

Stoffentransport Oostvaardersoevers



Stoffentransport Oostvaardersoevers

Auteur(s)

Ruurd Noordhuis

Arie Vonk

Stoffentransport Oostvaardersoevers

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Contactpersoon	Janneke Lourens (GPO), Anna de Kluijver (RVO)
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Oostvaardersplassen, Markermeer, Oostvaardersoevers, Blocq van Kuffeler, fosfaat, organisch stof, koolstof, luwtegebied

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	28-09-2022
Projectnummer	11208073-005
Document ID	11208073-005-ZWS-0001
Pagina's	86
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Ruurd Noordhuis	Deltares	
Arie Vonk	Universiteit van Amsterdam	

Samenvatting

Door compartimentering en regulering van onze wateren is de interactie tussen onze meren en hun achterland zeer beperkt. Dit heeft negatieve gevolgen voor de kwaliteit van zowel de moerassen als de meren; moerassen verlanden als gevolg van fixatie van het waterpeil en de aanvoer van voedingsstoffen van de moerassen naar de meren is sterk beperkt. Dat geldt in het bijzonder voor koolstof van terrestrische oorsprong, dat in natuurlijke situaties in opgeloste of particuliere vorm (fijn verdeeld of in de vorm van bladeren, takken en ander dood organisch materiaal) naar de rivieren en meren wordt afgevoerd. Het Markermeer kampt bovendien door de kleibodem met een hoge sliblast. Door de geringe diepte wordt dit slib gemakkelijk opgewerveld. Het bevat ijzer, waardoor het resterende fosfaat wordt gebonden. Samen met organisch stof sedimenteert dat in diepe putten en geulen, waardoor het aan het voedselweb wordt onttrokken.

Vanwege het gebrek aan functionele land-water overgangen worden buitendijks nieuwe moerassen aangelegd, maar vanwege het gefixeerde peil zijn de mogelijkheden voor uitwisseling toch beperkt. Een andere optie is gebruik te maken van binnendijkse moerassen, zoals de Oostvaardersplassen. Dit rapport analyseert de mogelijkheden om stoffen uit dit gebied te gebruiken voor verbetering van productie en diversiteit in het Markermeer.

De voorgenomen toename van peilfluctuatie in de Oostvaardersplassen biedt de mogelijkheid grotere hoeveelheden stoffen naar het meer af te voeren. De meest wenselijke van die stoffen vanuit het Markermeer gezien is organisch koolstof van “terrestrische” oorsprong (uit het moeras), in opgeloste vorm (DOC; Dissolved Organic Carbon) en in vaste vorm (POC, Particulate Organic Carbon), variërend van fijne deeltjes tot bladeren en takken. Met dergelijk materiaal kan het voedselweb van het Markermeer worden verrijkt, omdat elke fractie weer andere organismen voedt, zodat de algehele diversiteit en productie kan toenemen. In de OVP zijn de concentraties organisch stof, en mogelijk ook de kwaliteit, hoger dan in de Hoge en de Lage Vaart. Een zorgpunt is het feit dat de toevoer moet plaatsvinden via een kleine opening in de dijk zonder dat te veel verliezen optreden door sedimentatie en accumulatie onderweg. Een korte route, via een nieuwe verbinding vanuit de grote plassen (“Westvaarders”) betekent relatief weinig verlies. Naast organisch stof is ook fosfaat welkom, omdat het in combinatie met de aanvoer van kwalitatief goed organisch stof kan zorgen voor een hoge voedingswaarde van het zwevende stof. Stikstof is nog steeds in overmaat in het Markermeer aanwezig en extra toevoer is niet wenselijk.

Vanwege de snelle verdunning in het open water van het Markermeer en de interne processen die fosfaat en organisch stof afvoeren naar geulen en putten heeft toevoer van deze stoffen vanuit Flevoland alleen zin als ze worden begeleid met een buitendijks luwtegebied. De bijdrage aan diversiteit en productie in het Markermeer ecosysteem wordt dan geleverd voordat de toegevoerde stoffen in diep water verdwijnen. Daarbij kan het debiet van de waterafvoer worden gebruikt voor het bereiken van een verblijftijd en enkele dagen (winter) tot weken (zomer), waardoor de voedingsstoffen in voldoende snelheid worden aangevoerd voor de opbouw van een gevarieerde levensgemeenschap met filteraars zoals mosselen. Deze filteraars dragen vervolgens bij aan helder water voor waterplanten. De beschikbare debieten kunnen in combinatie met de genoemde verblijftijd en de benodigde diepte voor waterplanten worden gebruikt om een luwtegebied te ontwerpen en te dimensioneren.

Dit is goed mogelijk voor een luwtegebied in aansluiting op de Blocq van Kuffeler op basis van de huidige afvoerdebieten. Dan moet echter organisch koolstof uit de OVP kunnen worden aangevoerd zonder al te veel verliezen onderweg (sedimentatie in de ecozone). Niet alleen zijn hier de concentraties aanzienlijk hoger, waarschijnlijk is ook de kwaliteit (samenstelling, diversiteit) beter. Buiten de Blocq van Kuffeler bevindt zich al een baai, die dan inclusief huidig gebruik in het plan moet worden opgenomen.

Een variant met een Westvaardersverbinding met een eigen luwtegebied is ook mogelijk, maar dan is voor een beperkte verblijftijd in dat luwtegebied waarschijnlijk extra doorspoeling van de OVP met water uit het Markermeer noodzakelijk om in de zomer voldoende debiet te kunnen garanderen. In de huidige situatie is de concentratie organisch koolstof aanzienlijk hoger dan in de Hoge en Lage Vaart, en dit materiaal kan door de kortere route waarschijnlijk met minder verliezen naar de Markermeerszijde van de dijk worden gemalen. Ook fosfaat wordt dan waarschijnlijk in voldoende mate aangevoerd. Weliswaar is het fosfaat hier grotendeels in algen opgenomen, maar de totale concentraties zijn zoveel hoger dan in de vaarten dat in elk geval in delen van het gebied (Kottertocht, Hoekplas) ook de concentratie van opgelost fosfaat hoger is. Over de invloed van doorspoeling met Markermeerwater op de stofstromen vanuit de OVP zijn echter nog veel vragen, bijvoorbeeld over de effecten van frequentie van droogval en de rol van het bodemtype in relatie tot de route die het water neemt.

De combinatie van organisch stof uit de OVP, opgelost fosfaat uit de OVP of uit de vaarten en de maaldebieten biedt de mogelijkheid om een ecologisch divers en hoogproductief luwtegebied aan Markermeerszijde in te richten. In dit gebied kunnen de toegevoerde stoffen worden benut ten behoeve van het voedselweb van het Markermeer voordat ze door interne processen in dieper water verdwijnen. Dit heeft meerwaarde ten opzichte van toevoer van stoffen vanuit moerassen in het meer (zoals Marker Wadden) waar de waterbeweging beperkt is. De locatiekeuze voor zo'n luwtegebied is afhankelijk van nadere berekeningen van de te realiseren debieten en stofstromen.

Puntsgewijs zijn de belangrijkste bevindingen op basis van deze studie als volgt:

- Toevoer van organisch koolstof uit de OVP, in een combinatie van opgelost en fijn en groffer particulier organisch stof, heeft een duidelijke meerwaarde voor het Markermeer, mits het kan worden benut in buitendijks luwtegebied, voordat de stoffen in dieper water verdwijnen.
- De bijdrage is het grootst als tevens (opgelost) fosfaat wordt toegevoerd dat in het luwe water niet direct onderhevig is aan binding aan ijzer in opgewerveld sediment.
- Een verblijftijd in het luwtegebied van ten hoogste een paar weken in het groeiseizoen maakt via de continue voedselaanvoer voor bijvoorbeeld filteraars een veel grotere productie mogelijk dan in de rest van het Markermeer.
- Via die verblijftijd, de beschikbare afvoerdebieten en de benodigde diepte voor de groei van waterplanten kan de schaal van een effectief luwtegebied worden berekend.
- De locatiekeuze voor het luwtegebied hangt af van meerdere factoren, waaronder de te realiseren debieten, de verliezen van organisch koolstof tijdens transport naar het Markermeer, de inpasbaarheid van de huidige baai buiten de Blocq van Kuffeler en de effecten doorspoeling van de OVP met Markermeerwater op de stofstromen vanuit het moeras.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Conceptuele basis: de rol van dynamiek en moerassen voor het functioneren van de grote meren	9
1.1.1	Dynamiek en transport	10
1.1.2	De verschillende koolstof fracties	11
2	Gestelde vragen en werkwijze	12
2.1	Achtergrond	12
2.2	Gestelde vragen	12
2.3	Opzet van het project	14
3	Selectie van stoffen	15
3.1	Fosfaat	15
3.2	Stikstof	16
3.3	Koolstof	18
3.4	Zwavel	21
3.5	IJzer	21
3.6	Conclusie t.a.v. vraag 1	21
4	Potentiële bijdrage Flevoland: Data analyse	22
4.1	Beschikbare data en meetlocaties	22
4.2	Verschillen tussen wateren	23
4.2.1	Fosfaat	24
4.2.2	Stikstof	27
4.2.3	Zwavel	28
4.2.4	IJzer	28
4.2.5	Koolstof	29
4.3	Seizoensaspecten maaldebiet en concentraties	30
4.3.1	Bijdrage Zuiderzeeland aan waterbalans Markermeer	30
4.3.2	Verdeling bronnen Zuiderzeeland	32
4.4	Vrachten	33
4.4.1	Fosfaat	33
4.4.2	Stikstof	34
4.4.3	Zwavel	35
4.4.4	Koolstof	35
4.5	Kanttelingen bij de vrachtberekeningen	36
4.6	Bijdragen aan de Markermeerbalans	37
4.7	Conclusies t.a.v. vraag 2; de data analyse	39

5	Effecten Oostvaardersplassen	41
5.1	Invloed waterpeildynamiek op de waterkwaliteit	41
5.1.1	Dynamisch waterpeil en bodemprocessen	42
5.1.2	Invloed op de waterkwaliteit in de OVP	44
5.2	Effect van verandering van dynamiek (feedback) op Markermeer	45
5.2.1	Belang van feedbacks vanuit moerassen	45
5.2.2	Betekenis van koolstof voor het voedselweb	46
5.2.3	Pilot metingen organisch koolstof uitwisseling	47
5.2.4	Recente ervaringen Marker Wadden	48
5.3	Conclusies t.a.v. vraag 3; invloed van meer peildynamiek OVP	49
6	Combinatie water OVP en water uit de vaarten	50
6.1	Fosfaat	50
6.2	Koolstof	50
6.3	Nitraat en sulfaat	51
6.4	Zoutconcentraties	52
6.5	Waterkwantiteit en toegevoerde stoffen	53
6.5.1	Maaldebieten in vergelijking met andere bronnen	53
6.5.2	Rivierinvloed, verblijftijd en productie	54
6.5.3	Relatie tussen mosselgroei en luwte in het Markermeer	56
6.5.4	Seizoensaspecten	57
6.6	Conclusies t.a.v. vraag 4	57
7	Transport water en stoffen Markermeer	59
7.1	Verplaatsing zwevend stof; Slibpluimen werkzaamheden	59
7.2	Transport water in het Markermeer; Tracerstudie	60
7.2.1	Wind en stroming	60
7.2.2	Verspreiding water vanuit de Blocq van Kuffeler	62
7.3	Interne oligotrofiering	63
7.4	Sedimentatie in putten	63
7.5	Dimensionering van begeleidende structuren	66
7.5.1	Verblijftijd	66
7.5.2	Strijklengte en bodemschuifspanning	68
7.5.3	Bestaande luwtegebieden in het Markermeer	68
7.5.4	Bestaande baai voor de Blocq van Kuffeler	69
7.5.5	Luwte versus dynamiek	70
7.5.6	Oriëntatie	71
7.6	Conclusies transport stoffen en begeleiding in het Markermeer	72
8	Effecten van Markermeerwater in de Oostvaardersplassen	74
8.1.1	Stoffenbalans voor de Oostvaardersplassen	74
8.2	Conclusies effecten Oostvaardersplassen	75
9	Potentiële bijdrage op de schaal van het Markermeer	76
9.1	Bijdrage van toevoer van stoffen	76

9.2	Bijdrage van ondervertegenwoordigd habitat	77
9.3	Bijdrage via kwaliteit van habitat	77
10	Antwoorden op een rij	78
10.1	Vraag 1; Welke stoffen zijn relevant?	78
10.2	Vraag 2; Wat kan Flevoland voor het Markermeer betekenen?	78
10.3	Vraag 3: hoe veranderen de fluxen van stoffen door grotere peilfluctuaties in de OVP?	79
10.4	Vraag 4: Moeten we het water uit de OVP en het water uit de vaarten apart houden?	80
10.5	Vraag 5: Hoe moeten we het water uit Flevoland in het Markermeer begeleiden?	80
10.6	Vraag 6: Wat zijn de gevolgen voor doorstroming met Markermeerwater voor de OVP?	80
10.7	Vraag 7: Welke bijdrage levert een luwtegebied op de schaal van het Markermeer?	81
11	Discussie en aanbevelingen	82
12	Referenties	84

1 Inleiding

In de grote wateren in Nederland is inmiddels enige verbetering zichtbaar op het gebied van waterkwaliteit en ecologie. Anders dan vaak nog het geval is in de regionale wateren, zijn de fosfaatconcentraties in de rijntakken inmiddels terug naar min of meer natuurlijke waarden. De helderheid van het water is op veel plaatsen toegenomen en dat geldt ook voor de waterplanten.

Maar de diversiteit aan habitats en soorten is vaak nog laag door de kunstmatige inrichting en het strakke water(peil)beheer. Daardoor hebben de ecosystemen van de grote wateren weinig weerstand tegen toenemende druk van gebruik of van klimaatverandering.

Daarom zijn de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) in 2018 gestart met de Programmatisch Aanpak Grote Wateren (PAGW). Doel is de ecologische waterkwaliteit te verbeteren en de natuur te versterken. De overheid werkt met het PAGW aan toekomstbestendige grote wateren waar hoogwaardige natuur goed samengaat met een krachtige economie. Er zijn maatregelen nodig om in deze grote wateren voor ecologisch systeemherstel te zorgen. Met de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) wordt beoogd de Nederlandse grote wateren meer robuust en toekomstbestendig te maken.

Binnen dit programma worden momenteel 33 maatregelen uitgewerkt, verspreid over de grote wateren. Dit zijn grote systeemgrepen om de waterkwaliteit te verbeteren, ontbrekende (of verloren gegane) ecotopen terug te brengen en natuurlijke verbindingen tussen gebieden te herstellen. Een van die maatregelen is het project Oostvaardersoever.

Project Oostvaardersoever is gericht op het versterken van de verbinding tussen de Oostvaardersplassen en het Markermeer, als bijdrage aan de beantwoording van de ecologische opgave van het meer.

In het Markermeer zijn ondiepten, moerassen en geleidelijke land-water overgangen sterk ondervertegenwoordigd. Buitendijks is de realisatie van zulke overgangen van goede kwaliteit lastig door het tegennatuurlijke en gefixeerde peilverloop. Daardoor dragen voedingsstoffen uit oevermoerassen niet bij aan de productiviteit van het systeem, dat daardoor verarmt. Een mogelijkheid die wordt verkend in het project Oostvaardersoever is het stimuleren van stofstromen uit binnendijkse moerassen zoals de Oostvaardersplassen, waar een dynamisch peil wel mogelijk is.

1.1 Conceptuele basis: de rol van dynamiek en moerassen voor het functioneren van de grote meren

De chemische toestand van de wateren van het IJsselmeergebied in zijn geheel, is sinds de jaren tachtig verbeterd. Dit is het gevolg van het waterkwaliteitsbeleid en van redelijk effectieve wetgeving in Nederland en in de bovenstroomse landen. Deze verbetering lijkt weinig invloed te hebben op het ecosysteem van het IJsselmeergebied. Sinds de afname van de overmatige aanvoer van fosfaat naar het IJsselmeergebied komen andere tekortkomingen m.b.t. het ecologisch functioneren van de meren sterker naar voren. Door die beperkingen lijken de beschikbare voedingsstoffen (fosfaat) niet goed te worden benut, althans niet op een manier die resulteert in een duurzaam ecologisch systeem met de gewenste natuurwaarden.

Een van de problemen is dat fosfaat uit de waterkolom verdwijnt. De aanvoer is weliswaar sterk afgenomen, maar is niet lager dan naar schatting van nature wordt aangevoerd. Een recente studie suggereert echter dat de laatste jaren een zeer groot deel van het fosfaat dat van buiten wordt aangevoerd in het waterlichaam van Markermeer-IJmeer en zuidelijke Randmeren accumuleert in diepe putten, waardoor het aan circulatie en het productieproces wordt onttrokken (Noordhuis et al. 2022).

Een andere belangrijke tekortkoming is het nagenoeg ontbreken van aanvoer van organisch (kool)stof. Dit is een gevolg van veranderingen in het stroomgebied en compartimentering, inrichting en peilfixatie in de meren zelf. Aanvoer van particulier koolstof vanuit de rivieren is zeer sterk afgenomen. Dat komt met name door afname van fytoplankton, maar waarschijnlijk speelt verstuwung en waterzuivering in het stroomgebied ook een rol bij afname van andere fracties. In het gebied zelf lijkt ook organisch stof bovendien in putten te accumuleren.

1.1.1 Dynamiek en transport

Voor het functioneren van de grote meren is een functionele verbintenis met het achterland cruciaal (Verdonschot et al. 2021). Functies die daarbij kunnen worden onderscheiden zijn de beïnvloeding van systeemrandvoorwaarden (temperatuur, turbulentie), bijdrage aan water- en stoffenbalans, aanvoer van structuur (sediment, organisch afval, takken e.d.) en van organismen (cf. 5-S-model voor robuuste meer-systemen; Verdonschot 2020). Deze invloed is het grootst in het mondingsgebied van rivieren en andere aanvoerende wateren, waardoor binnen de meren van daar uit ruimtelijke gradiënten in systeemkenmerken ontstaan.

In het IJsselmeergebied is dit minder duidelijk geworden door de compartimentering, maar door vergelijking van de verschillende wateren in relatie tot de rivieraanvoer wordt het patroon weer duidelijk; hogere concentraties aan fosfaat in de meren rond de IJssel- en Eemmondung. Mosselen bereiken hier hogere dichtheden en schelpgroottes (zie paragraaf 6.5.2). Organisch stof is tegenwoordig niet op die manier verdeeld; in de IJssel en rond de monding zijn de concentraties laag (zie figuur 3.5). Opvallend is dat de mosselen in het Eemmeer, waar de DOC concentraties bijna drie keer zo hoog zijn, nog groter zijn dan in het Ketelmeer.

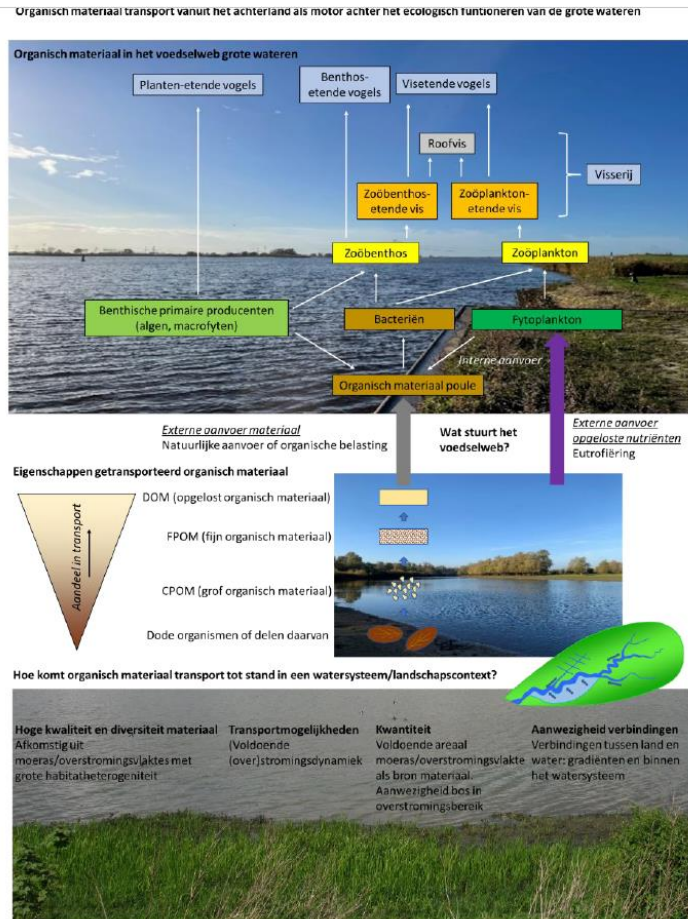
Gezien vanuit de Eem is er eenmaal voorbij het IJmeer (en waarschijnlijk al voorbij de zandwinputten van het Gooimeer) in het Markermeer van dergelijke gradiënten geen sprake meer. De grootte van het invloedgebied van een rivier binnen een groot meer is natuurlijk op verschillende manieren uit te drukken. Belangrijk is de ruimtelijke verdeling van de hydrodynamiek. Een optie is om het bereik van de rivier uit te drukken als het gebied waar de lokale verblijftijd relatief kort is. Wateren met een verblijftijd van minder dan ongeveer een maand hebben een andere dynamiek; opgeloste nutriënten worden door de algen niet opgehaald omdat andere factoren de groei beperken (mossselfiltratie, concurrerende waterplanten) en nalevering uit de bodem levert geen relevante bijdrage meer aan de fosfaatbalans (Hin et al. 2010).

Voor de meren zijn dus, gegeven de huidige nutriëntbelasting, de volgende drie factoren van belang:

- 1 Een substantiële bron van organisch stof (zoals de OVP)
- 2 Dynamiek om dit vrij te maken en zonder verlies te transporteren (beperken van verlies door bezinking in de Ecozone?)
- 3 Debiet (zoals maaldebiet Blocq van Kuffeler) en een ontvangstgebied (luwtezone), gedimensioneerd op een verblijftijd van enkele dagen tot weken.

1.1.2 De verschillende koolstoffracties

een van de grootste uitdagingen ligt in de tweede factor: het vrijmaken van voldoende grote fluxen vanuit moerassen via dynamisch peil en het transport daarvan door een kleine opening met zo weinig mogelijk verlies. Hoe grover de fractie organisch stof, hoe groter die uitdaging wordt. Daardoor is met name de aanvoer van particulier organisch materiaal naar de meren ondervetegenwoordigd, in de reeks fijn organisch materiaal (FPOM = Fine Particulate Organic Matter), grof organisch materiaal (CPOM = Coarse Particulate Organic Matter) en (delen van) dode organismen (bijv. bladeren, stengels en takken). Deze principes zijn weergegeven in figuur 1.1 en uitgewerkt in Verdonschot et al. 2021.



Figuur 1.1. Illustratie uit Verdonschot et al. 2021 van de verschillende fracties organisch materiaal/koolstof en hun aandeel in transport.

De makkelijkst transporteerbare en momenteel (dus) grootste koolstoffractie, is het opgelost organisch koolstof DOC (Dissolved Organic Carbon). De concentraties daarvan zijn in de loop de jaren nauwelijks afgenomen. Deze fractie komt in de meren vooral ten goede aan de productie van (cyano)bacteriën, maar slechts weinig van dit koolstof wordt verder doorgegeven aan de rest van het voedselweb. Volgens Cole et al. (2006) levert deze bron minder dan 2% van het koolstof voor de productie van zoöplankton.

Terrestrisch POC draagt daarentegen wel degelijk significant bij aan de productie van zoöplankton (33-73%; Cole et al. 2006), en ook van benthische evertebraten, van waar het koolstof wordt doorgegeven aan pelagische evertebraten en vis (20-50%). De grofste fractie ('terrestrial prey', oftewel in het water gevallen terrestrische dieren) is dan een additionele keten die bij sommige vissen meer dan 20% van de koolstof levert (Cole et al. 2006).

2 Gestelde vragen en werkwijze

2.1 Achtergrond

Het idee van versterking van het ecosysteem van het Markermeer door middel van het realiseren van ondervertegenwoordigd habitat en het versterken van verbindingen met het achterland stamt al van voor de start van PAGW. Oostvaardersoever was een onderdeel van de voorstellen voor het realiseren van een TBES, een Toekomstbestendig Ecologisch Systeem met betrekking tot het Markermeer. Hierin is dit idee uitgewerkt in samenhang met de ontwikkeling van (een voorloper van) de Marker Wadden en ontwikkelingen aan de westoever van het Markermeer (Oeverdijk). Samenhang tussen Oostvaardersplassen, Marker Wadden en Trintelzand heeft inmiddels vorm gekregen in het kader van het recent gelanceerde Nationaal Park Nieuw Land.

Dit rapport gaat vooral over de mogelijkheden om stromen van voedingsstoffen op gang te krijgen vanuit de Oostvaardersplassen en omliggende gebieden en wateren in de Flevopolders naar het Markermeer, en over de begeleiding van die stoffen buitendijks ten behoeve van optimaal gebruik. Onderzoek in het Markermeer (NMIJ, ANT, KIMA) leert dat deze stoffen (m.n. fosfaat en koolstof) schaars zijn in het meer dan wel slecht in circulatie blijven door inrichting en peilbeheer en door de interne processen en de hoge windgestuurde slibdynamiek. Deze ervaringen zijn aanleiding geweest om te veronderstellen dat de toevoer van voedingsstoffen uit Flevoland alleen zin heeft als het toegevoerde water in het Markermeer wordt begeleid door een inrichtingsplan met een oeverzone waarin de voedingsstoffen optimaal worden benut voordat ze het open water in stromen.

De verkenning naar de mogelijkheden voor stofstromen is gekoppeld aan reset van de Oostvaardersplassen die inmiddels gaande is om de moerasvegetatie te vitaliseren en de toename van de peildynamiek die hier is voorzien. Daarbij is sprake van een verdubbeling van de huidige peilamplitude van 25 cm, met uitschieters tot 70 cm.

2.2 Gestelde vragen

Door de werkgroep 'Stoffentransport' van het project Oostvaardersoever zijn zeven vragen geformuleerd om onzekerheden en onbekendheden met betrekking tot het stoffentransport, het functioneren van het luwtegebied en de bijdrage aan het uiteindelijke doel van het project zoveel mogelijk weg te nemen. De antwoorden dienen als uitgangspunten voor de verdere planuitwerking m.b.t. ontwerp en inrichting en ontwikkeling, monitoring en beheer.

Deze vragen zijn als volgt:

- 1 **Welke stoffen** zou je idealiter willen ontvangen in het luwtegebied in het Markermeer om de functie van dit luwtegebied te kunnen realiseren? Het gaat met name om stoffen die kunnen zorgdragen voor een hoge productiviteit van het voedselweb binnen het luwtegebied, zoals C, N, P en S en die passen in het natuurlijk functioneren van de litorale zone.
- 2 In welke mate kan de kwaliteit van het water dat via de Oostvaardersplassen en de Blocq van Kuffeler (i.e. Hoge en Lage Vaart) wordt aangeboden **bijdragen aan die "ideale" waterkwaliteit** (zie vraag 1)? Heeft de inrichting van het luwtegebied invloed op hoe en of het water bijdraagt aan het doel.

- 3 Hoe beïnvloedt een **grotere waterpeildynamiek in de OVP** (nu gemiddeld 25 cm peilverschil tussen winter en eind zomer, wordt gemiddeld 50 cm met uitschieters naar 70-75 cm in droge jaren), de waterkwaliteit van de Oostvaardersplassen en daarmee de kwaliteit van het water dat naar het luwtegebied wordt verplaatst? Wat is het effect daarvan op het functioneren van het luwtegebied (productief voedselweb)?
- 4 Heeft het water van de Hoge en Lage Vaart een toegevoegde waarde voor een goed functionerend luwtegebied, en zo ja, hoe kan dat dan het beste gecombineerd worden met het water van de Oostvaardersplassen? **Moeten beide waterstromen in één luwtegebied worden ingelaten?** En zo ja, moeten ze dan op twee verschillende punten in het luwtegebied worden ingelaten (maximaliseren gradiënten) of juist beide op 1 punt? En zo nee, is het dan dus beter om twee aparte luwtegebieden te maken met verschillende voedselwebben en producties (ook vorm van maximaliseren diversiteit)?
- 5 Geef een eerste **inschatting van hoe groot een luwtegebied** in het Markermeer met een hoog productief voedselweb zou kunnen zijn in relatie tot de hoeveelheid stoffen die vanuit de Oostvaardersplassen en de Blocq van Kuffeler kunnen worden aangevoerd? Wat zijn randvoorwaarden/contouren? Hoe maken en maximaliseren we gradiënten in nutriënten /diversiteit?
- 6 Wat betekent het **uitwisselen van water** (inlaten van voedselarm Markermeer-water in de Oostvaarderplassen en uitlaten van voedselrijk Oostvaardersplassen-water naar het luwtegebied in het Markermeer) in combinatie met meer waterpeildynamiek in de Oostvaardersplassen voor de stoffenhuishouding en kwaliteit in de Oostvaardersplassen zelf en daarmee voor het functioneren van de Oostvaardersplassen als een Natura 2000 vogelreservaat? De Oostvaardersplassen is een zeer voedselrijk gebied, maar zou het doorspoelen van de Oostvaardersplassen met voedselarm Markermeer-water uiteindelijk kunnen leiden tot een lager productief systeem?
- 7 Wat is de **meerwaarde** van de uitwisseling van voedselrijk water uit de Oostvaardersplassen en de Hoge en Lage Vaart naar een luwtegebied in het Markermeer om een hoog productief voedselweb te creëren, ten opzichte van onderwaterlandschappen en land-water-overgangen in het Markermeer zelf waar dit ontbreekt omdat er geen voedselrijk achterland is (bijv. Trintelzand, Markerwadden)?

Deze zeven vragen worden in dit rapport elk in een eigen hoofdstuk behandeld:

Inhoudelijk:

Hfdst 3 – Vraag 1: Welke stoffen willen we?

Hfdst 4 – Vraag 2: Wat kan Flevoland betekenen voor het Markermeer?

Hfdst 5 – Vraag 3: Hoe verandert dat o.i.v. nieuw peil OVP?

En meer praktisch:

Hfdst 6 – Vraag 4: Moeten we water OVP en vaarten apart houden?

Hfdst 7 – Vraag 5: Hoe moeten we dit water in het Markermeer begeleiden?

Hfdst 8 – Vraag 6: Wat zijn de gevolgen van doorstroming voor de OVP?

Hfdst 9 – Vraag 7: Hoe zinvol is de potentiële bijdrage op de schaal van het Markermeer?

2.3 Opzet van het project

In het onderhavige project staat de beantwoording van de in de vorige paragraaf benoemde vragen centraal. Deze beantwoording stoelt op vier peilers;

- 1 Een data analyse van waterkwaliteitsgegevens van Waterschap Zuiderzeeland in combinatie met RWS-MWTL gegevens over het Markermeer en gegevens uit de water- en stoffenbalans van de UvA (Van der Geest et al. 2017, voor water met aanvulling Deltares). Gerapporteerd in hoofdstukken 1 en 2.
- 2 Nieuwe kennis over het functioneren van het Markermeer m.b.t. stroming van water en sediment en de rol van putten, verkregen met behulp van modellering en balansberekening in het kader van de Werkgroep Levend Markermeer (Noordhuis et al. 2022). Vooral gerapporteerd in hoofdstuk 5
- 3 Kennis van de UvA op basis van microcosm studies met sediment uit de OVP (Vonk et al. 2017). Gerapporteerd in hoofdstukken 3 en 6.
- 4 Expertkennis bijeen gebracht op een workshop, gehouden te Almere op 31 mei 2022, met medewerking van Harm van der Geest (UvA), Arie Vonk (UvA), Ralf Verdonshot (WEnR), Gerben van Geest (Deltares), Pascal Boderie (Deltares), Menno Genseberger (Deltares), Perry Cornelissen (SBB), Rosalie Heins (RWS-Midden Nederland), Anna de Kluijver (RVO), Janneke Lourens (GPO), Harry Bouwhuis (Zuiderzeeland), Arjan van der Veen (Gemeente Lelystad), IJsbrand Zwart (SBB), Ton Garritsen (RWS-Midden Nederland) en Sander Houweling (GPO).

In het hierna volgende heeft elke vraag achtereenvolgens zijn eigen hoofdstuk. Een verkorte versie van de vraag is in een box weergegeven onder de titel van het hoofdstuk, en aan het eind van elk hoofdstuk is een paragraaf weergegeven met conclusies uit de analyses per vraag. Bevindingen uit de workshop zijn in boxen weergegeven waar relevant als ondersteuning van de beantwoording van de zeven vragen.

Niet alle vragen kunnen met behulp van de huidige kennis volledig worden beantwoord. Waar dit niet mogelijk is worden suggesties gedaan voor verdere kennisontwikkeling.

3 Selectie van stoffen

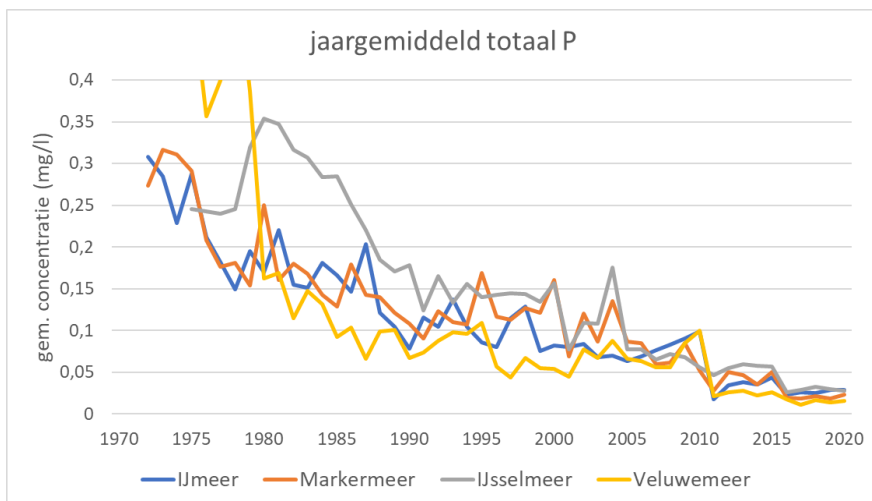
Vraag 1: Welke stoffen zijn relevant?

De eerste vraag luidt welke stoffen uit de binnendijkse wateren van Waterschap Zuiderzeeland een bijdrage zouden kunnen leveren aan de productiviteit en diversiteit van het Markermeer, of in het bijzonder aan het functioneren van een daartoe in te richten luwtegebied aan de Markermeerszijde van de Oostvaardersdijk, en welke stoffen die productiviteit kunnen beperken.

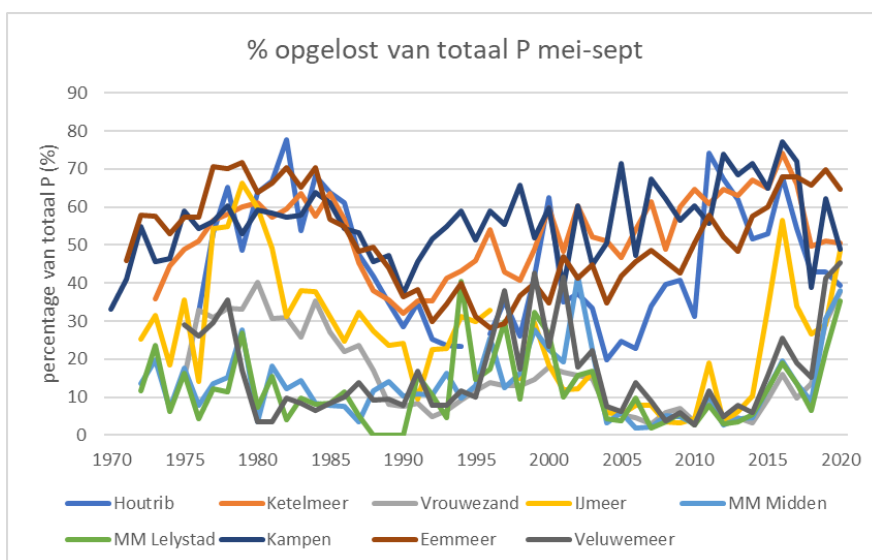
De keuze van de parameters is vooral geïnspireerd door de productiviteit van de betrokken systemen en de diversiteit van het voedselweb, uiteindelijk met name gericht op vis en vogels. De uitwerking met betrekking tot inrichting aan Markermeerszijde is gericht op verbetering van het voedselweb en diversiteit aan habitats en soorten. Aan de basis hiervan staan de nutriënten fosfaat, stikstof en koolstof, en indirect met name zwavel en ijzer.

3.1 Fosfaat

De aanvoer van fosfaat naar het Markermeer is fors gedaald sinds de jaren 70, de concentraties in de waterkolom eveneens (figuur 3.1). Sinds 2000 is de aanvoer niet zo sterk meer gedaald, de concentratie wel. Dit suggereert een toenemende rol van interne processen in de verdere afname. Dat is ook in het IJsselmeer en in de Veluwerandmeren het geval, d.w.z. in alle meren met een lange verblijftijd (enkele maanden of meer). Omstreeks 2010 zijn de concentraties totaal P in deze meren onder de KRW-GEP van 0,07 mg/l gedaald en de laatste paar jaar liggen ze zelfs rond de 0,03 mg/l. Opgelost fosfaat is nauwelijks beschikbaar, hoewel het percentage opgelost van totaal fosfaat sinds 2015 weer toeneemt. Deze uitputting van opgelost fosfaat is in het Markermeer nog sterker dan in de andere meren (figuur 3.2). De concentraties in de bodem waren hier ook laag in vergelijking met andere delen van het IJsselmeergebied en zijn verder afgenomen. De aanvoer is niet onnatuurlijk laag, maar het resterende fosfaat lijkt niet goed gecirculeerd te worden. Waarschijnlijk ligt dit aan een proces van “interne oligotrofiëring”, waarbij opgelost fosfaat wordt gebonden aan ijzer in door de wind gesuspendeerd sediment. Het is daarmee dus onderhevig aan suspensie en sedimentatie processen en aan windgestuurd transport (zie hoofdstuk 7). Een groot deel lijkt op deze manier in de wintermaanden in diepe putten te verdwijnen. Aanvullend fosfaat is daarom op dit moment welkom, als het kan worden gebruikt voordat het in de diepere delen van het meer sedimenteert dan wel in circulatie kan worden gehouden en door kan gaan naar de hogere lagen van het voedselweb. Daarvoor lijkt begeiding in een luwtegebied geschikt.



Figuur 3.1. Jaargemiddelde concentraties totaal fosfaat op de meetlocaties IJmeer Pampus, Markermeer Midden, IJsselmeer Vrouwezand en Veluwemeer Midden. De KRW GEP is 07 mg/l.



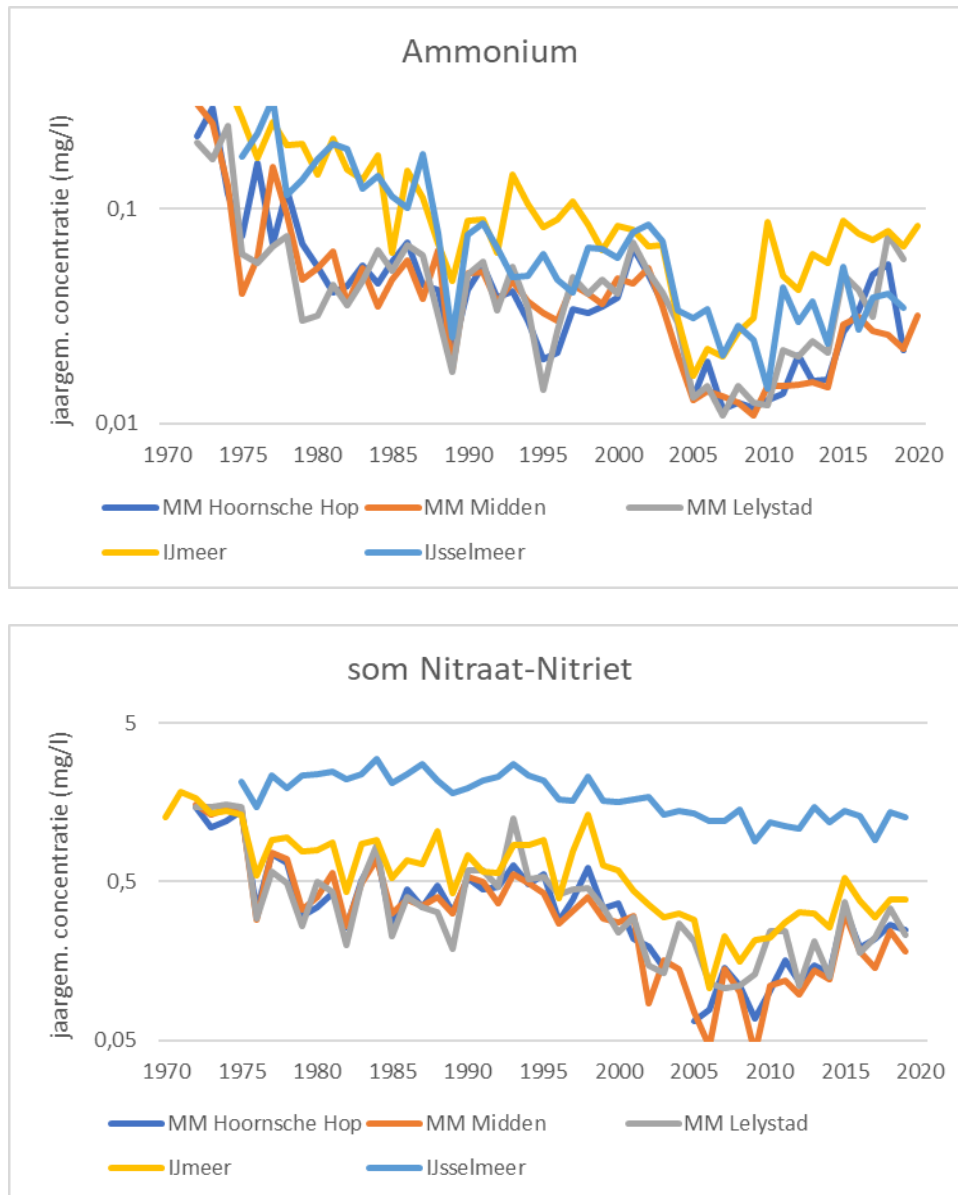
Figuur 3.2. Gemiddeld percentage opgelost fosfaat van totaal fosfaat in de waterkolom per jaar, in de periode mei-september. In de meren met verblijftijden van meer dan een maand (IJsselmeer, Markermeer en Veluwerandmeren) is dit percentage laag, met name in de periode 2004-2014.

3.2 Stikstof

Ook stikstof is in het Markermeer afgenomen, maar minder sterk dan fosfaat. Ook hier zijn de concentraties van de opgeloste fracties relatief laag (bijv. ammonium, figuur 3.3). Net als opgelost fosfaat zijn de opgeloste fracties van stikstof, ammonium en nitraat, in 2004 extra gedaald, maar ook deze concentraties zijn recent weer wat toegenomen.

Stikstof lijkt echter in de regel niet de beperkende factor voor fytoplanktongroei. Een bijzondere omstandigheid is dat de laatste jaren (vanaf 2008) op de bodem hoge dichtheden voorkomen van draadvormige zwavelbacteriën van de genera *Thioploca* en *Beggiatoa*. Deze bacteriën slaan grote hoeveelheden nitraat op om daarmee sulfaat in de bodem te oxideren. In de dichtheden waarin ze in de jaren 2019-21 zijn gevonden vormen ze een belangrijke speler in het voedselweb (Noordhuis 2019; KIMA 2022). Het zijn net als algen en planten primaire producenten, maar de productie vindt plaats via chemosynthese. Bij dit proces wordt elementair zwavel gevormd, dat als oranje bolletjes in de cellen onder de microscoop zichtbaar is.

De celdraden van *Thioploca* zijn gebundeld in een eiwitschede en draden vormen matten met een hoge biomassa. Dit materiaal kon niet worden aangetoond in vismagen (Van der Haas 2020). Hoewel op basis van literatuur wel enige consumptie door macrofauna kan plaatsvinden (Verdonschot et al. 2020), vormen deze bacteriën mogelijk een vertragende factor in het voedselweb met betrekking tot de ketens naar vis en vogels. Het is dus mogelijk dat deze bacteriën in een dergelijke abundantie de dynamiek binnen het Markermeersysteem afremmen en de productie hoger in het voedselweb vertragen. Omdat nitraat (en sulfaat) de groei van deze bacteriën faciliteert, is daarom ook de aanvoer van grotere hoeveelheden stikstof in deze vorm als minder wenselijk te beschouwen.



Figuur 3.3 Jaargemiddelde concentraties ammonium (boven) en nitraat-nitriet (onder, nitriet doorgaans maar een fractie van totaal) in de waterkolom op enkele locaties in het Markermeer-IJmeer en in het IJsselmeer (Vrouwezand).

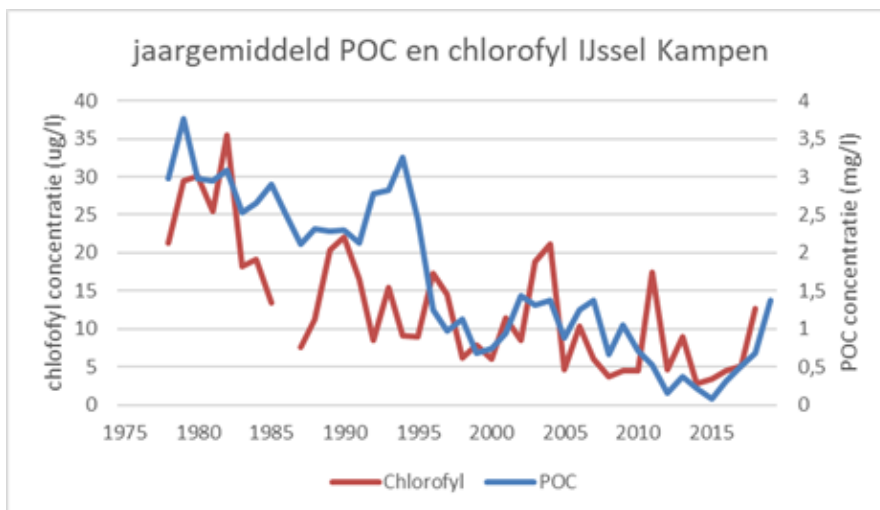
Uit de workshop: Doel van luwtegebied: energie van de OVP omzetten zodat het in de hogere niveau's van het voedselweb van het Markermeer terechtkomt. Preferente route: POC/detritus > zooplankton + macrofauna (ook m.b.v. bedload).

Nog meer dan fosfaat en stikstof is koolstof een bouwsteen voor alle leven. Koolstof kan in de meren lokaal worden onttrokken door algen en waterplanten aan opgelost CO₂. De aanvoer van extern organisch koolstof is vooral van belang voor zoöplankton en macrofauna. Vooral voor zoöplankton, maar ook voor mosselen, gaat dat om de fijnere gebonden fractie (< 1 mm, FPOC), waarmee bijv. veel vetzuren worden aangevoerd. De grovere fracties (> 1 mm, CPOM), zijn van belang voor macrofauna knippers/shredders zoals kokerjuffers. De voedselketens via beide groepen (zoöplankton en macrofauna) zijn onderontwikkeld in het Markermeer. Zie ook hoofdstuk 5.2.2 voor een nadere toelichting op de betekenis van koolstof in het voedselweb.

De beschikbare metingen hebben meestal betrekking op totaal organisch koolstof (TOC) en opgelost organisch koolstof (DOC). Het verschil is particulier organisch koolstof (POC). Die gegevens kunnen worden vergeleken met gegevens over chlorofyl en organisch zwevend stof (POM = Zwevend stof – gloeirest). Meestal is er geen (trend)informatie over de samenstelling van dit materiaal (bijv. fractie fine particulate organic carbon FPOC of vetzuren).

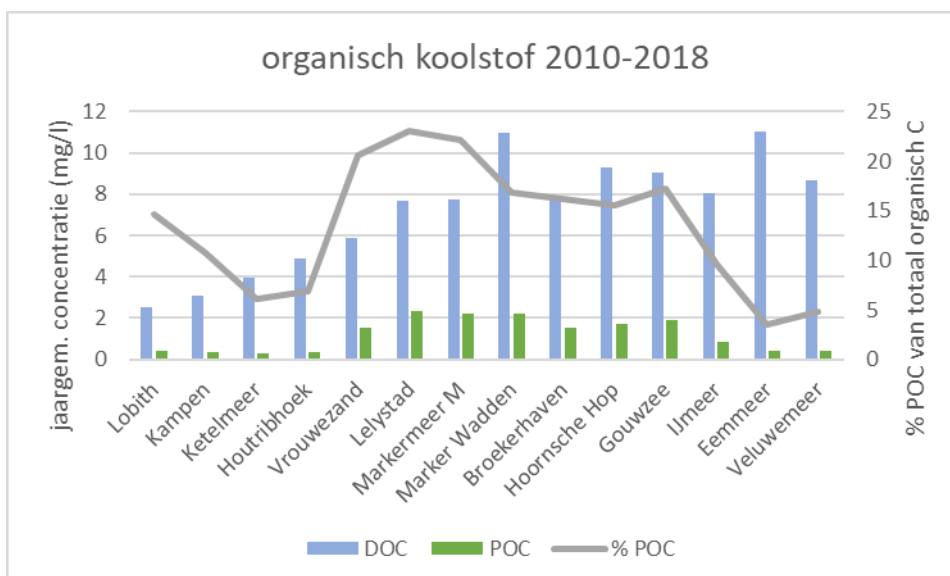
DOC in de meren is grotendeels van lokale oorsprong, afkomstig van afbraak van waterplanten en algen. Het deel dat van buiten komt is van nature meer afkomstig uit bodems en terrestrische planten (moerassen) en heeft dan een meer gevarieerde samenstelling (met bijv. vetzuren). Dit komt ook tot uiting in een hoger aandeel “BDOC” (Biodegradable Dissolved Organic Carbon) dichterbij de oevermoerassen en beekdalen in het stroomgebied. Dit BDOC is een bron van energie en voedsel voor heterotrofe bacteriën, die weer kunnen worden gegeten door zoöplankton. Groter zooplankton (*Daphnia* spp.) ontbreekt nagenoeg in het Markermeer, maar komt wel rijkelijk tevoorschijn na verrijking door middel van natuurontwikkeling zoals op Marker Wadden (NIOO onderzoek; Hui 2021). Bij gebrek aan voldoende hydrodynamiek en door verdunning van de aanvoer is hiervan echter op enige afstand van de eilanden weinig meer terug te vinden.

DOC wordt vooral praktisch onderscheiden van FPOC doordat DOC een fijnmazig filter passeert en FPOC niet, maar het gaat dus qua grootte samenstelling geleidelijk in elkaar over. Afhankelijk van de herkomst en samenstelling is de externe aanvoer van zowel DOC and POC van waarde voor het voedselweb in de meren. In de huidige situatie is echter ook een groot deel van het POC in de grote wateren gebonden in of aan fytoplankton. Het beperkte aandeel van anders gebonden koolstof is terug te zien in de sterke afname van POC in de rivier in combinatie met overeenkomstige afname van chlorofyl (figuur 3.4). Aanvoer van POC vanuit de rivier is sinds de jaren 70 doorgaand afgenomen en uiteindelijk gedecimeerd. Dat is niet meer het geval met DOC, dat in de jaren 90 is gestabiliseerd op ongeveer 3 mg/l (IJssel bij Kampen, in de Rijn bij Lobith nog een halve mg lager). Zelfs voor een watersysteem zonder uitgebreide wetlands of veengebieden is dit weinig (Cheremisinoff en al. 2015). Dit doet vermoeden dat ook de opgeloste fractie in de rivier arm is aan BDOC. Zowel DOC als POC uit de OVP zouden dus voor het Markermeer een verrijking kunnen betekenen.



Figuur 3.4. Jaargemiddelde concentraties van chlorofyl en gebonden organisch koolstof (POC) in de IJssel bij Kampen.

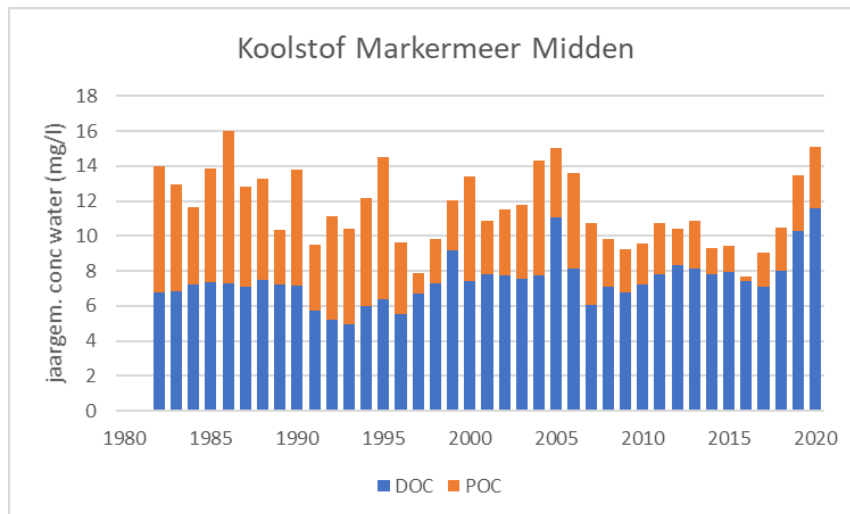
Het grote aandeel van lokaal geproduceerd organisch koolstof in de meren is ook te zien aan de toename van beide fracties van organisch koolstof op de route van de rivier naar het IJsselmeergebied, door lokale binding door fytoplankton. Het percentage particulier C op totaal organisch koolstof is daardoor in de grote meren hoog (figuur 3.5).



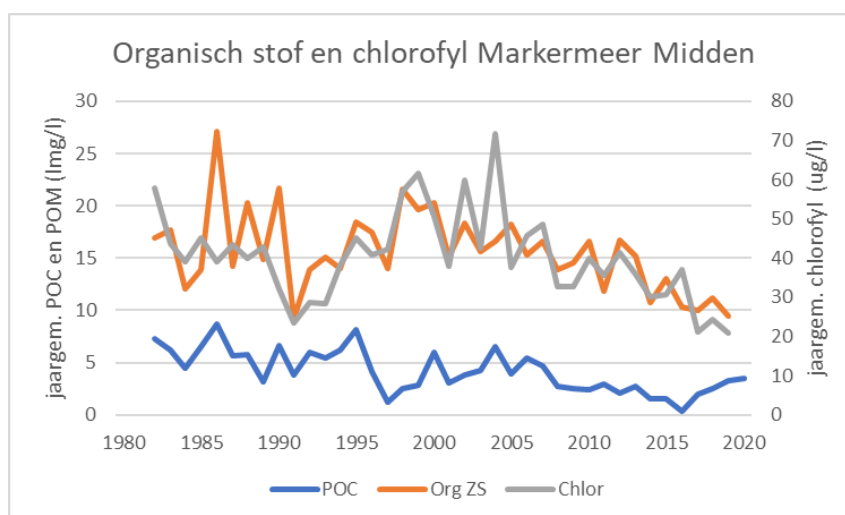
Figuur 3.5. Jaargemiddelde concentraties (periode 2010-2018) van opgelost organisch koolstof (DOC) (mg/l) en gebonden organisch koolstof (POC) (mg/l) in de waterkolom op verschillende locaties in het IJsselmeergebied, beginnend bij de rivieren.

De concentratie opgelost organisch koolstof in het Markermeer, maar ook in het IJsselmeer, bedraagt ongeveer 8 mg/l. Dat is ongeveer de helft van de concentraties in de Oostvaardersplassen. Onderzoek van de UvA laat zien dat organisch koolstof wordt geproduceerd in de polders en achteroevers zoals de Koopmanspolder, maar dat de concentraties vlak voor de kust in het aangrenzende IJsselmeer meer nauwelijks hoger waren. Onderzoek van de WUR naar de organische stofstromen van de IJssel-Vecht delta naar het IJsselmeer (Verdonschot et al. 2021) laat zien dat ook langs deze route nauwelijks particulier organisch materiaal (anders dan algen) in het IJsselmeergebied terecht komt.

De concentratie particulier organisch koolstof (POC) was in de jaren 80 en 90 bijna even groot als die van opgelost organisch koolstof (DOC), maar is sterk afgenomen (figuur 3.6), net als in andere wateren in de regio. Dat heeft waarschijnlijk veel te maken met de afname van fytoplankton, hoewel het patroon van de gemiddelde chlorofylconcentraties enigszins afwijkt. Op zijn beurt komt het patroon van chlorofyl wel sterk overeen met dat van de organische fractie van zwevend stof. Beide zijn sinds 2004 met ongeveer 40% afgenomen (figuur 3.7).



Figuur 3.6. Verloop van de jaargemiddelde concentraties opgelost (DOC) en gebonden organisch koolstof (POC) in de waterkolom op locatie Markermeer Midden.



Figuur 3.7. Vergelijking van de langjarige patronen van gebonden organisch koolstof (POC), organisch zwevend stof (zwevend stof – gloeirest) en chlorofyl op locatie Markermeer Midden.

Metingen van de hoeveelheid organisch stof in sediment van het Markermeer laten ook lage waarden zien, bijv. gemiddeld ca 3-4% van de droge stof rond Marker Wadden. In het sediment van referentiemeer Peipsi in Estland liggen deze waarden een factor 5 hoger. Organisch koolstof, zowel in opgeloste vorm (als de fractie BDOC hoog is) als de fijne en grovere fracties van gebonden koolstof (m.n. anders dan aanvoer van algen) is de meest wenselijke stof voor het Markermeer.

3.4 Zwavel

Vanuit het brakke verleden is er relatief veel zwavel in de bodems van het IJsselmeergebied aanwezig. Bij de afwatering van de polders wordt extra uitgespoeld zwavel naar de meren gemalen. De hoeveelheid in water en bodems neemt in het algemeen langzaam af. Zwavel is op verschillende manieren van invloed op de chemie en ecologie van de meren:

Zwavel concurreert met fosfaat om bindingsplaatsen aan ijzer. Veel zwavel ten opzichte van ijzer betekent dat fosfaat gemakkelijker wordt nageleverd vanuit de bodem. In het Markermeer is de ijzer/zwavel ratio echter hoog, waardoor dit aspect minder relevant is.

Zwavel voedt zwavelbacteriën, die in het Markermeerbodem in grote dichtheid en diversiteit aanwezig zijn. Met name de draadvormige bacterie *Thioploca* bereikt hoge biomassawaarden. Deze bacterie oxideert zwavel in de bodem met behulp van nitraat uit de waterkolom, dat daartoe in grote hoeveelheden in vacuolen wordt opgeslagen. Hoewel de biomassa niet zoveel zegt over de productie betekent de grote biomassa die daarmee bereikt kan worden dat deze bacteriën een belangrijke speler zijn in de bodemdynamiek en in het voedselweb, waarbij resuspensie van voedingsstoffen uit de bodem en het verloop van voedselketens naar vis en vogels mogelijk worden vertraagd.

Sulfide remt de groei van waterplanten van voedselarme milieus en verlaagt zo de soortenrijkdom. Soorten van de grote meren als Doorgroeid en Schedefonteinkruid hebben hier weinig last van, terwijl de groei van kranswieren door de aanwezigheid van zwavel wordt gestimuleerd. Aanvoer van zwavel is op zich niet wenselijk, maar de nadelen zijn waarschijnlijk acceptabel als bijproduct van de toevoer van organisch koolstof.

3.5 IJzer

IJzer bindt fosfaat en speelt daarbij een rol in het proces van “interne oligotrofiëring” in het Markermeer. Door de wind wordt sediment met ijzer gesuspendeerd, waarna opgelost fosfaat in de waterkolom aan het ijzer wordt gebonden. Daardoor wordt het fosfaat gevoeliger voor transport (dichtheidsstromingen) en sedimentatie. Door de hoge ijzer/zwavel ratio in het Markermeer is de bindingscapaciteit voor opgelost fosfaat groot. Aanvoer van ijzer is op zich niet wenselijk, maar de nadelen zijn waarschijnlijk acceptabel als bijproduct van de toevoer van organisch koolstof.

3.6 Conclusie t.a.v. vraag 1

Wenselijke stoffen zijn relevant?

- Fosfaat, bij voorkeur de opgeloste fractie (als die in circulatie gehouden kan worden)
- Koolstof, bij voorkeur zowel fijn (< 1 mm) als grover (> 1 mm) particulier organisch koolstof

De overige geselecteerde stoffen, stikstof, zwavel en ijzer, zijn in voldoende tot hoge concentraties in het Markermeer aanwezig en bevorderen het vastleggen van fosfaat en koolstof op een manier die de productiviteit en diversiteit niet ten goede komt. Met het oog op optimalisatie van de aanvoer van de verschillende stoffen worden deze parameters wel meegenomen in de data-analyse in het volgende hoofdstuk.

Overigens zijn er natuurlijk nog andere voedingsstoffen die aan het ecoysteem van het Markermeer ten goede zouden komen. Een voorbeeld is silicium, dat een bouwsteen is voor de skeletten van kiezelalgen. Deze stof wordt vooral door de rivieren aangevoerd en is in sommige perioden in het Markermeer beperkend voor de groei van kiezelalgen. Er is echter geen informatie over de siliciumconcentraties in de wateren van Flevoland.

4 Potentiële bijdrage Flevoland: Data analyse

Vraag 2: wat kan Flevoland betekenen voor het Markermeer?

De tweede vraag luidt welke bijdrage het water uit Flevoland met betrekking tot de in het vorige hoofdstuk geselecteerde parameters kan leveren aan het functioneren (productiviteit, diversiteit) van het Markermeer. Ook daarbij ligt de focus op de mogelijkheden van een daartoe in te richten luwtegebied aan de Markermeerzijde van de Oostvaardersdijk.

Het antwoord op deze vraag is enerzijds afhankelijk van de concentraties en vrachten van de geselecteerde stoffen ten opzichte van de tekorten in het meer, anderzijds van de manier waarop deze stoffen in het Markermeer ontvangen en benut worden, met of zonder begeleidende structuren. Daarbij is ook de vraag van belang of en zo ja op welke manier water met stoffen uit de Oostvaardersplassen moet worden gecombineerd met het water uit de vaarten en de debieten door de Blocq van Kuffeler. De Oostvaardersplassen wateren af via de ecozone naar de Lage Vaart en de Lepelaarplassen wateren af in de Hoge Vaart. De Lage en Hoge Vaart worden door gemaal Blocq van Kuffeler in het Markermeer gemalen. In dit hoofdstuk wordt de beschikbaarheid van stoffen onderzocht met behulp van een data analyse.

Uit deze analyse komt ook de basis voor het antwoord op vraag 4 tevoorschijn: wat zijn de verschillen in waterkwaliteit tussen de Hoge en Lage Vaart en de moerasgebieden? Daarbij is onder meer het seizoensaspect van groot belang: hoe verschillen de seizoenspatronen van de belangrijkste parameters en hoe pakt dat uit in combinatie met het verloop van de afvoer naar het Markermeer over het seizoen (vrachten)?

4.1 Beschikbare data en meetlocaties





Figuur 4.1. Monitoringslocaties van Waterschap Zuiderzeeland in en rond de Oostvaardersplassen.

Over de jaren 2008 – 2021 zijn door Waterschap Zuiderzeeland waterkwaliteitsmetingen uitgevoerd op ongeveer 20 locaties verspreid over Oostvaardersplassen, Lepelaarplassen en Hoge en Lage Vaart (figuur 4.1).

Deze gegevens zijn per maand gemiddeld voor onderling vergelijk en voor het bepalen van de seizoenspatronen. Ten behoeve van de overzichtelijkheid zijn ze ongeveer van noord naar zuid gerangschikt in de figuren in dit hoofdstuk, waardoor met name de verschillen tussen de vier hoofdwatersystemen Oostvaardersplassen, Lepelaarplassen, Hoge/Lage Vaart en Markermeer in een oogopslag duidelijk worden, inclusief hun onderlinge relaties met eventuele overgangszones.

De gegevens zijn afkomstig uit zowel het regionale meetnet als het MWTL meetnet van RWS.

4.2 Verschillen tussen wateren

De figuren in deze paragraaf zijn een samenvatting van de beschikbare data uit het meetnet van Waterschap Zuiderzeeland, aangevuld met RWS-MWTL gegevens van de locatie Markermeer Midden. Het zijn concentraties in de waterkolom, gemiddeld per maand over de jaren 2008-2019. De meetlocaties, te vinden in figuur 4.1, zijn min of meer van noord naar zuid gerangschikt, met van links naar rechts Oostvaardersplassen, Ecozone, Lage Vaart, Markermeer, Hoge Vaart en Lepelaarplassen. Per locatie is het seizoensverloop weergegeven met behulp van de gemiddelden van de achtereenvolgende maanden. De Lage en Hoge Vaart zijn lichtblauw gemerkt.

Daar tussenin is links een meetlocatie bij een steiger aan de buitenkant van de Blocq van Kuffeler aangegeven (alleen zomerhalfjaar), in de baai voor de sluisen. Rechts daarvan staan de MWTL gegevens van locatie Markermeer Midden, berekend over dezelfde periode. In de eerste figuur is deze opzet verduidelijkt.

Tabel 4.1 geeft vooraf een overzicht van de gemiddelde concentraties van de geselecteerde stoffen over de jaren 2008-2019 per water. Alleen ijzer is in deze tabel niet opgenomen omdat de concentraties vaak sterk verschillen tussen de locaties binnen een deelgebied.

parameter	Oostvdrds- plassen	Ecozone	Lage Vaart	Blocq buiten	Marker- meer	Hoge Vaart	Lepelaar- plassen
Totaal P (mg P/l)	0,71	0,50	0,22	0,10	0,04*	0,08	1,15
% PO4	10,5	12,9	33,0	29,4	10,9	46,9	82,4
Totaal N (mg N/l)	5,04	4,38	4,50	1,70**	1,24	2,33	1,73
% NO3	2,5	4,9	43,1	28,7	11,2	48,2	44,7
SO4 (mg S/l)	81,9	106,5	216,2	114,7**	89,4	202,7	150,6
DOC (mg C/l)	15,0	18,6	12,7	-	8,1	9,1	14,2
POM (mg/l)	81,9	31,2	7,5	-	12,7	2,9	7,9
PIM (mg/l)	176,1	35,3	9,7	-	31,7	3,2	5,4
Chlorofyl (µg/l)	241,1	240,0	56,8	-	29,2	13,4	27,9
Chloride (mg/l)	116,3	144,6***	365,4	-	127,2	253,4	163,9

Tabel 4.1. Overzicht van de jaargemiddelde concentraties van een selectie van stoffen in de verschillende wateren van het studiegebied. DOC = opgelost organisch koolstof, POM = Organisch zwevend stof (zwevend stof – gloeirest), POM = anorganisch zwevend stof (gloeirest). Chlorofyl = zomerhalfjaar gemiddelden in µg/l. Oostvaardersplassen = gemiddelde van meetlocaties Hoekplas, Keersluisplas en Grote Plas. Ecozone = Grote Plas Wilgenbos, Wilgenbos noord en verbindingzone. Markermeer = MWTL locatie Markermeer Midden, Lepelaarplassen exclusief kwelplas en gronddepot. *In de beschouwde periode (2008-2021) is totaal P in (de waterkolom in) het Markermeer afgenomen van de KRW GEP-waarde van 0,07 mg/l tot 0,02 mg/l.

**Alleen zomermetingen, waardoor relatief laag.

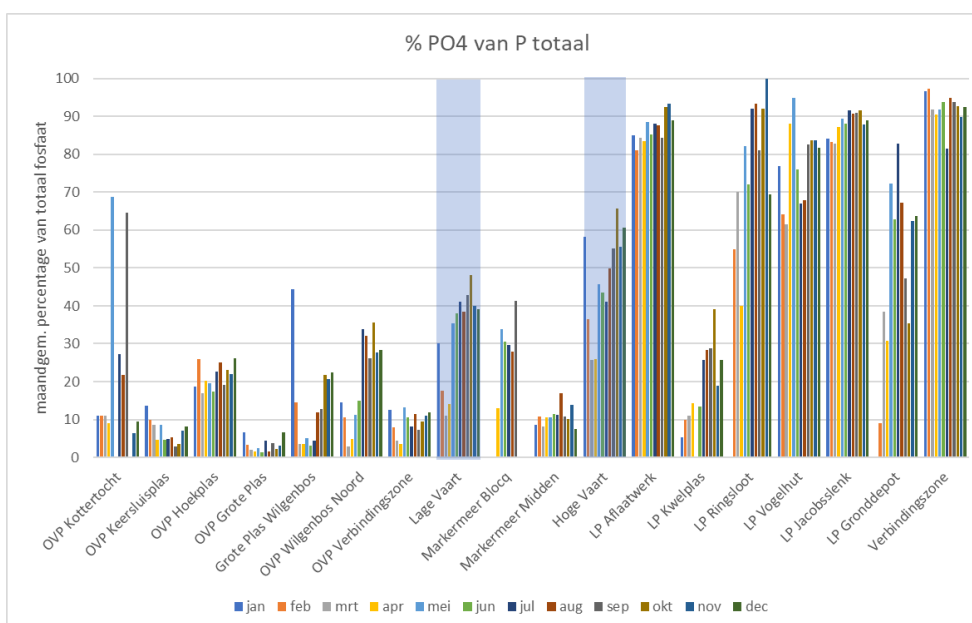
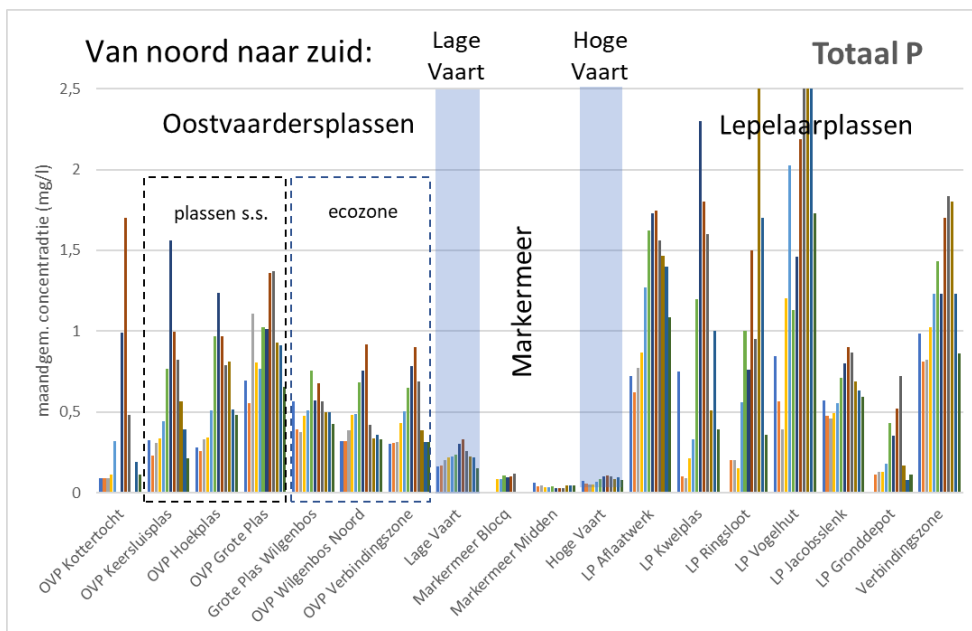
***Exclusief Grote Plas Wilgenbos, vlak bij de Blocq, die met 375,6 veel hogere concentraties heeft.

4.2.1 Fosfaat

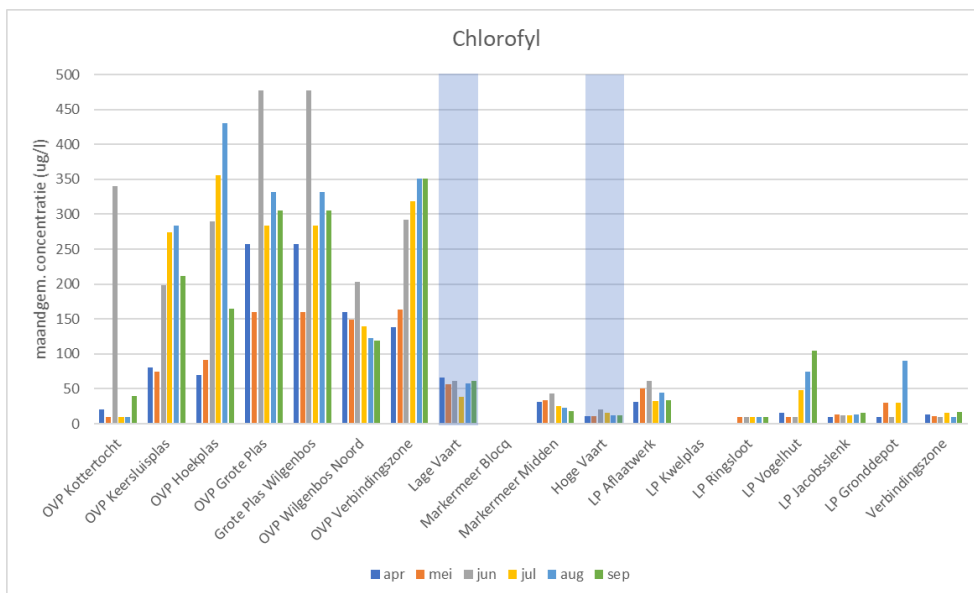
Figuur 4.2 geeft een duidelijk beeld van de verschillen in fosfaatconcentraties tussen de locaties en hoofdwatersystemen. De totaal P concentraties zijn duidelijk hoger in de plassen aan beide kanten van de Blocq van Kuffeler dan in de vaarten en vooral dan in het Markermeer. De concentraties in de ecozone en de Lage Vaart zijn intermediair. De concentraties zijn overal het hoogst in de nazomer en relatief laag in de winter.

Er is echter een groot verschil tussen de wateren met betrekking tot de verdeling over opgelost en particulier fosfaat. In de Oostvaardersplassen is ca. 90% gebonden (net als in het Markermeer), in de Lepelaarplassen slechts 20%. In de vaarten is ongeveer de helft gebonden. In de Lepelaarplassen wordt opgelost fosfaat dus maar beperkt opgenomen, wat suggereert dat een andere factor beperkend is voor algengroei.

Dit beeld wordt bevestigd door een groot verschil in chlorofylconcentraties (figuur 4.3), met hoge waarden in de Oostvaardersplassen en lage in de Lepelaarplassen (en de vaarten). Uitzondering is de kwelplas, een afwijkend water binnen het Lepelaarplassensysteem, waar wel algenbloei optreedt, met uitputting van opgelost fosfaat. Vergeleken met de fosfaatconcentraties is de concentratie chlorofyl in de ecozone relatief hoog (verschilt weinig van de OVP).

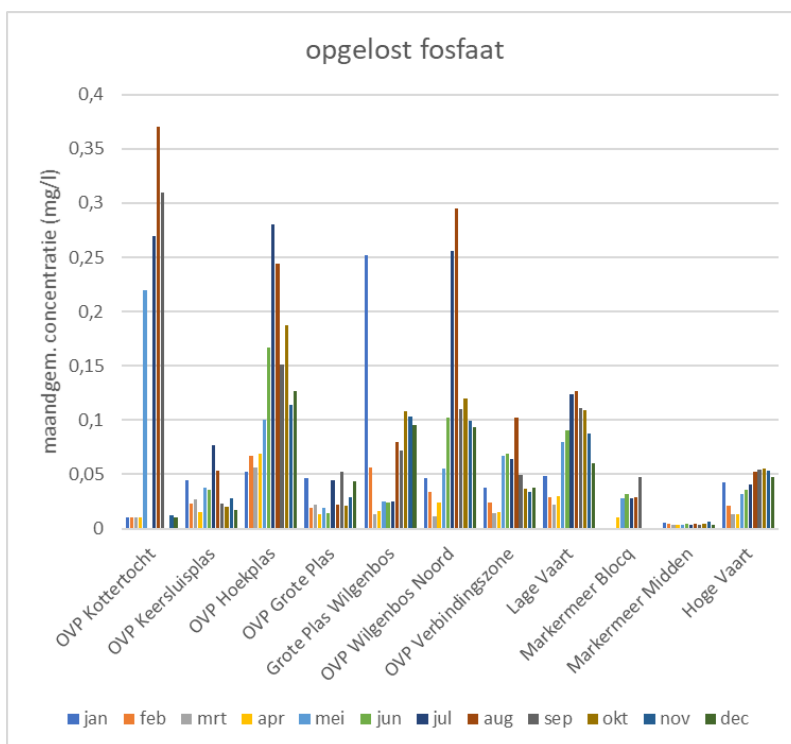


Figuur 4.2. Maandgemiddelde concentraties over 2008-2019 van totaal fosfaat (TP, mg/l, boven) en het percentage opgelost fosfaat (PO4 mg/l; onder) in de waterkolom op de meetlocaties van noord naar zuid, met gemiddeld seizoenspatroon per locatie. De Lage en Hoge Vaart zijn in grijs aangegeven, met daar tussen de baai buiten de Blocq van Kuffeler en Markermeer Midden.



Figuur 4.3. Maandgemiddelde chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$, april t/m sept 2008-2019) in de waterkolom op de geselecteerde meetlocaties. Geen gegevens van Blocq van Kuffeler Markermeerzijde.

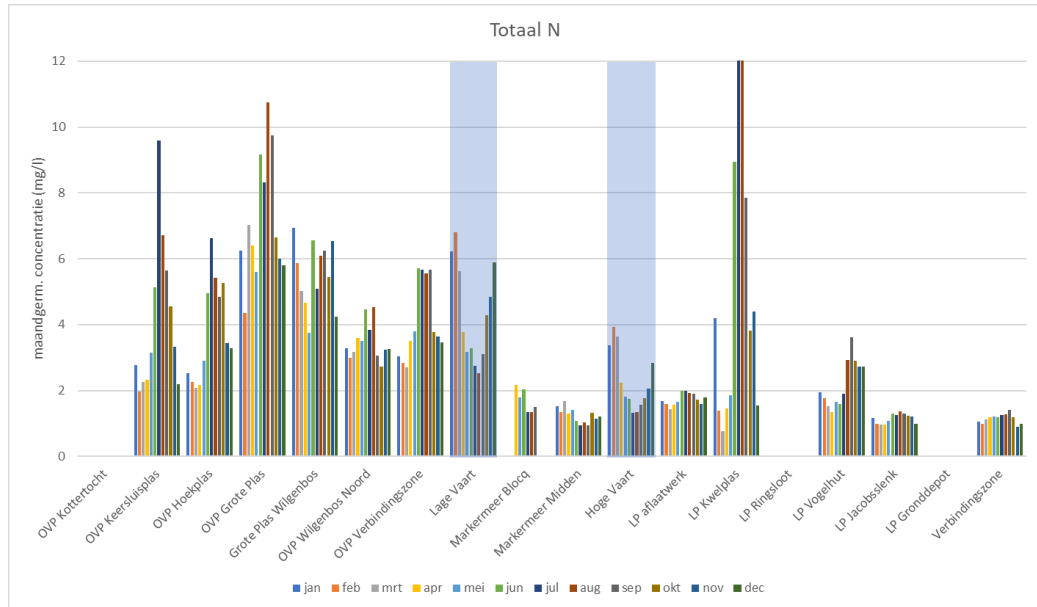
Door het hoge percentage gebonden fosfaat in de Oostvaardersplassen en het intermediaire percentage in de vaarten, is de concentratie opgelost fosfaat in de Lage Vaart vergelijkbaar met de concentratie in de OVP. In beide wateren zijn de concentraties veel hoger dan in het Markermeer (figuur 4.4).



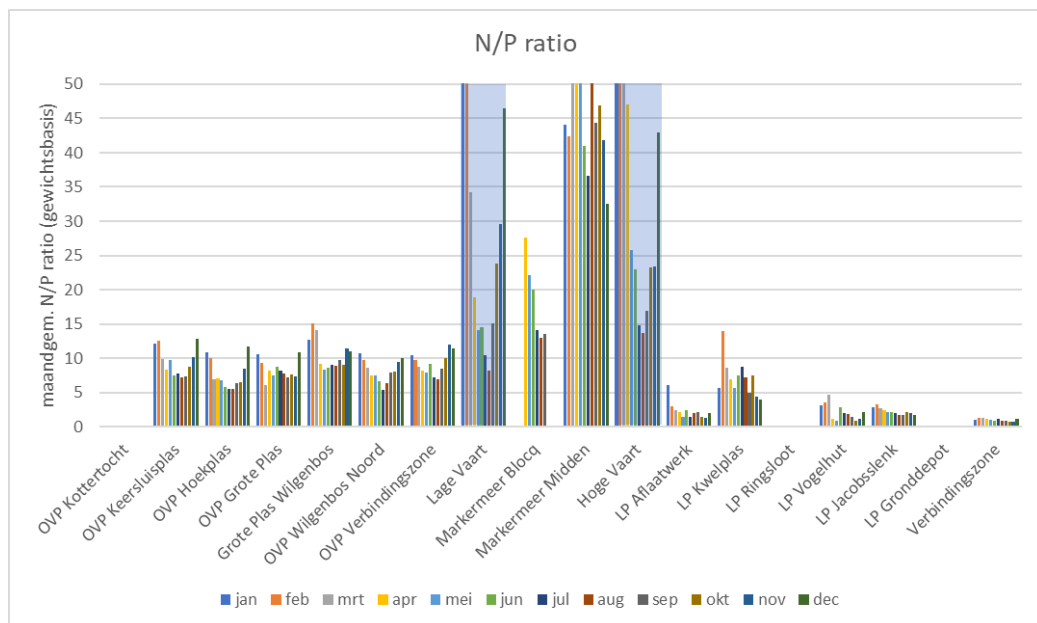
Figuur 4.4. Gemiddelde concentraties opgelost fosfaat (mg/l) in de OVP, ecozone, Hoge en Lage Vaart en het Markermeer, 2008-2019.

4.2.2 Stikstof

Stikstof lijkt de beperkende factor voor algengroei in de Lepelaarplassen. Afgezien van de kwelplas, waar de concentraties in de zomer aanzienlijk hoger zijn, is in de Lepelaarsplassen sprake van lagere concentraties dan in de Oostvaardersplassen (figuur 4.5). In beide gebieden is dit stikstof grotendeels gebonden aan zwevend stof (in algen; Kjeldahl Stikstof) en net als bij totaal fosfaat zijn de concentraties het hoogst in de nazomer. Dat is anders in de vaarten: hier zijn de concentraties twee keer zo hoog in de winter dan in de zomer. Dit betreft vooral nitraat.



Figuur 4.5. Maandgemiddelde concentraties over 2008-2019 van totaal stikstof (boven) en de N/P ratio (onder) in de waterkolom op de geselecteerde meetlocaties.

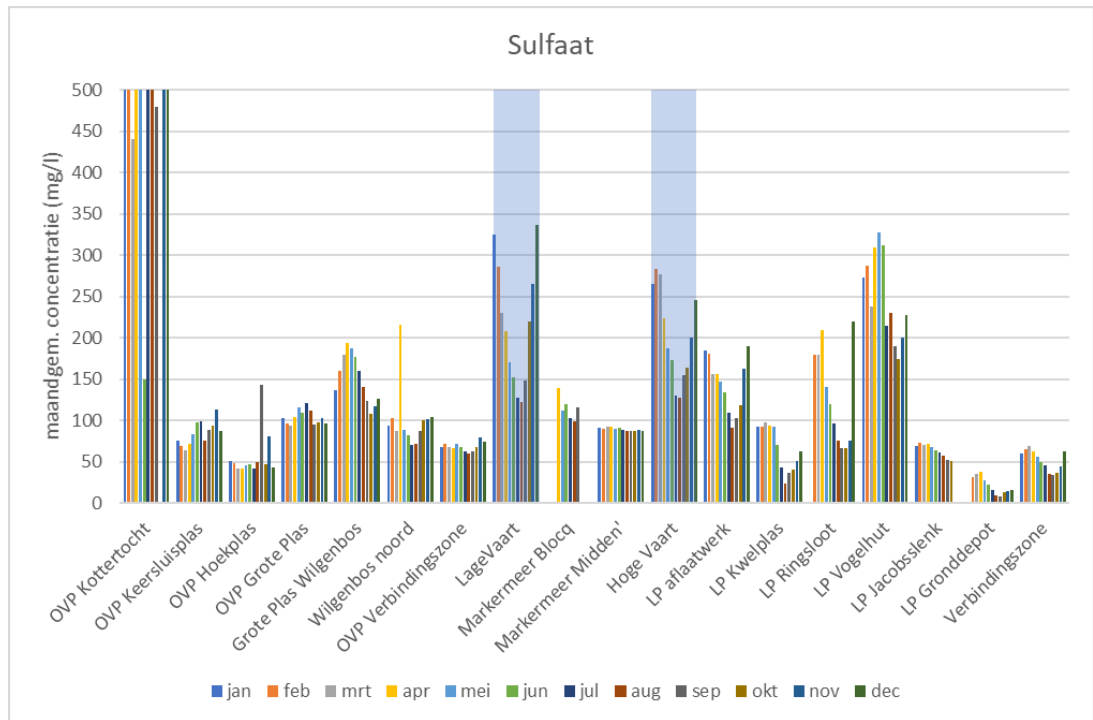


Figuur 4.6. Gemiddelde N/P ratio (massaverhouding).

Door deze verschillen is de N/P ratio in de Oostvaardersplassen aanzienlijk hoger dan in de Lepelaarplassen (figuur 4.6). Met ongeveer een verdubbeling van de massaratio benadert de molaire verhouding in de Oostvaardersplassen de Redfieldratio (16/1). In de vaarten is de ratio in de winter aanzienlijk hoger als gevolg van de hoge concentraties nitraat en lage fosfaatconcentraties. In het Markermeer is de ratio hoog door de zeer lage fosfaatconcentraties in de waterkolom.

4.2.3 Zwavel

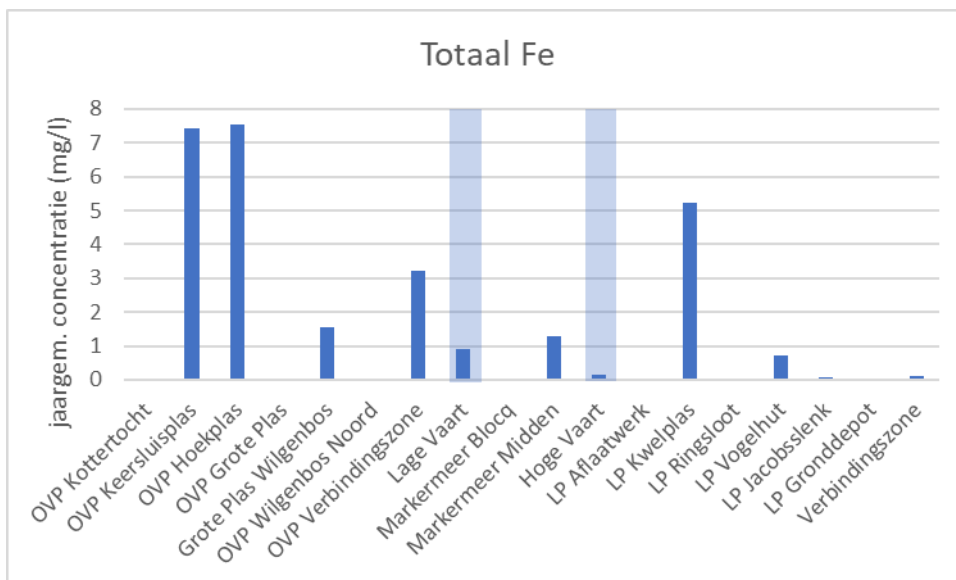
De sulfaatconcentraties vertonen wat lokale verschillen, maar de verschillen tussen de hoofwatersystemen zijn beperkt (figuur 4.7). Wel wijken de vaarten enigszins af door net als bij stikstof (door nitraat) twee keer zo hoge concentraties in de winter.



Figuur 4.7. Maandgemiddelde concentraties over 2008-2019 van sulfaat in de waterkolom op de geselecteerde meetlocaties.

4.2.4 IJzer

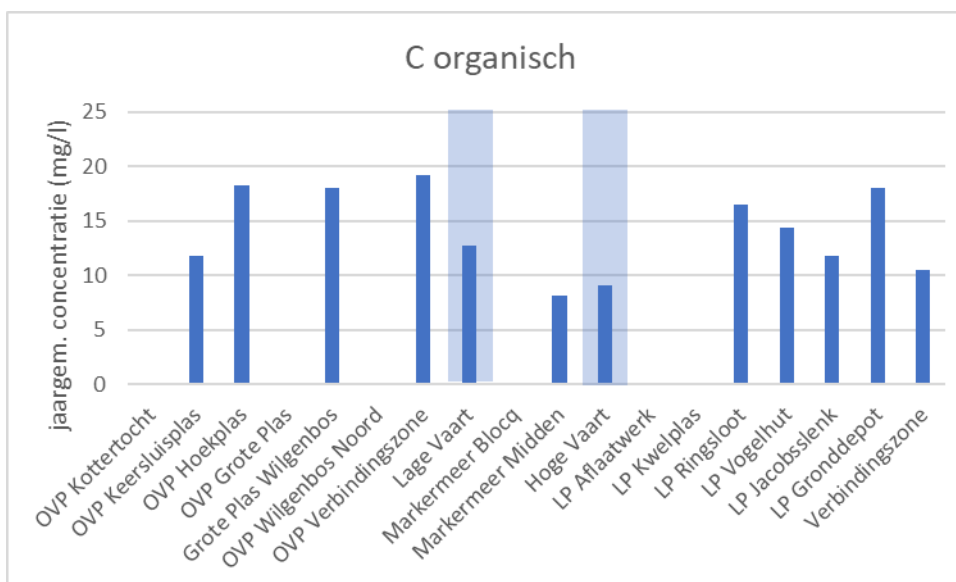
De ijzerconcentraties zijn niet op alle locaties gemeten en op de andere locaties vaak minder frequent. Ook laten de waarden grote fluctuaties zien. Dat geldt ook voor de hoge waarden van de Hoekplas en de Keersluisplas. Het betreft totaal ijzer, waarmee de eventuele effecten op het Markermeer niet goed kunnen worden bepaald. In de vaarten lijken de concentraties in water relatief laag te zijn (figuur 4.8).



Figuur 4.8. Jaargemiddelde concentraties in mg/l over 2008-2019 van ijzer in de waterkolom op de geselecteerde meetlocaties. Lege vakken zijn ontbrekende metingen, geen nulwaarden.

4.2.5 Koolstof

Koolstof is gemeten in de vorm van DOC, opgelost organisch koolstof. Daarnaast kan de concentratie organisch zwevend stof worden berekend uit zwevend stof en gloeirest. Uit de gegevens over opgelost organisch koolstof komt een beeld van hogere concentraties in de plassen dan in de vaarten en het Markermeer, met ongeveer twee keer zo hoge concentraties in de Oostvaardersplassen dan in het meer. Er zijn verder geen gegevens over eventuele verschillen tussen de moerassen en de vaarten in samenstelling van het DOC. Organisch zwevend stof geeft grotere verschillen; deze concentraties zijn duidelijk het hoogst in de Oostvaardersplassen. Dit beeld komt overeen met dat van chlorofyl, zodat aannemelijk is dat dit organisch stof vooral uit algen bestaat. Omdat ook de concentratie gebonden fosfaat zo'n patroon vertoont, kan niet worden gesteld dat het zwevend stof uit de OVP op basis van P/C ratio's een hogere voedingswaarde heeft.



Figuur 4.9. Jaargemiddelde concentraties opgelost organisch koolstof (DOC) (mg/l).



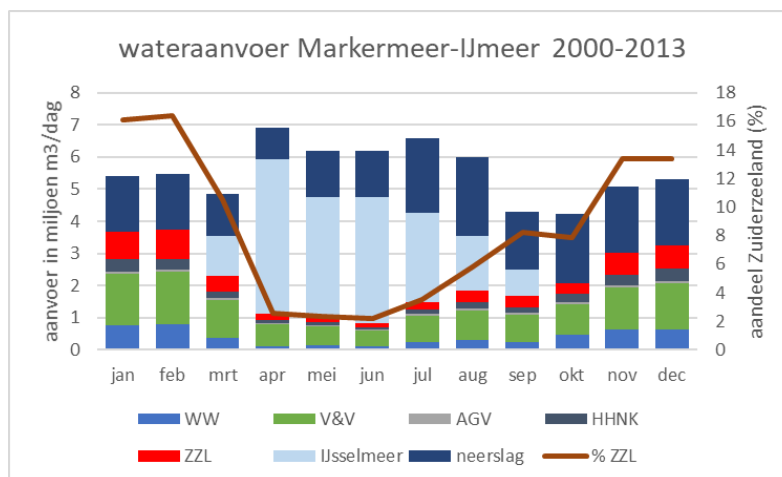
Figuur 4.10. Jaargemiddelde concentraties organisch zwevend stof (mg/l) (zwevend stof – gloeirest).

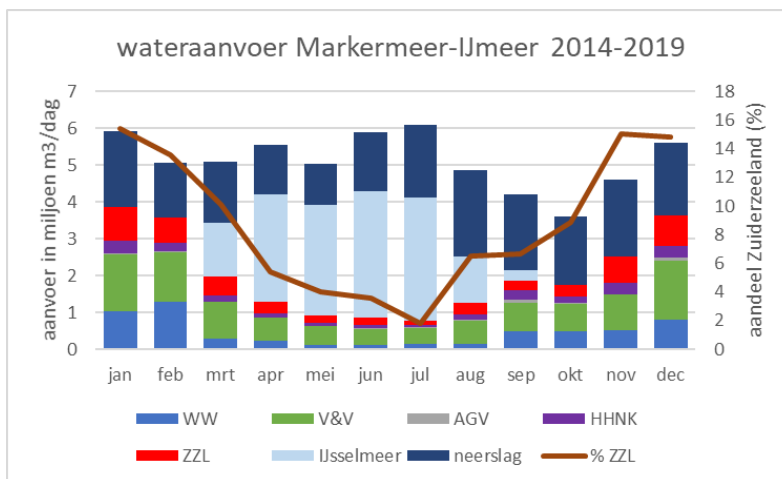
4.3 Seizoensaspecten maaldebiet en concentraties

Behalve verschillen tussen wateren zijn er in de concentraties van de geselecteerde stoffen vaak uitgesproken seizoenspatronen te zien, die soms verschillen tussen de wateren. Om te analyseren wat dat voor de jaarlijkse vrachten betekent, zijn die concentraties verrekend met de maaldebieten via de Blocq van Kuffeler en de patronen in de bijdrage die dit water aan de waterbalans van het Markermeer levert.

4.3.1 Bijdrage Zuiderzeeland aan waterbalans Markermeer

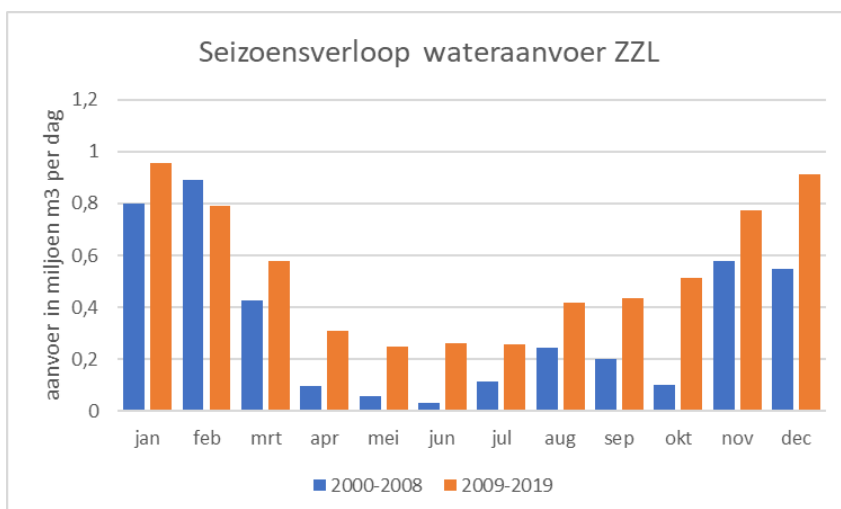
Op basis van de waterbalans van de UvA (Van der Geest et al. 2017) heeft Zuiderzeeland over de periode 2000-2014 alleen in de maanden november-februari, in mindere mate in maart en in september/oktober, substantieel (15%) bijgedragen aan de waterbalans van het Markermeer (figuur 4.11). In het voorjaar is de bijdrage met slechts enkele procenten minimaal. Ook in de periode daarna (Van Duin ongep.) was dat nog zo.



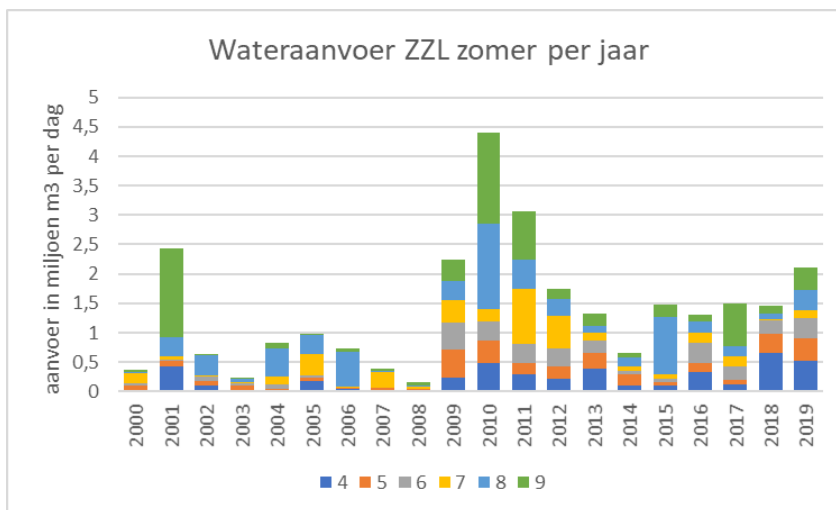


Figuur 4.11. Seizoensverloop van de wateraanvoer naar het Markermeer-IJmeer, met in rood de bijdrage van Zuiderzeeland over de periode 2000-2013 (naar Van der Geest et al. 2017) en over 2014-2019 (naar Van Duin ongep.).

Toch is het gebruik van de Blocq van Kuffeler vanaf 2009 in wisselende mate geïntensiveerd, waardoor sindsdien met name in de zomer, absoluut gezien aanzienlijk meer water naar het Markermeer werd gepompt (figuur 4.12, figuur 4.13). Daardoor kan de bijdrage aan de balans van afzonderlijke stoffen ook zijn toegenomen.



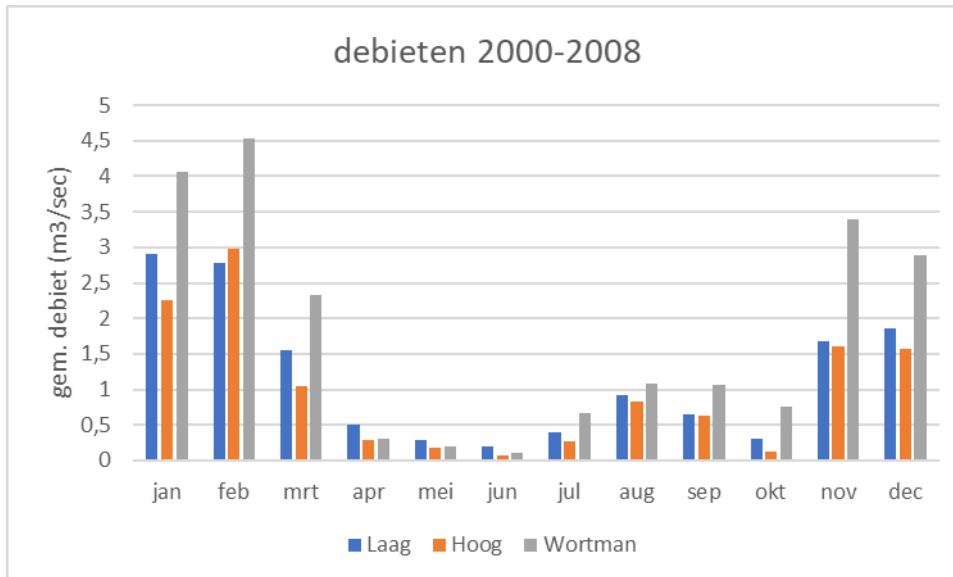
Figuur 4.12. Seizoensverloop van de wateraanvoer van Zuiderzeeland (m3/dag) naar het Markermeer over de perioden 2000-2008 en 2009-2019 (resp. Van der Geest et al. 2017 en Van Duin ongep.).

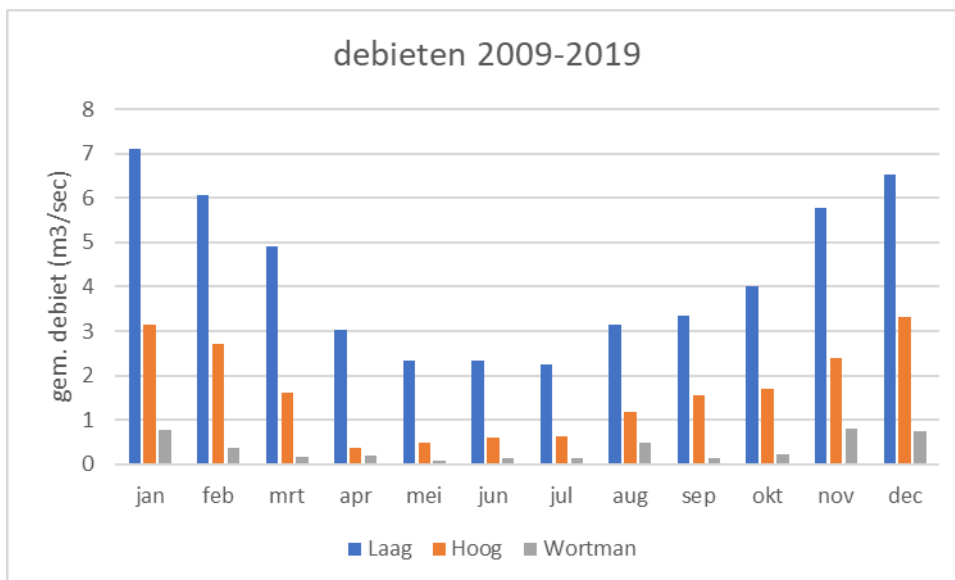


Figuur 4.13. Veranderingen in de aanvoer van water van Zuiderzeeland naar het Markermeer in de zomermaanden.

4.3.2 Verdeling bronnen Zuiderzeeland

Het water dat Waterschap Zuiderzeeland naar het Markermeer maalt, is verdeeld over Blocq van Kuffeler Laag, BvK Hoog en Wortman. In de periode 2000-2008 werd 45% van het water dat vanuit Zuiderzeeland naar het Markermeer ging, via Gemaal Wortman afgevoerd. In 2009-2019 was dat nog maar 6%. De absolute hoeveelheid water via Wortman nam met 80% af, via BvK Hoog nam de afvoer met 66% toe, maar het aandeel ging slechts van 25 naar 26%. De afvoer via BvK Laag nam toe met 261%, verdriedubbelde dus bijna, waardoor het aandeel toenam van 30% naar 68%. De stoffen in het water van de Lage vaart gingen dus domineren in de belasting van Zuiderzeeland op het Markermeer. De relatieve toename was het grootst in de zomer, waardoor de verschillen tussen zomer en winter iets afnamen (figuur 4.14).





Figuur 4.14. Seizoensverdeling van de gemiddelde wateraanvoer per dag (m³/dag) vanuit Zuiderzeeland naar het Markermeer, verdeeld over de Blocq van Kuffeler Laag, BvK Hoog en Wortman, in de perioden 2000-2008 (boven) en 2009-2019 (onder; naar Van Duin ongep.).

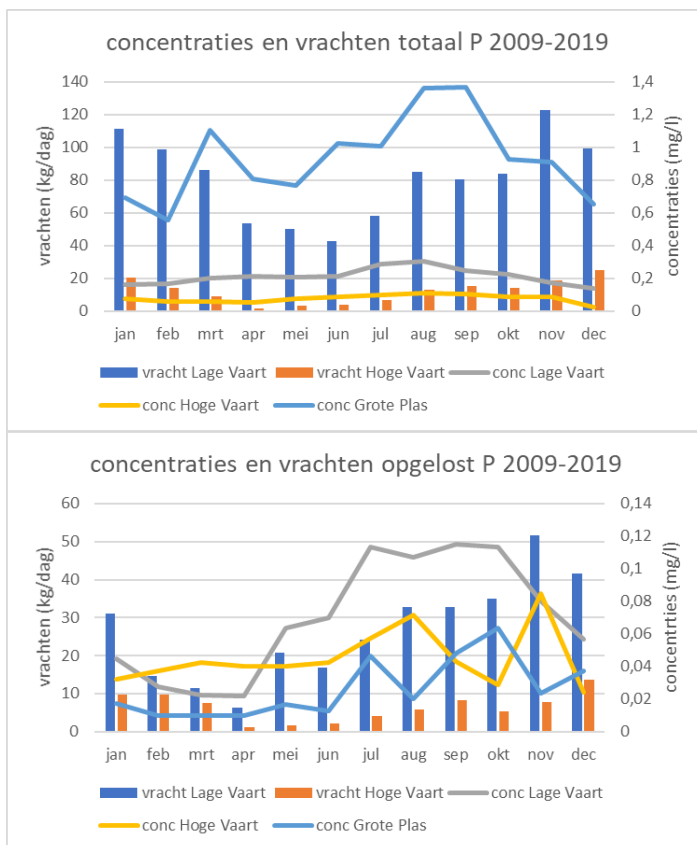
4.4 Vrachten

Door de data over concentraties van stoffen te combineren met de gegevens van de afvoerdebieten kunnen vrachten van stoffen naar het Markermeer worden berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 2009-2019, dus vanaf de wijziging van de debieten die in de vorige paragraaf is beschreven. Volledige balansberekeningen voor het Markermeer zijn alleen voor fosfaat beschikbaar tot en met 2013 (Van der Geest et al. 2017), zodat de invloed op de totale fosfaataanvoer alleen over 2009-2013 kan worden berekend.

4.4.1 Fosfaat

Omdat het meeste water via de Blocq van Kuffeler in de winter naar het Markermeer wordt gepompt, zijn de vrachten van stoffen met hoge concentraties in de winter in die maanden nog sterker verhoogd ten opzichte van de zomermaanden. Dat geldt vooral voor nitraat en sulfaat, maar ondanks het seizoensverloop van de concentraties ook voor fosfaat, als gevolg van het sterke accent op de winter bij de waterafvoer (figuur 4.15, boven). De vrachten zijn in het voorjaar het laagst. Door de combinatie relatief hoge debieten en de aanzienlijk hogere fosfaatconcentraties is de Lage Vaart voor het leeuwendeel van de stoffenbelastingen verantwoordelijk (6,7 x zo veel als Hoge Vaart). Dit geldt ook voor de opgeloste fractie afzonderlijk (4,2 x Hoge Vaart), met een nog meer uitgesproken minimum in april (figuur 4.15, onder).

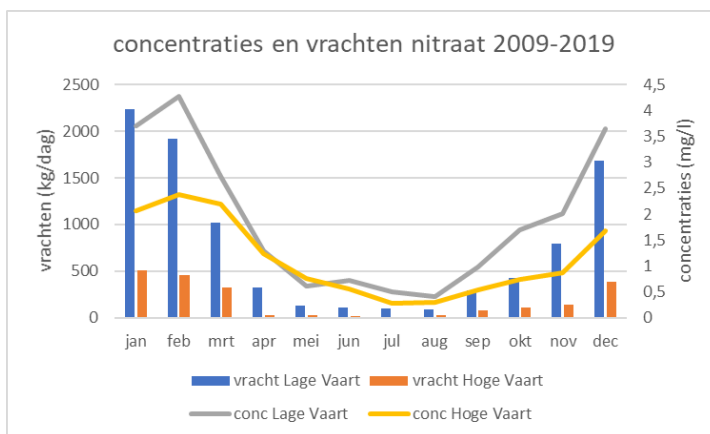
Ter vergelijking is ook het seizoensverloop van de concentraties in de Grote Plas van de OVP weergegeven. Hier hebben de concentraties een vergelijkbaar seizoensverloop, maar de concentraties zijn veel hoger dan in de vaarten. Het is voornamelijk (aan/in fytoplankton) gebonden fosfaat.



Figuur 4.15. Vergelijking van het gemiddelde seizoensverloop van de concentraties en de vrachten van totaal fosfaat (boven) en opgelost fosfaat (onder) in/door de Lage en Hoge Vaart over de periode 2009-2019. Ter vergelijking ook de concentraties in de Oostvaardersplassen (Grote Plas).

4.4.2 Stikstof

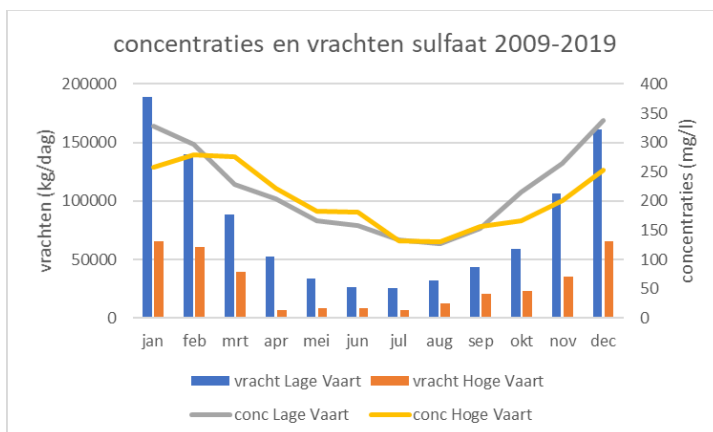
Terwijl gebonden stikstof in de Oostvaarders- en Lepelaarplassen domineert, is in de Hoge en Lage Vaart het aandeel nitraat veel hoger. Ook gezien de mogelijk relatie met zwavelbacterien in het Markermeer worden hier de vrachten voor nitraat gegeven. Doordat zowel de concentraties als de debieten het hoogst zijn in de winter, wordt vrijwel alle nitraat in die periode naar het Markermeer gemalen. Ook in dit geval door hogere concentraties en debieten het leeuwendeel (4,3 x zo veel) via de Lage Vaart (figuur 4.16).



Figuur 4.16. Vergelijking van het gemiddelde seizoensverloop van de concentraties en de vrachten van nitraat in/door de Lage en Hoge Vaart over de periode 2009-2019.

4.4.3 Zwavel

Voor zwavel geldt ongeveer het zelfde als voor nitraat; hoge concentraties en debieten in de winter, zodat het leeuwendeel van de aanvoer naar het Markermeer in die periode plaatsvindt (figuur 4.17). De concentraties vertonen minder verschil tussen Hoge en Lage Vaart, de laatste domineert vooral via de debieten.

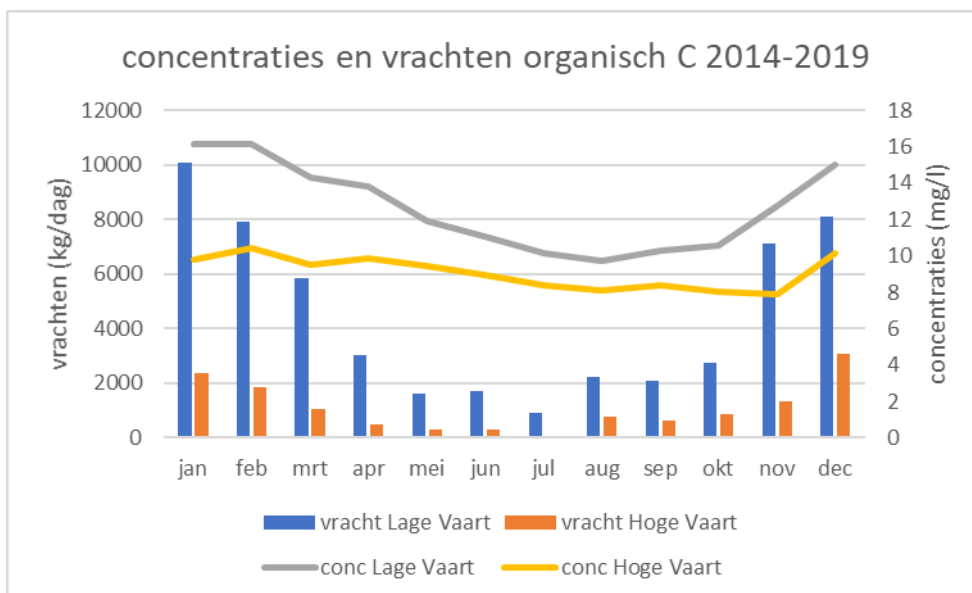


Figuur 4.17. Vergelijking van het gemiddelde seizoensverloop van de concentraties en de vrachten van nitraat in/door de Lage en Hoge Vaart over de periode 2009-2019.

4.4.4 Koolstof

Ook bij totaal organisch koolstof zijn de concentraties in de vaarten het hoogst in de winter, dus ook hier vindt het overgrote deel van de aanvoer naar het Markermeer in die periode plaats (figuur 4.18). Het aandeel van de Lage Vaart is door de relatief hoge concentraties en het hoge afvoer dominant.

Overigens is het met de beschikbare dataset niet mogelijk om de huidige bijdragen van de Oostvaardersplassen aan de vrachten van stoffen te berekenen, wat meer inzicht zou kunnen verschaffen in de mogelijkheden de stofstromen te optimaliseren. Hiervoor zijn met name meer gedetailleerde waterbalans data nodig.



Figuur 4.18. Vergelijking van het gemiddelde seizoensverloop van de concentraties en de vrachten van totaal organisch koolstof in/door de Lage en Hoge Vaart over de periode 2009-2019.

Uit de workshop: Of de verschillende fracties (particulair) koolstof in het Markermeer aankomen is sterk afhankelijk van peildynamiek in de OVP (water moet door de moerassen stromen) en van wat er onderweg gebeurt (blijft alles in de plassen, de ecozone en bezinkmoeras)? Ook het seizoen is van belang; denk aan afbraakseizoen; doorspoelen in de zomer (groeiseizoen) heeft dat wel zin?

Grof organisch materiaal (losgespoeld strooisel en nog grover dood organisch materiaal zoals takken) komt niet naar buiten met de waterstroom, de fijne fractie gebonden organisch koolstof wel (C in FPOM) en mogelijk een deel van het CPOM (>1mm). Inrichten op optimaliseren van toevoer van deze fractie, die van grote betekenis is voor zoöplankton. Ervaring Koopmanspolder leert dat 't werkt, maar hou transportroute zo kort mogelijk.

Aparte maatregelen zijn nodig voor aanvoer van de grovere fracties, die bijv. voor macrofauna van belang zijn. Dit zijn nu voornamelijk algen, dat is minder wenselijk voor een divers voedselweb, beter kijken wat de samenstelling is via C/N ratio's e.d. Algemeen: hoe grover hoe beter, t/m grof strooisel en takken. Eerste jaren evt. kunstmatig toevoeren (bijv. rietstrooisel of -maaisel) in luwtegebied als kickstart. Focussen op voorjaar.

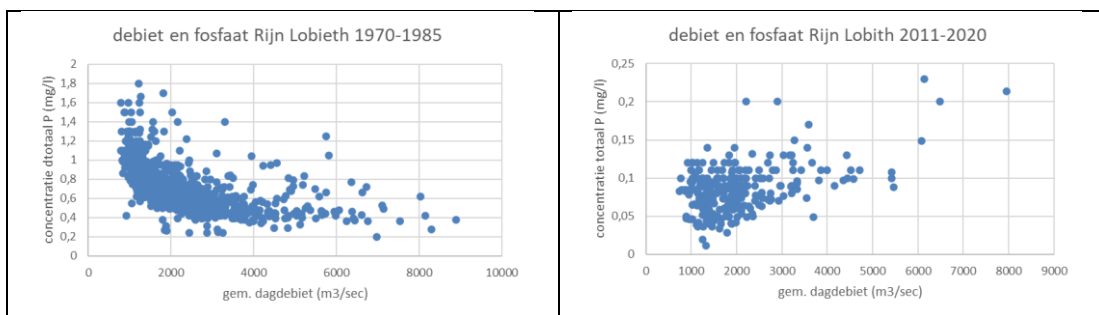
4.5 Kanttekeningen bij de vrachtberekeningen

De metingen waarop de data analyse is gebaseerd, zijn overdag uitgevoerd in de waterkolom, terwijl de bemaling vaak 's nachts heeft plaatsgevonden (lagere stroomtarieven). Van der Grift et al. (2016) hebben laten zien dat concentraties van fosfaat en zwevend stof tijdens de bemaling toenemen en dat bij gebruik van dagmetingen van de concentraties de vrachten dus worden onderschat.

De continuumetingen waar deze kennis op is gebaseerd, hebben ook laten zien dat nitraat in natte perioden (als de grondwaterstand in de polder hoger wordt dan het niveau van de drainagebuizen) snel wordt afgevoerd. Dit verklaart de hoge nitraatconcentraties in de winter.

Fosfaat wordt in polders juist meer vastgelegd dan in vrij afwaterende systemen. Het wordt daarom vooral in de zomer afgevoerd als gevolg van nalevering uit de waterbodem en voeding vanuit het grondwater. Wel nemen de concentraties dus toe tijdens de bemaling, en bij inzet van meer pompen nemen de concentraties verder toe (0,06 mg P/l meer bij 1 pomp, 0,13 mg/l meer bij 2 pompen). Dit is het gevolg van opwerveling van sedimentgebonden fosfaat als gevolg van de stroming. Deze toename is echter veel beperkter dan de toenames die in natte perioden kunnen optreden in vrij afstromende wateren (soms factor 100; Van der Grift et al. 2016).

In de Rijn was ten tijde van de eutrofiering een negatieve relatie tussen afvoer en de fosfaatconcentraties; in natte tijden trad vooral verdunning op. Tegenwoordig is er inderdaad een positieve relatie, al is die niet zo extreem als Van der Grift et al. aangeven. Voor de Hoge en Lage Vaart en het maalregime betekent zo'n relatie dat de vracht sneller toeneemt dan het afvoerdebiet, en dat het maalregime sturingsmogelijkheden zou kunnen bieden voor de afvoer van stoffen naar het Markermeer.

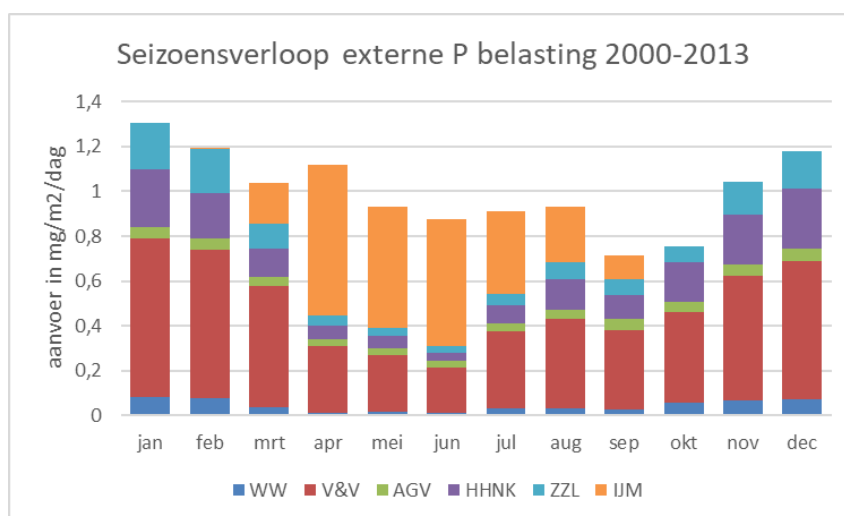


Figuur 4.19. Relatie tussen afvoer en fosfaat concentratie in de Rijn bij Lobith in twee perioden. Let op het verschil in schaal op de Y-as.

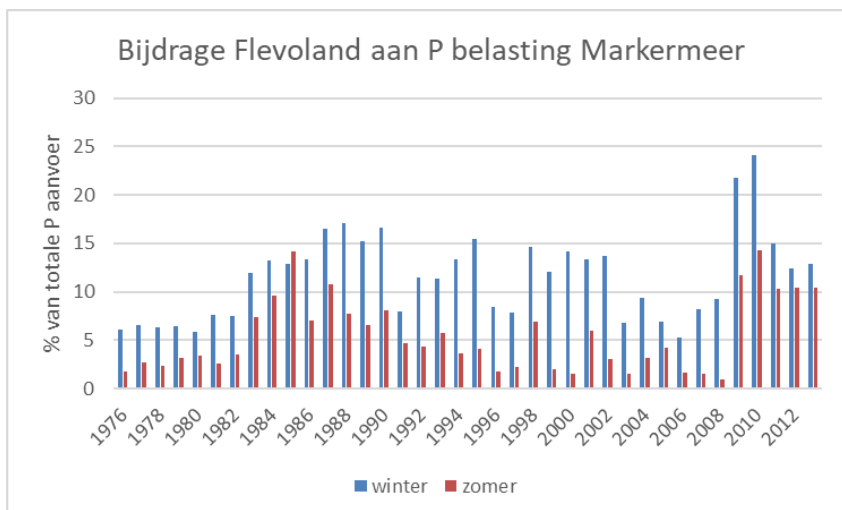
4.6 Bijdragen aan de Markermeerbalans

Alleen voor fosfaat kan de bijdrage van Flevoland aan de totale aanvoer naar het Markermeer met de beschikbare data worden berekend. Op basis van de UvA balans is de bijdrage van Flevoland (Zuiderzeeland) over de periode 2000-2014 het laagst geweest in juni, het hoogst in de wintermaanden met ongeveer 15% (figuur 4.20). Daarbij geldt dus de kanttekening dat die bijdrage in feite hoger zou kunnen zijn doordat de concentraties tijdens nachtelijke bemaling hoger kunnen zijn dan tijdens de metingen overdag, wanneer minder wordt afgevoerd (Van der Grift et al. 2016).

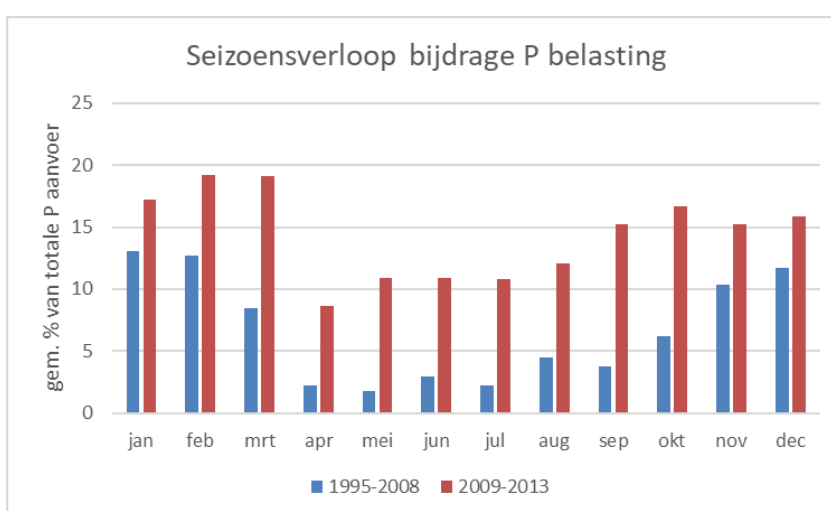
Door wijzigingen in de maalregimes is dat aandeel in de loop der jaren een paar keer veranderd. Vanaf 2009 is de Blocq van Kuffeler intensiever ingezet, waardoor de bijdrage van Flevoland aan de P belasting van het Markermeer (weer) toenam (figuur 4.21). Deze toename was het grootste in het zomerhalfjaar. Mede door de hoge debieten van 2009 en 2010 was de gemiddelde bijdrage in de zomer over 2009-2013 ongeveer een factor 4 hoger dan in de voorgaande periode (figuur 4.22). Het verschil in bijdrage tussen zomer en winter is daardoor sterk verkleind.



Figuur 4.20. Gemiddeld seizoensverloop van de externe P belasting van het Markermeer in de jaren 2000-2013 op basis van de UvA dataset (Van der Geest et al. 2017).



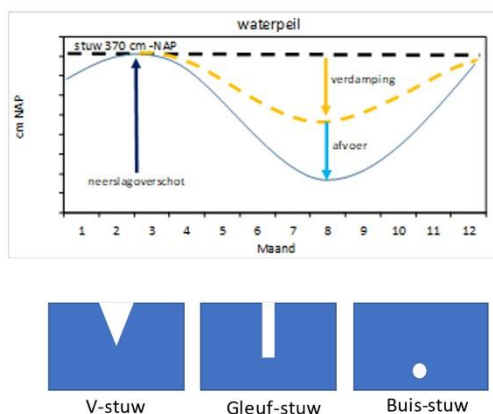
Figuur 4.21. Langjarig verloop van de bijdrage van Flevoland aan de fosfaatbelasting van het Markermeer.



Figuur 4.22. Gemiddeld seizoensverloop van de bijdrage van Flevoland aan de fosfaatbelasting van het Markermeer, voor en vanaf 2009.

Omdat toevoer van voedingsstoffen voor het versterken van het voedselweb het meest oplevert aan het begin van het groeiseizoen, is de relatief sterke toename in het voorjaar in principe gunstig geweest. Om in de toekomst tot de voorgenomen 50 cm peilverlaging in de zomer te komen, zal in de periode april-september water uit de OVP worden afgevoerd, in de maanden daarbuiten niet. De peilstijging in het najaar komt door neerslagoverschot tot stand (figuur 4.23). Aanvoer van extra water vanuit de OVP bovenop dit regime betekent dat eerst water uit het Markermeer moet worden ingelaten (zie ook Cornelissen & Petie 2021).

Waterpeildynamiek 50 cm obv neerslag&verdamping



- Waterpeilstijging in winter oiv neerslagoverschot
- Waterpeildaling in zomer oiv verdamping + extra afvoer
- Extra afvoer mbv:
 - speciale stuw: V-stuw; Gleuf-stuw; Buis-stuw.
 - aangepast beheer van de stuw: stuw wordt geleidelijk verlaagd in zomer

Figuur 4.23. Overzicht van de relatie tussen afvoer en natuurlijke processen voor het realiseren van 50 cm peilfluctuatie in de Oostvaardersplassen (P. Cornelissen).

4.7 Conclusies t.a.v. vraag 2; de data analyse

Wat kan Flevoland betekenen voor het Markermeer?

- **Totaal fosfaat:** In de OVP zijn de concentraties met name in de zomer veel hoger dan in het Markermeer. Dit fosfaat is echter grotendeels gebonden in en aan algen (anders dan in de LP). De concentraties in de ecozone zijn, hoewel ook veel hoger dan in het Markermeer, aanzienlijk lager dan in de plassen (zonder consequent verschil in het aandeel van de opgeloste fractie). Dit kan een aanwijzing zijn voor sedimentatie.
- **Totaal fosfaat:** De bijdrage aan de P belasting van het Markermeer kan in de zomer minstens 10% bedragen, in de winter meer dan 20%. Mogelijk is dat nog een onderschatting, want de fosfaatconcentraties zijn overdag gemeten, terwijl de bemaling vooral 's nachts heeft plaatsgevonden. De concentraties nemen toe met het afvoerdebiet en kunnen daardoor 's nachts hoger zijn dan overdag. De vrachtberekeningen komen dan te laag uit omdat het grootste deel van de afvoer (het nachtelijke deel) is gecombineerd met te lage concentraties op basis van de dagmetingen. Dit betekent ook dat de vrachten met behulp van het maalregime kunnen worden gemanipuleerd (d.w.z. vergroot door te sturen op hoge debieten).
- **Opgelost fosfaat:** Door de grotere opgeloste fractie is de concentratie opgelost fosfaat in de Lage Vaart vergelijkbaar met die in de OVP, en op beide locaties zijn de concentraties veel hoger dan in het Markermeer. Met of zonder OVP ontvangt een eventueel luwtegebied in aansluiting op de Blocq dus significante hoeveelheden (gebonden en) opgelost fosfaat.
- **Gebonden koolstof:** De concentraties organisch zwevend stof (zwevend stof – gloeirest) zijn in de OVP veel hoger dan in het Markermeer, de vaarten en de Lepelaarplassen. Dit materiaal bestaat grotendeels uit algen. Het is niet mogelijk met de beschikbare data fluxen of vrachten van anderszins gebonden koolstof te schatten, of onderscheid te maken in fracties (bijv. FPOC, Fine Particulate Organic Matter).

- Opgelost koolstof: De concentraties organisch koolstof in de OVP zijn ongeveer twee keer zo hoog dan in het Markermeer (maar metingen zijn schaars). In de vaarten zijn de concentraties opgelost C intermediair, in de Lage Vaart nog wel 1.5 x zo hoog als in het Markermeer. In de winter zijn de concentraties hier het hoogst, waardoor de jaarlijkse vrachten naar het Markermeer sterk zijn geconcentreerd in dat seizoen. Er zijn geen metingen aan de buitenzijde van de Blocq van Kuffeler. Net als bij opgelost fosfaat is er in potentie een interessante toevoer van opgelost koolstof die in een luwtezone benut zou kunnen worden. Het is goed mogelijk dat de samenstelling van het DOC in de OVP verschilt van die van de Hoge en Lage Vaart (hoger percentage Biodegradable DOC), maar dat is uit de data niet af te leiden.
- Debieten: sinds 2009 zijn de debieten van ZZL naar Markermeer hoger vanwege verhoogde inzet Blocq van Kuffeler. Wortman wordt nauwelijks meer gebruikt. Bemaling door de Blocq wordt sindsdien sterk gedomineerd door water uit de Lage Vaart en vanuit beide vaarten wordt verreweg het meeste water in de wintermaanden naar het Markermeer gemalen. Alleen in de maanden november – februari draagt aanvoer vanuit ZZL serieus bij aan de waterbalans van het Markermeer (15-20%).
- Seizoensverloop vrachten stoffen: Door hoge concentraties van nitraat, sulfaat en organisch koolstof in de wintermaanden ligt het accent bij de vrachten van deze stoffen nog sterker op de wintermaanden. Bij fosfaat zijn de concentraties in de nazomer het hoogst, maar door de debietverdeling zijn de vrachten toch ook hier het hoogst in de winter. Bij totaal fosfaat en nog sterker bij opgelost fosfaat is er een minimum aan vracht in het voorjaar (april). Voor een bijdrage aan de productiviteit van het Markermeer is dit minder gunstig; daarvoor moeten bij voorkeur voedingsstoffen in het groeiseizoen worden aangevoerd, ongeveer vanaf maart. Dit is wel de periode waarin de bijdrage van de Oostvaardersplassen in potentie het grootst is. Ten opzichte van de afvoer ten behoeve van peilverlaging vanaf april zou doorspoeling met Markermeerwater in een iets vroeger stadium (maart) kunnen worden overwogen.
- Bijdrage Flevoland aan fosfaatbelasting Markermeer: Door verhoogde inzet van de Blocq van Kuffeler nam de bijdrage van Flevoland aan de P belasting van het meer toe van 10 naar 17% in de wintermaanden, en van 3 naar 11% in de zomermaanden. Het accent op de wintermaanden van de belasting vanuit Flevoland werd daardoor minder sterk. Dit betekent dat sinds 2009 de bijdrage ook in de zomer significant is. Mogelijk is die bijdrage bovendien onderschat door het gebruik van dagmetingen van concentraties van stoffen, terwijl die waarschijnlijk hoger zijn tijdens de bemaling, die met name 's nachts plaatsvindt.

5 Effecten Oostvaardersplassen

Vraag 3: hoe veranderen de fluxen van stoffen door grotere peilfluctuaties in de OVP?

In de Oostvaardersplassen is er nu gemiddeld 25 cm peilverschil tussen winter en eind zomer. Deze amplitude zal groter worden en gaat naar gemiddeld 50 cm, met uitschieters naar 70-75 cm in droge jaren. De toename van arealen met droogval en van de frequentie van cycli van verdroging en vernatting heeft effect op de uitwisseling van stoffen tussen water en bodem. Daarnaast heeft het effect op de vegetatie ontwikkeling, die de uitwisseling van stoffen nog complexer maakt. Hoe beïnvloedt een grotere waterpeildynamiek in de OVP de waterkwaliteit van de Oostvaardersplassen via deze combinatie van effecten? En wat betekent dit voor de kwaliteit van het water dat naar het luwtegebied wordt verplaatst?

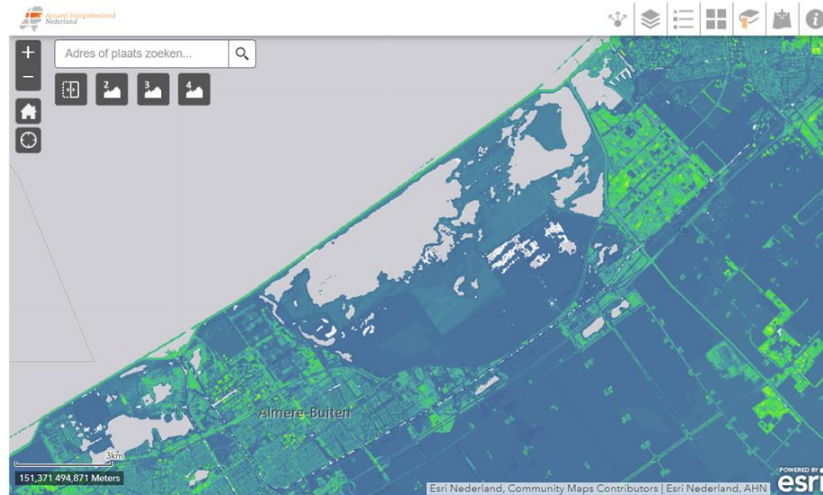
5.1 Invloed waterpeildynamiek op de waterkwaliteit

Om het hierboven bedoelde effect uit te kwantificeren is het van belang om inzicht te krijgen in de volgende factoren:

- Areaal dat droogvalt op basis van hoogtekartaar
- Periode van droogval
- Dynamiek over de tijd (inklinking en ophoping van organisch materiaal)

De digitale hoogtekartaar van Nederland (Actueel Hoogtebestand Nederland; www.ahn.nl) geeft een accurate beschrijving van de hoogteligging van de huidige droge delen van de Oostvaardersplassen (figuur 5.1). Omdat het waterpeil 's zomers verder kan uitzakken dan met de oorspronkelijke peildynamiek, is ook inzicht in het diepteprofiel van de plassen nodig. Voor het westelijk deel van de moeraszone kan tijdens huidige langdurige droogval voor herstel van de rietvegetatie een goed beeld verkregen worden van de hoogteligging (na inklinking) van dit gebied. Voor de oostelijke plassen zou een profiel van de meren nog wel toegevoegd moeten worden. Op basis hiervan is het mogelijk om het areaal dat droogvalt over het dynamische peil te kwantificeren.

De hoogteligging van het gebied in combinatie met de verwachte peildynamiek geeft tevens inzicht in de periode en duur van droogval. Hiermee kan bepaald worden in welke delen er volledige droogval zal optreden en waar een plas-dras situatie blijft bestaan. Dit is van belang voor de uitwisseling van voedingsstoffen tijdens en na de droogval (zie volgende sectie). Tenslotte zal er in de loop van de tijd dynamiek in de hoogteligging van het gebied zijn door inklinking tijdens langdurige droge periodes, ontwikkeling van de vegetatie en de ophoping van organisch materiaal (tussen de vegetatie). Voor de ontwikkeling van de vegetatie in de moeraszone en de ophoping van organisch materiaal speelt de begrazing een belangrijke rol in de Oostvaardersplassen.



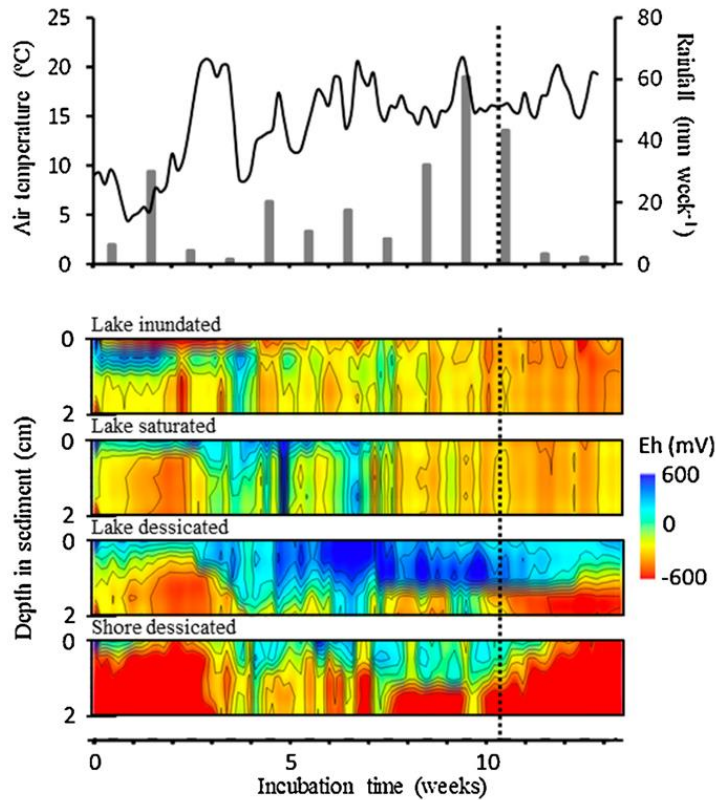
Alternatief: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>

Figuur 5.1. Hoogteverdeling van de droge delen van de Oostvaardersplassen. Bron: Actueel Hoogtebestand Nederland.

Uit de workshop: In beginfase zijn er waarschijnlijk grote veranderingen in de fluxen. De vraag is of je je daar door laat 'gijzelen'? Waarschijnlijk is er weinig aan te doen, belangrijk is te focussen op de lange termijn.

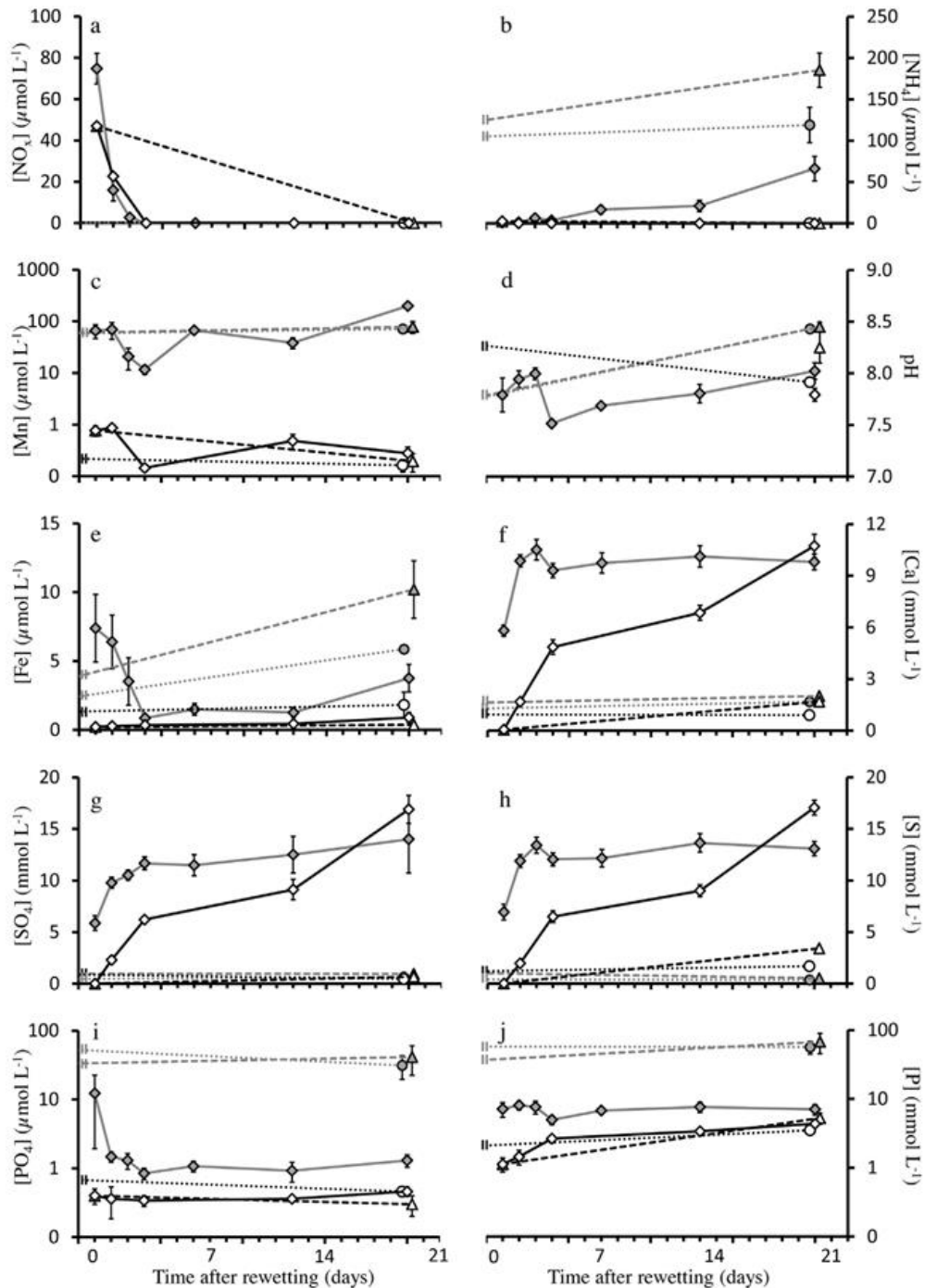
5.1.1 Dynamisch waterpeil en bodemprocessen

Door het meer dynamische waterpeil zal er in een groter gebied periodes zijn van droogval en vernatting. Droogval en vernatting beïnvloeden biogeochemische processen zoals reductie en oxidatie. Een voorbeeld van de verschuivingen in reductie/oxidatie potentiaal (redox-potential) van de bodem tijdens droogval en vernatting staat in figuur 5.2 (Vonk et al. 2017). Tijdens de afbraak van organische stof door microben in de bodem wordt zuurstof geconsumeerd. In een waterverzadigde bodem ontstaan hierdoor anoxische omstandigheden vanaf een paar millimeter diepte. Onder deze omstandigheden gaan bacteriën andere stoffen gebruiken voor de afbraak van organisch materiaal: nitraat, mangaan, ijzer, en sulfaat. De afbraak hangt af van de beschikbaarheid van deze stoffen, de hoeveelheid en kwaliteit van het organisch materiaal en de redox-condities in het sediment. Ook de mate waarin het sediment eerder is blootgesteld aan droogval en vernatting kan de redox condities in de bodem beïnvloeden (zie verschil tussen lake en shore sediment in figuur 5.2).



Figuur 5.2. Weersomstandigheden (boven) en redoxpotentiaal (onder) in het sediment gedurende mesocosm experimenten. Redoxpotentiaal over een dieptegradiënt in meersediment met behandelingen van inundatie, verzadiging en uitdroging, en in uitgedroogd oever sediment. De verticale stippellijnen geven het moment aan van hernieuwde vernatting (alleen behandelingen van verzadiging en verdroging).

Door de afbraak van organisch materiaal en de veranderende redox-condities in de bodem, kunnen nutriënten tijdens droogval en vernatting vrijkomen of juist vastgelegd worden. Dit zorgt voor een dynamische uitwisseling van nutriënten tussen het sediment/poriewater en het bovenstaande water. Figuur 5.3 laat deze dynamiek zien voor een bodem uit het oostelijk deel van de Oostvaardersplassen (Vonk et al. 2017). De uitwisseling van nutriënten is afhankelijk van de samenstelling van de bodem en de mate van droogval. Voor verdere kwantificatie van de uitwisseling van nutriënten is daarom gebiedsbreed inzicht in de bodemsamenstelling nodig. Gecombineerd met de verwachte peildynamiek kan deze informatie gebruikt worden in speciatie modellen om de fluxen van stoffen te kwantificeren.



Figuur 5.3. Veranderingen in de concentraties van enkele stoffen (gemiddelde en standaarddeviatie, $n=5$) in oppervlaktewater (open symbolen) en poriewater (gesloten symbolen) in controle omstandigheden (cirkels), na verzadiging (driehoeken) en uitdroging (ruitens). a) nitraat/nitriet, b) ammonium, c) mangaan, d) zuurgraad, e) ijzer, f) calcium, g) sulfaat, h) zwavel, i) opgelost fosfaat, j) totaal fosfaat.

5.1.2 Invloed op de waterkwaliteit in de OVP

Toename van het dynamische peil in de Oostvaardersplassen leidt dus tot een verandering in de ontwikkeling van de vegetatie en in de uitwisseling van nutriënten tussen de bodem en het oppervlaktewater. Dit werpt de vraag op hoe het dynamische peil de waterkwaliteit van de Oostvaardersplassen gaat beïnvloeden.

Nutriëntenfluxen kunnen worden berekend met behulp van speciatiemodellen waarbij het totale areaal, de droogval periode, en de bodemsamenstelling is meegenomen worden (zoals beschreven in de vorige sectie). De concentraties van opgeloste nutriënten in het oppervlaktewater van de Oostvaardersplassen wordt daarnaast bepaald door de verblijftijd van het water binnen OVP. De verblijftijd bepaalt de mate waarin de nutriëntenfluxen vanuit de bodem kan leiden tot toenames in concentraties, maar ook de opname van de opgeloste nutriënten door primaire producenten in het gebied.

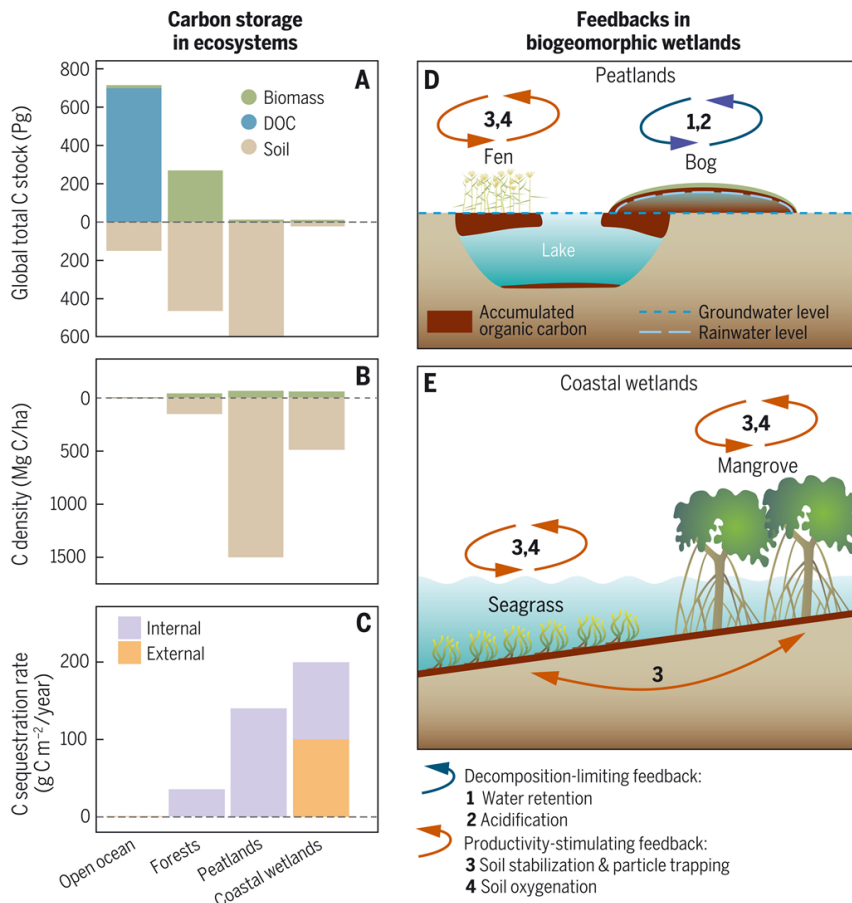
Naast opgeloste nutriënten spelen ook gesuspendeerde deeltjes een rol in de waterkwaliteit. Onder het regime met lage waterpeildynamiek is er veel resuspensie van bodemdeeltjes in de grote en opdiepe plassen van de Oostvaardersplassen. Compactie van de bodem na droogval zal leiden tot minder resuspensie van bodemdeeltjes. De mate waarin resuspensie van de bodem na stijging van het waterpeil weer zal optreden hangt ook sterk af van de biologische gemeenschap. Uitbreiding van wortelende (water)planten kan een stabiliserende werking hebben op de bodem die dan meer wordt vastgehouden. Daarnaast kan er sedimentatie optreden van gesuspendeerde deeltjes in de oevervegetatie. Verstoring van de (water)bodem door fauna, zoals bioturbatie door vissen, kan resuspensie van bodemdeeltjes stimuleren.

5.2 Effect van verandering van dynamiek (feedback) op Markermeer

5.2.1 Belang van feedbacks vanuit moerassen

Er bestaan veel feedbacks tussen planten en hun omgeving. Planten zijn in staat om hun directe omgeving te beïnvloeden bijvoorbeeld door het vastleggen van sedimenten en door de ophoping van geproduceerd organisch materiaal in de bodem. Planten kunnen hierdoor de waterhuishouding in een gebied veranderen en zorgen voor opslag van koolstof in het ecosysteem. Het belang van deze biogeomorfologische feedbacks is recent benadrukt (Figuur 5.4; Temmink et al. 2022). Op wereldschaal vormen wetlands dan ook een belangrijke opslagfunctie voor koolstof.

Herstelmaatregelen waarin deze biogeomorfologische feedbacks worden meegenomen, leiden tot een groter succes en opbrengst van het herstel. Door stimulatie van zelfversterkende interacties tussen planten en hun omgeving, kunnen productievare ecosystemen ontstaan. Het herstellen van een natuurlijke waterstand dynamiek in de moerassen van de Oostvaardersplassen kan de ontwikkeling van moerasvegetatie stimuleren. In de moerasvegetatie treedt ophoping van koolstof op in de bodem, dat bestaat uit dode delen van de planten zelf en ingevangen organisch materiaal uit de omgeving, resulterend in meer POC en BDOC (zie paragraaf 3.3). Ook zorgen de uitgebreide wortelstelsels voor stabilisatie van de bodem en minder erosie en opwerveling van sedimentdeeltjes.



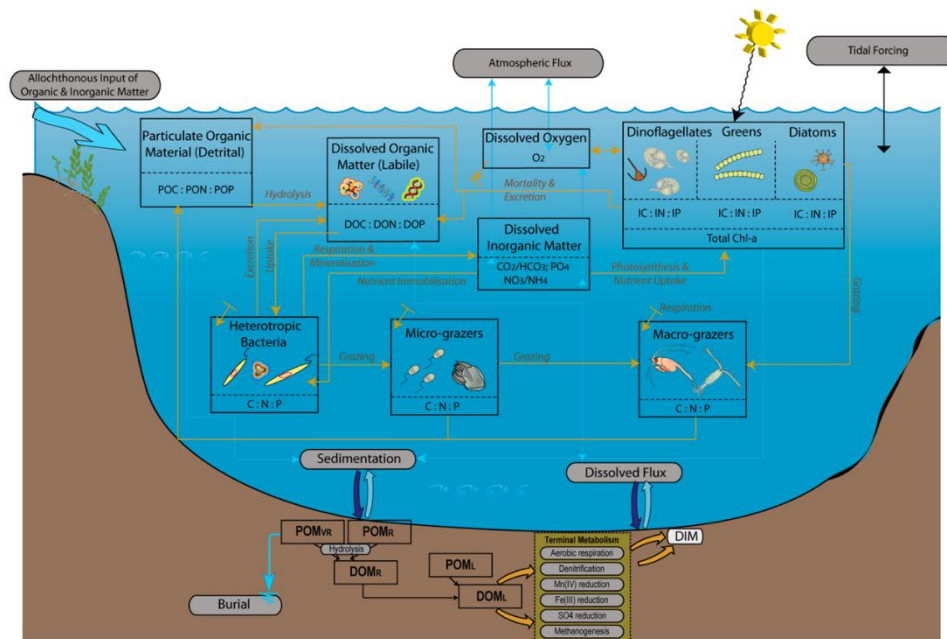
Figuur 5.4: Vegetatie in moerassen en ondiepe kustzones heeft sterke feedback mechanismen met de omgeving (biogeomorfologie). Vegetatie zorgt voor lokale productie en ophoping van koolstof en het invangen van koolstof uit de omgeving. Hoewel de grootste voorraad koolstof is opgeslagen in de oceanen (A) bevatten veenmoerassen de grootste hoeveelheid per oppervlakte-eenheid (B), terwijl kustgebonden systemen als mangroven, zeegrassvelden en kwelders de grootste bindingscapaciteit hebben (C). Feedback mechanismen van en naar de opgeslagen koolstof voorraden stimuleren de productiviteit en beperken de afbraak (D en E). Zulke feedbacks stimuleren de groei van vegetatie en de productie van organisch stof. Uit Temminck et al. 2022.

5.2.2 Betekenis van koolstof voor het voedselweb

De koolstof die in de vorm van kleine organische deeltjes (Fine Particulaire Organische Carbon; FPOC) vanuit het stroomgebied naar een meer stroomt, is een belangrijke voedselbron voor zoöplankton, die met name de bacteriën consumeren die POC omzetten (Cole et al. 2006, Ecology Letters). De helft van de voedselbehoefte van het zoöplankton kan hierdoor gevuld worden, waarbij lokale primaire productie in het meer door fytoplankton de andere helft van de voedselbehoefte kan voorzien. Het zoöplankton vormt een essentiële schakel in de voedselketens in de waterkolom en zorgt voor een doorgifte van voedingstoffen en energie naar hogere trofische niveaus (vissen en vogels).

Bronnen voor POC in een meer zijn de terrestrische vegetatie in gebieden met afspoeling naar het meer en de oevervegetatie. In het Markermeer zijn beide vormen van vegetatie niet veel aanwezig. De rol van een aantal natuurontwikkelingsgebieden op de koolstofstroom naar het Markermeer/IJsselmeer is bepaald in een aantal pilot projecten uitgevoerd door de Universiteit van Amsterdam. Hierbij is gekeken naar de oorsprong van het POC en het opgelost organische koolstof (Dissolved Organic Carbon; DOC) met behulp van stabiele koolstof isotopen (deze zijn verschillend tussen emergente/terrestrische vegetatie en aquatische primaire producenten) en de concentraties van de POC en DOC in het water afkomstig uit verschillende gebieden rond het Markermeer/IJsselmeer.

Naast de hoeveelheid beschikbare POC en DOC in een meer ecosysteem is ook de kwaliteit van de organische koolstof fracties van belang. De kwaliteit bepaalt in sterke mate de doorgifte van het organisch koolstof naar hogere trofische niveaus (Figuur 5.5). Hierdoor zijn de koolstof- en nutriëntkringlopen van stikstof en fosfor sterk gekoppeld. Een uitgebreidere beschrijving hiervan staat in het rapport van Rombouts et al. (2019).



Figuur 5.5. Nutriënt cyclus en stoichiometrie van koolstof, stikstof en fosfor in meer ecosystemen. Bron: Aquatic Ecodynamics <http://aed.see.uwa.edu.au/research/models/AED/overview.html>.

5.2.3 Pilot metingen organisch koolstof uitwisseling

De afgelopen jaren heeft de Universiteit van Amsterdam verschillende student-projecten uitgevoerd om de uitwisseling van koolstof tussen het Markermeer/IJsselmeer en de omliggende polders/natuurontwikkelingsgebieden te bepalen. Onder begeleiding van Harm van der Geest en Arie Vonk, samen met andere collega's, hebben een aantal MSc studenten metingen uitgevoerd rondom de uitwisseling tussen de Koopmanspolder en het IJsselmeer, tussen polder IJdoorn en het Markermeer, en tussen de Marker Wadden en het Markermeer. Uit deze pilot-studies blijkt duidelijk dat er in de natuurontwikkelingsgebieden een flux is van koolstof vanuit terrestrische planten op het land of de emergente oevervegetatie naar het oppervlaktewater binnen het natuurgebied. Dit is gemeten met behulp van stabiele koolstof isotopen. Het terrestrisch geproduceerde koolstof heeft een duidelijk andere stabiele koolstofsignatuur dan het aquatisch geproduceerde koolstof. In de Koopmanspolder is deze koolstofsignatuur ook duidelijk zichtbaar in het sediment van het aangelegde watersysteem.

Het lokaal geproduceerde organisch materiaal in de natuurontwikkelingsgebieden geeft lokaal een verhoging van met name de concentraties POC. Voor DOC concentraties zijn de resultaten meer wisselend en deels vergelijkbaar met concentraties in het water van het Markermeer/IJsselmeer. Wateruitwisseling tussen de natuurontwikkelingsgebieden en het open water leidt tot een flux van POC naar het meer. Bij de huidige inrichting is het effect echter lokaal; de stoffen zijn niet meer traceerbaar in het omliggende water. De verhoogde POC concentraties gemeten in de rietzones op de Markerwadden zijn niet meer meetbaar in het oppervlakte water van het Markermeer in de directe omgeving de eilanden.

Daarnaast zijn de gemeten DOC en POC concentraties in de natuurontwikkelingsgebieden (polder IJdoorn en Marker Wadden) vergeleken met concentraties bij de poldergemalen van de Lage Vaart/Hoge Vaart en de Poel. Hierbij valt op dat vooral de POC concentraties hoger zijn in het water van de natuurontwikkelingsgebieden dan het water bij de poldergemalen. Natuurgebieden met uitgebreide rietlanden geven dus een aanvullende koolstof flux naar het Markermeer van POC die in de voormalige inrichting grotendeels ontbrak. Ook in de resterende buitendijkse rietlanden zijn die fluxen beperkt (Verdonschot et al. 2021), omdat geen sprake meer is van natuurlijke peildynamiek. Een inschatting van het belang van de huidige (binnendijkse) wetlands voor de koolstof flux naar het Markermeer is tenslotte gedaan op basis van POC en DOC concentraties gemeten op 7 uitwisselingspunten rond het Markermeer en de UvA waterbalans (Van der Geest et al. 2018): De eerste inschatting is dat de huidige wetlands minder dan 1% bijdragen aan de totale aanvoer van organisch koolstof naar het Markermeer.

5.2.4 Recente ervaringen Marker Wadden

Bij de aanleg van Marker Wadden was de toevoer van fosfaat en organisch stof vanuit de te ontwikkelen moerassen naar het Markermeer een van de doelen. Onderzoek door het NIOO heeft aangetoond dat op en tussen de eilanden sprake was van verhoogde nutriënt concentraties, een verhoogde voedselkwaliteit van het zwevend stof (verlaagde C/P ratio) en verhoogde zoöplankton dichtheden. Vlak buiten Marker Wadden waren deze signalen niet meer meetbaar.

Daarnaast bleek bij metingen in de slibvanggeul ten westen van Marker Wadden, gegraven om slib te verzamelen om de eilanden mee te bouwen, dat op de bodem de organisch stof gehaltes in het sediment (% van drooggewicht) meer dan drie keer zo hoog waren als in het sediment in de omgeving van de geul. Weliswaar is dit een eenmalige meting die nog veel vragen oproept, en die aanleiding is voor nader onderzoek.

Er vindt dus enerzijds snel verdunning plaats van toegevoerde stoffen vanuit het moeras naar het meer, anderzijds vindt accumulatie van die stoffen plaats in putten en geulen in de directe omgeving.

Locatie	OM	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	D (0,5)
4	4,4	11,4	69,7	6,4	2,24	0,11	53
11	4,5	16,6	62,9	6,9	2,75	0,11	51
13	1,0	8,4	80,9	4,6	0,87	0,07	87
17	7,0	12,3	63,2	7,9	3,11	0,15	24
18	3,4	12,4	70,6	6,2	1,82	0,10	61
28	2,7	12,1	71,4	6,2	1,72	0,10	60
33*	13,4	11,1	53,6	9,8	4,48	0,19	17

Tabel 5.1. Concentraties stoffen in de toplaag van het sediment op een aantal locaties rond Marker Wadden (% droge stof). Locatie 33 is de slibgeul. D (0,5) is de mediane deeltjesgrootte. Uit het KIMA eindrapport (van Kessel in De Rijk et al. 2022).

5.3 Conclusies t.a.v. vraag 3; invloed van meer peildynamiek OVP

Hoe veranderen de fluxen van stoffen door grotere peilfluctuaties in de OVP?

- Toename amplitude waterpeil: Door de grotere amplitude van waterpeilen neemt het areaal met beurtelings verdroging en vernatting toe. Daardoor neemt ook de dynamiek van stofstromen toe. De mate waarin en de wijze waarop zijn afhankelijk van meerdere factoren, zoals de duur en frequentie van droogte of vernatting en de eigenschappen van de bodem. Deze informatie is nodig om de te verwachten fluxen van stoffen met behulp van modellering te kunnen inschatten. Effecten van veranderde fluxen hangt vervolgens onder meer af van de verblijftijden van het water in het gebied.
- De huidige, sterke resuspensie van bodemmateriaal in het ondiepe water zal naar verwachting bij grotere peilfluctuatie verminderen omdat de bodem bij herhaalde droogval consolideert. Ook als het nieuwe regime leidt tot toename van bijv. riet of waterplanten, stabiliseert de bodem en wordt het sediment door de planten ingevangen en vastgehouden. Toename van moerasvegetatie zal leiden tot meer lokale productie en opslag van koolstof. Erosie neemt af.
- In binnendijkse natuurontwikkelingsgebieden in het IJsselmeergebied ontstaan verhoogde concentraties POC (particulair organisch koolstof), dat een belangrijk aandeel van het voedsel van zoöplankton kan vormen. Bij uitwisseling van water door de dijk ontstaat een POC flux naar het meer, die duidelijk groter is dan bij de poldergemalen zonder moeras in het achterland. In de huidige situatie, waarin de stofstromen tussen moerassen en meer onderbroken zijn, leveren moerassen waarschijnlijk maar 1% van de totale aanvoer van organisch C naar het Markermeer. Zonder begeleiding verdwijnt het POC uit de moerassen bovendien buitendijks in de grote watermassa, en is het al snel niet meer te traceren.
- Recente ervaringen vanuit het onderzoek naar de ontwikkelingen op en rond Marker Wadden geven ook aan dat de lokale productie hoog kan zijn, maar dat het effect op korte afstand van de oever in het meer niet meer merkbaar is. Dit wordt bij Marker Wadden waarschijnlijk versterkt door accumulatie van fosfaat en organisch stof in de putten en geulen rond de eilanden, waar slib wordt verzameld om die eilanden aan te leggen en te onderhouden. Toevoer van stoffen die begeleidt wordt met een relatief kleinschalig luwtegebied biedt wellicht betere kansen en zou een toevoeging zijn op de bestaande natuurontwikkelingsprojecten in het Markermeer.

Uit deze conclusies blijkt dat er weliswaar de nodige kennis is over de manier waarop veranderingen in hydrodynamiek de chemie van moerassen als de OVP kunnen veranderen, maar dat er anderzijds nog niet voldoende informatie is over met name de karakteristieken van de bodem, om de veranderingen van de nutriëntenstroom door dit gebied kwantitatief te kunnen voorspellen. Een zekere mate van onzekerheid hieromtrent zal overigens ook na vervolgstudies blijven bestaan. Verder moet niet alleen de vraag worden gesteld hoeveel POC kan worden “geleverd” maar ook hoeveel verlies daarbij optreedt door sedimentatie onderweg.

6 Combinatie water OVP en water uit de vaarten

Vraag 4: Moeten we het water uit de OVP en het water uit de vaarten apart houden?

De volgende vragen hebben betrekking op inrichting ten behoeve van toevoer en begeleiding van het water uit Flevoland in het Markermeer. Vraag 4 luidt allereerst of de verschillende bronnen, in de praktijk de OVP enerzijds en de vaarten anderzijds, gecombineerd kunnen worden of gescheiden moeten worden behandeld. Onder het apart houden van het water wordt bedoeld dat een aparte pomp wordt aangelegd zodat OVP water rechtstreeks, zonder gebruik van de Blocq van Kuffeler, naar een luwtegebied in het Markermeer wordt afgevoerd.

Daaraan zitten twee aspecten; de verschillen in concentraties van de geselecteerde stoffen en het waterkwantiteitsaspect; de mogelijkheid de vrachten enerzijds te sturen via het maalregime van de Blocq van Kuffeler en/of een meer directe verbinding tussen OVP en Markermeer (debietverdeling korte en lange termijn), anderzijds te begeleiden met een verkorte verblijftijd in een luwtegebied buitendijks.

6.1 Fosfaat

De concentraties opgelost fosfaat zijn in de OVP het hele jaar vergelijkbaar met die in de Lage Vaart (lager in de Hoge Vaart, maar die levert minder debiet). Op basis van fosfaat hoeven de bronnen dus niet worden gescheiden.

6.2 Koolstof

Ook voor wat betreft koolstof aanvoer is er mogelijk wel een reden de wateren gescheiden te houden. De concentraties in de OVP zijn hoger dan in de vaarten, en vermoedelijk is ook de samenstelling beter. Een koppeling zou wel gebruikt kunnen worden door inzet van het maaldebiet van de Blocq, om de verblijftijd van het toegevoerde water met stoffen te manipuleren. Dit is echter in principe ook mogelijk via doorspoeling van de OVP met Markermeerwater via een Westvaarders verbinding.

Een nadeel van het samenvoegen van de verschillende stromen via de Blocq van Kuffeler is bovendien dat de voedingsstoffen uit de OVP dan eerst een traject door de ecozone moeten afleggen. Onderweg kan daarbij een deel van het zwevend stof bezinken of achterblijven in vegetatie onderweg (grofste fracties), zodat de hoeveelheid stoffen die het Markermeer bereikt wordt beperkt.

De optie Westvaarders, met een korte verbinding naar het Markermeer is voor de toevoer van organisch stof gunstiger. Het debiet dat hierbij kan worden gegenereerd is in zonder doorspoeling lager dan wat via de Blocq mogelijk is, en valt sterk terug nadat het zomerpeil is gerealiseerd (Cornelissen & Petie 2021; zie ook figuur 4.23). Met aanvullende doorspoeling kunnen hier mogelijk echter ook relevante debieten worden gerealiseerd voor een verkorte verblijftijd in een luwtegebied op deze locatie.

Een lager debiet betekent een kleiner luwtegebied aan Markermeerzijde, vanuit de gedachte dat in voorjaar en zomer een lokale verblijftijd van enkele weken moet worden gerealiseerd. In theorie is het ook een optie om het debiet van de Blocq buitendijks af te leiden naar een luwtegebied voor de Westvaarders verbinding, desnoods met een pijpleiding.

Als met behulp van doorspoeling ook in de zomer een debiet via de Westvaarders verbinding kan worden gerealiseerd dat vergelijkbaar is met dat van de Blocq, dan levert dit voor het voedselweb in het Markermeer meer op dan een vergelijkbaar (tweede) luwtegebied voor de Blocq, als gevolg van de veel lagere aanvoer van organisch stof aldaar.

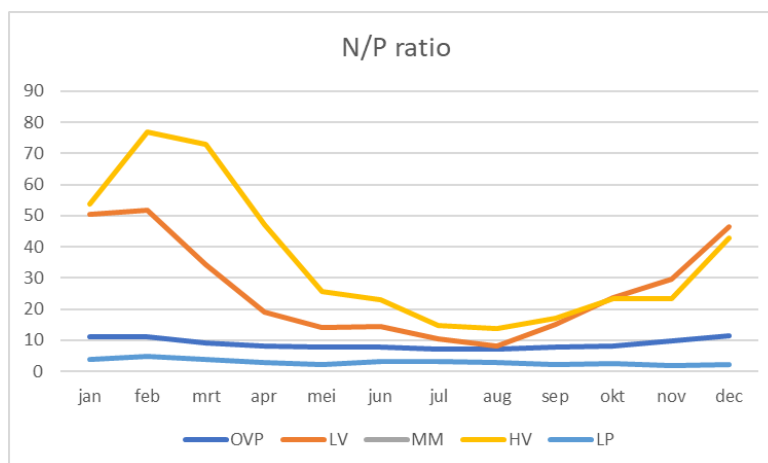
Uit de workshop: instroom van opgeloste stoffen (fosfaat) in het Markermeer (luwtegebied) kan toegevoegde waarde hebben (via perifyton), maar wees voorzichtig en het is zeker niet nodig en kan zelfs negatieve effecten hebben. Omdat je sowieso nutriënten krijgt aangevoerd met je het habitat wel zo inrichten dat perifyton ervan kan profiteren (ondiepe vlaktes met structuur, onder water, geen eiland).

Koolstofluxen zijn het belangrijkste, meest effectief via een doorgang Westoever (kortste route, laagste verlies en grotere kansen voor transport grovere fracties), wat ook voor vis de beste oplossing lijkt (kortse route tussen paai-opgroei-habitat en verblijfplaats volwassen vis)? Ook combinatie met vaarten via de Blocq heeft echter voordelen m.b.t. aanvoer opgeloste stoffen (en vanwege de optie van dynamiek via afvoerdebiet).

Of de biomassa die zich in de vorm van perifyton ontwikkelt op grotere schaal iets betekent hangt af van het beschikbare oppervlak dat daarvoor geschikt is (in het luwtegebied).

6.3 Nitraat en sulfaat

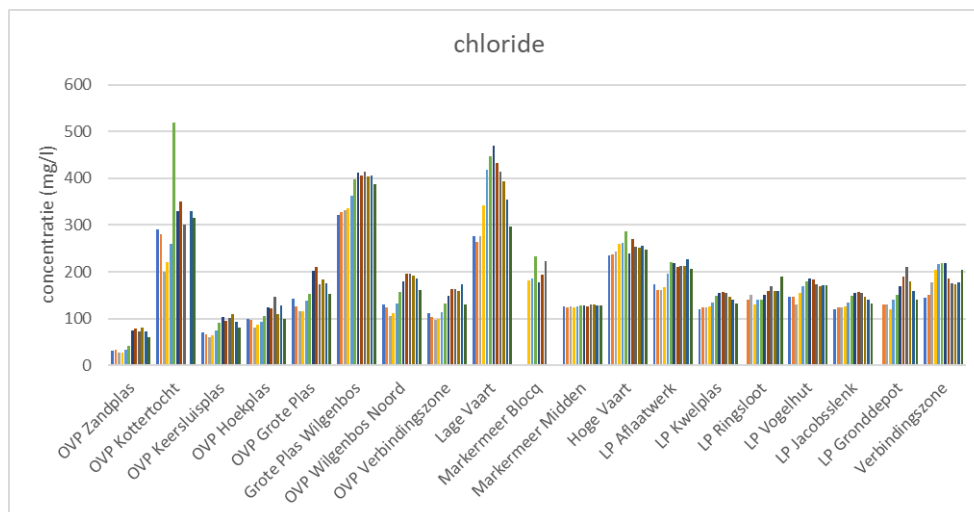
Deze twee minder wenselijke stoffen hebben hoge concentraties in de wintermaanden en door de concentratie van bemaling in die periode relatief gezien nog hogere vrachten. Dit kan ongunstig zijn voor het Markermeer, maar niet noodzakelijkerwijs voor een luwtegebied, omdat deze stoffen in de winter worden doorspoeld, terwijl de concentraties en vrachten in het groeiseizoen lager zijn. Een hoge N/P ratio kan bloei van blauwalgen stimuleren, maar in de vaarten daalt die ratio sterk in maart en april, nog voordat het water opwarmt (figuur 6.1). De hoge waarden zijn overigens beperkt tot de vaarten als gevolg van uitspoeling van nitraat vanuit de polders.



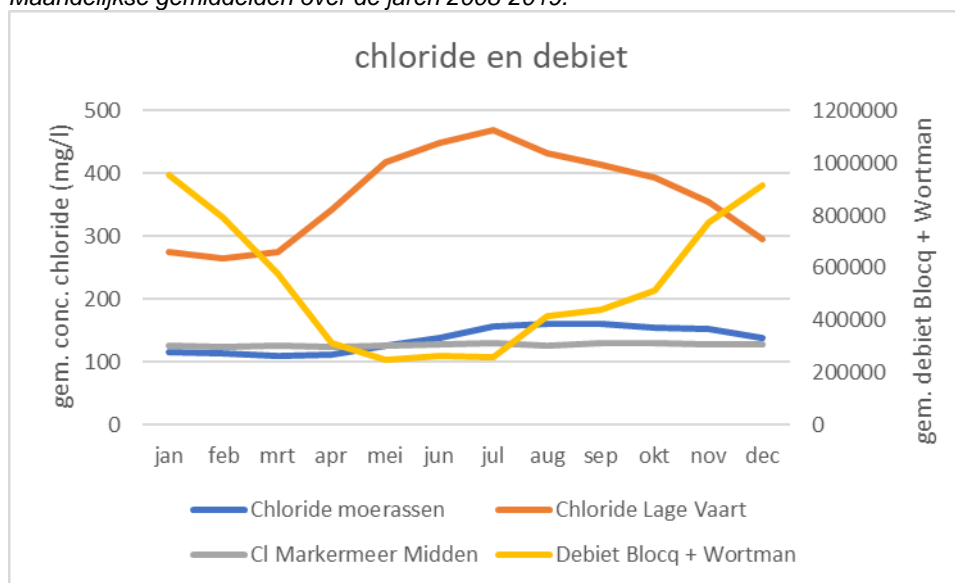
Figuur 6.1. Gemiddeld seizoensverloop van de N/P ratio (massaverhouding) in de Oostvaardersplassen, de Lage Vaart, het Markermeer, de Hoge Vaart en de Lepelaarplassen.

6.4 Zoutconcentraties

Bij uitslag van polderwater wordt nog steeds zout uit de bodem uit de zuiderzeeperiode uitgespoeld. Dat is niet in alle Flevolandse wateren even goed meetbaar, er zijn grote verschillen tussen de locaties (figuur 6.2). Belangrijk voor de huidige situatie is dat de concentraties in de Lage Vaart, die het meeste water naar het Markermeer aanvoert, twee tot drie keer zo hoog zijn als die in het Markermeer. De concentraties zijn relatief laag in de winter (januari-april) en worden hoger nadat de debieten in april fors zijn afgenomen (figuur 6.3).



Figuur 6.2. Chlorideconcentraties in de verschillende wateren in Flevoland en in het Markermeer. Maandelijks gemiddelden over de jaren 2008-2019.



Figuur 6.3. Gemiddeld seizoensverloop van de chlorideconcentraties in de moerassen (gemiddelde van de meest locaties, Grote Plas Wilgenbos niet meegenomen), in de Lage Vaart en in het Markermeer, en het gemiddelde seizoensverloop van de afvoerdebieten via Blocq van Kuffeler en Wortman.

De concentraties in de meeste andere wateren zijn lager dan in de Lage Vaart, met uitzondering van de Kottertocht aan de zuidzijden van de OVP en vooral de locatie bij het Wilgenbos in de ecozone, vlak bij de Blocq.

De maximale concentraties van ca 400 mg chloride per liter vormen geen probleem voor de flora en fauna in het Markermeer. In een klein luwtegebied zou een kleine zoutgradiënt kunnen ontstaan, waarvan soorten van licht brak water zouden kunnen profiteren wanneer deze omstandigheden relatief constant optreden. In de jaren 1970-1980 was er sprake van zo'n situatie in de Gouwzee (ca 400 ha) en aansluitend op het Noordzeekanaal in het zuidelijke IJmeer, waar zich onder die omstandigheden enkele macrofauna soorten uit de Zuiderzeeperiode konden handhaven (Noordhuis 2010). Ook hier is het water inmiddels verder verzoet. De bewuste macrofauna soorten zijn in de omgeving van de Oostvaardersdijk niet meer aanwezig, maar wil in brakke wateren in bijvoorbeeld Noord-Holland. Gezien de afstand, de beperkte schaal van het luwtegebied en de beperkte aanvoer in de zomer lijkt de kans gering dat zich hier een brakke gemeenschap zal vestigen. De range van concentraties die in de hier beschouwde wateren worden bereikt (ca 100-400 mg/l) vormt voor de aanwezige levensgemeenschap in het Markermeer geen probleem.

6.5 Waterkwantiteit en toegevoerde stoffen

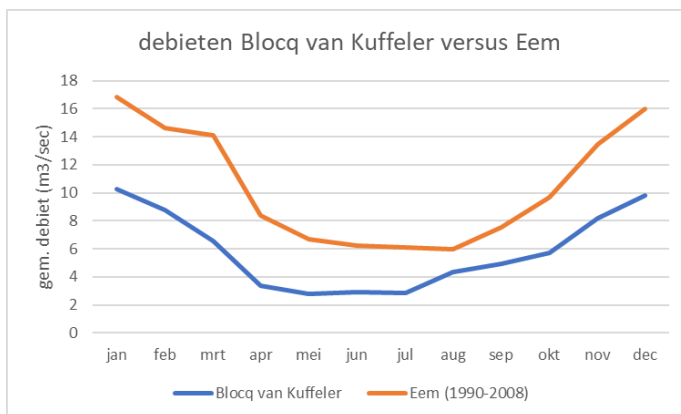
Een belangrijk voordeel van combinatie van water uit het moeras en water uit de vaarten ligt in de debieten die kunnen worden gerealiseerd, enerzijds via afvoer door de Blocq van Kuffeler vanuit de vaarten, anderzijds via doorspoeling van de Oostvaardersplassen met Markermeerwater. Bij begeleiding door middel van een luwtegebied geeft dat de mogelijkheid een lokale verblijftijd te realiseren die het beste past bij een optimaal lokaal gebruik van de (uit het moeras) aangevoerde stoffen.

6.5.1 Maaldebeten in vergelijking met andere bronnen

Het feit dat Zuiderzeeland in de winter 15% van de wateraanvoer van het Markermeer voor z'n rekening neemt, geeft aan dat er mogelijkheden zijn om in samenhang met de dimensionering van een luwtegebied bepaalde stromingspatronen of lokale verblijftijden te realiseren.

Bemaling via de Blocq vertegenwoordigt een stroming waarvan de debieten in de winter oplopen tot meer dan 10 m³/sec (sinds 2009, Wortman is dan niet belangrijk meer; zie paragraaf 4.3). Dit zakt naar een minimum van ongeveer 3 m³/sec in april-juli. Deze waarden zijn ongeveer half zo hoog als het gemiddelde debiet van de Eem, in de winter iets meer, in het voorjaar iets minder (figuur 6.4). Ook daar valt het minimum in het voorjaar.

Het debiet dat vanuit de OVP kan worden gerealiseerd bedraagt zonder doorspoeling met Markermeerwater maximaal 1.3 m³/s in het vroege voorjaar, maar zakt sterk weg na het instellen van het zomerpeil (figuur 4.23, Cornelissen & Petie 2021). Als wel doorspoeling wordt toegepast, kan dit debiet aanzienlijk toenemen en is ook een luwtegebied in aansluiting op een Westvaarders verbinding, met verkorte verblijftijd, in beeld. Welke mogelijkheden hier liggen moet dan nader worden verkend, niet alleen hydrologisch, maar ook met betrekking tot het effect van doorspoeling op de stofstromen.



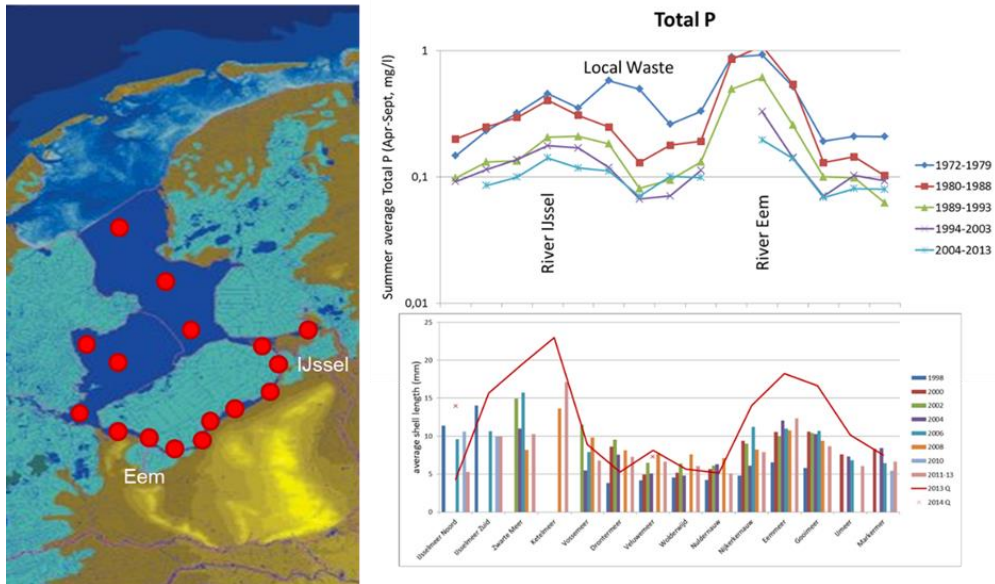
Figuur 6.4. Vergelijking van het seizoensverloop van de afvoerdebieten door de Blocq van Kuffeler in de periode 2009-2019 met het gemiddelde verloop van de afvoer van de rivier de Eem (1990-2008).

6.5.2 Rivierinvloed, verblijftijd en productie

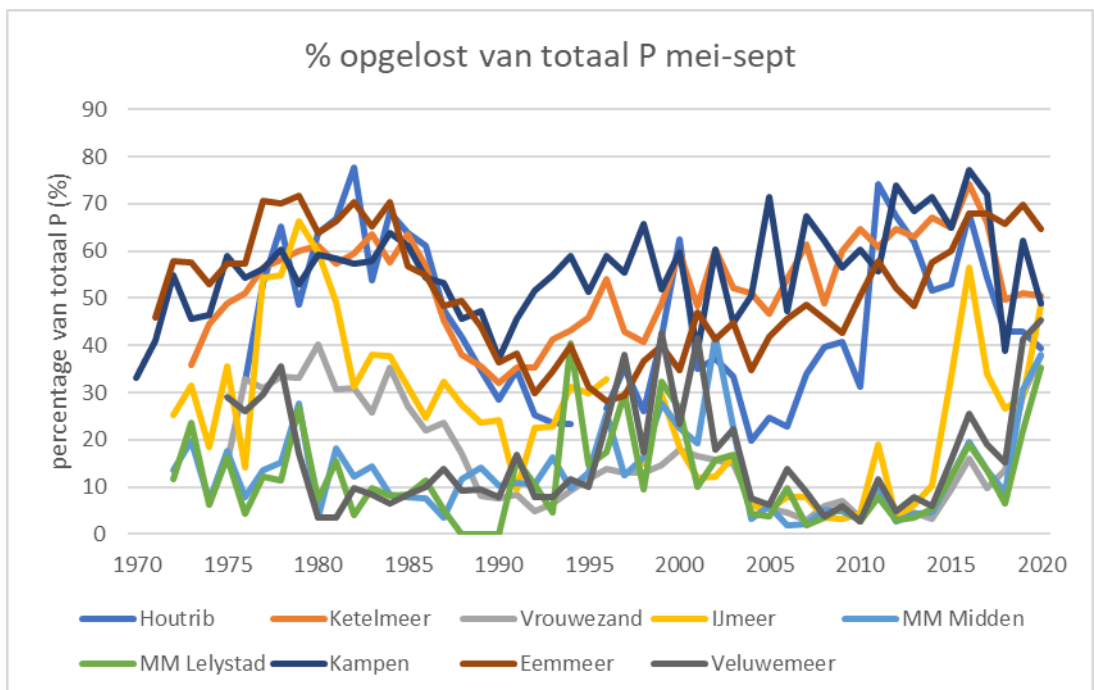
Wat de uitwerking kan zijn van de combinatie van aanvoer van stoffen en een relatief korte verblijftijd, kan worden geïllustreerd aan de hand van gegevens over mosselen in het IJsselmeergebied (figuur 6.5).

Een ronde door het IJsselmeergebied, van het IJsselmeer door de randmeren naar het Markermeer, laat zien dat de concentraties totaal fosfaat het hoogst zijn in de buurt van de mondingen van de IJssel en de Eem. Van dat fosfaat is het aandeel van de opgeloste fractie daar het hoogst.

Vergelijking van het aandeel van opgelost op totaal fosfaat in alle Rijkswateren (voor het IJsselmeergebied zie figuur 6.6, maar de tweedeling gaat ook voor andere rijkswateren op) levert ruwweg een tweedeling op in wateren met een hoog aandeel (60 -80% opgelost) en wateren met een laag aandeel (10-20%). Deze wateren verschillen ook in verblijftijd; wateren met een verblijftijd van dagen of weken hebben een hoog aandeel opgelost fosfaat, wateren met een verblijftijd van maanden of jaren hebben een laag aandeel. In stromende wateren (rivier) heeft het fytoplankton kort gezegd geen tijd om de voedingsstoffen op te maken. In de meren bij de riviermonding wordt de algengroei vaak beperkt door hoge dichtheden filteraars zoals mosselen, waardoor veel opgelost fosfaat onbenut blijft.



Figuur 6.5. Links: bemonsteringslocaties voor fosfaat en voor dichtheid en lengeverdeling van Driehoeks- en Quaggamosselen. Rechtsboven: Fosfaatconcentraties in opeenvolgende perioden op een traject langs deze locaties van IJsselmeer door de randmeren naar het Markermeer. Rechtsonder: gemiddelde lengtes van mosselen over dit traject, met maxima rond de mondingen van de IJssel en de Eem.

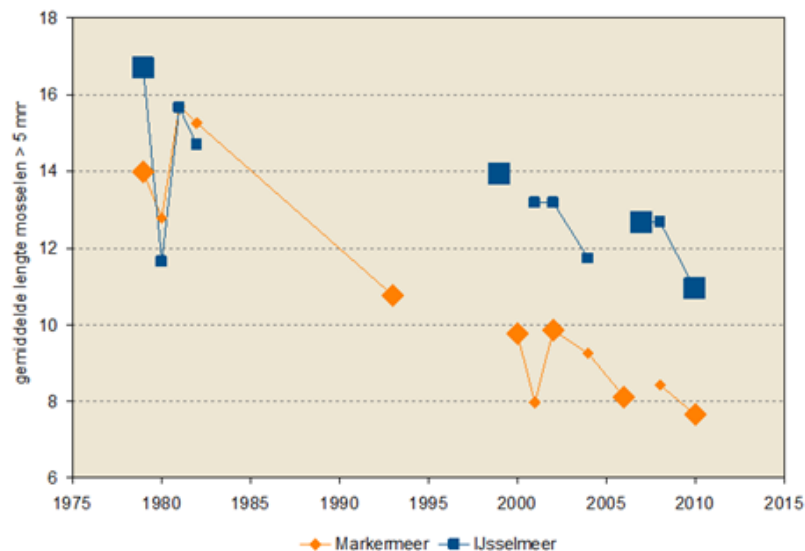


Figuur 6.6. Verloop van het gemiddelde aandeel per jaar van de opgeloste fractie op totaal fosfaat in verschillende wateren in het IJsselmeergebied.

Er is dan dus een lage concentratie chlorofyl (fytoplankton), maar niet per se een lage productie. Een illustratie van de werking van aanvoer van voedingsstoffen op de productie is figuur 6.5, rechtsonder. Daarin is te zien dat Driehoeks- en Quaggamosselen binnen het IJsselmeergebied een hogere dichtheid en een grotere schelpenlengte hebben in de buurt van de riviermondingen van de IJssel en de Eem.

Mosselen doen het dus goed in de buurt van de riviermondingen. Daardoor is de filtratiecapaciteit ook hoog, en kan het water helder gefilterd worden, ondanks de relatief hoge fosfaatconcentraties. Daardoor staan er in het Eemmeer veel waterplanten hoewel dat op basis van de fosfaatconcentraties nog niet vanzelfsprekend is.

Aan de andere kant is dus sprake van uitputting van opgelost fosfaat in de meren met een lange verblijftijd. Niet alleen in het Markermeer, maar ook in het IJsselmeer en de Veluwerandmeren, zonder intensieve vlokvorming en interne oligotrofiering. Deze processen versterken de uitputting nog eens in het Markermeer. Hier zijn de mosselen daarom niet alleen steeds kleiner geworden met de afname van de aanvoer van fosfaat, maar zijn ze ook nog eens aanzienlijk kleiner (sterker in grootte afgenomen) dan in het IJsselmeer (figuur 6.7).



Figuur 6.7. Veranderingen in de gemiddelde lengte van Driehoeksmosselen in het Markermeer en het IJsselmeer.

Als het scheppen van luwte in het Markermeer de vlokvorming voorkomt door beperking van resuspensie en bevordering van sedimentatie, terwijl de verblijftijd lokaal kan worden verkort tot enkele weken of minder in combinatie met extra aanvoer van opgelost fosfaat en het organisch koolstof uit de moerassen, dan kan dit lokaal de productie verhogen.

6.5.3 Relatie tussen mosselgroei en luwte in het Markermeer

De hypothese over het verschil in grootte van de mosselen in het Markermeer en die in het IJsselmeer (figuur 6.7) was dat de vorming van vlokken van algen en slibdeeltjes een deel van het voedsel aan filtratie door de mosselen onttrekt. Een deel van die vlokken wordt namelijk te groot voor filtratie. Een hoog aandeel anorganisch slib in het zwevend stof geeft ook los daarvan een slechte voedselkwaliteit.

Als dat het geval is, zouden mosselen in het Markermeer beter kunnen groeien in luwtegebieden, waar deze vlokken bezinken en sediment minder makkelijk opwervelt, en waar het zwevend stof voor een relatief groot deel uit vrije algen bestaat. Dit laatste is recent aangetoond met behulp van CIV data in het kader van KIMA (zie verder hoofdstuk 7).

Er is echter geen duidelijke ruimtelijke variatie in de grootte van de mosselen, ook in de luwe gebieden van het Markermeer zijn ze zeer klein. Het dichtste bij een deltasituatie komt het zuidelijke IJmeer, waar de effectieve verblijftijd waarschijnlijk korter is dan verder naar het noorden.

Hier zijn de mosselen ook klein, maar ze komen wel voor in relatief hoge dichtheden. Toch lost luwte alleen het verschil tussen IJsselmeer en Markermeer blijkbaar niet op. Combinatie met de resultaten van het NIOO onderzoek op Marker Wadden suggereert de mogelijkheid dat die vrije algen weinig fosfaat bevatten (hoge C/P ratio), waardoor ze een lage voedselkwaliteit hebben. Hier zou dan ook de oorzaak van het verschil met het IJsselmeer moeten liggen.

In het geval van Marker Wadden komen de door het moeras geproduceerde stoffen direct in het grote open water terecht (en voor een belangrijk deel in de omliggende putten), met een verblijftijd van anderhalf jaar.

Hierin ligt de meerwaarde van een luwtegebied voor de Blocq van Kuffeler of een Westvaarder verbinding: de mogelijkheid om het effect te bereiken van rivieraanvoer in een deltarandmeer (Ketelmeer, Eemmeer) door het afvoerdebiet van de Blocq in combinatie met het ontwerp van een luwtegebied te gebruiken voor het creëren van een lokale verblijftijd van enkele dagen of weken, in combinatie met aanvoer van stoffen uit het moeras.

6.5.4 Seizoensaspecten

In het voorgaande gaat het om de verblijftijd in het groeiseizoen. Voor fytoplankton begint dat in maart, voor mosselen en waterplanten in april. De range van geschikte verblijftijden ligt dan ongeveer tussen 3-4 dagen (Ketelmeer) en 4 weken (Eemmeer). Met behulp van deze range en gegevens van de te realiseren maaldebieten kan een orde grootte inschatting worden gemaakt van de grootte van een luwtegebied bij verondieping (bijv. tot 1-2m diepte).

Een verblijftijd van twee weken zou richting kunnen geven aan de dimensies in het ontwerp van het luwtegebied. De verblijftijd in de wintermaanden zou dan niet onder de 3-4 dagen moeten komen, hoewel hogere debieten ook helpen om de hogere vrachten van stikstof en zwavel uit het gebied te geleiden. Beperking van erosie door stroming in de winter zou dan eerder bepalend zijn voor het ontwerp.

6.6 Conclusies t.a.v. vraag 4

Moeten we het water uit de OVP en het water uit de vaarten apart houden?

- Een gekoppelde aanvoer met een luwtegebied buiten de Blocq van Kuffeler levert een meerwaarde op voor het Markermeer. Een meer directe aanvoer vanuit de OVP via een Westvaarders verbinding betekent echter minder verdunning van hoogwaardig organisch koolstof uit de OVP en verkleint de kans dat het op de langere aanvoerroute naar de Blocq weer bezinkt of wordt ingevangen.
- Een argument om de aanvoer wel te koppelen is gebruikmaking van de afvoerdebieten van de Blocq; de mogelijkheid om de aanvoer van fosfaat en organisch koolstof te verbinden aan een verkorting van de lokale verblijftijd in een luwtegebied, van orde grootte anderhalf jaar tot enkele dagen (winter) tot weken (voorjaar en zomer). Dit is in principe ook mogelijk via een Westvaarders verbinding, als in aanvulling op het natuurlijke verloop eerst water uit het Markermeer in de OVP wordt ingelaten.
- De aanvoer van voedingsstoffen zoals fosfaat en organisch koolstof (uit de OVP) kan in een relatief klein luwtegebied met een verblijftijd van enkele dagen tot weken (via het debiet door de Blocq of via doorspoeling van de OVP) optimaal worden benut voordat die stoffen in het open water zijn overgeleverd aan ongunstige interne processen als verdunning, interne oligotrofiering en accumulatie in geulen en putten. In beide gevallen vindt echter een zekere verdunning plaats van kwalitief goed organisch koolstof uit het moeras.

- Als via de Westvaarders met behulp van doorspoeling voldoende debiet kan worden gegenereerd (of als het debiet van de Blocq buitendijks kan worden omgeleid) zijn de kansen voor de toevoer van de grovere fracties van organisch stof gunstiger dan bij een luwtegebied voor de Blocq. Een tweede luwtegebied daar ligt dan minder voor de hand. De afweging kan worden gemaakt door vergelijking van de mogelijke debieten door het seizoen op beide punten, op basis waarvan het areaal van een luwtegebied met een verblijftijd van enkele weken kan worden berekend.

7 Transport water en stoffen Markermeer

Vraag 5: Hoe moeten we het water uit Flevoland in het Markermeer begeleiden?

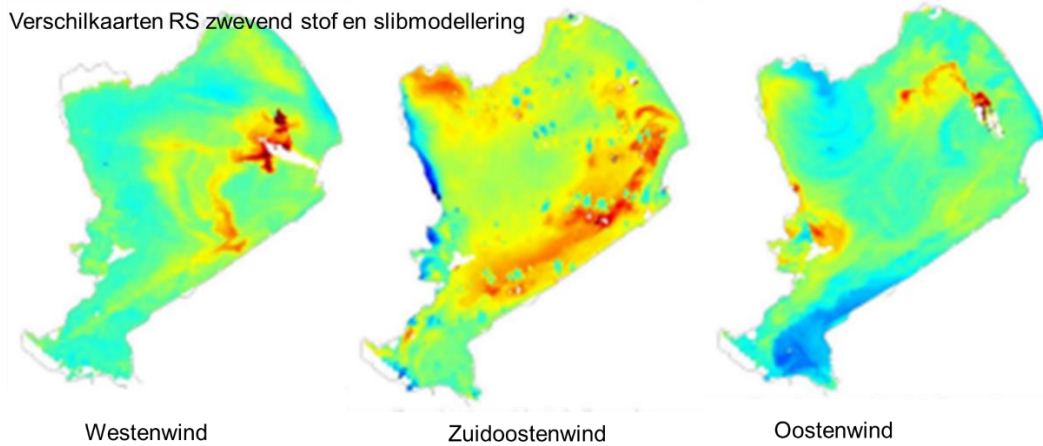
De beantwoording van vraag 5 is gebaat bij een kort overzicht van recent opgedane kennis over bewegingen van water en stoffen in het Markermeer. De voordelen van een relatief klein luwtegebied met een korte verblijftijd, zoals in het vorige hoofdstuk is bepleit, wordt hierdoor duidelijker. De basisvraag daarbij is wat er gebeurt met stoffen als fosfaat en koolstof die zonder begeleiding naar het Markermeer worden gepompt en of daarbij iets terecht komt van de wens om met deze stoffen de productie en diversiteit in het gebied te stimuleren. In paragraaf 4.5 is hier al enigszins op voorgesorteerd, in dit hoofdstuk wordt eerst weer uitgezoomd ten behoeve van een beter begrip van de schaalaspecten van stroming en luwte.

Voor het bepalen van de bijdrage die stoffen vanuit Flevoland kunnen leveren aan de productie in het voedselweb in het Markermeer is het van belang te weten hoe het water zich vanuit de Blocq van Kuffeler in het Markermeer verspreidt, wat er onderweg mee gebeurt en hoe dat kan worden gestuurd. Hiervan is met behulp van enkele recente studies een indruk te verkrijgen. Drie (deel)studies zijn relevant: 1) een studie aan de waterbewegingen in het Markermeer aan de hand van stromingsmodellering met behulp van tracers, 2) een daarbij behorende deelstudie naar de rol van diepe putten voor de fosfaatbalans en 3) het KIMA (Kennis en Innovatie Programma Marker Wadden), in het bijzonder het onderzoek aan de werking van luwtegebieden.

7.1 Verplaatsing zwevend stof; Slibpluimen werkzaamheden

In het kader van KIMA zijn verschilkaarten gemaakt van satellietbeelden bewerkt voor zwevend stof en de resultaten van slibmodellering. Omdat in de slibmodellering geen effecten van werkzaamheden zijn opgenomen, komen de effecten daarvan op de verschilkaarten prominent naar voren. Dan wordt duidelijk dat opgewerveld sediment zich over zeer grote afstanden kan verplaatsen voordat het weer sedimenteert. In zo'n pluim vanuit Marker Wadden is tijdens het KIMA onderzoek verhoogde activiteit van de bodemfauna gemeten (verhoogd zuurstofverbruik) en verhoogde fosfaatconcentraties in de waterkolom. Dit effect is echter tijdelijk.

Verschilkaarten RS zwevend stof en slibmodellering



Figuur 7.1. Voorbeelden van de afstanden die zwevend stof (opgewerveld sediment) kan afleggen in het Markermeer. Kaarten die het verschil aangeven tussen de verdeling van zwevend stof op basis van satellietbeelden en de verdeling op basis van slibmodellering. Effecten van opwerveling door werkzaamheden aan Marker Wadden en in de vaargeul, die niet in het slibmodel zitten, komen hierdoor sterk naar voren. De pluimen opgewerveld materiaal verspreiding zich over vele kilometers.

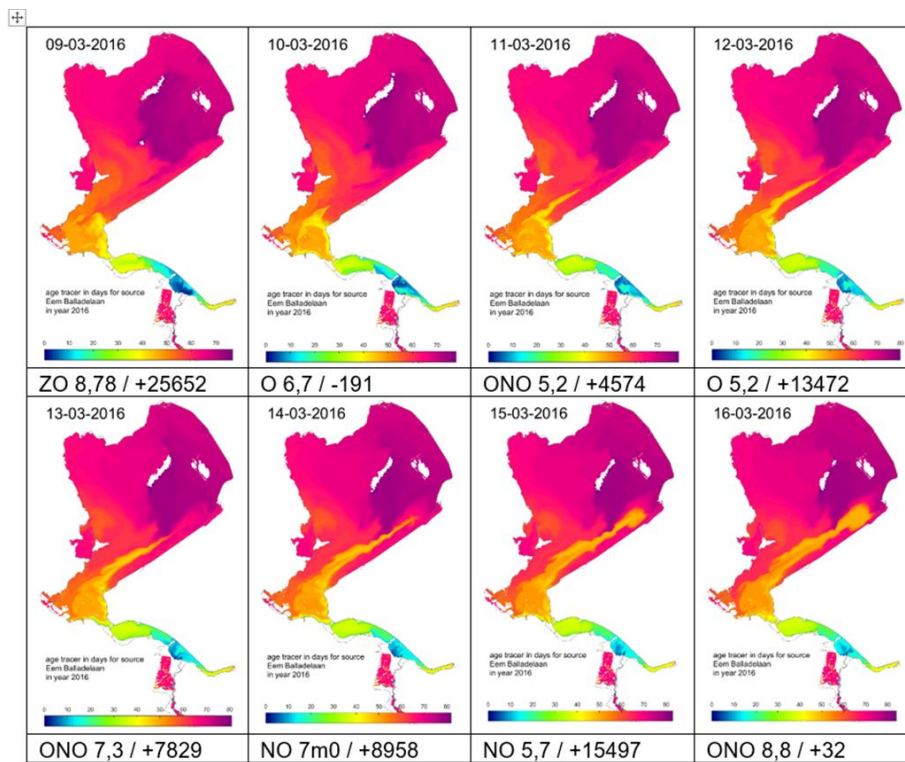
7.2 Transport water in het Markermeer; Tracerstudie

Voor de beantwoording van vraag 5 zijn recente inzichten in stroming, stoffentransport en opvang in diepe putten in het Markermeer van belang. Deze kennis geeft inzicht in het transport van water en stoffen vanuit de Blocq van Kuffeler zonder begeleiding (luwtezone) over het Markermeer. Hieraan kunnen ontwerpvoorwaarden voor een luwtezone, bijv. met betrekking tot de dimensionering, worden ontleend.

7.2.1 Wind en stroming

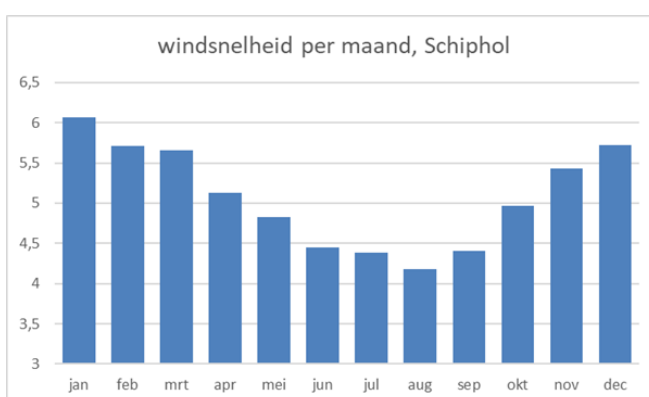
In deze studie zijn de waterbewegingen in het Markermeer onderzocht met behulp van een stromingsmodel, waarin tracers zijn losgelaten op vier plaatsen: 1) in de Eem, 2) bij de Blocq van Kuffeler, 3) bij de Houtribsluizen en 4) bij de Krabbersgatsluizen. Vooral de eerste twee zijn hier relevant.

Uit de studie blijkt dat onder invloed van wind veelal een circulaire stroming ontstaat waarvan de richting afhangt van de wind: rechtsom bij (zuid)westen wind en linksom bij (noord)oosten wind. Deze circulaire stroming wordt in de vaargeul langs de Oostvaardersdijk geconcentreerd, en trekt water tegen de wind in door deze geul. Bij hardere wind ontstaan daarbij stroomsnelheden van orde grootte 15 cm per seconde. Als de wind draait, keert de stroom om. Het water gaat dus heen en weer door deze geul en lijkt een barrière te vormen die passage van water over de geul heen sterk afremt.



Figuur 7.2. Modelresultaten van een tracerstudie waarbij een tracer (“kleurstof”) is losgelaten in de Eem, om de waterbeweging van daar af te volgen. Simulatie voor een reeks van dagen met behulp van de KNMI gegevens van maart 2016. Water wordt bij deze situatie met noordoostenwind in enkele dagen de Oostvaardersgeul door getrokken. Dit is onderdeel van een linksom draaiende circulaire stroming, die in deze geul dus tegen de wind in stroomt.

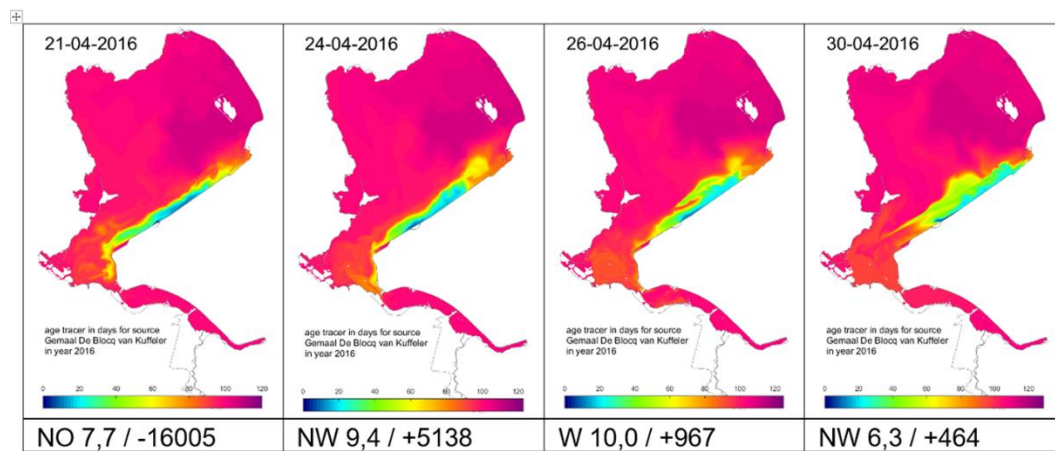
De sterkte van dit proces hangt af van de windsterkte en is daarom gemiddeld groter in het winterhalfjaar. In de winter circuleert het water gemiddeld rechtsom, waardoor het water van IJmeer en Markermeer in enkele weken tot maanden volledig wordt gemengd. Via de waterbalans wordt dit gestuurd vanuit het zuiden, omdat dan de aanvoer vanuit de Eem het grootst is, terwijl water via de Houtrib- en Krabbersgatsluizen vooral naar het IJsselmeer stroomt. In de zomer is de invloed van de wind kleiner, en wordt bij een kleinere afvoer van de Eem juist water uit het IJsselmeer binnengelaten. Dit water heeft meer de neiging in het midden van het Markermeer te stagneren.



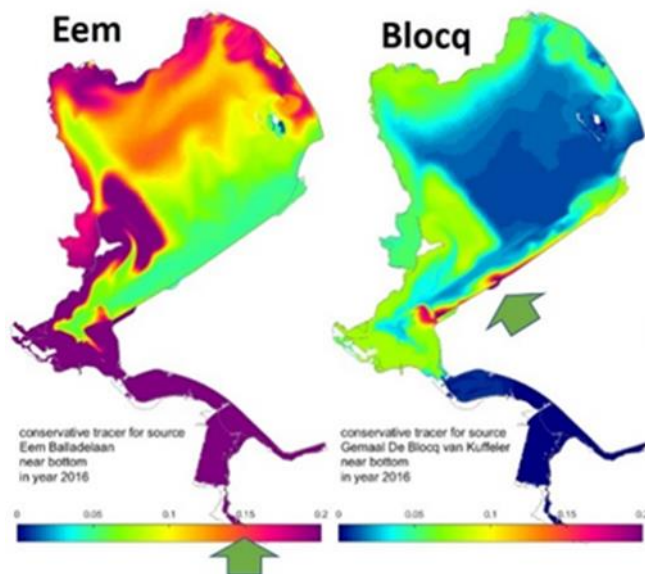
Figuur 7.3. Gemiddeld seizoenspatroon van windsnelheden op Schiphol (KNMI).

7.2.2 Verspreiding water vanuit de Blocq van Kuffeler

Het water dat in de winter via de Blocq van Kuffeler naar het Markermeer wordt gemalen, wordt volgens de modelresultaten min of meer geblokkeerd door het water dat in de Oostvaardersgeul heen en weer stroomt, en komt nauwelijks over deze geul in het midden van het meer terecht. In plaats daarvan gaat het meestromen met het water in de geul en de circulaire stroming. Gemiddeld stroomt het dus naar het IJmeer, passeert de IJmeerput en draait dan pas langs de westkust terug naar het noorden, langs de waterlandse kust.



Figuur 7.4. Als figuur 7.2, maar met een tracer losgelaten bij de Blocq van Kuffeler. Water dat via de Blocq van Kuffeler vanuit de polder op het Markermeer is gemalen, stagneert achter de Oostvaardersgeul en gaat tenslotte met het water in deze geul meestromen.



Figuur 7.5. Verspreiding van het water uit de Eem (links) en uit Flevoland (rechts) aan het eind van het jaar 2016, op basis van de KNMI gegevens uit dat jaar.

7.3 Interne oligotrofiering

In het ondiepe Markermeer wordt sediment onder invloed van wind gemakkelijk opgewerveld. In dit sediment zit relatief veel ijzer, dat opgelost fosfaat uit de waterkolom kan binden. Omdat de concentratie ijzer aanzienlijk hoger is dan die van fosfaat en ook zwavel in de bodem, is de bindingscapaciteit groot. Daardoor verdwijnt opgelost fosfaat uit de waterkolom, en in gebonden vorm is het vervolgens onderhevig aan de windgestuurde resuspensie – sedimentatiedynamiek. Als het met het sediment gesuspendeerd is bij hogere windsnelheden, is het ook onderhevig aan lateraal transport. Uit het KIMA onderzoek weten we dat dit transport over meer dan 10-15 km kan plaatsvinden voordat het materiaal opnieuw sedimenteert. Ook hierbij kan kanalisatie in de vaargeulen plaatsvinden.

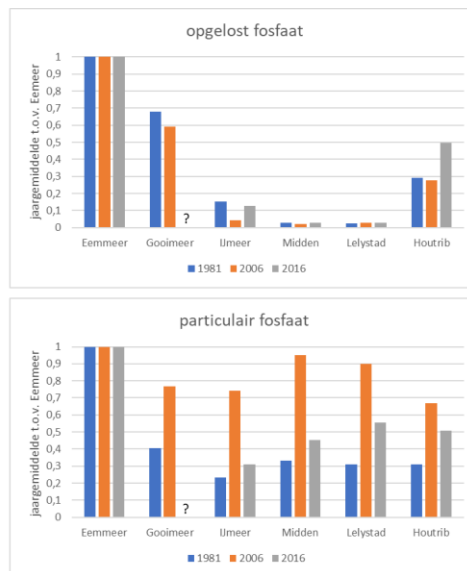
Opgelost P verdwijnt op de route naar open water Markermeer

Verdwijning in het Gooimeer, bij Pampus vrijwel verdwenen

Geldt ook voor route via Houtribsluizen en ook te zien in de baai voor de Blocq

Gebonden P halveert in Gooi/IJmeer maar neemt dan weer wat toe (door opwerveling van inmiddels gebonden P met vlokken)

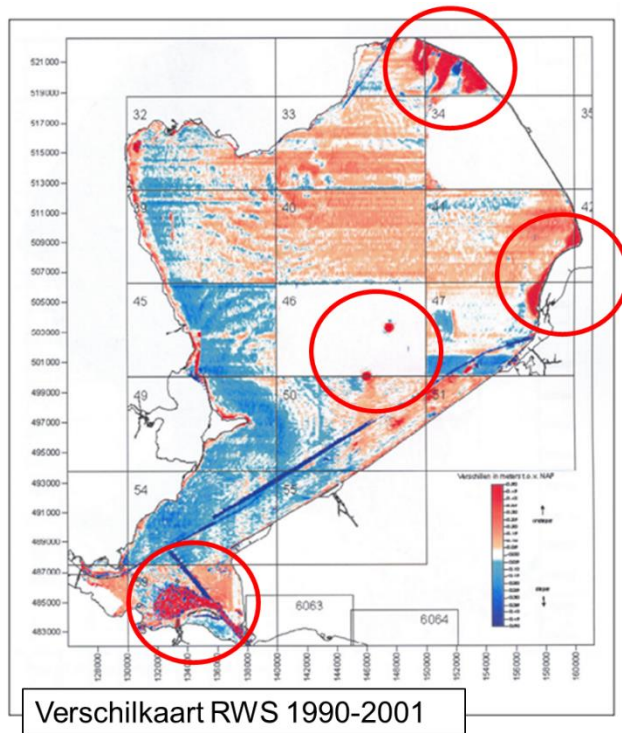
P wordt zo vatbaarder voor transport naar putten.



Figuur 7.6. Concentraties opgelost en gebonden fosfaat op een raai van Eemmeer via Markermeer naar zuidelijk IJsselmeer, uitgedrukt als percentage van de concentraties in het Eemmeer. Opgelost fosfaat verdwijnt door interne oligotrofiering zodra het Markermeer-IJmeer wordt bereikt. Gebonden fosfaat (vooral in algen) verdwijnt tussen Eemmeer en IJmeer, maar neemt dan weer iets toe (door opname in algen en aan ijzer in vlokken).

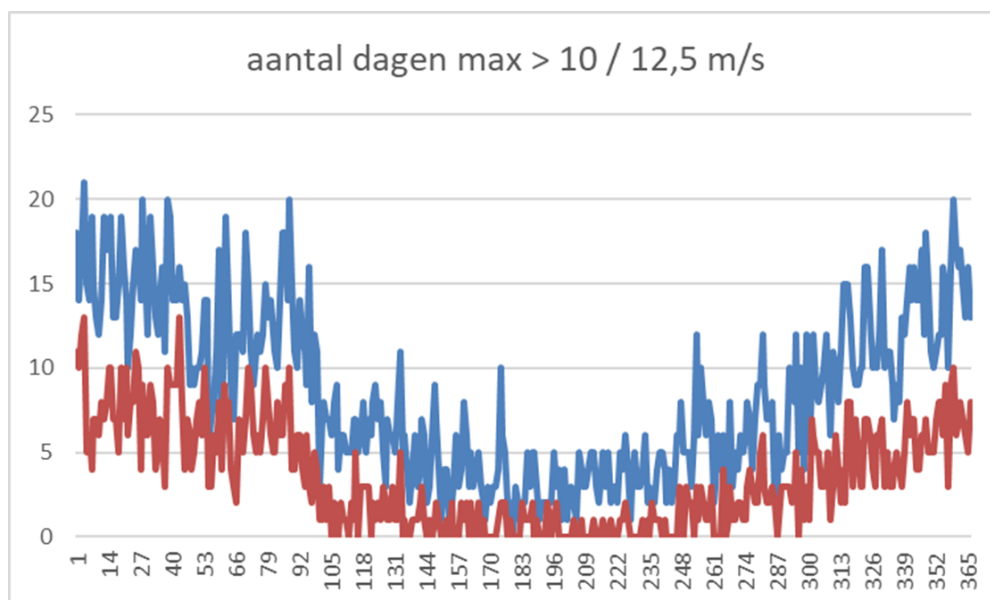
7.4 Sedimentatie in putten

Via dit mechanisme kan in de loop van het stormseizoen (november – maart) ophoping van sediment in diepe putten en geulen plaatsvinden, inclusief het via de interne oligotrofiering gebonden fosfaat. Mogelijk verklaart dit het verschil van ongeveer een factor drie tussen de hoeveelheid fosfaat die het Markermeer binnenkomt en de hoeveelheid die er uit stroomt.



Figuur 7.7. Bodemhoogte verschilkaart van het Markermeer-IJmeer met de verschillen tussen 1990 en 2001. Blauw = toegenomen diepte (erosie), rood = afgenomen diepte (sedimentatie) De schaal loopt tot 5 cm per jaar ophoging.

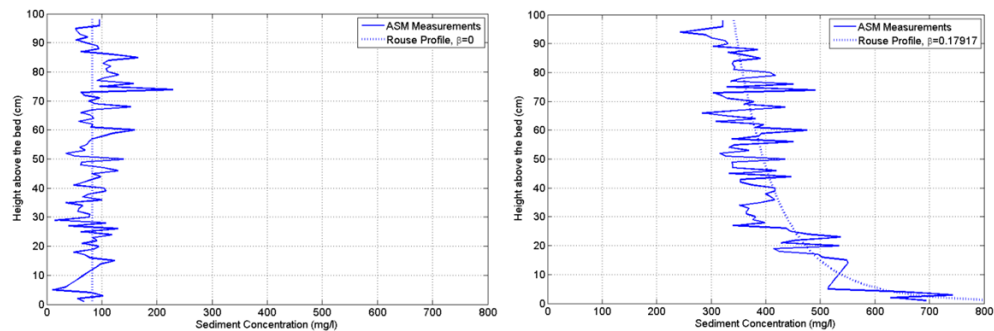
Het grootste deel van de sedimentatie in putten vindt plaats in het stormseizoen. Nog meer dan de gemiddelde windsnelheid is het aantal dagen met harde wind of storm geconcentreerd in de wintermaanden, met een relatief abrupt einde rond eind maart / begin april. Fosfaat dat kort voor of tijdens deze periode wordt aangevoerd, wordt dus relatief snel aan circulatie onttrokken.



Figuur 7.8. Gemiddeld seizoensverloop van het aantal dagen met harde wind of storm op Schiphol (blauw = dagmaximum >10 m/s, rood = >12,5 m/s).

Stormen kunnen voor ongeveer de helft van de sedimentatie in putten verantwoordelijk zijn (Boderie et al. 2010).

Gezien de grote afstanden waarover sediment (ten minste de fijnere fracties) zich na werkzaamheden kunnen verplaatsen, is het potentiële brongebied voor sedimentatie van bodemmateriaal in de putten zeer groot. Daar komt bij dat accumulatie in putten niet alleen door sedimentatie van zwevend stof vanuit de waterkolom plaatsvindt, maar ook via dichtheidsstroming langs de bodem. Dergelijke stroming ontstaat als bij storm dichtbij de bodem zulke hoge concentraties gesuspendeerd sediment ontstaan dat hier in feite sprake is van een vloeibare sedimentlaag. Mogelijk accumuleren op deze manier weer andere (grovere) fracties van stoffen in de putten.



Figuur 7.9. Slibconcentratie (x-as) in de onderste meter van de waterkolom, gemeten op het midden van het Markermeer (Vijverberg 2008). Links de situatie bij rustig weer, rechts tijdens een storm.

In het onderzoek in de slibgeul bij Marker Wadden bleek dat niet alleen fosfaatconcentraties in het sediment in de geul verhoogd waren ten opzichte van de omgeving. Concentraties organisch stoffen waren nog sterker verhoogd, met een factor 3.5 (zie tabel 5.1).

Terwijl ook de moerassen van Marker Wadden onder meer bedoeld zijn om stofstromen te genereren ten behoeve van de duurzaamheid en diversiteit van het Markermeer ecosysteem, bestaat de kans dus dat een groot deel van die stoffen accumuleert in de nabijgelegen putten die waren bedoeld om slib te verzamelen om de eilanden mee aan te leggen.

7.5 Dimensionering van begeleidende structuren

Er zijn een aantal mogelijkheden om een gevoel te krijgen van een zinvolle dimensionering van een luwte- cq begeleidingsgebied voor optimale benutting van de toegevoerde stoffen.

Uit hoofdstukken 4 en 6 en de voorgaande paragrafen in hoofdstuk 7 kan het volgende worden geconcludeerd:

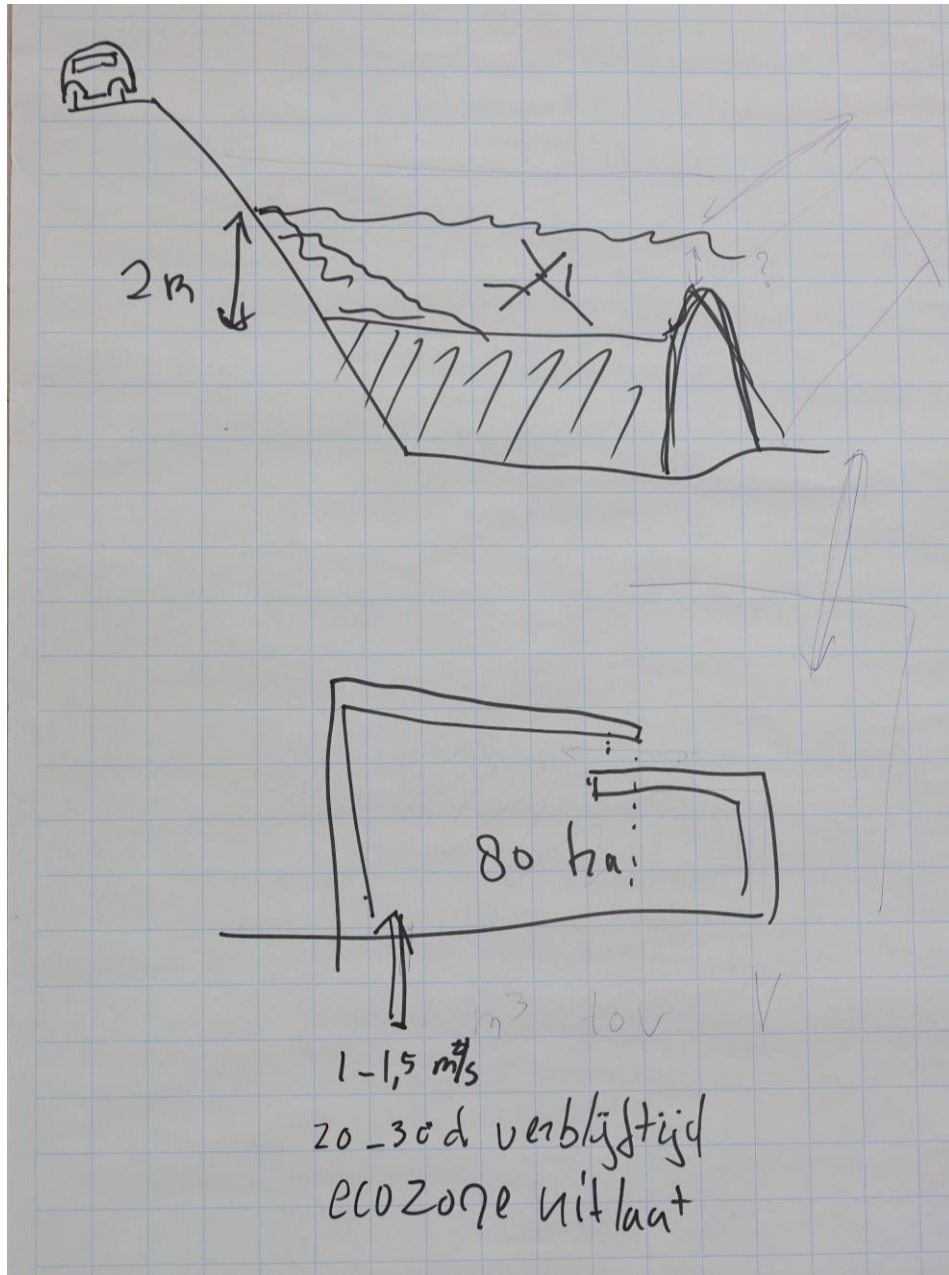
- 1 Zonder begeleiding zijn vanuit Flevoland toegevoerde stoffen al op korte afstand niet meer traceerbaar. Voor een bijdrage aan de productiviteit van het Markermeer kan daarom het best worden gedacht aan een relatief kleinschalige begeleidingsstructuur (luwtegebied).
- 2 Dit gebied heeft bij voorkeur aansluiting op het water van de Oostvaardersplassen op een manier dat voldoende debiet kan worden gegenereerd voor een beperkte verblijftijd. Als dat met een rechtstreekse verbinding (Westvaarders) niet kan, dan via een koppeling met de debieten van de Blocq van Kuffeler.
- 3 Het gebied heeft een zodanige omvang dat met het beschikbare debiet een lokale verblijftijd van enkele dagen tot enkele weken wordt gegenereerd.
- 4 Deze dimensionering moet vooral gericht worden op toevoer en gebruik van stoffen in het voorjaar (vanaf maart) en de zomer.

Deze overwegingen geven de meest concrete mogelijkheid om een effectieve schaal voor een luwtegebied vast te stellen, namelijk vanuit een gewenste verblijftijd op basis van het te realiseren afvoerdebiet. Daarnaast zijn er mogelijkheden vanuit berekeningen van maximaal toelaatbare schuifspanningen op de bodem of vanuit vergelijking met bestaande luwtegebieden.

7.5.1 Verblijftijd

Een verblijftijd van meer dan een maand geldt als ondergrens voor de invloed van nalevering van fosfaat uit de bodem t.o.v. externe aanvoer (Handreiking Beoordeling Waterbodems; Hin et al. 2010). Uit data analyses blijkt dat meren met een kortere verblijftijd ook in andere opzichten afwijken. Zo wordt opgelost fosfaat niet volledig opgenomen door algen, omdat andere parameters zoals tijd en filtratie de algengroei beperken. In het IJsselmeergebied zijn dit de eerder genoemde mosselgebieden; Ketelmeer, Zwarte Meer en Eemmeer, maar in effect ook delen van het IJmeer en het zuidelijke IJsselmeer. Nog kortere verblijftijden (enkele dagen) voorkomen het lokaal optreden van algenbloei en drijfslagen, omdat blauwalgen dan in het nadeel zijn van andere algengroepen. Ook openingen voor afvoer zijn daarvoor mogelijk. Vanuit de debieten die via de Blocq of via een Westvaarders-verbinding kunnen worden gegenereerd, kan een luwtegebied op basis van verblijftijd worden gedimensioneerd.

Uit de workshop: Is het mogelijk om de ideale grootte van een luwtegebied te berekenen aan de hand van concentraties en stofstromen? Alternatief: bereken het aan de hand van de ratio moeras/litorale zone in natuurlijke meren.



Schets uit de workshop van relatief kleinschalig luwtegebied en gebruik van het beschikbare debiet voor het verkorten van de lokale verblijftijd tot enkele weken. Huidige baai (45 ha) mogelijk te klein, liever ca 80 ha, in te richten met o.a. bomen in het water.

Keerzijde: voorkom beekvorming door te korte verblijftijd. Maak gebruik van verschillen tussen jaren (laten komen zoals 't komt).

7.5.2 Strijklengte en bodemschuifspanning

Een luwtegebied moet klein genoeg zijn om de windwerking op de bodem beperkt te houden. Bij een diepte als in het huidige Markermeer is de golfoploop op ca 800 m uit de luwtedam weer op sterkte (Visser 2007). Een bodemschuifspanning van meer dan 0,9 Pa (N/m²) is te groot om de groei van waterplanten mogelijk te maken (Van Zuidam & Peeters 2015). In combinatie met verondieping ten behoeve van waterplanten (>4% licht op de bodem) kan deze vuistregel gebruikt worden om een bovengrens voor de strijklengte te bepalen.

7.5.3 Bestaande luwtegebieden in het Markermeer

Luwte is in het Markermeer herkenbaar op twee schalen:

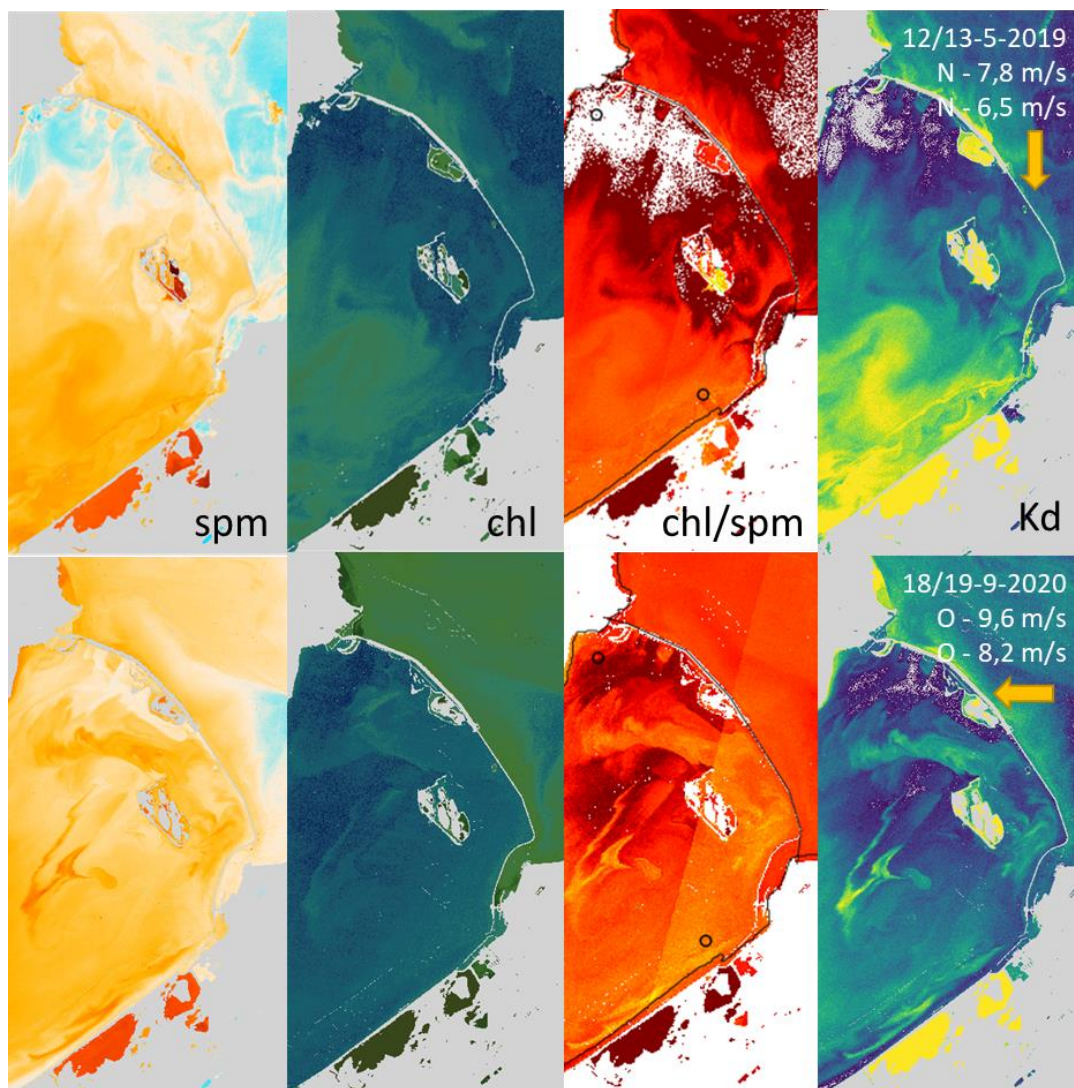
1) Grootschalig; in het westen en zuiden van het meer is het water gemiddeld helderder door luwtewerking van het achterland bij westenwind (vaker westenwind in de winter, maar ook gemiddeld hogere windsnelheden bij westenwind). Dit heeft twee oorzaken, nl. de luwtewerking zelf, via een kleinere strijklengte en de lagere snelheid van de wind, die wordt afgeremd boven land en weer toeneemt boven water. In deze gebieden is de diepte relatief gering, waardoor de golfwerking in principe meer resuspensie oplevert. Maar door die geringere diepte en door de afvoer van slib komen hier ook meer waterplanten en mosselen voor, die de helderheid juist versterken. De relatief grote helderheid op MWTL meetpunt Hoornsche Hop, dat toch nog een kilometer uit de kust ligt, is dus niet alleen toe te schrijven aan windluwte.

2) Kleinschalig; in de luwte van objecten en eilanden zoals Marker Wadden. Hierbij domineert de beperkte golfwerking en spelen stromingspatronen een grotere rol bij de omgrenzing van het gebied.

Dit soorxt luwtewerking kan zich over honderden hectares uitstrekken, ook bij een diepte van enkele meters. Dat blijkt uit bewerkte satellietbeelden van Marker Wadden en omgeving, waar in de windschaduw gebieden van dit formaat zichtbaar zijn. Hier zijn de zwevend stof concentraties verlaagd, maar de chlorofyl / zwevend stof ratio is verhoogd. De omvang van dergelijke arealen kan worden vergeleken met de hiervoor bedoelde dimensionering op basis van stroming en verblijftijd.

De werking van luwte voor ecologie van het Markermeer verloopt in de eerst plaats via sedimentatie van zwevend stof en verminderde resuspensie van sediment. Dit levert een beter doorzicht op en daarmee betere kansen voor ondergedoken waterplanten, die het effect vervolgens versterken.

Meer in detail kunnen luwtezones worden afgelezen uit satellietbeelden die zijn bewerkt voor zwevend stof, chlorofyl en/of lichtuitdoving. Er zijn enkele satellietbeelden op deze manier bewerkt voor vaststelling van het luwte effect van Marker Wadden. Daarbij komen patronen naar voren met luwte achter Marker Wadden die zich over enkele kilometers van de eilanden uitstrekken en in oppervlakte even groot zijn als de archipel (1500 ha). Ook is te zien dat windgedreven stroming het omgekeerde effect heeft.



Figuur 7.11. Bewerkte satellierbeelden van twee dagen waarop de luwtewerking van Marker Wadden niet geheel is te niet gedaan door werkzaamheden. Bewerkingen voor zwevend stof (spm; donkere kleur = hoge concentraties), chlorofyl (lichte kleur = hoge concentraties), de ratio chlorofyl/zwevend stof (donkere kleur = hoge ratio) en lichtuitdoving (Kd; donkere kleur = lage lichtuitdoving dus helderder water).

7.5.4 Bestaande baai voor de Blocq van Kuffeler

Ook de bestaande baai voor de Blocq van Kuffeler kan een idee geven van schaal en dimensie. Het gemaal pompt namelijk nu al water uit in een gedeeltelijk afgescheiden baai, al is er een opening naar het Markermeer tegenover de sluizen. Deze baai is ongeveer 300 m breed en ongeveer 2 km lang vlak achter de Dashorstdijk, de dam die de lijn van de Oostvaardersdijk buiten deze inham volgt. Het oppervlak bedraagt ongeveer 45 ha. Doordat de diepte gelijk is aan die van het Markermeer aan de buitenkant is het watervolume relatief groot en treedt snel verdunning op van de stoffen uit Flevoland. Naast de Blocq ligt aan een steiger een van de meetpunten van het waterschap, meetpunt "Markermeer Blocq" in de figuren in hoofdstuk 3. In deze figuren is te zien dat de concentraties van stoffen op dit meetpunt al intermediair zijn tussen de concentraties in de Lage Vaart en die op locatie Markermeer Midden. De interne processen van het Markermeer zijn dus al gaande direct buiten de sluizen, ondanks de aanwezigheid van een beschutte kom. Deze kom is dus niet zo effectief als begeleidingsstructuur.



Figuur 7.10. De bestaande baai voor de uitgang van de gemalen van de Blocq van Kuffeler.

Als gekozen wordt voor een toevoer van stoffen uit Flevoland (inclusief OVP) via de Blocq van Kuffeler, dan rijst de vraag hoe het daarbij horende buitendijkse luwtegebied zich verhoudt tot de bestaande baai. Een voor de hand liggende vraag is dan of de bestaande baai tot zo'n ecologisch luwtegebied kan worden omgevormd. Dat vraagt meer inzicht in de huidige eigenschappen van de baai:

- 1 Wat kunnen we door een gerichte meetcampagne, in aanvulling op het ene meetpunt direct buiten de sluisen, leren over het verloop van concentraties in de ruimte van een dergelijke baai (die gevoelsmatig ongeveer de juiste afmetingen heeft)?
- 2 Wat is de effectieve verblijftijd in deze baai, in relatie tot de afvoerdebieten?
- 3 Is een aanpassing van de inrichting van deze baai als luwtegebied, bijvoorbeeld met verondiepingen, verenigbaar met de andere functies van de baai (jachthaven)?
- 4 Welke invloed heeft deze baai op de mogelijkheden om buitengaats een luwtegebied aan te leggen?

Door via een meetcampagne kan het verloop van concentraties binnen dit gebied worden gekoppeld aan berekeningen van de effectieve verblijftijd. Dit kan vervolgens worden vergeleken met meer algemene modelberekeningen van de debieten die nodig zijn voor een verblijftijd van enkele dagen tot weken in relatie tot de dimensies van een luwtegebied.

De eventuele mogelijkheden van aanpassing van deze bestaande baai met beperkte inspanning en kosten werpt ook een iets ander licht op de vraag wat de meerwaarde van een luwtegebied op deze locatie is, als de stoffen uit de OVP niet effectief kunnen worden toegevoegd (eventueel dus in combinatie met een Westvaarders verbinding met een eigen luwtegebied).

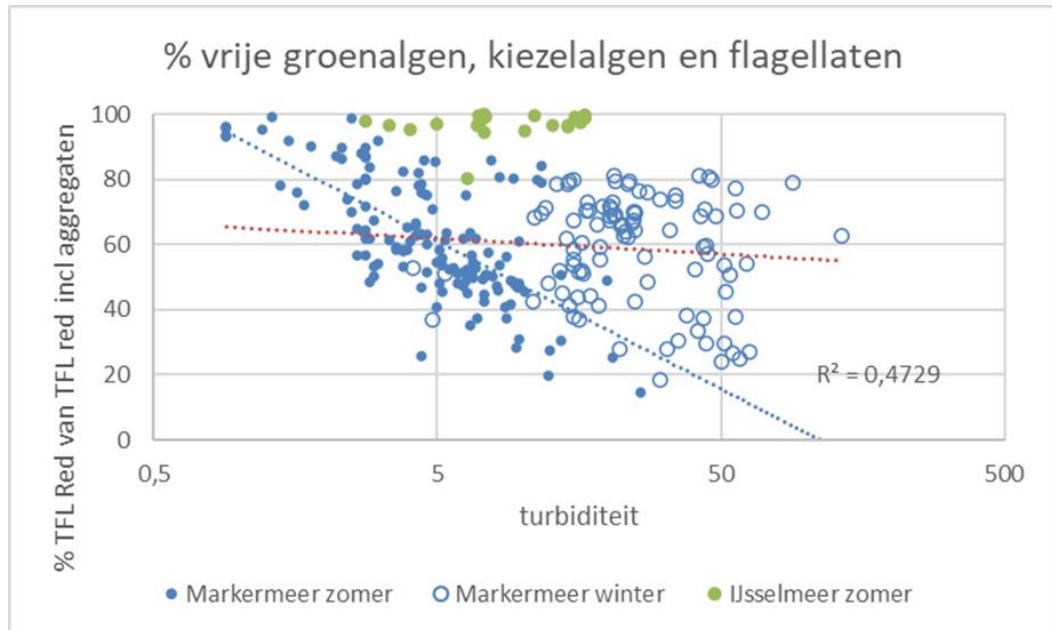
7.5.5 Luwte versus dynamiek

Zowel luwte als dynamiek kunnen de productiviteit in het meer stimuleren.

Dynamiek in de vorm van stroming of bodemverstoring genereert voedselstromen waardoor de productie kan toenemen. Voorbeelden van effecten zijn de sterk verhoogde dichtheden, groeisnelheden en schelp lengtes van mosselen in de buurt van de riviermondingen, zoals in het Ketelmeer en zuidelijk IJsselmeer en het Eem-Gooimeer en het IJmeer. Deze aanvoer moet dan wel in het groeiseizoen plaatsvinden.

Luwte zorgt voor sedimentatie van zwevend stof en reductie van resuspensie. Los van aanvoer van voedingsstoffen zorgen luwtegebieden voor bezinking van zwevend stof. In het Markermeer wordt een groot deel van dat zwevend stof gevormd door aggregaten van algen en anorganische sedimentdeeltjes. De primaire productie die de algen in deze aggregaten of vlokken leveren, is verminderd beschikbaar voor het voedselweb, door een lagere kwaliteit als voedsel door bijmenging van anorganisch materiaal, of simpelweg doordat een deel van de aggregaten te groot is voor filtratie door mosselen of watervlooien.

Uit metingen van CIV bleek dat in het Markermeer ongeveer de helft van de algen in aggregaten leeft. Naar mate de turbiditeit (troebelheid) afneemt, in het Markermeer in de regel bij minder windinvloed, wordt het percentage vrije algen echter hoger. Het resterende zwevend stof heeft dan dus een betere kwaliteit als voedsel voor filteraars.



Figuur 7.12. Relatie tussen de turbiditeit (troebelheid / turbulentie) en de samenstelling van het zwevend stof. Een hoge waarde vertegenwoordigt een groot aandeel vrije algen. Gegevens RWS-CIV, uit eindrapport KIMA.

Daarnaast neemt het doorzicht toe waardoor bij beperkte diepte een deel van de primaire productie kan worden overgenomen door waterplanten en perifyton. Dit perifyton kan in ondiepe systemen een groot deel van de primaire productie leveren en kan de visproductie belangrijk stimuleren.

Uit de workshop: Opgeloste stoffen kunnen behalve door fytoplankton ook worden ingevangen door perifyton. In ondiepe gebieden kan perifyton belangrijke productieketens verzorgen.

Ruimtelijke afwisseling van stromingsdynamiek en luwte levert de grootste winst op voor productie en diversiteit.

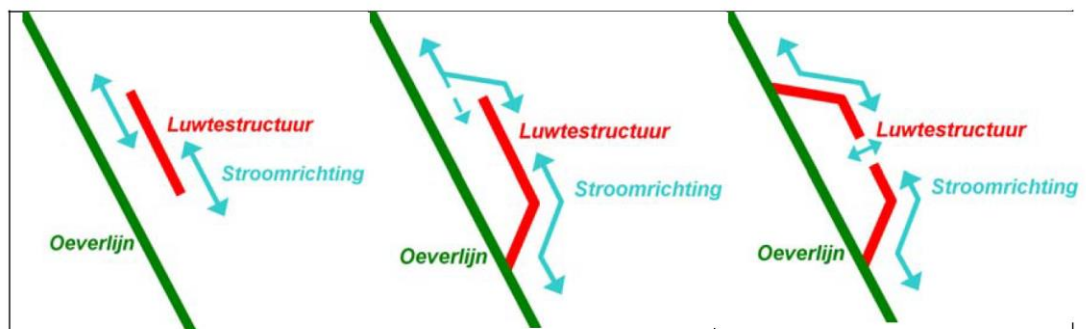
7.5.6

Oriëntatie

Een luwte / begeleidingsgebied buiten de Blocq of bij Westvaarders kan worden geïoriënteerd op luwte ten opzichte van de overheersende wind, maar heeft ook te maken met stroming. Bij hardere wind in de winter lopen de wind en de stroming in de vaargeul langs de Oostvaardersdijk vaak tegen elkaar in.

Die stroming lijkt wel door de vaargeul te worden gekanaliseerd, en zal dichterbij de dijk minder sterk zijn (of zelfs omgekeerd?). De stroming in de vaargeul zou ook kunnen worden afgetapt voor enige dynamiek conform de stroming door de Blocq, maar de afstand tot de geul (ongeveer 2 km) lijkt te groot voor een baai van enkele honderden hectares. Het toelaten van dynamiek vanuit het meer in het luwtegebied is ook minder wenselijk omdat het de aangevoerde stoffen verdunt. Het creëren van een zekere schoorsteenwerking aan de buitenkant in combinatie met beperkte openingen of washovers voor de afvoer van drijvende blauwalgen is wel een optie. Omdat de stroming grotendeels door wind gedreven is, keert de stromingsrichting geregeld om. Daarom kan een inrichting met drempels of tweezijdige bescherming zinvol zijn (figuur 7.13). Al met al is wind- en stromingsmodellering zinvol bij het dimensioneren van een begeleidingsgebied.

Door een relatief kleine uitstroombuiging met een luwte-element erachter te maken kunnen de effecten van de overheersende windwerking en de tegengestelde stroming beperkt worden.



Figuur 7.13. Voorbeelden van positionering van een geleidingsstructuur. Uit Visser et al. 2015.

7.6 Conclusies transport stoffen en begeleiding in het Markermeer

Hoe moeten we het water uit Flevoland in het Markermeer begeleiden?

- In het Markermeer wordt sediment gemakkelijk opgewerveld door wind en werkzaamheden. Fijnere fracties domineren in grote delen van het gebied de sedimentopbouw en dit materiaal blijft lang in suspensie. Gedurende deze tijd kan het over grote afstanden worden verplaatst. Slibpluimen verbonden aan werkzaamheden zijn soms vele (15) kilometers lang.
- Tracerstudies suggereren dat onder invloed van wind stromingspatronen ontstaan die vaak min of meer circulair verlopen; rechtsonder bij westenwind en linksom bij oostenwind. In de vaargeul van Amsterdam naar Lelystad gaat water daardoor bij harde wind tegen de wind in stromen. De geul heeft daarbij een kanaliserende, zuigende werking.
- Deze modellen suggereren ook dat water uit de Blocq van Kuffeler de vaargeul nauwelijks passeert, maar dat het mee gaat stromen in de geul, bij westenwind in de winter meestal richting IJmeer. Deze waterbewegingen zijn waarschijnlijk het meest krachtig in de maanden met de hoogste gemiddelde windsnelheden, d.w.z. november t/m maart. Dit is ook de periode waarin het meeste water met de meeste stoffen vanuit Zuiderzeeland worden aangevoerd (hoofdstuk 3).
- In het Markermeer binden algen zich op grote schaal aan gesuspendeerde anorganische deeltjes en vormen vlokken. IJzer in het gesuspendeerde sediment bindt het meeste opgeloste fosfaat. Zowel organisch stof als fosfaat is daardoor versterkt onderhevig aan transport en sedimentatie processen.

- Diepe putten in het Markermeer werken als slibvang en worden soms ook bewust zo ingezet (Marker Wadden). Met dit slib worden waarschijnlijk ook grote hoeveelheden fosfaat en organisch stof opgeslagen. Bij een diepte van de put groter dan een zekere drempelwaarde (6-10 m, afhankelijk van de doorsnede) verdwijnt dit materiaal uit circulatie. Mogelijk betreft dit een groot deel van de aanvoer van deze stoffen. Waar toevoer ten behoeve van voedselweb en productie wordt beoogd, werken putten en geulen in de nabijheid dus contraproductief. Gezien de grote afstanden waarover gesuspendeerd materiaal zich kan verplaatsen lijkt toevoer van zulke stoffen in het stormseizoen nauwelijks effectief. De huidige aanvoer vanuit Zuiderzeeland (in de wintermaanden) levert dus ook nauwelijks een bijdrage.

Op basis hiervan in combinatie met bevindingen uit hoofdstukken 4 en 6:

- Zonder begeleiding zijn vanuit Flevoland toegevoerde stoffen al op korte afstand niet meer traceerbaar. Voor een bijdrage aan de productiviteit van het Markermeer kan daarom het best worden gedacht aan een relatief kleinschalige begeleidingsstructuur (luwtegebied).
- Dit gebied heeft bij voorkeur een zodanige aansluiting op de Oostvaardersplassen dat een effectieve aanvoer van organisch stof kan worden gecombineerd met voldoende debiet om buitendijks een luwtegebied met beperkte verblijftijd te kunnen inrichten. De keuze tussen Blocq en Westvaarders hangt af van de debieten die via doorspoeling kunnen worden gerealiseerd via een Westvaarders verbinding.
- Het gebied heeft een zodanige omvang dat met het beschikbare debiet een lokale verblijftijd van enkele dagen tot enkele weken wordt gegenereerd.
- Deze dimensionering moet vooral gericht worden op toevoer en gebruik van stoffen in het voorjaar (vanaf maart) en de zomer.
- De combinatie tussen luwte, verondieping, aanvoer van voedingsstoffen en verkorting van de verblijftijd biedt de beste kansen voor een zinvolle bijdrage aan de productiviteit en de ruimtelijke diversiteit van het Markermeer.

8 Effecten van Markermeerwater in de Oostvaardersplassen

Vraag 6: Wat zijn de gevolgen voor doorstroming met Markermeerwater voor de OVP?

Het uitwisselen van water (inlaten van voedselarm Markermeer-water in de Oostvaarderplassen en uitlaten van voedselrijk Oostvaardersplassen-water naar het luwtegebied in het Markermeer) in combinatie met meer waterpeildynamiek in de Oostvaardersplassen kan effecten hebben op de stoffenhuishouding en ecologische kwaliteit in de Oostvaardersplassen. Een vraag die daarbij speelt is of het doorspoelen van de Oostvaardersplassen met voedselarm Markermeer-water uiteindelijk kan leiden tot een lager productief systeem in de Oostvaardersplassen, ondanks dat de Oostvaardersplassen een zeer voedselrijk gebied is? Dit is met name van belang om het functioneren van de Oostvaardersplassen als een Natura 2000 vogelreservaat te behouden.

8.1.1 Stoffenbalans voor de Oostvaardersplassen

Om de lange termijn effecten van de wateruitwisseling tussen de Oostvaardersplassen en het Markermeer op de koolstof- en nutriëntenkringloop (stikstof (N) en fosfor (P)) van de Oostvaardersplassen te bepalen is een stoffenbalans essentieel. Belangrijke onderdelen in deze balans zijn:

- Waterstroom van de Oostvaardersplassen naar het Markermeer kan zorgen voor het deels sluiten van kringlopen (bv voor P dat via visetende vogels naar de Oostvaardersplassen wordt getransporteerd)
- Waterstroming en vogels (o.a. ganzen) vormen als belangrijke vectoren voor N en P, voor N is ook de atmosfeer een vector
- Waterfluctuatie leidt tot een stimulatie van de vegetatie in de Oostvaardersplassen, deze hoge primaire productie zorgt voor het vastleggen koolstof
- Veel consumptie van primaire productie (C, N, P) binnen de Oostvaardersplassen
- C-, N- en P-gehalten van de bodem (accumulatie en uitspoeling)
- De deeltjes die met het water uit de Oostvaardersplassen worden getransporteerd bestaan vooral uit organisch materiaal

Zoals in sectie 5.1.1. beschreven, zijn de element cycli in de bodem sterk gekoppeld en worden gedreven door reductie- en oxidatieprocessen. Om inzicht te krijgen in de dynamiek van de elementen in de bodem zou een bodemspeciatiemodel gedraaid moeten worden. Hiermee kan voor een bepaalde periode (bv. 50 jaar) de effecten van dynamische droogval en vernatting op de chemische samenstelling van de bodem worden bepaald. Met name de mate van buffering in de bodem tegen verzuring (o.a. calciumcarbonaat) en de mogelijke effecten van uitspoeling van nutriënten uit de (rijke klei) bodems zijn belangrijk om te bepalen.



Uit de workshop: Je hebt veel aanvoer van buiten, rijke bodems. Geen aanwijzing dat het voedselarm zou worden. Er zijn voedselrijke gebieden buiten de kade. Je kan er altijd een zuiveringsmoeras van maken voor polder water.

8.2 Conclusies effecten Oostvaardersplassen

- Om te kunnen inschatten wat de invloed van doorspoeling met Markermeerwater op de productiviteit van de Oostvaardersplassen zal zijn, moet een stoffenbalans van het gebied worden opgesteld. Dit kan in samenhang met de berekening van de fluxen onder invloed van toenemende peilfluctuatie. Behalve de hydrodynamiek moet daarbij ook de rol van vogels (ganzen, aalscholvers) worden meegenomen. Tenslotte is het bepalen van de buffercapaciteit van de bodem tegen verzuring van belang.

In hoofdstuk 5 is geconcludeerd dat er weliswaar de nodige kennis is over de manier waarop veranderingen in hydrodynamiek de chemie van moerassen als de OVP kunnen veranderen, maar dat er anderzijds nog niet voldoende informatie is over met name de karakteristieken van de bodem, om de veranderingen in dit gebied te kunnen voorspellen. Dit geldt zowel voor de invloed van toenemende peilfluctuaties als voor de invloed van doorspoeling op OVP enerzijds en Markermeer anderzijds. Dat laatste betreft met name de vraag hoeveel POC kan worden “geleverd” en hoeveel verlies daarbij optreedt door sedimentatie onderweg.

Terwijl dit dus nog geen duidelijk antwoord biedt op de hier gestelde vraag, luidt het expertoordeel vanuit het consortium als volgt: “Het is onwaarschijnlijk dat het water vanuit het Markermeer een probleem met nutriënten of productiviteit in de OVP gaat opleveren, gezien de rijke bodem die er ligt”.

9 Potentiële bijdrage op de schaal van het Markermeer

Vraag 7: Welke bijdrage levert een luwtegebied op de schaal van het Markermeer?

De nieuwe kennis over beweging van water en stoffen in het Markermeer en de rol van diepe putten en geulen doet vermoeden dat het effect van een luwtegebied beperkt zal blijven tot het areaal van het luwtegebied zelf, mogelijk met uitzondering van de uitwisseling van vis.

9.1 Bijdrage van toevoer van stoffen

Toevoer van stoffen uit de Oostvaardersplassen of de andere Flevolandse wateren zonder begeleiding buitendijks levert geen bijdrage aan de ecologie van het Markermeer. Dit is de conclusie die moet worden getrokken uit de recent uitgevoerde berekeningen over stroming en sedimenttransport in het Markermeer en opslag van fosfaat en organisch stof in putten en andere sedimentatiegebieden.

Dat betekent ook dat het effect van toevoer van stoffen met een luwtegebied strikt beperkt is tot dat luwtegebied zelf. Dit gebied moet dan zodanig worden ingericht dat deze stoffen worden ingezet ten behoeve van productiviteit en ecologische diversiteit voordat het water het luwtegebied verlaat. Als dat lukt, is de bijdrage van betekenis. Wel is de kans van slagen groter bij een luwtegebied van beperkte omvang, waarmee de bijdrage ten opzichte van het totale systeem eveneens beperkt is.

Omdat fosfaat en koolstof op meer locaties het Markermeer binnen stromen, is de vraag legitiem of een luwtegebied zonder aanvoer niet hetzelfde resultaat oplevert. Met name het aanbrengen van verondiepingen ten behoeve van vestiging van waterplanten levert ook dan resultaat op, dat waardevol is, omdat dit habitat nog steeds is ondervetegenwoordigd in het Markermeer.

Wat dan echter ontbreekt is de aanvoer van terrestrisch particulier organisch materiaal en opgeloste voedingsstoffen zoals PO₄ en DOC waarop de gemeenschap van vrije algen en zoöplankton en filtrerende bodemdieren (mosselen) kan leven. Zonder die aanvoer is de waterkolom in het Markermeer na sedimentatie in de luwte zeer voedselarm, waardoor de voedselketens via fytoplankton en organisch materiaal naar primaire consumenten eigenlijk wegvallen.

De overgebleven vrije algen in de luwtegebieden achter de Marker Wadden betekenen dan een betere voedselbeschikbaarheid voor watervlooien, maar niet per se ook een betere voedselkwaliteit, als de C/P ratio van de algen hoog blijft (NIOO onderzoek Marker Wadden).

Aanvoer van extra opgelost fosfaat zou dat kunnen verbeteren, naar voorbeeld van de groei van mosselen in de mondingen van IJssel en Eem. Waarschijnlijk gaat het daarbij om de combinatie van fosfaat en organisch stof uit de rivier. Met name de fijne gebonden koolstoffractie (FPOC) en een opgeloste fractie met een gunstige samenstelling (hoog percentage Biodegradable DOC) zijn daarbij belangrijk voor zoöplankton en filtrerende bodemdieren (mosselen), grover materiaal voor macrofauna. Omdat het winterdebiet via de Blocq al de helft van dat van de Eem bedraagt, moet het effect via dimensionering van een luwtegebied vergelijkbaar kunnen worden.

Voorwaarde is dan wel dat de toevoer van water en stoffen in het voorjaar wordt versterkt, want dan blijft het debiet verder achter bij dat van de Eem. Hierin kan de directe toevoer van uit OVP, waar het peil in het voorjaar zakt, een rol spelen. In de winter is de algenproductie laag en filteren de mosselen niet.

9.2 Bijdrage van ondervertegenwoordigd habitat

De potentiële bijdrage die een luwtegebied kan leveren aan versterking van ondervertegenwoordigde habitats is qua omvang beperkt, juist omdat de omvang van het luwtegebied beperkt moet zijn om de productie via algen en zoöplankton te kunnen verhogen (lokale verblijftijd te verkorten). Waterplanten zijn sterk toegenomen in het westen van het Markermeer en in de beschutte gebieden langs de Houtribdijk. Ook tussen de eilanden van Marker Wadden ontwikkelt zich een gemeenschap van waterplanten.

Wel voegt habitat met waterplanten iets toe aan de oostkant van het Markermeer, waar het in het algemeen te diep en te troebel is voor waterplanten. Zo verbetert dus wel de ruimtelijke spreiding van het habitat. Binnen de begrenzing van Natuurpark Nieuwland kan het een nieuwe stepping stone worden tussen de OVP en de nieuwe natuur bij de Houribdijk. Met name vissen en vogels maken al gebruik van de toenemende landschappelijke samenhang van moerassen en ondieptes.

Uit de workshop: Focus op terrestrische input vanuit het achterland; geen nieuwe eilanden maken! Kansen en mogelijkheden door het inrichten van een onderwaterlandschap met verondiepingen en geulen (geen nieuwe moeras, geen beek!). Gebruik verbindingen voor creëren lokstroom voor vissen.

9.3 Bijdrage via kwaliteit van habitat

De belangrijkste bijdrage aan het Markermeersysteem is het toevoegen van habitat met een hoge productie via de combinatie van aanvoer van voedingsstoffen (organisch en anorganisch) en verkorting van de verblijftijd. Dit soort gebieden, vergelijkbaar met Ketelmeer en Eemmeer, komt nu niet voor in het Markermeer, en wordt slechts enigszins benaderd door de situatie in het IJmeer. Ook rond Marker Wadden kan een dergelijke situatie niet worden bereikt omdat de nodige debieten niet kunnen worden gegenereerd.

Daarbij komt dat de hoeveelheid gebonden koolstof in de rivieren sterk is gedaald. Ook in termen van de totale koolstofbalans van het Markermeer wordt de bijdrage van organisch koolstof die mogelijk is vanuit de moerasgebieden steeds interessanter.

10 Antwoorden op een rij

In dit laatste hoofdstuk worden de antwoorden op de zeven vragen samengevat. Daarbij is soms ook informatie uit de andere dan de desbetreffende hoofdstukken gebruikt.

10.1 Vraag 1; Welke stoffen zijn relevant?

Opgelost fosfaat en fijn zowel als grover gebonden organisch koolstof

- Fosfaat: als dit (in opgeloste vorm) benut kan worden voordat het in open water terecht komt. Benutting door fytoplankton, maar ook waterplanten en perifyton.
- Koolstof: Vooral in de vorm van een combinatie van opgelost organisch koolstof met een gunstige samenstelling (hoog aandeel Biodegradable DOC) en fijn en grover particulier organisch koolstof de meest wenselijke stof, eveneens te benutten voordat in het open water terecht komt. Fijn particulier koolstof voor zooplankton en mosselen, grover organisch materiaal voor macrofauna.
- Deze stoffen zijn het best bruikbaar in het groeiseizoen, van maart tot september.
- Minder wenselijk zijn sulfaat, nitraat en ijzer. Deze stoffen worden echter vooral in de winter aangevoerd en spoelen dan door. Voor een luwtegebied wegen de nadelen (bij een functionele inrichting) niet op tegen de voordelen van de aanvoer van opgelost fosfaat en gebonden koolstof.

10.2 Vraag 2; Wat kan Flevoland voor het Markermeer betekenen?

Combinatie van aanvoer van particulier organisch koolstof uit de OVP, opgelost P en afvoerdebit uit de vaarten biedt kansen voor een relatief kleinschalig maar zeer productief luwtegebied voordat het open water wordt bereikt. Een dergelijke productie herinnert aan de meren in de mondingen van de IJssel en de Eem maar ontbreekt in het Markermeersysteem en kan bij Marker Wadden niet worden gerealiseerd.

- Fosfaat: Concentraties opgelost fosfaat zijn zowel in de OVP als in de vaarten veel hoger dan in het Markermeer. Met of zonder OVP ontvangt een eventueel luwtegebied dus significante hoeveelheden (gebonden en) opgelost fosfaat. Dit voegt *voor het Markermeer vooral (alleen) iets toe als het in voorjaar en zomer wordt toegevoerd en als het opgenomen wordt in de hogere niveau's van het voedselweb kan worden voordat het in het open water komt, in een luwtegebied met een korte lokale verblijftijd van het water.
- Koolstof: De concentraties organisch zwevend stof (zwevend stof – gloeirest) zijn in de OVP veel hoger dan in het Markermeer, de vaarten en de Lepelaarplassen. Dit materiaal bestaat grotendeels uit algen. De concentraties DOC zijn in de OVP ongeveer 2x zo hoog als in het Markermeer, in de vaarten zijn ze intermediair. Omdat ze daar vooral in de winter hoog zijn, is de toevoer van koolstof in een luwtegebied sterk afhankelijk van een effectieve koppeling met de OVP. Als dit lukt, en deze stoffen kunnen in samenhang met toevoer van opgelost fosfaat, verondieping en verkorte verblijftijd worden benut in een relatief kleinschalig luwtegebied, dan is dit ondanks een zeer klein aandeel in het totale areaal van het meer een belangrijke en vooralsnog unieke bijdrage aan het Markermeersysteem.

- Koolstof data: Keerzijde hiervan is grote onzekerheid over de te realiseren fluxen. Het is niet mogelijk met de beschikbare data fluxen of vrachten van anderszins gebonden koolstof te schatten, of onderscheid te maken in fracties (bijv. FPOC, Fine Particulate Organic Matter of de samenstelling van DOC). Ook zijn er geen metingen aan de buitenzijde van de Blocq van Kuffeler, waardoor niet kan worden gevolgd hoe stel met name DOC in het open water is verdwenen. Ook over veranderingen van fluxen vanuit het moeras in relatie tot veranderingen in waterbeheer (peildynamiek) zijn er nog veel vragen. Ervaring in andere gebieden (Koopmanspolder, Marker Wadden, IJssel-Vecht delta) geven aan dat koolstofluxen naar het meer wel degelijk ontstaan door het aankoppelen van binnendijks moeras, maar ook dat dit zonder begeleiding snel verdwijnt. Expert oordeel is dat FPOC fluxen in principe tot stand kunnen komen, maar dat voor toevoer van grover organisch materiaal aparte maatregelen moeten worden genomen (initieel kunstmatig aanbrengen).
- Debieten en seizoen: Stoffen die in de winter worden aangevoerd verdwijnen in het Markermeersysteem (accumulatie in putten en geulen). Toename van zomerbemaling in 2009 heeft laten zien dat de Blocq ook in dat seizoen meer dan 10% van de P belasting kan leveren, waarvan de helft opgelost. Als in het voorjaar de afvoerdebieten groot genoeg zijn om een zodanig luwtegebied aan te leggen dat de verblijftijd ongeveer enkele weken bedraagt, kan lokaal een systeem ontstaan dat qua productie vergelijkbaar is met de meren bij de monding van de IJssel en de Eem. Dit kan bij Marker Wadden niet worden gerealiseerd door gebrek aan stroming, en zo voorlopig uniek zijn voor het Markermeer.

10.3 Vraag 3: hoe veranderen de fluxen van stoffen door grotere peilfluctuaties in de OVP?

Deze vraag kan op procesniveau worden beantwoord, maar hoe dit kwantitatief uitpakt hangt af van factoren als frequenties en duur van droogval en vernatting en verblijftijden. Door verhoging van de dynamiek neemt de productie van POC in het moeras toe, maar door verminderde resuspensie, toenemende consolidatie en toenemende vegetatie die strooisel kan vathouden is het lastig te voorzien in hoeverre de toestroom naar het Markermeer kan toenemen.

- Door de grotere amplitude van waterpeilen neemt het areaal met beurtelings verdroging en vernatting toe, en daarmee ook de dynamiek van stofstromen, in een mate die afhankelijk is van frequentie en duur van droogval en vernatting.
- In binnendijkse natuurontwikkelingsgebieden in het IJsselmeergebied ontstaan verhoogde concentraties POC (particulair organisch koolstof). Bij uitwisseling van water door de dijk ontstaat een POC flux naar het meer, die duidelijk groter is dan bij een de poldergemalen zonder moeras in het achterland, maar op het niveau van het meer is de invloed beperkt. Stimuleren van toevoer op een serieus niveau vraagt dus instroom vanuit (binnendijkse) moerassen op meerder locaties rond het meer. De OVP kunnen daar aan bijdragen, vooral als de aanvoerroute kort is.
- De huidige, sterke resuspensie van bodemmateriaal in het ondiepe (open) water zal naar verwachting bij grotere peilfluctuatie verminderen omdat de bodem bij herhaalde droogval consolideert. Ook als het nieuwe regime leidt tot toename van bijv. riet of waterplanten, stabiliseert de bodem en wordt het sediment door de planten ingevangen en vastgehouden. Toename van moerasvegetatie zal leiden tot meer lokale productie en opslag van koolstof. Erosie neemt af. Er wordt dus meer geproduceerd, maar ook meer vastgehouden. Daarbij zijn ook de eigenschappen van toe aanvoerroute (bijv. ecozone) van belang.

10.4 Vraag 4: Moeten we het water uit de OVP en het water uit de vaarten apart houden?

Een luwtegebied met een combinatie van aanvoer van kwalitatief goed en gevarieerd organisch stof en opgelost fosfaat voor lokale productie met een lage C/P ratio en een korte lokale verblijftijd (via het debiet van de Blocq en/of OVP) levert het meest op en voegt iets toe dat in het Markermeer ontbreekt en elders niet of nauwelijks kan worden gerealiseerd.

Een effectieve toevoer van organisch stof naar het Markermeer is beter mogelijk bij een korte aanvoerrote, dus via de optie Westvaarders. Dit is het betere alternatief als hierbij via doorspoeling een vergelijkbaar debiet kan worden gegenereerd als tegenwoordig via de Blocq mogelijk is. In dat geval levert een tweede luwtegebied bij de Blocq minder op omdat hier veel minder organisch materiaal wordt aangeleverd, mogelijk ook met van een lagere kwaliteit.

Als het debiet via Westvaarders niet groot genoeg is, is de winst het grootst als de wateren kunnen worden gekoppeld, hetzij binnendijks via de ecozone, met een groter verlies van organisch stof onderweg, hetzij buitendijks, door het debiet af te leiden naar Westvaarders.

10.5 Vraag 5: Hoe moeten we het water uit Flevoland in het Markermeer begeleiden?

Met een relatief kleinschalig luwtegebied dat zodanige afmetingen heeft dat grenswaarden voor strijklengte en bodemschuifspanning niet worden overschreden (<800m, <0,9 N/m²), waar genoeg licht op de bodem valt voor waterplanten (>4%, dus verondiepen) en waar met de debieten van de Blocq of Westvaarders een lokale verblijftijd kan worden bereikt van enkele dagen in de winter tot enkele weken in voorjaar en zomer. Dit is waarschijnlijk kleiner dan luwtegebieden die bijv. in de Hoornsche Hop of in de windschaduw van Marker Wadden voorkomen (tot meer dan 1000 ha).

- De huidige baai voor de Blocq is ongeveer 45 ha groot, en heeft gevoelsmatig (workshop) ongeveer de juiste afmetingen. Hij is echter zo diep als het Markermeer en de aangevoerde stoffen lijken hier al snel te verdunnen. Verkend zou moeten worden of deze baai als multifunctioneel (ook jachthaven) luwtegebied kan worden ingericht. Als dit niet mogelijk is, moet worden verkend hoe het debiet van de Blocq buitengaats kan worden gebruikt zonder dat in de bestaande baai onderweg verliezen optreden.
- Een optie met een meer directe verbinding tussen OVP en Markermeer (Westvaarders) heeft de voorkeur als hierbij voldoende debiet kan worden gegenereerd voor een luwtegebied met een beperkte verblijftijd, zoals hierboven beschreven.

10.6 Vraag 6: Wat zijn de gevolgen voor doorstroming met Markermeerwater voor de OVP?

Het water van het Markermeer is armer dan dat in de Oostvaardersplassen. Wat doorspoeling met dit water betekent hangt af van de verhouding met de andere aanvoerbronnen, waaronder vogels. Om het effect te kwantificeren moet een balans worden gemaakt. Expert oordeel op de workshop was dat het gevaar dat de OVP hierdoor substantieel verarmen voorlopig niet zo groot is.

- Om te kunnen inschatten wat de invloed van doorspoeling met Markermeerwater op de productiviteit van de Oostvaardersplassen zal zijn, moet een stoffenbalans van het gebied worden opgesteld. Dit kan in samenhang met de berekening van de fluxen onder invloed van toenemende peilfluctuatie. Behalve de hydrodynamiek moet daarbij ook de rol van vogels (ganzen, aalscholvers) worden meegenomen. Tenslotte is het bepalen van de buffercapaciteit van de bodem tegen verzuring van belang.

10.7 Vraag 7: Welke bijdrage levert een luwtegebied op de schaal van het Markermeer?

De meest waardevolle bijdrage is een luwtegebied met een hoge productie, dat herinnert aan de situatie in de meren rond de mondingen van IJssel en Eem. Dat kan als gebruik wordt gemaakt van de debieten van de Blocq van Kuffeler voor het scheppen van een relatief klein luwtegebied met een korte lokale verblijftijd (enkele weken in het voorjaar), in combinatie van de aanvoer van fosfaat en organisch stof uit de OVP.

Op deze manier ontstaat een gebied dat zeer klein is (<100 ha) ten opzichte van de 70.000 ha van het watersysteem, maar van een kwaliteit die op dit moment niet voorkomt in het gebied, en die door gebrek aan stroming elders (Marker Wadden) ook nauwelijks kan worden gerealiseerd.

Welke uitstraling dit heeft op de rest van het gebied hangt af van de samenhang met andere gebieden (stepping stones), bijvoorbeeld in de context van Nationaal Park Nieuw Land. In een verdere toekomst zijn (bij goede ervaringen) dergelijke combinaties wellicht ook mogelijk bij Wortman of op enkele locaties langs de Hollandse kust.

11 Discussie en aanbevelingen

Recent is aannemelijk gemaakt dat de productie in het Markermeer niet wordt beperkt door een te lage aanvoer van fosfaat, maar eerder door een combinatie van binding van fosfaat aan opgewerveld sediment (met ijzer) en sedimentatie van dit materiaal in diepe putten en geulen. Wat wel zeer beperkt wordt aangevoerd, is kwalitatief goed en gevarieerd organisch stof, met name materiaal van terrestrische oorsprong. En ook dat accumuleert in putten. In de Oostvaardersplassen wordt dergelijk hoogwaardig organisch stof geproduceerd en toegevoerd aan het meer, gestimuleerd door de voorgenomen hogere peilfluctuaties.

Dit rapport gaat over de manier waarop dat zou kunnen. Centrale boodschap is dat dit alleen zin heeft als (1) deze stoffen effectief, d.w.z. zonder veel verliezen onderweg, door een kleine opening aan het Markermeer kunnen worden geleverd en (2) dat de toevoer, gezien de accumulatie in diepere delen van het meer, worden begeleid met een luwtegebied waar de bijdrage aan het voedselweb geleverd wordt voordat de stoffen in de diepte verdwijnen. Dit lijkt het meest productief bij een relatief korte verblijftijd in dat gebied, van enkele dagen tot weken. De beschikbare debieten geven daardoor informatie die nodig is om de afmetingen van een effectief luwtegebied te bepalen. Als dit lukt, kan een meerwaarde voor het Markermeersysteem worden geleverd die niet mogelijk is zonder wateraanvoer, zoals het geval is bij luwtegebieden rond Marker Wadden of Trintelzand.

Voor het inschatten en kwantificeren van de processen die zich hier gaan afspelen en de bijdrage aan het ecosysteem van het meer die kan worden geleverd, zijn enkele aanbevelingen te doen:

- De OVP zijn een goed bron van kwalitatief goed organisch stof. Om te bepalen hoeveel stoffen vrij kunnen komen uit het moeras en uit de bodem en hoe dat wordt beïnvloed door de grotere peilfluctuaties en door aanvullende doorspoeling van de OVP met Markermeerwater (en de route die het water daarbij neemt) is meer informatie nodig, enerzijds over eigenschappen van de bodem, anderzijds over de te verwachten hydrologie (bijv. duur en frequentie van droogval). Hiermee kan vervolgens een water- en koolstofbalans worden opgesteld. Deze studie kan worden gecombineerd met berekeningen van de debieten die kunnen worden gegenereerd naar een luwtegebied met een Westvaarders verbinding.
- Voor een keuze van een luwtegebied voor de Blocq van Kuffeler versus een Westvaarders verbinding is daarnaast meer inzicht nodig over de verliezen die in de ecozone richting Blocq zouden optreden. Ook informatie over de samenstelling van het koolstof in de OVP versus de vaarten is zinvol voor een betere afweging.
- Een effectieve grootte van luwtegebieden kan worden afgestemd op de beschikbare debieten en een gewenste verblijftijd van enkele dagen in de winter tot enkele weken in de zomer. Dit kan met een eenvoudige modelstudie worden verkend. Daarin kan vervolgens de diepte worden gevarieerd en de effecten van stroming in het Markermeer op de waterbeweging in het luwtegebied, afhankelijk van inrichting en oriëntatie.
- Voor het bepalen van de noodzakelijke verondieping voor de groei van waterplanten is een schatting nodig van de lichtbeschikbaarheid in het luwtegebied.
- De toevoer van de grofste fracties van organisch koolstof naar het luwtegebied kan desnoods (in de beginfase) kunstmatig worden aangevuld door middel van het aanbrengen van strooisel of maaisel uit de OVP.

- Als gekozen wordt voor een verbinding via de Blocq van Kuffeler, dan moet de bestaande baai, inclusief de daarbij behorende gebruiksfuncties, in het plan worden opgenomen. Metingen van gradiënten in concentraties van stoffen in de baai in combinatie met modellering van de effecten van aanpassingen zoals verondieping zouden bruikbare informatie kunnen opleveren over de dimensies van een effectief luwtegebied. Ook als een luwtegebied verder buitengaats wordt aangelegd, moet worden verkend hoe dit is te verenigen met de huidige gebruiksfuncties van de bestaande baai, en hoe kan worden voorkomen dat die geziende diepte als bezinkput gaat fungeren voordat de gewenste stoffen kunnen worden benut.

12 Referenties

Cheremisinoff, Nicholas; Davletshin, Anton (2015). Hydraulic Fracturing Operations: Handbook of Environmental Management Practices. Environmental Management. ISBN 9781119099994.

Cole J.J., D.D.R. Carpenter, M.L. Pace, M.C. van de Bogert, J.L. Kitchell & J.R. Hodgson 2006. Differential support of lake food webs by three types of terrestrial organic carbon. Ecology Letters 9: 558-568.

Hin J.A., L.A. Osté & C.A. Schmidt 2010. Handreiking beoordelen waterbodems. Ministerie van IenM – DGW, Den Haag.

Hui Jin 2021: Restoring aquatic food webs bottom-up: Improving trophic transfer through lake restoration project Marker Wadden. Proefschrift Universiteit Wageningen.

Noordhuis R. 2019. Survey draadvormige zwavelbacteriën Markermeer 2019. Deltares, Notitie 11204657-002-ZWS-0001, Utrecht.

Rombouts T., A. Vonk & H. van der Geest 2019. Het belang van natuurlijke en kunstmatige land-water overgangen voor het functioneren van moeras- en meerecosystemen. Rapport Universiteit van Amsterdam.

Temmink R.J.M, L.P.M. Lamer, T. van der Heide e.a. 2022. Recovering wetland biogeomorphic feedbacks to restore the world's biotic carbon hotspots. SCIENCE 376:6593. DOI: 10.1126/science.abn1479

Van der Geest H.G., J.A. Vonk & M.R.L. Ouboter 2017. Reconstructie water- en stoffenbalans Markermeer 1976-2015. UvA, Amsterdam.

Van der Haas I. 2020. Analyse maaginhouden ten behoeve van helder-troebel plan KIMA. Witteveen+Bos, rapport 117775/20-002.328, Deventer.

Van Zuidam B.G. & E.T.H.M. Peeters 2015. Wave forces limit the establishment of submerged macrophytes in large shallow lakes. Limnology and Oceanography, doi: 10.1002/lno.10115 .

Verdonschot P.F.M., R. Noordhuis, J.J.J. Volwater, J.J. de Leeuw & M.C. van Riel 2020. Het bodemvoedselweb in het Markermeer. Over de rol van zwavel bacteriën – wormen – brasem. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.

Verdonschot R.C.M., J. de Vries, G.H. van der Lee, A. Bakker, A.-M. van Noord & P.F.M. Verdonschot 2021. Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren. Verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen. Wageningen Environmental Research, Wageningen.

Visser K.P. 2007. Golfbrekers in het Markermeer, synergie voor veiligheid en ecologie. Afstudeerscriptie Hogeschool van Amsterdam & Rijkswaterstaat IJG, Lelystad.

Visser K.P., T. Vijverberg & P. Dankers 2015.

Natuurlijk(er) Markermeer IJmeer

Initiële bureaustudie slib 2010. Deel I: Luwtestructuren.

Vonk JA, Rombouts T, Schoorl JC, Serne P, Westerveld JW, Cornelissen P, Van der Geest HG (2017) Impact of water drawdown and rewetting on sediment-nutrient dynamics in a constructed delta-lake system (Oostvaardersplassen, The Netherlands): A mesocosm study. Ecological Engineering 108:396-405

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl