



RWS INFORMATIE

Levenskansen van een hongerig Markermeer

Datum	28 april 2023
Versie	2.0
Status	DEFINITIEF

Colofon

Uitgegeven door	Water, Verkeer en Leefomgeving, afdeling Waterkwaliteit en Natuurbeheer
Auteurs	Marcel van den Berg (RWS-WVL), Maarten Platteeuw (RWS-WVL), Albert Remmelzwaal (RWS-WVL), Ton Garritsen (RWS-Midden Nederland), Jeroen Postema (RWS-WVL), Laura Tack (RWS-WVL), Francien van Luijn (RWS-WVL), Jos Schilder (RWS-WVL) & Koen Kaffener (Ministerie IenW - DG Water en Bodem)
Informatie	Marcel van den Berg
Telefoon	
Mobiel	
E-mail	marcel.vanden.berg@rws.nl
Datum	28 april 2023
Versie	2.0
Status	DEFINITIEF

Inhoud

	Voorwoord	5
1	Inleiding	7
2	Het Markermeer in ontwikkeling	9
2.1.	Ingrepen in het systeem	9
2.2.	Veranderingen in nutriënten	9
2.3.	Veranderingen in vogels	11
2.4.	Veranderingen in vis (veranderingen per voedselgilde)	13
3	Het voedselweb van het Markermeer	15
3.1.	Modellering voedselweb	15
3.2.	Primaire productie i.r.t. nutriëntenaanbod	15
3.3.	Fytoplankton	19
3.4.	Waterplanten	20
3.5.	Zoöplankton	22
3.6.	Macrofauna	24
3.7.	Analyse voedselweb	26
3.8.	Effecten van oeverplanten op de primaire productie	28
4	Vergelijking met het IJsselmeer	31
5	De fosforbalans van het Markermeer	32
6	Discussie	37
7	Kansen en risico's van mogelijke ecologische herstelmaatregelen	41
7.1.	Leeswijzer	41
7.2.	Creëren van luwte	42
7.3.	Aanleg van eilanden en ondieptes	46
7.4.	Verbeteren water- en bodeminteractie	49
7.5.	Verbinden met achterland	52
7.6.	Conclusie	55
8	Samenvatting en conclusie	57
9	Evaluatie en aanbevelingen	58
10	Literatuur	60
	Bijlage 1. Lijst met uitbestedingen/producten werkgroep Levend Markermeer	64
	Bijlage 2. Ecopath functionele voedingsgroepen	65
	Bijlage 3. ECOPATH Dieet aannames	66

Voorwoord

Het project Levend Markermeer is gestart in 2018 en uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (DG Water en Bodem) en de Agenda IJsselmeergebied 2050. De belangrijkste aanleiding van het project is om duidelijkheid te scheppen over de consequenties van de afgenomen toevoer van nutriënten naar het Markermeer de voedselbehoefte van planten en dieren in het Markermeer, op basis van onderzoek en het samenbrengen van kennis en gegevens van verschillende deskundigen en organisaties. De achterliggende reden is dat een aantal Natura2000 doelstellingen voor benthos- (bv. kuifeend en brilduiker) en visetende watervogels (bv. zwarte stern en aalscholver) niet gehaald worden. Het Levend Markermeer project laat zien wat de consequenties kunnen zijn van het verminderde aanbod van voedingsstoffen voor het voedselweb en geeft generieke kennisregels over kansen en risico's van verschillende mogelijke maatregelen in het gebied met een concluderend advies. Ook is aandacht gegeven aan de herkomst en beschikbaarheid van voedingsstoffen. De studie is gericht op het Markermeer, maar maakt ook vergelijkingen met het IJsselmeer.

Het project Levend Markermeer heeft de volgende doelen:

1. Vergroten van het inzicht in het functioneren van het voedselweb van het Markermeer en de ontwikkelingen die daarin hebben plaatsgevonden om de consequenties van verminderde voedselaanvoer voor dieren hoger in de voedselketen te begrijpen;
2. Vergroten van inzicht in de effecten van menselijk handelen als beheer, gebruik en inrichting om daarmee zicht te krijgen op neveneffecten van activiteiten en handelingsperspectieven voor herstel van natuur en waterkwaliteit;
3. Ondersteunen van de ecologische advisering aan beheer, inrichting, uitvoering en beleid;
4. Mede richting geven aan onderzoek en monitoring in het Markermeer.

Het project is met een klein team gestart met vertegenwoordiging vanuit RWS-WVL en RWS-MN. Al snel in het traject is samenwerking gezocht en gevonden met onderzoekers en adviseurs van diverse partijen die in belangrijke mate hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze rapportage: Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Deltares, Universiteit van Amsterdam, Wageningen Marine Research, Wageningen Environmental Research, Royal HaskoningDHV en Witteveen en Bos. De meeste onderzoekers of adviseurs zijn ook actief voor andere projecten in het Markermeer. Voor specifieke onderwerpen zijn opdrachten gegeven waarnaar verwijzingen in bijlage 1 van deze rapportage zijn opgenomen.

Het Levend Markermeer levert een aantal producten op:

1. Een inhoudelijke eindrapportage (dit document)
2. Generieke kennisregels met kansen, risico's en adviezen voor potentiële maatregelen (hoofdstuk 7)
3. Visualisaties van zowel de resultaten als de kansen en risico's van potentiële maatregelen (infographics)

De producten vormen een glijdende schaal van inhoud naar visualisatie. In de eindrapportage wordt alle kennis uit Levend Markermeer gepresenteerd. Aan de hand van deze kennis kan iets gezegd en gevonden worden over ecologische maatregelen en ingrepen die voor het Markermeer worden voorgesteld, bijvoorbeeld in het kader van de KRW en PAGW. De kennis over het ecologisch functioneren, toegepast op deze

potentiële maatregelen, is vertaald naar kennisregels. Om dit goed te kunnen communiceren naar beleidsmakers en beheerders (die met de maatregelen aan de slag kunnen gaan) dienen de 'infographics' als middel om eenvoudig samengevat kennis over te dragen.

Het belang van Levend Markermeer zit in de optelsom van deze producten en in combinatie met het hechte netwerk dat is opgebouwd. De werkgroep (samenstelling zie hieronder) heeft de eerste vier jaar regelmatig (1-2 per jaar) brede bijeenkomsten met kennishouders georganiseerd. De laatste twee jaar zijn de bijeenkomsten uitgebreid met gebruikers van de kennis, zoals provinciale en gemeentelijke overheden. Hierin werd ook het belang onderschreven van het verbinden tussen de kennis en de concrete toepassing van de kennis op de vragen nu, door het toepasbaar te maken en daarvoor ook een communicatiemiddel te ontwikkelen.

Werkgroep Levend Markermeer: Albert Rimmelzwaal (RWS-WVL, projectleider eerste deel), Ton Garritsen (RWS-MN); Roel Doef (RWS-WVL), Marcel van den Berg (RWS-WVL, projectleider laatste deel), Jeroen Postema (RWS-WVL), Francien van Luijn (RWS-WVL), Laura Tack (RWS-WVL), Jos Schilder (RWS-WVL), Maarten Platteeuw (RWS-WVL), Koen Kaffener (IenW-DGWB), Pieter den Besten (IenW-DGWB), Anna de Kluijver (RVO).

Werkgemeenschap Levend Markermeer: Machteld Rijkeboer (RWS-CIV); Mennobart van Eerden (RWS-WVL); Arnold Veen (RWS-CIV); Nicole Dijkman (RWS-CIV); Ruud Cuperus (RWS-MN); Ria Kamps (RWS-MN); Rosalie Heins (RWS-MN); Eddy Lammens (RWS-WVL); Janna van Burik RWS-WVL, stagiair); Robbin Lensink (RWS-WVL, stagiair); Martin de Haan (RHDHV); Niels Schoffelen (RHDHV); Sven Teurlinckx (NIOO); Liesbeth Bakker (NIOO); Lisette de Senerpont Domis (NIOO); Ruurd Noordhuis (Deltares); Tineke Troost (Deltares); Harm van der Geest (UvA); Arie Vonk (UvA); Piet Verdonshot (WEnR-WUR, UvA); Mariëlle van Riel (WEnR-WUR); Joep de Leeuw (WMR-WUR); Bas van den Boogaard (Waardenburg Ecology); Theo Boudewijn (Waardenburg Ecology); Stef van Rijn (Delta Milieuprojecten).

En de laatste twee jaar uitgebreid met:

Koen Princen (Witteveen en Bos); Nienke Siekerman (RWS MN); Flos Fleischer (Blauwe Hart); Carla van der Gaag-Schaapveld (RWS MN); Sandra Konijn (IenW DGWB); Jeroen Veraart (WUR); Rita Braam (Gastvrijerlandmeren); Leen Kool (LNV); Mascha Lichtendahl (MN); Marinus Bokhorst (RWS PPO); Inge van Leijenhorst (RWS MN); Marianne Greijdanus-Klaas (RWS MN); Bauke de Witte (RWS MN); Perry Cornelissen (Staatsbosbeheer); Joost Lankester (RVO); Maarten Ouboter (Waternet); Annemiek Boosten (Natuurmonumenten); Wiegert Dulfer (RWS WVL); Ed Buijs (Gemeente Amsterdam); Frank van Heest (Provincie Flevoland); Guido Vermeer (Gemeente Lelystad); M. Hulstijn (Gemeente Almere); Jacco Maissan (Provincie Flevoland); Marc Klieverik (rvo); Lisa Rinkel (Gemeente Edam-Volendam); Anja Ooms-Wilms (Provincie Noord-Holland); Menno Genseberger (Deltares); Aike van der Nat (RWS-MN); Nicole van Jaarsveld (RWS-MN).

1 Inleiding

In 2009 is het Markermeer, samen met het IJmeer, in zijn geheel aangewezen als Vogelrichtlijngebied, en gedeeltelijk ook als Habitatrichtlijngebied, in het kader van Natura 2000¹. Voor dit gebied zijn instandhoudingsdoelstellingen vastgelegd voor twee habitattypen, drie habitatrichtlijnsoorten, twee broedvogelsoorten en 18 niet ter plaatse broedende vogelsoorten. Voor deze in het kader van Natura 2000 beschermde soorten moeten omvang en kwaliteit van de leefgebieden in stand gehouden worden of zelfs verbeterd voor wat betreft de draagkracht voor van tevoren op basis van tellingen vastgestelde populatiegroottes. Ook is het Markermeer-IJmeer (in dit rapport verder kortweg aangeduid als Markermeer) aangewezen als oppervlaktewaterlichaam in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) (Ministerie van IenM 2015). In dit kader zijn doelen voor de biologische waterkwaliteit opgesteld voor fytoplankton, overige waterflora, macrofauna en vis. Ook zijn KRW-doelen voor biologie-ondersteunende fysisch-chemische parameters als stikstof (N) en fosfor (P) opgesteld.

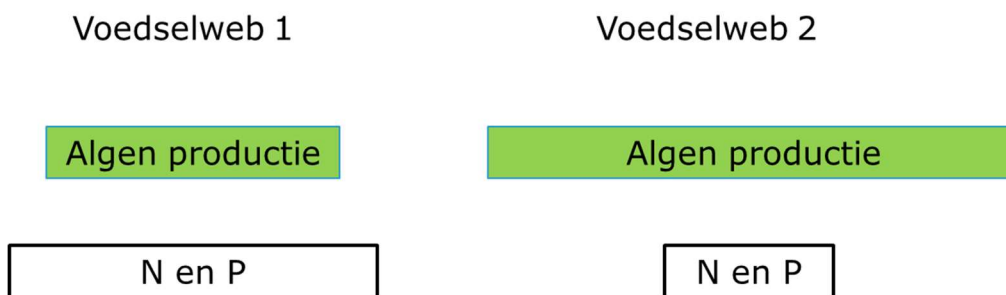
Voor een groot aantal van de vogelsoorten met instandhoudingsdoelstellingen zijn de aantallen sinds de jaren 80 sterk afgenomen en worden in de afgelopen decennia deze doelstellingen niet meer behaald (Noordhuis et al. 2014, van Rijn & van Eerden 2021). Vooral overwinterende benthivore vogels (bodemfauna-etende vogels zoals brilduiker) en piscivore vogels (visetende vogels zoals grote zaagbek en nonnetje) zijn sterk in aantal afgenomen. Gelijktijdig met de afnames van deze vogelaantallen zijn de nutriëntenconcentraties in het Markermeer sterk teruggebracht (voornamelijk P) als gevolg van voornamelijk P reducerende maatregelen. Dankzij deze maatregelen wordt in de gehanteerde KRW-methodiek de waterkwaliteit van het Markermeer met betrekking op N en P inmiddels als 'goed' beoordeeld (Ministerie van IenM & RWS 2017).

Het is aannemelijk dat de afnames van de aantallen van sommige soorten in het kader van Natura 2000 beschermde vogels direct te relateren zijn aan de afgenomen nutriëntenconcentraties in het Markermeer. De beschikbaarheid van deze voedingsstoffen kan namelijk van grote invloed zijn op de productiviteit aan de basis van het voedselweb (fytoplankton), waardoor uiteindelijk in de top van het voedselweb (o.a. vogels, maar ook grotere roofvis) onvoldoende voedsel beschikbaar is (figuur 1). Ook de bestanden aan grotere (roof)vis zijn in het Markermeer de laatste decennia sterk afgenomen (de Leeuw et al. 2021). Het is daarom van belang om te weten of er daadwerkelijk sprake is van een lagere productiviteit op lagere trofische niveaus en - als dat inderdaad zo is - hoe dit doorwerkt naar de hogere trofische niveaus. Het is namelijk ook denkbaar dat er in de voedselrelaties andere factoren een rol spelen, zoals bijvoorbeeld stagnerende nalevering van nutriënten uit de bodem of veranderingen in soortensamenstelling van fytoplankton of zoöplankton of andere mechanismen, die een optimale doorgeve van de beschikbare biomassa/energie van primaire productie naar de hoogste trofische niveaus van vogels en roofvis belemmeren. Een eenvoudig voorbeeld van de basis van het voedselweb is weergegeven in figuur 1, waarbij ook direct

¹

https://www.natura2000.nl/sites/default/files/gebieden_aanwijzing_en_archief/073/n2k073_db_hvnmw_markermeer_en_ijmeer.pdf

zichtbaar is dat minder nutriënten niet noodzakelijkerwijs ook een lagere productie betekent van algen.



Figuur 1. Schematische weergave van een voedselweb. In het linker voedselweb zijn de nutriënten N en P in grote hoeveelheid aanwezig, veel meer dan in het rechter voedselweb. In het linker web is echter een kleinere algenproductie dan in het rechter web. In het linker web zijn andere factoren dan nutriënten limiterend voor de algenproductie, bijvoorbeeld licht of de aanwezigheid van andere soorten algen, waardoor de algenproductie lager is dan in een situatie met minder nutriënten (rechts).

Deze studie vergelijkt de situatie eind jaren tachtig, toen zowel de aantallen overwinterende watervogels als de bestanden aan grote vis hoog waren, met de 'huidige' periode van 2012 t/m 2017, waarin deze aantallen zijn afgenomen. Om meer inzicht te verkrijgen in de oorzaken van de waargenomen veranderingen in de aantallen vogels en grote vis zijn voedselwebrelaties en productiviteit in beeld gebracht van verschillende trofische groepen in het Markermeer, in relatie tot de veranderingen die zich in dit systeem hebben voorgedaan.

Deze studie geeft een overzicht van de beschikbare data voor het reconstrueren van het voedselweb in het Markermeer en het identificeren van mogelijke kennishiaten. Ook wordt het Markermeer-voedselweb vergeleken met voedselwebstudies van andere meren, waaronder het aangrenzende IJsselmeer.

Uit de door deze aanpak verkregen inzichten is vervolgens een betere inschatting mogelijk van welke maatregelen kansrijk zijn ten behoeve van een optimaal ecologisch functioneren van het Markermeer, welke maatregelen een bijdrage kunnen leveren aan 'herstel' van de populaties van beschermde Natura 2000 vogelsoorten en wat het relatieve belang is van verschillende maatregelen (bv. maatregelen vanuit Programmatische Aanpak Grote Wateren, KaderRichtlijn Water, of ToekomstBestendig Ecologisch Systeem).

Kort samengevat: de hoeveelheden (mossel- en visetende) vogels en vis in het Markermeer zijn afgenomen sinds de jaren tachtig van de 20^e eeuw en de hypothese is dat dit vooral te wijten is aan veranderingen in (het functioneren van) het voedselweb, getriggerd door verminderde aanvoer van stikstof en vooral fosfor.

2 Het Markermeer in ontwikkeling

2.1. Ingrepen in het systeem

In deze studie zijn twee perioden in het Markermeer vergeleken met elkaar (de jaren tachtig en de periode 2012 - 2017, ofwel huidig). In de tussenliggende tijd is de aanvoer van nutriënten naar het meer met ongeveer een factor 10 gedaald. Bij het vergelijken van de twee perioden is het belangrijk te beseffen dat ook andere menselijke invloeden zijn veranderd of maatregelen zijn genomen. Figuur 2 geeft een overzicht van de belangrijkste veranderingen in het gebied in de loop van de tijd. Al deze ingrepen hebben een directe of indirecte invloed (gehad) op het ecologisch functioneren van het Markermeer. Zo is het openen van het Main-Donaukanaal de oorzaak voor de komst van verschillende exoten die in bepaalde deelleefgebieden van het Markermeer inmiddels de overhand hebben. Ook de visserij is in de periode verschillend van intensiteit geweest met recentelijk een meer duurzame visserij. De aanvoer van nutriënten is afgenomen door verschillende maatregelen, de leefgebieden in het meer zijn veranderd door de aanleg van de Marker Wadden en de zandige versterking van de Houtribdijk. Het overzicht is niet compleet.



Figuur 2.1 Overzicht van belangrijke ingrepen en wijzigingen in beheer of gebruik tijdens de levensloop van het Markermeer, ontstaan in 1976.

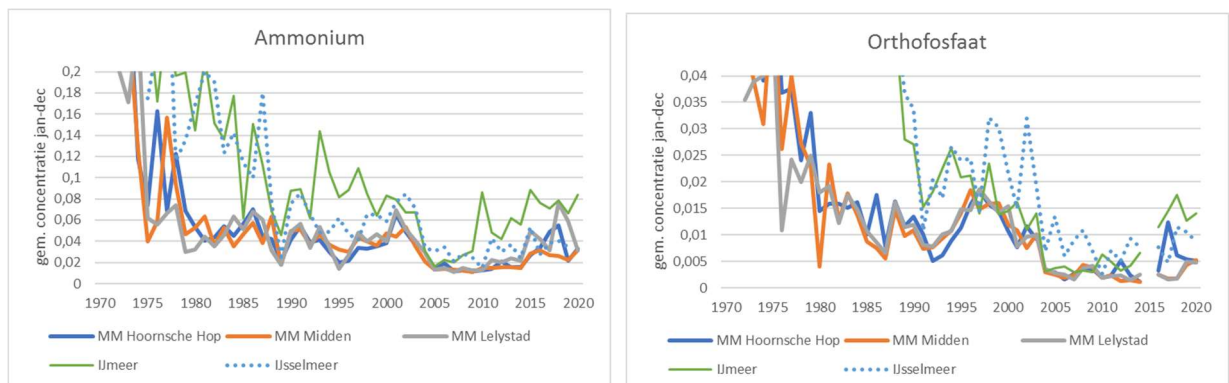
2.2. Veranderingen in nutriënten

Zowel de aanvoer naar als de concentratie van nutriënten in het Markermeer zijn veranderd. Na de afsluiting van het Markermeer zijn de N- en P-concentraties afgenomen. Voor een groot deel is dit veroorzaakt door een afname van de aanvoer door maatregelen tegen eutrofiëring, zowel regionaal (o.a. Bestrijding Eutrofiëring Zuidelijke RandMeren; Nieuwkamer et al. 2006) als ook in het Rijnstroomgebied. Dit werkt door in de concentraties in de waterkolom. In eerste instantie daalden zowel P als N sterk, in latere jaren is met name P verder afgenomen, met als gevolg dat de N:P-verhouding ook is veranderd en sterker is gaan fluctueren (figuur 2.2).

Er zijn verschillende periodes te duiden:

Periode	beschrijving
1975-1982	Nutriëntconcentraties beginnen hoog, maar nemen sterk af tijdens deze periode.
1983-1993	Verdere afname PO ₄ , NH ₄ blijft laag
1993-2004	Lage nutriëntconcentraties; lichte toename rivierdebieten -> licht herstel van PO ₄
2004-2014	Verdere afname nitraat tot bijna nul; plotselinge afname PO ₄ en NH ₄ in 2004
2015 - 2020	Opgeloste nutriënten lijken weer wat toe te nemen

Zie voor getallen en grafieken de KIMA eindrapportage (de Rijk & Dulfer 2021).



Figuur 2.2 Verloop van opgeloste concentraties ortho-fosfaat en ammonium-stikstof in verschillende delen van het Markermeer, IJmeer en IJsselmeer (De Rijk en Dulfer 2021). De vrije concentraties van voedingsstoffen lijken de laatste jaren weer wat toe te nemen, maar de totaal concentraties van vooral fosfor zijn ook de laatste jaren lager dan ooit.

Voor watersysteem van het Markermeer is een waterbalans en een stoffenbalans gemaakt voor de periode 1976 – 2015 voor o.a. totaal N en totaal P (van der Geest et al. 2018). Op basis van deze balans en additionele gegevens wordt in een vervolgonderzoek een schatting gemaakt van de waterbalans posten en van vrachten naar en van het Markermeer voor fosfor (zie hoofdstuk 5 en Noordhuis et al. 2022). De balans-studie van Van der Geest is in het kader van Slim Watermanagement aangevuld door Deltares (Meijers et al., 2021; Van Duin, 2022) met informatie over de jaren 2016-2019.

Duidelijk is dat de externe belasting van het watersysteem Markermeer² sterk is afgenomen met sterk gedaalde concentraties nutriënten in de waterlaag tot gevolg.

² Het gaat hier om aanvoer van nutriënten naar het Markermeer en de daarmee direct verbonden meren (Gouzee, IJmeer, Gooimeer, Eemmeer, Nijkerkernauw).

Voor het Markermeer geldt dat de afname van de concentratie minder sterk is dan in het IJsselmeer, maar tegelijkertijd dat de eindconcentratie het laagst is van de meren in het IJsselmeergebied. De balans van fosfor is verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.

2.3. **Veranderingen in vogels**

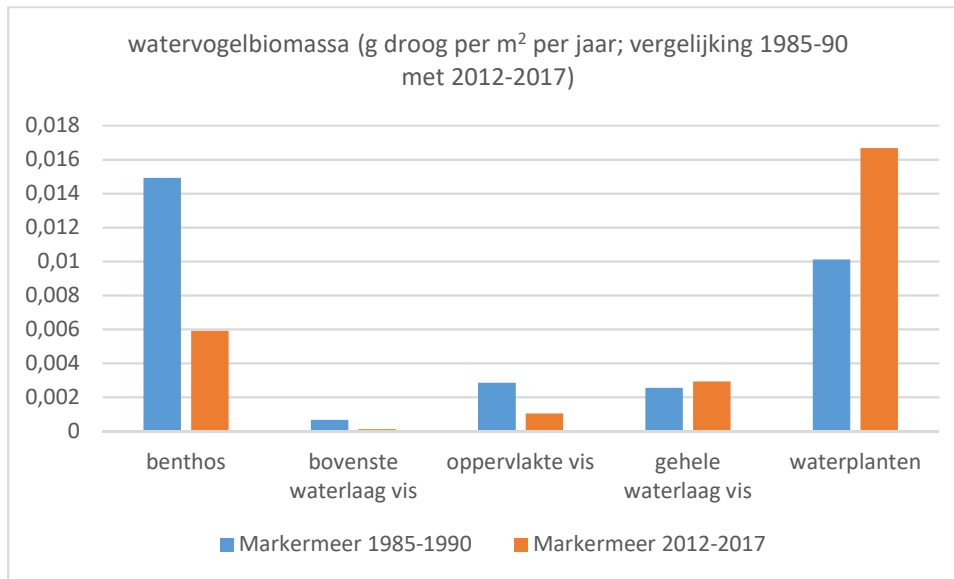
Sinds de jaren 80 van de 20^e eeuw zijn er in het Markermeer flinke verschuivingen in de aantallen watervogels opgetreden. Om deze verschuivingen enigszins overzichtelijk weer te geven en te kunnen duiden in relatie tot de veronderstelde veranderingen in de productiviteit en daarmee het voedselweb zijn in eerste instantie de diverse soorten watervogels ingedeeld in vijf voedselgildes. Deze zijn gebaseerd op enerzijds het type (voorkeurs)voedsel (op te delen in benthos oftewel bodemfauna, vis en waterplanten) en anderzijds, binnen de groep van de viseters, in de wijze waarop de vis bejaagd wordt (alleen in de bovenste waterlaag, puur aan de oppervlakte van het water of over de gehele waterlaag) (tabel 2.1).

Tabel 2.1 Indeling watervogelsoorten in Markermeer in voedselgildes (indeling volgens M.R. van Eerden, RWS).

Waterplanten	Vis bovenste waterlaag	Vis oppervlakte	Vis gehele waterlaag	Benthos (bodemfauna)
Knobbelzwaan	Grote zaagbek	Dwergmeeuw	Aalscholver	Kuifeend
Kleine zwaan	Middelste zaagbek	Kokmeeuw	Fuut	Tafeleend
Krooneend	Nonnetje	Grote mantelmeeuw		Topper
Meerkoet (zomer)		Zilvermeeuw		Brilduiker
		Stormmeeuw		Meerkoet (winter)
		Visdief		
		Zwarte stern		

Gedurende de gehele periode tussen 1979 en 2017 zijn maandelijks alle hierboven genoemde watervogelsoorten in het Markermeer (en overigens ook in het IJsselmeer) geteld vanuit de lucht (M.R., van Eerden, Rijkswaterstaat) en opgenomen in het zgn. MWTL-monitoringsprogramma (Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand des Lands) van Rijkswaterstaat en aangevuld met aanvullende ruimtelijke informatie (Van Rijn, 2020). Uit deze langjarige telreeks zijn twee perioden van elk vijf jaar geselecteerd om de verschuivingen in de aantallen, maar vooral in de biomassa per voedselgilde die in de tussentijd hebben plaatsgevonden te illustreren. Het gaat dan om de periode van 1985-1990 en de periode van 2012-2017. Hierbij zijn de kustzones integraal geteld, terwijl het open water steekproefsgewijs is geteld.

Voor beide vijfjaarlijkse perioden is op basis van de integrale kusttellingen en soortspecifieke bijschattingen voor elke telling (van Rijn 2020) uitgerekend hoeveel watervogeldagen er per jaar in het Markermeer doorgebracht zijn in elk van de onderscheiden voedselgildes (de Haan et al. 2019, Schoffelen 2021). Door vervolgens het aantal vogeldagen voor de verschillende vogelsoorten te vermenigvuldigen met de soortspecifieke gewichten (gebaseerd op data uit Cramp & Simmons 1977, 1980, 1983 en Cramp 1985) en omgerekend naar drooggewichten (op basis van Campbell & Leatherland 1980) en ze vervolgens per voedselgilde bij elkaar op te tellen is voor ieder voedselgilde uitgerekend wat de jaarlijks gemiddelde aanwezige totale biomassa aan watervogels is geweest in beide vijfjaarlijkse periodes (zie de Haan et al., 2019). Dit is dan weer omgerekend naar biomassa per m² en weergegeven in figuur 2.3.

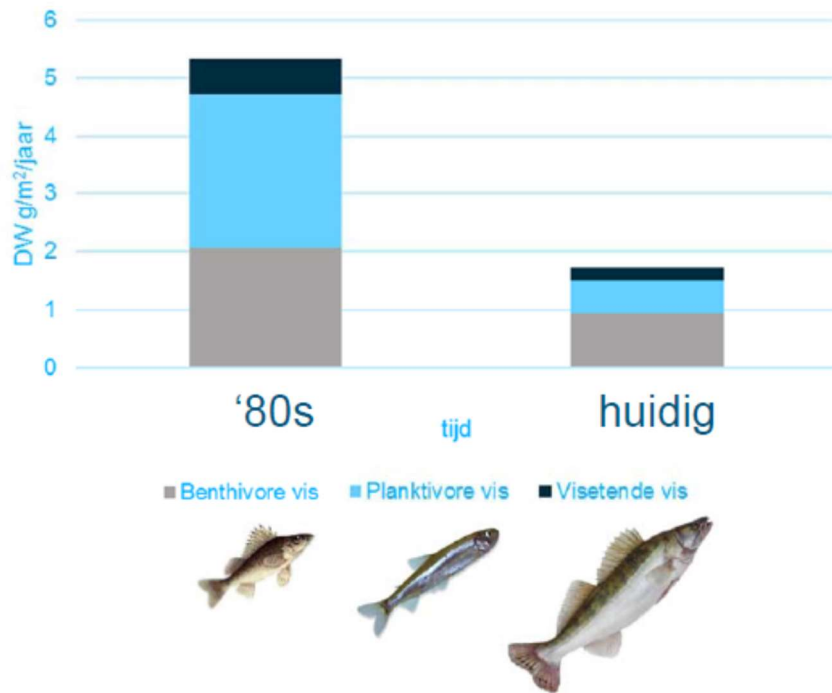


Figuur 2.3. Vergelijking tussen de watervogelbiomassa's per voedselgilde (uitgedrukt in g drooggewicht/m²/ jaar) in het Markermeer in de periode 1985-1990 en de periode 2012-2017.

De totale jaarlijkse biomassa aan watervogels in het Markermeer bedroeg in de periode 1985-1990 0,03108 g/m². In de periode 2012-2017 was dit met een factor 0,14 afgenomen naar 0,02665 g/m². Figuur 4 laat zien dat de verschuivingen per voedselgilde sterk uiteenliepen. Grote afnames bleken opgetreden te zijn bij de benthos-etende watervogels, waar de biomassa per oppervlakte-eenheid in 2012-2017 met 60% was afgenomen ten opzichte van de eerdere periode. Ook bij de viseters van de bovenste waterlaag en bij de aan de wateroppervlakte foeragerende viseters werden afnames van respectievelijk 82 en 64% geconstateerd. Voor viseters die de hele waterkolom bevissen (aalscholver en fuut) werd juist een (geringe) toename in biomassa vastgesteld (met zo'n 15%), terwijl waterplantenetters met maar liefst 65% toegenomen bleken te zijn. Laatstgenoemde trend komt goed overeen met de constatering dat de waterplantenbegroeiing van het Markermeer flink is toegenomen (zie paragraaf 3.4), maar de toename van de viseters van de gehele waterkolom kwam als een lichte verrassing, stellig toe te schrijven aan de combinatie van het feit dat aalscholwers steeds meer jaarrond in grote aantallen in het Markermeer verblijven (mogelijk een gevolg van de steeds zachtere winters) en dat aalscholwers qua biomassa per individu veel zwaarder zijn dan de altijd al jaarrond aanwezige futen.

2.4. Veranderingen in vis (veranderingen per voedselgilde)

De biomassa van vis is sterk afgenomen in de huidige situatie vergeleken met de jaren tachtig (figuur 2.4). Het is aannemelijk dat visserij voor een aantal soorten hierin een belangrijke rol heeft gespeeld. Brasem, één van de grootste en zwaarste hier voorkomende vissoorten, is sterk afgenomen. Brasem is in staat om met zijn eetgedrag de bodem op te woelen en het water troebel te maken met meer algen en slib (Meijer en Breukelaar 1988; Breukelaar et al. 1994). Het is denkbaar dat de pootvisserij op brasem rond 2000 heeft geleid tot een zekere stabilisatie van de bodem en daarmee de oorzaak kan zijn voor een aantal grote veranderingen in het ecosysteem, zoals de komst van zwavelbacteriën en waterplanten. In 2019 werd het Actieplan toekomstbestendig visserijbeheer IJsselmeergebied door LNV opgesteld. Sindsdien zijn er aanwijzingen dat een aantal soorten zich (licht) herstelt (de Leeuw et al. 2021).



Figuur 2.4. De visbiomassa's in het Markermeer in de jaren tachtig en huidig.

3 Het voedselweb van het Markermeer

3.1. Modelling voedselweb

Het model Ecopath (de Haan et al. 2019) is toegepast, met als input de uit bestaande monitoringsreeksen gegenereerde bestandsgegevens over waterplanten en fytoplankton, benthos, vis en vogels in de jaren 80 (historisch) en rond 2015 (huidig). Zoöplankton is eveneens gebruikt, maar de data daarvan waren vaak minder compleet. Ecopath is een statisch model, omdat er geen terugkoppelingen zijn tussen de eenmaal ingevoerde data. Alle biomassadata per voedselgroep worden in het model gebracht en dit is tevens één van de grote pluspunten, omdat alles in dezelfde eenheid is weergegeven. Bij voorkeur zijn schattingen of metingen nodig om al deze data in te voeren. In ons geval hebben we gekozen voor in totaal 34 functionele voedselgroepen (bijlage 2), waarvan twee hoofdgroepen met producenten (algen en waterplanten) en alle andere zijn consumenten. Voor biomassa's zijn schattingen gemaakt op basis van gemeten data via omrekeningsfactoren (bv. zoöplankton en waterplanten), of deze zijn direct gemeten (bv. vis en mosselen). De productie per voedselgroep is gebaseerd op literatuurwaarden (zie bijlage 3 voor de belangrijkste aannames). Voor algen is de productie bepaald met het model Delft3D BLOOM voor de twee perioden die verschillen in nutriëntenaanbod (Troost, 2020). Voor de vergelijkingen van primaire productie is naast de productie ook de gemodelleerde biomassa gebruikt uit Troost (2020), terwijl voor de berekeningen in Ecopath de schattingen van biomassa uit chlorofyl-a is gedaan.

In het Ecopath model worden relatieve groeisnelheden gemiddeld over alle meetmomenten en omgerekend naar een *jaarlijkse relatieve groeisnelheid* (gerealiseerde biomassa per jaar in gram drooggewicht per eenheid aanwezige biomassa). De modelberekening geeft een *absolute groeisnelheid* voor het totale Markermeer. Visserij is als onttrekkingsfactor in de Ecopath modellering opgenomen. Om de effecten voor de productie te bekijken van projecten die oeverplanten stimuleren is een aantal scenario's gemaakt, gebaseerd op bestaande, geplande of fictieve arealen oeverplanten (zie 3.8).

3.2. Primaire productie i.r.t. nutriëntenaanbod

Dalende nutriëntenconcentraties kunnen de omvang van de primaire productie sterk beïnvloeden (zie fytoplankton). Uit een inventarisatie van hypothesen in de Werkgemeenschap Levend Markermeer (Troost 2020) kwam het beeld naar voren dat nutriënten mogelijk een belangrijke limiterende rol spelen voor de primaire productie in het huidige Markermeer. Met behulp van het Delft3D-waterkwaliteitsmodel is getracht de primaire productie van algen te bepalen voor het Marker- en IJsselmeer. Echter, het model is op dit moment alleen in staat om de *potentiële* primaire productie, te berekenen.

Voor de berekening van de primaire productie van algen in het IJsselmeer en het Markermeer zijn voor de jaren 1981, 2006 en 2016 scenario berekeningen gedaan, waarbij meteorologie en/of slibforcering volgens onderstaande tabellen is toegepast (tabel 3.1 en 3.2; figuur 3.1).

Tabel 3.1 Overzicht simulaties IJsselmeer. Het jaartal verwijst naar het jaar van de nutriëntenaanvoeren. Een 'u' achter het jaartal betekent dat het om een geüniformeerde som gaat waarin meteorologie en het slibveld zijn gebaseerd op het jaar 2006.

Jaartal	Grid, meteo en waterbeweging	Slib	Nutriënten aanvoer	Opmerkingen
1981	2006 (meteo 1981)	1981	1981	Testrun i.v.m. validatie
1981u	2006	2006	1981	
2006u	2006	2006	2006	
2016u	2006	2006	2016	

Tabel 3.2 Overzicht simulaties Markermeer. Het jaartal verwijst naar het jaar van de nutriëntenaanvoeren. Een 'u' achter het jaartal betekent dat het om een geüniformeerde som gaat waarin meteorologie en het slibveld zijn gebaseerd op het jaar 2006.

Jaartal	Grid, meteo en waterbeweging	Slib	Nutriënten aanvoer	Opmerkingen
1981	2006	2016	1981	Testrun om het effect van slib te onderzoeken
1981u	2006	2006	1981	
2006u	2006	2006	2006	
2016u	2006	2006	2016	
2016	2006	2016	2016	Testrun om het effect van slib te onderzoeken

Omdat de seizoenspatronen in primaire productie die uit de berekeningen voor het Markermeer naar voren komen niet overeenkomen met de gemeten patronen (tevorens bekend), is gekeken naar jaarlijkse gemiddeldes van potentiële primaire productie. Omdat de ruimtelijke verschillen grotendeels door bathymetrie, slib en nutriëntenaanvoer en-transport worden ingegeven, is per deelgebied gekeken.

De modelresultaten suggereren dat in 1981 de (potentiële) primaire productie in het Markermeer vergelijkbaar was met die in het IJsselmeer (figuur 3.9). In de recentere jaren is de gemodelleerde primaire productie in beide systemen afgenomen als een rechtstreeks gevolg van de afname in de nutriëntenaanvoer en de daarop volgende afname in de gemodelleerde concentraties TotN en TotP die aanwezig zijn in het water (figuur 3.1). De hoeveelheid slib in het water doet er niet of heel weinig toe, zodat de resultaten representatief zijn qua weersinvloeden. De relatieve productieschattingen zijn als input voor het Ecopath model gebruikt voor de productie van het fytoplankton (tabel 3.3). De biomassa's van de algengroepen in Ecopath zijn echter gebaseerd op schattingen van samenstelling en concentratie chlorofyl-a en niet overgenomen uit de modelberekeningen.

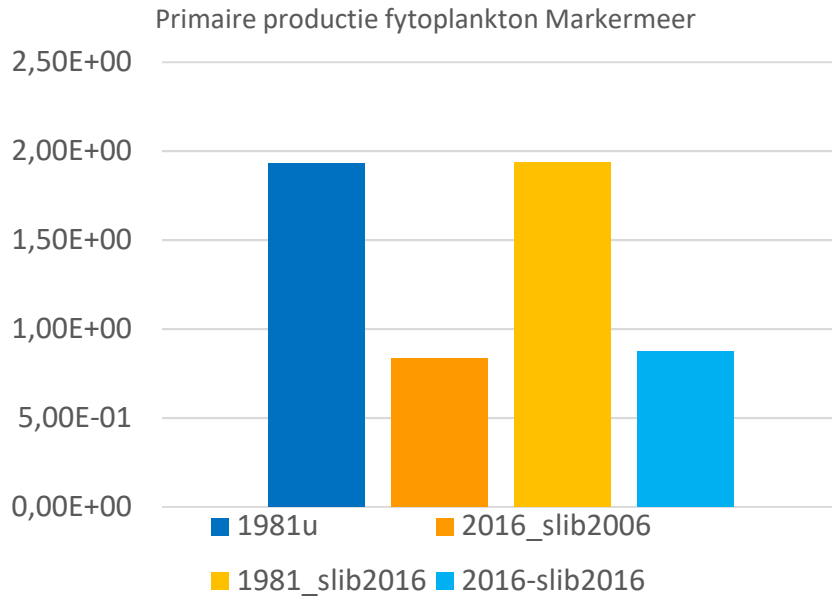
Tabel 3.3 Berekende totale algenbiomassa, absolute en relatieve productie (zomer) in het Markermeer voor verschillende jaren uit Troost (2020).

Jaar	Biomassa (gC per m ³)	Productie absoluut (gC m ³ per dag)	Productie relatief (gC/gC/jaar)
1981u	3.9	0.887	84
2006u	1.3	0.365	101
2016u	1.4	0.385	101

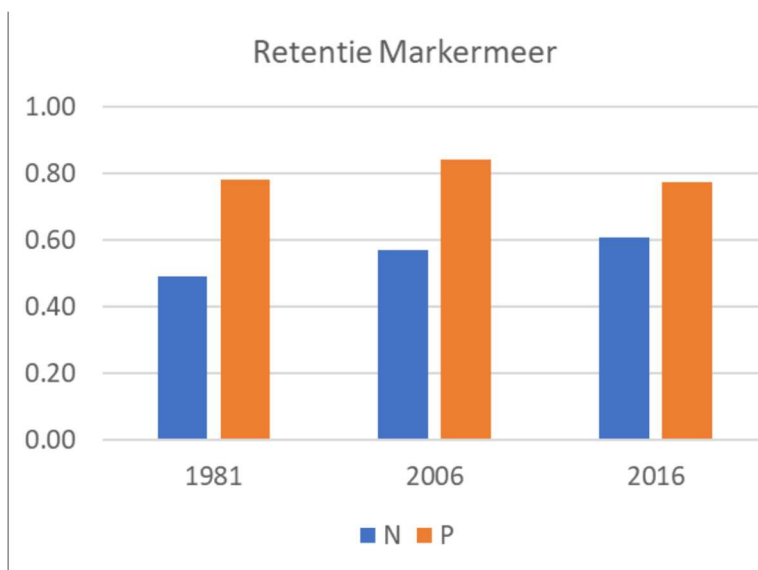
De resultaten laten zien dat in het IJsselmeer van 1981 slechts ~20% van de hoeveelheid aangevoerde P wordt vastgehouden, het overgrote deel stroomt weer weg uit het systeem. In de recentere jaren (waarin de aanvoer afneemt) neemt de P-retentie toe tot ~40% in 2016. In het Markermeer wordt echter al in 1981 80% van de hoeveelheid P-aanvoer vastgehouden en dit percentage blijft gelijk in 2016 hoewel ook daar de absolute P-aanvoer flink afneemt. Ook de retentie van N ligt hoger in het Markermeer dan in het IJsselmeer.

Een lage retentie in combinatie met een overmaat aan nutriënten leidt tot uitstroom uit het systeem. Bij een afname in nutriëntenaanvoer hoeft het biogeochemische systeem zich dan namelijk niet of nauwelijks aan te passen, want er blijven nog genoeg nutriënten over (figuur 3.2). Wel zullen er iets minder nutriënten het systeem uitstromen (want er komen ook minder binnen), en een relatief groter deel wordt vastgelegd door het systeem, wat leidt tot een toename van de retentie. Dit is wat de modelresultaten van het IJsselmeer laten zien: bij een afname van de nutriënten blijft de N:P ratio van de algen vrijwel gelijk, neemt de productie iets af en neemt de retentie toe.

De hoge retentie in het Markermeer, die gelijk blijft bij een afnemende nutriëntenaanvoer, duidt juist op het tegenovergestelde: een nutriëntenlimitatie. Het Markermeer is veel sterker nutriënten-gelimiteerd dan het IJsselmeer. Bij een tekort aan nutriënten zal het biogeochemische systeem namelijk een relatief grotere claim leggen op de wel aanwezige nutriënten en er ook efficiënter mee omgaan. Een afname in nutriënten dwingt het systeem tot het (nog) efficiënter gebruik maken van de nutriënten. Maar omdat de rek daarin beperkt is, zal dit dan gepaard gaan met een afname van de productie. Omdat de nutriëntenuitstroom hierbij min of meer gelijk blijft (relatief ten opzichte van de instroom), zal de retentie ook min of meer gelijk blijven. De toename van efficiëntie is terug te zien in de toenemende N:P ratio van de algenbiomassa in het Markermeer, terwijl de retentie onveranderd hoog blijft. Deze verschuiving leidt ertoe dat de algen een lagere voedselkwaliteit hebben voor de hogere trofische niveaus (Sarpe et al. 2014).



Figuur 3.1 Schattingen van de primaire productie (g C/m²/d) door fytoplankton in het Markermeer voor verschillende perioden van nutriëntenbelasting met uniform (u) slib en waterdynamiek (2006). Door het slibveld tussen 2006 (u/ laag slib) en 2016 (hoog slib) te vergelijken is het effect van slib onderzocht (zie ook tabel 3.1 en 3.2).



Figuur 3.2. Berekende relatieve retentie, berekend op basis van nutriënten in- en uitstroom.

3.3. **Fytoplankton**

Onder fytoplankton verstaan we plankton (in de waterkolom zwevende organismen) dat middels fotosynthese in de eigen energiebehoefte voorziet. Dit zijn zowel algen als bacteriën (denk dan bijvoorbeeld aan blauwalgen). In het kader van deze rapportage behandelen we fytoplankton bij modellering van algen gescheiden van zogenaamd epi/perifyton en fyto benthos, dat zich hecht aan bijvoorbeeld waterplanten en stenen of op het sediment groeit. In Ecopath zijn fyto benthos en perifyton niet expliciet meegenomen. Impliciet zijn de epifyten wel meegenomen via de productie van waterplanten. In troebele meren zoals het IJssel- en Markermeer is fytoplankton de belangrijkste primaire bron van productiviteit en daarmee organisch materiaal aan de basis van een voedselweb. Door de korte levensduur en snelle reproductie van deze organismen en de daarmee continue aanwas van organisch materiaal ligt de productiviteit (biomassa geproduceerd per tijdseenheid, niet te verwarren met staande biomassa) hoger dan bij macrofyten (waterplanten). Daarom spelen in meren deze algen en bacteriën een hoofdrol in de fixatie van koolstof en nutriënten, de transfer van deze elementen naar de hogere trofische niveaus en het begraven (in het sediment) ervan.

De draagkracht van een ecosysteem voor 'hogere' organismen zoals vogels en vissen wordt daarom sterk bepaald door de productiviteit van fotosynthetiserende algen en bacteriën in deze systemen. De productiviteit van deze primaire producenten is weer sterk afhankelijk van een aantal abiotische factoren, zoals nutriënten (fosfor (P) en stikstof (N), maar bijvoorbeeld ook silicium (Si)), beschikbaarheid van zonlicht en watertemperatuur. Vaak is één van deze factoren limiterend, wat betekent dat veranderingen in deze factor een sterke respons in de productiviteit van deze organismen opleveren. Daarnaast is er een sterke seizoen gedreven variatie in productiviteit en soortensamenstelling van de fytoplanktongemeenschap. Deze soortensamenstelling is ook van belang, omdat niet elke soort even makkelijk verteerbaar is (en dus evenveel energie en nutriënten oplevert voor de consument) en omdat niet elke soort even groot is: voor kleine exemplaren van grazers (dierlijk plankton, zoöplankton, zoals watervlooien (Cladocera), roeikreeftjes (Copepoda) en raderdieren (Rotifera) en andere filteraars zoals driehoeksmosselen) zijn sommige algen en bacteriën bijvoorbeeld simpelweg te groot om te behappen. In het Markermeer speelt tevens dat algen zich aan elkaar binden in vlokken. Wat de betekenis hiervan is voor de primaire productie en voedselkwaliteit is onduidelijk.

Een gebrek aan data

Hoewel fotosynthetiserende algen en bacteriën een sleutelrol spelen in het voedselweb van het Markermeer, is er helaas weinig bekend over de productiviteit en soortensamenstelling in de afgelopen decennia. Beide variabelen zijn niet structureel gemonitord. Concentraties van chlorofyl (bladgroen) zijn wel gemeten, maar deze reflecteren doorgaans een momentopname van staande biomassa, niet de productiviteit per tijdseenheid. Wel is er in 2017 een vaartocht geweest om middels Fast Repetition Rate Fluorometry (FRFF) en flowcytometrie productiviteit en samenstelling van het fytoplankton te meten. Een eerste vergelijking is uitgewerkt in het eindrapport (van Burik 2022).

Daarnaast ligt er in de nabijheid van de Marker Wadden sinds kort een permanente meetboei die dezelfde soort gegevens meet. De verwachting is dat wanneer de data

van de meetboei en van de vaartochten volledig opgewerkt zijn, deze van nut kunnen zijn in het valideren van de uitkomsten en aannames (parametrisatie) van het Ecopath model. Daarnaast kunnen lange termijn gegevensreeksen gegenereerd door de meetboei in de toekomst belangrijk fundamenteel onderzoek naar het voedselweb van het Markermeer en de draagkracht ervan voeden.

Wat weten we wel?

In het kader van onderzoeken in het verleden is er wel het één en ander bekend over productiviteit en soortensamenstelling van fytoplankton in het Markermeer, ook al is dit niet structureel gemonitord. In de publicatie "Ecosysteem, IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling" van Noordhuis (2010) deze kennis samen.

Tussen 1987 en 2008 nam de chlorofylconcentratie in de zomer in het Markermeer niet af. Uitgaande van gelijkblijvende randvoorwaarden (zoals bijvoorbeeld vraat of snelheid van bezinken) suggereert dit dat de productiviteit door fytoplankton in de zomer constant bleef over deze periode. De winterconcentraties van chlorofyl waren in de periode 1997-2008 hoger dan ervoor (1987-1996). Het is niet duidelijk of dit komt door veranderingen in slibconcentraties in de waterkolom (lichtinval), de afname in mosselpopulaties, hogere temperaturen of een combinatie van deze factoren.

Een heel belangrijke verandering in samenstelling is de verschuiving van een dominantie van wat grotere fytoplanktonsoorten (groter dan 20 micrometer in doorsnede) naar klein fytoplankton (kleiner dan 10 micrometer in doorsnede) tussen 1992 en 2006, waarbij de afgenomen grote algensoorten (*Coelastrum*, *Pediastrum* en *Scenedesmus*) erom bekend staan voorkeur te geven aan wat eutrofe (nutriëntenrijke) omstandigheden.

Voorlopige conclusies

Er is een aantal hypothesen opgesteld rondom fytoplankton. Een overzicht van de aannemelijke conclusies:

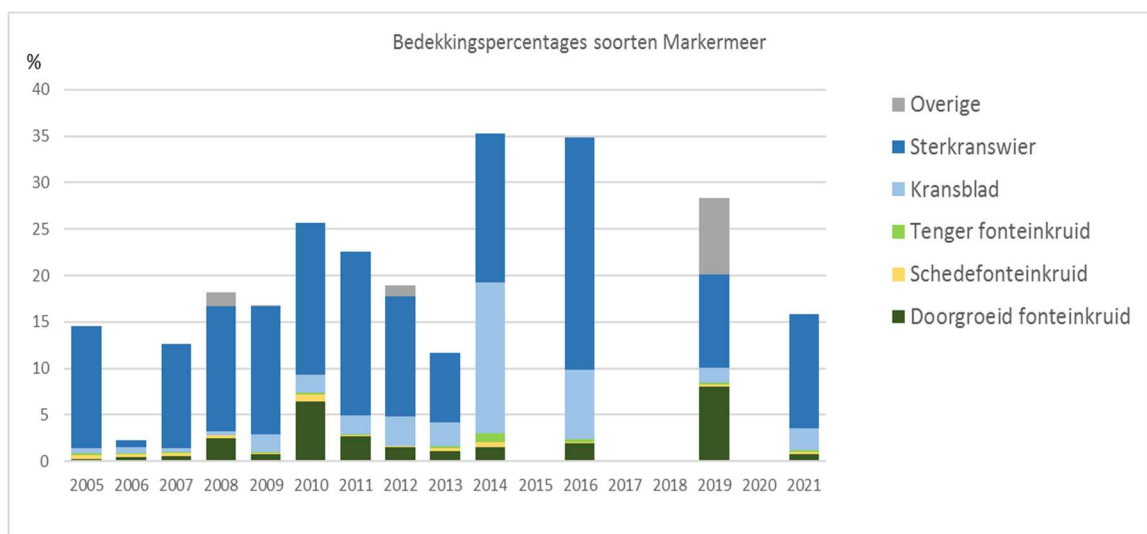
Nutriënten –met name P- zijn de belangrijkste limiterende factor voor productiviteit van fytoplankton, waar deze voorheen meer gelimiteerd werd door lichtbeschikbaarheid. Dit blijkt uit de algen productiviteitsmoderering maar ook uit bio-essay experimenten (Brinkmann et al. 2019). Uit dit onderzoek bleek ook dat er vorming van vlokken optreedt tussen algen met daarin de aanwezigheid van enzymen die fosfaat vrij kunnen maken.

De veranderingen in nutriënten (hoeveelheid en verhouding tussen N, P en Si) hebben geleid tot een verandering in soortensamenstelling van fytoplankton, namelijk naar kleinere soorten, minder kiezelalgen en relatief meer (kleine soorten) blauwalgen, en naar algen die zich in vlokken bevinden en gebruik maken van enzymen die fosfaat vrijmaken (Brinkmann et al. 2019; van der Geest et al. 2018). De voedingswaarde van de huidige fytoplanktongemeenschap is lager dan die van de gemeenschap in de jaren 80 van de vorige eeuw (Brinkmann et al. 2019).

Niet in de waterkolom zwevende (pelagische) algen en bacteriën –ook wel fytobenthos of bodemalgen genoemd- hebben een marginale rol in de productiviteit van het systeem Markermeer. Dit is niet onderzocht maar wel aannemelijk, omdat voldoende licht op de bodem een voorwaarde is. Het grootste deel van het Markermeer is te troebel en te diep voor goede ontwikkeling van bodemalgen.

3.4. **Waterplanten**

De watervegetatie wordt jaarlijks op een klein aantal punten bemonsterd voor de toestandsbeoordeling van de Kaderrichtlijn Water. Eens per drie jaar vindt er een uitgebreide kartering plaats die gebiedsdekkend is voor plaatsen waar waterplanten kunnen groeien. De bedekking van ondergedoken waterplanten is sterk toegenomen in het Markermeer (figuur 3.3). Het licht dringt dieper door (minder slib en minder algen) in het westelijke deel van het meer, waardoor waterplanten zich kunnen ontwikkelen. Fonteinkruiden en kranswieren zijn de belangrijkste soortgroepen (figuur 3.3). De toestand voor ondergedoken waterplanten is, volgens de KRW-systematiek, bijna goed, vooral vanwege de goede soortensamenstelling. De abundantie is vergeleken met een natuurlijk meer laag (Vonk et al. 2019).



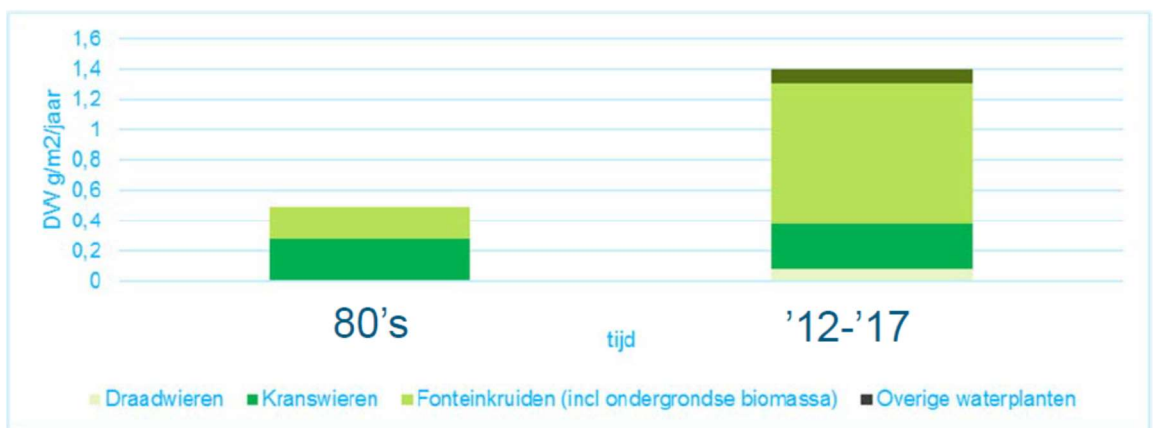
Figuur 3.3. Het gemiddelde bedekkingspercentage van begroeibare plaatsen voor verschillende soorten ondergedoken waterplanten in het Markermeer.

De andere groeivormen (emers, drijfbladplanten en oeverplanten) zijn slecht ontwikkeld ten opzichte van een natuurlijk meer (zie tabel 3.5). Dit heeft grote consequenties voor andere organismen, zoals vissen en vogels, doordat sommige hiervan een leefgebied missen om hun levenscyclus te kunnen voltooien (Emmerik en Quack, 2021).

Tabel 3.5. Voorbeeld van EKR (Ecologische Kwaliteitsratio) berekening in het kader van de KRW beoordeling Markermeer 2016 met de verschillende onderdelen van de maatlat water- en oeverplanten en verschillende deelgebieden. Onder abundantie staat de score van 0 tot 1, gewogen gemiddelde van de verschillende groeivormen. Een waarde van 1 staat voor de abundantie die aanwezig is in een maximaal goede toestand... De totaal score (ook van 0 tot 1) is het gemiddelde van de abundantie en soorten waterplanten. Het doel is vastgesteld op 0,6 voor de totaal score.

code meetpunt	Abundantie	Submers	Drijvend	Emers	Oever	soorten	totaalscore
Totaal	0,37					0,73	0,55
MARKERMEER_IJmeer	0,48	0,87	0,22	0,01	0,06	0,86	0,67
MARKERMEER_Hoorn	0,23	0,46	0,00	0,00	0,00	0,44	0,33
MARKERMEER_Gouwzee	0,43	0,83	0,00	0,00	0,05	0,77	0,60
MARKERMEER_Enkhuizen	0,33	0,65	0,00	0,00	0,00	0,83	0,58

Als input voor Ecopath is de ondergedoken (submerse) waterplanten bedekking van de jaren 80 en 2012-2017 gebruikt (figuur 3.4). De bedekking is omgerekend naar biomassa. De andere groeivormen zijn niet in het model opgenomen, omdat ze niet of nauwelijks wat betekenen.



Figuur 3.4 Biomassa's van verschillende groepen waterplanten voor twee perioden in het Markermeer (in gram drooggewicht per m² per jaar) (ingevoerd in Ecopath).

3.5. Zoöplankton

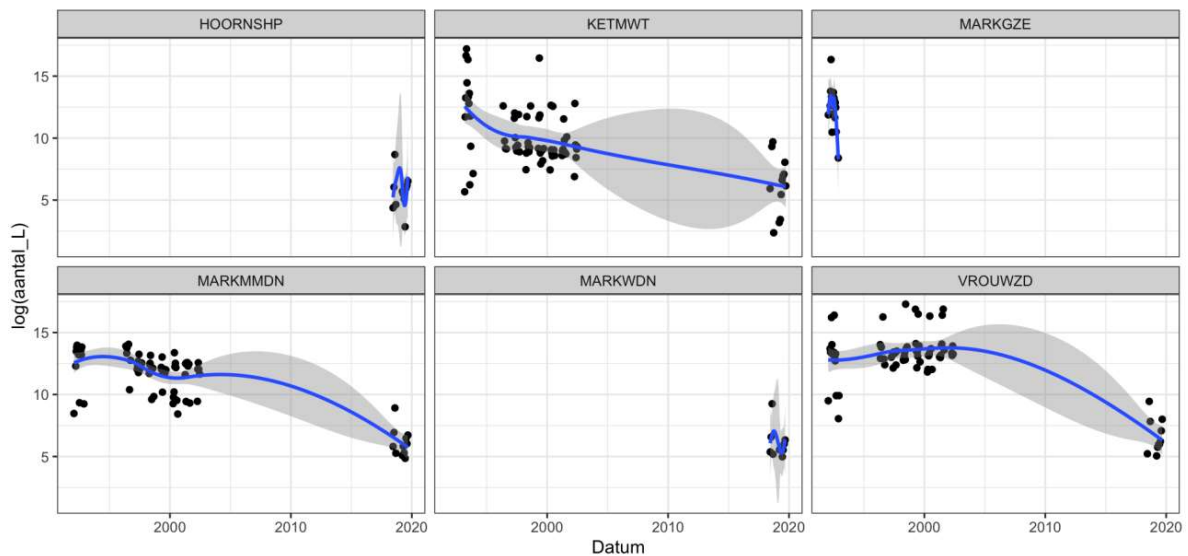
De hoeveelheid zoöplankton is in het heden behoorlijk afgenomen in het Markermeer ten opzichte van de jaren negentig. Ook de soortensamenstelling lijkt veranderd. Helaas is in de twee gedefinieerde referentieperioden (jaren 80 en huidig/2016) geen zoöplankton bemonsterd. Voor de jaren 80 maken we daarom gebruik van de zoöplanktongegevens verzameld in 1993 en 1994, ervan uitgaande dat deze gegevens representatief zijn voor de jaren 80 (Lammens 1999). Sinds 2019 is er weer een monitoring van zoöplankton opgestart in het Markermeer (en IJsselmeer) (de Beauvesère-Storm 2021); van deze gegevens gaan we uit voor de 'huidige' periode.

In het IJsselmeergebied verdelen we het zoöplankton onder in drie hoofdgroepen: cladoceren, copepoden en rotatoren. Cladoceren zijn onder meer watervlooien (*Daphnia*), die een lengte van 2 mm kunnen bereiken. Veel kleiner zijn de rotatoren (raderdieren) die slechts een lengte van rond de 0,1 mm hebben. Voor dit zoöplankton is fytoplankton de belangrijkste voedselbron. Cladoceren en copepoden zijn op hun beurt weer belangrijke voedselbronnen voor verschillende soorten jonge vis.

Voor de dataset van Lammens (1999) zijn niet alleen biomassagegevens van het Markermeer, maar ook van het IJsselmeer verzameld. Opvallend is dat de biomassa en lengte van het zoöplankton in het Markermeer lager is dan in het IJsselmeer. In het Markermeer zijn cladoceren de belangrijkste groep met o.a. *Bosmina longirostris*, *Bosmina coregoni* en *Chydorus sphaericus*, waarvan de *Bosmina* soorten ongeveer de helft van de zoöplanktonbiomassa vertegenwoordigen. De verschillende soorten *Daphnia* dragen 10% bij aan de totale biomassa van zoöplankton.

De andere helft van de zoöplanktonbiomassa bestaat uit copepoden en rotatoren. In deze studie kwam ook naar voren dat de hoogste concentraties zoöplankton correleren met locaties waar de hoogste fytoplanktonconcentraties zijn gemeten. De biomassa van fytoplankton lijkt dus een direct effect te hebben op de biomassa van het zoöplankton (Lammens 1999).

De eerste resultaten van de analyse van zoöplankton in de huidige periode (van der Geest pers. med.) laat zien dat de aantallen behoorlijk zijn afgenomen en dat ook het aantal soorten is gedaald (figuur 3.5).



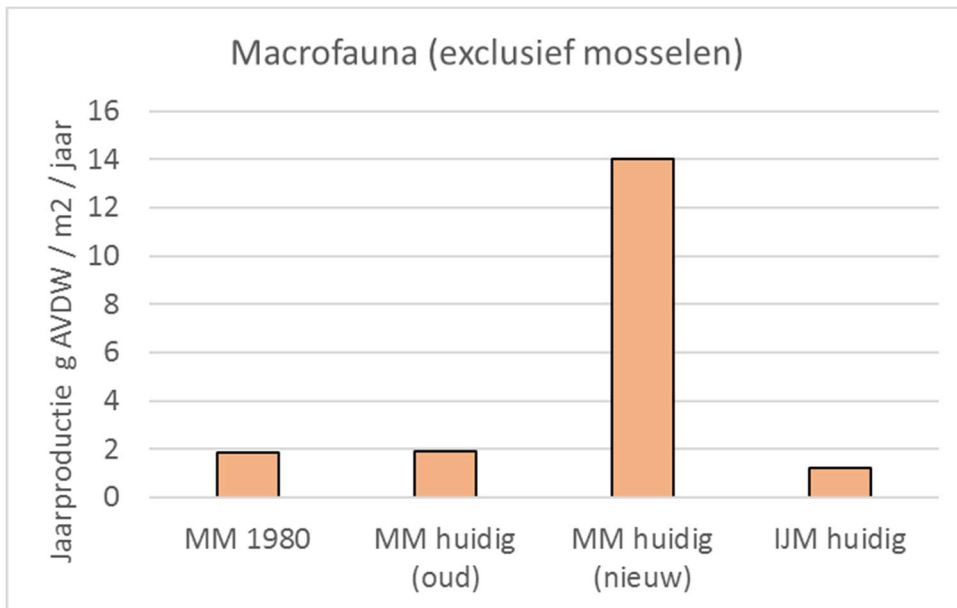
Figuur 3.5 Totale aantallen zoöplankton voor alle samplingdagen, per locatie.

(Markermeer: HOORNSHP=Hoornsche hop, KETMWT=Ketelmeer west, MARKGZE=Markermeer Gouwzee, MARKMMDN= Markermeer midden, MARKWDN= Markerwadden; IJsselmeer: VROUWZD=Vrouwenzand)

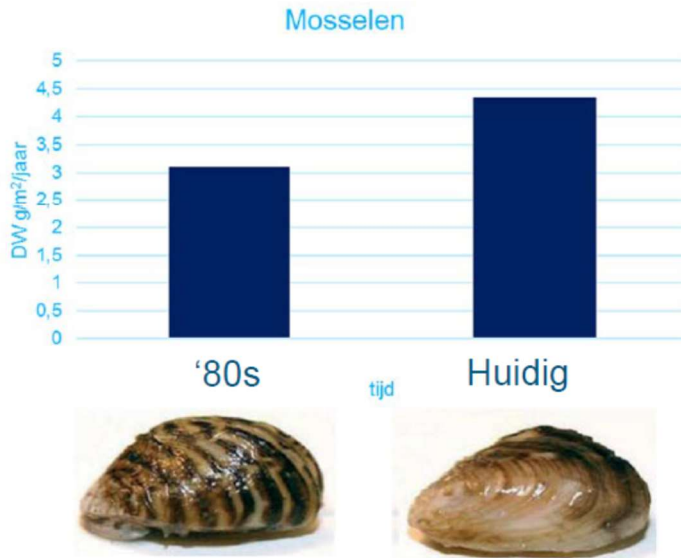
Voor de modelberekeningen is het zoöplankton opgedeeld in verschillende functionele groepen, gebaseerd op hun voedingsgedrag, namelijk: knippers, grazers/raspers, actieve filteraars, passieve filteraars, detrituseters, bladboorders/mijners, houteters, predatoren, parasieten en alleseters/overig. Het lijkt erop dat vissen die afhankelijk zijn van zoöplankton (in juveniele fase of tijdens hun gehele leven) het moeilijk hebben in het huidige Markermeer. In het Ecopath model was het nodig om met productieparameters en dieetkeuze te schuiven om ervoor te zorgen dat de huidige jonge vis er wel kan zijn. Dit is een sterke aanwijzing dat er voedseltekort op kan treden bij deze jonge vis.

3.6. Macrofauna

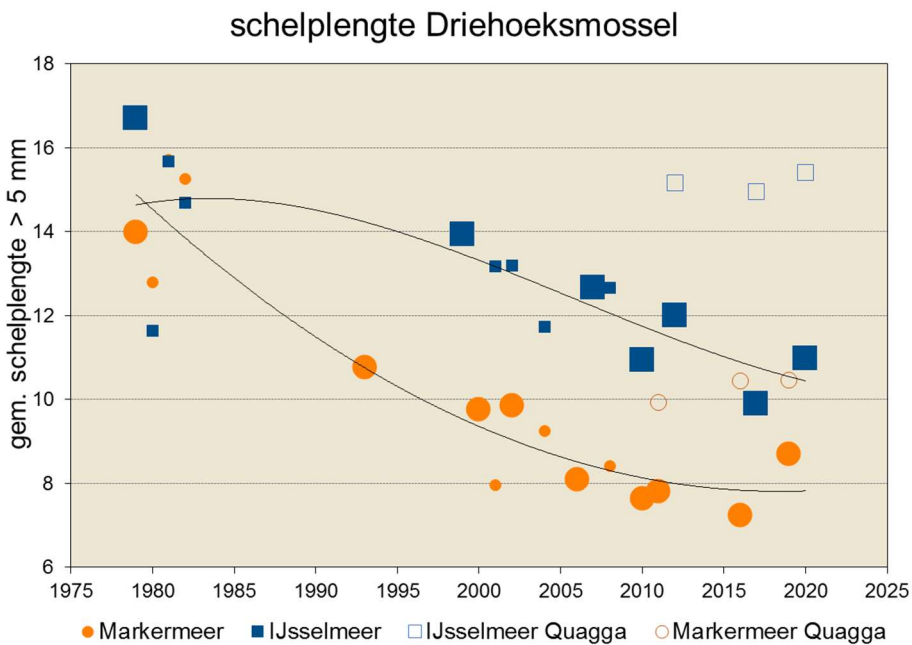
De macrofauna is opgesplitst in mosselen van het geslacht *Dreissena* en overige macrofauna, zoals andere kleinere schelpdieren (tweekleppigen en gastropoden), wormen en muggenlarven. De overige macrofauna is sterk toegenomen qua biomassa vergeleken met de jaren tachtig (figuur 3.6). De meeste recente meting is van een enkel jaar (van Riel et al. 2017) en is additioneel en met een hogere ruimtelijke resolutie uitgevoerd dan gebruikelijk in het MWTL-programma. We weten niet welke rol het verschil in methodiek bijdraagt aan de geobserveerde verschillen. Voor de mosselen –belangrijk stapelvoedsel voor een aantal vogelsoorten– blijkt de geschatte totale biomassa met ongeveer 30% is toegenomen in het heden (figuur 3.7). Eind jaren 80 was de driehoeksmossel de dominante soort, in de huidige periode is dat de quaggamossel. Over de gehele periode is de schelplengte die een maat is voor de oogstbaarheid en voedselwaarde afgenomen in Markermeer (figuur 3.8). Het is nog onduidelijk welke rol de verminderde voedselkwaliteit van fytoplankton hierbij ook een rol speelt.



Figuur 3.6 De biomassa schattingen van macrofauna, zoals wormen en muggenlarven (zonder mosselen) in het Markermeer verleden en heden met voor het Markermeer een nieuwe schatting (Verdonschot, unpubl.) en oude schatting (RoyalHaskoningDHV 2022).



Figuur 3.7 Vergelijking biomassa *Dreissena spp.* mosselen jaren tachtig en huidig voor het Markermeer. In het huidige Markermeer is de quaggamossel dominant.



Figuur 3.8 De gemiddelde schelpplengte van *Dreissena* mosselen (driehoeksmosselen en quaggamosselen) in het Markermeer en IJsselmeer in de tijd (data Noordhuis pers. med.; data afkomstig uit RWS monitoring). De grootte van punten geeft de intensiteit van de bemonsteringen aan. Mosseltjes kleiner dan 6mm zijn niet meegenomen, om verstoring door al of geen broedval te voorkomen.

3.7. Analyse voedselweb

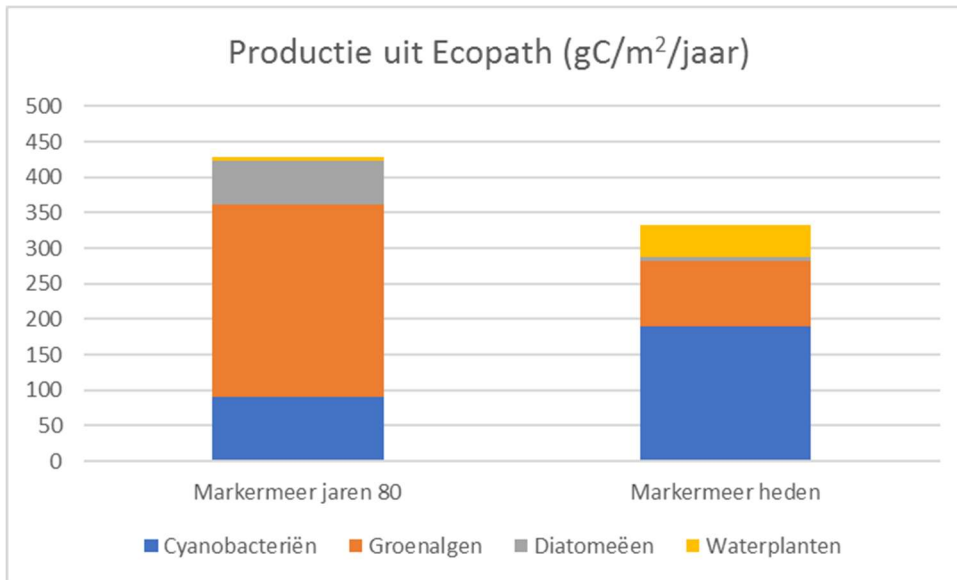
In het Ecopath model worden relatieve groeisnelheden gemiddeld over alle meetmomenten en omgerekend naar een *jaarlijkse relatieve groeisnelheid* (gerealiseerde biomassa per jaar in gram drooggewicht per eenheid aanwezige biomassa). De modelberekening geeft een *absolute groeisnelheid* voor het totale Markermeer, zie ook tabel 3.3. Omgerekend geeft dit een gemodelleerde zomergemiddelde relatieve groeisnelheid van: 84 (1981); 101 (2006); 101 (2016) gC/gC/jaar (zie ook tabel 3.3), terwijl de absolute primaire productie juist afneemt van 1,93 gC/m²/dag in 1981 naar 0,75 gC/m²/dag in 2016.

De gemodelleerde waarden liggen goed rondom de (omgerekende) meetwaardes. Een aandachtspunt is dat absolute en relatieve productie twee erg verschillende dingen zijn en dat deze ook tegenovergestelde patronen kunnen laten zien. In deze rapportage ligt de nadruk op de absolute productie, omdat deze productie de draagkracht van het ecosysteem bepaalt.

Andere factoren (bv. zwavelbacteriën) en de vorming van gelachtige vlokken met daarin algen en bacteriën zijn in deze studie niet meegenomen. Mogelijk beïnvloeden deze factoren de primaire productie ook en ontstaat hier een productiecycclus die niet meegenomen is. Het kan echter ook zijn, dat deze factoren slechts (of deels) het *gevolg* zijn van de verschillen in primaire productie, zonder dat ze er veel invloed op hebben. Een vergelijking van de gemodelleerde met de gemeten primaire productie kan hier inzicht in geven. In magen van bodemfauna-etende vissen zijn geen resten gevonden van zwavelbacteriën. Tevens zijn er sterke aanwijzingen dat zwavelbacteriën giftig zijn voor organismen hoger in de voedselketen en daarom niet of minder gegeten worden (Kandylis 1984, Oortwijn et al. 2022).

De geschatte potentiële productie van fytoplankton is achteruitgegaan met bijna een factor drie. Het slib in het Markermeer speelt daarin niet of nauwelijks een rol volgens de gemodelleerde productie-schattingen. De productie van waterplanten -en de daarmee samenhangende fyto-benthos/epifyten- is toegenomen. Het areaal waarop waterplanten voorkomen, is relatief klein ten opzichte van het areaal open water. Dit is mede het gevolg van de compartimentering en bedijking, waardoor de ondiepere delen in de omgeving, zoals de Randmeren of de Wieden en Weerribben, geen onderdeel meer vormen van het Markermeer-systeem.

De toename van de productie door waterplanten kan de geschatte afname van de productie door fytoplankton (ruim factor 2) niet compenseren (figuur 3.10). De geschatte (potentiële) totale primaire productie van het Markermeer is met ruim een factor twee gedaald. In Ecopath zijn niet de gemodelleerde biomassa's van Troost (2020) als invoer gebruikt maar de schatting van de biomassa op basis van chlorofyl-a. Als deze geschatte biomassa's gebruikt worden in combinatie met de gemodelleerde productie dan is de afname van algenproductie ca. 50 % (figuur 3.9).

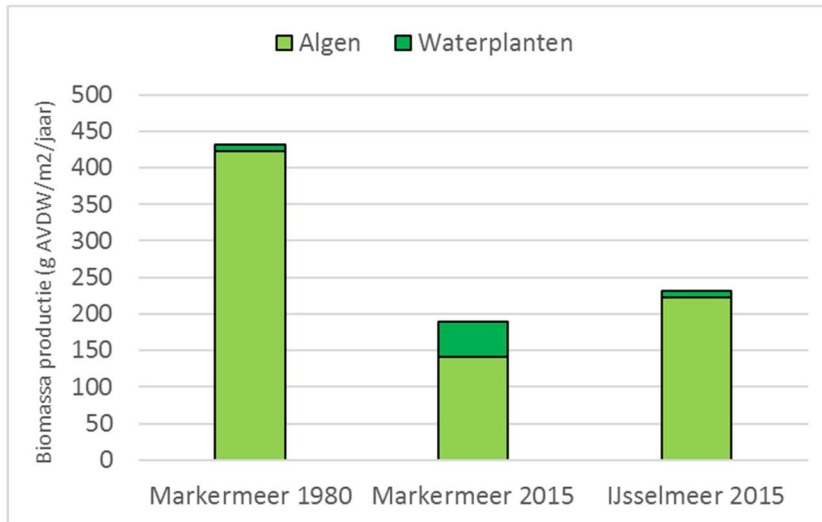


Figuur 3.9. De gemodelleerde relatieve productie gecombineerd met geschatte biomassa van verschillende algengroepen en waterplanten met Ecopath voor het Markermeer heden en jaren 80.

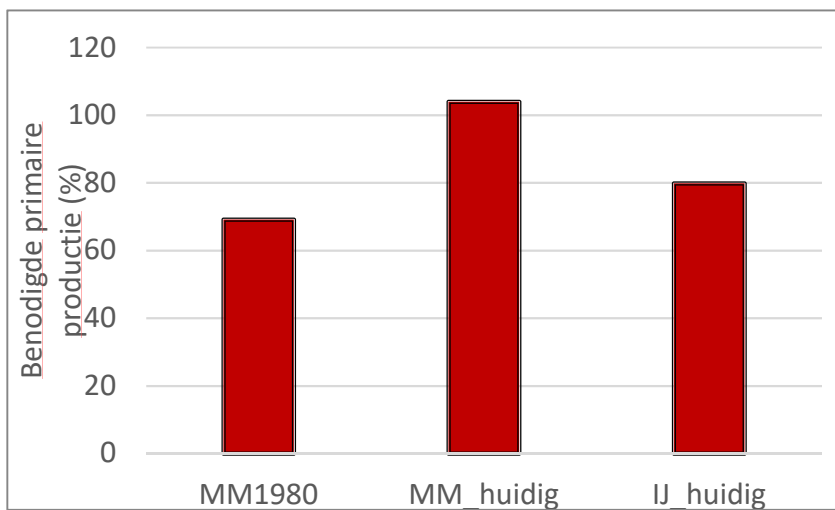
Oeverplanten/moerassen spelen in de huidige primaire productie van het meren in het IJsselmeergebied een kleine rol. Dit is een groot verschil met referentie-meren waar moerassen en oeverplanten direct of indirect (via in het water terechtkomende detritus na afsterven) aan de productie bijdragen (zie ook paragraaf 3.8).

Het instromen van organisch materiaal is ook niet meegenomen in de modellering. Organisch koolstof kan een alternatieve voedselbron zijn voor bijvoorbeeld mosselen. Doordat de concentratie organisch koolstof daalt in het Markermeer en de aanvoer van het water (Noordhuis 2022), kan er ook op deze manier minder voedsel beschikbaar zijn dan in het verleden. Daarnaast kan de komst van een andere mosselsoort, kleinere individuen per mossel, al dan niet in combinatie met een lagere voedselkwaliteit, een lagere draagkracht betekenen voor benthosetende vogels.

Omdat de totale productie en de totale behoefte van consumenten kwantitatief gemaakt zijn, kan een vergelijking worden gemaakt van de efficiëntie van het ecosysteem. Ecopath berekent dat alle productie nodig is om de consumenten in stand te houden voor het Markermeer van nu (figuur 3.11). Voor het Markermeer van de jaren tachtig en ook in het huidige IJsselmeer is 70 tot 90% van de productie nodig om de consumenten in stand te houden. Voor andere meren waar Ecopath is toegepast ligt dit percentage rond de 60%. Dat betekent dat het Markermeer een 'efficiënt' ecosysteem is. Het betekent ook dat bepaalde groepen consumenten in het Markermeer van 'huidig', zoals vissen (vooral zoöplanktivoor) en viseters –inclusief vogels– te weinig voedsel kunnen hebben.



Figuur 3.10 Geproduceerde jaarlijkse biomassa van algen en waterplanten voor het Markermeer (verleden en heden) en IJsselmeer (heden), gebaseerd op de gemodelleerde biomassa en producties volgens Troost (2020).

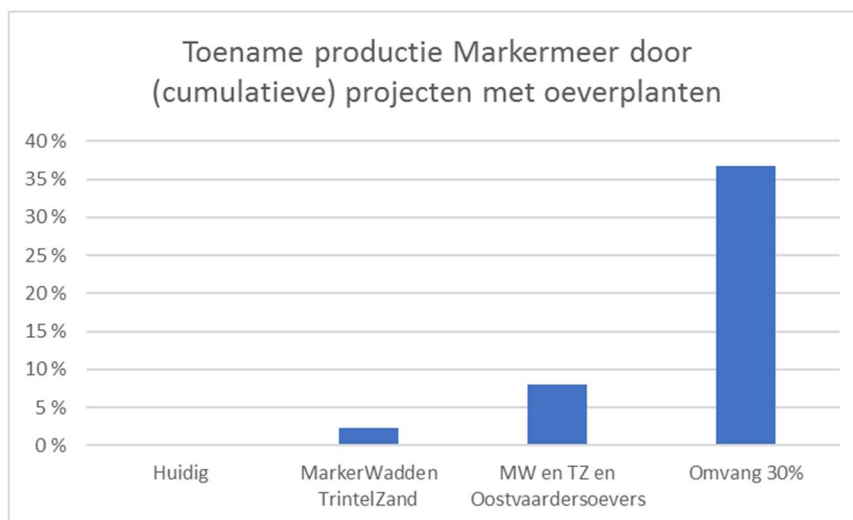


Figuur 3.11 Het percentage van de productie dat nodig is om alle consumenten te voeden voor het Markermeer (heden en verleden) en het IJsselmeer.

3.8. Effecten van oeverplanten op de primaire productie

Om de primaire productie in het huidige model te schatten is alleen rekening gehouden met algen en ondergedoken waterplanten. In de 'huidige'

omstandigheden (voorafgaand aan de aanleg van projecten als Trintelzand en Markerwadden) was de bedekking van oeverplanten <0,1%. Betreffende projecten hebben echter inmiddels het nodige toegevoegd en het is te voorzien dat dit in de toekomst nog meer zal worden. Daarom is in een aanvullende studie gekeken wat de invloed is van oeverplanten op de productie van het hele Markermeer (Lensink 2022). Hieronder volgt een samenvatting en een aanvulling op Lensink (2022):



Figuur 3.12 De productie als percentage (toename) van de productie zonder oeverplanten (MM huidig) voor verschillende uitgevoerde en geplande projecten met ook een uiterste omvang, de percentages geschikt voor oeverplanten bedragen resp. 0,1%, 1,2%, 3,3% en 30%.

Het blijkt dat de productie van het Markemeer toeneemt door de aanleg van projecten met areaal geschikt voor oeverplanten (figuur 3.12). De toename is groter dan de toename van de bedekking van oeverplanten zelf. Als fictief scenario is 30% oeverplanten doorgerekend (scenario 30%), wat overeenkomt met sommige meren in Europa met een natuurlijk waterpeil. De toename van de primaire productie in dit 30% scenario vindt plaats door oeverplanten en reikt tot circa ruim 35% verhoging. Alleen het 30% scenario kan het verlies van de algenproductie in de periode tussen de jaren tachtig en 2015 voor een deel compenseren (afname van >50%, figuur 3.10). Daar komt dan nog bij dat primaire productie in de vorm van oevervegetatie voor het overgrote deel niet ter beschikking zal komen voor het aquatische voedselweb. Een eerste toepassing van Ecopath modellering met een langere tijdserie laat wel zien dat bij 30% oeverplanten en dan na 50 jaar er toch een sterk positieve doorwerking plaatsvindt via de detritusketen naar bijvoorbeeld visbiomassa. Dit ligt in de lijn van de verwachting en verdient een nadere analyse die nog niet is uitgevoerd.

Van de oeverplanten is aangenomen dat ze geen nutriëntenbeperking hebben, maar dat ze wel een negatieve invloed hebben op de productie van andere groepen. Op plekken waar oeverplanten staan, zal soms geen water staan (dus treedt daar dan geen algenproductie op) of komen geen waterplanten tot ontwikkeling. Aangenomen is dat de afname van het algen- en waterplantenareaal de helft bedraagt van wat de oeverplanten toenemen. Op de helft van het oeverplantenareaal zal dus volledige

productie van algen en waterplanten plaatsvinden. Deze aanname is later doorgerekend dan de productieveranderingen gepresenteerd in Lensink (2022) en de toegenomen productieschattingen vallen daarom lager uit. Daarnaast is het model Ecopath niet ruimtelijk toegepast. Dat betekent dat geen rekening gehouden kan worden met ruimtelijke processen en aangenomen is dat het dode oeverplantmateriaal volledig beschikbaar komt via detritus voor de aquatische voedselketen. In werkelijkheid zal dit niet plaatsvinden. De aanname dat al het detritus beschikbaar komt, is dus een positief scenario voor de bijdrage aan de productie.

4 Vergelijking met het IJsselmeer

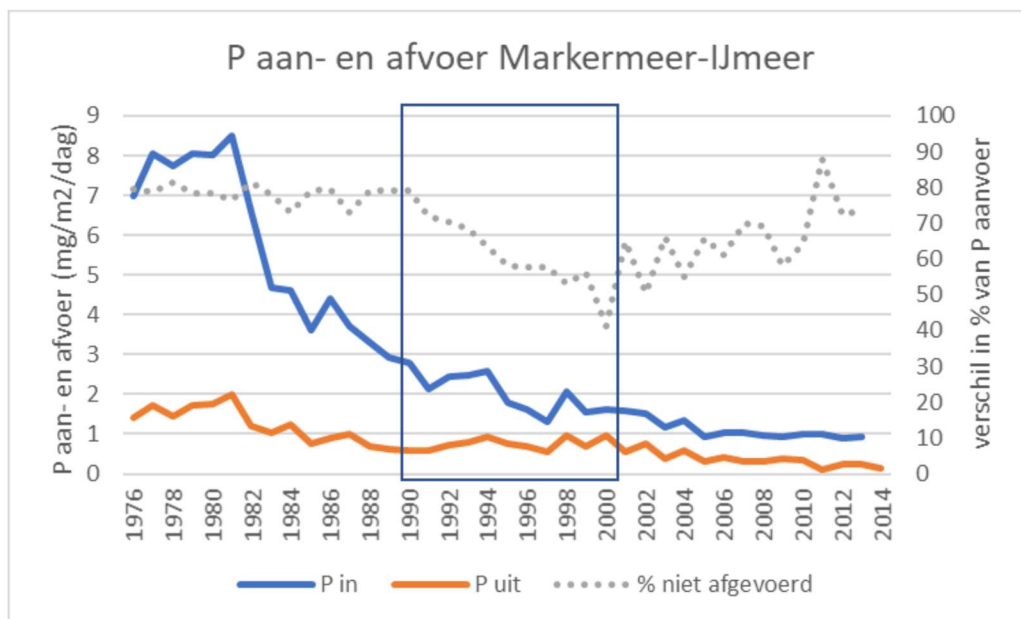
Voor het IJsselmeer is ook een volwaardig Ecopath model opgesteld. Het idee is dat we van verschillen en overeenkomsten uit de hierdoor mogelijk geworden vergelijking kunnen leren over zowel het Marker- als IJsselmeer. De belangrijkste producenten zijn de algen. De berekende (potentiële) primaire productie in 1981 is in IJsselmeer en Markermeer ongeveer even groot ($\sim 1.8\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$). In beide systemen is deze lager in de jaren 2006 en 2016, maar voor het Markermeer is de afname t.o.v. 1981 veel groter dan voor het IJsselmeer. Hierdoor laat het Markermeer in zowel 2006 als 2016 een duidelijk lagere berekende productie zien ($0.75\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$) dan het IJsselmeer ($1.4\text{gC}/\text{m}^2/\text{d}$) (Troost, 2020). De potentiële algenproductie in het Markermeer is sterk afgenomen, en dit is niet –of veel minder– het geval in het IJsselmeer.

Minder licht door het slib in het Markermeer blijkt geen afdoende verklaring te geven. Het IJsselmeer is minder sterk gelimiteerd door P voor de primaire productie door de relatief grote aanvoer vanuit de IJssel en de kleinere verblijftijd van het water in het IJsselmeer. De primaire productie door waterplanten in het Markermeer is groter dan in het IJsselmeer. In het Markermeer is de primaire productie door waterplanten ongeveer een kwart van de totale (waterplanten + fytoplankton) primaire productie. In het IJsselmeer is de primaire productie door waterplanten minder dan een tiende van de totale primaire productie (figuur 3.10).

Uit de modelleringen komt naar voren dat het Markermeer als ecosysteem de aangeboden nutriënten en primaire productie efficiënt benut. De consumenten in het IJsselmeer leven minder op 'het randje' dan de consumenten in het Markermeer.

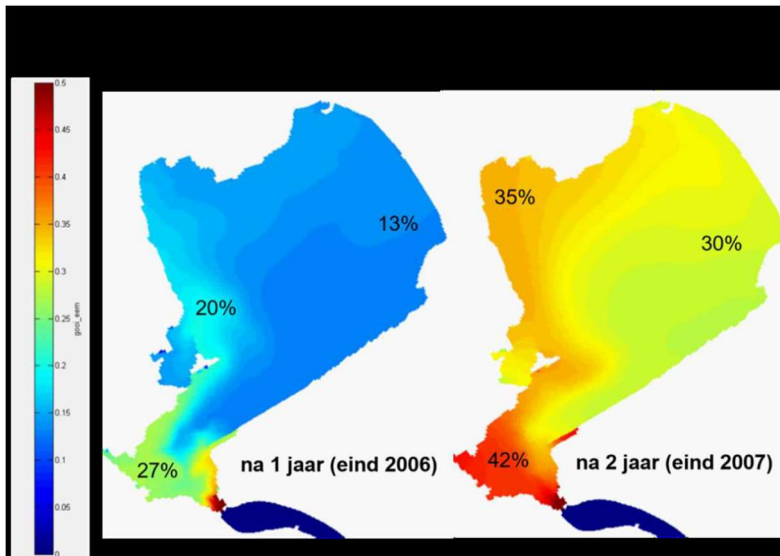
5 De fosforbalans van het Markermeer

Dit hoofdstuk is samengevat uit de rapportage van Noordhuis et al. (2022). Enkele jaren geleden is door de Universiteit van Amsterdam (UvA) een fosforbalans van het Markermeer opgesteld (van der Geest et al. 2018). Hieruit blijkt dat er ongeveer drie keer zoveel fosfor het Markermeer in komt dan eruit gaat (figuur 5.1). Toch worden in de waterkolom inmiddels zeer lage concentraties gemeten. Dit hoofdstuk gaat in op waar het fosfor terechtkomt. Daarvoor zijn de bronnen en routes van het aangevoerde water verkend met behulp van een stromingsmodel dat gevoed is door de balansgegevens van de UvA, waterkwaliteitsdata van Rijkswaterstaat en aangevuld met projectgegevens en weersgegevens van het KNMI.



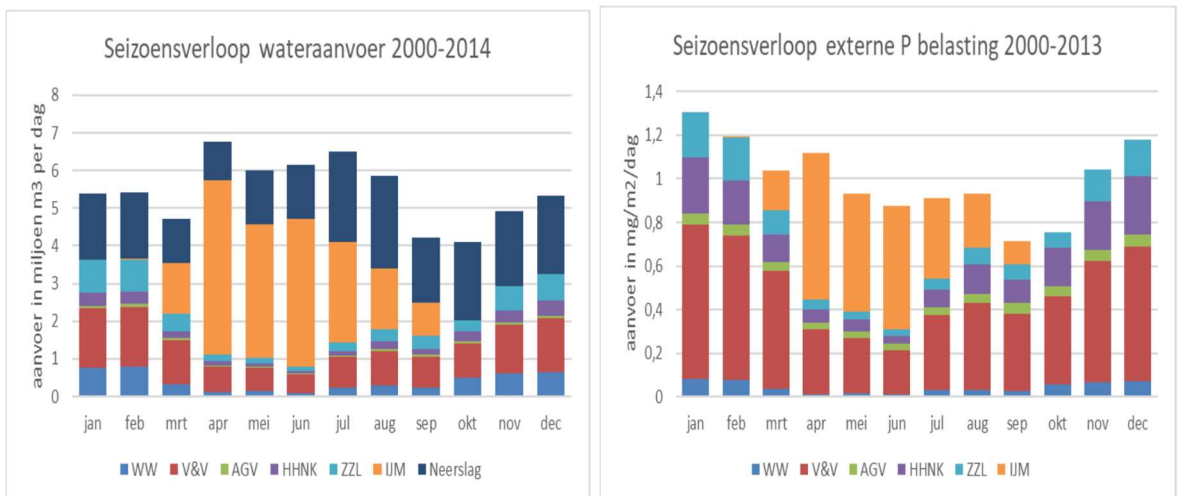
Figuur 5.1 De aan- en afvoer van P naar het watersysteem Markermeer met de stippellijn is het percentage P aangegeven dat in het systeem blijft. De rechthoek geeft de periode aan waarvoor de onttrekking van P is bepaald door diepe putten, zie ook figuur 5.4.

Bij de modellering is gebruik gemaakt van "tracers" om de verplaatsing van het water vanaf vier bronnen te bestuderen; de Eem, de Blocq van Kuffeler, de Houtribsluizen en de Krabbersgatsluizen. Het resultaat is een meer ruimtelijk gedifferentieerd beeld van de water- en stoffenbalans, waaruit onder andere blijkt dat het heel lang duurt voordat het water in het Markermeer goed gemengd is (figuur 5.2).



Figuur 5.2 Percentages 'Gooimeer water' in het Markermeer na 1 en na 2 jaar simulatie met weerjaren 2006 en 2007.

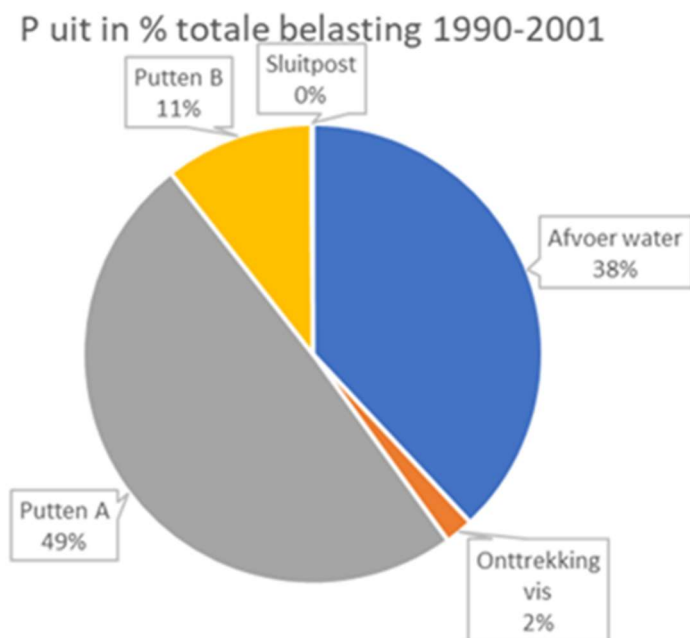
Verder blijkt dat het water in het Markermeer-IJmeer door het hele systeem beweegt, maar dat de verschillende bronnen niettemin domineren in verschillende delen van het systeem. Ook varieert de duur van het transport, waardoor verschillende processen (zoals opname van fosfor in biota) meer of minder belangrijk zijn in afhankelijkheid van waar in het gebied gekeken wordt. De waterbalans heeft een sterk seizoenspatroon, met een groot verschil tussen zomer en winter. In de winter vormen de Eem en Flevoland (via Blocq van Kuffeler) belangrijke aanvoerbronnen van water (figuur 5.3), terwijl de afvoer grotendeels via de Houtrib- en Krabbersgatsluizen naar het IJsselmeer plaatsvindt.



Figuur 5.3 Seizoenspatroon van water en P aanvoer uitgesplitst naar verschillende bronnen (WW=Wolderwijd, VenV=Vallei en Veluwe, AGV=Amstel Gooi en Vecht, HHNK=Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, ZZL=Zuiderzeeland, IJM=IJsselmeer)

De zuidelijke aanvoer vanuit de Eemvallei vindt vooral in de winter plaats. Richting het Markermeer komen water en fosfor onderweg diepe putten, waterplanten en hoge dichtheden van filterende mosselen tegen, waardoor het aannemelijk is dat een deel van P onttrokken is voordat het in het Markermeer aankomt. Voorbij de Hollandse Brug vindt door de verwijding van de watergang ook verdunning plaats en neemt de verblijftijd toe. De toegenomen verblijftijd zorgt ervoor dat interne processen, zoals bezinking van P gebonden aan deeltjes of algen, een grotere rol speelt. In de zomer komt het water uit het zuiden netto niet voorbij Marken en is de aanvoer van P nihil.

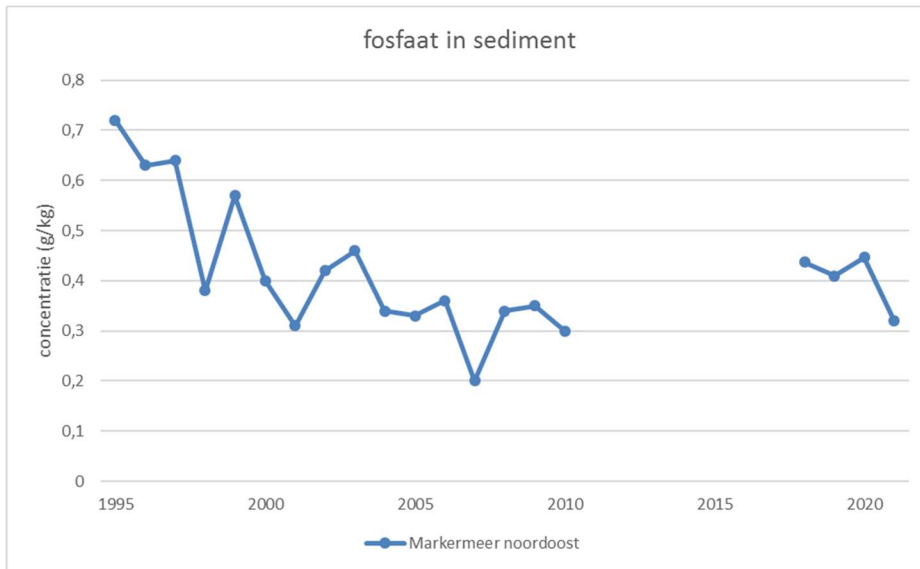
Berekeningen suggereren dat bij storm omvangrijke verplaatsingen van opgewerveld sediment plaatsvinden waarna vervolgens sedimentatie optreedt in de putten. Op basis van verschilkaarten in bodemhoogte en fosforconcentraties in sediment en zwevend stof blijft de helft of meer van de aanvoer van fosfor naar het Markermeer in de putten achter (figuur 5.4).



Figuur 5.4 De uit-posten van P van het Markermeer 1990-2000, zie ook box figuur 5.1 en Noordhuis et al. 2022. Putten A is het aandeel van de putten, waarbij de opvulsnelheid van de twee proefputten uit 1984 20 cm per jaar bedraagt. Putten B is wat er bij komt als die opvulsnelheid 50 cm per jaar is. Dat is de range die in het desbetreffende onderzoek werd aangegeven. Als het variant A is, dan is er dus een sluitpost ter grootte van aandeel B.

Sedimentatie vindt elders in het Markermeer ook plaats, bijvoorbeeld in delen van de geulen, recent in de putten en geulen rond Marker Wadden en in het verleden in twee proefputten midden in het Markermeer. Deze zijn veel kleiner dan de putten in het IJmeer en het Gooimeer, maar de sedimentatie verliep er veel sneller. Berekeningen op basis van de verschilkaarten in bodemhoogte suggereren dat opslag in al deze sedimentatiegebieden (samen ongeveer 5% van het totale areaal) het verschil tussen aanvoer en afvoer (fosforbalans studie van de UvA) grotendeels tot geheel verklaart. Andere mogelijke verliesposten die niet in de ruimtelijke balans zijn meegenomen zijn afvoer via vis door vissers en vogels (figuur 5.4), of toenemende opslag in biota zoals mosselen en planten. De afvoer via vis en vogels is geschat op orde grootte 2-3% van de totale aanvoer van fosfor naar het Markermeer. Ten opzichte van uitstroming en opslag in putten lijkt de rol van biota voor de balans verwaarloosbaar.

Na de periode na 2000 zijn meerdere putten en geulen gegraven voor onder andere de aanleg van Marker Wadden. Deze zijn gebruikt om slib te vangen, met als doel om dit met andere materialen te gebruiken voor de aanleg van de eilanden. Hierin sedimenteert 40 cm (slibgeul) tot 80 cm (putten) slib per jaar. In totaal wordt voor 2021 geschat dat ongeveer 200 kton slib per jaar is gevangen (T. van Kessel, de Rijk & Löffler, mond. Med.). Dat is veel ten opzichte van het totaal van 378-474 kton die in deze studie is berekend voor de periode 1990-2001. Mogelijk komt dat door de voorzichtige schatting van ophogingssnelheden die in deze studie voor enkele sedimentatiegebieden zijn gebruikt. Bij een concentratie van 0,4 g/kg P (verschil tussen concentraties binnen en buiten de slibgeul) zou 80 ton P per jaar worden opgeslagen. Dat is een derde of meer van de huidige totale aanvoer naar het Markermeer, waardoor er -met de aanname dat een belangrijk deel van de P-onttrekking berekend voor 1990-2001 nog steeds actueel is- een 'tekort' bestaat op de interne P balans. Dit kan mede verklaren dat het P gehalte in de toplaag van de waterbodem een negatieve trend laat zien (figuur 5.5; Pearson correlatie coëfficiënt -0,59 $P < 0,01$). Dit is een extra aanwijzing dat het fosfor P -dat normaal gesproken opgeslagen werd in het sediment in de jaren zeventig en tachtig- tegenwoordig netto verdwijnt in de diepe putten. Het P dat in de putten komt, is grotendeels niet meer beschikbaar voor producenten.



Figuur 5.5 Gehalte van P in het sediment voor locatie Markermeer noordoost.

6 Discussie

Het Markermeer is als gevolg van afsluitingen, dijken en inpolderingen een kunstmatig ecosysteem. Een belangrijk kenmerk van het huidige ecosysteem is dat door de ingrepen belangrijke leefgebieden soms deels of geheel zijn losgekoppeld van elkaar. Het Markermeer is nu relatief diep en homogeen. Het mist de verbinding met brak of stromend water (door de barrière met IJsselmeer/Waddenzee/IJsseldelta), ondiep water met waterplanten (zoals vroeger via de open verbinding met alle randmeren en delen van inpolderingen) en moeraszones of overstromingsvlaktes (voormalig gelegen in Noord-Holland). Door de isolatie van deze leefgebieden is het voedselweb minder divers en kwetsbaarder dan het zonder deze isolatie zou zijn. Zo nemen er minder soorten in deel en/of de relaties zijn minder sterk, zoals oever- en moerasplanten of soorten die daaraan gebonden of afhankelijk van zijn. Daardoor is het aannemelijk dat het voedselweb gevoeliger is voor veranderingen, al dan niet van menselijke oorsprong, zoals visserij, klimaatverandering en de verminderde belasting van nutriënten.

Belangrijke doelen voor Natura2000 soorten worden niet (meer) behaald en ook diverse doelen van de KRW (bv. vis) worden niet behaald. Anderzijds zijn er ook doelen (bv. KRW doelen voor nutriënten als P en voor algen) die dankzij maatregelen wel worden gehaald. De verwachting is dat het goede potentieel van de KRW voor andere elementen in de toekomst wel wordt behaald (Nationaal Waterprogramma 2022), hoewel daar zijn nog veel onzekerheden over zijn. Zo is voor het Markermeer de biomassa algen en de algensamenstelling volgens de maatlat, afhankelijk van het jaar van toetsing, net wel of net niet 'goed'. Gezien de geringe mate van fosfor in het water van het Markermeer is dit een tegenstrijdig signaal en eerder een teken dat de maatlat niet optimaal functioneert dan dat er te veel voedingsstoffen in het water zijn.

De fosforbelasting is sterk teruggebracht en dat geldt ook voor de concentraties in de waterlaag. De beschikbaarheid van fosfor (P) in de waterkolom is gedaald door toenemende binding tussen Fe en P, die sterker is dan de binding die het binnenstromende P heeft met andere elementen, waardoor P gebonden blijft in het sediment en niet beschikbaar komt als voedingsbron voor algen. De bodem is gestabiliseerd, mogelijk door afname van de brasemstand of lagere stormfrequentie in precies dezelfde periode, 2000-2005. Het is aannemelijk dat daarna de zwavelbacteriën de bodem verder gestabiliseerd hebben, maar data om dat te bevestigen ontbreken (Verdonschot et al. 2020).

Naast de reductie in de belasting en het chemisch vastleggen van P in de bodem is het aannemelijk dat de lage concentraties van P in het water mede veroorzaakt worden door de onttrekking van P dat gebonden is in slib of dode algen en in diepe putten terecht komt. Uit sedimentatiesnelheden en concentraties van P in recent bezinkend sediment is voor de periode 1990-2000 geschat dat ruim de helft van het aangevoerde P in diepe putten begraven wordt. Ook de nieuwe putten –zoals aangelegd voor de Marker Wadden- is de onttrekking aanzienlijk (orde 30% van het aangevoerde P). De afvoer van P via vogels en vissen is als verwaarloosbaar (<2%) ingeschat. Het is de verwachting dat de P-onttrekking ook leidt tot een lagere productie, juist omdat P zo sterk de algenproductie limiteert. Of dit ook daadwerkelijk zo is, is niet geheel zeker: er is geen simulatie gedaan met hogere P-concentraties voor algenproductie en het is onduidelijk hoe de processen zoals

binding aan ijzer en verlies in diepe putten zich tot elkaar verhouden. Ook is het mogelijk dat door zuurstofloosheid in de diepe putten de toplaag van de bodem zuurstofloos raakt, waardoor het aan ijzer gebonden fosfor weer vrij kan komen naar de waterlaag. De verwachting is dat dit laatste wel zal plaatsvinden, maar dat de kwantitatieve bijdrage klein is omdat de putten qua oppervlak klein zijn en zuurstofloosheid maar in een beperkt deel van de tijd op zal treden. Het is aannemelijk dat een fors deel van de P-belasting door bezinking in diepe putten geheel of grotendeels niet meer beschikbaar is voor de biologische productie. Verder zullen de putten op lange termijn (>25 jaar) steeds verder verondiepen en uiteindelijk een evenwicht bereiken waar de diepe put zo ondiep is geworden dat bodemmateriaal uit de voormalige diepe put weer opwervelt van de bodem.

De geschatte potentiële productie van primaire producenten in het Markermeer is achteruitgegaan met ruim een factor twee in de huidige situatie vergeleken met de jaren 80. De afname van belasting van het water met fosfor, activiteit van enzymen in algenvlokken die organisch fosfor kunnen omzetten in opneembare vorm en bio-assay experimenten bevestigen een sterke P-limitatie van het huidige fytoplankton (Brinkmann et al. 2019). Het slib in het Markermeer, dat voor minder beschikbaar licht zorgt, speelt geen of nauwelijks een rol volgens (en in) de meest recente productie-schattingen. Dat betekent dat het niet te verwachten is dat de productie hoger wordt als de helderheid van het water zou toenemen. Fosfor legt een sterke beperking op aan de productie, zo blijkt ook uit de algenmodellering (Troost 2020). In het IJsselmeer is de limitatie door P minder sterk (Troost 2020).

De productie van waterplanten -en de daarmee samenhangende epifyten- is toegenomen. Het areaal waarop waterplanten voorkomen, is relatief klein ten opzichte van het areaal open water. In het Markermeer zijn weinig ondieptes aanwezig of de verbinding daarmee is verbroken, zoals de Randmeren en diverse inpolderingen. De toename van de productie door waterplanten kan de geschatte afname van de productie fytoplankton niet compenseren. De waterplanten zorgen voor stabilisering en verrijking van het ecosysteem, doordat ze bodem vastleggen en schuilplaats of voedsel bieden aan zoöplankton en vele andere organismen. Waterplanten hebben ook geen of veel minder last van tekort aan P, omdat de bodem voldoende rijk is en waterplanten dat met hun wortels kunnen opnemen.

Oeverplanten/moerassen spelen in de huidige primaire productie van de meren in het IJsselmeergebied niet of nauwelijks een rol. Dit is een groot verschil met de meer natuurlijke referentie-meren waar moerassen en oeverplanten direct of indirect aan productie bijdragen. De gemaakte scenario's met projecten met oeverplanten leveren een beperkte toename aan de productie van het hele meer van ca. 8% als Marker Wadden, Trintelzand en Oostvaardersoevers aangelegd zijn of worden. Zelfs in een scenario van 30% oeverplanten in het Markermeer kan, ook met inbegrip van de (potentiële) impuls voor de detritusketen, de toename van oeverplanten de afname van fytoplanktonproductie echter niet compenseren.

De totale primaire productie in het Markermeer is dus afgenomen. Sommige consumenten zijn afgenomen (vis) of zelfs toegenomen (mosselen). Met name voor zoöplankton-etende vis was het moeilijk om de volgens de metingen in het meer aanwezige vis in het Ecopath model kloppend te krijgen met de productie van zoöplankton. Voor het voedselweb van het Markermeer als geheel is ongeveer de hele primaire productie nodig om de consumenten te voeden. In andere meren bedraagt dit meestal rond de 60% (Mond. Med. S. Teurlincx). In het IJsselmeer bedraagt dit ca. 80%. Dit duidt op een voedseltekort in elk geval voor het Markermeer. Dat betekent dat Natura2000 soorten in de top van de voedselketen,

zoals mossel- en visetende watervogels maar ook (grotere) roofvissen, last kunnen hebben van een voedseltekort. Voor deze soorten is het aannemelijk dat de aantallen afgenomen zijn door verminderde voedselproductie. Ook de verminderde voedselkwaliteit (o.a. Noordhuis 2010) maakt de voedselsituatie nijpend. Omdat de doelen voor Natura2000 in termen van draagkracht geformuleerd zijn, is het van belang om volgorde van de volgende maatregelen of adviezen te overwegen:

- maatregelen die de P-aanvoer en/of de beschikbaarheid van P kunnen vergroten, zoals beschreven in hoofdstuk 7 'verbinden met achterland' en/of het veranderen van de huidige aanvoer van water naar aanvoer van meer voedselrijk water naar het Markermeer (bv. vanuit waterschappen Amstel Gooi en Vecht, Zuiderzeeland of Hollands Noorderkwartier). Een uitdaging hierbij is dat de rivier de Eem (waterschap Vallei en Veluwe) momenteel een belangrijke toevoer bron van P is naar het Markermeer maar tegelijkertijd nog tot eutrofiëringsproblemen leidt in de Zuidelijke Randmeren.
- extra voorzichtig te zijn met het toestaan van nieuwe activiteiten die de draagkracht verlagen door foerageergebied weg te nemen of de kwaliteit daarvan achteruit doen gaan, bv. als gevolg van verstoring, nieuwe verdiepingen of landaanwinningen, zelfs als het om een klein gebied gaat en wanneer in mitigatie voorzien is. Het voedseltekort in het Markermeer is zo nijpend dat elk verlies van voedselaanbod een effect kan hebben.
- de doelen voor KRW en draagkracht voor een aantal Natura2000 soorten die aan voedseltekort lijden met elkaar in lijn te brengen

De betekenis van diepe putten voor het ecosysteem Markermeer kent twee kanten. Enerzijds dragen de putten bij aan nieuw leefgebied voor specifieke soorten en zorgen plaatselijk voor minder slibrijk water. Als het zand deels gebruikt wordt voor de aanleg van natuureilanden, zorgt dat aanvullend voor helderder water door de luwte. Het eerste positieve effect is feitelijk een verschuiving van leefgebied tussen soorten en als daarbij een afname kan optreden voor Natura2000 soorten is dat ongewenst (bv. snoekbaars neemt toe en de mossetende topner neemt af). Het tweede effect, minder slib in het water, is positief. Het is echter niet de verwachting dat de plaatselijk grotere helderheid van het water ook de productie door algen laat toenemen. Deze zijn namelijk sterk P-gelimiteerd. Op lokale schaal kunnen waterplanten profiteren als voldoende ondieptes aanwezig zijn, zoals bijvoorbeeld bij de aanleg van de Marker Wadden. Onduidelijk blijft wat de rol van diepe putten cumulatief is voor het hele Markermeer voor wat betreft de waargenomen slibafname in het water over het hele Markermeer (en vooral in de westzijde). Of er ook voordeel is voor waterplanten in het hele Markermeer is dus ook onduidelijk. De keerzijde van diepe putten is beschreven in hoofdstuk 7.

De toegepaste modellering met Ecopath heeft beperkingen. De belangrijkste beperking is dat geen of weinig gemeten waarden zijn voor de schatting van productie in het Markermeer. Bijna alle waarden zijn gebaseerd op literatuurwaarden. Algen zijn de belangrijkste primaire producenten in het Markermeer. Door een specifiek model voor algen te gebruiken dat deels ook gevalideerd is met meetgegevens in het gebied is voor dit onderdeel het hoogst haalbare gedaan van wat nu mogelijk is. Met alle andere indicaties en onderzoeken zijn de experts het eens dat het model een reële afname van de fytoplanktonproductie simuleert voor het heden ten opzichte van het verleden.

Het voedselwebmodel bevat ook geen ruimtelijke variatie of verschillen. Dit is een grote versimpeling van het ecosysteem en het model is daarom minder geschikt om effecten van ruimtelijk ingrepen te simuleren of te voorspellen. Verder zijn ook een aantal factoren niet meegenomen, zoals de afname van organisch koolstof en de rol van zwavel bacteriën. Van beide is de verwachting dat ze zowel in het verleden en

heden geen doorslaggevende betekenis hebben voor wat betreft de conclusies en aanbevelingen. Voor koolstof is dat omdat de verbinding met grote rivieren en moerasgebieden ontbreekt in beide perioden. En voor zwavelbacteriën zijn er geen aanwijzingen gevonden dat deze een rol spelen in het voedselweb. Er zijn wel aanwijzingen uit andere gebieden dat zwavel bacteriën giftig kunnen zijn bij consumptie.

Tot slot is voor een aantal veel voorkomende maatregelen in het Markermeer per maatregel een beschrijving gemaakt en zijn de kansen en risico's voor die (clusters van) maatregelen beschreven. De beschrijving is generiek en bruikbaar elders in het IJsselmeergebied, maar er zijn ook specifieke kenmerken zoals het extreme voedseltekort in het Markermeer waardoor adviezen anders zullen of kunnen uitvallen. Uit de adviezen is af te leiden dat 'meer ruimte voor het meer', zoals verbindingen met het achterland of buitendijkse gebieden, de meest kansrijke maatregel is voor verbetering van de voedselbeschikbaarheid via aanvoer van fosfor en de het functioneren van het ecosysteem via o.a. uitwisseling van vissen.

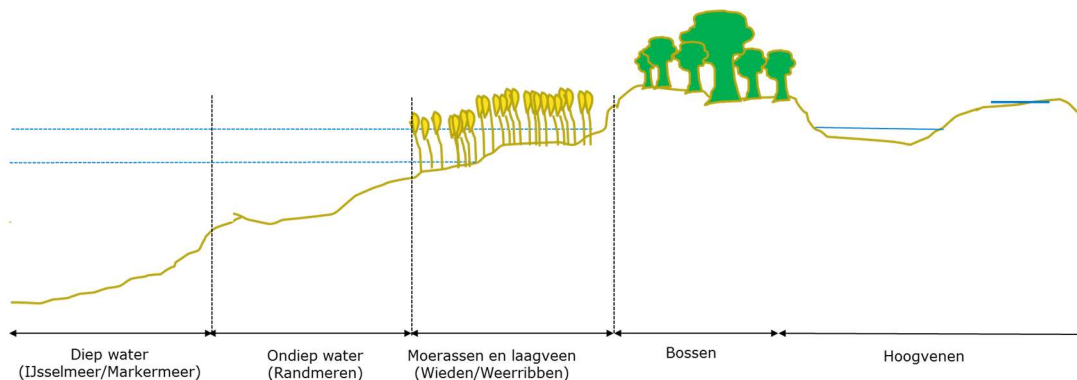
7 Kansen en risico's van mogelijke ecologische herstelmaatregelen

7.1. Leeswijzer

Dit hoofdstuk vat de huidige stand van kennis samen voor mogelijke herstelmaatregelen voor het Markermeer. Voor elke (cluster van) maatregelen, veelal op hoofdlijnen al jaren in beeld en vaak zelfs al uitgevoerd in het Markermeer of elders in het IJsselmeergebied (o.a. Iedema et al. 1996, Lauwaars & Platteeuw, 1999, Remmelzwaal 2007), zijn kansen en risico's belicht in het licht van de bestaande en de hierboven samengevatte nieuwe kennis en is een samenvattend advies gegeven voor het Markermeer. Daarom staat dit hoofdstuk in zekere zin los van de inhoudelijke rapportage, omdat hier een interpretatie is gegeven van de resultaten ten behoeve van het handelingsperspectief voor herstel. Het geven van handelingsperspectief voor beleid en beheer is één van de doelen van het Levend Markermeer geweest. Er zijn vier clusters van maatregelen belicht:

1. creëren van luwte
2. aanleggen van eilanden en ondieptes
3. verbeteren water- en bodeminteractie
4. (meer) verbinden met achterland

Maatregelen om de belasting van toxische stoffen te reduceren vallen buiten dit project. De meeste maatregelen betreffen fysieke inrichtingsmaatregelen die ontbrekende leefgebieden toevoegen of verbinden. Elk leefgebied heeft karakteristieke soorten en processen, en sommige soorten hebben verschillende van de leefgebieden nodig om hun levenscyclus te voltooien. In het IJsselmeergebied zijn deze leefgebieden in veel gevallen gecompartmenteerd geraakt (figuur 7.1). In het Markermeer zijn te weinig leefgebieden met ondiep water, bijbehorende moerassen en geleidelijke oevers. In natuurlijke omstandigheden met een volledig natuurlijke peilvariatie maken deze een aanzienlijk deel uit van een natuurlijk meer, zoals in de Oder Lagune vlakbij de Oostzee op de grens tussen Polen en Duitsland, waar grofweg 30% van het omliggende land onder directe invloed staat van het meer. Daar draagt de natuurlijke variatie van het waterpeil (hoog in de winter, laag in de zomer) sterk bij aan de verbinding en functionaliteit van die omliggende gebieden voor het meer. Dit ontbreekt in het Markermeer. De natuurlijke landschappen om het Markermeer, zoals moeraszones, periodiek droogvallend areaal, laagveen of hoogveen, zijn niet meer aanwezig of de verbinding daarmee is verbroken.



Figuur 7.1. Overzicht van de typen leefgebieden van een natuurlijk laaglandmeer. Tevens is met verticale stippellijnen aangegeven welke isolaties plaats hebben gevonden, waardoor bv. ondiep water en moerassen nauwelijks meer in verbinding staan met dieper water. Van nature kunnen waterpeilen variëren met seizoenen, wind of getijden. De bandbreedte waarbinnen seizoensmatige en jaarlijkse natuurlijke fluctuaties in het waterpeil optreden, zijn weergegeven met de horizontale blauwe stippellijnen.

7.2. Creëren van luwte

Door het creëren van luwte ontstaat er water zonder grote golven die de bodem raken (en opwervelen) en daardoor ook helderder water. Voor water- en oeverplanten betekent dit dat er nieuwe kansen ontstaan: oeverplanten komen niet voor als oevers te gevoelig zijn voor golfslag (zie figuur 7.2) en waterplanten kunnen profiteren van het heldere water of minder mechanische beschadiging door golven (Schutten et al., 2005). Anderzijds laten recente karteringen in de Randmeren juist zien dat achter de dammen van strand Horst en achter Tulpeiland in het Wolderwijd de waterplanten met minder hoge bedekking aanwezig zijn dan aan de niet-luwe zijde van het meer ([Waterplantenbedekking RWS MN \(rijkswaterstaat.nl\)](#)). Van den Berg et al. (2003) heeft laten zien dat tussen soorten waterplanten verschillen bestaan: tenger fonteinkruid kan profiteren van luwte, terwijl kranswieren (*Chara* sp.) en doorgroeid fonteinkruid juist vaker voorkomen bij minder luwte.

De golfluwe delen zijn ook goede plekken voor watervogels om te rusten. Daarnaast heeft het Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA, 2022) indirect laten zien dat algen productiever kunnen zijn in de gebieden met luwte. Hoewel dit gunstig is, en de voedselkwaliteit daardoor lokaal kan verbeteren, is de limiterende factor voor algenproductie in het Markermeer de beschikbaarheid van fosfor en niet de hoeveelheid licht (Troost, 2020).

Het Markermeer is nog altijd, ondanks alle recente bedijkingen en inpolderingen, een open en geëxponeerd water. Het meer is relatief troebel vanwege de kleibodem, in combinatie met het feit dat door de Houtribdijk het transport van het opgewervelde slib naar het meer zandige IJsselmeer is weggevallen. De inschatting is dat gebieden met luwte momenteel in voldoende mate voorhanden zijn, mede door reeds aangelegde luwtedammen en eilanden, zoals de Marker Wadden

(waarachter afhankelijk van de windrichting luwte ontstaat). Wel is winst te behalen met het voorkómen van verstoring, door beperking van toegang of handhaving daarop, om functioneel te zijn als rustgebied voor watervogels. Daarnaast kan luwte meerwaarde krijgen door het aanbrengen van verondiepingen of eilanden. Zie daarvoor paragraaf 7.3 'aanleg van eilanden en ondieptes'. Oevervegetatie en waterplanten kunnen ook baat hebben bij luwte, alleen is dat meestal niet de enige of zelfs niet de voornaamste belemmerende factor. Zo kan het water te diep zijn voor ontwikkeling van waterplanten en hebben oeverplanten een natuurlijk verlopend waterpeil nodig voor een goede ontwikkeling. Luwte creëren als doel op zich zal dus een beperkt effect hebben voor oever- en waterplanten. Er lijkt dus geen expliciete noodzaak meer voor het creëren van meer luwte.

Het materiaal waarmee een luwtestructuur gemaakt kan worden, is in belangrijke mate bepalend voor het nieuwe leefgebied dat kan ontstaan. Harde structuren (bijvoorbeeld stortsteen) zijn in het verleden veel toegepast, maar zijn voor het IJsselmeergebied een onnatuurlijk substraat. Met hout (bv. onbewerkte palenrijen of bomen) is nog geen of weinig ervaring op gedaan, maar daarvan is wel de verwachting dat dit een beter leefgebied is voor allerlei natuurlijk voorkomende planten en dieren. Onbewerkt hout is duurzaam zolang het onder water wordt toegepast. Schimmels krijgen dan weinig kans. Tot slot kan ook zandig materiaal toegepast worden (Trintelzand) of luwte worden gecreëerd in combinatie met eilanden (Marker Wadden).

Kansen:

- Meer kansen voor ontwikkeling van specifieke soorten ondergedoken waterplanten bij voldoende ondiepte en waterhelderheid.
- Meer kansen voor ontwikkeling oeverplanten. Een goed uitgedacht ontwerp en beheerprogramma kunnen de kansen voor oeverplanten aanzienlijk vergroten.
- Potentiële rustplek voor watervogels.
- Meer gradiënten in waterhelderheid.

Risico's:

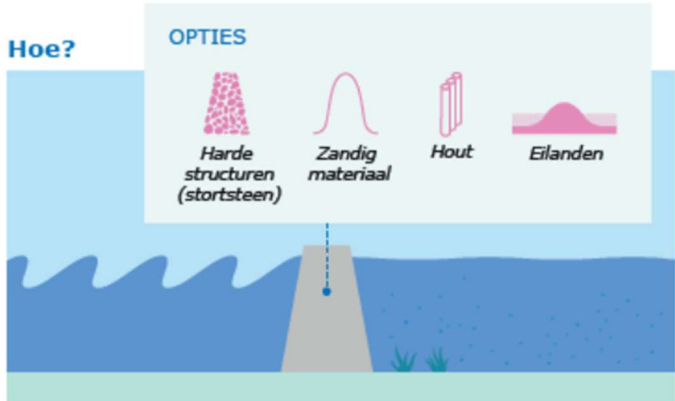
- De structuren waarmee de luwte gecreëerd wordt, kosten ruimte, die dan niet meer beschikbaar is voor waterdieren. Het type materiaal dat voor de structuur gebruikt wordt, maakt een groot verschil, waarbij bij de toepassing onder water van zand of hout dit risico nihil is.
- Structuren gemaakt van stortsteen vormen een leefgebied dat niet van nature thuishoort in het IJsselmeergebied, waardoor er o.a. leefgebied ontstaat voor uitheemse planten en dieren.
- Luwte is ook aantrekkelijk voor recreatie en zelfs met een eventueel verbod op recreatie -met beperkte handhaving op zo'n verbod- kan die luwte leiden tot verstoring van rustende watervogels. Aanleg van extra luwte leidt tot meer compartimentering (en schaalverkleining) van de aaneengesloten arealen dieper open water, en daarmee tot vermindering van de (connectiviteit van) dit leefgebied voor waterdieren en verminderd voedselaanbod voor roofvis en watervogels.
- Als gevolg van (nog meer) luwte en de daardoor tot stand komende schaalverkleining neemt de expositie af van de overgebleven oevers aan dynamiek van golfwerking, hetgeen ook een natuurlijk kenmerk is van het meer.
- Luwte is meestal niet de enige en al evenmin de voornaamste beperkende factor voor oeverplanten en waterplanten, waardoor verhoogde kansen van water- of oeverplanten uiteindelijk vaak niet zullen leiden tot een daadwerkelijk positief effect. Voor sommige soorten waterplanten (zoals kranswieren) geldt dat luwte zelfs negatief kan zijn.

Kennisregels LUWTE CREËREN

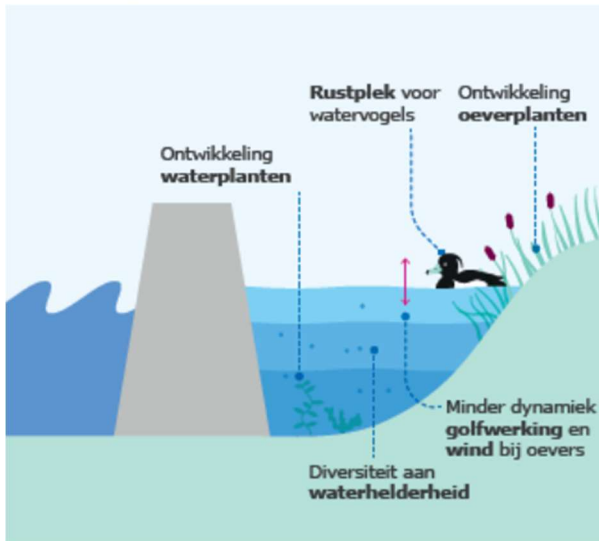


Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Door het creëren van luwte ontstaat er water zonder grote golven en daardoor ook helderder water. Dat betekent dat watervogels kunnen rusten en bijvoorbeeld waterplanten en algen productiever zouden kunnen zijn. Hoewel dit gunstig is, zijn er wel enkele kanttekeningen.



+ Kansen

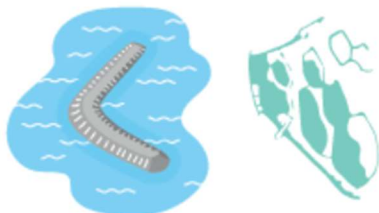


- Risico's



HUIDIGE SITUATIE VAN LUWTE

Omdat al diverse projecten in de huidige situatie zijn uitgevoerd, is de meerwaarde steeds kleiner geworden of inmiddels al afwezig. De inschatting is dat gebieden met luwte momenteel voldoende voorhanden zijn, mede door reeds aangelegde luwtedammen en eilanden, zoals de Marker Wadden en Trintelzand.



Advies

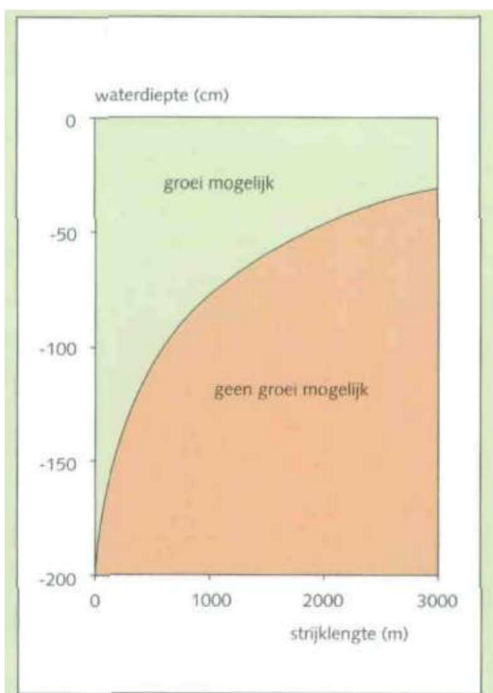
Advies is om niet (meer) actief te streven naar het creëren van nog meer luwte. Het beter reguleren van gebruik van bestaande luwtegebieden kan wel meerwaarde hebben voor specifieke Natura2000 vogelwaarden via beperking van verstoring.

Kennisoverzicht:

- Luwte creëert in potentie een positief effect voor water- en oeverplanten (bij voldoende ondiepte ca. <3m, geleidelijke land-water overgang en helder water) en rustende vogels. Modellen zijn voorhanden om een inschatting te geven voor het effect van luwte, diepte en helderheid en/of water- en oeverplanten (zie figuur 7.2 voor oeverplanten en Van den Berg et al. 2003 voor waterplanten). Een actualisatie van deze kennis is wel gewenst, omdat sinds een aantal jaren op diverse plekken achter dammen juist minder waterplanten worden gezien.
- Het uitsluiten van recreatie in delen met luwte om zo verstoring te voorkómen levert een positieve bijdrage aan rustmogelijkheden voor watervogels. Dit kan ook in huidige gebieden met luwte meerwaarde geven als deze nog niet gesloten zijn voor recreatie.

Advies:

Omdat al diverse projecten in de huidige situatie zijn uitgevoerd, is de meerwaarde steeds kleiner geworden of inmiddels al afwezig. Bovendien waren er ook zonder deze projecten altijd al voldoende plekken te vinden met golfuwte voor rustende watervogels bij iedere windrichting. Tenslotte is luwte niet de enige en vaak ook niet de voornaamste beperkende factor voor de ontwikkeling van oever- en waterplanten, zodat er meestal meer nodig is om tot een daadwerkelijk positief effect te komen. Advies is dus om niet (meer) actief te streven naar het creëren van nog meer luwte als maatregel op zich. Luwte in een vooroever zone als onderdeel van een verbinding tussen achterland en meer kan wel meerwaarde hebben (zie 7.5, waarbij luwte geen doel is maar het creëren van een hoge verblijftijd en leefgebied voor mosselen en jonge vis; Noordhuis & Vonk 2022). Het beter reguleren van gebruik van bestaande luwtegebieden kan wel meerwaarde hebben voor specifieke Natura2000 vogelwaarden via beperking van verstoring.



Figuur 7.2 (uit Anonymus 1996). Of een locatie achter een luwtestructuur geschikt is voor de ontwikkeling van oeverplanten, zoals riet, is afhankelijk van zowel de waterdiepte als de strijklengte op die locatie. Luwtestructuren maken de strijklengte korter, waardoor de beperking voor oeverplanten door sterke golflslag wegvalt en de kans op oeverplanten kan toenemen.

7.3. **Aanleg van eilanden en ondieptes**

Eilanden zijn zachte structuren bestaande uit zand of slib die periodiek droogvallende bodem of ondiep water beogen. Een uitgekiend ontwerp en beheer zijn nodig om op de droogvallende bodem of ondiepe water de moerasvegetatie (met name riet) te laten ontwikkelen of juist een kale bodem te houden voor vogels die op kale grond broeden. Voor moerasvegetatie is een natuurlijk verlopend waterpeil (hoog in de winter en uitzakkend in de zomer) belangrijk en voor kale bodem voldoende dynamiek in waterpeil (of getijde) waardoor bomen geen kans krijgen. Voor moerasplanten kan aanplant via wortelstokken effectief zijn, omdat eenmaal gevestigd riet zich lang kan handhaven. De laatste decennia is het wel belangrijk gebleken om behalve met natuurlijker waterpeilverloop ook rekening te houden met een hoge graasdruk door ganzen (o.a. Tosserams et al. 1999 en KIMA, 2022). Aanplant via zaad is ook mogelijk maar dan is een uitgekiende droogvallende bodem en beheer van belang (KIMA, 2022).

Eilanden die continu boven water uitsteken zijn echter niet of beperkt waardevol voor het aquatische deel van het ecosysteem. Door de beperkte waterpeildynamiek is er dan weinig interactie tussen het eiland en de aquatische waarden. Bovendien bestaat vanwege hetzelfde beperkte natuurlijke (of zelfs tegennatuurlijke) peilverloop het eindstadium van de successie uit bos op die deelgebieden, waar het land permanent boven water gelegen is. Intensief beheer (begrazing, maaien, selectief bomen verwijderen) kan wel zorgen voor een blijvende waarde voor een pioniersstadium, met lage vegetatie, waar veel vogels, zoals kluut, visdief of plevieren van kunnen profiteren. Een voorbeeld hiervan is de Kreupel in het aangrenzende IJsselmeer (o.a. Rijdsdorp et al. 2000, Marbus & Marbus 2007).

De beperkte waarde van bos langs water geldt voor sommige soorten niet. Belangrijke uitzonderingen zijn aquatische vogels die een broedplek in bomen vinden (bv. aalscholver en zeearend) en bomen die in het water vallen door wind of bevers waar vervolgens weer talloze insecten en larven van kunnen profiteren. Het is vooral het gemis aan dynamiek dat ervoor zorgt dat zonder extra beheer een water-bos oever ontstaat zonder de belangrijke oeverzone met oeverplanten. Wat bos hier en daar is dus prima, maar het grote tekort aan watergebonden leefgebied zit in het ondiepe water en aangrenzende (moerasachtige) oeverzone.

Belangrijk nadeel bij de aanleg van eilanden is dat dit ten koste gaat van een bestaand aquatisch leefgebied. Zeker als dit ondiep of matig diep water is, gaat er ook belangrijk leefgebied verloren en vindt er feitelijk een uitruil plaats. Bovendien zal doorgaans het eiland aangelegd worden met materiaal afkomstig uit al dan niet speciaal ervoor gegraven diepe putten of geulen, hetgeen dan leidt tot een verdieping van de bestaande waterbodem. Het Levend Markermeer project laat zien dat het aannemelijk is dat a) de volledige aquatische productie nodig is om de dieren in leven te houden, b) fosfor de meest limiterende nutriënt is en c) meer dan de helft van het aangevoerde fosfor in diepe putten verdwijnt. Dat betekent dat indien het materiaal uit het gebied zelf gehaald wordt, niet alleen een extra areaalafname van het open water plaatsvindt, maar er bovendien een reële kans bestaat op afname van de productiviteit omdat een fors deel van het inkomende fosfor aan de waterkolom onttrokken wordt.

Kansen:

- Tijdens werkzaamheden komt tijdelijk voedselrijk slib in het systeem.
- Biedt een (tijdelijk) leefgebied voor pioniersoorten die door het stabiele meerpeil en tekort aan land-water overgangen onvoldoende aanwezig zijn.
- Biedt kansen voor moerasontwikkeling en daaraan gebonden soorten.
- Biedt kansen voor soorten van ondiep water, op voorwaarde dat flankerend aan de eilanden ook deze leefgebieden gecreëerd worden.
- Biedt luwte (zie ook voor- en nadelen luwte).
- De diepe putten, nodig voor het materiaal voor de eilanden, zorgen voor sedimentatie van slib en daarmee minder slib en helderder water en voor (tijdelijk) leefgebied voor specifieke vissoorten (bv. koeler water in de zomer of juist warmer water in de winter tijdens ijsgang).
- De extra toevoer naar het watersysteem van dood of afstervend organisch materiaal, afkomstig van pionier- en oeverplanten (en in latere successiestadia ook van bladmateriaal en hout van bijv. wilgenopslag) kan lokaal via de detritusketen tot extra productiviteit in het water leiden.
- Meer dood hout in het water biedt kansen voor een gevarieerder natuurlijk scala aan aquatische (bodem)dieren.

Risico's:

- Tijdens werkzaamheden wordt tijdelijk en lokaal het doorzicht van het water sterk verminderd.
- Zonder natuurlijke waterpeildynamiek of intensief beheer is de fase van pioniersoorten veelal tijdelijk (enkele jaren).
- Het verkrijgen en behouden van rietmoeras vergt bij de huidige graasdruk van ganzen en het onnatuurlijk peilverloop veel extra maatregelen en is niet altijd succesvol gebleken in andere projecten.
- Het materiaal dat nodig is voor de aanleg komt normaal gesproken uit het gebied zelf, waardoor diepe putten ontstaan waar het fosfor in terecht komt zodat dat niet meer beschikbaar is voor de algenproductie en de daaraan gekoppelde aquatische productiviteit en draagkracht voor vogels en roofvis.
- Het gebied waar eilanden boven water komen, betekent minder areaal voor de typisch aquatische soorten en de voedselproductie voor watervogels.
- Het gebied waar de voor de aanleg van de eilanden (eventueel) gegraven diepe putten gelegen zijn, is minder of niet meer geschikt voor sommige soorten bodemfauna en soorten die daarvan afhankelijk zijn.

Kennisoverzicht eilanden:

- Door de aanleg van eilanden gaat areaal open water verloren en daarmee mogelijkheden voor de primaire productie van algen. Daarnaast neemt de aquatische productiviteit nog verder af, indien daarvoor diepe putten worden gegraven, waarin fosfor permanent als nutriënt aan het systeem wordt onttrokken. Zo is voor het Markermeer aannemelijk gemaakt dat;
 - vooral de beperkte beschikbaarheid van fosfor de productie door algen sterk limiteert;
 - meer dan de helft van het aangevoerde fosfor verdwijnt in diepe putten en daarnaast enkele metingen er ook op wijzen dat organisch koolstof lijkt te accumuleren in de putten;
 - de productie van het ecosysteem voor het leeuwendeel door algen plaatsvindt en maar net voldoende is om de nu nog aanwezige consumenten hoger in het voedselweb in leven te houden;
 - een gevolg van een en ander kan zijn dat de afname van areaal en productie leidt tot een afname van consumenten die kenmerkend zijn voor het gebied dat verloren gaat, waaronder Natura2000 kwalificerende benthos- en visetende watervogels.
- Aannemelijk is dat de hoeveelheid fosfor, die in het water en ondiepe waterbodem aanwezig is, afneemt door bezinking en begraving in diepe putten. Het is echter niet zeker of de afwezigheid van diepe putten ook automatisch leidt tot een *grotere beschikbaarheid* van fosfor. Sedimentatie, erosie en de chemische evenwichten van ijzer en fosfor verbindingen zijn daarvoor onvoldoende in beeld, zie ook de maatregel 'verbeteren water en bodem interactie'.

Kennisregels AANLEG VAN EILANDEN EN ONDIEPTES

De aanleg van eilanden en ondieptes in het Markermeer, vaak met overtollig materiaal van zandwinning, kan enerzijds een positief effect hebben, bijvoorbeeld meer oeverzone, droogvallende bodem en ondiep water, maar de aanleg gaat ook ten koste van bestaand leefgebied.

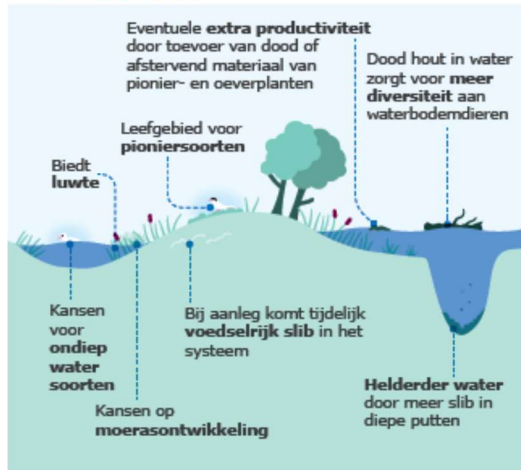


Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Hoe?



+ Kansen



- Risico's



ONDIEP WATER EN BUITENDIJKS LAND IN HET MARKERMEER

Ondiep water met veel waterplanten en buitendijks (moerassig) land waren in het Markermeer nagenoeg ontbrekend, maar dat is nu langzaam aan het veranderen, door de aanleg van ondieptes, vooroevers en eilanden.

■ Grootste huidige locaties waterplanten-ondiepte en moerasland



Advies

Aanleg van eilanden moet niet ten koste gaan van matig diep water of ondieper water. Een belangrijk risico is dat de draagkracht voor vis en mosselelers achteruit kan gaan doordat gebied verloren gaat. Het lijkt op dit moment (nog) niet mogelijk om deze negatieve effecten te mitigeren. Zolang hier geen goede oplossingen voor worden gevonden of meer duidelijk is over de kringloop van fosfor, luidt het advies dan ook terughoudend te zijn met doorontwikkeling van eilanden in het Markermeer.

Kennisoverzicht oeverzone:

- Het ontwerp maximaal richten op zeer ondiep water dat regelmatig droogvalt. Dit is de zone die het meest ontbreekt. Dat kan enerzijds door te ontwerpen in het gebied waar de waterstanden door op- en afwaaien van water de bodem tijdelijk droog laten vallen of overstromen. Dit kan ook door lokaal een ander peilbeheer te voeren, zoals deels op de Markerwadden is gebeurd of in de Koopmanspolder.
- Het ontwerp richten op maximale randlengte oever-land, zoals veel kleine eilanden of op veel wisselend hoogteprofiel, kan een invulling zijn van bovenstaand principe.
- Als de focus ligt op moerasontwikkeling dan kunnen de volgende punten overweging genomen worden bij aanleg en beheer:
 - Aanplant met wortelstokken, bv. van riet
 - Begrazing door vee, ter voorkoming successie bos
 - Uitrasteren eventueel tijdelijk, ter voorkoming ganzenvraat. Dit heeft een reëel risico op verstrikt rakende vogels.
 - Compartimenteren met (periodiek) natuurlijk peil, bv. voor rietmoeras)
 - Zetting en type van de ondergrond bepalen in sterke mate of en in welke mate nasuppletie plaats moet vinden. Zetting bepaalt ook de hoogteligging in de tijd en kan daarmee ook mede sturend zijn voor de vegetatie-successie.

Advies eilanden:

Eilanden hebben enerzijds een sterk positief effect op specifieke waarden en vullen anderzijds een behoefte in aan oeverzones, pionier situaties en ondiep water waar een relatief tekort aan is. Voorkomen dient te worden dat het aanleggen van eilanden ten koste gaat van matig diep of ondiep water (< 4m). Een belangrijk risico is dat de draagkracht voor (roof)vis en voor vis- en mosseletende watervogels achteruit kan gaan doordat areaal verloren gaat en omdat de belangrijkste voedingsstof fosfor in de diepe putten verzameld wordt. Dat is een belangrijke reden om terughoudend te zijn om nieuwe eilanden met materiaal uit het gebied zelf aan te leggen. Dit advies geldt specifiek voor het Markermeer. Het lijkt op dit moment niet mogelijk om deze negatieve effecten te mitigeren (behalve het materiaal dat voor eilanden gebruikt wordt van elders te halen met mogelijk weer andere risico's). Zolang hier geen goede oplossingen voor worden gevonden of meer duidelijk is over de kringloop van fosfor, luidt het advies dan ook terughoudend te zijn met het verder ontwikkelen van (natuur)eilanden in het Markermeer.

7.4. Verbeteren water- en bodeminteractie

Er zijn verschillende aanwijzingen dat de interactie tussen water en bodem minder sterk is dan in de jaren tachtig. Dit is van belang omdat de bodem een belangrijke en grote voorraad fosfor bevat die in potentie een belangrijke nutriëntenbron is voor de primaire productie van algen. Zo blijkt uit de resultaten van KIMA en Noordhuis (2022) dat de verhouding van anorganisch zwevend stof ten opzichte van het totale zwevend stof kleiner is geworden, bij dezelfde windsnelheid. Daaruit is geconcludeerd dat de bodem is gestabiliseerd: de bodem werfelt tegenwoordig minder makkelijk op. Een aantal mogelijke oorzaken:

- De brasem, een bodemwoelende vis, is rond en na 2000 intensief bevist (De Leeuw et al. 2021). De biomassa aan brasem is nog steeds erg laag en dus ook de bijdrage van deze soort aan het opwoelen van de bodem en productiviteit van de waterlaag (Breukelaar et al. 1994).
- Er lijken minder zware stormen te zijn geweest in de periode van 2002-2012 wat kan hebben bijgedragen aan de vermindering van opwerveling van bodemmateriaal (KIMA, 2022, Noordhuis, 2022)
- Zwavelbacteriën zijn in die periode ook toegenomen, die de waterbodem kunnen stabiliseren (Verdonschot et al. 2020). Over de komst en de rol van zwavelbacteriën is weinig bekend.

- Diepe putten hebben een stofzuigende functie, veel mobiel slib kan in diepe putten bezinken of schuiven na een periode met harde wind (Noordhuis et al. 2022). Hierdoor komt steeds een nieuwe bodemlaag boven te liggen die erodeert en het slib bezinkt in de diepe putten of op hele luwe plekken.

We kunnen niet meer achterhalen wat naar alle waarschijnlijkheid de meest dominante verklaring is voor het waargenomen fenomeen: minder afgenomen anorganisch slib in de waterlaag. Omdat de laatste jaren het anorganisch slib weer wat toe lijkt te nemen, samengaan met zwaardere stormen, is het aannemelijk dat dit in elk geval een rol speelt. Positief effect van de bodemstabilisatie is dat het meer helderder is geworden, waardoor waterplanten zijn uitgebreid in dichtheid en areaal (Noordhuis, 2022; Levend Markermeer).

Het is nog onbekend hoe de water- en bodeminteractie een rol van betekenis kan spelen om fosfor te mobiliseren en daarmee de productiviteit van algen in het water te vergroten. De water- en bodeminteractie is complex en kwantitatieve kennis ontbreekt. Enerzijds is te verwachten dat bij verbeterde water- en bodeminteractie pyriet (verbinding van ijzer en zwavel) in het water vrijkomt dat zal oxideren in de waterlaag. Dit zal leiden tot een verdere verarming van fosfor om de waterlaag omdat het fosfor makkelijk neerslaat met het ijzer en in de bodem zal belanden. Experimenten van de UvA laten zien dat dit proces met Markermeerbodem en water in het laboratorium ook optreedt en bovendien heel snel gaat. Een eerste inschatting van de zwavelbalans op grond van watertoe- en afvoer, suggereert dat er zwavel 'over' is. Dit versterkt de aanname dat het vastleggen van fosfor via erosie van pyriet daadwerkelijk optreedt. Anderzijds bevat de toplaag van de waterbodem een mobiele sliblaag die nog steeds rijk is aan fosfor, ondanks dat de trend van het fosfor in het sediment licht negatief is. De Oostvaardersplassen, die qua herkomst dezelfde bodem hebben als het Markermeer, bevatten wel voedselrijk water (factor 10 tot 100 hoger). Op dit moment ontbreekt een goede water- en fosforbalans om de betekenis van de waterbodem zoals in de Oostvaardersplassen te kunnen duiden.

Kansen:

- De waterbodem is voedselrijk en daarmee in potentie een grote voedselbron voor de waterlaag. Omdat te veel onbekend is wat de mechanismen zijn is het (nu) niet mogelijk om aan te geven of er handelingsperspectieven zijn en zo ja, welke.

Risico's

- We kennen de mechanismen van bodemstabilisatie niet goed en tegelijkertijd zijn er sterke aanwijzingen dat ijzer uit de bodem aan fosfor bindt, wat ervoor zorgt dat a) bij bodemerosie fosfor snel uit de waterlaag verdwijnt en b) fosfor de bodem niet meer uit komt.
- Omdat we de mechanismen nog onvoldoende kennen, weten we ook niet of de bodemstabilisatie verder door gaat en wat de consequenties van zijn voor de beschikbaarheid van fosfor.

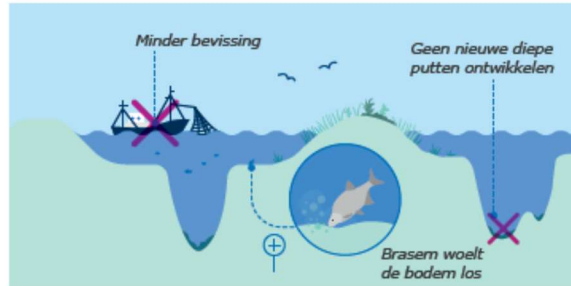
Kennisregels VERBETEREN WATER-EN BODEM- INTERACTIE



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

De bodem van het Markermeer wervelt ten opzichte van de jaren 80 minder op. Deze water- en bodeminteractie is van belang omdat de bodem een belangrijke voorraad aan fosfor bevat, dat voeding is voor de algen.

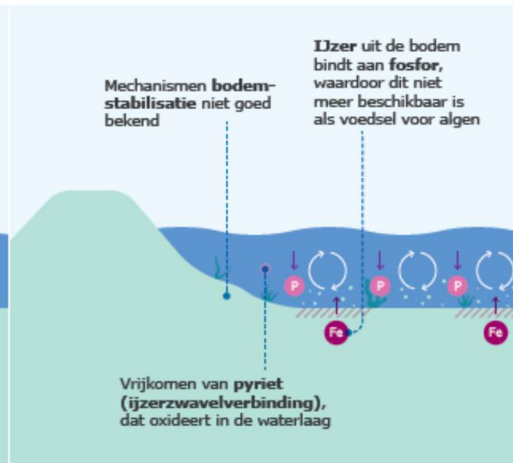
Hoe?



+ Kansen

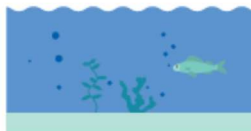


- Risico's



HUIDIGE SITUATIE VAN WATER- EN BODEMINTERACTIE

Er zijn verschillende aanwijzingen dat de water- en bodeminteractie minder is dan in de jaren tachtig. Ook blijkt dat de bodem tegenwoordig minder makkelijk opwervelt. Positief effect van de bodemstabilisatie is dat het meer helderder is geworden en daardoor waterplanten meer kansen hebben gekregen.



Advies

Het is onaannemelijk dat verbeteren van de water- en bodeminteractie een rol van betekenis kan spelen om uiteindelijk de productiviteit van het water te vergroten. Het vrijkomen van pyriet bij verbeterde water- en bodeminteractie leidt waarschijnlijk tot verdere verarming van de waterlaag met fosfor. Experimenten van de UvA laten zien dat dit proces met Markermeerbodem en -water in het laboratorium ook daadwerkelijk optreedt en bovendien heel snel gaat.

7.5. Verbinden met achterland

Door de aanleg van dijken zijn er harde grenzen ontstaan voor planten en dieren. Hierdoor ontbreken er leefgebieden voor planten of dieren om hun levenscyclus te kunnen voltooien. Ook vindt geen uitwisseling meer plaats van geproduceerd materiaal tussen de van elkaar gescheiden leefgebieden. De binnendijkse gebieden bestaan soms of deels ook uit (ondiep, <3m) water met o.a. oeverplanten en kunnen daarmee voor het Markermeer een belangrijke rol spelen als de uitwisseling wél kan plaatsvinden. Verbinding met binnendijkse wateren die een natuurlijke peilvariatie kennen (hoger in de winter, lager in de zomer) voegt een leefgebied toe dat in het Markermeer zelf niet meer voorkomt.

Bij uitgekiend ontwerpen is deze maatregel goed voor de uitwisseling van andere watertypen (met de daarin opgeloste stoffen, waarbij met name koolstof en fosfor van belang zijn; Verdonschot et al., 2021) en andere aquatische organismen (met hoofdrol voor vis). Voor vis geldt dat de maatregel in principe twee kanten op kan werken, doordat vissen andere eisen stellen tijdens verschillende levensfasen. De beste indicatie voor het te verwachten effect van verbinden met achterland bestaat uit de grootte en kwaliteit van het achterland in combinatie met de omvang van de wateruitwisseling. Als vismigratie een doel is, zijn verschillende effectieve oplossingen mogelijk.

Kennisoverzicht:

- De verbinding met leefgebied met een natuurlijke peilvariatie en de toevoer van stoffen bieden meerwaarde voor het meer.
- De verhouding debiet en hoeveelheid stoffen ten opzichte van de opgeloste fractie in het Markermeer bepaalt in belangrijke mate de omvang van het effect van toevoer van stoffen. Als het voorgenomen debiet en de concentraties bekend zijn van het te verbinden achterland, kan worden geschat wat de kwantitatieve bijdrage is aan de stoffenbalans van het Markermeer. Voor het Markermeer kan dit lokaal (vooroeverzone) een belangrijke toegevoegde waarde geven, omdat fosfor de productie sterk limiteert en de directe beschikbaarheid hiervan door extra aanvoer kan worden vergroot. De kennis over hoeveel een toename van een bepaalde stof (organisch koolstof of fosfor) de productie vergroot, ontbreekt nog, maar dat er een toename plaatsvindt, is aannemelijk. De mate en effectiviteit wordt bepaald onder andere door het aangevoerde debiet, seizoensverloop en een aan te leggen luwe zone waar het water in komt, zoals al uitgewerkt voor project Oostvaardersoevers (Noordhuis en Vonk, 2022). Uit andere meren weten we dat de uitwisseling tussen oever en open water een belangrijke invloed heeft op de gehele productiviteit van het meer (Noordhuis en Vonk, 2022 en referenties daarin): er zijn schattingen dat tot 50% van de productie van zoöplankton gebaseerd is op ingevoerd organisch materiaal. In het Markermeer in de huidige situatie is die uitwisseling nog beperkt of in ieder geval niet meetbaar, zoals op de Marker Wadden (KIMA, 2022).
- De omvang van het debiet is ook van belang als lokstroom voor vis. De vis kan dan bijvoorbeeld het water uit de polder “ruiken” als het wordt uitgeslagen. De verwachting is dat voor stoffen een grotere omvang nodig is van het debiet dan om te fungeren als lokstroom. Voor de lokstroom is ook de continuïteit/periodiciteit van het debiet van belang.
- De timing van de uitwisseling van water: in de winter en het vroege voorjaar willen vissen naar het achterland toe migreren, op zoek naar ondiepe (paai)gronden. En als de vissen zich hebben voortgeplant dan komt er een moment dat de jonge vis naar het open water trekt. Van nature vindt dat plaats in de zomer als de waterstanden dalen en de vissen als vanzelf meegaan. Aandachtspunt is dus dat de vissen ook bij dalende waterstand het open water weer kunnen bereiken, waarbij rekening gehouden wordt met passieve migratie.
- Verder zal de meeste jonge (0+) vis zich niet thuis voelen in een Markermeer dat 4 m diep is en weinig beschutting of begroeiing bevat (Emmerik en Quack, 2021). Hierover is nog niet veel kwantitatieve kennis voorhanden. Een oplossing voor dit probleem is de aanleg van een luwe en ondiepe vooroeverzone waarin de verbinding vanuit het achterland uitmondt.

- De kwaliteit en omvang van het aan te sluiten areaal zijn van belang. Als het achterland slechts uit een stelsel van sloten en kanalen bestaat, zijn de verwachten effect veel kleiner dan als het achterland bestaat uit veel ondiep water en veel geleidelijke land-water overgangen. Ons zijn twee praktijkexperimenten bekend: de aanleg van snoekpaaihabitat bij de Binnenschelde en Koopmanspolder (Klinge 1997, Emmerik & de Laak 2014). Voor de Binnenschelde zijn kwantitatieve schattingen bekend van de bijdrage aan productie van snoek en voor de Koopmanspolder zijn kwalitatieve schattingen bekend voor de verschillende vissoorten.
- De vismigratievoorziening is naast de timing en kwantiteit van het debiet ook een belangrijk aandachtspunt. Tegenwoordig zijn verschillende oplossingen op de markt.
- De verbinding is van belang voor het transport van stoffen, niet alleen opgelost, maar ook zwevend, fijn en grover dood organisch materiaal. Transport van grover organisch materiaal en van (uitzakkend) zwevend stof / slib gaat niet vanzelf in ieder type verbinding.

Kansen:

- Biedt een aantal belangrijke voordelen van de eilanden maar kost geen waardevol bestaand (natuur)gebied, omdat geen materiaal hoeft te worden in het gebied en dat de plekken waar land boven water komt geen plek meer is waar vissen of mosselen kunnen leven.
- Biedt kansen om stoffen (o.a. fosfaat en koolstof) uit het achterland naar het Markermeer te brengen.
- De schaal waarmee gebieden aangesloten kunnen worden is, in ieder geval theoretisch, groot, waaronder areaal met natuurlijke waterpeilverloop dat in het Markermeer ontbreekt.

Risico's:

- Bij het verbinden van achterland wordt het nieuw 'aan te sluiten' gebied geen integraal onderdeel van het gehele Markermeer. Dat betekent dat voor sommige soorten of levensstadia deze maatregel ofwel niet optimaal is of wellicht niet zal lukken. Kan bijvoorbeeld jonge vis de weg vinden naar het Markermeer? En kan die dan ook verder opgroeien? Kennis hierover is nog beperkt.
- In veel gevallen kent het 'achterland' zijn eigen specifieke natuurwaarden, die niet per se meeprofitieren van een dergelijke 'verbinding' met het Markermeer.
- In veel andere gevallen heeft het achterland heel duidelijke en specifieke andere ruimtelijke en/of maatschappelijke functies en zal het om die reden maatschappelijk moeilijk zijn om dergelijke verbindingen tot stand te brengen.

Advies:

- Verbinden met het achterland met het Markermeer is de meest kansrijke maatregel om het ecologisch functioneren van het meer te verbeteren.
- Verken de geschiktheid van achterland-gebieden met bestaande natuurwaarden voor het verbinden met het Markermeer. Verken ook de kansen en bedreigingen die op kunnen treden bij het leggen van verbindingen met het Markermeer.
- Verken de maatschappelijke haalbaarheid van nieuwe verbindingen met achterland dat nu andere functies heeft dan natuur.
- Breng in beeld hoe verbindingen met achterland kunnen worden vormgegeven, om natuurwinst te behalen voor het Markermeer en vooruitgang voor het achterland
- Verkenning uitvoeren naar de bestaande (beschermde) natuurwaarden in potentieel interessante gebieden in het achterland en naar de kansen en bedreigingen hiervoor die gepaard zouden gaan met het leggen van verbindingen met het Markermeer

Kennisregels VERBINDEN MET ACHTERLAND



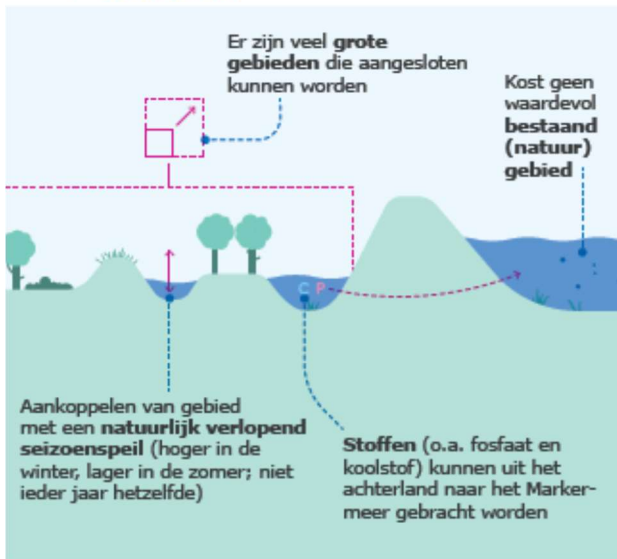
Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Verbinding van het Markermeer met het achterland, waartussen zich nu harde grenzen in de vorm van dijken bevinden, kan goed zijn voor de uitwisseling van watertypen en andere organismen, zoals vissen. Hierbij is de grootte en de kwaliteit van het achterland in combinatie met de omvang van de wateruitwisseling van belang.

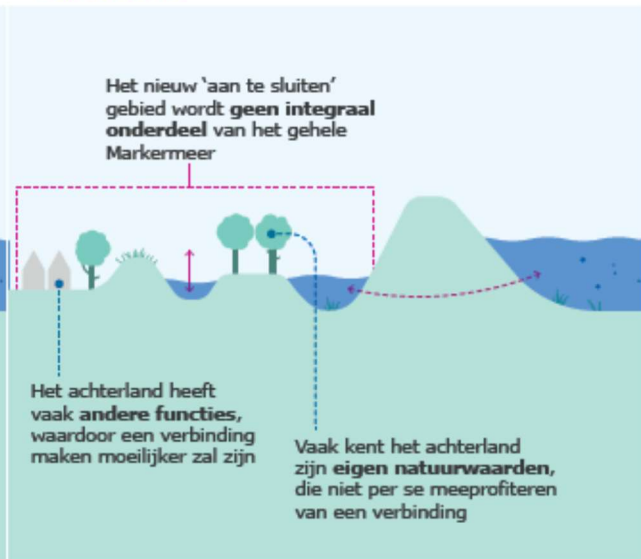
Hoe?



+ Kansen

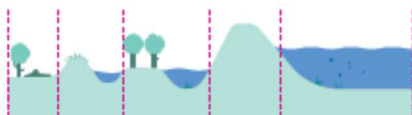


- Risico's



HUIDIGE SITUATIE VAN VERBINDEN MET ACHTERLAND

Door dijken zijn er harde grenzen ontstaan voor planten en dieren, waardoor leefgebieden ontbreken en planten en dieren hun levenscyclus niet of onvoldoende kunnen voltooien. Bovendien is er geen natuurlijke aanvoer van voedingsstoffen zoals fosfor en koolstof.



Advies

Verken de geschiktheid van achterlandgebieden met bestaande natuurwaarden voor verbinden met het Markermeer (kansen en risico's). Verken de maatschappelijke haalbaarheid van nieuwe verbindingen met achterland dat nu andere functies heeft dan natuur. Breng in beeld hoe verbindingen met achterland kunnen worden vormgegeven, om natuurwinst te behalen voor het Markermeer en vooruitgang voor het achterland.

7.6. Conclusie

Dit hoofdstuk beschrijft vier clusters van herstelmaatregelen die zijn bedacht om het ecologisch functioneren c.q. de natuurwaarden van het Markermeer te ondersteunen. Verschillende van deze maatregelen zijn al toegepast in het IJsselmeergebied, op wisselende schaal. Op basis van de resultaten van de reeds uitgevoerde projecten en de compilatie van de ecologische kennis in de voorafgaande hoofdstukken is per maatregel(cluster) uitgeschreven welke mogelijkheden er zijn voor de beoogde natuurversterking. Daarbij zijn ook de kansen en risico's benoemd die zijn verbonden aan de uitvoering van maatregelen. Ook aan bod komt nut en noodzaak van verdere uitrol per maatregel en hoe deze - op hoofdlijnen- het beste uitgevoerd c.q. ingebed kan worden.

Naast de vier cluster van herstelmaatregelen willen wij twee kansrijke maatregelen noemen die niet hierin zijn opgenomen, maar waarvoor nadere studie nodig is. De eerste is vergroting van de peildynamiek, ook al eerdergenoemd voor de toekomst door o.a. Iedema et al. (1996). In de Kamerbrief Water en Bodem zijn hier beleidsuitspraken gedaan. Het betreft de optie om de huidige zoetwaterbuffer van 20 cm naar 50 cm te vergroten, door het zomerpeil verder te laten uitzakken en eventueel hoger op te zetten bij verwachte langdurige droogte. Daarnaast dient de waterafvoer naar de Waddenzee vanuit het IJsselmeer veilig gesteld te worden, ook als de zeespiegel stijgt. Dit betreft de optie om het winterpeil met 30 cm te laten meestijgen. Dat kan betekenen dat het waterpeil in totaal 80 cm kan fluctueren. Als deze fluctuatie betekent dat het waterpeil op een natuurlijkere manier gaat bewegen (dus niet elk jaar hetzelfde en in de zomer lager dan in de winter), kan en zal dat ook positieve ecologische gevolgen hebben. Voor het Markermeer is dit effect bij de huidige morfologie (nog) relatief klein door het nagenoeg afwezig zijn van gebieden tussen 0,5 m onder en 0,5 m boven gemiddeld waterpeil. De recent aangelegde projecten, zoals Trintelzand en Marker Wadden, kunnen hiervan echter wel gaan profiteren doordat deze gebieden veel areaal vlak boven en onder de waterspiegel toevoegen en dus soms water bevatten en soms zullen droogvallen. Een andere maatregel is het beter verbinden van het Markermeer met het IJsselmeer, ook al eerdergenoemd door Remmelzwaal (2007). Het Markermeer en IJsselmeer hebben hun eigen karakter, vooral veroorzaakt door het verschil in bodemtype en verblijftijd. Het verbinden van de twee systemen is in elk geval voor het Markermeer een kans omdat er a) meer dynamiek van waterpeil mogelijk is, b) meer uitwisseling van vis kan optreden, c) meer uitwisseling van stoffen plaats zal vinden en d) een geleidelijke en wisselende gradiënt van helderheid en voedingstoffen gaat ontstaan. Een dergelijke oplossing zal kostbaar zijn als dit betekent dat een nieuw kunstwerk nodig is. Of het gewenste ecologische effect ook behaald kan worden met bestaande kunstwerken is onzeker. Sinds enkele jaren is het beheer van de spuisluizen in de Houtribdijk gericht op het een meer open verbinding om o.a. vismigratie te faciliteren. De sluisen staan bij kleine peilverschillen vaker open, met een kleine opening. Een evaluatie van de effecten hiervan in relatie tot de ecosysteem-ontwikkeling heeft nog niet plaatsgevonden.

De praktische toepasbaarheid van het verkregen kennisoverzicht (eerste zes hoofdstukken) voor de onderbouwing van nut en noodzaak en de implementatie van herstelmaatregelen is ietwat teleurstellend. Aan de basis van het gehele project lag het knelpunt van de stagnerende ecologische draagkracht van het Markermeer voor roofvis en watervogels, belangrijke doelvariabelen voor de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000. De afgenomen rol van het gebied voor aangewezen Vogelrichtlijn-

doelen blijkt vooral te liggen in een stagnerende primaire productie door aquatische algen. Die stagnerende productie is vooral veroorzaakt door een afgenomen aanvoer van fosfor (belangrijke voedingsstof voor algen), die niet opgevangen wordt door nalevering of interactie met fosfor uit de waterbodem.

Diverse maatregelen hebben de insteek gehad om op een of andere manier tegemoet te komen aan het ontstane gebrek aan nutriënten dan wel de stagnerende primaire productie in het open water van het Markermeer door o.a. te streven naar meer luwte en daardoor helderder water, meer interacties en uitwisseling van stoffen (koolstof en nutriënten) met aangrenzend land door de aanleg van vooroevers en/of eilandjes. Het lokaal creëren van helderder water via een toename van luwtegebieden, al dan niet in combinatie met de aanleg van eilanden, blijkt niet of nauwelijks bij te dragen aan een verhoging van algenproductie, omdat de beperking toch vooral ligt in een beperkte beschikbaarheid van fosfor.

De aanleg van eilanden gaat sowieso al in enige mate ten koste van het areaal potentieel productief open water, maar als dat bovendien ook plaatsvindt met materiaal uit speciaal ervoor te graven diepe putten of geulen, neemt de beschikbaarheid van fosfor in de waterkolom naar het zich nu laat aanzien verder af. De conclusie luidt dan ook dat aanleg van eilanden, die gepaard gaat met toenemend luw gebied en ondiep water, weliswaar lokaal een positieve bijdrage kan leveren aan de productiviteit en draagkracht van het water (vooral door een bijdrage via de detritusketen), maar dat de potentiële verliesposten vooralsnog ook zodanig groot zijn dat vooralsnog terughoudendheid moet worden geadviseerd ten aanzien van doorontwikkeling van eilanden in het Markermeer. Aanleg van alleen extra luwtegebieden is ook geen oplossing die significant zal bijdragen aan herstel van het Markermeer. Watervogels vinden toch al bij elke windrichting luw rustgebied en een impuls van de primaire productie door lokaal helderder water kan eigenlijk niet worden verwacht.

Een versterking van de ooit waarschijnlijk intensievere water- en bodeminteractie, bv. door het stimuleren van (terugkeer van) bodemberoerende vissen als brasem of ook eventueel karper, is ook bediscussieerd, maar nog niet in de praktijk uitgeprobeerd. Uit de theoretische bespiegeling komt naar voren dat we vooralsnog nog onvoldoende weten over de hier spelende processen om een voldoende betrouwbare voorspelling te doen ten aanzien van de vraag of door versterkte water- en bodeminteractie nalevering van fosfor gestimuleerd zou kunnen worden, zoals in andere meren en proeven wel het geval is (Breukelaar et al., 1994).

Uiteindelijk verwachten we, zeker op de wat langere termijn, nog de beste kansen voor het gewenste natuurherstel door meer in te gaan zetten op functionele verbindingen met het achterland, zodat zowel nutriënten als watergebonden organismen minder opgesloten komen te zitten in het Markermeer en er een betere en completere uitwisseling van water, stoffen en organismen tussen verschillende aquatische en semi-aquatische leefgebieden tot stand kan komen. In feite is deze bevinding niet echt nieuw: al eind vorige eeuw suggereerden Iedema et al. (1996) dat een serieuze kwaliteitsimpuls voor het IJsselmeergebied vooral te zoeken zou zijn in een herstel dan wel versterking van de ecologische relaties tussen de meren en grote delen van het achterland. De noodzaak om de richting van het achterland te kijken, is nu echter groter dan ooit.

8 Samenvatting en conclusie

Een 'klassieke' voedselwebstudie, modellen en experimenten van onderzoekers en adviseurs van diverse instellingen leggen veel geheimen bloot van het Markermeer. De waterkwaliteit is verbeterd: het doorzicht, de watervegetatie en de waterplantenetende watervogels zijn toegenomen. Niettemin zijn en blijven algen de belangrijkste basis voor de biologische productiviteit van het Markermeer voor alle vogels, vissen en andere waterdieren die er leven. En wat in het voedingsstofrijke Nederland onmogelijk leek, is gebeurd in het Markermeer waar nu honger heerst: de productie van algen is gedaald en waterplanten zijn onvoldoende in staat het verlies van algenproductie te compenseren. Ons onderzoek laat verder zien dat alle dieren de volledige voedselproductie nodig hebben om in leven te blijven, terwijl in andere meren slechts rond de 60% nodig is. Verder is het aannemelijk dat niet alleen de maatregelen uit het waterbeleid verantwoordelijk zijn voor de afname van voedingsstoffen maar ook dat diepe putten meer dan de helft van de inkomende voeding (fosfor, de groei-limiterende voedingsstof) uit het Markermeer in de bodem vastleggen. De effecten van eutrofiëring zijn dus succesvol teruggedrongen maar betekenen ook een lagere draagkracht van het ecosysteem. Op basis van ons onderzoek en andere kennis zijn diverse maatregelen tegen het licht gehouden en de kansen en risico's in beeld gebracht om het Markermeer ecologisch zo goed mogelijk te laten functioneren. De draagkracht van het Markermeer vergroten kan het best door verbindingen te maken met voedselrijk water en/of moerassen in het achterland, zoals project Oostvaardersoevers beoogt, maar ook via andere aanvoerroutes van water, zoals wellicht uit Noord-Holland of Flevoland. Om deze effecten te kwantificeren is nadere studie nodig. Hoewel het aanleggen van luwte maatregelen of eilanden, zoals de Marker Wadden, veel kansen bieden voor specifieke soorten en leefgebieden, zijn deze maatregelen minder kansrijk voor het verbeteren van de draagkracht voor vogels die vis of mosselen eten. Deze maatregelen kunnen verlies leveren aan foerageergebied van deze vogels en bieden geen of slechts een beperkte oplossing voor het tekort aan voedingsstoffen voor de productie door algen, de basis van bijna al het voedsel. Het vergroten van luwtegebieden biedt kansen voor rustende watervogels mits de regulering en handhaving op verstoring door waterrecreatie goed is geregeld. De vraag wat de waterbodem kan betekenen in het vergroten van de productie van algen is niet opgehelderd in deze studie, maar lijkt weinig duurzaam handelingsperspectief te bieden.

De resultaten maken aannemelijk dat de draagkracht voor Natura2000 soorten, zoals vogels die vis of mosselen eten, nu minder is dan in de periode waarmee de doelen zijn afgeleid. Hierdoor zullen naar verwachting een aantal van deze Natura2000 soorten hun doelen niet bereiken. Als de draagkracht met maatregelen, zoals verbindingen met moerassen of toevoer van voedselrijk water onvoldoende kan worden vergroot dan blijft een tekort aan voedsel aannemelijk.

Omdat de volledige draagkracht van het Markermeer gebruikt wordt door de consumenten, is het belangrijk extra voorzichtig te zijn met het vergunnen van nieuwe activiteiten die de draagkracht van het Markermeer kunnen aantasten, zoals de ontwikkeling van diepe putten die fosfor verzamelen of andere activiteiten die effecten hebben op voedsel en de bereikbaarheid of bruikbaarheid daarvan.

9 Evaluatie en aanbevelingen

Naast de inhoudelijke doelstellingen en resultaten heeft het project Levend Markermeer ook tot een aantal ander type resultaten geleid, namelijk;

- Het meewerken aan kennisontwikkeling door RWS zelf;
- Het stimuleren van doorstroming van kennis naar nieuwe en jongere collega's;
- Ervaringen met het werken in een brede kenniscommunity, met RWS als trekker en middelpunt;
- Producten die bijdragen aan een beter begrip van het ecologisch functioneren, als brug van kennisdragers naar beheerders en beleidsmedewerkers, ook buiten RWS.

Deze resultaten evaluerend komt dat tot een aantal aanbevelingen:

Het werken in een projectgroep en het regelmatig organiseren van brede bijeenkomsten voor de gehele werkgemeenschap is zowel door de opdrachtgever als deelnemende partijen als een goede en waardevolle werkvorm ervaren. Een belangrijke sleutel in dat succes was dat er inbreng was (zowel betaald als onbetaald) van diverse partijen die elk hun eigen expertise of vragen inbrachten. Bij de start van het project waren de agenda's sterk gericht op de inhoudelijke onderwerpen en discussies over de werking van het voedselweb in het Markermeer. Daarna is steeds meer aandacht gegeven aan de interactie met beleid en beheer, vooral om de kansen en risico's van het handelingsperspectief te maken. Het concept van een werken in een netwerk van onderzoekers, adviseurs/specialisten, inwinners van data, beleidsmakers en beheerders aan gezamenlijke doelen en vragen (zoals hoe is het voedselweb van het Markermeer veranderd en wat betekent dat voor de doelen van Natura2000 en KRW, en wat is het handelingsperspectief?) heeft gezorgd voor een breder begrip van het ecologisch functioneren van het Markermeer. Dit leidde tot een aantal producten die bijdragen aan het overbrengen van kennisdragers naar beheer, inrichting, uitvoering en beleid. Dit komt de bruikbaarheid en brede inzet van de kennis zeer ten goede. Het werken met een brede werkgemeenschap en betrokkenheid van gebruikers van kennis in een kennism Gemeenschap smaakt naar meer. De overdracht van kennis aan jongere collega's is gedaan met diverse stageopdrachten door studenten en een promovendus aan de Universiteit van Amsterdam. Dit is als waardevol ervaren. De ambities lagen aan de start van het project hoger qua omvang van betrekken van de jongere collega's.

Het project kent ook een aantal open einden. Zo is de rol van de waterbodem niet geheel duidelijk geworden, doordat de oorzaak van de beperkte interactie tussen water en bodem niet achterhaald kon worden. De bodemchemie en de kwantificering van vastlegging van fosfor is wel een opgave waar meer kennis kan helpen om te begrijpen waarom bijvoorbeeld de Oostvaardersplassen heel voedselrijk water bevatten en het Markermeer juist niet, terwijl de bodem vergelijkbaar is.

Daarnaast verdient het de aanbeveling te onderzoeken wat de haalbaarheid is van aanvoer van fosfor uit aanliggende wateren en wat het kan betekenen voor de draagkracht van het Markermeer. Het is daarbij wel belangrijk het Eem- en Gooimeer niet verder te belasten omdat dit waterlichaam nog niet voldoet aan de doelstellingen voor KRW voor nutriënten. Dit zou een onderwerp kunnen zijn voor

het Natuurlijker Marker- en IJmeer overleg of de preverkenning maatregelen Zuidelijke Randmeren als onderdeel van de Programmatische Aanpak Grote Wateren. Validatie van de rol van diepe putten in de accumulatie van fosfor zal in het nieuw te ontwikkelen beleid voor een zandwinning in het IJsselmeergebied verder worden uitgewerkt. Tot slot zijn nu soms grote aannames voor de werking van het voedselweb gedaan die betere onderbouwing kunnen gebruiken. In de PhD studie in samenwerking met Rijkswaterstaat en de Universiteit van Amsterdam zal daar aandacht voor zijn. In onze studie is een kleine uitstap gemaakt naar het voedselweb naar het IJsselmeer, maar de vergelijking met het verleden is daar niet gemaakt. Ook de andere waterlichamen in het IJsselmeergebied zijn buiten beschouwing gebleven maar kunnen veel kennis genereren over het belang van primaire producenten in verschillende leefgebieden (zoals diep water, ondiep water met en zonder waterplanten, moerasgebieden).

Tot slot is in deze studie aannemelijk gemaakt dat Natura2000 doelen voor sommige vogelsoorten niet of moeilijk te halen zullen zijn. De betekenis hiervan voor water- en natuurbeleid was geen onderdeel van deze studie.

10 Literatuur

Anonymus 1996. Oeverplanten over eigenschappen en toepassingen in het water- en oeverbeheer RIZA notanr 96.001 ISBN 903694564X

Beauvesère-Storm A. de 2021. Soortensamenstelling en abundantie van meso-zoöplankton uit de Rijkswateren MWTL meetjaar 2020. Eurofins / AquaSense BM20.06.

Berg M.S. van den, Joosse W. & Coops H. 2003. A statistical model predicting the occurrence and dynamics of submerged macrophytes in shallow lakes in the Netherlands *Hydrobiologia* 506–509: 611–623.

Breukelaar A.W., Lammens E.H.R.R., Klein Breteler J.G.P. & Tátrai I. 1994. Effects of benthivorous bream (*Abramis brama*) and carp (*Cyprinus carpio*) on sediment resuspension and concentrations of nutrients and chlorophyll a. *Freshwater biology*: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb00871.x>.

Brinkmann B. W., Vonk J.A., Beusekom S.A.M. Ibanez M., Lucas Pardo M.A., Noordhuis, R., Manders, E. M. M., Verspagen, J. M. H., & van der Geest, H. G. 2019. Benthic hotspots in the pelagic zone: Light and phosphate availability alter aggregates of microalgae and suspended particles in a shallow turbid lake. *Limnology and Oceanography*, 64(2), 585-596. <https://doi.org/10.1002/lno.11062>.

Burik J. van 2022. Phytoplankton dynamics in lake Markermeer based on model results and Fast Rate Repetition fluorometry measurements. Master Thesis University of Amsterdam, IBED.

Campbell R.R. & Leatherland J.F. 1980. Estimating Body Protein and Fat from Water Content in Lesser Snow Geese. *J. Wildl. Manage.* 44: 438–446. doi:10.2307/3807975.

Cramp S. & Simmons K.E.L. 1977. *The Birds of the Western Palearctic. Vol. I. Ostrich to Ducks.* Oxford University Press, Oxford, London, New York.

Cramp S. & Simmons K.E.L. 1980. *The Birds of the Western Palearctic. Vol. II. Hawks to Bustards.* Oxford University Press, Oxford, London, New York.

Cramp S. & Simmons K.E.L. 1983. *The Birds of the Western Palearctic. Vol. III. Waders to Gulls.* Oxford University Press, Oxford, London, New York.

Cramp S. 1985. *The Birds of the Western Palearctic. Vol. IV. Terns to Woodpeckers.* Oxford University Press, Oxford, London, New York.

Duin, O van. 2022. Balansen en fluxen van water, chloride, N en P Markermeer. Rapport 11206831-003-BGS-0004. Deltares, Delft.

Emmerik W.A.M. van & Laak de G.A.J. 2014. Visonderzoek achteroever Koopmanspolder. Rapport Sportvisserij Nederland.

Emmerik W.A.M. van & Quak J. 2021. Functies van land-waterovergangen voor vissen 2021. Kennisdocument Sportvisserij Nederland.

Geest H.G. van der, Vonk J.A. & Ouboter M.R.L. 2018. Reconstructie water- en stoffenbalans Markermeer 1976-2015. Rapport. In opdracht van Rijkswaterstaat. Oktober 2018. Universiteit van Amsterdam & Waternet. Amsterdam.

Haan M. de, Schoffelen N., Teurlincx S. & Senerpont Domis L.N. de 2019. Voedselweb en productiviteit van het Markermeer. Markermeer productiviteit. BG2580WATRP1903071409. RoyalHaskoningDHV, Akwa (NIOO).

Iedema W., Platteeuw M. & Rijsdorp A. 1996. Natuur in het Natte Hart: een verkenning van de kansen voor natuurontwikkeling in het IJsselmeergebied. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Rijksdienst voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit, Lelystad, ISBN 9036911672.

Kandyliis K. 1984. Toxicology of sulfur in ruminants: review. J Dairy Sci 67(10):2179-87.

KIMA 2022. Syntheserapport, De eerste vijf jaar onderzoek op Marker Wadden.

Klinge M. (1997). Visstandonderzoek in de Binnenschelde in 1997. Witteveen en Bos, Rap/70/384.

Lammens E.H.R.R. 1999. Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer. Veldgegevens, hypothesen, modellen en scenario's. RIZA Rapport 99.008.

Lauwaars S.G. & Platteeuw M. 1999. Een groene riem onder het Natte Hart : evaluatie van natuurontwikkelingsprojecten in het IJsselmeergebied. RIZA-rapport 99.030. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad, ISBN 9036952549.

Lensink R. 2022. Modelling the food web of Lake Marken in Ecopath with Ecosim. Master 2022 M62, Wageningen University.

Leeuw J.J. de, Tien N.S.H., Hammen T. van der en Smith S.R. 2021. Vissen binnen ecologische randvoorwaarden. Maatwerk voor een veranderend IJsselmeer en Markermeer. Landschap 2021-1.

Marbus J. & Marbus I. 2007. Natuurontwikkeling in De Kreupel loopt prima. Natura 7 (1): 6-8.

Meijer M.L. & Breukelaar A.W. 1988. Het effect van vis op de waterkwaliteit : onderzoek in proefvijvers in het Wolderwijd 1987. Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directie Flevoland, Commissie Bestrijding Overmatige Algenbloei Randmeren (BOVAR).

Meijers, E.M.; A.C. Bijlsma, F.A. Buschman, M. Genseberger & O.J.M. van Duin. 2021. Uitwisseling van water tussen Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal en Markermeer. Rapport 11205273-002-BGS. Deltares, Delft.

Ministerie van IenM & RWS 2017. Factsheets KRW.

- Nieuwkamer R., Boomen R. van den, Herik K. van den & Rijsdijk R.E. 2006. Bestrijding van eutrofiëring in de zuidelijke randmeren. H2O 11: 29-32.
- Noordhuis R. 2010. Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.
- Noordhuis R., Groot S., Dionisio Pires M. & Maarse M. 2014. Wetenschappelijk eindadvies ANT-IJsselmeergebied : vijf jaar studie naar kansen voor het ecosysteem van het IJsselmeer, Markermeer en IJmeer met het oog op de Natura-2000 doelen. Deltares.
- Noordhuis R., Genseberger M. & Harezlak V. 2022. Fosfaat in het Markermeer-IJmeer; Een ruimtelijk gedifferentieerde balansstudie Deltares 11206217-016-ZWS-0001.
- Noordhuis R. 2022. Markermeer helder of troebel? Trends en ruimtelijke variatie in water- en bodemkwaliteit van het Markermeer en de invloed van Marker Wadden daarop. Deltares rapport in prep.
- Noordhuis R. & Vonk J.A. 2022. Stoffentransport Oostvaardersoevers. Deltares en Universiteit van Amsterdam rapport 11208073-005.
- Oortwijn T., Fouw J. de, Petersen J.M. & Gils J.A. van 2022. Sulfur in lucinid bivalves inhibits intake rates of a molluscivore shorebird. *Oecologia* 2022 199:69-78.
- Rommelzwaal A. (ed.) 2007. Een ecologisch perspectief voor het IJsselmeergebied. RIZA-rapport 2007.008. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad. ISBN 97836913768.
- Riel M.C. van, Verdonschot P.F.M. en Dekkers D.D. 2017. Markermeer bodemfaunakaractering 2016 en MWTL-analyse MWTL data. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research. Wageningen.
- Rijk S. de en Dulfer W. 2021. Mid Term Review Kennis en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA). Deltares.
- Rijn S. van 2020. Methodiek bijschattingen aantallen watervogels open water IJsselmeer en Markermeer vanuit lustellingen. Rapport Delta Milieuprojecten, Culemborg.
- Rijn S.H.M. van & Eerden M.R. van 2021. Actualisatie Doeluitwerking Vogelrichtlijnsoorten IJsselmeergebied 2020. Deltamilieu Projecten Rapportnr. 2021-08.
- Rijsdorp A., Eerden M.R. van, Menting, G., Remmelzwaal, A. & Scheer A. van der 2000. Notitie vegetatieontwikkeling op de Kreupel. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.
- Sarpe D., Senerpont Domis L.N. de, Declerck S.A.J., Donk E. van & Ibelings B.W. 2014. Food quality dominates the impact of food quantity on *Daphnia* life history: possible implications for re-oligotrophication, *Inland Waters*, 4:4, 363-368, DOI: 10.5268/IW-4.4.701.

Schoffelen N. 2021. Voedselweb Ecopath berekeningen IJsselmeer Markermeer. BH5816WATRP2011301319. RoyalHaskoningDHV.

Schutten J., DAINTY J. & Davy A.J. 2005. British Ecological Society Blackwell Publishing, Ltd. Root anchorage and its significance for submerged plants in shallow lakes Journal of Ecology 200593, 556 – 571.

Tosserams M., Vulink J.T. & Coops H. 1999. Tussen water en land : perspectief voor oeverplanten in het Volkerak-Zoommeer : eindrapportage 'Planten in de peiling'. RIZA-rapport 99.031. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad. ISBN 9036952557.

Troost T. 2020. Primaire productie berekeningen Markermeer, 2020. Deltares.

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

Verdonschot R.C.M., Vries J. de, Lee G.H. van der, Bakker A., Noord A.-M. van, Verdonschot P.F.M. 2021. Verbrede blik op het voedselweb en het 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. Rapport Wageningen Environmental Research.

Vonk J.A., Verhofstad J.M.M. en Geest H.G. van der 2019. Ondergedoken waterplanten in het Markermeer: vragen en antwoorden. Rapport Universiteit van Amsterdam, november 2019.

Bijlage 1. Lijst met uitbestedingen/producten werkgroep Levend Markermeer

2018

- Verkenning productiviteit. Voedselweb en productiviteit van het Markermeer. RHDHV, Martin de Haan et al.

2019

- Bepaling biomassa macro-invertebraten per functionele groep in drie series monsters die in 2016 in het Markermeer genomen zijn. WUR, Piet Verdonschot
- Omzetten van de IJsselmeer gegevens en nieuwe Markermeer gegevens naar biomassa's (1). RHDHV, Niels Schoffelen
- Analyse waterbodem Markermeer, zwavelbacterien Deltares, Ruurd Noordhuis

2020

- Abiotiek, nutriënten en primaire productie Markermeer. Deltares, Tineke Troost
- Lusbijschattingen vogeltellingen IJsselmeer en Markermeer. Delta milieuprojecten, Stef van Rijn
- Berekeningen potentiële primaire productie IJsselmeer en Markermeer Deltares, Tineke Troost
- Omzetten van de IJsselmeer gegevens en nieuwe Markermeer gegevens naar biomassa's (2). RHDHV, Niels Schoffelen
- Het bodemvoedselweb in het Markermeer. Rol van zwavelbacteriën – wormen – brasem. WUR, Piet Verdonschot, Ruurd Noordhuis, Joey Volwater, Joep de Leeuw, Marielle van Riel
- Vergelijking voedselwebben Markermeer oud, huidig en IJsselmeer huidig op basis van nieuwste modellering.
 - o Ecopath modellen Markermeer en IJsselmeer. NIOO, Sven Teurlinckx
 - o Voedselweb ecopath berekeningen IJsselmeer Markermeer. RHDHV, Niels Schoffelen

2021

- Fosfaat en koolstofbalans van het Markermeer met ruimtelijke differentiatie en de rol van factoren als vis en wind. Deltares, Ruurd Noordhuis et al.

Bijlage 2. Ecopath functionele voedingsgroepen

Hoofdgroep	Functionele voedingsgroepen
Fytoplankton	Cyanobacteriën
	Groenalgen
	Diatomeeën
Zooplankton	Shredders
	Grazers/raspers
	Actieve filteraars
	Passieve filteraars
	Detritus voeders
	Bladboorders/mijners
	Xylophagen
	Predatoren
	Parasieten
Omnivoren/overig	
Macrofauna	Fijne detritus ($\leq 1\text{mm}$)
	Dood plantenmateriaal ($> 1\text{mm}$) - detritivoor op grof organisch materiaal
	Levende microfyten - herbivoor op algen
	Levende macrofyten - herbivoor op mossen en hogere planten
	Dood dierlijk materiaal ($> 1\text{mm}$) - aaseter
	Fijn sediment + micro-organismen - omnivoor op fijn organisch materiaal, micro-organismen (levende en dode algen en microfauna)
	Opportunisten (detritivoor, herbivoor, carnivoor op grotere dieren)
	Levende micro-invertebraten - carnivoor op microfauna
Levende macro-invertebraten - carnivoor op macrofauna	
Waterplanten	Draadwieren
	Kranswieren
	Fonteinkruiden
	Overige waterplanten
Vissen	Planktivoor
	Benthivoor
	Piscivoor
Vogels	Benthoseters
	Bovenste waterlaag vis
	Oppervlak vis
	Hele waterlaag vis

Bijlage 3. ECOPATH Dieet aannames

Predatoren:

- inter-gilde predatie
- gelijke predatie op alle groepen
- macro = macroinvertebraten
- micro = zooplankton

Zooplankton

- elke voedselstrategie/bron voor een groep heeft gelijk gewicht (dus een groep consumeert grofweg evenveel in beide voedselbronnen, indien er meerdere zijn)
- Omnivorie betreft alle mogelijke voedselbronnen voor zooplankton
- Grazing heeft betrekking op fytobenthos, grof en fijn dood materiaal en alle plantengroepen. Hierin wordt de voorkeur gelijk verdeeld over alle planten, waarbij de plantengroep weegt als een enkele voedselgroep.
- Dus, als een soort DET en PRE heeft dan wordt aangenomen dat 50% van de consumptie in de detritus pool zit (Fijn dood organisch materiaal) en 50% in de predator voedselgroep (alle zooplankton groepen). De consumptie van 50% predator wordt gelijk verdeeld over de verschillende zooplankton groepen.

Planktivore vis:

- Preferentie voor niet-predatoren (3/6 zooplankton groepen)
- 80% consumptie niet predatoren, verdeeld over drie groepen
- 20% consumptie wel predatoren, verdeeld over drie groepen

Benthivore vogels

- 50% dieet is bivalve
- Rest gelijk verdeeld over macrofauna groepen

Benthivore vogels

- Directe 15% consumptie organisch materiaal (7.5% grof 7.5% fijn)
- Bivalven op 1%, moeilijk eetbaar door schelp
- Overige consumptie verdeeld over rest van de macrofauna groepen

Aanpassingen sluitend model

- Verminderde consumptie op planktivore vis door visetende vis en vogels
- Bijna hele visbestand wordt omgezet, zowel planktivor als bentivor als visetend.
- Zooplankton GRA en GRA+ aangepast, productie lijkt vele malen te laag
 - GRA = cladocera waarde uit Kao
 - GRA+ = predatory cladoceran waarde uit Kao
- Schatting gemaakt van fytobenthos met ruwe consumpties en $EE=0.9$
 - Deze vervolgens als biomassa opgelegd aan het model

Productie en consumptiegetallen voor vissen IJsselmeer, consumptiegetallen vogels IJsselmeer, productie en consumptie macrofauna

