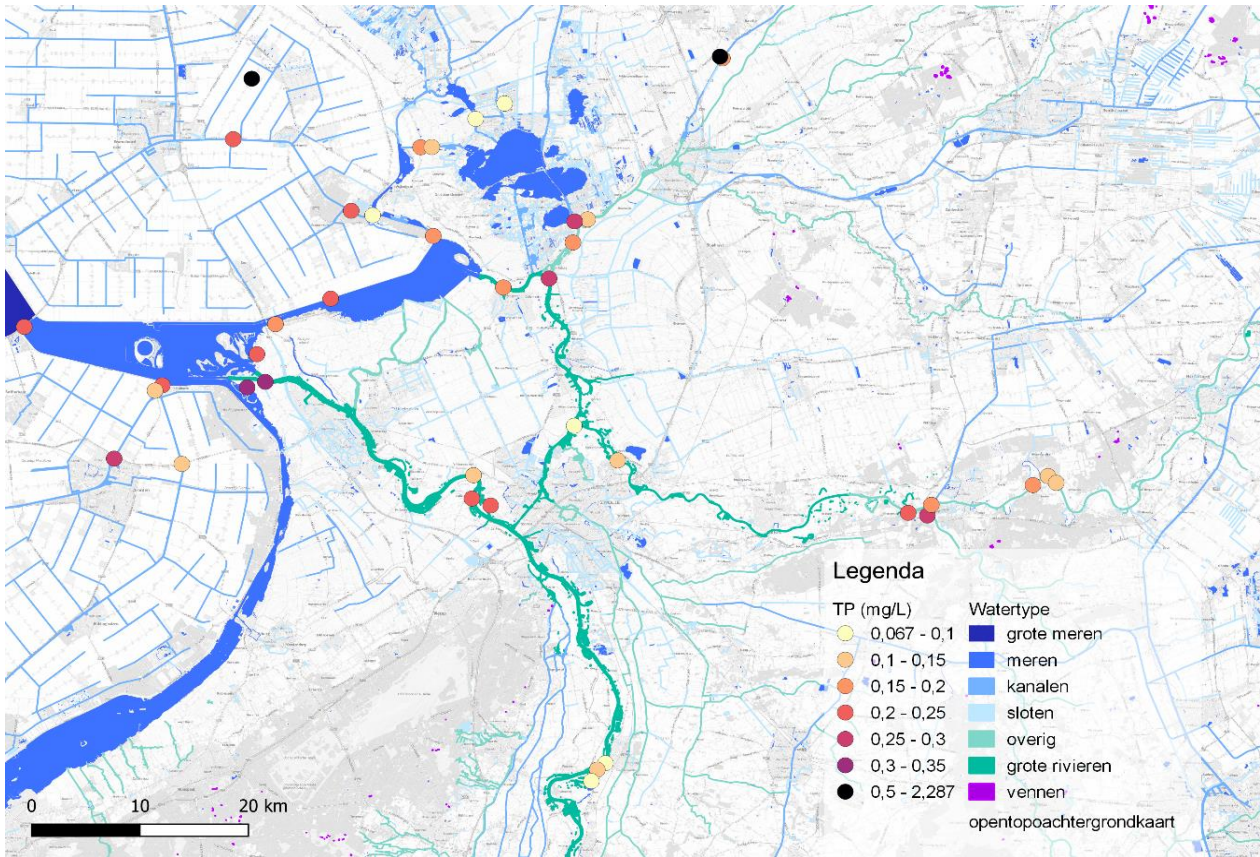
Locatie 40 - Scherpenzeelshank



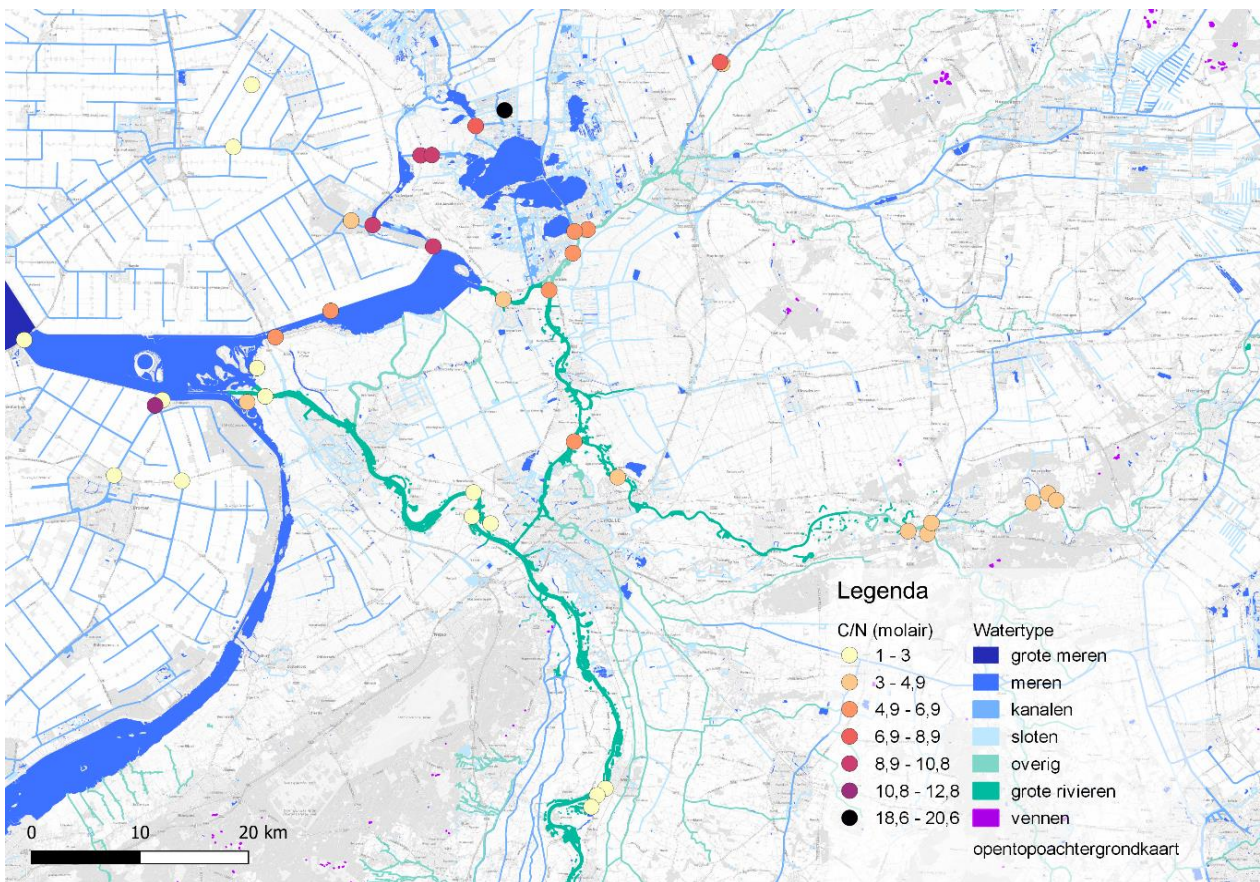
Bijlage 2 Resultaten analyses nutriënten en elementaire ratio's



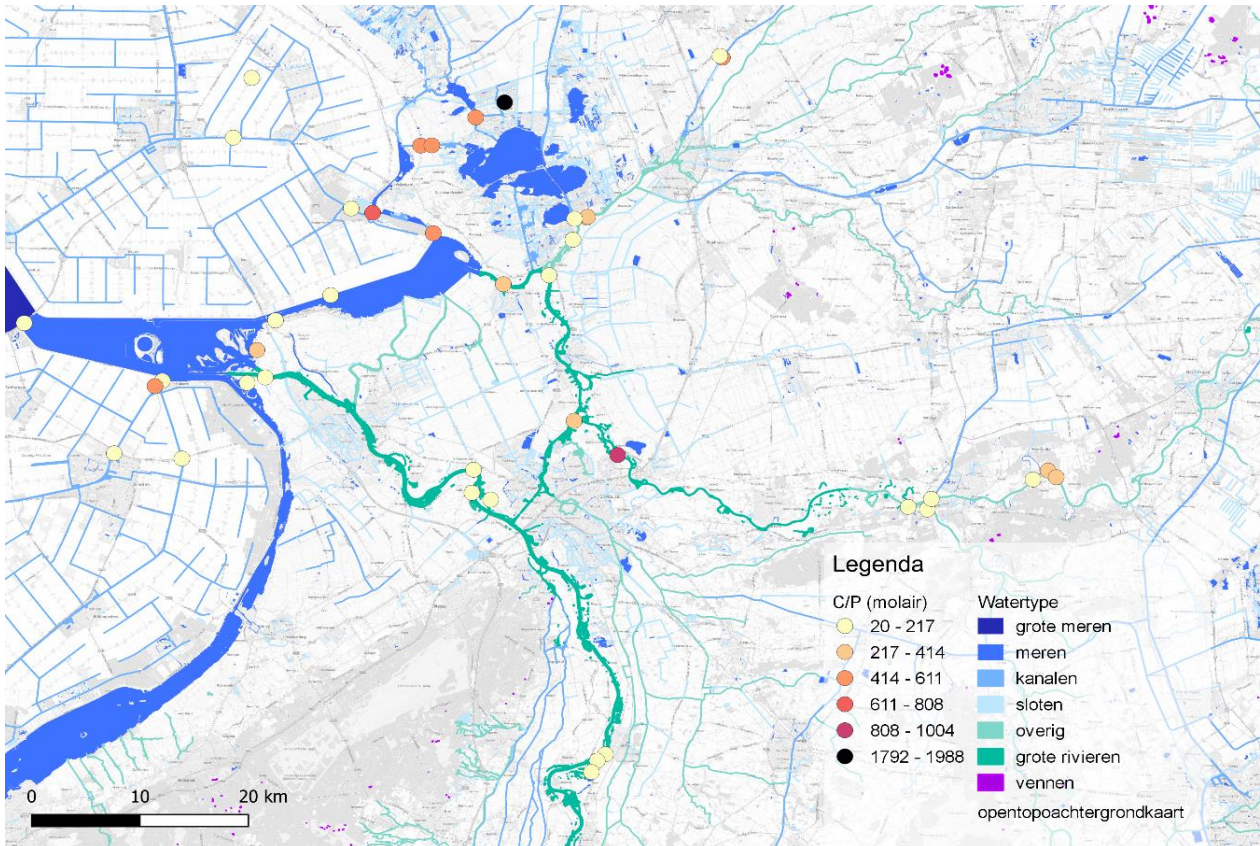
Figuur B2.1 Gemeten totaal stikstofconcentraties (TN) op meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland.



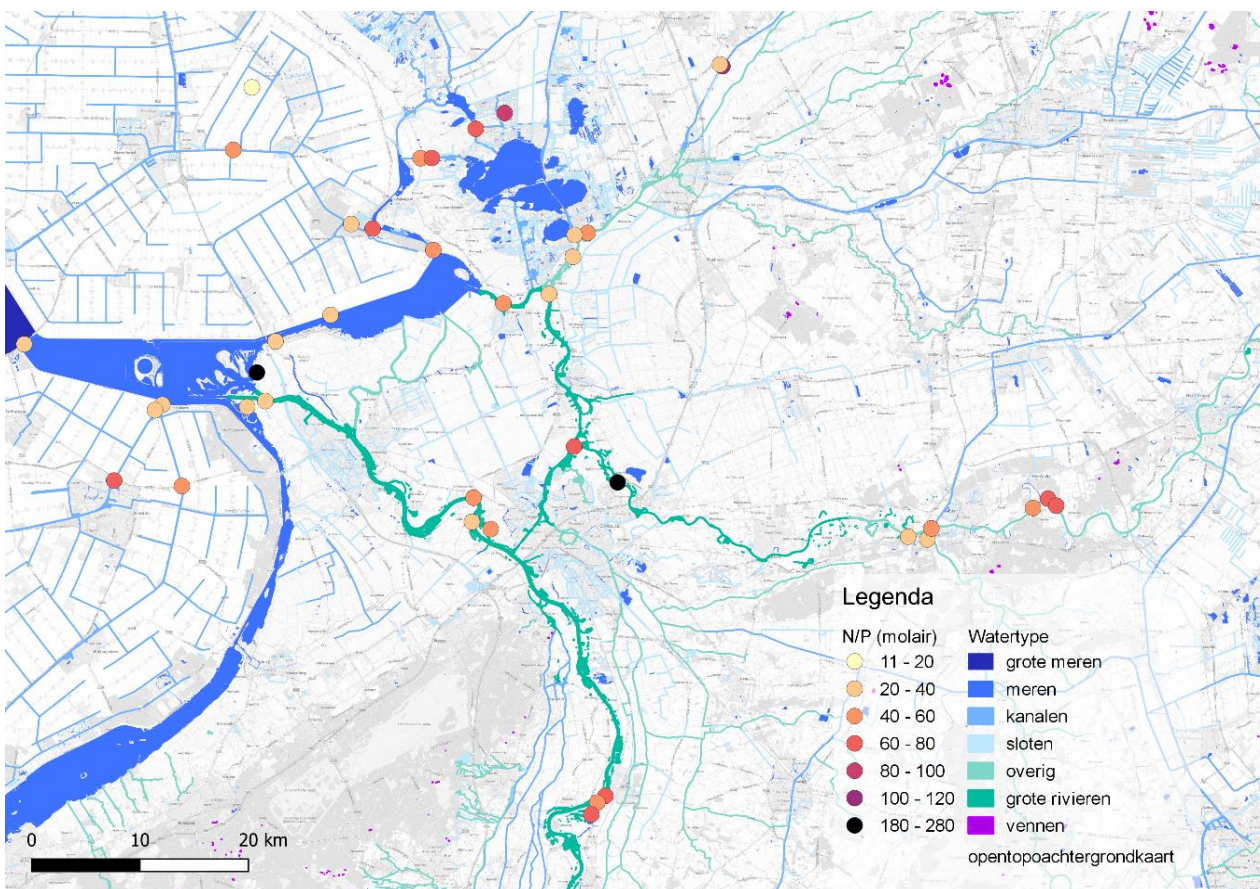
Figuur B2.2 Gemeten totaal fosforconcentraties (TP) op meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland.



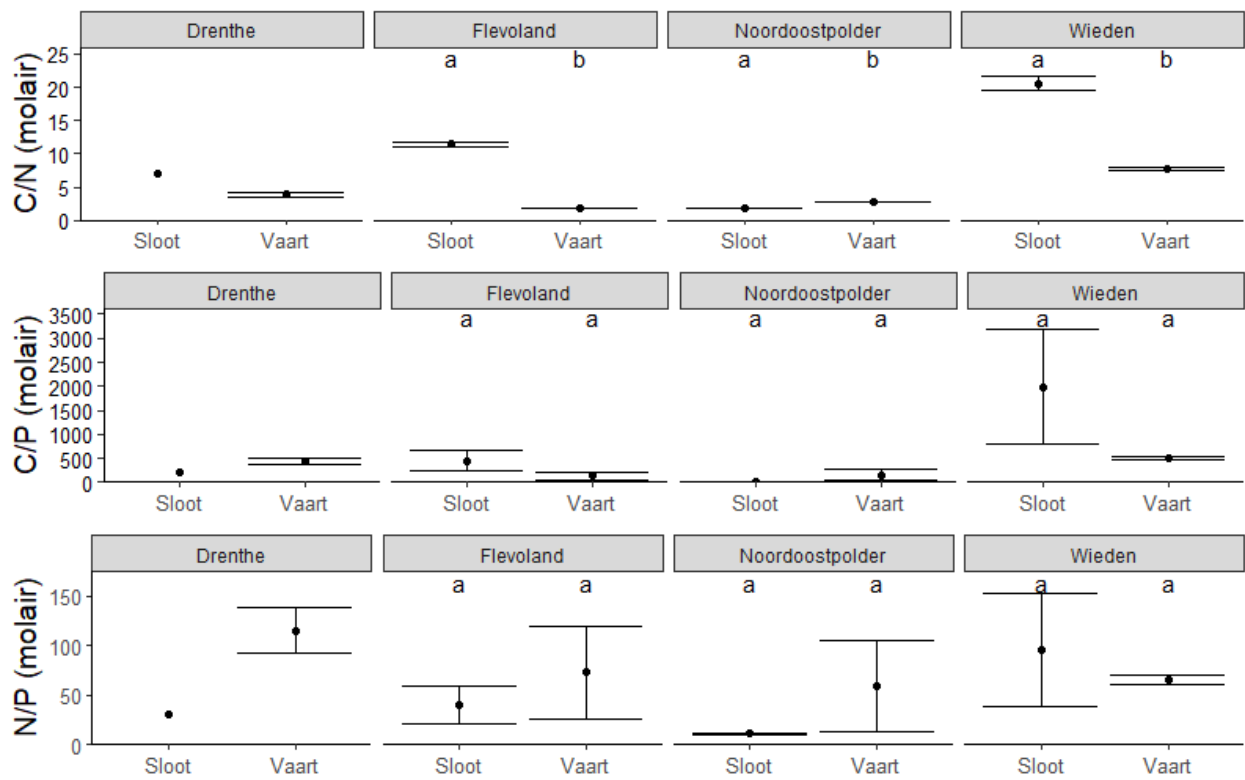
Figuur B2.3 Gemeten C/N-ratio's op meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland.



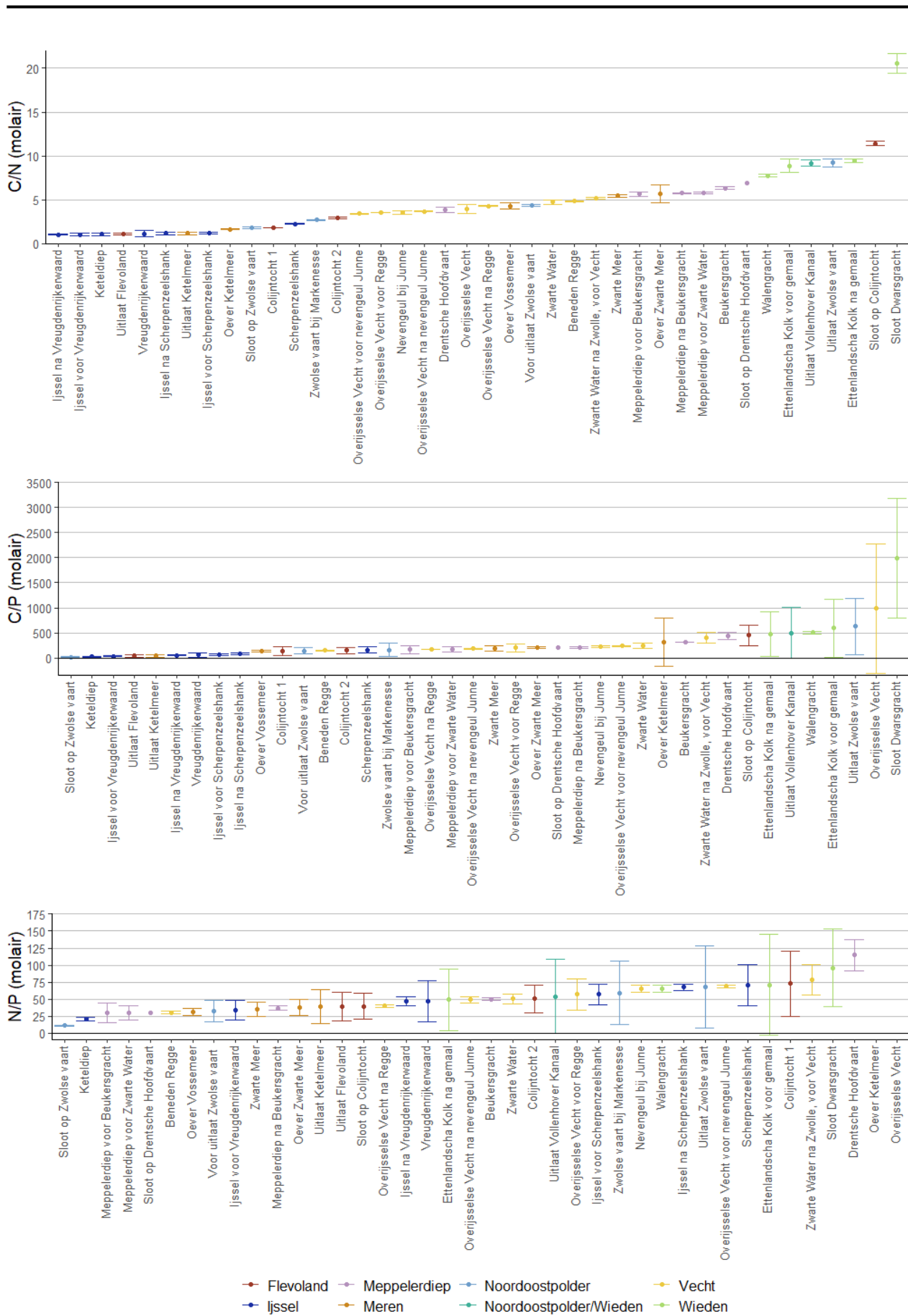
Figuur B2.4 Gemeten C/P-ratio's op meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland.



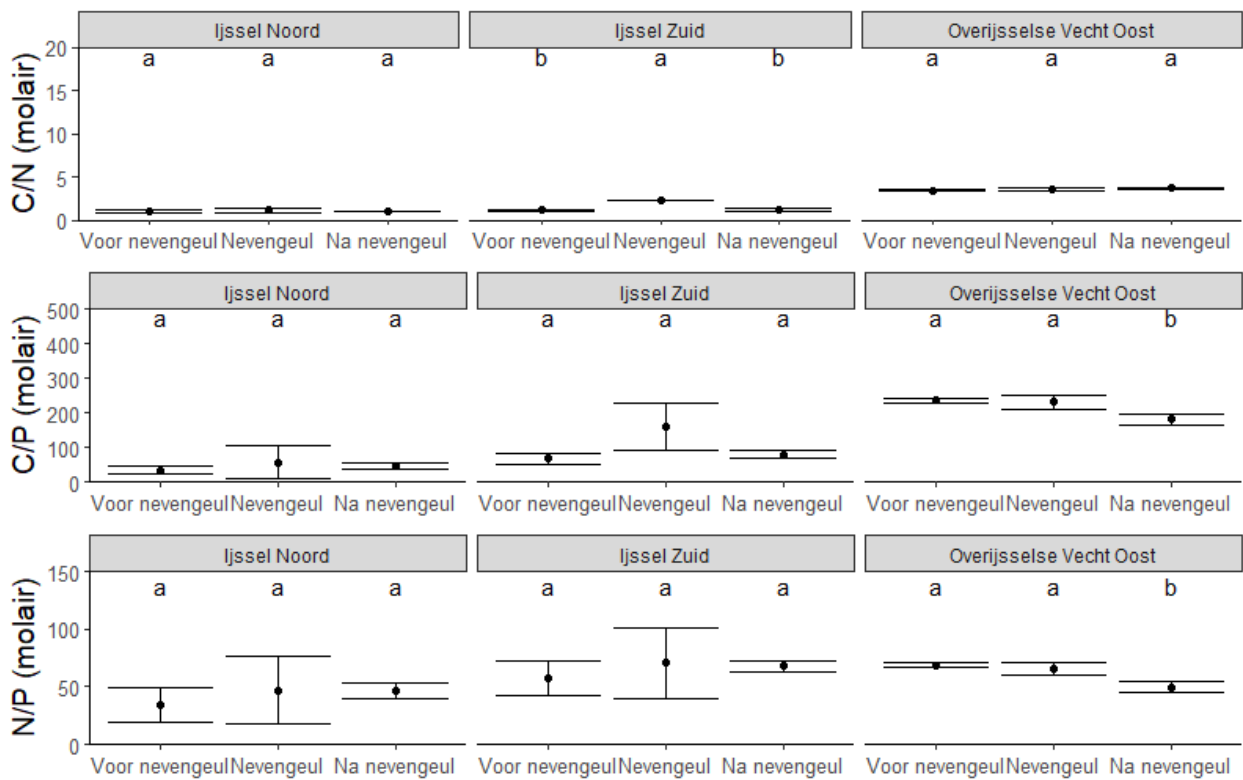
Figuur B2.5 Gemeten N/P-ratio's op meetpunten in de IJssel-Vechtdelta en het regionale watersysteem in het achterland.



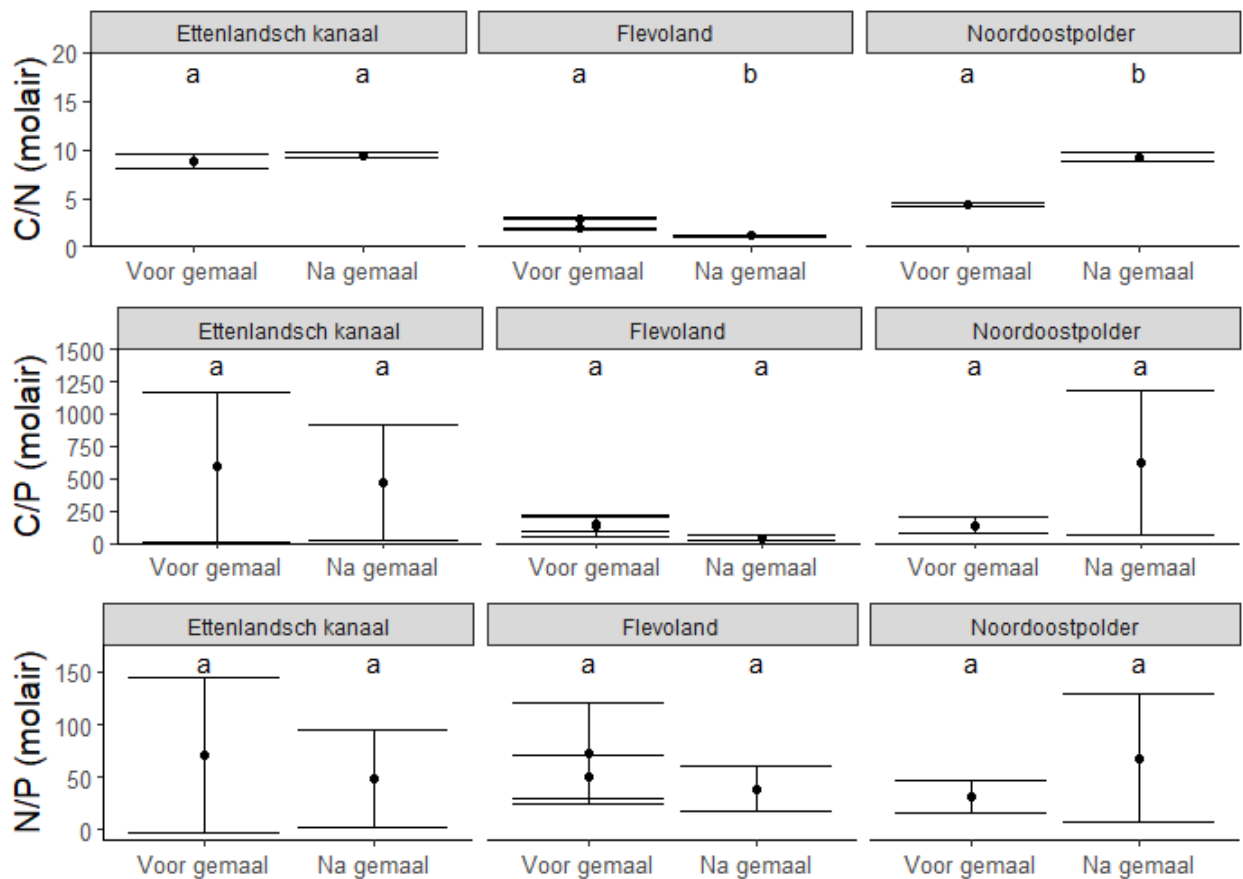
Figuur B2.6 Gemeten C/N-, C/P- en N/P-ratio's voor alle meetpunten, met kleurcodering per aanvoerroute. Voor N/P vallen twee waarden buiten het afgebeelde bereik, namelijk voor de meetpunten Oever Ketelmeer (185 ± 282) en de Overijsselse Vecht (280 ± 385).



Figuur B2.7 Gemeten C/N-, C/P- en N/P-ratio's voor meetpunten in een sloot en de bijbehorende vaart in het regionale watersysteem. Let op: de assen hebben hier een groter bereik dan in de volgende figuren A.8 en A.9. De slootlocatie in Drenthe is gebaseerd op slechts twee replica's; er is daarom geen verschil in testresultaat gegeven.



Figuur B2.8 Gemeten C/N-, C/P- en N/P-ratio's voor meetpunten bovenstrooms in de hoofdgeul van de rivier, in een aangetakte nevengeul en benedenstrooms in de hoofdloop.



Figuur B2.9 Gemeten C/N-, C/P- en N/P-ratio's voor meetpunten voor en na een gemaal op de overgang tussen het regionale watersysteem en de grote wateren. In Flevoland zijn twee vaarten voor het gemaal bemonsterd.




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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3214
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 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 3214
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 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.

