



Syntheserapport **KIMA**

De eerste vijf jaar onderzoek
op Marker Wadden

Syntheserapport KIMA

De eerste vijf jaar onderzoek op Marker Wadden

Deltares



Inhoud

Voorwoord	4
Samenvatting	5



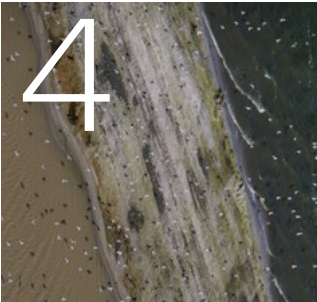
Introductie	11
Leeswijzer	12
Verantwoording	13



Kennis- en Innovatie programma Marker Wadden (KIMA)	14
Evaluatievragen beleid	15
Onderzoeksvragen KIMA	16
Structuur van KIMA	16
Datamanagement en KIMA	17



Pre- Marker Wadden	18
Bestuurlijke context	19
Ondiep troebel windgevoelig meer	19
Lage habitatdiversiteit	22
Waterkwaliteit	22



Aanleg en pioniersituatie Marker Wadden	24
Eilanden bouwen met slib	25
Randen van zand	29
Ecosysteem van waarde	32



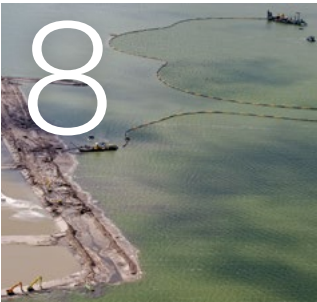
Belang van Marker Wadden voor het functioneren van het Markermeer	43
Effect Marker Wadden op slib dynamiek Markermeer	44
Helder Troebel Plan	45
Bijdragen aan Natura 2000-doelen	51
Betekenis op landschap schaal	53



Adaptieve governance	56
Lessen van het aanlegproject	57
Participatieve monitoring	58
Lessen van de aanbestedingsstrategie	60
Financiering	62
Lessen van KIMA	65
Kennispositie	70



Vooruitkijken: duurzaamheid van de huidige situatie	72
Wat leren we van andere natuurprojecten?	73
Ontwikkeling van de eilanden	76



Vooruitkijken: aanbevelingen voor aanleg en beheer	78
Bouwen met slib	79
Bouwen met zand	81
Creëren van een Ecosysteem van waarde	81
Adaptieve governance	84



Het leren binnen KIMA	86
Wat hebben we geleerd?	87
Aanbevelingen voor verder onderzoek	91

Bijlage I	Evaluatie onderzoeksvragen	95
Bijlage II	Referenties	102
Colofon		104

Voorwoord

Als directeur bij Rijkswaterstaat neem ik graag gasten mee naar de Marker Wadden, de eilandenarchipel die de laatste jaren is aangelegd in het Markermeer. Behalve dat het gelegenheid biedt even helemaal uit de normale kantooromgeving te komen, vormt het ook een plek waar alle beheeraspecten van waterveiligheid, drinkwatervoorziening, waterkwaliteit, natuur en klimaatadaptatie samen komen. Daarmee biedt het een prachtige illustratie voor de vragen die spelen in het waterbeheer in Nederland.

Marker Wadden is een uniek project in het Markermeer met als doel de natuurwaarde en de ecologische kwaliteit van het Markermeer te versterken. Marker Wadden is niet alleen uniek door de schaal van de ingreep, maar ook door de opzet, waarbij de Vereniging Natuurmonumenten het initiatief nam en in samenwerking met de overheid (Rijkswaterstaat) tot daadwerkelijke realisatie kwam. De innovatieve opzet van Marker Wadden leent zich natuurlijk bij uitstek om van te leren en de Minister van Infrastructuur en Waterstaat heeft Rijkswaterstaat daarom al bij de start gevraagd het project te monitoren en te evalueren.

Om deze evaluatie goed te kunnen onderbouwen is in 2017 het Kennis en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA) gestart, waarin Rijkswaterstaat, Natuurmonumenten, Deltares, universiteiten en ingenieursbureaus gezamenlijk hebben geïnvesteerd en dat daarna in gelijkwaardig partnerschap is uitgevoerd. Daarbij heeft de integratie van monitoring door de overheid, toegepast onderzoek door Deltares en de ingenieurs en academisch onderzoek door de universiteiten, gecombineerd met de ervaringen van de bouwers tijdens de aanleg, geresulteerd in een overweldigende hoeveelheid data. Daardoor kon in heel korte tijd veel kennis en inzicht worden opgedaan, dat deels al direct beschikbaar was voor de bouwers en beheerders van Marker Wadden, maar ook van nut is voor beslissingen over toekomstige ontwikkelingen en beheer van het gebied.

Al die kennis en ervaring is samengebracht in het hier voor u liggende Syntheserapport KIMA, dat input vormt voor de Beleidsevaluatie Marker Wadden 2022 en de beleidsbeslissingen die genomen zullen worden over de eventuele tweede fase uitbreiding Marker Wadden en andere ingrepen in het Markermeer en IJsselmeer, in het kader van de Programmatisch Aanpak Grote Wateren (PAGW). Met als doel de ecologische veerkracht van de grote wateren in Nederland te versterken.

Ik ben trots dat we via het KIMA programma leren van het project Marker Wadden en zo kunnen bijdragen aan de inhoudelijke onderbouwing van goede beleidsbeslissingen. Zo vormt KIMA als concept een voorbeeld om van het ene project te leren opdat volgende projecten weer beter kunnen worden ontwikkeld en uitgevoerd, bijvoorbeeld in de PAGW, maar wellicht ook daarbuiten.



Katja Portegies

Voorzitter Stuurgroep KIMA

Directeur Veiligheid en Water Rijkswaterstaat WVL

Samenvatting

De eilanden van Marker Wadden leverden snel na aanleg een boeiende nieuwe natuur; naast vele vogels verschenen er waterplanten en vissen. Marker Wadden heeft het aantal en de diversiteit van leefgebieden voor een aantal vogelsoorten in het Markermeer aanzienlijk vergroot. Bovendien werken de eilanden als een stepping stone naar andere gebieden in de omgeving.

Het bouwen van eilanden met lokaal beschikbaar materiaal - zijnde slib en zand - was een succes. Aanvankelijk was er sprake van forse consolidatie (inklinking) van het slib, maar dit proces blijkt na zo'n 2,5 jaar te zijn voltooid. De huidige daling van de bodem varieert per locatie van enkele centimeters tot 5 centimeter per jaar, veroorzaakt door zetting van de ondergrond.

Om Marker Wadden heeft zich slib verzameld (in een slibgeul, putten en aan de luwe zijde), waar voldoende sediment ligt voor het toekomstige onderhoud van de huidige eilanden. Effecten van Marker Wadden op de waterkwaliteit van het Markermeer tekenen zich voorzichtig af; er is een zone met helder water aan de luwe kant van de eilanden. Het totaaleffect op de helderheid van het meer is nog niet goed aan te geven doordat de werkzaamheden zorgen voor opwerveling van slib. Dit opwervelend slib is overigens niet alleen negatief maar zorgt voor nieuwe gradiënten in troebelheid (wat positief is voor vis) en voor het vrijkomen van voedingsstoffen uit de nutriëntrijke bodem.

Marker Wadden is wat betreft governance ook uniek. Dat het initiatief voor zo'n groot project werd genomen door Natuurmonumenten was vernieuwend. De samenwerking tussen Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat was een nieuwe en succesvolle vorm van publiek-private samenwerking. Aanvankelijk was het moeilijk om het bouwproces te verweven met het monitoring- en onderzoeksprogramma, maar gedurende het project zijn er oplossingen gevonden die de uitwisseling mogelijk maakte.

In het Markermeer groeit een nieuwe eilandengroep: Marker Wadden. De eilanden bestaan uit overtollig slib, klei en zand uit de bodem van het Markermeer. De aanleiding voor aanleg van Marker Wadden was de achteruitgang van het ecosysteem en de wens de natuurwaarden te versterken in het Markermeer. Op de bodem ligt een dikke slibdeken die opwervelt als het water door de wind beweegt en zo voor troebel water zorg. Het troebele water heeft gevolgen voor het voedselweb van het Markermeer en voor het leven van onder meer insectenlarven, schaal- en schelpdieren en planten. Ook gaat het ten koste van de rijkdom aan vissen en vogels in het gebied.

Met Marker Wadden wordt beoogd een win-win situatie te creëren: slib van de bodem van het Markermeer krijgt een nieuwe toepassing in natuureilanden. Daardoor verbeteren de waterkwaliteit en het leefgebied onder water en ontstaat er een nieuw natuur- en recreatiegebied. Het project Marker Wadden heeft de volgende beleidsdoelen:

- Het verbeteren van de ecologische kwaliteiten en recreatieve gebruiksmogelijkheden van het Markermeer (bijdragen aan een 'Toekomstbestendig Ecologisch Systeem, TBES');
- De ontwikkeling van een vogelparadijs met een optimale bijdrage aan de Natura 2000-doelstellingen voor het Markermeer en Nederland;
- Leren, monitoren van effecten, en innoveren.

KIMA, het Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden

Bij de start van de aanleg van Marker Wadden waren er nog tal van onzekerheden. Onzekerheden over de techniek van aanleg, over de ontwikkeling van het ecosysteem, de effecten op de omgeving en over de samenwerking tussen de partners in het project. Nooit eerder werd er in Nederland op zo'n grote schaal een totaal nieuw ecosysteem aangelegd en dat riep tal van vragen

op. In 2017 vormde dit voor Rijkswaterstaat, Natuurmonumenten, Deltares en EcoShape de aanleiding voor het opzetten van het Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA). Dit kan gezien worden als een paraplu waaronder alle leer- en onderzoeksactiviteiten plaatsvinden rond Marker Wadden.

KIMA is zo ingericht dat er kennis wordt gegenereerd voor de evaluatie van de beleidsdoelen van Marker Wadden in 2022 én er kennis wordt toegevoegd over de aanleg van een innovatief, grootschalig waterbouw- en natuurontwikkelingsproject. Hiervoor zijn er drie onderzoeksthema's benoemd: Bouwen met slib en zand, Ecosysteem van waarde en Adaptieve governance. Voor elk van deze thema's zijn onderzoeksvragen geformuleerd, die zich zowel richten op de ontwikkelingen op Marker Wadden zelf als op de effecten ervan op het Markermeer.

Het doel van KIMA is om de maatschappelijke meerwaarde van Marker Wadden te vergroten en daarmee de toonaangevende positie van Nederland op het gebied van ecologie, waterbouw en water- governance te behouden en te versterken. Dat gebeurt door, in lijn met de ambities van de Topsector Water, samen te werken met bedrijven, onderzoeksinstellingen, overheden en NGO's.

De natuurlijke processen die plaatsvinden op Marker Wadden verlopen (zoals verwacht) niet snel genoeg om na vier jaar monitoring al vergaande inhoudelijke conclusies te kunnen trekken. Dankzij de samenwerking tussen betrokkenen bij de monitoring, toegepast onderzoek, academisch onderzoek én de aanleg, zijn er echter wel al veel inzichten verkregen in deze korte periode. De verkregen inzichten zijn beschreven in dit rapport. De meer gedetailleerde informatie staat in de onderliggende rapporten, hier wordt steeds naar verwezen in de tekst. Het is goed te beseffen

dat de situatie die is bekeken een pionierssituatie is en de komende jaren zal de situatie zich nog sterk ontwikkelen. Hieronder volgen de eerste conclusies.

Nieuwe inzichten over de aanleg van Marker Wadden

Voor de ontwikkeling van de eilanden zijn er ringdijken van zand aangelegd ('zandige randen'), waardoor er compartimenten ontstonden waarin slib werd gespoten. Na consolidatie (rijping) en inklinking van het slib, werd het proces herhaald, totdat het nieuwe land boven water kwam te liggen. Het onderzoek naar Bouwen met slib vond plaats in drie relatief kleine compartimenten (van 10 hectare), die ook werden gevuld met slib (de zogenaamde slibcompartimenten).

Belangrijkste bevindingen over Bouwen met slib

- Het bouwen van eilanden met het lokaal aanwezige holocene materiaal – het slib – is mogelijk gebleken.
- Tijdens het vullen trad sterke segregatie op. Daarbij kwam dichtbij het vulpunt zandiger materiaal terecht en stroomde het fijnere slibrijke sediment met een hoger organisch gehalte over een grote afstand uit.
- Er trad zakking op, door consolidatie van de sliblaag en zetting van de ondergrond. De gemiddelde dikte van de aangebrachte sliblaag in de slibcompartimenten bedroeg 4,4 meter. Ruim twee jaar later was van hiervan nog ongeveer 2,7 meter over. Dat wil zeggen dat er 1,7 meter zakking is opgetreden, waarvan circa 1,6 meter door consolidatie van het slib en circa 0,1 meter door zetting van de ondergrond. Het consolidatieproces vond vooral plaats in de eerste drie maanden na de vulling (1,3 meter) en is ongeveer na 2,5 jaar voltooid. De zetting van de ondergrond varieert sterk per locatie tussen enkele en 5 cm per jaar en domineert vanaf het tweede jaar de zakking.



- De einddichtheid van het slib in de slibcompartimenten is hoger dan verwacht. De oorspronkelijke verwachting was een dichtheid van 1250 kg/m^3 , maar uit de in de slibcompartimenten gemeten dichtheidsprofielen volgt een gemiddelde bulkdichtheid van ca. 1400 kg/m^3 in de slibrijke profielen en een hogere dichtheid in de profielen met wat meer zand. Dit betekent dat er meer slib nodig is voor de vulling van de compartimenten dan het volume waar in het ontwerp van uit is gegaan.

- Korstvorming heeft een belangrijke invloed op het consolidatieproces. Door de korst neemt de ‘bovenbelasting’ toe en daarmee de kracht die de consolidatie van de verzadigde sliblaag onder de korst aandrijft. Bovendien treedt er in de korst door uitdroging een sterke verdichting op. Het proces van korstvorming bleek al snel na vullen op te treden, resulterend in een toplaag die al binnen enkele weken te betreden was voor ganzen. De doorworteling met vegetatie verliep snel, waarbij riet de bodem veel sterker doorwortelt dan een vegetatie-

bedekking bestaande uit moerasandijvie en rode ganzenvoet. Door de sterke en diepe doorworteling is riet belangrijk voor het vasthouden van slib en het tegengaan van erosie.

- Met peilbeheer is de consolidatiesnelheid gedeeltelijk stuurbaar. Bij een hoog waterpeil wordt de consolidatie vertraagd en bij een laag waterpeil juist versneld.

Belangrijkste bevindingen over randen van zand

- De zandige randen bieden voldoende stabiliteit om de achterliggende slibrijke eilanden te beschermen, ook bij zwaardere stormomstandigheden. Uit metingen door KIMA blijkt wel dat er zijdelings zand verloren kan gaan, onder andere door stromingen, waardoor het profiel landwaarts kan verschuiven. Vooral bij stranden aan de buitenkant van de eilanden kan dat ongewenst zijn.
- De drie onbeschermde verlagingen in de duinenrij – “washovers” - van het Zuidstrand hebben tijdens de onderzoeksperiode (tot 2020) niet als actieve “washover” gefunctioneerd. Mogelijk is er in februari 2020 ten tijde van de Ciara-storm wel enige “overwash” geweest ter plaatse van de meest noordelijk gelegen “washover”. Dit heeft echter niet geleid tot een duidelijke morfologische respons. Het doel van de aanleg van de verlagingen was dat tijdens storm golven overheen zouden slaan, zodat de interactie met het achterliggende gebied zou worden vergroot.
- Zeker in het kader van het Marker Wadden project was de aanleg van een ‘zachte rand’ een bruikbaar en meer natuurlijk alternatief voor het gebruik van een harde constructie.
- Naast de beschermende rol worden de zandige randen zelf steeds meer als natuurlijke overgang gewaardeerd. Ze bieden dieren en planten een leefgebied en vormen daarmee één van de verschillende habitats die Marker Wadden rijk is.

- Verder is het toepassen van (strand)suppleties een uitstekende adaptieve en natuurlijke maatregel voor het tegengaan van lokale achteruitgang van het strand. Het is per definitie echter een tijdelijke oplossing, die lange termijn onderhoud vereist.

Nieuwe inzichten over de pioniersituatie van Marker Wadden

Het bouwen van de eilanden met het voedselrijke holocene slib heeft gezorgd voor direct hoge biologische productie en de snelle kieming en groei van vegetatie. Er ontstond vrijwel direct een pioniervegetatie van met name moerasandijvie en rode ganzenvoet op de ondiepe sliklagen en land-waterovergangen. Onderwatervegetatie zoals fonteinkruiden, kranswieren, aarvederkruid en zannichellia volgden na ruim een jaar.

Belangrijkste bevindingen over het nieuwe ecosysteem:

- De ontwikkeling van een rietmoeras – het gewenste eindbeeld – is pas op enkele eilanden op gang gekomen. De rietontwikkeling kwam vooral op gang middels zaaien en op enkele plekken door het planten van wortelstokken en verspreiding van maaisel, maar alleen als die aanplant werd beschermd tegen vraat door ganzen. Zonder bescherming tegen vraat ontstonden lisdoddevelden waarin riet vrijwel ontbrak. In de natste delen bleef ook geen lisdodde meer over. Inmiddels breidt riet zich in de drogere zones alsnog uit vanuit de beschermde gebieden.
- Het algemene beeld van de visstand is dat met name algemene, niet kritische soorten hun weg hebben weten te vinden naar Marker Wadden.
- De voedselrijke land-waterovergangen, in combinatie met dieper (plantenrijk) water rond Marker Wadden, zijn aantrekkelijk als paaigebied en opgroeigebied voor jonge vis. Als een aanmerkelijk groter deel van de luw gelegen oeverzones zich verder ontwikkelen naar plantenrijke inhammen en

moerasvegetaties, zijn er goede kansen voor een verdere toename van de lokale visstand.

- De diepere, beschutte waterpartijen – zoals de haven en diepe zandwinputten rond Marker Wadden – vervullen een belangrijke rol als refugia voor zowel kleine als grote vis.
- In een paar jaar tijd is er een diverse broedvogelgemeenschap op Marker Wadden ontstaan met 43 soorten in 2020 en 47 in 2021. De eerste broedvogels die zich op de eilanden hebben gevestigd, zijn de soorten die hun nest op kaal zand en tussen de lage pioniervegetatie maken: visdief, dwergstern, kluut, bontbek-, kleine en strandplevier en in een iets later stadium kokmeeuw en zwartkopmeeuw. Bij de broedvogelinventarisatie in 2020 werd – in overeenstemming met de vegetatieontwikkeling – een beginnende gemeenschap van moerasvogels vastgesteld. Behoudens enkele rallen en negen soorten eenden (waaronder de eerste ijseend ooit in Nederland), waren dat vooral rietzangvogels.



- Op en rond Marker Wadden ontwikkelen zich ook nieuwe habitats voor foeragerende en rustende vogels. Deels zijn dat de broedvogels van Marker Wadden zelf, maar ook broedvogels uit omliggende gebieden komen inmiddels hier foerageren. Daarnaast pleisteren er grote aantallen trekvogels in het gebied, aangetrokken door voedsel en rust. Tussen juli 2020 en juli 2021 hebben meer dan 60.000 trekvogels van Marker Wadden gebruik gemaakt.
- Sommige ontwikkelingen in de vogelstand zijn tijdelijk, omdat ze bijvoorbeeld zijn gekoppeld aan pionierstadia in de vegetatiesuccessie. Zonder specifiek beheer zal het habitat voor kale-grond-broeders zoals sterns, plevieren en kluten verschuiven naar de nieuw aangelegde eilanden en tenslotte afnemen. Andere gemeenschappen, zoals de broedvogels van rietland, ruigte en struweel zullen de komende jaren toenemen.
- Het open landschap van Marker Wadden zorgt ervoor dat vogels gevoelig zijn voor verstoring door recreatie (wandelaars en boten), werkzaamheden en onderzoekers. Naarmate eilanden meer met rust worden gelaten benutten meer vogels de eilanden. Dat verschilt per soort. Een zekere mate van gewinning kan optreden, maar voor veel vogelsoorten is een negatieve relatie met menselijk medegebruik van de eilanden te zien.

Belang van Marker Wadden voor het functioneren van het Markermeer

Slibconcentraties, troebelheid en luwtewerking

- Uit het KIMA onderzoek volgt dat er in de slibgeul, de winputten en de overige luwtezones rondom Marker Wadden circa 250 kiloton slib per jaar wordt ingevangen. Dit heeft volgens de berekeningen een significante invloed op de lokale slibbalans en troebelheid van het Markermeer. Het verzamelde slib kan voor onderhoud van de eilanden worden ingezet.

- Aan de noordoostzijde van Marker Wadden en tussen de eilanden zijn luwte-effecten te zien. Een deel van het zwevend stof bezinkt in de luwe zones en er ontstaan nieuwe gradiënten in helderheid.
- In luwe zones blijkt de verhouding tussen chlorofyl en zwevend stof hoog te zijn. Dat betekent niet dat er meer fytoplankton is, maar wel dat het fytoplankton beter beschikbaar is voor het voedselweb. Het zwevende stof is door het hoge aandeel algen beter van kwaliteit als voedsel voor bijvoorbeeld watervlooien en mosselen.

Effect van werkzaamheden

- De werkzaamheden aan de eilanden spelen via slibpluimen een grote rol in dynamiek van vertroebeling. Er ontstaan nieuwe gradiënten en er komen voedingsstoffen vrij, doordat gebaggerd materiaal een hogere nutriëntenconcentratie heeft dan de top laag van het Markermeer. Dit is ook het geval bij opwerveling door wind of door meer reguliere werkzaamheden, zoals zandwinning en vaargeulonderhoud.
- In het gebied dat is beïnvloed door de aanlegwerkzaamheden bleek de dichtheid aan draadvorming zwavelbacteriën veel hoger te zijn dan elders. In deze gebieden liep de biomassa zelfs op tot enkele honderden gram per m², vergelijkbaar met de biomassa van macrofauna. De bacteriën vormen matten op de bodem die een groot aandeel hebben in de primaire productie (via chemosynthese, dus zonder licht) van het systeem en anderzijds effect hebben op de rest van het bodemleven en de mate van opwerveling van het sediment. De rol van deze bacteriën als voedselbron is nog onduidelijk.

Ruimtelijk effect op vogels

- Marker Wadden werken als een stepping stone naar andere plasdrasgebieden in de omgeving. Vogels van diverse soorten pendelen tussen broed- rust- en foerageergebieden in ver-

schillende delen van het Markermeersysteem. Deze ruimtelijke component draagt bij aan de biodiversiteit van de regio.

- Marker Wadden heeft het habitataanbod in het Markermeer voor een aantal vogelsoorten wezenlijk vergroot. Dit geldt voor krakeend, slobbeend en wintertaling, voor de broedvogels visdief en kluut, maar ook voor bijvoorbeeld pleisterende grutto's en zwarte sterns. Bij slobbeend, zwarte stern en tafeleend was een significant deel (>1%) van de internationale populatie aanwezig. Met name in het najaar (sept-nov) waren de aantallen trekvogels hoog. In de wintermaanden worden de eilanden nog niet zo intensief gebruikt.

Natura 2000-doelen

- Van de soorten met een Natura 2000-instandhoudingsdoel in het Markermeer-IJmeer zijn er vier die een matige staat van instandhouding hebben. Vooralsnog heeft Marker Wadden alleen voor de smient wat verbetering opgeleverd, al is het doel nog niet bereikt. Marker Wadden levert wel een belangrijke bijdrage aan de landelijke Natura 2000-doelen door habitats te bieden voor soorten zoals visdief, kluut, bontbekplevier (>10%), kleine plevier, strandplevier, zwartkopmeeuw, kokmeeuw, dwergstern en oeverzwaluw.

Governance

Samenwerking en aanbestedingsproces

- De samenwerking tussen Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat was een nieuwe en succesvolle vorm van publiek-private samenwerking. Dat het initiatief voor zo'n groot waterbouwkundig project werd genomen door een natuurorganisatie was vernieuwend. Bij de samenwerking had het een meerwaarde dat beide organisaties zo verschilden en elkaar aanvulden. De taken werden verdeeld op basis van kernkwaliteiten.



- De huidige ontwikkelingen zijn voor een groot deel gestuurd door keuzes die al voorafgaand aan de aanleg zijn gemaakt. Zo blijkt de ecologische ontwikkeling deels gestuurd te worden door de eisen die in het contract zijn gesteld (b.v. de eis om grootschalige bosvorming te voorkomen). Als gevolg van deze eis is bij de aanleg ingezet op vestiging en de ontwikkeling van riet. Ook is gestuurd op het waterpeil in de compartimenten om riet-ontwikkeling te stimuleren en om wilgenopslag tegen te gaan.
- Het bleek aanvankelijk moeilijk te zijn om het bouwproces te verweven met het onderzoeksproces. Mede doordat beide trajecten niet gelijktijdig en even snel verliepen, konden de lessen die uit het onderzoek voortvloeiden maar ten dele meegenomen worden in de aanleg. Datzelfde gold andersom: kennis die bij de uitvoering werd opgedaan, vloeyde niet automatisch door naar het onderzoeksprogramma. Gedurende het project zijn er wel oplossingen gevonden die de uitwisseling van kennis hebben verbeterd.

Participatieve monitoring

- Participatieve monitoring bleek een kansrijke manier te zijn om draagkracht te creëren voor natuurontwikkeling en om gegevens te verzamelen voor onderzoek en monitoring. Er liggen ook in de toekomst kansen om vrijwilligers, scholieren en bezoekers blijvend te betrekken bij dataverzameling op Marker Wadden, in aanvulling op de basis van reguliere monitoring.

Financiering

- De ecosysteemdiensten die de eilanden kunnen leveren bieden kansen voor private cofinanciering. Om deze vorm van financiering voor de aanleg van nieuwe eilanden aan te trekken, is het van belang om de taal van de investeerder te spreken en te weten welke doelstellingen voor een investeerder belangrijk zijn. Als tegenprestatie voor financiering moet het belang van de investeerder duidelijk onderdeel zijn van de doelstelling van het project en kwantificeren van de doelen moet onderdeel zijn van het monitoringsprogramma.

Aanbevelingen voor beheer

Ontwikkeling van moerasnatuur

- Eén keer vullen zonder peilbeheer nadien is een risicovolle strategie waarbij de eindhoogte onzeker is en in de praktijk fors kan afwijken van schattingen vooraf op basis van labonderzoek en berekeningen. Meerdere vulslagen met peilbeheer en tussentijdse monitoring van de zetting is een veel zekerder strategie waarbij goed (bij)gestuurd kan worden op eindhoogte.
- Peilbeheer is een belangrijke stuurparameter voor de ontwikkeling van de vegetatie op de eilanden. Het peilverloop van het Markermeer is in het voordeel van wilgen en in het nadeel van riet, waardoor snelle verbossing dreigt. Door de kades rond de eilanden langer gesloten te houden kan er met behulp van een mobiele pomp en een aflat een eigen – op de vegetatie-

ontwikkeling afgestemd – peilverloop binnen de eilanden gerealiseerd worden.

- Een snelle ontwikkeling van wilgenbos kan tegengegaan worden door een specifiek seizoensafhankelijk peilbeheer te voeren, dat zorgt voor inundatie gedurende de periode dat er zaadverspreiding via wilgenpluis optreedt (mei-juni). Op die manier wordt de ontwikkeling van rietmoeras bevorderd.
- Geadviseerd wordt om te wachten met het in verbinding stellen van de eilanden met het Markermeer totdat zich een voldoende robuust rietmoeras heeft ontwikkeld, dat de belasting van het Markermeer als gevolg van de wateruitwisseling en de druk van watervogels gedurende enige jaren aan kan. Instandhouding van moeras op de langere termijn is juist gebaat bij dynamiek.
- Ganzenvraat kan worden beperkt door (tijdelijke) vraatbescherming en de ontwikkeling van hoger opgaande vegetatie, die de ganzen het zicht op de omgeving ontnemt. Ook hogere rietkragen vervullen deze functie.
- In de slibgeul, de winputten en de luwte tussen Marker Wadden en de Houtribdijk sedimenteert extra slib ten opzichte van de situatie voor de aanleg van Marker Wadden. De slibgeul slibt tot ca. 40 cm

per jaar aan en de winputten zelfs tot ca. 80 cm per jaar. Dit slib is in principe bruikbaar voor onderhoud van Marker Wadden.

Kennispositie

- Op dit moment is het uiteraard nog lastig om te zien wat de bijdrage van Marker Wadden op de kennispositie van Nederland is, maar er is veel potentie voor de toekomst. Naast wetenschappelijke- en technische kennis heeft project Marker Wadden kennis opgeleverd over de realisatie van het concept. Zowel publieke als private partijen kunnen deze kennis internationaal toepassen, bijvoorbeeld in grote meren en afgedamde rivieren en zeearmen.
- Het onderzoek rond Marker Wadden heeft drie proefschriften opgeleverd, 10 wetenschappelijke artikelen en 46 KIMA rapporten.
- KIMA heeft jaarlijks een congres en een veldexcursie georganiseerd om de resultaten te delen en input ‘van buiten’ te krijgen. Ook de website, sociale mediakanalen, de KIMA-nieuwsbrief en publicaties zijn ingezet om tussentijdse resultaten te delen.



1

Introductie



Marker Wadden is een uniek project dat moet zorgen voor natuurherstel van het Markermeer door de aanleg van eilanden met zand, klei en slib uit het Markermeer. Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat werken samen met Boskalis aan de uitvoering van dit nieuwe natuurgebied. Voor onderzoekers is Marker Wadden een uniek experiment. Nooit eerder werd er in Nederland op zo'n grote schaal een totaal nieuw ecosysteem aangelegd en dat riep tal van vragen op. In 2017 vormde dit voor Rijkswaterstaat, Natuurmonumenten, Deltares en EcoShape de aanleiding voor het opzetten van het Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA). Dit kan gezien worden als een paraplu waaronder alle leer- en onderzoeksactiviteiten plaatsvinden rond Marker Wadden. Dit hoofdstuk beschrijft de doelen van Marker Wadden en KIMA en gaat in op het doel en de indeling van deze rapportage.

Marker Wadden vormt een grootschalig veldexperiment waarin ‘leren en innoveren’ centraal staat. De aanleg van Marker Wadden bestaat uit verschillende fases. In 2016 ging de eerste fase van start: de aanleg van vijf eilanden. In het voorjaar van 2021 startte de aanleg van twee extra eilanden. Als die zijn afgerond zal het totale gebied – inclusief het onderwaterlandschap – 1300 hectare omvatten. Marker Wadden vormt een deelgebied van Nationaal Park Nieuw Land (Figuur 1.1).



Figuur 1.1 Kaart Marker Wadden en positie in het Markermeer.

De aanleiding voor aanleg van Marker Wadden is de achteruitgang van het ecosysteem in het Markermeer. Op de bodem ligt een dikke slibdeken die het leven van planten, insectenlarven, schaal- en schelpdieren verstoort (zie verder hoofdstuk 3). Met Marker Wadden wordt beoogd een win-win situatie te creëren: slib van de bodem van het Markermeer krijgt een nieuwe toepassing in natuureilanden. Daardoor verbetert de waterkwaliteit en het leefgebied onder water en ontstaat er een nieuw natuur- en recreatiegebied.

In verschillende beleidsnota’s en andere documenten hebben bij Marker Wadden betrokken partijen de volgende hoofddoelstellingen geformuleerd (zie verder hoofdstuk 2).

- Het verbeteren van de ecologische kwaliteiten en recreatieve gebruiksmogelijkheden van het Markermeer, waarmee wordt bijgedragen aan het realiseren van het Toekomstbestendig Ecologisch Systeem, ofwel TBES (Rijk-Regioprogramma Amsterdam-Almere-Markermeer (RRAAM), 2013 en Samenwerkingsovereenkomst eerste fase Marker Wadden, 2014).
- De ontwikkeling van een vogelparadijs met een optimale bijdrage aan de Natura 2000-doelstellingen voor het Markermeer en Nederland (Samenwerkingsovereenkomst eerste fase Marker Wadden, 2014 en Beheervisie Marker Wadden, 2016).
- Leren, monitoren van effecten, en innoveren (Samenwerkings-overeenkomst eerste fase Marker Wadden en de Intentieverklaring KIMA uit 2018).

Het Kennis- en innovatieprogramma KIMA werd opgericht door Natuurmonumenten, RWS, EcoShape¹ en Deltares, en wordt uitgevoerd in nauwe samenwerking met NIOO-KNAW. Meer informatie over de doelen en de opzet van het programma is te

vinden in hoofdstuk 2. Hierin is ook een overzicht van de onderzoeksvragen opgenomen.

Voorliggende rapportage vat samen wat er in vijf jaar KIMA-onderzoek op en rond Marker Wadden is gezien en geleerd. Voor details, verdieping, data of kwantitatieve onderbouwing wordt vaak verwezen naar technische deelrapporten. De opgedane kennis is bruikbaar bij de evaluatie van de aanleg van de eerste fase Marker Wadden en de aanleg van eventuele nieuwe eilanden. De kennis is ook toepasbaar in andere gebieden met een soortgelijk slibprobleem, want er kampen meer grote wateren met een sliboverschot en achteruitgang van het ecosysteem.

1.1 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 schetst de aanpak van het Kennis en Innovatie-programma Marker Wadden en de indeling in drie thema’s: Bouwen met slib en zand, Ecosysteem van waarde en Adaptieve governance. Dit hoofdstuk beschrijft ook de vragen die van belang zijn voor de evaluatie van de doelen van Marker Wadden, alsmede de onderzoeksvragen die worden opgepakt binnen de drie onderzoeksthema’s.

Hoofdstuk 3 beschrijft de toestand van het Markermeer vóór de aanleg van Marker Wadden. Begrip van deze toestand en van de autonome ontwikkelingen is van belang voor een gedegen evaluatie van de effecten van Marker Wadden.

1 De EcoShape partners in KIMA (Witteveen+Bos, Arcadis, WMR, WEnR en Deltares) zijn vanaf begin 2021 blijven werken binnen KIMA maar niet meer binnen het consortium EcoShape. Dit heeft te maken met het in 2020 beëindigen van de EcoShape consortiumovereenkomst.



Hoofdstuk 4 beschrijft de belangrijkste resultaten, die betrekking hebben op de aanleg en pioniersituatie van Marker Wadden. Het gaat hierbij zowel om bouwen met slib en zand als om de ontwikkeling van een Ecosysteem van waarde.

Hoofdstuk 5 gaat in op het belang van Marker Wadden voor het functioneren van het Markermeer. Hierin staan de slibdynamiek, luwtegebieden, troebelheid van het water en primaire productie centraal. De resultaten hierover vloeien voort uit de onderzoeksthema's van KIMA en de integratie hiertussen. Het hoofdstuk beschrijft ook de bijdrage van Marker Wadden aan de Natura 2000-doelen én de betekenis van Marker Wadden op landschapschaal.

Hoofdstuk 6 gaat in op Adaptieve governance en op de samenwerking tussen de Natuurmonumenten en de overheid, de korte tijd waarin het project tot stand is gekomen en de manier waarop de partijen en individuen vervolgens hebben samengewerkt. Participatieve monitoring als methode om mensen meer te betrekken bij het gebied wordt ook in dit hoofdstuk besproken.

In **hoofdstuk 7** kijken we eerst naar wat we kunnen leren van de natuureilanden die al aangelegd zijn in het IJsselmeergebied. Dan kijken we vooruit en geven we aan wat er op basis van vijf jaar onderzoek wordt verwacht voor de toekomst van Marker Wadden en het omringende meer.

Hoofdstuk 8 geeft aanbevelingen voor aanleg van nieuwe eilanden en voor het beheer, op grond van de bevindingen van KIMA uit alle drie de thema's. Ook wordt ingegaan op de vormgeving van publieke-private financieringsconstructies voor een eventueel vervolg op de Marker Wadden en op de rol van ecosysteemdiensten.

Hoofdstuk 9 geeft aan wat we hebben geleerd binnen KIMA en wat er de komende tijd nog te leren valt.

In **bijlage I** worden de onderzoeksvragen van KIMA separaat beantwoord. In de **Bijlage II** zijn alle referenties genoemd.

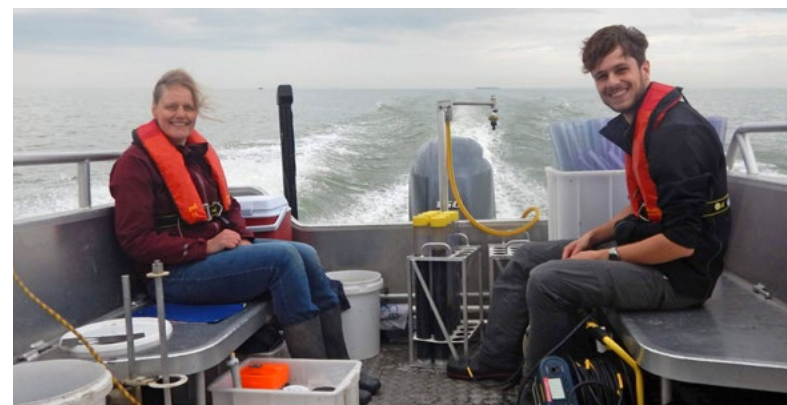
1.2 Verantwoording

Deze rapportage is tot stand gekomen dankzij bijdragen van veel verschillende onderzoekers. De inhoud is gebaseerd op monitoringsinspanningen van diverse partijen. Hieronder wordt per KIMA-thema beschreven wie de trekkers waren, welke personen aan het onderzoek hebben bijgedragen en met wie is samengewerkt.

Bouwen met slib en zand

Trekkers: Thijs van Kessel (Deltares), Marcel Klinge (Witteveen+Bos) en Henk Steetzel (Arcadis)

Relevante bijdrages aan onderzoek, veldwerk en monitoring: Gerlinde Roskam †, Marc Verheul en Jil Hanssen (Deltares).



Samenwerking met UvA (Harm van der Geest - bodemprocessen Markermeer), Hogeschool Zeeland, SMART-ecosystems (Remon Saaltink, UU en Maria Barciela Rial, TUD), Lake-Side (Anne Ton en Stefan Aarninkhof, TUD)

Ecosysteem van waarde

Trekkers: Joep de Leeuw (WMR) en Ruurd Noordhuis (Deltares)
Relevante bijdrages aan onderzoek, veldwerk en monitoring: Joey Volwater en Olvin van Keeken (WMR-vis), Koen Princen (Witteveen+Bos-vegetatie), Piet Verdonschot en Marielle van Riel (WEnR-macrofauna), Jan van der Winden en Camilla Dreef (vogelonderzoek), Nicole Dijkman en Machteld Rijkeboer (RWS-CIV-productiviteit), Sportvisserij Nederland (monitoring vis), Miguel Dionisio (Deltares-remote sensing).

Samenwerking met programma Natuur in Productie (Liesbeth Bakker en Casper van Leeuwen, beide NIOO-KNAW, Rijks Universiteit Groningen en Radboud Universiteit), Universiteit van Amsterdam (Harm van der Geest - bodemprocessen Markermeer), RWS-MWTL en onderzoek watersystemen (Mennobart van Eerden).

Adaptieve governance

Trekkers: Stephanie IJff (Deltares) en Jeroen Veraart (WEnR)
Relevante bijdrages aan het onderzoek: Mike Duijn en Marijn Stouten (EUR), Shannen Dill (WEnR-participatieve monitoring), Nienke Nuesink en Wiebren Kuindersma (WEnR), Lieke Hüsken (Deltares-financiering en inkoop), Gerald-Jan Ellen (Deltares), Jannes Willems (EUR, nu UVA) Camilo Benitezavila (promovendus TUT, nu TUD- inkoop), Niels van den Berg (student EUR, nu Movares), Jeffrey Brand (trainee RWS, nu Vogelbescherming), Eline Kolb (student VU, nu GGD Haaglanden).

2

Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA)



KIMA kan gezien worden als een paraplu waaronder alle leer- en onderzoeksactiviteiten rond Marker Wadden plaatsvinden. Het doel van het programma is om de maatschappelijke meerwaarde van Marker Wadden te vergroten en daarmee de toonaangevende positie van Nederland op het gebied van ecologie, waterbouw en water governance te behouden en te versterken. Dat gebeurt door samen te werken met bedrijven, onderzoeksinstituten, overheden en NGO's.

KIMA is zo ingericht dat er kennis wordt gegenereerd voor de evaluatie van de beleidsdoelen van Marker Wadden in 2022 én er kennis wordt toegevoegd over de aanleg van een innovatief, grootschalig waterbouw- en natuurontwikkelingsproject. Hiervoor zijn er drie onderzoeksthema's benoemd: Bouwen met slib en zand, Ecosysteem van waarde en Adaptieve governance. Voor elk van deze thema's zijn onderzoeksvragen geformuleerd, die zich zowel richten op de ontwikkelingen op Marker Wadden zelf als op de effecten ervan op het Markermeer.

Dit hoofdstuk schetst de aanpak en structuur van KIMA.

2.1 Evaluatievragen beleid

De betrokken partijen² hebben met de aanleg van Marker Wadden de volgende doelen:

- 1 Bijdragen aan een Toekomstbestendig Ecologisch Systeem (TBES);
- 2 Ontwikkeling van een vogelparadijs;
- 3 Leren en innoveren.

Deze doelen zijn hieronder uitgewerkt en vertaald in evaluatievragen voor KIMA. Voor KIMA hebben de evaluatievragen mede de basis gevormd voor het vormgeven van het onderzoek. De antwoorden hierop leveren input voor de evaluatie van de beleidsdoelen. Deze beleidsevaluatie wordt separaat uitgevoerd door een onafhankelijk partij (buiten de KIMA partners) uitgevoerd en zal plaatsvinden in de zomer van 2022.

Bijdragen aan Toekomstbestendig Ecologisch Systeem

Voor het Markermeer-IJmeer is het toekomstperspectief een Toekomstbestendig Ecologisch Systeem (TBES): een ecologisch systeem dat vitaal, gevarieerd en robuust is en dat juridische ruimte biedt om de gewenste (grootschalige) ruimtelijke en recreatieve ontwikkelingen mogelijk te maken. De eerste fase Marker Wadden wordt in het Rijk Regioprogramma Amsterdam Almere Markermeer (RRAAM) als belangrijke stap gezien om de ecologische kwaliteit en recreatieve mogelijkheden te verbeteren en daarmee het TBES te bereiken. Om te komen tot een TBES in het Markermeer-IJmeer moet invulling worden gegeven aan het versterken van de volgende vier ecologische condities:

- Zones met helder water langs de Noord-Hollandse kust;
- Een slibgradiënt: van helder water in het westen tot troebel water in het oosten;
- Overgangszones tussen land en water;
- Versterkte ecologische relaties tussen binnen- en buitendijkse natuurontwikkeling.

De website van de Stuurgroep Markermeer-IJmeer (www.markermeerijmeer.nl) geeft meer uitleg over dat toekomstbeeld.

Vragen die binnen KIMA relevant zijn voor de evaluatie van de bovenstaande TBES-doelen zijn:

- 1 Levert Marker Wadden een bijdrage aan het behalen van de voor het systeem en heel Nederland gestelde ecologische doelen (doelen van Natura 2000 en Kaderrichtlijn Water)?
- 2 Levert Marker Wadden een bijdrage aan de productiviteit van het Markermeer-IJmeer?
- 3 Heeft de aanleg van Marker Wadden geleid tot een gewenste omzetting van slib in een stabiel substraat, dat geschikt is voor de ontwikkeling van een hogere diversiteit in habitats voor flora en fauna?
- 4 Heeft de aanleg geleid tot meer diversiteit van het onderwater-landschap en tot hoever reikt die invloed? (Is de ruimtelijke variatie van het mobiel slib in de waterkolom bijvoorbeeld toegenomen en zijn er veranderingen in de zachte sliblaag op de bodem van het Markermeer?)
- 5 In hoeverre creëert de aanleg van Marker Wadden (juridische) ruimte voor ruimtelijke ontwikkelingen (doelstellingen RRAAM)? En in welke mate beperkt Marker Wadden dit (potentiële) ruimtegebruik (invloed cirkels rondom Marker Wadden)?
- 6 In hoeverre worden doelen rond medegebruik van Marker Wadden en Markermeer gehaald (recreatie, visserij, scheepvaart)?

Vraag 5 en 6 zijn niet opgepakt binnen KIMA, maar er is wel (anekdotische) informatie beschikbaar over de interactie tussen recreatie en de natuurdoelen van Marker Wadden. Dit onderwerp komt aan de orde bij de vragen rond het vogelparadijs; aanbevelingen hierover worden besproken in paragraaf 8.3.5.

Ontwikkeling van een vogelparadijs

Het doel is dat Marker Wadden zich ontwikkelt tot een grootschalig moeras met grote diversiteit aan rust- en foerageerplekken voor vogels. Daarbij is het de ambitie om Natura 2000-doelsoorten te behouden en negatieve trends om te buigen. Mogelijk kan Marker Wadden ook bijdragen aan het herbergen van landelijk relevante Natura 2000-vogelsoorten. Randvoorwaarde voor een vogelparadijs is dat de beschikbaarheid van voedsel wordt verhoogd. Verder is het een doel om het publiek Marker Wadden als vogelrijk natuureiland te laten beleven.



De volgende vragen zijn relevant voor de evaluatie van de ontwikkeling van een vogelparadijs:

- 1 Ontwikkelt Marker Wadden zich tot een productief en duurzaam ecosysteem voor moeras- en watervogels?
- 2 Wordt Marker Wadden door het publiek ervaren als een vogelparadijs?

² Partijen zijn de Ministeries van IenW en LNV, provincie Flevoland, Rijkswaterstaat en Natuurmonumenten.



Leren en innoveren

Lessen uit KIMA kunnen bijdragen aan een efficiëntere aanleg van nieuwe eilanden. Het gehele gebied Marker Wadden is daarnaast een Living Lab, waar partijen onderzoek en experimenten kunnen uitvoeren aanvullend op de drie KIMA-thema's. Door Marker Wadden als Living Lab te presenteren is het de bedoeling om meer kennis te genereren.

Vragen die relevant zijn voor evaluatie van 'leren en innoveren' (op basis van de eerste fase van Marker Wadden) zijn:

- 1 Wat kunnen we leren van de aanleg?
- 2 Hoe kan het geleerde 'doorstromen' naar de wetenschap en praktijk?

2.2 Onderzoeksvragen KIMA

Deze paragraaf bevat aanvullende onderzoeksvragen voor de drie KIMA-thema's. Deze zijn geformuleerd om de evaluatievragen voor het beleid te kunnen beantwoorden én kennis toe te voegen over de aanleg van een innovatief waterbouwproject. Waar vragen op het snijvlak van thema's lagen, zijn deze integraal opgepakt. Sommige onderzoeksvragen zijn gedurende het onderzoek verder toegespitst en naar aanleiding van de Mid-Term review (De Rijk en Dulfer, 2020) zijn er ook onderzoeksvragen toegevoegd.

Thema 1: Bouwen met slib en zand

Het is de ambitie om beter te begrijpen hoe slib kan consolideren en rijpen tot een stabiel substraat dat geschikt is voor ecologische ontwikkeling. Ook is het gewenst om meer inzicht te krijgen in de productie, verspreiding en vastlegging van mobiel slib in de waterkolom en op de bodem. Als laatste willen we meer weten over de werking van zachte (zandige) keringen die de randen van de eilanden vormen. Deze kennis dient te resulteren in betere

ontwerpregels voor het bouwen met slib en een afname van de onzekerheid bij het ontwerp.

De onderzoeksvragen zijn:

- 1 Hoe gaat de invang van slib in geulen en putten?
- 2 Wat is de invloed van Marker Wadden op de slibdynamiek van het Markermeer?
- 3 Kunnen we met de monitoringsgegevens het huidige slibmodel kalibreren?
- 4 Hoe kunnen we met voldoende zekerheid en kosteneffectiviteit een stabiel substraat creëren met slib?
- 5 Hoe werken de zandige keringen onder invloed van stroming en golven in het meer?

Thema 2: Ecosysteem van waarde

De ambitie van dit thema is om meer kennis te genereren over de ontwikkeling van nieuwe habitats in een watersysteem. Daarnaast willen we meer weten over de relatie tussen de inrichting van een watersysteem en het bereiken van een veerkrachtig systeem met een hoge biodiversiteit. Deze kennis ondersteunt het maken van goede keuzes voor het ontwerp.

De onderzoeksvragen zijn:

- 1 Kan een natuurlijk voedselrijk moeras zich ontwikkelen en duurzaam in stand blijven?
- 2 Wat is de rol van de bodemfauna bij het verhogen van de productiviteit?
- 3 Hoe ontwikkelt Marker Wadden zich ten opzichte van bestaande luwe gebieden in het Markermeer?

Thema 3: Adaptieve governance

Binnen dit thema is het de ambitie om te leren van de uitvoering en beheer, zoals dat is afgesproken in de contracten. Ook is het gewenst te achterhalen in hoeverre de samenwerking verloopt en of kennis en innovatie optimaal doorwerken en kunnen worden opgeschaald.

De bijbehorende onderzoeksvragen zijn:

- 1 Hoe wordt de continuïteit in relatie tot beleidsdoelen, uitvoering en beheer geborgd?
- 2 Is het aanleg- en onderzoeksprogramma van Marker Wadden adaptief en hoe blijft dit?
- 3 Verbetert de kennispositie van Nederland dankzij de aanleg van Marker Wadden en welke aspecten zijn daarbij belangrijk?
- 4 Hoe heeft de samenwerking in het 'gouden vierkant' (overheid, bedrijfsleven, maatschappelijke organisatie en kennisinstellingen) gewerkt?
- 5 Wat is het gebruik en de perceptie van Marker Wadden door bezoekers?

In bijlage I worden de onderzoeksvragen separaat benoemd en beantwoord.

2.3 Structuur van KIMA

Om de onderzoeksvragen van de drie KIMA-thema's te beantwoorden is gebruik gemaakt van vier pijlers:

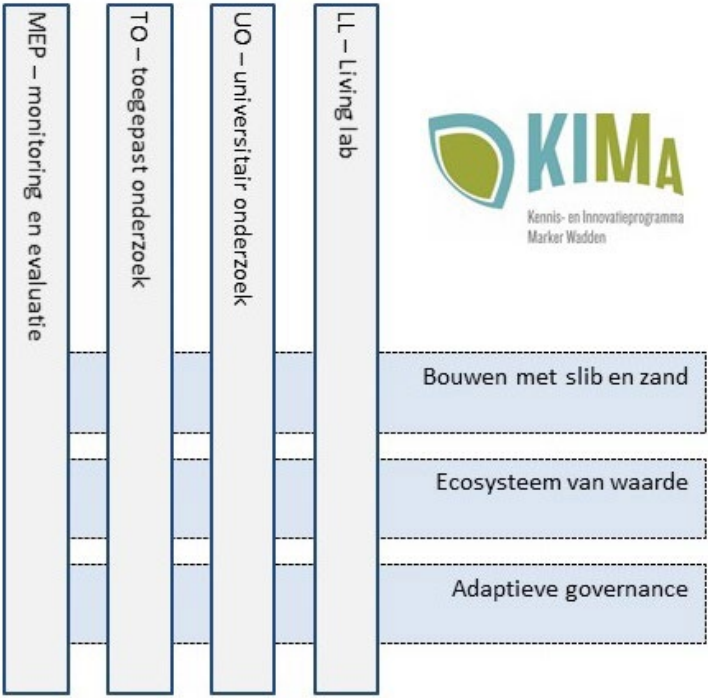
- **MEP: Monitoring en Evaluatieprogramma**

Dit programma is begin 2018 vastgesteld en gaf aan over welke parameters kennis moest worden vergaard om in 2022 de geformuleerde evaluatievragen te beantwoorden (De Rijk et al, 2018). Hiervoor is gebruik gemaakt van monitoring, veld-experimenten en modellering.

- **TO: Toegepast Onderzoek**
Dit onderzoek is uitgevoerd op basis van een gezamenlijk plan, waarin de evaluatievragen centraal stonden. Jaarlijks is het onderzoeksplan bijgesteld.
- **UO: universitair onderzoek**
Het eerste universitaire onderzoek startte reeds in 2014, voor aanleg van Marker Wadden. Dit ‘Smart Ecosystems-onderzoek’ (UU, TUD en WUR) werd eind 2018 afgerond en werd gefinancierd door NWO. Het tweede universitaire programma is ‘Natuur in Productie’ wordt uitgevoerd door een consortium van de Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), RUG, RUN en Natuurmonumenten en is gefinancierd door het Gieskes-Strijbis Fonds en Natuurmonumenten.
- **LL: Living Lab**
Het KIMA heeft actief gezocht naar andere partijen die onderzoek willen doen op Marker Wadden dat niet gerelateerd was aan één van de thema’s. Partijen konden gebruik maken van de onderzoeksfaciliteiten en de kennisdeling tussen de partners van KIMA. De onderzoeken die hebben plaats gevonden zijn te vinden op de website van KIMA en vormen geen onderdeel van deze rapportage.

Verbinding

Om te zorgen voor afstemming en verbinding tussen pijlers en thema’s, zijn er per thema twee thematrekkers aangewezen. Ook werden er werkprocessen ingericht die de kruisbestuiving tussen de thema’s en pijlers moesten bevorderen. Zo werden er gezamenlijke veldwerken uitgevoerd, jaarlijkse bijeenkomsten gehouden en thema-overleggen georganiseerd. Jaarlijks is er een KIMA-congres gehouden om de resultaten te delen en input ‘van buiten’ te krijgen. Ook de website, sociale mediakanalen, de KIMA-nieuwsbrief en publicaties zijn ingezet om tussentijdse resultaten te delen.



Figuur 2.1 Structuur van KIMA; de vier pijlers en drie thema's

2.4 Datamanagement en KIMA

KIMA streeft naar een vrije uitwisseling van data, zodat deze zoveel mogelijk beschikbaar zijn voor wetenschappelijk onderzoek op zowel nationaal als internationaal niveau. Daarbij wordt ernaar gestreefd om dataopslag zoveel mogelijk bij de bron te houden. Zo kan er geen dubbele opslag ontstaan en is er geen versiebeheer nodig. In het informatiesysteem kan verwezen worden naar de bron. Als het opslaan van data bij de bron niet lukt, kunnen de data worden opgeslagen op het Datamanagement

Systeem dat Deltares reeds heeft ontwikkeld. Het gaat voornamelijk om een “subversion repository” waar ruwe data, opwerkscripts en metadata opgeslagen kunnen worden. Hiermee is de data geborgd, herleidbaar en op te werken tot standaarddata. Indien een substantieel deel van de gegevens gebruikt wordt spoort KIMA de gebruiker aan om contact op te nemen met de oorspronkelijke bron van de gegevens.

Het KIMA-datamanagement heeft tot doel om (informatie over) de datasets die zijn geproduceerd in het kader van KIMA te centraliseren. De vergaarde data worden gearchiveerd en zijn toegankelijk. De focus ligt hierbij op het bieden van overzicht: welke data zijn waar te vinden, hoe zijn deze verkregen, en wat is de bruikbaarheid en kwaliteit van de data. In mindere mate wordt er aandacht besteed aan de opslag, ontsluiting en distributie van de data.

Als centrale ingang voor de data is gekozen voor de website Waterinfo Extra (<https://waterinfo-extra.rws.nl/>) waar Rijkswaterstaat de toegang regelt voor zijn projectdata. Het beheer van data na afloop van KIMA is zodanig gestroomlijnd dat er kan worden aangesloten op de RWS-CIV Bouwstenencatalogus. De ontwikkeling en opzet van het datamanagementsysteem van KIMA is gebaseerd op die van Kustgenese 2.0 en staat dus niet op zichzelf, maar staat in de bredere context van de ontwikkeling en opzet van datamanagementsystemen binnen Rijkswaterstaat.

Het complete overzicht van de voor KIMA geproduceerde data is te vinden in het rapport van Daggenvoorde en Vermeulen, 2021. Het rapport beschrijft de metingen en datasets die zijn ingewonnen, inclusief eenvoudige controle van de data met een oordeel over plausibiliteit van de data.

3

Pre- Marker Wadden



Dit hoofdstuk geeft de bestuurlijke context weer, die heeft geleid tot de ontwikkeling van Marker Wadden. Daarnaast worden de ontwikkelingen en de toestand van het Markermeer beschreven die voorafgingen aan de aanleg van de eilanden. Inzicht hierin is belangrijk om goed te kunnen evalueren wat de effecten van Marker Wadden tot nu toe zijn.



Het Markermeer is halverwege de '70 jaren ontstaan in het IJsselmeer, als voorbereiding voor de inpoldering van de Markerwaard (Figuur 1.1). Met z'n brakke verleden en de combinatie van geringe diepte, grote oppervlakte, kleibodem en gradiënten van helder naar troebel water is het een uniek systeem met belangrijke natuurwaarden. Mede daarom werd de drooglegging ervan afgeblazen. Met het uitkomen van de Nota Ruimte in 2006 kreeg het Markermeer de officiële bestemming 'open water'. Door het kunstmatige en weinig gevarieerde karakter mist het Markermeer echter een aantal elementen die van belang zijn voor het ecologisch functioneren in de toekomst. Natuurlijke land-waterovergangen ontbreken en door het peilbeheer is het waterpeil tegennatuurlijk, namelijk in de zomer hoger dan in de winter.

Sinds de afsluiting van het IJsselmeer, heeft zich op de bodem van met name de oostelijke helft van het Markermeer een dikke sliblaag gevormd, die bij wind opwervelt en voor troebel water zorgt. Door lichtgebrek, maar recent waarschijnlijk ook door afgenomen fosfaataanvoer, is de productie van fytoplankton – een belangrijke voedselbron voor andere organismen – aanzienlijk lager dan in het IJsselmeer (zie par. 3.2).

3.1 Bestuurlijke context

Voordat het plan van de Marker Wadden plan werd geboren, zijn er voor het Markermeer-IJmeer (Figuur 1.1) en omgeving tal van programma's ontwikkeld, onderzoeken uitgevoerd en beleidsplannen uitgebracht. Deze kwamen voort uit de ecologische opgaven van het Markermeer-IJmeer en de ruimtelijk-economische ambities (recreatie, woningbouw) in het gebied. Maatschappelijke organisaties en overheden bogen zich over de lange termijn inrichting van het meer en van de stedelijke zones eromheen.

Er werden verschillende ideeën naar voren gebracht, variërend van de gedeeltelijke drooglegging van het meer tot de aanleg van eiland-archipels met verschillende functies (van moeras tot wooneilanden). Echter, de meeste van deze plannen zijn gestrand, voornamelijk omdat ze te duur waren (Grotenberg en Altamirano, 2017). In 2012 heeft een marktconsultatie plaats gevonden, op zoek naar kosteneffectieve maatregelen om het ecosysteem in het Markermeer toekomstbestendig te maken. De kosten van de plannen die hieruit voortkwamen varieerden tussen €282 miljoen en €1194 miljoen (Grotenberg en Altamirano, 2017).

In 2012 kwamen de opgaven samen in het Rijk-Regioprogramma Amsterdam-Almere-Markermeer (RRAAM). Voor het Markermeer-IJmeer werd hierin als toekomstperspectief het 'Toekomstbestendig Ecologisch Systeem (TBES)' naar voren gebracht. Onderdeel van dit toekomstbestendige systeem was een grootschalige en dynamische land-waterzone in het noorden van het Markermeer. Aangegeven werd dat er bij de ontwikkeling van rekening moet worden gehouden met de opgaven die voorvloeien uit de habitat- en vogelrichtlijn (Natura 2000), de kaderrichtlijn water (KRW) en het Deltaprogramma (zoetwatervoorziening en waterveiligheid).

Naast het voldoen aan al deze opgaven was er de wens om iets innovatiefs te realiseren met het concept 'Building with Nature': een benadering waarbij er zoveel mogelijk gebruik gemaakt wordt van natuurlijke processen. Dit had mede tot doel om de kennispositie van Nederland met betrekking tot waterbouw en natuurontwikkeling te versterken.

Tegen deze achtergrond kwam Natuurmonumenten in 2012 met het plan om moerasgebieden te creëren, gebruikmakend van het slib en sediment uit het meer. De geschatte kosten waren €75 miljoen euro voor een gebied van 1000 hectare. De initiatiefnemers

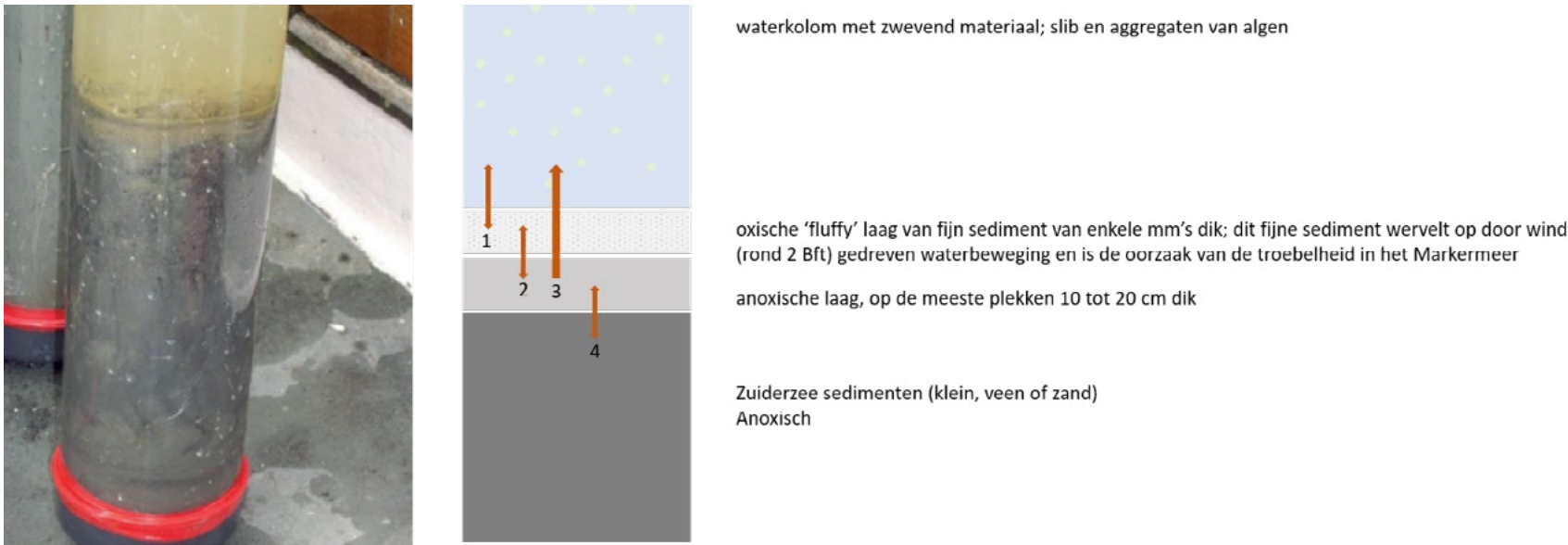
wisten, mede dankzij de verworven extra gelden, de belangen dusdanig te 'synchroniseren' dat het idee verder kon worden uitgewerkt tot een plan. Het project Marker Wadden was geboren en wordt vanaf 2016 ook uitgevoerd.

3.2 Ondiep troebel windgevoelig meer

Het huidige Markermeer maakte tot 1932 deel uit van het westelijke deel van de brakke, zuidelijke kom van de Zuiderzee. Door de luwe ligging – ten opzichte van de route van het IJsselwater richting Waddenzee – bezonk er klei en vormde zich een kleiige bodem. Bodemorganismen woelen het bovenste deel hiervan op (bioturbatie), waardoor er sprake is van een 'fluffy laag slib' op de bodem (Figuur 3.1). Deze fluffy laag wervelt op bij waterbewegingen door wind, waarvoor het Markermeer zeer gevoelig is vanwege het grote oppervlak, de vlakke bodem en de geringe diepte.

Sinds de afsluiting van het meer door de Houtribdijk in 1975 wordt het slib niet langer afgevoerd en wordt het water vaker troebel. In het Markermeer is het water dan ook meestal troebeler dan in het IJsselmeer, dat over veel grotere arealen een zandbodem heeft en iets dieper is, en daardoor minder windgevoelig.

Windrichting en windsterkte hebben veel invloed op de troebelheidsgradiënt van het Markermeer. Doordat westelijke en zuidwestelijke winden domineren, is er gemiddeld sprake van relatief helder water in het westen (Hoornsche Hop, Figuur 1.1) en troebel water in het oostelijk deel. Deze gradiënt wordt versterkt doordat het westelijk deel ondieper is, met een dunnere sliblaag, veel waterplanten (die recent sterk zijn toegenomen, vooral een soort met de naam

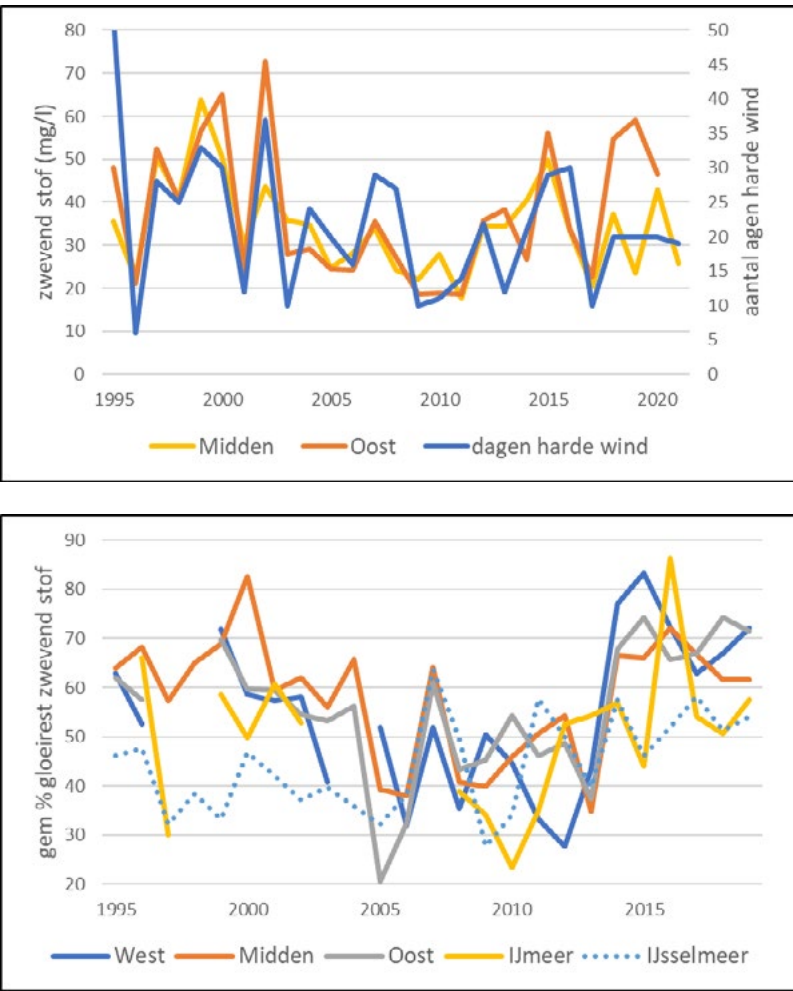


Figuur 3.1 Links een foto van sediment van Markermeerbodem. Rechts een schematische en vereenvoudigde sedimentkolom van Markermeer bodem. De pijlen geven meest voorkomende uitwisseling aan: 1. tussen fluffy laag en waterkolom (sedimentatie en opwerveling), 2 van anoxische laag en fluffy laag, 3. input van anoxische laag naar waterkolom, dit gebeurt af en toe tijdens stormen en 4. uitwisseling tussen Zuiderzee-afzettingen en anoxische laag (b.v. door bioturbatie indien de anoxische laag te dun wordt). Figuur is gebaseerd op Vijverberg, 2008 en De Lucas 2014.

doorgroeid fonteinkruid) en filterende driehoeks- en quagga-mosselen. De gekozen locatie voor de aanleg van Marker Wadden in het oostelijk deel wordt gekenmerkt door dieper water (4m), een behoorlijke sliblaag en de afwezigheid van waterplanten of mosselen.

Naast windpatronen heeft ook het optreden van stormen – en de frequentie hiervan – effect op de troebelheid. Na een winter met veel stormen vindt er minder consolidatie en biologische vastlegging van sediment plaats, waardoor er in het voorjaar daarna meer sediment opwervelt. In de zomer na een stormachtige winter bevat het water nog steeds meer zwevende stof (de som

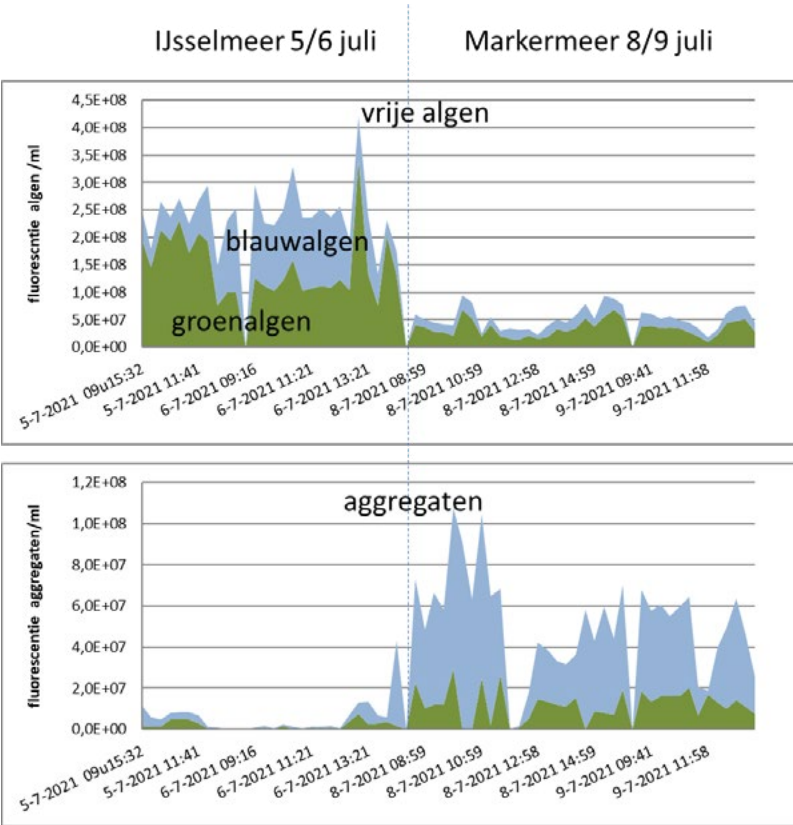
van alles wat in het water zweeft, dus algen, dood organisch materiaal en anorganisch materiaal) dan na een rustige winter. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 3.2. Na 2000 stormde het ruim tien jaar relatief weinig en bevatte het water relatief weinig zwevend stof (zie Figuur 3.2, boven). De samenstelling van het zwevende stof varieert ook in de tijd. Tussen 2000 en 2010 bevatte het zwevende stof in de waterkolom minder slibdeeltjes (anorganisch materiaal, ofwel gloeiresten) dan voor 2000. Na 2010, voorafgaand aan de aanleg van Marker Wadden, nam dat aandeel weer toe zie Figuur 3.2, onder).



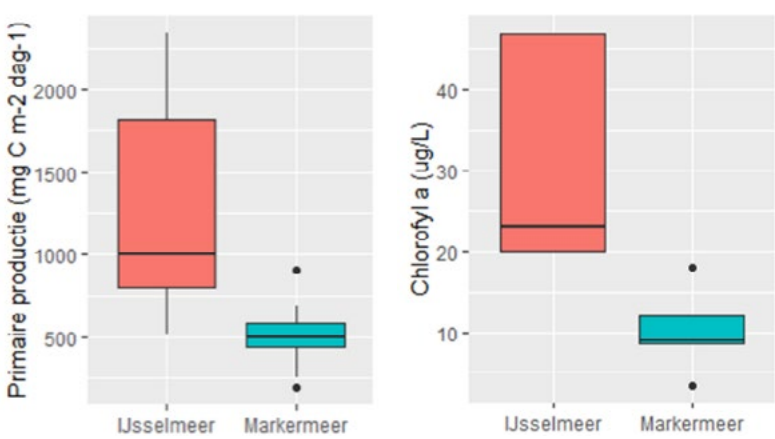
Figuur 3.2 Boven: Variatie in het aantal dagen met harde wind of storm (>12,5 m/s dagmaximum over juli t/m juni van het aangegeven jaar op Schiphol) in combinatie met de hoeveelheid zwevend stof in het voorjaar op twee locaties in het Markermeer (Midden en Lelystad, januari t/m juni). Onder: Variatie in de samenstelling van zwevend stof in de periode juli – oktober per jaar (het percentage gloeirest). Tussen 2000 en 2015 is op alle Markermeer locaties een lager aandeel van de anorganische fractie te zien (Noordhuis, 2022).

Fytoplankton bestaat uit in het water zwevende microscopisch kleine algen die voor de energievoorziening afhankelijk zijn van licht. Fytoplankton is een belangrijke bron van zuurstof en vormt een voedselbron voor zoöplankton en hogere organismen. De troebelheid van het Markermeer heeft gevolgen voor zowel de productie als de aard van het fytoplankton. Waar vrijwel alle algen in het IJsselmeer ‘vrij’ in de waterkolom leven, is in het troebele Markermeer ongeveer een derde van het fytoplankton samengekit met slibdeeltjes (Figuur 3.3). De vlokken (aggregaten) die daardoor ontstaan zijn minder geschikt als voedsel voor filteraars zoals watervlooien en mosselen, wat zijn weerslag heeft op het voedselweb van het Markermeer.

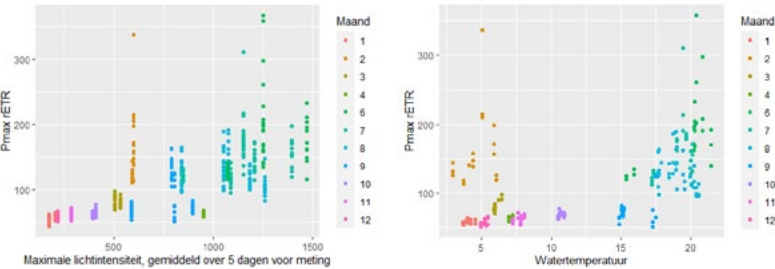
De totale primaire productie³ in de waterkolom van het Markermeer was bij een vergelijking in juli 2021 aanzienlijk lager dan die in het IJsselmeer (Figuur 3.4). Verder vertoont de primaire productie in het Markermeer een duidelijk seizoenspatroon. Het patroon lijkt vooral te worden gestuurd door de lichtintensiteit, meer dan door temperatuur (Figuur 3.5). Hoewel de chlorofylconcentraties door opwerveling van bodemmateriaal in het Markermeer in de winter het hoogst zijn, is de productie dan juist laag (Figuur 3.6).



Figuur 3.3 Vergelijking van de algen in het IJsselmeer en het Markermeer in juli 2021. In het IJsselmeer leven bijna alle algen vrij in het water, in het Markermeer leeft een belangrijk deel in aggregaten (vlokken) samen met slibdeeltjes. Het zijn vooral de blauwalgen die in de vlokken voorkomen. Metingen van RWS-CIV (Rijkeboer en Dijkman, 2022).

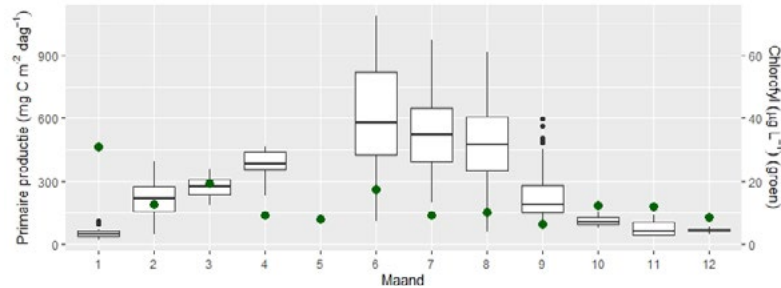


Figuur 3.4 Vergelijking van de primaire productie (op basis van flow cytometer) in de waterkolom van het IJsselmeer en Markermeer in juli 2021. De productie was in het Markermeer significant lager dan in het IJsselmeer. Metingen van RWS-CIV (Rijkeboer en Dijkman, 2022).



Figuur 3.5 Links: Verband tussen de lichtintensiteit en de primaire productie in het Markermeer. Rechts: Verband tussen watertemperatuur en primaire productie. De uitschieter in februari betreft een bijzondere situatie na het wegsmelten van de ijsbedekking van begin 2021. Aangegeven langs de Y-as is de maximale fotosynthesesnelheid (Pmax) als maat voor primaire productie. Deze wordt met behulp van fluorescentie gemeten en uitgedrukt als relatief elektronentransport (rETR, het aantal elektronen dat bij fotosynthese wordt gegenereerd). Dit wordt vervolgens omgerekend naar koolstof, zoals getoond in figuur 3.6. Gegevens RWS-CIV, combinatie van data over 2020 en 2021 (Rijkeboer en Dijkman, 2022).

³ Primaire productie is de aanmaak van organische stof (voedsel) door fytoplankton en planten uit anorganische koolstof en water, door gebruik te maken van fotosynthese (zon) of chemosynthese (oxidatie van stoffen).



Figuur 3.6 Seizoensverloop van de primaire productie (linker Y-as) en de gemiddelde chlorofylconcentraties (rechter Y-as, groene stippen) in het Markermeer. Hoewel de chlorofylconcentraties in de winter het hoogst zijn, is de productie dan juist laag. Gegevens RWS-CIV, combinatie van data over 2020 en 2021 (Rijkeboer en Dijkman, 2022).

3.3 Lage habitatdiversiteit

In het Markermeer-IJmeer domineert dieper, open water. Geleidelijke overgangen tussen land en water komen nauwelijks voor, omdat het meer wordt begrensd door afslagkusten en dijken. Het gereguleerde en tegennatuurlijk waterpeil (in de zomer hoger dan in de winter, terwijl het van nature in de zomer zou uitzakken) versterkt het karakter van een monotoon meer. De enige dynamiek die optreedt is die van de substantiële windopzet, met name in het noordoosten (locatie Marker Wadden).

De habitatdiversiteit van het Markermeer is dan ook laag. Dit betekent niet dat ook de natuurwaarde laag is, want die kan ook hoog zijn op basis van de habitats die wel aanwezig zijn. Lage diversiteit maakt het systeem echter wel gevoelig voor veranderingen, zoals afname van de aanvoer van voedingstoffen, klimaatverandering (Noordhuis et al., 2019) of toenemend menselijk gebruik.

Door de lage habitatdiversiteit is ook de biodiversiteit beperkt en sterk gedomineerd door een klein aantal soorten, behorend bij open water. De hoge aantallen waarin enkele van deze open water soorten voorkomen lagen echter wel ten grondslag aan het vaststellen van Natura 2000-instandhoudingsdoelen voor het Markermeer. Meer over de Natura 2000-doelen en het effect van Marker Wadden op deze doelen is te lezen in paragraaf 5.3.

De dichtheden van belangrijke bodemfaunagroepen in het Markermeer zijn laag in vergelijking met andere meren (paragraaf 4.3.4). Met name de bodemfauna die zich voedt met detritus (organisch materiaal) komt relatief weinig voor, wat wijst op een beperkte omzetting en/of toelevering van organische stof. Door de lage dichtheden treden essentiële bodemprocessen zoals bioturbatie en biofiltratie weinig op, waardoor de bodem nauwelijks wordt gemengd en de uitwisseling tussen bodem en waterkolom beperkt is. Dat kan verklaren waarom er wel nutriënten in de bodem voorkomen (namelijk door de relatief rijke kleibodems en de zandlagen daaronder) maar dat deze onvoldoende ten goede komen aan de primaire productie in de waterkolom.

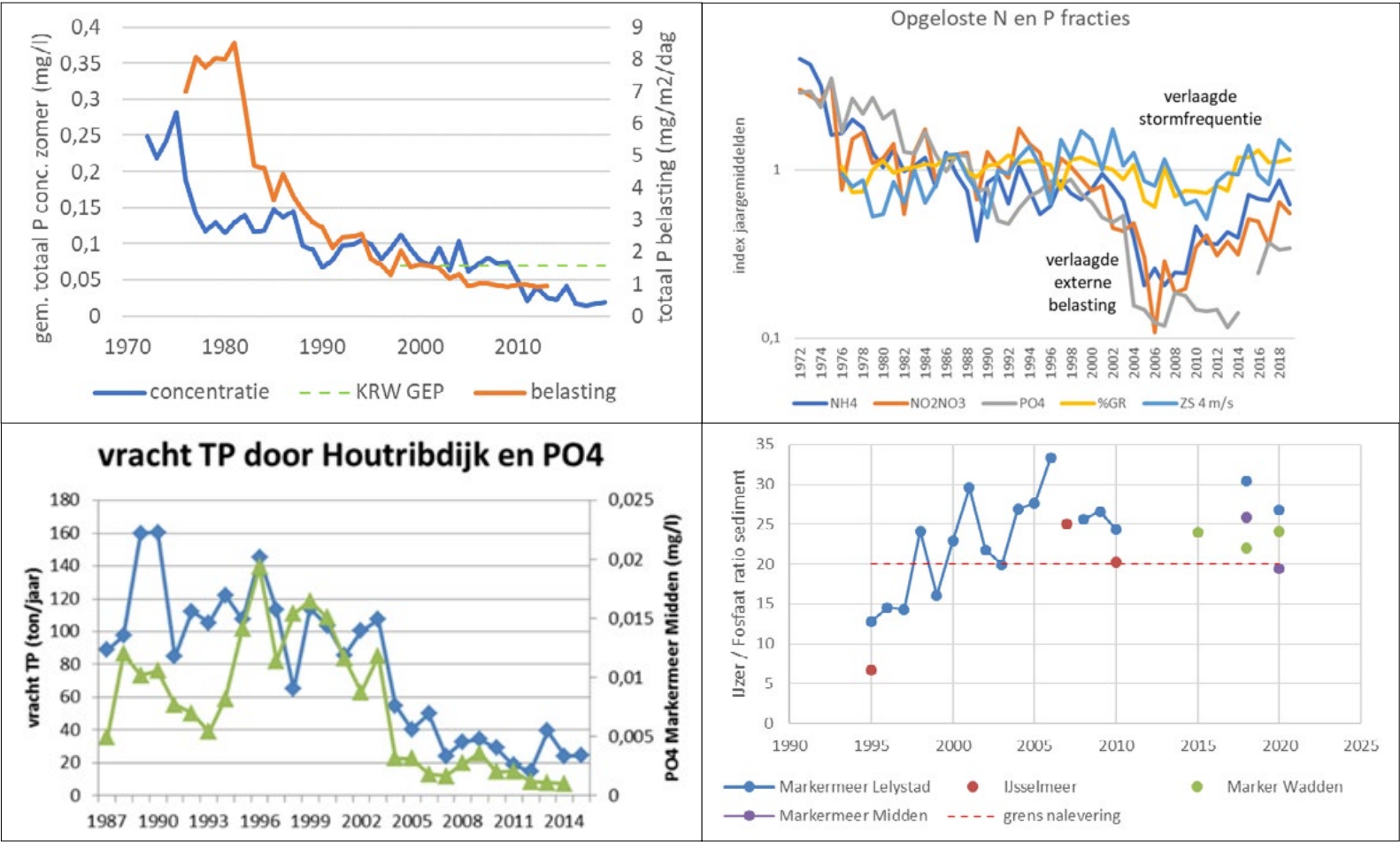
3.4 Waterkwaliteit

Na de vorming van het Markermeer werd de waterkwaliteit lange tijd bepaald door eutrofiëring, een overmaat aan nutriënten in het water. In de loop der tijd namen de concentraties nutriënten (fosfaat en stikstof) wel af. Dit kwam onder andere doordat het Markermeer door de Houtribdijk grotendeels werd afgescheiden van het in het IJsselmeer stromende IJsselwater. Verder gingen de concentraties sterk omlaag nadat in 1982 de rioolwaterlozingen van Amsterdam in het IJmeer werden stopgezet.

Vanaf 2004 zijn de volgende ontwikkelingen waargenomen:

- Verdere afname van opgeloste nutriënten (Figuur 3.7, rechtsboven). Dit fenomeen is in eerste instantie een gevolg van de verlaagde aanvoer van Rijn- en IJsselwater via het IJsselmeer (Houtribdijk; Figuur 3.7, linksonder) en komt ook voor in andere wateren in het IJsselmeergebied zoals het IJsselmeer en de Veluwerandmeren.
- In het Markermeer – waar de concentraties al lager waren – leidt deze verdere afname vanaf 2004 tot uitputting van opgelost fosfaat gedurende het hele jaar (Figuur 3.7, rechtsboven). Deze uitputting gaat samen met een afname en een verandering in de samenstelling van het zwevend stof; het is organisch rijker geworden (lager percentage gloeirest (GR), zie Figuur 3.2 en Figuur 3.7, rechtsboven).
- Op basis van fosfaatconcentraties in de waterkolom blijkt dat het Markermeer omstreeks 2004 veranderd is van eutroof (voedselrijk) in mesotroof (matig voedselrijk). De huidige concentraties van stikstof en vooral fosfaat liggen onder de Kaderrichtlijn Water norm ‘Goed Ecologisch Potentieel’ (GEP) voor het Markermeer (Figuur 3.7, linksboven).
- Een verlaagde stormfrequentie (Figuur 3.2);
- Afname in de nalevering vanuit bodem (Figuur 3.7, rechtsonder). Door afname van fosfaat is de ijzer-fosfaat ratio in de bodem toegenomen. Dat betekent dat een toenemend deel van het fosfaat hier gebonden wordt aan ijzer en daardoor na ‘opslag’ in de bodem nauwelijks meer in oplossing komt (wordt ‘nageleverd’). Het is dan slecht beschikbaar voor het voedselweb.
- Afname van bodemwoelende brasem (gegevens WMR);
- Toename van waterplanten en quaggamosselen in het westen (Hoornsche Hop, Gouwzee).

Kortom, al vóór de aanleg van Marker Wadden zijn de ruimtelijke verschillen binnen het meer groter geworden. Kort voor de start van de aanleg van Marker Wadden lijkt een deel van deze trends echter weer te zijn omgedraaid. Zo is het percentage gloeirest in het zwevend stof weer toegenomen (Figuur 3.2), evenals de concentraties van opgeloste voedingsstoffen (Figuur 3.7, rechtsboven). Hoe dit komt is nog niet helemaal duidelijk; mogelijk spelen veranderingen in de stormfrequentie en aanvoer van stoffen via de rivieren een rol. Deze autonome ontwikkelingen op de schaal van het Markermeer maken het lastiger om de effecten van Marker Wadden voor het hele systeem te duiden. Gezien de relatief kleine schaal en de locatie van Marker Wadden zijn bovendien vooral lokale effecten te verwachten die niet altijd hun weerslag zullen hebben op alle meetlocaties waarvan hier gegevens worden getoond. Daarom is er bij Marker Wadden een meetlocatie toegevoegd en wordt in KIMA tevens gewerkt met satellietbeelden, zodat lokale effecten optimaal in beeld komen.



Figuur 3.7 Linksonder: Verloop van gemiddelde fosfaatconcentraties in het Markermeer (RWS, gemiddelde van meetpunten Markermeer Midden, Hoornsche Hop, Lelystad en IJmeer), in combinatie met de externe belasting (Van der Geest et al., 2017) en de KRW-norm (0,07 mg/l). Aanvullende gegevens van www.waterinfo.nl. Rechtsboven: Seizoensgemiddelden (verschillend per parameter) van nutriënten en zwevend stof (ZS), gemiddeld over hiervoor genoemde locaties. Linksonder: Fosfaatvracht per jaar van IJsselmeer naar Markermeer (blauw) vergeleken met de concentraties van opgelost fosfaat in het Markermeer (groen). Rechtsboven: IJzer/fosfaat ratio in het sediment van het Markermeer en het IJsselmeer, en de grens waarboven de kans op nalevering van fosfaat uit de bodem klein is (Hin et al. 2010).

4

Aanleg en pionier- situatie Marker Wadden

Dit hoofdstuk beschrijft wat er geleerd is over het gebruik van slib voor het bouwen van natuureilanden. De lessen zijn voornamelijk gebaseerd op metingen in de slibcompartimenten en deels op de monitoring die Boskalis heeft uitgevoerd op de eilanden. Verder wordt ingegaan op het onderzoek naar zandige randen. Dit richtte zich vooral op de ontwikkeling van dwars-profielen, de ontwikkeling van washover-locaties en de open randen. Tenslotte beschrijft dit hoofdstuk de ontwikkeling van flora en fauna op en rond Marker Wadden, met het accent op vegetatie, vis en vogels.



Figuur 4.1 Marker Wadden met slibcompartimenten, reguliere compartimenten A tot en met E, slibvanggeul en zandwinput. De locaties van de meetpaal en de meetvakken voor de profielopnames zijn ook aangegeven.

Voor de aanleg van Marker Wadden is het beeld van een voedselrijk moeras leidend geweest, zoals de Oostvaardersplassen, maar dan in directe verbinding met het omringende water. Daarom werden de eilanden zodanig aangelegd dat grote oppervlakten ongeveer op of iets boven de heersende waterniveaus uit zouden komen. Daarvoor waren nodig: 1) een beschutte strandwal die de heersende windrichting en golfslag vanuit het (zuid) westen tempert en 2) compartimenten die stapsgewijs gevuld werden met slib en indien nodig bijgevoerd konden worden. De waterpeilen in de compartimenten werden tijdens de periode dat de kades gesloten waren afgestemd op de gewenste vegetatieontwikkeling, in de richting van een rietmoeras. Daarnaast werden ondieptes en geulensystemen aangelegd die al bij aanleg in open verbinding met het buitenwater stonden. Naast deze reguliere grootschalige compartimenten - A tot en met E - zijn er ook drie kleinschaliger onderzoekscompartimenten aangelegd, ook wel slibcompartimenten genoemd (Figuur 4.1 en Figuur 4.2).

4.1 Eilanden bouwen met slib

Voor dit onderdeel zijn de conclusies voornamelijk gebaseerd op onderzoek en monitoring in de slibcompartimenten van Marker Wadden (Figuur 4.1 en Figuur 4.2). Voor de onderliggende data en meer details zie deelrapport Hanssen et al. (2022a). Deze compartimenten, drie in aantal, hebben een totale oppervlakte van 10 ha en zijn daarmee veel kleiner en gemakkelijker toegankelijk voor onderzoek en monitoring dan de reguliere slibcompartimenten, de eilanden. Bovendien is er in theorie meer sturing mogelijk van het vulproces, het peilbeheer en de vegetatieontwikkeling ten behoeve van het onderzoek. In de praktijk bleek echter dat het onderzoeksteam deze factoren niet kon sturen, waardoor de manier waarop de compartimenten zijn gevuld en beheerd een externe randvoorwaarde vormde.

Een belangrijk doel van KIMA was om de resultaten van de slibcompartimenten te vertalen naar generieke lessen voor bouwen met slib. Daarom zijn de conclusies voor dit thema deels ook gebaseerd op de monitoring die Boskalis heeft uitgevoerd van de reguliere slibcompartimenten, die eerder zijn gevuld en waarin de invloed van vegetatieontwikkeling op de consolidatie langer en in een groter gebied kon worden gevolgd. Voor beide typen compartimenten is dezelfde sedimentbron gebruikt, namelijk holocene klei uit de ondergrond van het Markermeer. Afhankelijk van de winlocatie kan de samenstelling hiervan variëren.

4.1.1 Vullen van de compartimenten

De Bouwen met slib methode die op Marker Wadden is toegepast bij het vullen van de reguliere compartimenten is als volgt. Bij aanvang is een sliblaag neergelegd die dikker is dan de beoogde bodemligging en is een waterpeil aangehouden hoger dan het

uiteindelijke streefpeil. Het voordeel is dat hiermee snel een wetland kan worden gecreëerd, nadeel is dat het lang duurt voordat de hoogteligging stabiel is en dat er extra vulslagen nodig zijn als het niet mogelijk is om in één keer voldoende slib aan te brengen. In de praktijk is dit laatste meestal het geval, doordat de kadehoogte beperkt is en het onzeker is hoeveel droge stof er nodig is om de gewenste stabiele bodemligging te bereiken.

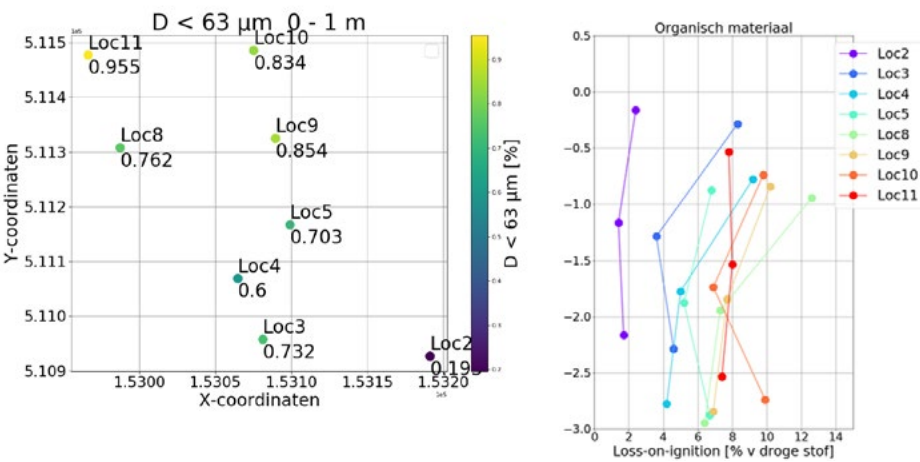
Bij het vullen van de slibcompartimenten is dezelfde methode toegepast. Deze zijn gevuld met ca. 440.000 m³ holocene klei met lage initiële dichtheid (ca. 1200 kg/m³). Dit gebeurde in 2 vulslagen, in juli 2019 (365.000 m³) en in februari 2020 (ca. 75.000 m³). De drie slibcompartimenten zijn door middel van

openingen in de kades gekoppeld en werden vanaf één punt gevuld. Dit punt is een paar keer verplaatst, namelijk van compartiment 1 naar 2 tijdens de eerste vulslag en naar 3 bij aanvang van de tweede vulslag. De twee vulslagen leidden tot een gemiddelde laagdikte van circa 4.4 m slib (waarbij de dikte niet uniform was).

4.1.2 Zakking

In het geval van Marker Wadden, treedt zakking op door twee processen: consolidatie van het slib en zetting van de ondergrond. Na het vullen en een kortdurende sedimentatiefase start de consolidatie waarin poriewater onder invloed van het eigen gewicht van de sliblaag langzaam uitstroomt en de sliblaag geleidelijk inzakt en een hogere dichtheid krijgt. Zodra het bovenstaande water wordt afgelaten, ontwikkelt zich snel een zeer compacte en stevige korst door verdamping en uitdroging. Het meeste slib in het profiel (dus onder de korst) komt echter niet boven water en ondervindt dus alleen eigengewichtsconsolidatie. Bij een extra vulslag zal de gehele sliblaag verder consolideren onder invloed van de toegenomen bovenbelasting.

Als zich in deze korst voldoende scheuren vormen, gaat de consolidatie in de verzadigde laag daaronder gewoon door en kan deze zelfs worden versterkt door het toenemende gewicht van de groeiende korst boven water. De consolidatie van het slib wordt versneld bij een lager waterpeil, waardoor peilbeheer een belangrijke stuurvariabele in het consolidatieproces vormt. De consolidatie stopt pas zodra de dichtheid in de sliblaag voldoende is toegenomen om een zelfdragende structuur te ontwikkelen en het sediment niet langer door het water wordt gedragen. En zelfs daarna is nog enige zakking mogelijk door kruip en zetting van de ondergrond.

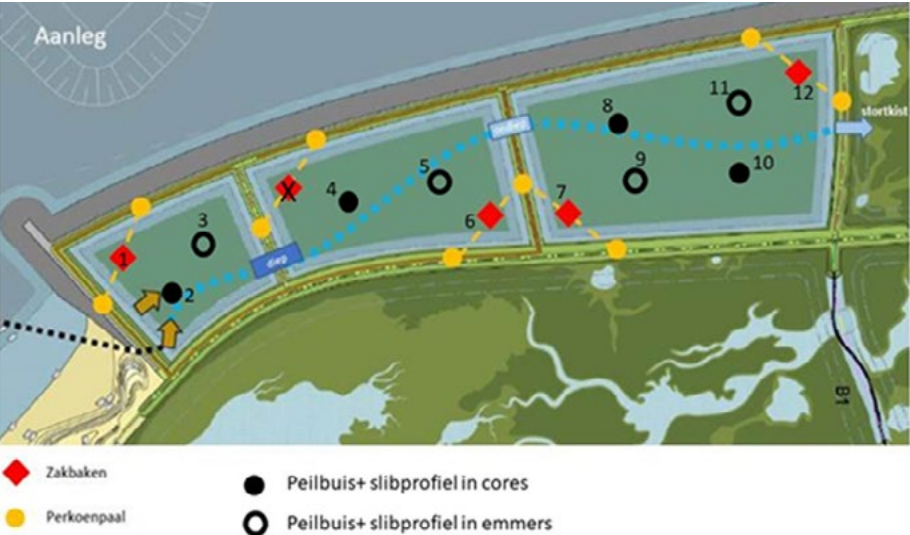


Figuur 4.3 Ruimtelijke gradiënten in zand-slibverhouding (links) en organisch gehalte (rechts) in de slibcompartimenten. Loc2-Loc11 zijn bemonsteringslocaties van zuid naar noord. Op de Y-as van de rechter grafiek staat de diepte NAP in meter Zie locatiekaart van Figuur 4.2 voor de ligging van de bemonsteringslocaties in de compartimenten ten opzichte van de spuitmond.

4.1.3 Resultaten van de slibcompartimenten

Segregatie

Tijdens de vulling van de compartimenten trad sterke segregatie op. Dit is de ontmenging van relatief zwaar materiaal (zoals zand en kleiballen) en lichtere fracties (vooral gedispergeerde klei en organisch materiaal) fracties. Dichtbij de spuitmond werd grofzandig materiaal met een laag organisch gehalte afgezet en verder van de spuitmond meer slibrijk materiaal met een hoger organisch gehalte (Figuur 4.3). Een verandering van de positie van de spuitmond versterkte bovendien de segregatie in verticale richting, doordat een slibrijke laag plaatselijk afgedekt werd door zandiger materiaal of omgekeerd. Dit is niet alleen waargenomen in de



Figuur 4.2 Boven-aanzicht slibcompartimenten, van links naar rechts compartimenten 1, 2, en 3. De in de figuur genummerde punten zijn meet- en bemonsteringslocaties.

reguliere compartimenten, maar ook in de veel kleinere slibcompartimenten. Ruimtelijke variaties in vulhoogte en samenstelling maken de analyse van de zetting complex.

Consolidatie

Consolidatie van de sliblaag is gevolgd door o.a. het meten van de hoogteontwikkeling, waterdruk, dichtheidsprofielen en sterkte profielen. Hierbij is de hoogteontwikkeling gecorrigeerd voor de zetting van de ondergrond die ook optreedt. Ook zijn de compartimenten over een periode van twee jaar viermaal bemonsterd waarbij verticale profielen zijn gestoken waarvan met laboratorium testen diverse fysische eigenschappen zijn bepaald (o.a. watergehalte, gehalte droge stof, gehalte organisch materiaal, slibgehalte, korrelverdeling, plasticiteitsgrenzen).

Van de oorspronkelijke gemiddelde laagdikte van ca. 4.4 m slib (dikte niet uniform en in 2 slagen aangebracht) is na ruim 2 jaar nog ca. 2.7 m over, d.w.z. 1.7 m zakking t.g.v. sedimentatie en consolidatie, inclusief een kleine bijdrage van ca. 0.1 m zetting van de ondergrond. Van de 1.6 m zakking van de sliblaag zelf treedt het merendeel op tussen vulling en de eerste meting na 3 maanden (ruim 1.3 m door een combinatie van bezinking en consolidatie), nog 0.2 m in het jaar hierna en nog slechts enkele cm in het daaropvolgende jaar. Het consolidatieproces is dus na 2.5 jaar grotendeels voltooid. De zetting van de ondergrond bij de slibcompartimenten bedraagt jaarlijks ca. 5 cm en domineert vanaf het tweede jaar de gecombineerde zakking. In het eerste jaar is de zetting van de ondergrond van ondergeschikt belang.

De sterke afname van consolidatiesnelheid in het tweede jaar wordt bevestigd door metingen van de waterspanning en dichtheidsprofielen. Dichtheidsprofielen ontwikkelen zich nauwelijks meer tussen de laatste en voorlaatste meting en de waterspanning (de

drijvende kracht van eigengewichtsconsolidatie) wijkt nauwelijks meer af van de hydrostatische druk. Zetting en consolidatie zijn op dit moment nog gaande op Marker Wadden, waarbij op basis van de metingen in de slibcompartimenten blijkt dat de eerste 2 jaar na vullen veruit de meeste zakking wordt veroorzaakt door consolidatie van de sliblaag en op langere tijdschaal de bijdrage van zetting van de ondergrond dominant wordt.

Dichtheden

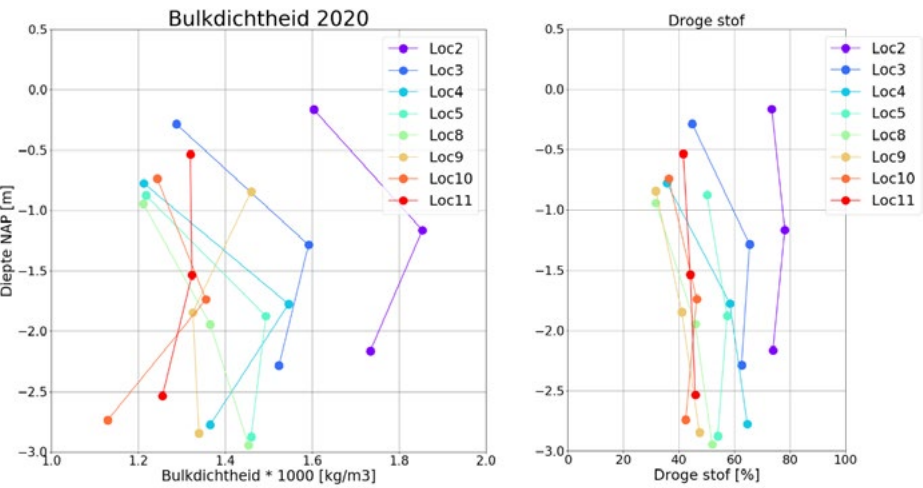
De gemiddelde bulkdichtheid in de slibrijke profielen van de compartimenten is ca. 1400 kg/m³ en in de profielen met veel zand (m.n. rondom het vulpunt in het eerste deelcompartiment) hoger. Dit betekent dat meer slib nodig is voor de vulling van de compartimenten dan waarvoor bij het ontwerp is uitgegaan. Grosso modo levert 1 m³ klei uit de Markermeerbodem niet meer dan 1 m³ stabiel substraat voor wetlandontwikkeling. Dit komt mede doordat extra slib moet worden aangebracht om te compenseren voor de zetting van de ondergrond en doordat de dichtheid in de droge korst boven het Markermeerpeil (indien aanwezig) hoger is dan in de oorspronkelijke Markermeerbodem.

In de slibcompartimenten waarin dichtheidsprofielen in meer detail kunnen worden gemeten was de bulkdichtheid in 2020 al in de orde van 1300-1500 kg/m³ (droge stofgehalte tussen 40 en 60%), zie Figuur 4.4. Dit betekent dat voor een stabiel profiel van 4 m dikte ongeveer 2.8 ton/m² droge stof nodig is, mede ter compensatie van de zetting van de ondergrond en de korstvorming boven de waterlijn.

De metingen laten in het eerste jaar een sterke toename van de bodemsterkte zien, maar verdere toename is beperkt. De sterkte van het slibrijke sediment varieert van ca. 2 kPa bovenin tot ca. 8 kPa onderin. Zandrijke profielen en de droge korst hebben een veel grotere sterkte.

De resultaten van de slibcompartimenten zijn consistent met die van de reguliere compartimenten (Boskalis, 2022). Hierin wordt een zakkingsnelheid van 0.2 – 0.25 m/jaar gerapporteerd voor hooggelegen delen (boven water) en 0.05 – 0.1 m/jaar voor lagergelegen delen. In het eerste jaar na vullen is de zakkingsnelheid het grootst. Deze cijfers zijn een combinatie van eigengewichtsconsolidatie van de sliblaag en zetting van de ondergrond.

De hier genoemde getallen zijn gemiddelden, maar kunnen van plaats tot plaats nogal verschillen vanwege de hoogte en de samenstelling van de ondergrond, de lokale sliblaagdikte en -samenstelling, peilbeheer etc. Voor meer details over consolidatie van de sliblaag zie deelrapport Hanssen et al. (2022a). Voor meer details over de invloed van vegetatie op de consolidatie zie paragraaf 4.1.5, Princen en Kalle (2022). Voor meer details over de prognose van de zetting van de ondergrond zie Boskalis (2022).



Figuur 4.4 Profielen van bulkdichtheid en droge stofgehalte in de slibcompartimenten in 2020. Loc2-Loc11 zijn bemonsteringslocaties van zuid naar noord.

Berekenen van consolidatie van de sliblaag

De inklinking van een sliblaag onder invloed van de fysische processen consolidatie (als gevolg van de zwaartekracht) en uitdroging (door verdamping) kan met numerieke modellen in principe goed worden berekend. Hindcasts van de waargenomen inklinking zijn met dergelijke modellen meestal succesvol, maar voorspellingen van de eindhoogte en de benodigde tijd om deze te bereiken blijven lastig. Dit hangt samen met de volgende onzekerheden:

- De hoeveelheid droge stof die na het vulproces daadwerkelijk in een profiel terecht komt;
- De eigenschappen van het sediment, die ruimtelijk variëren door segregatie van zand en slib. Het gaat hierbij om eigenschappen zoals de doorlatendheid als functie van porositeit, de porositeit als functie van korrelspanning en de verzadigingsgraad als functie van de zuigspanning. Deze functies kunnen weliswaar met laboratoriumtests worden bepaald, maar deze zijn afhankelijk van de samenstelling die vooraf nog niet bekend is.
- Het verloop van het waterpeil in de tijd dat bepaalt welk deel van het profiel in de consolidatiefase blijft en welk deel overgaat in de rijpingsfase (korstvorming);
- De potentiële verdamping gestuurd door het weer;
- De zetting van de ondergrond onder invloed van de belasting van de bovenliggende sliblaag.

Met gevoeligheidsonderzoek zijn deze onzekerheden te kwantificeren. Voor meer details ter onderbouwing van de conclusies wordt verwezen naar de rapportage monitoring slibcompartimenten (Hanssen et al., 2022a) en naar de rapportage vegetatieontwikkeling (Princen en Kalle, 2022).

4.1.4 Waterpeil

De consolidatie van het slib wordt versneld bij een lager waterpeil, waardoor peilbeheer een belangrijke stuurvariabele in het consolidatieproces vormt. De consolidatie stopt pas zodra de dichtheid in de sliblaag voldoende is toegenomen om een zelfdragende structuur te ontwikkelen en het sediment niet langer door het water wordt gedragen. En zelfs daarna is nog enige zakking mogelijk door kruip en zetting van de ondergrond.

Om ervoor te zorgen dat het areaal boven water – conform het streefbeeld – gehandhaafd blijft, kan het waterpeil geleidelijk worden verlaagd of de sliblaag geleidelijk worden opgehoogd via extra vulslagen. Daarbij geldt dat het waterpeil in open compartimenten per definitie gelijk is aan het Markermeerpeil en dat hier dus geen peilbeheer mogelijk is. Tenzij wordt geaccepteerd dat een steeds groter deel van de compartimenten onder water komt te liggen, zijn vulslagen hier dus de enige optie.

De natuurlijke aanslibbing in de open compartimenten is nog niet gemeten, maar bedraagt vermoedelijk enkele centimeters per jaar, zoals is waargenomen in de luwte achter Marker Wadden. Dit is voldoende om een kleine zakking op te vangen, maar onvoldoende om de op dit moment optredende consolidatie en zetting te compenseren.

Hierbij geldt dat zowel peilverlaging als extra vulslagen leiden tot verdere consolidatie van de al aanwezige sliblaag. Om deze extra consolidatie te compenseren moet het peil dus nog verder worden verlaagd of extra slib worden toegevoegd via extra vulslagen. Het uiteindelijke netto-effect van een vulslag is dus kleiner dan het initiële effect, ook omdat een hogere bovenbelasting de zetting van de ondergrond versterkt.

Hoe lang het consolidatieproces van het slib duurt en wanneer de ‘evenwichtshoogte’ is bereikt, is goed in hindcast⁴ te reproduceren met modellen. De resultaten zijn echter nogal gevoelig voor de eigenschappen van het slib, die sterk variabel zijn. Daardoor is het voorspellen (forecast) van de consolidatie onzeker, zodat het noodzakelijk is om deze op Marker Wadden te monitoren, om voorspellingen te toetsen.

4.1.5 Vegetatie en Bouwen met slib

Het gebruikte holocene materiaal bij de bouw van Marker Wadden blijkt zeer voedselrijk te zijn en is prima geschikt voor kieming en snelle groei van vegetatie (zie ook paragraaf 4.3.1). Dit wijkt af van eerder onderzoek waaruit bleek dat er sprake was van groei-vertraging en ijzertoxiciteit (o.a. Saaltink, 2018). Kennelijk is de bodemopbouw van het Markermeer ruimtelijk heterogeen en is Marker Wadden aangelegd met ander materiaal. Daarnaast kan ook de andere vulmethode van invloed zijn. Bij het eerdere onderzoek van Saaltink (2018) werd gewerkt met bodemmateriaal dat met een kraan geschept was, terwijl de Marker Wadden eilanden zijn gevuld met een cutterzuiger en verpompt materiaal. Het lijkt erop dat hierbij ontmenging optreedt, waardoor de toplaag een afwijkende samenstelling krijgt, met een hoger organisch stofgehalte doordat deze lichtere deeltjes opdrijven.

Doordat twee van de drie slibcompartimenten grotendeels permanent onder water staan, was hier minder onderzoek mogelijk naar de invloed van vegetatie en korstvorming op het consolidatieproces. Op basis van de wel beschikbare metingen lijkt de invloed van vegetatie beperkt te zijn; in de eerste jaren is consolidatie een dominant fysisch gedreven proces.

⁴ Hindcast is het testen van een voorspellend model door gebruik te maken van historische data

Korstvorming treedt snel op, resulterend in een toplaag die al binnen enkele weken te betreden is voor ganzen, zelfs zonder vegetatie. De doorworteling met vegetatie verloopt snel. De vegetatieontwikkeling beïnvloedt de consolidatie van het holocene slib slechts in geringe mate. De fysische consolidatie is aanzienlijk groter en domineert in de eerste jaren. Het kleine effect dat vegetatie heeft is een vertraging en geen versnelling van de consolidatie Dit komt doordat de wortels ruimte innemen en de toplaag kan hierdoor dikker worden en de zakking afneemt. Riet doorwortelt de bodem veel sterker dan een vegetatiebedekking bestaande uit moerasandijvie en rode ganzenvoet. Riet is belangrijk voor het vasthouden van slib. Verondersteld wordt dat de sterke doorworteling van de bodem (Figuur 8.1) weerstand biedt tegen erosie als gevolg van blootstelling aan het peil van het Markermeer. Dit is echter nog niet onderzocht.

Voor de opzet en resultaten van het onderzoek naar de vegetatie-ontwikkeling wordt verwezen naar het technisch deelrapport ‘Slib-ecologie’ (Princen en Kalle, 2022). In paragraaf 4.3.2 is meer informatie te vinden over de geobserveerde vegetatieontwikkeling, in paragraaf 7.2.2 worden uitspraken gedaan over de mogelijke toekomstige ontwikkeling van de vegetatie.

4.2 Randen van zand

Bij het onderzoek naar zandige randen werd er gekeken naar de ontwikkeling van dwarsprofielen, de ontwikkeling van washover-locaties en de ontwikkeling van open randen. Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste bevindingen. Deze zijn gebaseerd op de resultaten van de monitoring van specifieke onderdelen van de zandige randen van Marker Wadden (medio 2018 tot medio 2020) en de hierop gebaseerde analyses (Arcadis, 2022).

4.2.1 Dwarsprofielen

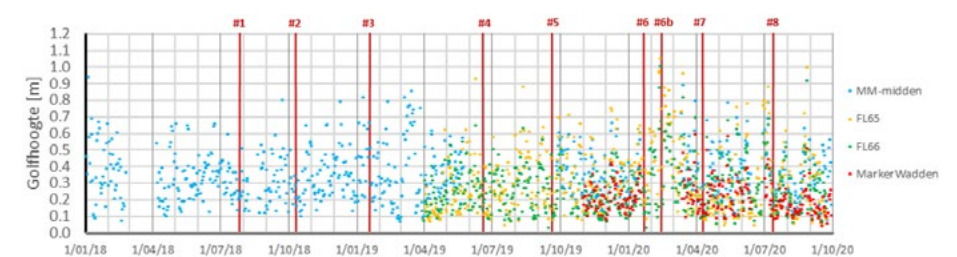
Over de ontwikkeling en vorm van morfologisch stabiele dwars-profielen langs de Noordzeekust is relatief veel kennis beschikbaar. Voor de zandige profielvormen langs de kusten van een meer – zonder verticaal getij en met relatief beperkte golfaanval – is veel minder bekend. Wel heeft de pilot Houtribdijk reeds eerste inzichten gegeven die zijn gebruikt voor het ontwerp van de zandige randen van de Marker Wadden. Deze pilot had echter betrekking op een specifieke locatie en belasting en levert daarom nog geen volledig beeld. Dit is dan ook de reden om op een aantal verschillende locaties langs de buitenrand van Marker Wadden de ontwikkeling van het dwarsprofiel te monitoren en deze gegevens nader te analyseren. Het achterliggende doel hiervan is om te bepalen in hoeverre de profielvorm afhankelijk is van de oriëntatie – en dus van hydraulische belasting – en om het samenhangende effect van waterstand en golfaanval te kunnen duiden.

Dit laatste is onderzocht door zowel een dwarsprofiel aan de zuidwestzijde als aan de noordoostzijde te beschouwen. Bij het eerste profiel gaat loodrecht inkomende golfaanval samen met een verhoging van de waterstand als gevolg van een scheefstand van het Markermeer. In het noordoostelijke dwarsprofiel gaat loodrechte golfval juist samen met een lokale verlaging van de waterstand.

Voor de analyse van de profielvormen zijn vier verschillende meetvakken gedefinieerd: op het Zuidstrand (ZW), het recreatie-strand bij het bezoekerscentrum (RS), het Noordstrand (NS) en aan de noordoostzijde ter plaatse van eiland D2 (Figuur 4.1). Door de lastige bereikbaarheid van deze laatste locatie is hier uiteindelijk geen goed beeld van de profielvormen verkregen. Per locatie zijn binnen een ongeveer 160 m breed vak meerdere dwarsprofielen

ingemeten die vervolgens zijn gemiddeld. De gebruikte niveaus zijn daartoe samengesteld uit een combinatie van peilingen voor het diepere deel, drone-opnamen voor het droge deel en speciaal per dwarsprofiel ingelopen gps-data voor het ondiepere deel. Deze procedure is herhaald voor in het totaal acht opnamen waar-bij de laatste plaatsvond voor het uitvoeren van een onderhouds-suppletie.

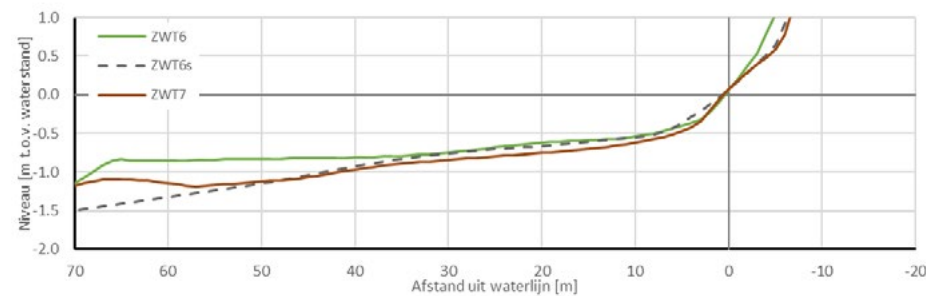
Teneinde een relatie te kunnen leggen tussen de profielvorm en de hydraulische belasting is gebruik gemaakt van de resultaten van de in het kader van het LakeSide-project geïnstalleerde meetapparatuur. Op deze wijze werd onder andere een beeld verkregen van de golfhoogte ter plaatse van het Zuidstrand (station FL65) en het Noordstrand (FL66), zoals weergegeven in Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Tijdsree van de ter plaatse van het Zuidstrand inkomende golfhoogte inclusief de tijdstippen van de uitgevoerde profielopnamen (#1 tot en met #8; tijdstip #6b is tijdens de Ciara-storm). De locaties van de meetpunten staan in Figuur 4.1

In aanvulling op de reguliere opnamen is ook het effect van de Ciara-storm (februari 2020) op de profielontwikkeling nog beschouwd. Tijdens deze storm kwamen er golven voor met een hoogte tot 1,2 m op de op de zuidwesterrand gelegen meetlocaties (Figuur 4.5). De analyses van de gegevens leidden tot de conclusie

dat er al vrij snel (binnen enkele weken na aanleg) sprake was van een stabiele vorm van het golfgedomineerde deel van het dwars-profiel. Deze vorm is ook tijdens de zwaardere Ciara-storm nauwelijks veranderd. Conclusie is dan ook dat het zandige profiel in staat is om ook zwaardere hydraulische omstandigheden eenvoudig te weerstaan (Figuur 4.6).



Figuur 4.6 Dwarsprofiel ter plaatse van Zuidstrand tijdens reguliere opnamen van 21 januari 2020 (T6) en 10 april 2020 (T7) alsmede het na Ciara op 14 februari ingemeten profiel (T6b).

De profielen van het Zuidstrand en het recreatiestrand zijn vergelijkbaar. Het dwarsprofiel op het Noordstrand is daarentegen iets steiler. Dit laatste is gerelateerd aan een gemiddeld afwijkende golfaanval en mogelijk ook het hier iets grovere zand. Voor een meer kwantitatieve duiding moet gebruik worden gemaakt van de inzet van een morfologisch rekenmodel zoals XBeach. De in dit kader beschikbaar gekomen meetgegevens kunnen in een later stadium worden gebruikt voor de validatie van dit model, opdat dit ook gebruikt kan worden voor ontwerp en beoordeling van zandige oevers elders in het merengebied.

4.2.2 Effecten sedimenttransport

Het onderzoek laat ook zien dat er op sommige plaatsen zijdelings zand uit het profiel verloren kan gaan. Dit is het gevolg van ruimtelijke verschillen in het jaarlijkse sedimenttransport langs de kust. Weliswaar verandert het beschouwde deel van het dwars-profiel hierdoor niet wezenlijk, maar wel leidt het tot verschuiving van het golf-gedomineerde deel van het profiel in overwegend landwaartse richting. Ofschoon daar in dit kader geen onderzoek naar is gedaan wordt verwacht dat de langs de strandlijn aanwezige stromingen deels verantwoordelijk zijn voor deze ontwikkeling, met name bij het Noordstrand (NS in Figuur 4.1).

Deze landwaartse verschuiving van het profiel wordt op sommige trajecten als ongewenst gezien. Dit geldt onder andere als de zandige randen niet alleen worden gezien als een bescherming van het achterliggende gebied, maar ook als te handhaven strand. Om de gewenste positie van de strandlijn op termijn te handhaven zal er moeten worden nagedacht over de meest optimale werkwijze. Het uitvoeren van aanvullende strandsuppleties is hiervoor de meest praktische oplossing. Afhankelijk van de mate van erosie dienen suppleties dan onderdeel te worden van het onderhoud (zie mogelijke aanbevelingen in paragraaf 8.2).

4.2.3 Effecten zetting ondergrond

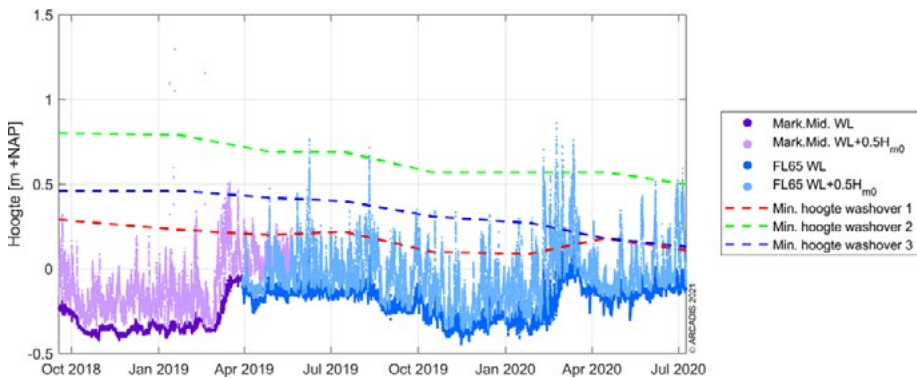
Uit analyse van de ontwikkeling van het gemiddelde niveau van de zandige rand blijkt dat er sprake is van zetting van de ondergrond. De gemiddelde afname van het kruinniveau bedraagt op deze specifieke plek 20 cm per jaar en lijkt vooralsnog lineair te verlopen (Arcadis, 2022). Het getal is bepaald voor het meetvak op het Zuidstrand en heeft betrekking op het gemiddelde duinniveau (droge deel boven grofweg 0,5 m NAP). Er is twee jaar gemeten. Omdat het resterende kruinniveau nog hoog is, brengt

dit op korte termijn de primaire, beschermende functie van de zandige randen niet in gevaar.

4.2.4 Washovers

In de duinenrij die ter plaatse van het Zuidstrand is aangelegd, zijn drie verlagingen aangebracht, met als doel om de interactie met het achterliggende gebied te vergroten. Deze onbeschermde verlagingen in de duinenrij worden washovers genoemd. Het idee hierbij is dat er tijdens stormcondities, als ook de waterstanden lokaal verhoogd zijn, golven over deze washovers slaan en er een meer natuurlijk gevormde binnenrand (in plaats van een rechte lijn) ontstaat zonder dat er extreme erosie optreedt. De twee buitenste washovers zijn ongeveer 100 m breed en hadden initieel een minimaal drempelniveau van 0,3 tot 0,5 m boven NAP. De middelste washover is iets smaller (60 m) en had initieel een hoger niveau (NAP+0,8 m).

Het gedrag van deze drie washovers is onderzocht door (acht) hoogtemetingen te analyseren, die Boskalis tussen september 2018 en juli 2020 heeft uitgevoerd. Hieruit blijkt dat het gemiddelde niveau van de washovers weliswaar gestaag is gezakt, maar dat er geen sprake is van washover-specifieke ontwikkelingen. In combinatie met analyse van de opgetreden waterstanden en golfval leidt dit tot de conclusie dat de aangelegde washovers – zeker initieel – niet als actieve washover hebben gefunctioneerd (Figuur 4.7). Mogelijk is er in februari 2020 ten tijde van de Ciara-storm wel enige overwash geweest ter plaatse van de meest noordelijk gelegen washover. Dit heeft echter niet geleid tot een duidelijke morfologische respons.



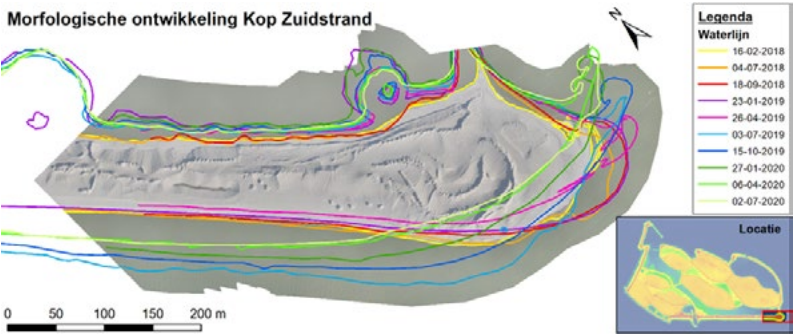
Figuur 4.7 Waterstand en waterstand plus golfamplitude (50 % van Hm0-waarde) in relatie tot de minimale hoogte van de washovers (laagste punt van de dwarsdoorsnede van elke washover per hoogtemeting) ter indicatie van momenten van potentiële overwash.

Geconcludeerd kan worden dat de washovers iets te hoog aangelegd zijn om als actieve washover te functioneren, al zal de activiteit wel toenemen als de bodemdaling verder doorzet. Mocht de dynamische uitwisseling met het buitengebied reeds eerder (of vaker) gewenst zijn, moet worden overwogen om het niveau van de washovers enigszins te verlagen.

4.2.5 Ontwikkeling open rand

In sommige gevallen wordt een zandige versterking of strand tweezijdig opgesloten tussen harde constructies. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het recreatiestrand, dat tussen de westelijke dijkconstructie en de westelijke havendam ligt. Bij het Zuidstrand daarentegen ligt alleen aan de havenzijde een harde constructie en is er aan de zuidoostzijde sprake van een ‘open rand’. Dit biedt de kans om de ongestoorde ontwikkeling van een open rand te bestuderen en aanbevelingen te kunnen doen over de toepassing van open randen bij de aanleg van uitbreidingen van Marker Wadden.

Analyses
Voor de analyse van de ontwikkeling van deze open rand is gebruik gemaakt van de door Boskalis beschikbaar gestelde beeldopnamen (in de vorm van TIF-bestanden met een hoge resolutie van 20 cm) van de kop van het Zuidstrand. De eerste opname dateert van februari 2018 en de als laatste gebruikte, tiende opname dateert van juli 2020 (zie Figuur 4.8 voor een compleet overzicht).



Figuur 4.8 Morfologische ontwikkeling van de kop van het Zuidstrand. De lijnen tonen de waterlijnen in elke beeldopname. De blauwe en groene lijnen tonen de ontwikkeling van de waterlijn na de strandsuppletie. De eerste beeldopname van februari 2018 is weergegeven als achtergrond (waterstand ongeveer NAP-0,3 m).

Daarbij moet worden opgemerkt dat de natuurlijke ontwikkeling van de kop twee keer beïnvloed is door het storten van zand. De eerste keer (tussen de tweede en derde opname) ging het om het storten van zand tegen de binnenzijde van de kop, maar was de invloed beperkt. De tweede keer (in de zomer van 2019) werd de kop grootschaliger verstoord door het uitvoeren van een grote strandsuppletie aan de meerzijde van het strand. De echt autonome ontwikkeling van dit kustvak had dus slechts betrekking op het tijdsinterval tot en met de vijfde meting.

In eerste instantie laten de beelden zien dat zich een zogenaamde spit vormt (Figuur 4.8). Het zand dat richting de open rand werd getransporteerd zette zich daarbij voorbij/achter de kop af. Het rechte stuk strand vertoonde geen achteruitgang. De ontwikkelingen hadden dan ook geen negatief effect op de grootschalige ligging van het Zuidstrand als geheel. Dit laat zien dat het gebruik van een open rand (zeker voor dit soort toepassingen) geschikt is als een meer natuurlijk alternatief voor een harde constructie. Zoals aangegeven is deze natuurlijke ontwikkeling in juli 2019 bewust verstoord door het over ruim 50 m uitbouwen van het hier aanwezige strand. Uit de opnamen blijkt dat deze grootschalige uitbouw van het strand slechts een tijdelijk effect heeft en dat de positie van de waterlijn uiteindelijk weer richting initiële positie zal verschuiven. Ofschoon het een logische maatregel is om het strand lokaal te verbreden heeft een dergelijke suppletie uiteindelijk slechts een tijdelijke functie en zal het hier extra aangebrachte materiaal uiteindelijk rond de kop worden afgevoerd.

Conclusies
Geconcludeerd kan worden dat een open rand, zeker in het kader van het Marker Wadden project, een bruikbaar en meer natuurlijk alternatief is voor het gebruik van een harde constructie. Verder is het toepassen van (strand)suppleties in basis een uitstekende adaptieve en natuurlijke maatregel voor het tegengaan van lokale achteruitgang van het strand. Het is per definitie echter een tijdelijke oplossing, die langetermijnonderhoud vereist. Aanbevolen wordt om mogelijke suppletie-alternatieven (wat betreft volume en positie langs en dwars op het strand) te vergelijken, om zo tot optimale beheersmaatregelen en optimalisatie van toekomstige aanlegprojecten te komen.

4.3 Ecosysteem van waarde

Deze paragraaf beschrijft de ontwikkeling van flora en fauna op en rond Marker Wadden, met het accent op vegetatie, vis en vogels.

4.3.1 Ontwikkeling van een voedselrijk moeras

Het bouwen met het voedselrijke holocene slib heeft gezorgd voor direct hoge biologische productie en de snelle kieming en groei van vegetatie. De afgelopen jaren was er sprake van een pioniersituatie, terwijl de ontwikkeling naar een voedselrijk rietmoeras op gang is gekomen. Er hebben zich nieuwe habitats ontwikkeld, met ondieptes, geleidelijke land-waterovergangen, slikken en hogere zandige delen (Van Leeuwen et al. 2021). Het resultaat hiervan was direct zichtbaar. Er ontstond vrijwel direct een pioniervegetatie van met name moerasandijvie en rode ganzenvoet op de ondiepe sliklagen en land-waterovergangen. Ook begonnen lisdodde en riet zich (in enige mate) te vestigen, al dan niet met hulp van de inbreng van zaad of wortelstokken en het bieden van bescherming om vraat door ganzen te beperken. Tegelijkertijd ontwikkelde zich bodemfauna op de eilanden (Temminck et al., 2021).

Ook vestigden zich al vanaf het begin kolonies kokmeeuwen en visdieven op de zandige hoogtes en dijken van de compartimenten, en vonden tal van vogels – met name eenden en steltlopers – hun weg naar de slikkige compartimenten. Verder hebben ook de meeste vissoorten in het Markmeer de habitats inmiddels gevonden en zeker de helft plant zich er ook voort. Hoge dichtheden van plankton en insecten vormen voedsel voor vissen en vogels. Deze benutten Marker Wadden op landschapsschaal, dat wil zeggen dat er veel uitwisseling is met omliggende gebieden die elkaar wederzijds versterken. Veel van deze ontwikkelingen waren vooraf te verwachten op basis van kennis die al was opgedaan bij eerdere natuurontwikkelingsprojecten (zie ook Paragraaf 7.1).



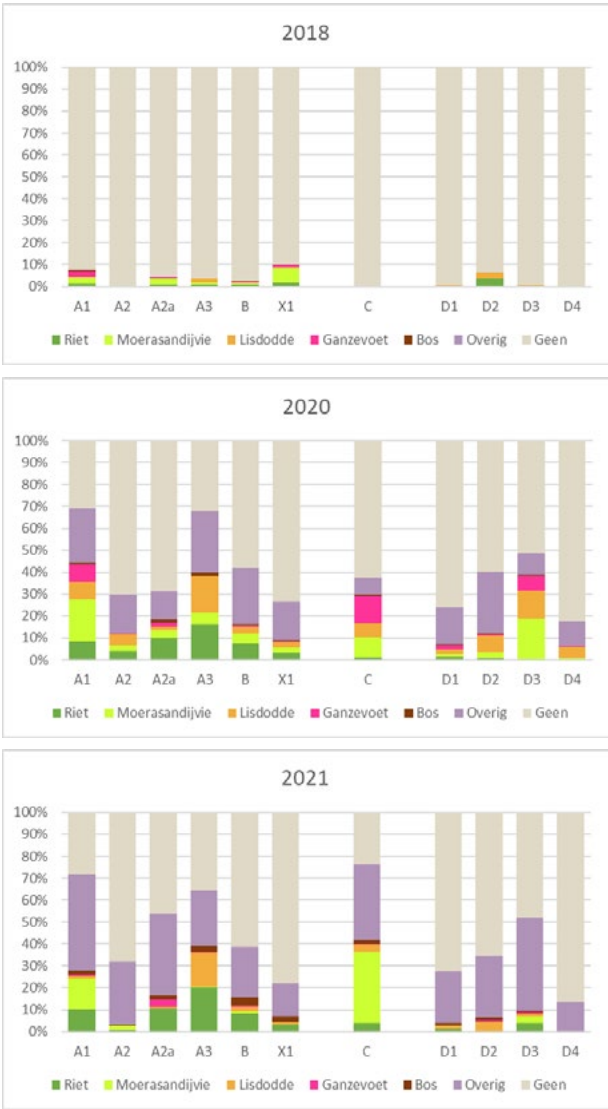
4.3.2 Pionier- en moerasvegetatie

De vegetatie op Marker Wadden is nog volop in ontwikkeling. De samenstelling verandert van jaar tot jaar. Voor een groot deel is dat het gevolg van natuurlijke processen van kolonisatie en successie. Voor een kleiner deel zijn de ontwikkelingen bewust gestuurd, bijvoorbeeld door het aanbrengen van zaden of wortelstokken van riet en grote lisdodde, of door het voorkomen van graas door met name grauwe ganzen.

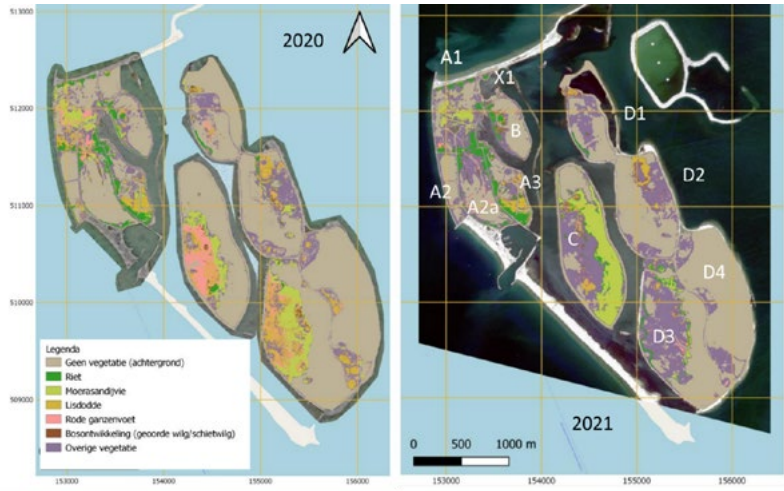
De pioniervegetatie is in de jaren 2018, 2020 en 2021 dekkend in beeld gebracht met behulp van een modelmatige benadering met machine learning op basis van satellietbeelden, droneopnamen en veldwaarnemingen (Klein Schaarsberg en Ivushkin 2021). In 2018 was slechts 4,8% van het totale areaal van de A en B eilanden begroeid, op de later opgeleverde C en D eilanden slechts 1,5% (Figuur 4.9). Op alle eilanden stond een kleine hoeveelheid riet,

vaak samen met lisdodde en rode ganzenvoet en op de A en B eilanden ook moerasandijvie.

In 2020 was inmiddels 50% van A en B en 35% van C en D begroeid, in 2021 respectievelijk 54% en 43% (Figuur 4.10). Van de begroeide delen was in 2020 inmiddels 41% 'overige vegetatie', ofwel gemengde pioniervegetatie. In 2021 was dat al 66%. Op kleine schaal is ook bosontwikkeling zichtbaar (geoorde wilg en schietwilg, zie Foto 1). Ondanks het kleine verschil in het totale areaal dat bedekt is door vegetatie zijn er grote verschillen te zien in de soortensamenstelling tussen 2020 en 2021. Grote oppervlakten rode ganzenvoet en moerasandijvie in 2020 waren een jaar later vervangen door 'overige vegetatie', terwijl elders nieuwe velden moerasandijvie waren verschenen (Figuur 4.10). Dit soort groot-schalige verschuivingen zijn kenmerkend voor de pionierfase.



Figuur 4.9 Relatieve areaal van verschillende vegetatietypen per eiland in 2018, 2020 en 2021, naar Klein Schaarsberg en Ivushkin 2021. De letters van de eilanden staan in Figuur 4.10.



Figuur 4.10 Vegetatiekaarten van 2020 en 2021 (Klein Schaarsberg en Ivushkin 2021). Alleen eiland C is in 2021 nog door middel van een kade van het Markermeer afgesloten, de andere compartimenten zijn in vrije verbinding gesteld met het meer in 2020.

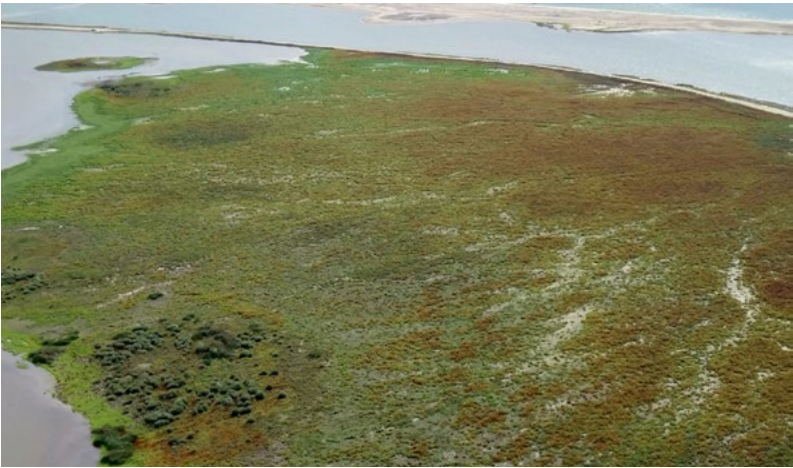
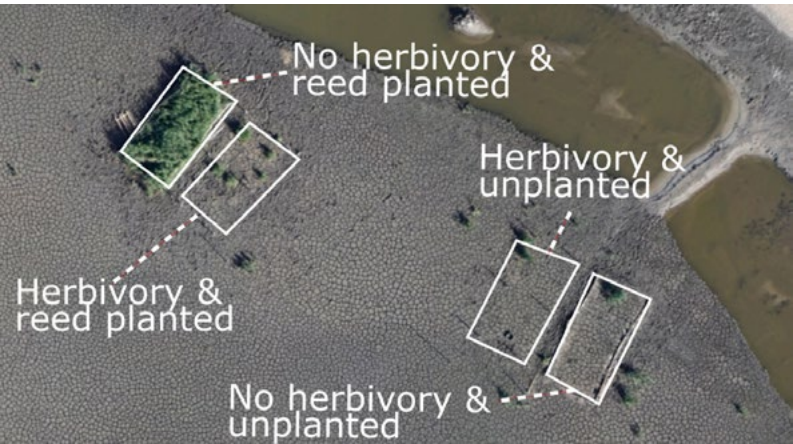


Foto 1 Lokaal beperkte wilgenopslag. 22 augustus 2020, M.R. van Eerden. Zuidkant van D3 in Figuur 4.7, links, gezien vanuit het noorden.



Figuur 4.11 Sterke rietontwikkeling na aanplanten en uitrasteren tegen ganzengraas. Uit Temmink et al. 2021. No herbivory betekent geen ganzengraas door uitrastering.

In 2021 zijn ook aangeplante stroken riet zichtbaar op eiland D3 (Figuur 4.10, rechts). Uit onderzoek binnen het programma Natuur in Productie bleek dat spontane vestiging van riet zeer traag verliep en ondergeschikt was aan de ontwikkeling van lisdodde. Spontane vestiging van riet vond aanvankelijk niet plaats. Aanplant van riet (wortelstokken) verliep wel succesvol, maar alleen als die aanplant werd beschermd tegen vraat door ganzen (Figuur 4.11). Zonder bescherming tegen vraat ontstonden lisdoddevelden waarin riet vrijwel ontbrak. In de natste delen bleef ook geen lisdodde meer over. Inmiddels breidt riet zich in de drogere zones alsnog uit vanuit de beschermde gebieden. Bovendien heeft riet zich gevestigd in de gebieden waar in de eerste jaren visdief- en kokmeeuwkolonies waren, maar die inmiddels door deze vogels zijn verlaten (Van Leeuwen et al. 2021, Temmink et al. 2021).

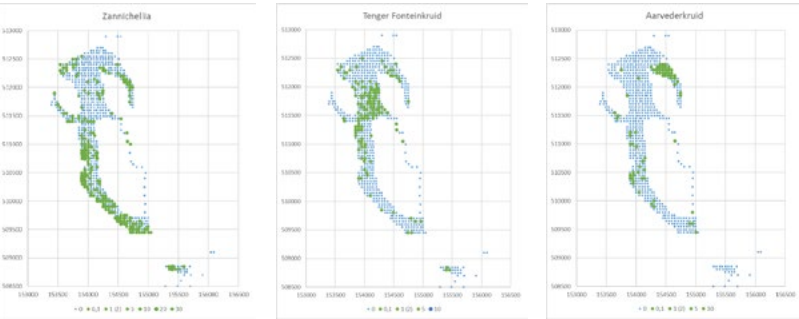
4.3.3 Waterplanten

In 2019 zijn de eerste opnames van waterplanten uitgevoerd tussen en rond de eilanden van Marker Wadden (te vinden op <https://waterinfo-extra.rws.nl/>). Daarbij werden vier soorten waterplanten gevonden: doorgroeid fonteinkruid, schedefonteinkruid, tener fonteinkruid en stijve waterranonkel. In 2020 zijn veel meer gedetailleerde opnames uitgevoerd en werden ook aarvederkruid, gekroesd fonteinkruid, grof hoornblad en zannichellia aangetroffen, evenals vier soorten kranswier. Vooral het voorkomen van kranswieren is waarschijnlijk beïnvloed door het aanbrengen van sediment met sporen –, afkomstig uit het westen van het Markermeer – in het noordelijke deel van de centrale geul tussen de eilanden. In totaal werden op 22% van de meetpunten waterplanten aangetroffen (22%). De dichtheden waren laag, maar dat was mede een gevolg van de vroege opnamedata (eind juni).

In 2021 is de kartering herhaald en uitgebreid, voor de vergelijkbaarheid opnieuw relatief vroeg in het seizoen (Figuur 4.12). Stijve waterranonkel werd niet meer aangetroffen, een nieuwe soort was doorschijnend sterrekroos. In totaal werden waterplanten aangetroffen op 57% van de meetpunten, dus meer dan een verdubbeling van de bezetting ten opzichte van 2020. Zannichellia was met 31% van de locaties het meest vertegenwoordigd (mede door de vroege opnamedatum), daarna tener fonteinkruid (20%) en aarvederkruid (10%). Aarvederkruid was het sterkst toegenomen ten opzichte van 2020 (23 x) en bereikte aan het eind van het groeiseizoen lokaal zeer hoge dichtheden (>100 g drooggewicht per m²; waarneming augustus 2021, Casper van Leeuwen). Er zijn duidelijke verschillen in verspreiding tussen de soorten, vooral gerelateerd aan de diepte; dieper dan 2,5 meter zijn geen waterplanten waargenomen.

Bij de hierboven beschreven karteringen kon alleen tussen de eilanden gekeken worden en niet binnen de eilanden. Onderzoekers van het NIOO-KNAW hebben in de drie slibcompartimenten wel waterplanten geïnventariseerd. Hieruit bleek dat ook daar sprake was van vegetatieontwikkeling. In de drie slibcompartimenten ontwikkelde zich een gemeenschap met onder meer aarvederkruid en gekroesd- en tener fonteinkruid (Van Leeuwen et al. 2021).

Hoewel geen van de aangetroffen soorten nieuw is voor het IJsselmeergebied kwamen soorten als gekroesd fonteinkruid, doorschijnend sterrekroos, stijve waterranonkel en grof hoornblad nauwelijks voor in het Markermeer-IJmeer (zie <https://waterinfo-extra.rws.nl/>). Meer in het algemeen is de habitat ‘ondiep water’ en de soorten die daarbij horen ondervertegenwoordigd, zodat de ontwikkelingen rond Marker Wadden nu al positief bijdragen aan de diversiteit van de waterflora in het systeem. Door de gekozen locatie in de oostelijke helft van het meer, waar vrijwel geen watervegetatie voorkwam, geldt dit ook in ruimtelijke zin.



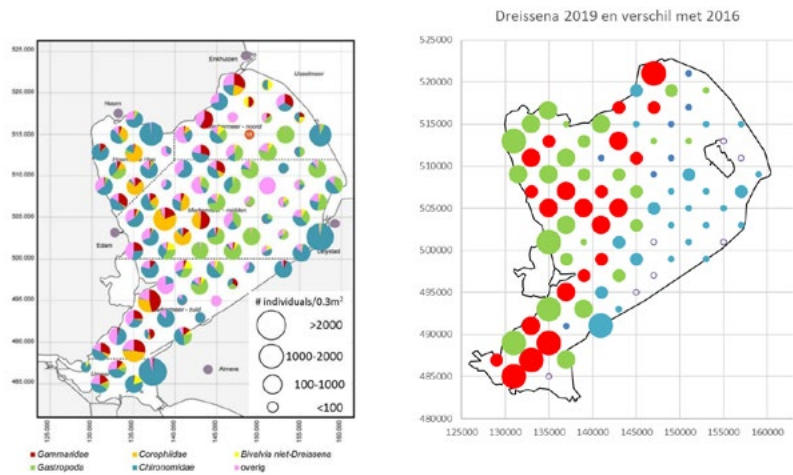
Figuur 4.12 Ruimtelijk diversiteit in 2021; verschil in verspreiding van drie soorten waterplanten. Opname is gemaakt in de geul tussen eilanden A en C.

4.3.4 Bodemfauna

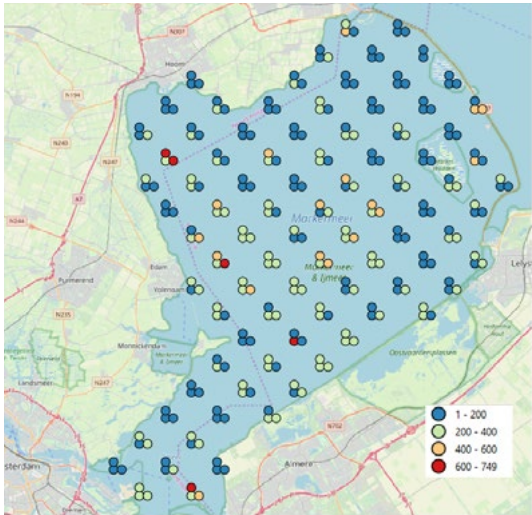


De gemeenschap van ongewervelde dieren in de wateren rond Marker Wadden is onderzocht in de jaren 2018-2020 (Van Riel en Verdonschot 2021). De resultaten zijn vergeleken met monsters uit de oeverzones van het Markermeer in 2017 en een integrale kartering van het Markermeer in 2016, kort na de start van de aanleg (Van Riel et al. 2018, Verdonschot et al. 2021). Uit de kartering van 2016 bleek dat de bodemfauna het rijkst was in het westen. In het oosten van het Markermeer waren de dichtheden en de diversiteit van de bodemfauna lager. Wormen en muggenlarven waren hier het beste vertegenwoordigd (Figuur 4.13).

De dataset van 2016 is ook gebruikt om een indicatie te geven van de ruimtelijke verdeling van graaactiviteit van de bodemfauna (Figuur 4.14). Die bleek relatief hoog te zijn in het midden van het Markermeer, ongeveer in de driehoek Marker Wadden – Edam – Marken. Dit is het gebied waar later verhoogde zwevend stof concentraties werden gemeten die gerelateerd waren aan de werkzaamheden aan Marker Wadden (zie paragraaf 5.2.3).



Figuur 4.13 Links: Ruimtelijke aantalsverdeling van taxonomische groepen bodemfauna in het najaar van 2016. Alle groepen zijn weergegeven, behalve de wormen en de driehoeks- en quaggamossel. Bron: Van Riel et al. 2018. Rechts: relatieve dichtheden van driehoeks- en quaggamossel in 2019 en het verschil met 2016 (groen is toename, rood is afname en blauw is nieuwe kolonisatie, open cirkels is afwezig). Bron: Bij de Vaate en Jansen 2016; Maathuis et al. 2020.



Figuur 4.14 Bioturbatie potentieel index per monster (drie deelmonsters per locatie), op basis van de samenstelling van de bodemfauna. Bron: Verdonshot, 2020.

In 2016 en in 2019 is ook een MWTL-mosselkartering uitgevoerd (Figuur 4.13, rechts). Uit de vergelijking bleek – net als bij de overige macrofauna – dat de dichtheden van mosselen in het westen van het meer in beide jaren hoger waren dan in het oosten. In 2016 was het oosten nagenoeg leeg, maar in 2019 had hier kolonisatie plaatsgevonden. Ten oosten van Marker Wadden was dat nog niet het geval, maar deze locaties liggen zodanig dicht tegen de eilanden aan dat hier waarschijnlijk nog te veel verstoring was.

Op de basaltdijken van het Markermeer met enige rietbegroeiing wordt de gemeenschap gedomineerd door kreeftachtigen zoals vlokreeftjes, slijkgarnalen en aasgarnalen. De bodemfauna van de diepere delen van het Markermeer bestaat vooral uit wormen (oligochaeta) en muggenlarven (chironomidae). Gedurende de jaren 2018 tot 2020 verschoof de dominantie van de eerstgenoemde gemeenschap naar de laatstgenoemde gemeenschap. Dit is in overeenstemming met de ontwikkeling van nieuw oeverhabitat (Figuur 4.15).

Lokaal en in ruimtelijke zin op watersysteemniveau dragen de Marker Wadden dus bij aan de diversiteit van ongewervelden. Hierbij komt de kolonisatie van de eilanden door meer terrestrische groepen. Uit onderzoek door Natuur in Productie in combinatie met activiteiten van vrijwilligers komt naar voren hoe dat proces verloopt (zie paragraaf 6.2.1, Tabel 6 1). Behalve grote hoeveelheden dansmuggen en vliegen zijn inmiddels ook vlinders, libellen en andere krachtige vliegers te vinden, maar ook kevers en spinnen hebben de eilanden bereikt.

In 2018 zijn ook monsters genomen in een van de diepe putten rond de eilanden. Ook hier werden vooral wormen en muggenlarven gevonden (cluster 9 in Figuur 4.15). De muggenlarf

Chironomus plumosus lijkt hier relatief goed vertegenwoordigd te zijn. Deze soort kan bij lage zuurstofconcentraties nog goed uit de voeten door het bezit van haemoglobine. Er is bij incidentele metingen echter geen stratificatie (en zuurstoftekort) in de putten gemeten, wel werd er veel vis aangetroffen (zie paragraaf 4.3.5).



Figuur 4.15 Verspreiding van de zeven belangrijkste macrofauna clusters over de bemonsterde locaties op en rond Marker Wadden. 1 = Amphipoda – Mysida (vlokreeftjes en slijkgarnalen - aasgarnalen), 2 = Amphipoda, 3 = Arachnida (watermijten), 5 = Mysida – Gastropoda (aasgarnalen – slakken), 6 = Oligochaeta (borstelarme wormen), 7 = Chironomidae (muggenlarven), 9 = Oligochaeta – Chironomidae. Bron: Van Riel en Verdonshot 2021.

4.3.5 Ontwikkeling van de visstand

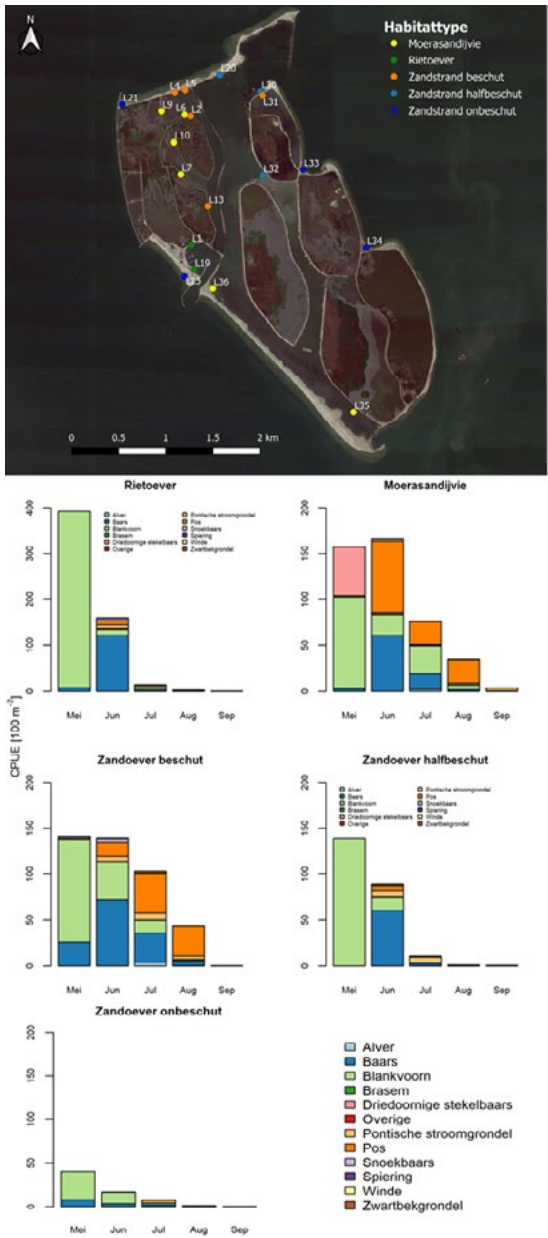
Vanaf 2019 is de ontwikkeling van vis en bodemfauna op en rond de eilanden onderzocht; in 2019 op het eerste (hoofd)eiland, en vanaf 2020 ook op de andere eilanden (methode beschreven in De Leeuw et al. 2021). In 2019 waren de compartimenten nog grotendeels afgesloten van de omliggende wateren en kwam er vrijwel geen vis voor in de compartimenten. Door het vrijwel ontbreken van begrazingsdruk door vis ontstond een tijdelijke opleving van grote Daphnia's en ander plankton, grote hoeveelheden aasgarnalen, vlokreeften, waterwantsen en andere pelagische macrofauna binnen de compartimenten. Maar ook in de geulensystemen en vegetatierijke land-waterovergangen buitendijks (dat wil zeggen in verbinding met het open water van het Markermeer) aan de oostzijde van het eerste eiland werden soms grote hoeveelheden Daphnia's, aasgarnalen en waterwantsen aangetroffen, ondanks dat er daar wel veel activiteit van vissen was. Mogelijk had dat te maken met het afdalen van water uit de compartimenten. Er werden volwassen vissen waargenomen die paaiden op de ondieptes en met name langs vegetatierijke oeverzones en ondieptes werden grote hoeveelheden vislarven aangetroffen.

In 2020 werd het onderzoek naar jonge vis en bodemfauna geïntensiveerd en konden meer precieze relaties worden gelegd met de milieuomstandigheden, zoals de lokale watertemperatuur. Het netwerk van bemonsteringen werd uitgebreid naar de andere eilanden die toen voor het eerst begaanbaar waren. De zeer instabiele waterbodems van de net opgeleverde delen van de eilanden beperkten eerder de plekken waar bemonsterd kon worden. In 2021 werden eveneens maandelijkse bemonsteringen van vislarven, benthos en plankton uitgevoerd maar met een lagere ruimtelijke dekking.

Tabel 4.1 Vissoorten aangetroffen in het Markermeer (oeverbemonsteringen: de Leeuw et al. 2021) en rond Marker Wadden (data Sportvisserij Nederland, Van Emmerik, 2020a en 2020b en NIOO).

Markermeer		Marker Wadden		
Soort	sinds 1989	2018-2020	2018-2021	larven
Aal	X	X	X	
Pos	X	X	X	X
Baars	X	X	X	X
Snoekbaars	X	X	X	X
Snoek	X	X	X	
Roofblei	X	X	X	
Alver	X	X	X	X
Bittervoorn	X	X		
Blankvoorn	X	X	X	X
Brasem	X	X	X	X
Kolblei	X	X		
Karper	X	X	X	X
Giebel	X	X	X	
Rietvoorn	X	X	X	
Winde	X	X	X	X
Zeelt	X	X	X	
Spiering	X	X	X	X
Noordzeehouting	X	X	X	
Kleine modderkruiper	X	X	X	X

Driedoornige stekelbaars	X	X	X	X
Dunlipharder	X	X	X	
Bot	X	X	X	
Europese meerval	X	X	X	
Kessler's grondel*	X	X	X	
Marmelgrondel*	X	X	X	
Pontische stroomgrondel*	X	X	X	X
Zwartbekgrondel*	X	X	X	X
Kaukasische dwerggrondel*	X	X	X	X
Vetje	X			
Rivierdonderpad	X			
Diklipharder	X			
Riviergrondel	X			
Tienddoornige stekelbaars	X			
	33	28	26	14
*) invasieve soort				



Figuur 4.16 Relatieve aandeel per soort van aantallen vislarven aangetroffen in 2020 in kenmerkende habitats van relatief beschutte delen tussen de eilanden.

De vissoorten die tot dusver zijn waargenomen zijn de relatief algemene soorten die geen hoge habitateisen stellen. Van ten minste 14 soorten is vastgesteld dat ze ook paaien (Tabel 4 1). Aangenomen mag worden dat het werkelijke aantal paaiende soorten groter is, maar dat er van sommige soorten larven worden gemist vanwege beperkte bemonsteringsmogelijkheden.

Het algemene beeld van de huidige visstand is dus dat met name algemene, niet kritische soorten hun weg hebben weten te vinden naar Marker Wadden, waaronder alle vijf de invasieve Ponto-Kaspische grondelsoorten.

Jonge vis

Het onderzoek naar de opgroeigebieden van jonge vis laat een aantal opvallende overeenkomsten en verschillen zien tussen de bemonsterde habitats. In lijn met de verwachting zijn de ondiepe habitats tussen de eilanden, waar zich door de beschutte ligging oever- en onderwatervegetatie ontwikkelde, het rijkste aan jonge vis (Figuur 4.16). Dit zijn de moerasdijfvee- en rietvelden met de voeten in het water en de aangrenzende fonteinkruidvelden.

Langs zandige oevers is veel minder jonge vis aangetroffen en naarmate zandige oevers meer geëxponeerd lagen aan wind en golfslag werd er nog minder vis aangetroffen.

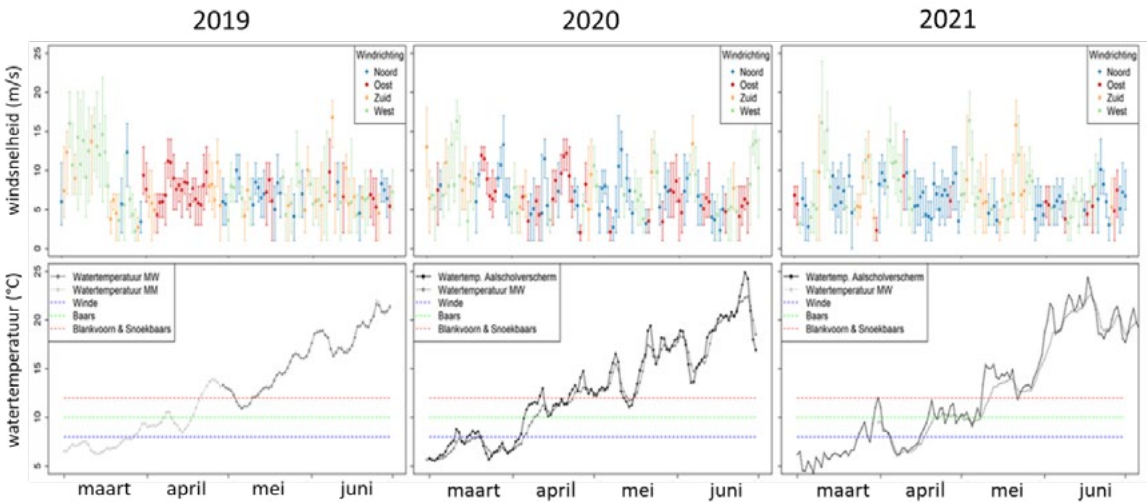
Tussen de drie jaren werden echter aanzienlijke verschillen gevonden in soortsaamenstelling en in de ontwikkeling over het seizoen. Hoewel blankvoorn in alle jaren de dominante soort was, werd in 2019 ook veel winde aangetroffen, een soort die in 2020 en 2021 weer grotendeels ontbrak. Baars en pos leken in 2019 niet op de bemonsterde locaties te hebben gepaaid. Mogelijk hebben ze in de jaren daarop wel in het gebied gepaaid, hoewel

van beide soorten de grootste aantallen pas in de loop van het seizoen werden waargenomen.

Paaiengebieden

Het onderzoek naar paaiengebieden is beïnvloed door de weersomstandigheden in het voorjaar. Deze verschilden enorm tussen de bemonsterde jaren, zowel wat betreft overheersende windrichting en windkracht als de temperatuurontwikkeling (Figuur 4.17). Wind is van invloed op de golfslag en op de overleving van kwetsbare larven in de oeverzone. Daarnaast bepaalt wind ook de waterhoogte. Aanhoudende westenwind kan het waterpeil aan de oostzijde van het Markermeer vele decimeters verhogen en aanhoudende oostenwind verlaagt het waterpeil juist. In 2019 zorgden de aanhoudende westenwind in april en aanhoudende oostenwind in mei ervoor dat sommige vissen zich bij hoog water op de ondiepte waagden om te paaien, maar toen de wind omsloeg naar oost moeite hadden daar weg te komen. Zo werden diverse dode snoeken, blankvoorns en snoekbaarzen aangetroffen in 2019. In 2020 en 2021 speelde de wind een minder extreme rol. Daarentegen zorgde het koude voorjaar van 2021 ervoor dat paai en opgroei later op gang kwamen.

Hoewel de resultaten van het onderzoek naar paaiengebieden sterk beïnvloed zijn door de weersomstandigheden, laten de resultaten een aantal aspecten zien die interessant zijn voor de inrichting en het beheer van het gebied. Het blijkt bijvoorbeeld dat luwe, ondiepe inhammen, die in verbinding staan met het open water, belangrijk zijn. Zeker als deze inhammen een flauw talud hebben, komt de vegetatieontwikkeling in de brede land-waterovergangen goed op gang. Deze gebieden lijken zich meerdere jaren achtereen te kwalificeren als goed paai- en opgroeigebied. De luwe inhammen blijken ook geschikt te zijn voor de ontwikkeling van onderwater-



Figuur 4.17 Verloop van de windsnelheid en -richting (boven) en watertemperatuur (onder) in het voorjaar bij meetpaal Marker Wadden of midden in het Markermeer (MM) en in ondiep, beschut gebied nabij het Aalscholverscherm (zwart). De gekleurde stippellijnen geven de watertemperatuur aan waarbij verschillende soorten gaan paaien.

vegetatie van met name fonteinkruid, kranswieren, aarvederkruid en zannichellia (vooral in ondiep water (waterdiepte <1 m). Deze waterplantvelden bieden op hun beurt schuilgelegenheid voor opgroeiende vis en voor macrofauna. Daarnaast bleken de riet-oevers van de haven zeer hoge dichtheden vislarven te bevatten, waarbij het riet waarschijnlijk afzetgebied voor eieren en schuilgelegenheid voor larven biedt, terwijl de volwassen vissen zowel voor als na de paai direct dieper water (4 m) ter beschikking hebben.

De vraag is hoe zich dit gaat ontwikkelen bij een toenemende graasdruk op de waterplanten. In 2021 namen de aantallen grazende meerkoeten en knobbelzwanen sterk toe, iets dat ook op Ierst is gezien eerder in de tijd (med. M.R. van Eerden).

Grotere vis

In 2020 is ook onderzocht hoe grotere vis (25/30 cm) gebruik maakt van Marker Wadden. Hiervoor werd gebruik gemaakt van

VEMCO-zenders die in de buikholte van brasem, snoekbaars, baars, winde en blankvoorn werden geplaatst en een netwerk van ontvangststations. De resultaten laten zien dat er een grote variatie is in het ruimtelijk gebruik van Marker Wadden, zowel tussen individuen van dezelfde soort als tussen verschillende soorten. Ook zien we dat sommige vissen zich veelvuldig verplaatsen, vaak volgens dezelfde ruimtelijke patronen. De resultaten laten ook het belang van diepere habitats in en rond Marker Wadden zien, namelijk de zandwinputten (zie volgende kopje). Ook is het veelvuldig gebruik van de haven van het hoofdeiland opmerkelijk en de uitwisseling met bijvoorbeeld de diepe zandwinput net ten zuiden van de havenmonding waartussen sommige vissen frequent lijken te pendelen. Naast deze lokale bewegingen werden ook verplaatsingen op de schaal van het hele Markermeer en IJsselmeer waargenomen van onder meer brasems die met zenders waren uitgerust (De Leeuw et al. 2020a).

Tabel 4.2 Schaal van het ruimtelijk gebruik van 5 soorten vissen op basis van zenders. Er is veel uitwisseling, met name tussen de eilanden en de zandwinputten. Kolommen kunnen dus niet worden opgeteld. Voor methode zie De Leeuw et al., 2021

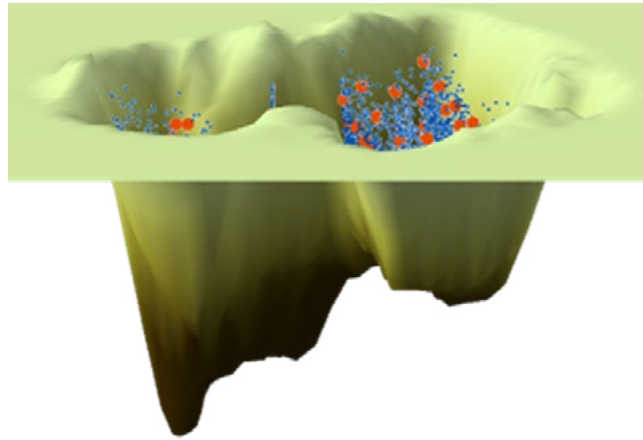
Soort	Op MW gebleven	Gebruik dieptes > 30 m (zandwinputten)	Elders detectie in Markermeer/ IJsselmeer
Snoekbaars	65%	70%	30%
Baars	45%	5%	5%
Winde	50%	33%	17%
Brasem	44%	33%	56%
Blankvoorn	20%	5%	30%

Vis in zandwinputten

In augustus 2018 is met behulp van sonar (echosounding) de visstand in de zandwinputten rond Marker Wadden onderzocht. Echosounding geeft een goed beeld van de totale visstand en de grootteverdeling in de zandwinputten (Figuur 4.18). Met behulp van een 5 m A-toomkuil (sleepnet) werden ook vissen op verschillende diepten gevangen om een indruk van de soortsamstelling te krijgen. In de zandwinputten werden grote aantallen kleine vis aangetroffen (voornamelijk spiering en kleine baars) maar ook grotere vis (voornamelijk snoekbaars). De studie met gezenderde (grote) vis bevestigt dat snoekbaars, maar ook brasem regelmatig gebruik maakt van de zandwinputten. Vermoedelijk vormen de zandwinputten een relatief veilig habitat voor kleine vis, en vormen de wanden van de put een voedselrijke bodem (zie ook Van Rijn et al. 2004, Van Eerden 2005). Het voorkomen van kleine vis trekt vervolgens ook roofvis zoals snoekbaars aan en op hun beurt beroepsvissers die met staand want op onder andere snoekbaars vissen.

Potentie Marker Wadden voor vis

Als een aanmerkelijk groter deel van de luw gelegen oeverzones zich verder ontwikkelen naar plantenrijke inhammen en moeras-egetaties, zijn er goede kansen voor een toename van de lokale visstand. Op dit moment zijn de arealen ondieptes (met een rijke moerasvegetatie) nog zeer beperkt.



Figuur 4.18 Echosounding beeld van zandwinputten rond Marker Wadden, augustus 2018. Blauwe punten vertegenwoordigen kleine vissen, rode punten de grote vissen. Bron: De Leeuw et al. 2021.

In hoeverre de zandwinputten een blijvende functie kunnen vervullen is niet geheel duidelijk. Deze fungeren als slibvang en hebben daarmee – als diepe put – een beperkte levensduur (ca 50 jaar). Er is nog maar weinig bekend over de milieucondities in zandwinputten, maar het lijkt erop dat in dit geval het water tot op de bodem van de put regelmatig mengt met het oppervlakte-water. Er is geen temperatuurgradiënt waargenomen in de zomer (waarneming augustus 2020, Casper van Leeuwen). Zie voor de betekenis van diepe putten in het IJsselmeergebied ook Van Rijn et al. 2004 en Van Eerden et al. 2005.

Tellen van vogels

De vogels op en rond Marker Wadden worden op twee manieren geteld: vanuit de lucht en vanaf de grond. De grondtellingen zijn uitgevoerd door vrijwilligers op initiatief van Natuurmonumenten en begeleid door professionele vogelonderzoekers. De eerste resultaten zijn gepresenteerd in de rapporten van Camilla Dreef en Jan van der Winden (Dreef en Van der Winden 2020 en Dreef et al. 2021a). Deze tellingen geven een beeld van het gebruik van de eilanden door bijvoorbeeld de verschillende soorten steltlopers en eenden.

De luchttellingen worden in het gehele IJsselmeergebied al bijna een halve eeuw elke maand uitgevoerd door Rijkswaterstaat in het kader van MWTL (M.R. van Eerden, M. Roos). Deze tellingen zijn geschikt om aantalsontwikkelingen van de meeste onder Natura 2000 aangewezen vogelsoorten op de lange termijn en op de schaal van het watersysteem in beeld te brengen. Dit is ook van belang vanwege de uitvoering van natuurontwikkelingsprojecten zoals Ierst, Marker Wadden en Trintelzand (zie van Eerden et al. 2005 en Van Rijn en Van Eerden 2021).



4.3.6 Vogels op Marker Wadden

Een van de doelen van Marker Wadden is dat het een grootschalig moeras wordt met grote diversiteit aan rust- en foerageer plekken voor vogels (zie paragraaf 2.1). In een paar jaar tijd is er een diverse broedvogelgemeenschap op Marker Wadden ontstaan met 43 soorten in 2020 en 47 in 2021 (Dreef en Van der Winden, 2019, 2020, Dreef et al. 2021a). Daarbij waren zeldzaamheden zoals lachstern, dwergmeeuw, ijseend en kwartelkoning. Vooralsnog betekenen Marker Wadden vooral veel voor soorten van kale en schaars begroeide bodems, maar op kleine schaal begint zich ook een gemeenschap van moerasvogels te vormen, met soorten als baardmannetje en waterral.

Soorten van kale bodems

De eerste broedvogels die zich op de eilanden hebben gevestigd, zijn de soorten die hun nest op kaal zand en tussen de lage pioniervegetatie maken: visdief, dwergstern, kluut, bontbek-, kleine en strandplevier en in een iets later stadium kokmeeuw en zwartkopmeeuw. Voor drie van deze soorten, de visdief, de kluut en de dwergstern is onderzoek gedaan naar voedselkeuze en broedsucces.



Figuur 4.19 Prooisamenstelling van foeragerende visdieven op open water en langs de dijk bij aalfuiken en van het voedsel gevoerd aan kuikens in de kolonie. Bronnen: De Leeuw et al. 2020b en Van der winden en Dreef 2020).

Visdieven waren in het eerste volledige broedseizoen van Marker Wadden (2017) direct het meest talrijk met 1750 paar. In dat eerste jaar groeide de kuikens langzaam en was het broedsucces matig. Een van de oorzaken was het onderstuiven van nesten in perioden met stormachtige wind (Van der Winden et al. 2018, Van der Winden en Dreef 2020). In 2018, met gemiddeld bijna twee uitgevlogen kuikens per paar, was het broedsucces hoog. In dat jaar werden de kuikens vooral met spiering gevoerd, in mindere mate met baarsjes. In 2019, 2020 en 2021 werd er minder spiering aangevoerd en werden baars, pos en vooral snoekbaars een belangrijke voedselbron. Hoewel niet zo hoog als in 2018 was het broedsucces ook in deze jaren goed (Tabel 4-3).

Verspreidingsonderzoek vanuit de lucht suggereerde dat de visdieven die op de Marker Wadden broeden relatief veel in het IJsselmeer foerageerden en liet zien dat een substantieel deel van de prooien (mogelijk >30%) werd gevangen in associatie met activiteiten van vissers, andere schepen en soms ook vissende aalscholvers (Poot et al. 2020). Als de dieren nabij vissers en schepen foerageerden bleek hun prooikeuze diverser te zijn dan op andere foerageerplekken. Daar werd voornamelijk spiering gevangen. Stekelbaars, die in open water ook veel beschikbaar was, werd wel gegeten maar niet naar de kolonie meegevoerd (Figuur 4-19; De Leeuw et al. 2020b). In 2021 werd iets meer rond de eilanden zelf gefoerageerd dan in voorgaande jaren.

Dwergsterns hebben het vooral in 2019 goed gedaan (in 2017 en 2018 is dit nog niet onderzocht), maar uiteindelijk ook in 2021. In 2019 zijn in totaal 12-16 jongen uitgevlogen en was het broedsucces met meer dan 1 jong per paar goed. In 2020 kwamen maar drie paren tot broeden en was het succes matig. In 2021 ontstond na een start met opnieuw drie paren later in het seizoen een nieuwe kolonie van 7 paar en was het broedsucces uiteindelijk goed.

Tabel 4.3 Aantal broedparen (in aantal per jaar) en broedsucces (in gemiddeld aantal uitgevlogen jongen per paar) van visdief, dwergstern en kluut. Ook het aantal broedparen van kokmeeuw en zwartkopmeeuw wordt gegeven. Uit Dreef en van der Winden 2020, Dreef et al. 2020, 2021a en 2021b, Van der Winden en Dreef 2020, Van der Winden et al. 2019 en 2021.

	2017	2018	2019	2020	2021
Visdief aantal paar	1750	1705	780	1136	1500
Visdief broedsucces	0,5-0,8	1,9	1,4	0,9	1,2
Dwergstern aantal paar	1	11	7-11	3	10
Dwergstern broedsucces		?	>1	<0,5	0,7
Kluut aantal paar	69	208	380	343	285
Kluut broedsucces		1,7 - 2	0,8-1,8	0,2-0,3	0,3-0,5
Kokmeeuw aantal broedparen	352	824	2460	4712	8000-8750
Zwartkopmeeuw aantal broedparen	0	1	0	32	195

Anders dan de visdieven foerageerden de dwergsterns vooral in de directe omgeving van de Marker Wadden (Van der Winden et al. 2019). DNA-analyse van uitwerpselen wees uit dat ook veel ongewervelde dieren, zoals insecten, insectenlarven of weekdieren werden gegeten. De kuikens aten ook veel terrestrische prooien zoals spinnen en slakjes (Van der Winden et al. 2021). Ook de kluten deden het in 2018 en 2019 erg goed, met gemiddeld 1 tot 2 uitgevlogen jongen per paar. In 2020 was het succes daarentegen erg laag, met gemiddeld slechts 0,2-0,3 uitgevlogen jong per paar. De oorzaak daarvan is niet helemaal duidelijk, maar kan te maken hebben gehad met slecht weer in de tijd dat het eerste cohort kuikens uitkwam en met verplaatsingen van ouders met kuikens naar compartimenten met voldoende nat slik (Dreef et al.

2020). In 2021 was het broedsucces weliswaar iets hoger, maar nog steeds relatief laag (Dreef et al. 2021b).

Terwijl visdieven van kale grond met spaarzame vegetatie houden, neemt met de opkomst van kruidige of grasachtige vegetatie de populatie kokmeeuwen vaak toe. Sinds het eerste seizoen, met 352 paar kokmeeuwen, is het aantal paren jaarlijks verdubbeld, tot de soort in 2021 met naar schatting vanaf de grond minstens 8000 paar verreweg de meest talrijke broedvogel is geworden. Meer dan de visdieven broeden de kokmeeuwen op het hoofdeiland, waar de vegetatie verder ontwikkeld is. De laatste twee jaar is – zij het op een lager niveau – het aantal zwartkopmeeuwen binnen deze kokmeeuwkolonies sterk toegenomen.

De ontwikkelingen op Marker Wadden staan niet los van ontwikkelingen in de omgeving. Op de korte termijn gaat het om verplaatsingen van concentraties. Zo is de opkomst van de visdiefkolonie samengegaan met het verdwijnen van de kolonie op proefeiland Ierst en afname op de Kreupel in het IJsselmeer (Van der Winden et al. 2018). Ringonderzoek laat zien dat de visdieven die op Marker Wadden broeden in diverse kolonies geboren zijn (Van der Winden en Dreef 2020).

Moerasbroedvogels

Bij de broedvogelinventarisatie in 2020 werd – in overeenstemming met de vegetatieontwikkeling – een beginnende gemeenschap van moerasvogels vastgesteld. Behoudens enkele rallen en negen soorten eenden (waaronder de eerste ijseend ooit in Nederland), waren dat vooral rietzangvogels. Er werden in totaal 76 paar echte rietbewoners vastgesteld, verdeeld over de soorten rietgors, rietzanger, kleine karekiet en baardmannetjes. In 2021 waren er van deze soorten samen 110 paar, waarbij met name het baardmannetje sterk was toegenomen (van 21 naar 49



paar). Bovendien waren toen ook de eerste paartjes van blauwborst en snor present. Bijna al deze vogels broedden op het hoofdeiland, waar de rietvegetatie in de door gaas omgeven vakken voldoende ontwikkeld is om een habitat voor hen te bieden. Vermeldenswaardig is ook de vaststelling van meer dan 35 paar gele kwikstaarten in 2021, verspreid over de hele archipel. Dit is weliswaar geen Natura 2000-soort, maar staat vanwege afname van de landelijke populatie wel op de rode lijst. Juist in de directe omgeving (Flevoland, West-Friesland) is die afname sterk (Sovon Vogelonderzoek Nederland 2018).

Trekvogels en pleisteraars

Op en rond Marker Wadden ontwikkelen zich ook nieuwe habitats voor foeragerende en rustende vogels. Deels zijn dat de broedvogels van Marker Wadden zelf, maar ook broedvogels uit omliggende gebieden komen inmiddels hier foerageren. Daarnaast pleisteren er grote aantallen trekvogels in het gebied, aangetrokken door voedsel en rust. In seizoen 2020/2021 (gerekend van juli t/m juni) hebben meer dan 60.000 trekvogels van Marker Wadden gebruik gemaakt (som van de maximum aantallen per soort).

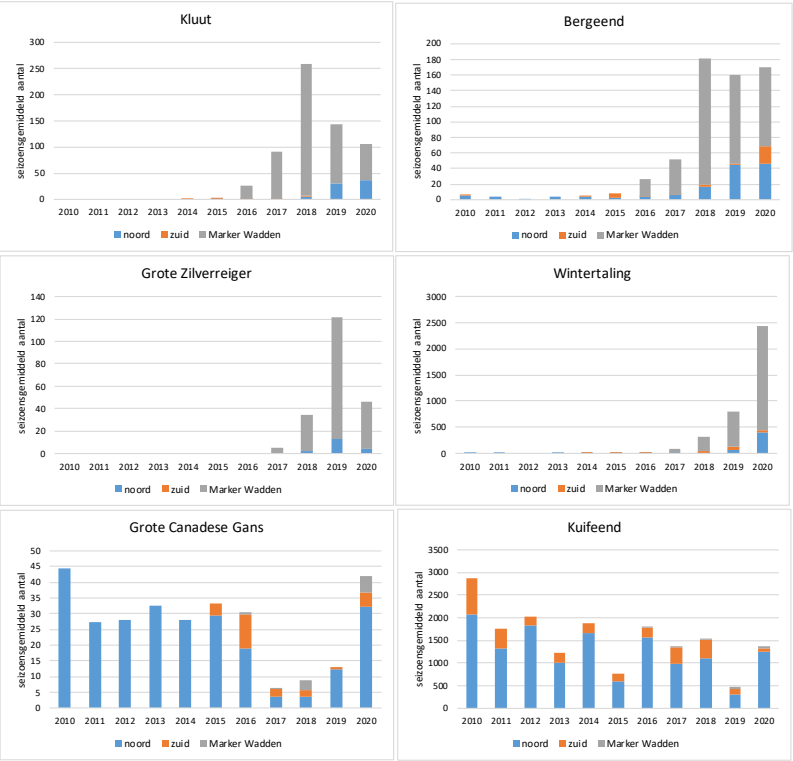
Aantallen en trends

Marker Wadden heeft het habitataanbod in het Markermeer voor een aantal soorten wezenlijk vergroot. Dit geldt voor krakeend, slobbeend en wintertaling, voor de broedvogels visdief en kluut, maar ook voor bijvoorbeeld pleisterende grutto's en zwarte sterns. Bij slobbeend, zwarte stern en tafeleend was een significant deel (>1%) van de internationale populatie aanwezig. Met name in het najaar (sept-nov) waren de aantallen trekvogels hoog. In de wintermaanden worden de eilanden nog niet zo intensief gebruikt.

Sommige ontwikkelingen zijn tijdelijk, omdat ze bijvoorbeeld zijn gekoppeld aan pionierstadia in de vegetatiesuccessie. Kale grond raakt begroeid en daardoor verdwijnen de vogels die op de kale grond broeden. Hoge dichtheden zoöplankton in nieuwe plassen – voordat deze door vis worden bezet – dragen bij aan hoge dichtheden van dwergmeeuwen en slobbeenden (zoals in 2017 op Marker Wadden). Kluten en bergeenden, maar ook soorten als grutto en kempfaan, piekten in 2018, toen de oostelijke eilanden een nieuw habitat boden (M.R. van Eerden in prep.). Een viseter zoals grote zilverreiger piekte in 2019 en de wintertaling, als zaadeter weer van een ander stadium in de vegetatiesuccessie, pas heel recent, in 2020 en 2021. Deze ontwikkelingen sluiten nauw aan op eerdere ontwikkelingen in de Oostvaardersplassen (zie Vulink en van Eerden 1998). Zonder specifiek beheer zal de habitat voor kale-grond-broeders zoals sterns, plevieren en kluten verschuiven naar de nieuw aangelegde eilanden en tenslotte afnemen (zie paragraaf 7.1). Andere gemeenschappen, zoals de broedvogels van rietland, ruigte en struweel zullen de komende jaren toenemen.

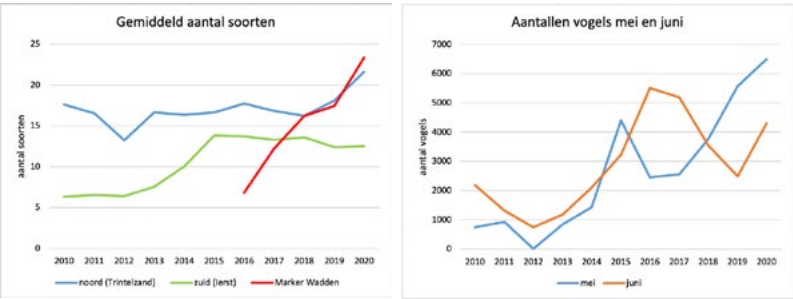
Verstoring door de werkzaamheden of door recreatie beïnvloeden de aantallen vogels ook. Voor Marker Wadden is het daarom van belang om bij trendanalyses ook de effecten van de aanleg van proefeiland Ierst en de ontwikkeling van Trintelzand mee te nemen.

Bij de aanleg van Ierst (onderdeel van sectie zuid in Figuur 5.13) namen kokmeeuwen en vooral visdieven eerst toe. Naar mate de broedhabitat daar weer verdween namen ze af op Ierst en wordt Marker Wadden bevolkt. Recent vindt weer opschuiving naar Trintelzand plaats (visdief en dwergstern 2020 en 2021).



Figuur 4.20 De grafieken geven trends weer van het gedeelte van het Markermeer langs de dijk Lelystad – Enkhuizen vanaf 2010, met vanaf 2014 de aanwezigheid van proefeiland Ierst in sectie zuid, Marker Wadden vanaf 2016 en Trintelzand als onderdeel van sectie noord vanaf 2018. Bron: maandelijkse vliegtuigtellingen RWS.

In enkele gevallen is er ook sprake van doorgaand negatieve ontwikkelingen. Figuur 4.20 laat een afname zien van de kuifeend en tijdelijk van de Canadese gans in de hele regio, veroorzaakt door veranderingen langs de Houtribdijk, vooral rond Trintelzand. Deze trend lijkt samen te hangen met (tijdelijke) verstoring door werkzaamheden (med. M.R. van Eerden). Deze ruiende water-vogels zijn hiervoor extra gevoelig, omdat ze tijdens de rui een paar weken niet kunnen vliegen.



Figuur 4.21 Door de aanleg van achtereenvolgens Ierst, Marker Wadden en Trintelzand is de diversiteit in dit deel van het Markermeer duidelijk toegenomen. Het gemiddeld aantal vanuit de lucht waargenomen soorten op en rond Marker Wadden verviervoudigde bijna tussen 2016 en 2020 van 6 naar 23. Zulke toenames zijn ook zichtbaar rond Ierst en Trintelzand, maar zijn vooralsnog minder sterk. De toename in totale aantallen van alle soorten samen ten opzichte van de vogels die vanouds op in het gebied verbleven is beperkt, behalve in de broedtijd. In mei is het aantal vogels in dit deel van het Markermeer met een factor 7 toegenomen. Bron: maandelijkse vliegtuigtellingen RWS (M.R. van Eerden en M. Roos).

Conclusie

Door de aanleg van achtereenvolgens Ierst, Marker Wadden en Trintelzand is de diversiteit aan vogels in dit deel van het Markermeer duidelijk toegenomen. Het gemiddeld aantal vanuit de lucht waargenomen soorten verviervoudigde bijna tussen 2016 en 2020 van 6 naar 23 (Figuur 4.21).

5

Belang van Marker Wadden voor het functioneren van het Markermeer

De aanleiding voor aanleg van Marker Wadden was de achteruitgang van het ecosysteem in het Markermeer. Op de bodem ligt een dikke slibdeken die het leven van planten, insectenlarven, schaal en schelpdieren verstoort. Met Marker Wadden wordt beoogd een win-win situatie te creëren: slib van de bodem van het Markermeer krijgt een nieuwe toepassing in natuureilanden. Hierdoor zou het slib ingevangen worden, het water minder troebel en de waterkwaliteit verbeteren.

Maar hoe belangrijk is Marker Wadden tot nog toe voor het gehele kwaliteit van het Markermeer watersysteem? Dit hoofdstuk gaat daar – op grond van de resultaten van KIMA – dieper op in. De focus ligt daarbij op de slibdynamiek, de waterkwaliteit, de basis van het voedselweb en de relatie met slib, de effecten op de natuurdoelen en de betekenis op landschapsschaal.



5.1 Effect Marker Wadden op slibdynamiek Markermeer

Het was de verwachting dat de aanleg van Marker Wadden zou leiden tot het invangen en vastleggen van slib in de luwe gebieden rondom Marker Wadden en in de winputten en slibgeul waaruit het zand en slib voor de aanleg van Marker Wadden is gewonnen. Hierdoor zou het water van het Markermeer (rondom Marker Wadden) minder troebel worden.

Eén van de doelen van het KIMA-onderzoek (thema Bouwen met slib en zand) was om vast te stellen hoeveel slib er daadwerkelijk wordt ingevangen en in welke mate de troebelheid is afgenomen. Hiertoe is in de afgelopen jaren een monitoringscampagne uitgevoerd in combinatie met modelberekeningen. Deze combinatie is noodzakelijk omdat de slibdynamiek in het Markermeer sterk variabel is en vooral wordt gestuurd door de windsnelheid en -richting op de tijdschaal van uren tot dagen. Dit komt doordat de wind de stroming en golven aandrijft en daarmee indirect ook de slibdynamiek.

5.1.1 Combinatie van meten en modelleren

De troebelheid is een gecombineerd effect van onder andere de windsterkte, windrichting en de luwte van Marker Wadden; de losse effecten zijn in de troebelheidsmetingen moeilijk te onderscheiden. In een model kunnen deze effecten wel afzonderlijk worden beschouwd, bijvoorbeeld door – voor identieke condities – een scenario met en een scenario zonder Marker Wadden door te rekenen. Ook kan zo – naast het gemiddelde effect van Marker Wadden in de tijd – worden bepaald welk aandeel windcondities hierin spelen.

Monitoringscampagne en slibmodel

De monitoringscampagne was gericht op zowel de waterkolom (troebelheid) als de bodem (invang van slib). In de waterkolom is (naast een aantal andere parameters) de troebelheid gemeten in een vast punt vanaf een meetpaal en op verschillende punten in de slibgeul en in de luwte achter Marker Wadden, met een verplaatsbaar meetframe. Gegevens van de reguliere RWS-monitoring zijn ook benut, alsmede remote-sensing gegevens voor een ruimtelijk beeld van de troebelheid. Van de bodem is zowel de hoogteverandering gemeten via bodempeilingen (d.w.z. hoeveelheid sedimentatie en erosie) als de samenstelling via bodembemonstering. Bovendien is het watergehalte van het slib in de slibgeul en winputten bepaald om het volume slib te kunnen omrekenen naar massa droge stof. Zie voor meer details over deze metingen Roskam en Lamers (2022) en Hanssen et al. (2022b).

Het slibmodel is een doorontwikkeling van het reeds bestaande Markermeemodel, waarbij het model-rooster en de bodemligging zijn geactualiseerd met de aanleg van Marker Wadden (en andere ontwikkelingen zoals bij de Houtribdijk) en waarbij ook de hydrodynamische aandrijving is geactualiseerd (naar 2020) zodat deze overlapt met de monitoringscampagne. Zie voor meer details over dit model Hanssen et al. (2022b).

5.1.2 Extra slib invang

Uit de bodempeilingen en -bemonstering blijkt dat er in de slibgeul, in de winputten en in de luwte tussen Marker Wadden en de Houtribdijk extra aanslibbing optreedt ten opzichte van de situatie voor de aanleg van Marker Wadden. In het sterker door stroming en golven beïnvloede gebied ten westen van Marker Wadden wordt de bodem juist zandiger. Dit is vermoedelijk zand dat afkomstig is van de zandige randen van Marker Wadden.

De slibgeul slibt tot ca. 40 cm per jaar aan en de winputten zelfs tot ca. 80 cm per jaar. Het verschil tussen de slibgeul en de winputten wordt veroorzaakt door de grotere diepte en kleinere lengte van de putten, waardoor de invloed van stroming en golven op de bodem (nog) kleiner is. Omdat er nauwelijks opwerveling en omwerking plaatsvindt is dit slib erg dun en heeft het een lage bulkdichtheid van ca. 1100 kg/m³. In totaal gaat het om circa 200 kiloton droge stof per jaar. Dit slib is in principe bruikbaar voor onderhoud van Marker Wadden. Als 200 kiloton over 600 ha wordt verspreid, resulteert dit in ca. 35 kg slib/m², hetgeen na consolidatie een laagdikte van ca. 5 cm geeft. Dit is voldoende om op de langere termijn restzetting te compenseren, maar onvoldoende om de huidige zettingssnelheid te compenseren. Voor verdere uitbouw (nieuwe eilanden) is dit ook onvoldoende omdat hiervoor in korte tijd veel meer slib nodig is.

In de luwte achter Marker Wadden bedraagt de aanslibbing circa enkele centimeters per jaar. De bulkdichtheid van dit slib is een stuk hoger dan in de slibgeul en winputten omdat de luwte op 4 m waterdiepte minder is en afzettingen die niet zijn verdicht of omgewerkt weer kunnen opwervelen. Omdat het luwtegebied groot is (ca. 300 ha) gaat het weliswaar om een flinke hoeveelheid slib, maar omdat dit een dun laagje is over een groot gebied is dit moeilijk winbaar voor onderhoud van Marker Wadden.

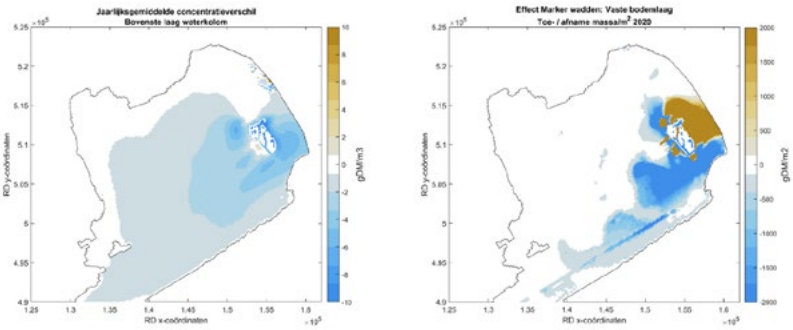
Modelberekeningen ondersteunen deze conclusie. Weliswaar is de berekende aanslibbing in de slibgeul en winputten ongeveer 2× zo laag (ca. 100 kiloton⁵ per jaar), maar in het model zit (nog) niet de invloed van ‘slibpluimen’ die tijdens aanleg zijn opgetreden (zie ook paragraaf 5.2.3) en evenmin de invloed van dichtheids-gedreven stromingen langs de randen van de geul en putten. De invang van slib in de luwte achter Marker Wadden wordt eveneens door het model gereproduceerd. Uit de combinatie van monitoring en modellering volgt een bandbreedte voor de invang van slib in de huidige slibgeul en winputten rondom Marker Wadden van 100 tot 200 kiloton per jaar. Deze hoeveelheid slib is jaarlijks beschikbaar. Inclusief overige luwtEZones rondom Marker Wadden wordt ca. 250 kiloton per jaar ingevangen en dit heeft volgens de berekeningen een significante invloed op de lokale slibbalans en troebelheid van het Markermeer.

5.1.3 Troebelheid Markermeer

Uit een combinatie van monitoring van de troebelheid in het Markermeer en modellering met het slibmodel blijkt dat de aanwezigheid van Marker Wadden de troebelheid in de omgeving van de eilandengroep vermindert. Oorzaak is een combinatie van meer aanslibbing (zie paragraaf 5.1.2) en minder resuspensie van slib door luwtewerking. Figuur 5.1 toont het verschil tussen de jaargemiddelde slibconcentratie met en zonder Marker Wadden. Hieruit blijkt dat aanwezigheid van Marker Wadden op schaal van het hele Markermeer leidt tot een afname van de concentratie met gemiddeld minder dan 2 mg/l, d.w.z. een relatieve afname van enkele procenten. Het effect op de schaal van het Markermeer is dus beperkt.

5 100 kiloton is ongeveer gelijk aan al het zwevend slib dat zich gemiddeld in het Markermeer bevindt

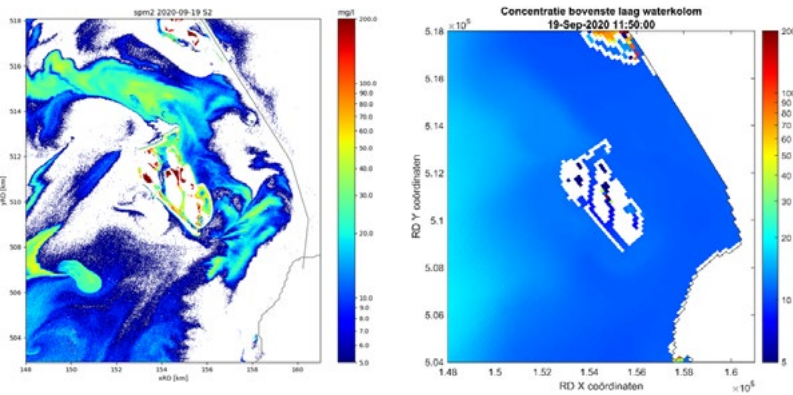
Binnen een afstand van circa 5 km vanaf Marker Wadden is de afname sterker, gemiddeld zo’n 5 mg/l tot lokaal 10 mg/l. Deze afname is in absolute zin sterker in de winter dan in de zomer, omdat er in de winter gemiddeld meer golven zijn en een hogere slibconcentratie. Het effect van luwte is dan groter. De plaats van de maximale afname is sterk afhankelijk van de windrichting en -snelheid. Door Marker Wadden worden de gradiënten van troebelheid sterker.



Figuur 5.1 Links: afname van het jaargemiddelde slibconcentratie (in mg/l) ten gevolge van de aanleg van Marker Wadden (berekend over 2020). Rechts: toe- en afname van de hoeveelheid afgezet slib op de bodem (in g/m²) ten gevolge van de aanleg van Marker Wadden.

Tijdens aanleg zijn op de satellietbeelden af en toe slibpluimen waargenomen die vermoedelijk afkomstig zijn van baggerwerkzaamheden rond Marker Wadden. Deze hebben tijdelijk en plaatselijk de troebelheid juist verhoogd en zijn ook tijdens de maandelijkse vogeltellingen vanuit de lucht gezien. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 5.2. Deze figuur toont de uit remote sensing afgeleide en met het model berekende slibconcentratie op 19 september 2020 tijdens kalm weer. Ondanks het kalme

weer zijn met remote sensing lokaal slibpluimen te zien, die volgens het model niet verklaard kunnen worden door natuurlijke opwerveling door windgedreven stroming of golven. De tijdens de aanlegwerkzaamheden waargenomen slibpluimen zijn als bron niet opgenomen in het slibmodel.



Figuur 5.2 Met remote sensing bepaalde (links) en berekende (rechts) slibconcentratie op 19 september 2020 om 11:50 tijdens kalm weer. Op het moment van opname was de wind bij de Houtribdijk ONO 7m/s (Bft. 4)

5.2 Helder Troebel Plan

Slib heeft invloed op de biologie van het Markermeer en vice versa. Zo bevat het zwevende stof in luwtegebieden, met weinig opwervelend slib, relatief veel fytoplankton. Daardoor heeft het zwevende stof een betere kwaliteit als voedsel voor bijvoorbeeld watervlooien en mosselen.

Om de relatie tussen slib en biologie beter te begrijpen en meer inzicht te krijgen in de invloed van Marker Wadden hierop, is het ‘Helder Troebel Plan’ opgezet (Noordhuis, 2022). Hiertoe zijn de

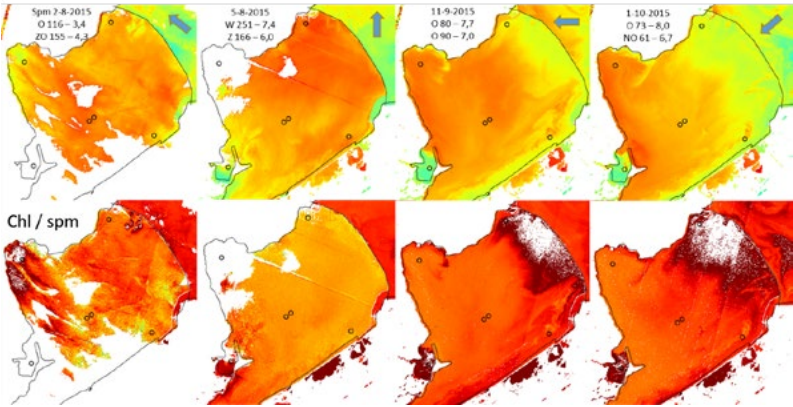
KIMA-thema's Bouwen met slib en zand en Ecosysteem van waarde gecombineerd. Het eerste deel van het Helder Troebel Plan is gebaseerd op een combinatie van bewerkte satellietbeelden en slibmodellering. De vraag is of zich rond Marker Wadden nieuwe luwtegebieden (zullen) ontwikkelen met nieuwe gradiënten in helderheid, en of die of luwtes de beschikbaarheid van fytoplankton voor het voedselweb kunnen verbeteren. Er is daarbij ook gekeken naar de samenstelling van het fytoplankton in luwe gebieden en naar de ontwikkeling van de omvang van de primaire productie. Het tweede onderdeel van het Helder Troebel Plan betreft de primaire productie op de bodem en de rol van bodemleven daarin. Het accent ligt op de matten van draadvormige zwavelbacteriën die op de bodem van het meer bleken voor te komen.

5.2.1 Fytoplankton en luwte

Door de grote windgevoeligheid en het fijnkorrelige sediment is het fytoplankton in de waterkolom van het Markermeer in het algemeen in hoge mate gemengd met slibdeeltjes. Het zwevende stof als geheel is daardoor van minder goede kwaliteit als voedsel voor bijvoorbeeld watervlooien of mosselen, waardoor ook de voedselbeschikbaarheid en -kwaliteit voor hogere organismen als vis en vogels kan worden beïnvloed. In het Helder Troebel Plan is onderzocht of de verhouding tussen fytoplankton en slibdeeltjes in windluwe gebieden beter is. De belangrijkste conclusies rond de betekenis van luwte voor de kwantiteit en kwaliteit van zwevend stof en fytoplankton zijn:

- De satellietbeelden geven aan dat de wind grote invloed heeft op de verdeling van zwevend stof over het meer (Figuur 5.3). Bij toenemende wind nemen de concentraties zwevend stof in het algemeen toe. Als de wind draait kan de opbouw van die relatie een dag duren, dus voor begrip van de verspreiding is ook de windrichting op de voorgaande dag van belang.

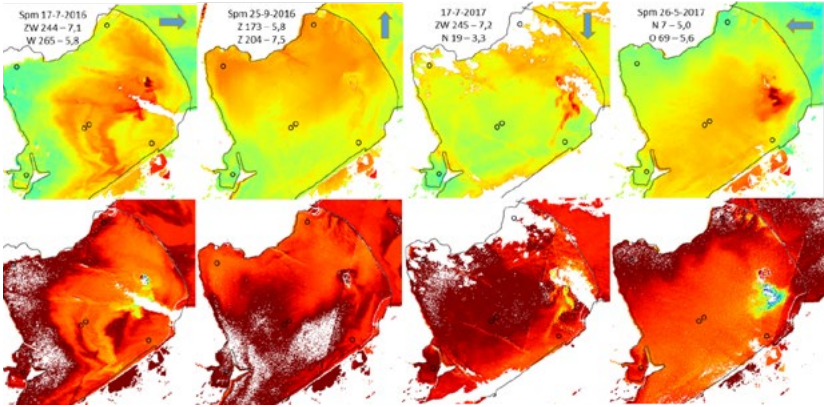
- De beelden laten ook zien dat in luwe zones de verhouding tussen chlorofyl en zwevend stof hoog is. Dat wil zeggen dat het zwevend stof relatief veel algen bevat en relatief weinig anorganisch materiaal (slibdeeltjes). Dit was al bekend, maar de remote sensing beelden geven aan dat er ook een duidelijk ruimtelijk aspect in zit.
- Een hoge chlorofyl/ zwevend stof ratio betekent niet dat er meer fytoplankton is, maar wel dat het fytoplankton beter beschikbaar is voor het voedselweb. Het zwevende stof is door het hoge aandeel algen beter van kwaliteit als voedsel voor bijvoorbeeld watervlooien en mosselen (Figuur 5-3)



Figuur 5.3 Satellietbeelden uit 2015, bewerkt voor zwevend stof en de ratio chlorofyl/ zwevend stof. Boven: zwevend stof (spm); aangegeven is de windrichting in graden en de windsnelheid op de dag van de opname en de dag ervoor. Rood is veel zwevend stof, groen is weinig. Onder: ratio chlorofyl/ zwevend stof. Donkerrood is een hoge ratio, geel is een lage ratio. In windluwe gebieden is de ratio aanzienlijk hoger. De witte vlekken aan de westkant zijn wolken.

5.2.2 Luwtewerking van Marker Wadden

Gezien de overheersende westenwind werd verwacht dat er een luwe zone zou ontstaan aan de oostzijde van de eilanden. Het nieuwe meetpunt (MWTL) voor waterkwaliteit is daarom ook aan de oostzijde geplaatst; hier zijn vanaf juni 2018 monsters genomen.



Figuur 5.4 boven: voorbeelden van zwevend stof (spm) na de start van de aanleg van Marker Wadden bij aanhoudende wind vanuit respectievelijk het westen en het zuiden, en twee voorbeelden waarbij de wind is gedraaid, en waarbij de beelden een dag vertraging laten zien. De beelden zijn complexer als gevolg van werkzaamheden en de aanwezigheid van de nieuwe structuren. Onder: berekende ratio chlorofyl/ zwevend stof op basis van dezelfde beelden. Waar de zwevend stof concentratie laag is (groen/ blauw in de bovenste reeks) bevat het vaak relatief veel chlorofyl (donkerrood in de onderste reeks).

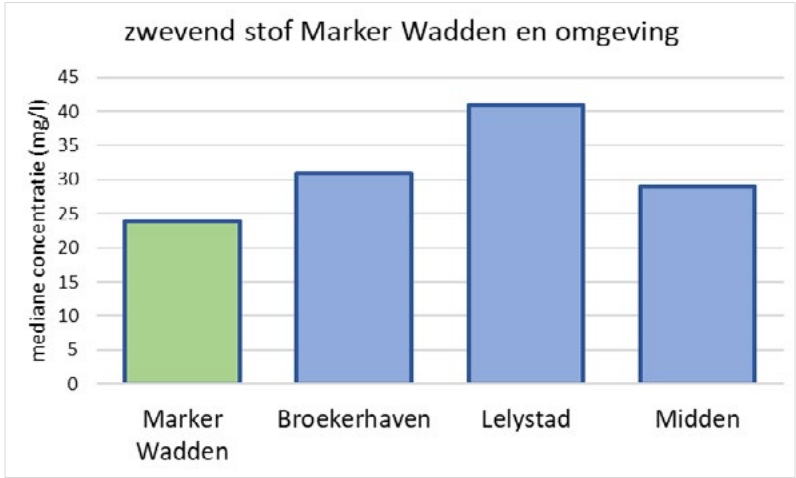
Uit satellietbeelden blijkt dat de concentraties zwevend stof – vóór aanleg van Marker Wadden – vooral grootschalige gradiënten vertoonden, met een relatief uniforme verdeling over het meer (Figuur 5.4). Vergelijking met Figuur 5.3 laat zien dat er na de start van de aanleg van Marker Wadden ook kleinschaliger variaties binnen het meer zichtbaar werden. Veel van die variaties



hebben een binding met Marker Wadden en lijken van daaruit te ontstaan. Op sommige beelden zijn luwte-effecten te zien in de windschaduw van Marker Wadden (Figuur 5.7). Doordat er relatief weinig bruikbare satellietbeelden zijn gemaakt bij westenwind (vanwege vaak optredende bewolking) is dat het beste te zien op beelden van dagen met oosten- of noordenwind.

Uit de meetgegevens op de MWTL-locatie ten oosten van Marker Wadden (Figuur 5.5) blijkt dat bij westenwind ook hier luwtewerking ontstaat. De concentraties zwevend stof zijn hier relatief laag, ongeveer de helft lager dan bij Lelystad, maar ook lager dan

op de locaties Markermeer Midden en Broekerhaven. Dit komt overeen met relatief hoge doorzichtwaarden. Een deel van het zwevend stof bezinkt in de luwe zones en er ontstaan nieuwe gradiënten in helderheid. Deze komen ten goede aan diversiteit en productie, bijvoorbeeld omdat vogels langs deze gradiënten vis kunnen vangen. Er zijn nog geen aanwijzingen dat de productie in de luwe gebieden hoger is. Wel bestaat een relatief groot deel van het zwevend stof hier uit algen (chlorofyl/zwevend stof ratio, zie Figuur 5.7). Dat betekent dat het zwevend stof een betere kwaliteit heeft als voedsel voor filteraars zoals mosselen en voor watervlooien.



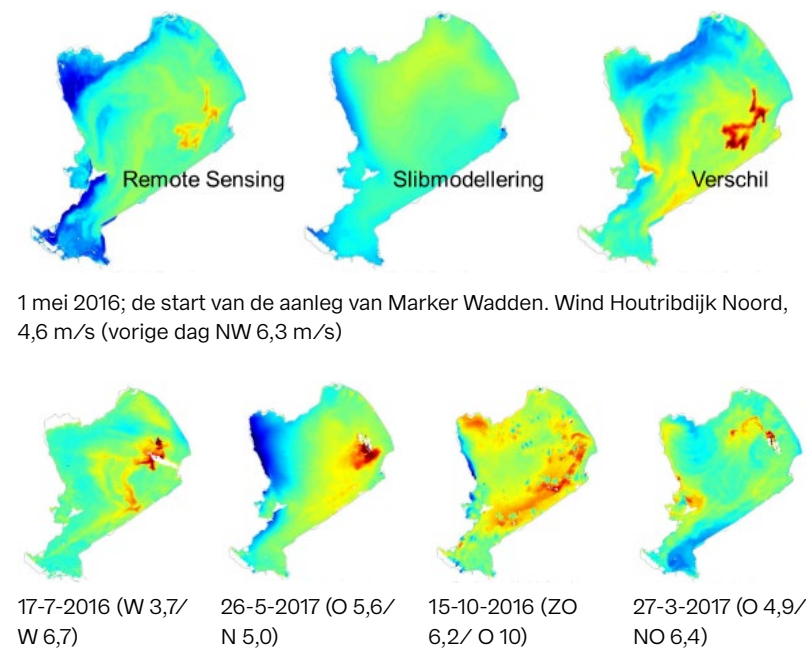
Figuur 5.5 Mediane concentratie zwevend stof in de periode juni 2018 t/m juli 2021 aan de oostzijde van Marker Wadden in vergelijking met de drie omliggende meetstations. Gemiddeld is het ten oosten van Marker Wadden dus ook helderder dan op de andere locaties.

5.2.3 Opwerveling door werkzaamheden: pluimgebieden

Op andere satellietbeelden zijn kleinschalige patronen te zien, met een kern van verhoogde concentraties zwevend stof, die van Marker Wadden lijken uit te waaiëren. Het gaat hier om patronen van opwerveling van sediment door werkzaamheden aan Marker Wadden. De luwte-effecten kunnen daardoor tijdelijk zijn verstoord. Deze patronen kunnen niet worden voorspeld met het slibmodel, omdat aanlegwerkzaamheden als bron van sediment in het model ontbreken. Dit is goed te zien op verschilkaarten tussen de satellietbeelden en deze simulaties (zie Figuur 5.6).

Niet alleen de werkzaamheden voor de aanleg van Marker Wadden zelf zijn van invloed geweest op de patronen, maar ook die van Trintelzand, de Oeverdijk en eventuele zandwinning en vaargeulonderhoud (Figuur 5.8). De effecten van opwervelend sediment zijn goed te zien aan verhoogde lichtuitdoving en zwevend stof concentraties.

De verschilkaarten laten ook zien dat de intensiteit en reikwijdte van de effecten van de werkzaamheden rond Marker Wadden groot is. De pluimen vanaf de werklocaties komen hieruit sterk naar voren, doordat het effect van de wind bij de vergelijking kan worden uitgefilterd. Deze pluimen bleken vaak zeer omvangrijk te zijn en waren soms vanaf Marker Wadden tot voor Marken te volgen. Door deze manier van weergeven, komt de luwtewerking van Marker Wadden minder goed naar voren, maar wordt de invloed van werkzaamheden veel duidelijker.



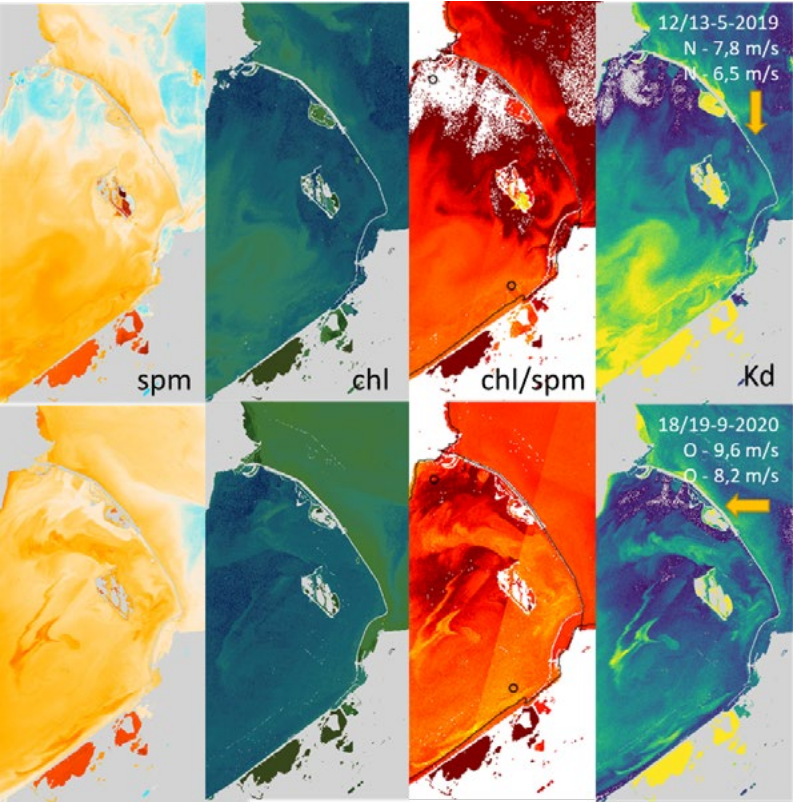
Figuur 5.6 Verschilkaarten van remote sensing beelden bewerkt voor zwevend stof en de uitkomsten van slibmodellering op dezelfde dag. De aangegeven windgegevens zijn daggemiddelden voor KNMI-windstation Houtribdijk bij Trintelzand op de dag van de opname en de voorgaande dag (na de /).

In het gebied dat is beïnvloed door de werkzaamheden (de pluimgebieden) bleek de biologische activiteit relatief hoog te zijn. Dit blijkt uit de volgende observaties:

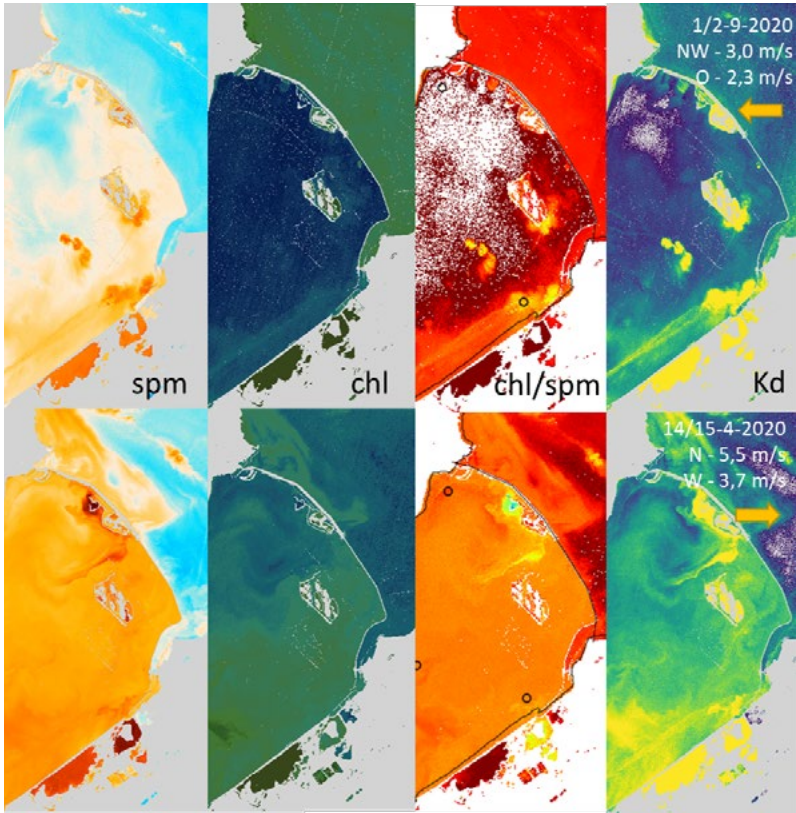
- De concentraties van fosfaat in de waterkolom, gemeten in 2019, waren in dit gebied hoger dan in andere delen van het Markermeer (Noordhuis 2019). Dit is waarschijnlijk fosfaat uit diepere lagen in de bodem, dat mee is gekomen met het materiaal waarmee de eilanden gebouwd werden.

- Het zuurstofverbruik door het bodemleven, gemeten in bodemmonsters, was hier eveneens hoger dan in andere deelgebieden (Noordhuis 2019). Er was dus meer activiteit in de bodem.
- De dichtheden van de draadvormige zwavelbacterie Thioploca waren hier hoger dan elders in het Markermeer (Noordhuis 2019).
- Quaggamosselen (inmiddels veel talrijker dan Driehoeksmosselen), gekarteerd in 2016 en 2019, vertoonden tussen deze twee jaren een duidelijke toename in dit gebied. (Bij de Vaate en Jansen 2016; Maathuis et al. 2020; zie ook paragraaf 4.3.4, Figuur 4.13).
- De bioturbatie-activiteit, geschat op basis van de bodemfaunakartering in het najaar van 2016, was relatief hoog (Verdonschot, 2020; zie paragraaf 4.3.4, Figuur 4.14).

Tegelijkertijd werd geconstateerd dat sinds 2018 het bestand aan jonge vis in het Markermeer historisch laag is (Van Rijssel et al. 2021). In het IJsselmeer werden daarentegen niet van dergelijke lage dichtheden waargenomen. Ook van spiering, een zoöplanktoneter die vermoedelijk nadeel ondervindt van slibpluimen, werden opvallend lage hoeveelheden waargenomen in het Markermeer. Behalve mogelijke effecten van baggerpluimen zullen ook het verdwijnen van steenoevers onder het zand gevolgen hebben gehad voor spiering, die steenoevers benut als paaigebied, en voor bijvoorbeeld aal voor wie stenen oevers een belangrijk habitat vormen. Brasem, een bodemfauna-eter, lijkt gebieden met hoge dichtheden van zwavelbacteriën te mijden.



Figuur 5.7 Satellietbeelden met luwte-effect, bewerkt voor zwevend stof (spm), chlorofyl (chl), de ratio chlorofyl/ zwevend stof en lichtuitdoving (Kd), Wind-richting en windsnelheid zijn aangegeven als daggemiddelde op de dag van de opname (onder) en de voorgaande dag (boven) op basis van KNMI-metingen op de Houtribdijk bij Trintelhaven.



Figuur 5.8 Satellietbeelden met effecten van werkzaamheden. Beelden bewerkt voor zwevend stof (spm), chlorofyl (chl) en lichtuitdoving (Kd), Windrichting en windsnelheid zijn aangegeven als daggemiddelde op de dag van de opname (onder) en de voorgaande dag (boven) op basis van KNMI-metingen op de Houtribdijk bij Trintelhaven.

5.2.4 Bodem en primaire productie

Welk deel van de primaire productie in en op de bodem plaatsvindt, is nauwelijks bekend. Permanent in of op de bodem levende algen (benthische algen), zoals gemeenschappen of zelfs

matten van benthische kiezelalgen of blauwalgen, zouden gezien de lage lichtbeschikbaarheid geen grote rol moeten spelen in het overgrote deel van het Markermeer. Ook bacteriën zijn primaire producenten, ook al vindt die productie plaats via chemosynthese in plaats van fotosynthese. Hierdoor kan benthische primaire productie mogelijk wel een belangrijke post vormen in het voedselweb, ondanks de lage lichtbeschikbaarheid. Verder kan het creëren van ondieptes en luwtes, zoals rond Marker Wadden, gevolgen hebben voor onder meer de lichtbeschikbaarheid op de bodem en daarmee op de primaire productie door benthische algen

Het onderzoek naar de aanwezigheid van bodemalgen op en direct rond Marker Wadden heeft het volgende opgeleverd:

- Over primaire producenten in de bodemgemeenschap vóór de aanleg van Marker Wadden (2016) is zo goed als niets bekend. Tijdens bemonsteringen van mosselen werden al in 2008 draadvormige structuren gevonden die werden geïdentificeerd als de zwavelbacterie Thioploca (Bij de Vaate en Jansen 2008). Deze bacterie werd verspreid over het Markermeer gevonden tijdens de bodemfaunakartering in het najaar van 2016 (Van Riel et al, 2021) en tijdens een verkenning opnieuw op de bodem rond Marker Wadden (Van Herk 2019; Roskam en Lamers 2022).
- Hogere dichtheden van draadvormige zwavelbacteriën in de jaren van aanleg (2019-2021) kenmerkten de bodem rond de Marker Wadden. In de gebieden beïnvloed door de werkzaamheden liep de biomassa zelfs op tot enkele honderden gram per m², vergelijkbaar met de biomassa van macrofauna (Kauhl 2020; Noordhuis 2019; Noordhuis, 2022). De primaire productie in deze pluimgebieden lijkt daarom grotendeels afhankelijk te zijn van chemosynthese (waarvoor geen licht nodig is) in plaats van fotosynthese.

- Ondanks de schijnbaar voedzame eiwit-schedes waardoor de bundels celdraden zijn omgeven (zie intermezzo), konden in de magen van vier verschillende vissoorten geen resten van zwavelbacteriën worden aangetroffen (Van der Haas 2020). De rol van Thioploca in het voedselweb lijkt daarmee beperkt.
- In de laboratoriumexperimenten werd aangetoond dat de matten in de gevonden dichtheden de opwerveling van sediment belemmeren (Kauhl 2020; Noordhuis 2019).



Thioploca en andere bacteriën in het Markermeer

In het Markermeer komen enkele soorten draadvormige zwavelbacteriën voor. Een daarvan is Beggiatoa, die bekend is van uitgestrekte witte matten op de bodem van de Grevelingen, waar dit verschijnsel gepaard ging met zuurstofloosheid en sterfte van bodemfauna. Waarschijnlijk was de aanwezigheid van deze bacteriën op de bodem ook een gevolg van die zuurstofloosheid en niet zo zeer de oorzaak van de sterfte. De soorten uit dit geslacht vormen enkelvoudige meercellige draden. Ook in het Markermeer werden zulke draden gevonden. Belangrijker is hier echter Thioploca (op basis van DNA onderzoek T. ingrica; Van Riel et al. 2021), met veel langere en dikkere draden, die bestaan uit bundels van celdraden als bij Beggiatoa, ingebed in een eiwitschede. Bij hoge dichtheden is de draderige massa met het blote oog herkenbaar.



Thioploca draden op de zeef tijdens de biomassabemonsteringen in juli 2020

De afzonderlijke celdraden bewegen heen en weer, of eigenlijk op en neer in de schedes. In de toplaag van het sediment nemen ze nitraat op, dat in grote hoeveelheden in vacuolen wordt opgeslagen. Daarmee bewegen ze naar diepere lagen om daar sulfaat te oxideren. Onder de microscoop zijn vaak in de cellen gele of oranje bolletjes zichtbaar, gevuld met puur zwavel dat als bijproduct wordt gevormd. Bij hoge dichtheden spelen ze dus een rol in de nutriëntenhuishouding van het systeem.

Thioploca en Beggiatoa zijn slechts twee van de vele geslachten van bacteriën in het Markermeer. Bij DNA-onderzoek van sediment uit 2016 (Van Riel et al., 2021) werden soorten uit maar liefst 74 hoofdafdelingen herkend, met nog veel meer geslachten. Toch is de diversiteit beperkt, net als bij de macrofauna, aangezien een klein aantal soorten of groepen sterk domineert. De bacteriën waren geclusterd in enkele gemeenschappen, die net als de macrofaunagemeenschappen een ruimtelijk gevarieerd patroon over de bodem van het meer vormen. De soorten binnen de gemeenschappen verschillen in hun rol in de bodemchemie en vullen elkaar daarin aan. Ruimtelijk varieert de dominantie van de clusters. De locatie van Marker Wadden ligt in een overgangsgedebiet tussen twee van die gemeenschappen.

Ook blauwalgen zijn bacteriën (in tegenstelling tot groenalgen) en spelen een – in het Markermeer vaak dominante – rol in deze gemeenschappen, vooral in de zuurstofrijke bovenlaag van het sediment. Fotosynthese is hier daarom een belangrijke energiebron voor de bodemgemeenschap, al dan niet dankzij wind-gestuurde opwerveling. Maar ook via andere energiebronnen, vaak in een zuurstofarme omgeving, kunnen bacteriën de

primaire productie leveren die de basis van het voedselweb vormt. De dominantie van blauwalgen in de bacteriegemeenschappen van het Markermeer kan betekenen dat de vorming van die gemeenschap zich onder invloed van de continue windwerking in een soort permanent pionierstadium bevindt, waarin de andere spelers op de achtergrond blijven. In iets minder dynamische omstandigheden wordt via bijvoorbeeld interactie met bioturbatie (in het Markermeer vooral door gravende wormen in de toplaag van het sediment) de ontwikkeling van zwavelbacteriën mogelijk juist gestimuleerd. Veranderingen in dynamiek, zoals in windsterkte en stormfrequentie, bodemwoeling door vis of werkzaamheden, kunnen dus via de bodemgemeenschappen grote gevolgen hebben voor het functioneren van het watersysteem Markermeer. De kennisontwikkeling binnen KIMA en de Werkgemeenschap Levend Markermeer heeft voor het eerst een tipje van deze sluier opgelicht.

5.3 Bijdragen aan Natura 2000-doelen

Marker Wadden maakt deel uit van het Natura 2000-gebied Markermeer-IJmeer. Het doel van Natura 2000 is de achteruitgang van natuurwaarden te stoppen en de unieke aspecten ervan te behouden en zo nodig te herstellen. Bij de aanwijzing van het gebied zijn ‘instandhoudingsdoelen’ vastgesteld, op basis van soorten en aantallen die er op dat moment en in de voorafgaande jaren voorkwamen.

Soorten die in te lage aantallen voorkwamen, bijvoorbeeld omdat hun habitat of voedsel ontbrak, zijn niet aangewezen. Bij het ontwikkelen of verbeteren van habitats kunnen toenemende aantallen van tot nu toe niet aangewezen soorten echter wel bijdragen aan de landelijke staat van instandhouding, die Nederland aan de EU rapporteert. Voor de beoordeling van het effect van Natura 2000-doelen van Marker Wadden worden daarom naast de aangewezen soorten, ook de overige soorten belicht.

5.3.1 Natura 2000 Markermeer-IJmeer

Voor vogels zijn instandhoudingdoelen vastgesteld in twee categorieën: broedvogels en trekvogels (‘niet-broedvogels’).

Broedvogels

De instandhoudingsdoelen zijn uitgedrukt in aantal broedpaar binnen het gebied. Vissdief en aalscholver hebben kwantitatieve doelen voor het Markermeer.



- De Aalscholver heeft een instandhoudingsdoel van 8000 paar, voor het IJsselmeer en Markermeer-IJmeer samen. Dit regiodoel wordt sinds 2013 niet langer behaald, als gevolg van zeer sterke afname in de afgelopen tien jaren (Van Rijn en Van Eerden 2021). De bijdrage van het Markermeer aan de broedende aalscholver-doelen was tot voor kort nog enkele honderden paren (Trintelhaven). Tot nu toe zijn geen broedparen op Marker Wadden verschenen en is het totaal voor het Markermeer gedaald tot 0, door het verdwijnen van de kolonie op Trintelzand.

- De vissdief heeft een instandhoudingsdoel van 630 paar voor het Markermeer-IJmeer. De vissdief voldeed in het Markermeer-IJmeer alleen in de jaren 2001-2007 aan de doelstelling, dankzij de aanleg van de ‘natuurboog’ bij het naviduct (Enkhuizen) en de Kinseldam. Daarna trok de Kreupel in het IJsselmeer veel broedende paren. Vanaf 2014 broedden er vissdieven op proefeiland Ierst en vanaf 2017 ook op Marker Wadden, waardoor vanaf 2016 het doel voor het Markermeer weer werd gehaald (www.sovon.nl). Grondtellingen op Marker Wadden laten zien dat vanaf 2017 elk jaar de doelen worden gehaald (Dreef en van de Winden 2020).

Trekvogels (‘niet-broedvogels’)

De instandhoudingsdoelen worden uitgedrukt in het gemiddelde aantal aanwezige vogels over het jaar (voor trek- en wintervogels vaak per seizoen, van juli t/m juni van het volgende jaar). Voor het Markermeer zijn voor 18 soorten trekvogels doelen aangewezen. Tabel 6.1 laat zien dat bij vier soorten het instandhoudingsdoel niet wordt gehaald. De trends in de aantallen van deze soorten voor het gehele IJsselmeergebied, op basis van maandelijkse vliegtuigellingen door Rijkswaterstaat, zijn recent beschreven in Van Rijn en van Eerden 2021. Een bewerking op basis van grotendeels dezelfde vliegtuigtellingen is te vinden op www.sovon.nl. Deze getallen zijn vaak hoger omdat hier vogels worden meegerekend die overdag worden geteld in aangrenzende gebieden (zoals de Oostvaardersplassen), maar ’s nachts in het Markermeer foerageren (‘overheveling’). Marker Wadden blijkt tijdelijk zeer belangrijk te zijn geweest voor vooral de slobbeend, dwergmeeuw (als voedselgebied) en voor zwarte stern (als slaapplek). Rond eind juli 2018 en 2019 kwamen respectievelijk 9000 en 5000 zwarte sterns op Marker Wadden overnachten (Dreef en Van der Winden 2019). Van de vier soorten die hun instandhoudingsdoelen niet haalden heeft Marker Wadden in de beschouwde periode nog niet of nauwelijks verbetering opgeleverd.

	Doel	2011/12-2015/16	2016/17-2019/20	Marker Wadden
Fuut	170	294	390	2
Aalscholver	2600	3116	2259	55
Lepelaar	2	25	61	2
Grauwe gans	510	1363	426	24
Brandgans	160	1556	1229	0
Smient	15600	8560	10662	11
Krakeend	90	346	565	80
Slobeend	20	31	265	160
Krooneend	nvt	31	25	0
Tafeleend	3200	6996	5606	13
Kuifeend	18800	14628	8651	17
Toppereend	70	714	1558	0
Brilduiker	170	49	20	0
Nonnetje	80	43	41	0
Grote zaagbek	40	64	67	1
Meerkoet	4500	9061	12659	6
Dwergmeeuw**	nvt	3	59	48
Zwarte stern*	nvt	1160 (max)	5813	

Tabel 5.1 De 18 soorten aangewezen niet-broedvogels met de aantallen uit hun instandhoudingsdoel, de gemiddelde aantallen in het gehele Markermeer-IJmeer in de vijf seizoenen voorafgaand aan de aanleg van Marker Wadden en in de vier eerste seizoenen na de start van de aanleg in het gehele systeem en rond Marker Wadden. De aantallen betreffen seizoensgemiddelden, d.w.z. de gemiddelden van maandelijkse aantallen van juli t/m juni van het daaropvolgende jaar. Uitzondering is de Zwarte Stern (*), waar de aantallen het gemiddelde seizoensmaximum aantal betreffen. Alle doelen betreffen behoud van het aangegeven aantal. Bij de in rood gemarkeerde aantallen is dit doel niet gehaald of is sprake van afname tussen de twee perioden, in groen zijn de doelen gehaald of is sprake van toename. Bij grijs gemarkeerde vakken is er geen kwantitatief doel of zijn geen bruikbare tellingen beschikbaar. Getallen voor het gehele Markermeer zijn afkomstig van www.sovon.nl en zijn grotendeels gebaseerd op vliegtuigtellingen van Rijkswaterstaat (M.R. van Eerden, M. Roos). Getallen voor Marker Wadden zijn rechtstreeks gebaseerd op deze tellingen (M.R. van Eerden). Getallen voor dwergmeeuw (**) in het gehele systeem zijn ontleend aan Van Rijn en Van Eerden 2021.

Naast voor vogels zijn er ook doelen vastgesteld voor de meer-vleermuis, kleine modderkruiper en rivierdonderpad, evenals voor de habitats van kranswier en fonteinkruid. De bijdrage van Marker Wadden aan deze doelen is nog beperkt, maar kan in de toekomst groter worden. Van kleine modderkruiper is vastgesteld dat deze paait op Marker Wadden (De Leeuw et al. 2021). Kranswieren, fonteinkruiden en vleermuizen zijn al wel waargenomen.

5.3.2 Natura 2000 landelijk

Marker Wadden levert een belangrijke bijdrage aan de beschikbaarheid van habitats voor Natura 2000-soorten zoals visdief, kluut, bontbekplevier (>10%), kleine plevier, strandplevier, zwartkopmeeuw, kokmeeuw, dwergstern en oeverzwaluw. De meeste van deze soorten hebben een landelijk doel en geen gebiedsdoel. Zeldzame vogels die hebben gebroed zijn onder

meer ijseend, dwergmeeuw, lachstern, steltkluut en kwartelkoning. Bij de trekvogels (‘niet-broedvogels’) is de meeste winst behaald bij vogelsoorten die voor het Markermeer nog geen instandhoudingsdoel hebben (Tabel 5-2).

Een selectie van soorten die positief reageren op de aanleg van Marker Wadden is weergegeven in Tabel 5 2. De aantallen die hier worden gegeven zijn seizoensmaxima, die vaak veel hoger zijn dan de seizoensgemiddelden die voor de beoordeling van de staat van instandhouding worden gebruikt. Ook op basis van de tel-methode (grondtellingen) zijn deze getallen niet geschikt voor zo’n beoordeling; deze is tevens methodisch gekoppeld aan de vliegtuigtellingen, vanwege de vergelijkbaarheid van de trends.

Wel geven ook de landtellingen een indruk van de bijdrage die Marker Wadden kan leveren aan de landelijke doelstellingen. Een opvallende soort daarbij is de wintertaling, die met een seizoensmaximum van bijna 13.000 vogels (november 2020) verreweg de meest talrijke soort vormt van seizoen 2020/2021. Deze soort reageert vaak massaal op het aanbod aan zaden van pionierplanten in de eerste jaren na uitvoering van natuurontwikkelingsprojecten, of na droogval van nieuwe polders (Lauwersmeerpolder, Flevoland/Oostvaardersplassen). Er geldt geen instandhoudingsdoel voor de soort in het Markermeer, omdat hier ten tijde van de doel-formulering nauwelijks wintertalingen voorkwamen. Het seizoens-gemiddelde van bijna 2500 vogels op Marker Wadden in 2020/2021 vertegenwoordigt echter meer dan 10% van het landelijke instandhoudingsdoel (21.000). Met 6 paar is de aanwezigheid als broedvogel bescheiden, maar de landelijke broedpopulatie is sinds 1984 met twee derde afgenomen.

	Seizoens- maxima 2019/2020 (landtellingen, Dreef en van der Winden, 2020)	Seizoens- maxima 2020/2021 (landtellingen, Dreef et al. 2021a)	Vliegtuigtellingen 2016-2021 (WVL, M.R. van Eerden en M. Roos)
Bergeend	320	270	356 (okt 2020)
Krakeend	546	1101	1528 (juni 2018)
Slobeend	1869	1193	1880 (juni 2018)
Pijlstaart	248	481	402 (okt 2018)
Smient	80	63	365 (okt 2018)
Wintertaling	4305	12997	10725 (okt 2020)
Tafeleend	2249	436	280 (jan 2020)
Lepelaar	21	151	55 (aug 2017)
Kluut	672	462	674 (aug 2018)
Bonte strandloper	720	624	319 (okt 2018)
Zilverplevier	5	118	176 (okt 2020)
Bontbekplevier	264	413	5 (mei 2019)
Strandplevier	18	15	-
Grutto	520	840	1090 (juni 2020)
Watersnip	245	618	5 (aug 2020)
Kemphaan	186	241	470 (juli 2018)
Kokmeeuw	2410*	3522*	4768 (mei 2021)
Zwartkopmeeuw	31*	100*	83 (juni 2021)
Dwergmeeuw	17	15	1225 (juni 2018)
Zwarte stern	5000 (slaapplaats)	170	710 (aug 2018)

Tabel 5.2 Een selectie van soorten die voor Markermeer begrippen talrijk waren reageren op en rond Marker Wadden na de aanleg. De vetgedrukt soorten hebben ook een instandhoudingsdoel voor het Markermeer. *Bij de grondtellingen zijn alleen de rustende en foeragerende vogels meegeteld, voor de kolonievogels waren afzonderlijke tellingen.

5.4 Betekenis op landschap schaal

5.4.1 Voedt Marker Wadden het meer?

De verwachting was dat Marker Wadden op twee manieren kon bijdrage aan het vergroten van de productiviteit van het meer, namelijk door het creëren van luwe zones en door het verbinden van het rietmoeras met het meer. Ook bleek de recirculatie van voedingsstoffen uit het sediment door de werkzaamheden tijdelijk bij te dragen aan de productiviteit.

Er kan geconcludeerd worden dat met de aanleg van Marker Wadden op beperkte schaal een nieuw luwtegebied is gecreëerd aan de oostzijde van Marker Wadden (zie Figuur 5.5), met nieuwe gradiënten in helderheid. Inmiddels zijn op een na alle compartimenten van Marker Wadden in open verbinding met het meer gesteld (2020). Dit is nog te recent gebeurd om mogelijke effecten op de productiviteit van het Markermeer als geheel te meten. Tot dusver konden alleen lokale effecten op productiviteit worden vastgesteld.

In het onderzoek op en rond de eilanden is vastgesteld dat verhoogde fosfaatconcentraties als gevolg van productie op en rond de eilanden alleen meetbaar waren in ondiep en matig diep water, niet in het aangrenzende open water van het Markermeer (zie Figuur 5.9). De verhoogde fosfaatconcentratie in de ondiepe wateren ging in de zomer gepaard met verhoogde chlorofyl concentraties, en in het hele seizoen met een lage koolstof/ fosfaat

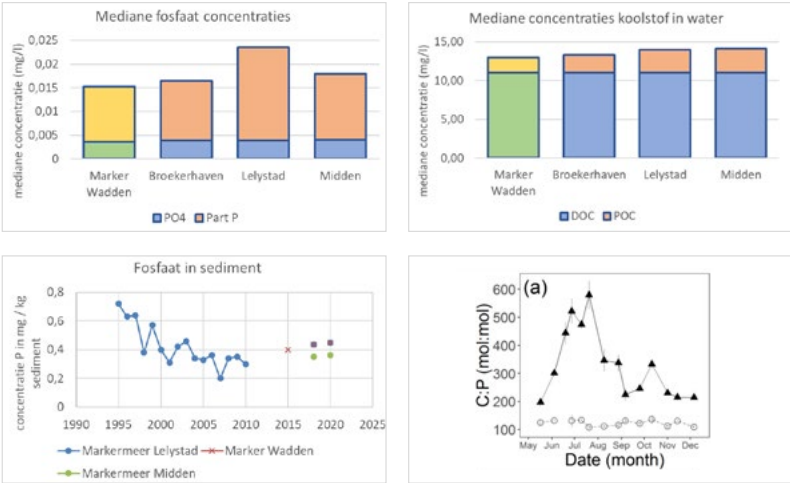
verhouding van het seston (zwevend stof, inclusief algen). Zo’n lage ratio betekent een hoge voedingswaarde voor consumenten in het voedselweb (Figuur 5.9, rechtsonder; Jin 2021).

In Figuur 5.9 is echter ook te zien dat in het water bij de meetpaal locatie (MWTL, ca. 800 m ten oosten van Marker Wadden, in het nieuwe luwtegebied, Figuur 4.1) geen verhoogde fosfaat of koolstof concentraties te vinden zijn. De gebonden fracties zijn zelfs lager dan in de omgeving, in overeenstemming met de lagere zwevend stof concentraties. Ook de concentraties van fosfaat in de toplaag van het sediment wijken niet af van die bij Lelystad, hoewel ze iets hoger zijn dan op locatie Markermeer Midden. Dit staat in contrast met de verhoogde fosfaatconcentraties die in 2019 in het pluimgebied werden gemeten (zie paragraaf 5.2.2). Uit de gegevens kan dan ook niet worden geconcludeerd dat er lateraal transport van stoffen vanuit de Marker Wadden is. Dit heeft dan ook (nog) niet geresulteerd in een meetbare verschuiving van de productie van de bodem naar de waterkolom op enige afstand van de eilanden.

Eerder in deze rapportage kwam aan bod dat de kans op nalevering van fosfaat uit de bodem afneemt als gevolg van de toegenomen ijzer – fosfaat ratio (zie paragraaf 3.4; Figuur 3.7 rechtsonder; zie ook Noordhuis en Roskam, 2017). Parallel daaraan draagt de hoge bindingscapaciteit van ijzer in sediment – dat door de wind op-wervelt en daarna opnieuw sedimenteert – waarschijnlijk bij aan het verdwijnen van fosfaat uit de waterkolom. Uit metingen rond Marker Wadden bleek dat het fosfaatgehalte in verse afzettingen hoger is dan in de oorspronkelijke bodem. Hoewel erosie ook fosfaat uit de bodem mobiliseert, kan zo een belangrijk deel van het fosfaat dat in het systeem aanwezig is, aan circulatie worden onttrokken door sedimentatie in diepe geulen en putten. Binnen de Werkgemeenschap Levend Markermeer wordt momenteel onderzocht wat dat betekent voor de fosfaatbalans van het

Markermeer (zie intermezzo “Geulen en putten als sinks voor fosfaat?”).

Isotopen onderzoek van de UvA bij kleinschalige moerassen in het IJsselmeer (proefpolder Andijk) en het IJmeer (Vijfhoek) heeft laten zien dat koolstof uit de oevers van een kleinschalig moeras niet aankomt in het open water. Het is niet traceerbaar in de weefsels van organismen in open water, zoals dat wel het geval is in natuurlijke meren met fluctuerend waterpeil en aangrenzend grote oevermoerassen zoals Lake Peipsi (van der Geest, in prep.). Dit patroon lijkt nog niet te zijn doorbroken door Marker Wadden.



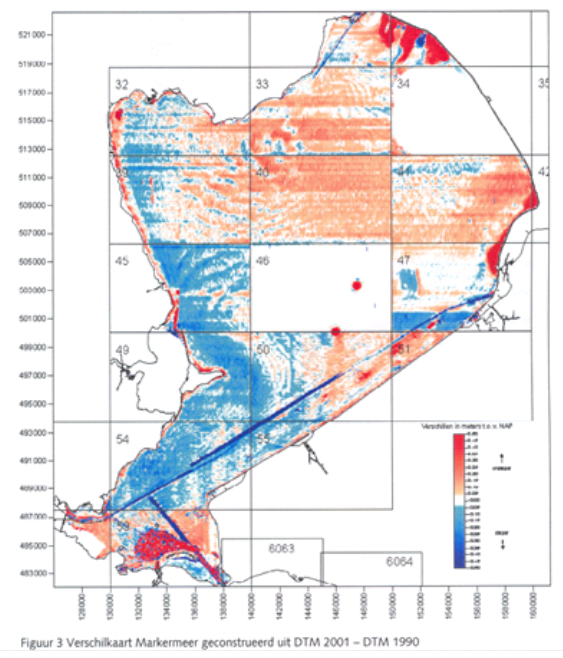
Figuur 5.9 Concentraties fosfaat en koolstof rond Marker Wadden in vergelijking met het open water. Linksboven: opgelost en gebonden fosfaat bij de meetpaal Marker Wadden (Figuur 4.1) vergeleken met de omliggende stations. Rechtsboven: idem voor opgelost en gebonden organisch koolstof. Linksonder: concentraties fosfaat in de toplaag van het sediment bij Lelystad, vergeleken met Marker Wadden en Markermeer Midden (alleen recente jaren). Rechtsonder: Verschil in de koolstof/ fosfaat ratio van het zwevend stof in ondiep versus diep water rond Marker Wadden (Jin 2021).

Geulen en putten als sinks voor fosfaat?

Uit de water- en fosfaatbalans die door de Universiteit van Amsterdam over de periode 1976-2013 is opgesteld (Van der Geest et al. 2017) blijkt dat er ongeveer drie keer zoveel fosfaat het Markermeer binnen komt als dat er uit stroomt. Aangezien de concentraties in de waterkolom en in de toplaag van de bodem laag zijn, roept dat de vraag op waar dit fosfaat blijft. In het kader van de Werkgemeenschap Levend Markermeer (RWS) wordt dit onderzocht.

Een mogelijk antwoord is dat een groot deel in de diepere geulen en putten terecht komt, buiten het beeld van de meetnetten. Verkennende berekeningen lijken daar op te wijzen (Noordhuis et al. 2022). Waarschijnlijk gebeurt dat vooral na winterstormen, waarbij opgewerveld sediment over grote afstanden kan worden verplaatst. Via verschilkaarten in bodemhoogte over de periode 1990-2001, onderzoek aan proefputten en metingen in de geulen en putten rond Marker Wadden kan de snelheid van sedimentatie en opvulling worden geschat (Van Leeuwen 2005, Boderie et al. 2010). Via metingen van fosfaatconcentraties in sediment en zwevend stof kan daaruit de verliespost in de fosfaatbalans worden geschat.

De resultaten geven op z'n minst aanleiding tot nader onderzoek op basis van metingen in de geulen en putten. Als deze verliespost inderdaad substantieel blijkt te zijn, roept dat ook vragen op over fosfaatafvang door de geulen en putten rond Marker Wadden. Een effectieve toevoer van voedingsstoffen vanuit de moerassen van Marker Wadden naar het Markermeer is dan niet vanzelfsprekend.



Verschilkaart van bodemhoogtes tussen 1990 en 2001 (RWS, in Van Leeuwen 2005). Rood = sedimentatie / opgehoging, blauw = erosie / verdieping. Sedimentatie heeft in die periode het meest plaatsgevonden in de IJmeerput, de twee kleine proefputten in het midden van het Markermeer en de oude geulen bij Enkhuisen, maar ook in de “luwte” van de Houtribdijk tegenover Lelystad.



5.4.2 Huidige en toekomstige betekenis

De intentie is dat Marker Wadden kan uitgroeien tot een voedselrijk moeras met een zodanige omvang, dat de effecten uitstralen op een groter gedeelte van het Markermeer. In dat geval kunnen de eilanden een katalyserende functie hebben als organische koolstofbron, die bodemprocessen versterkt. Op dit moment is Marker Wadden hiervoor nog onvoldoende ontwikkeld. Dit wordt bevestigd door de waargenomen ontwikkeling van benthos in de land-water overgangszones van Marker Wadden gedurende het seizoen, waarbij een aanvankelijk rijke benthos ontwikkeling in het voorjaar al in de loop van de zomer lijkt te verdwijnen (Van Leeuwen et al., 2021). Dit suggereert dat voor een meetbare functie als organische motor een aanzienlijke verdere ontwikkeling en rijping van een voedselrijk moeras nodig zou zijn. Daarbij is het van belang aandacht te besteden aan de waterbeweging die ten behoeve daarvan kan worden gegenereerd (stroming en peilfluctuaties), maar ook aan de aard en benodigde omvang van de geproduceerde organische stof in de vorm van rietmoeras en andere opgaande soorten uit eutroof milieu.

Ook drijvend en losgeraakt plantenmateriaal en mobiele diersoorten kunnen bijdragen aan de ruimtelijke spreiding van voedingsstoffen. Dit laatste kan zowel gelden voor macrofauna (vrij zwemmende soorten, maar ook uitzwermende muggen) als voor vis en vogels. Onderzoek met behulp van zenders bij vis laat grootschalige verplaatsingen zien (De Leeuw et al. 2020a, Van Leeuwen, pers. Com.). Waarnemingen van vogels die pendelen tussen Marker Wadden en Oostvaardersplassen enerzijds en Trintelzand, Naviduct en Vooroever Andijk en omstreken anderzijds (gegevens RWS, M.R. van Eerden, Figuur 5.10 worden recent ondersteund door onderzoek met gezenderde vogels binnen Nationaal Park Nieuwland (Van der Winden e.a. pers. comm.).



Figuur 5.10 Grootschalig ruimtegebruik door vogels van Marker Wadden. Vogels van diverse soorten pendelen tussen broed-, rust- en foerageergebieden in verschillende delen van het Markermeersysteem. Deze figuur is gebaseerd op waarnemingen van trekbewegingen vanaf de grond en vanuit de lucht (M.R. van Eerden ongepubl., RWS).

6

Adaptieve governance



Marker Wadden wordt veelvuldig geroemd vanwege de bijzondere bijdrage aan de natuur, de kansen die het biedt voor toerisme in het Markermeer en de innovatieve technieken die zijn gebruikt bij de aanleg. De governance van Marker Wadden is minstens zo innovatief en interessant. Denk daarbij aan de samenwerking tussen Natuurmonumenten en de overheid, de korte tijd waarin het project tot stand is gekomen en de manier waarop de partijen en individuen vervolgens hebben samengewerkt. Daarover gaat dit hoofdstuk. Ook komen hierin de ecosysteemdiensten van Marker Wadden en gebruikte financierings- en aanbestedingsstrategie aan bod.



6.1 Lessen van het aanlegproject

Om de lessen van het aanlegproject Marker Wadden te identificeren, is gekeken naar de aspecten samenwerking, adaptiviteit en continuïteit. Voor dit onderzoek zijn 22 personen geïnterviewd, die op allerlei manieren bij het project Marker Wadden betrokken zijn of zijn geweest. Voor de volledige rapportage wordt verwezen naar IJff et al., 2020.

Samenwerking

Het gaat hierbij om de wijze waarop partijen (zowel financiers, stakeholders, onderzoekers en uitvoerders) hebben samengewerkt, financiering hebben gevonden en afspraken hebben gemaakt en vastgelegd. De samenwerking rondom het project Marker Wadden (dus binnen het projectteam Marker Wadden en tussen het projectteam Marker Wadden en de financiers en opdrachtnemer) is overwegend als positief ervaren. Hoewel het tijdens de initiatiefase duidelijk werd dat er verschillen waren tussen partijen die overbrugd moesten worden, is hier in de meeste gevallen een passende oplossing voor bedacht. Dit was zowel op individueel, collectief als netwerkniveau het geval. Op individueel niveau is er in het Projectteam Marker Wadden nadrukkelijk gekeken naar beschikbare competenties en het realiseren van complementariteit tussen de betrokken organisaties. Op collectief niveau zijn werkprocessen binnen de betrokken organisaties aangepast die het project ten goede komen. Een voorbeeld is dat het projectteam Marker Wadden en de opdrachtnemer gezamenlijk aan één doel werken. Tenslotte moesten er op netwerkniveau productieve werkrelaties ontstaan tussen projectteam, financiers en opdrachtnemer. Door de heldere samenwerkingsovereenkomsten waren deze relaties open en coöperatief.

Adaptiviteit

Dit gaat over de capaciteit m.b.t. het omgaan met onvoorziene veranderingen, niet alleen in het fysieke systeem (met gevolgen voor de uitvoering en beheer) maar ook in afspraken, financiering en betrokkenheid van partijen. Geconcludeerd kan worden dat het project Marker Wadden in enige mate adaptief is. Een klein projectteam Marker Wadden met veel senioriteit en een hoge mate van commitment draagt daaraan bij, doordat de teamleden met elkaar een sterke projectfocus hebben en daardoor alles op alles zetten om het project te realiseren. Ook het leggen van verbindingen en het ondernemende karakter van de sleutelfiguren dragen positief bij aan het adaptieve vermogen. Zo is tijdens de aanleg het idee ontstaan om duinen te realiseren, die vervolgens zijn toegevoegd aan het ontwerp. De verbindingen hebben ertoe geleid dat meerdere partijen zich achter het project hebben geschaard en dat er daardoor voldoende financiën beschikbaar kwamen.

Op het snijvlak van kennisontwikkeling (KIMA) en de aanleg van Marker Wadden is er minder sprake van adaptiviteit. Het blijkt moeilijk te zijn om het bouwproces te verweven met het onderzoeksproces. Doordat beide trajecten niet gelijktijdig en niet even snel verlopen, kunnen de lessen die uit het onderzoek voortvloeien maar ten dele meegenomen worden in de aanleg. Datzelfde geldt ook andersom: kennis die bij de uitvoering wordt opgedaan stroomt ook niet automatisch door naar het onderzoeksprogramma. Er zijn gedurende de looptijd wel oplossingen gevonden om de uitwisseling tussen KIMA en het uitvoeringsproject te verbeteren, zoals het aanwijzen van een persoon die in beide teams zitting heeft en het delen van tussentijdse resultaten. Het onderzoeksprogramma en de uitvoering zelf zijn allebei adaptief. Zo wordt het plan van aanpak van KIMA jaarlijks bijgesteld om zo goed mogelijk met (onverwachte) veranderingen om te kunnen gaan.

Continuïteit

Hiermee wordt bedoeld dat de oorspronkelijke beleids-organisatie- en projectdoelen van het project Marker Wadden in beeld worden gehouden. Continuïteit is belangrijk omdat het hier gaat om een innovatieve ontwikkeling en er een lange adem nodig is voor het vasthouden aan doelen, het verkrijgen van inzichten en het invulling geven aan eigenaarschap. Uit de interviews blijkt dat de continuïteit van het project Marker Wadden is gegarandeerd door stabiele beleidskaders en duidelijke focus in de uitvoering van het project (het realiseren van zoveel mogelijk hectares). In de praktijk lijkt het waarborgen van deze continuïteit echter niet vanzelfsprekend en dat er een verschil is tussen de drie hoofd-doelen van Marker Wadden, namelijk het vogelparadijs, verbeteren van de waterkwaliteit en leren en innoveren (zie paragraaf 2.1).

Uit de interviews komt naar voren dat het realiseren van zoveel mogelijk hectares nieuw land tijdens de uitvoering een belangrijk doel was om zo het doel van een vogelparadijs te behalen. Wat daarvan precies het effect zou zijn op het tweede doel, het verbeteren van de waterkwaliteit op de schaal van het Markermeer, kon op dat moment nog niet worden bepaald en daar kon daardoor niet op worden gestuurd. Dit werd versterkt door de keuze in de aanbestedingsstrategie om geen prestatiegericht contract voor wat betreft de waterkwaliteit op te stellen en door het te realiseren areaal als belangrijk criterium op te nemen in de EMVI (Economisch Meest Voordelige Inschrijving).

Over het toepassen van dunslib als innovatieve methode voor aanleg van eilanden is minder kennis opgedaan dan vooraf gehoopt. Het bouwen met holocene materiaal in een hydraulische toepassing en het gebruik van zachte randen zonder vooroeververdediging is volgens een deel van de respondenten ook als innovatieve techniek te bestempelen.

6.2 Participatieve monitoring

Dit onderdeel van het onderzoek richtte zich op het gebruik van Marker Wadden door bezoekers en op de perceptie van de natuurwaarde en het unieke karakter van het gebied. Dit gebeurt via ‘participatieve monitoring’. Marker Wadden is een geliefd project bij natuurliefhebbers, zowel bij deskundigen als bij het publiek. Het is daarom een geschikt gebied voor het doen van natuurwaarnemingen met burgers. Om aan dit type monitoring op Marker Wadden invulling te geven zijn in de eerste fase van het onderzoek (2017-2019) diverse ideeën verkend (Brand, 2019). Vanaf 2019 is de participatieve monitoring in praktijk gebracht. In 2021 is een reflectieworkshop georganiseerd met vertegenwoordigers van de doelgroepen (studiecoördinatoren), Natuurmonumenten, Rijkswaterstaat, ervaringsdeskundigen en kennisinstellingen. De resultaten en methoden zijn terug te vinden in (Veraart et al, 2021).



Foto's: Stefan Claesens (Natuurmonumenten)



6.2.1 De praktijk van participatieve monitoring

Hieronder volgen enkele voorbeelden die afgelopen vijf jaar zijn toegepast op Marker Wadden:

1000-soortendag en waarneming.nl

De observaties die zijn gedaan in het kader van de 1000-soortendag en via waarneming.nl zijn professioneel bruikbaar, wanneer deze worden benut vanuit de Nationale Databank voor Flora en Fauna (NDFF). NDFF biedt borging van kwaliteit door alle waarnemingen te controleren en incorrecte of niet traceerbare waarnemingen te verwijderen. In tegenstelling tot waarneming.nl zijn er wel (niet-commerciële) gebruikerskosten verbonden aan de toegang tot de NDFF-data. Onderzoeksinstituten en terreinbeheerders kunnen een abonnement nemen om NDFF-data te gebruiken.

Waarneming.nl werkt met een digitaal veldboekje, een applicatie waarmee gebruikers met hun mobiele telefoon informatie per waarneming kunnen vastleggen zoals aantal individuen, gedrag (b.v. foerageren, rusten of broeden), kleed, methode van waarneming, telmethode, geslacht en soort. Zij kunnen eenvoudig hun

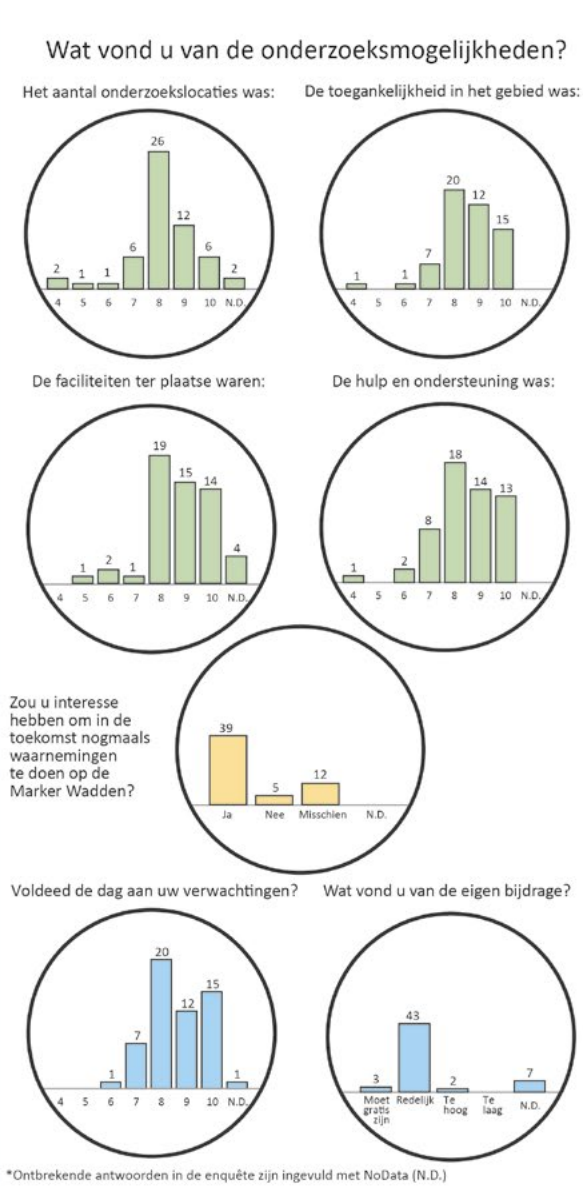
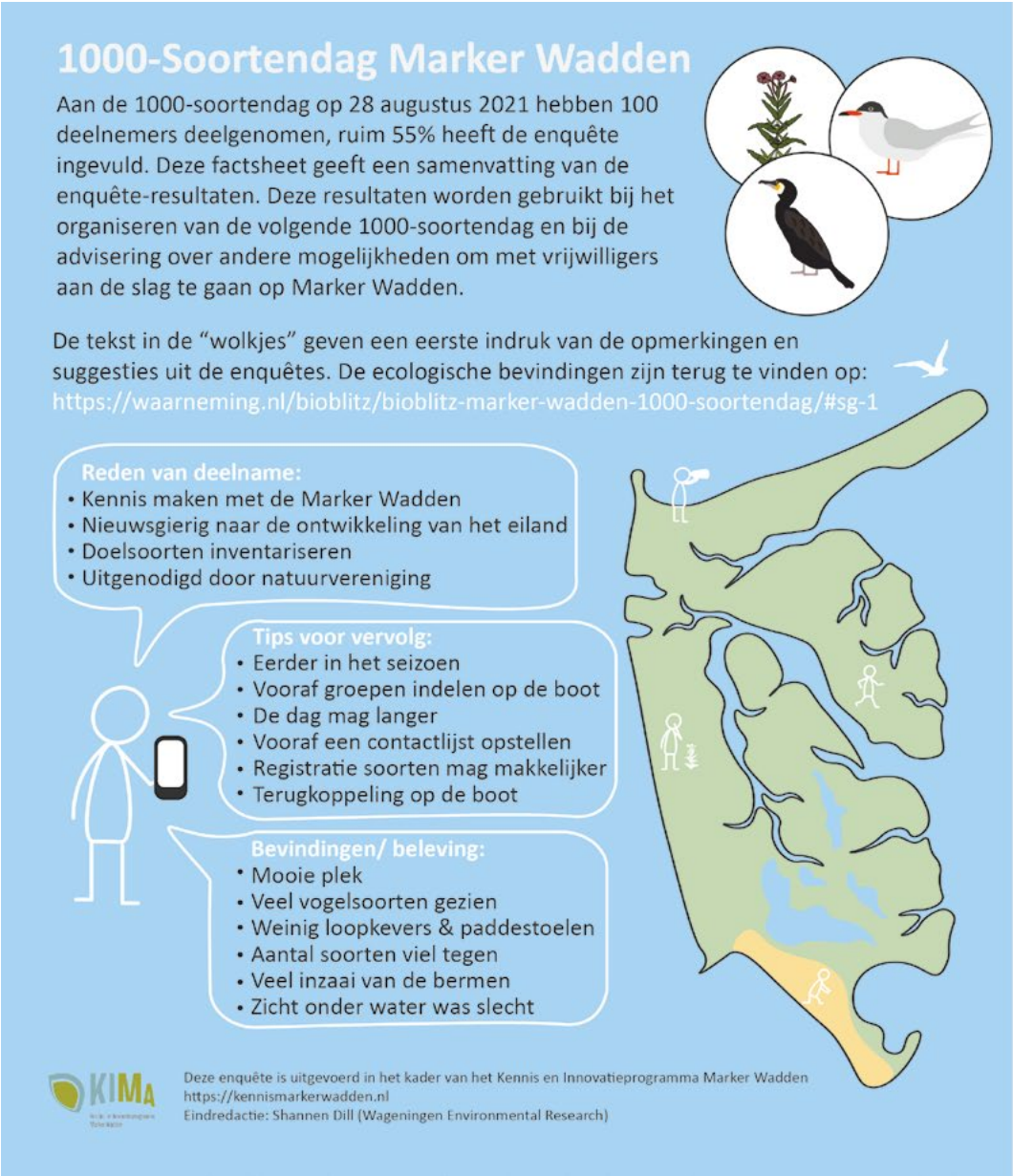
eigen waarnemingen bekijken, downloaden en bewerken voor eigen doeleinden in de gewenste software. Waarnemingen van anderen zijn ook te bekijken, maar het is bewust niet mogelijk om de ruwe observaties van alle waarnemers samen te downloaden. In totaal zijn er in de periode medio 2016 – voorjaar 2021 652 soorten en 59 ondersoorten waargenomen. De meeste waarnemingen en soorten betreffen planten en vogels. Een groot deel van de waarnemingen heeft plaatsgevonden tijdens de drie georganiseerde 1000-soortendagen (2017, 2018 en 2019). Hoe de deelnemers van de 1000-soortendag in 2021 het evenement ervaren hebben is samengevat in Figuur 6.1.

Vogelonderzoek

Eigenlijk verloopt deze bijdrage ‘als vanzelf’. Marker Wadden werkt als een magneet voor de vele vogelliefhebbers die hun waarnemingen vastleggen via de diverse digitale platforms. Een groot deel van deze observaties komt uiteindelijk ook terecht in de Nationale Databank Flora en Fauna (NDFF). Aanvullend hierop is er het idee om in 2022 een (meerjarige) onderwijspilot met scholieren van het Technasium Lelystad en Natuurmonumenten op te starten om aanvullende informatie te verzamelen over het broedsucces van de visdief.

Insectenmonitoring

Ten behoeve van de voortzetting van een promotieonderzoek naar het effect van de aanleg van de Marker Wadden op de hoeveelheid biomassa aan insecten (door Rijksuniversiteit Groningen) zijn vrijwilligers ingezet. Om te bepalen of het gewicht toe- of afnam is gebruik gemaakt van het op een gestandaardiseerde wijze drogen en meten van het gewicht aan gevangen insecten. Voor het vangen van de vliegende insecten is gewerkt met 4 malaisevallen, 2 op klei en 2 bij de duinen van het Zuidstrand.



Figuur 6.1 Factsheet met de belangrijkste conclusies uit de enquête onder deelnemers van de 1000-soortendag in 2021. NB: deze factsheet komt op 1 pagina leesbaar in de definitieve versie

Het onderzoek is sterk gericht op een meting van de biomassa-productie op de Marker Wadden. De determinatie vond op beperkte schaal plaats.

In 2019 is gestart met een proef met 10 vrijwilligers, die zich richtten op de controle en reparatie van malaisevallen en het verzamelen, labelen en opslaan van vangsten). Daarna zijn er determinatieavonden georganiseerd met 30 vrijwilligers. Onder leiding van KNNV Lelystad (professionele vrijwilliger) en Rijksuniversiteit Groningen (promovendus Yvonne Kahlert hielden zij zich bezig met het identificeren van de klasse, orde, familie (en indien mogelijk genera en soorten). In 2020 is een nieuwe groep van 15 vrijwilligers gestart, geleid door de beheereenheid Flevoland (Natuurmonumenten).

Naast de ontwikkeling van de biomassa, is het vestigen van ongewervelden op nieuw land een ander interessant aspect. Er is erg weinig bekend over welke soorten zich vestigen en met welke snelheid. Marker Wadden biedt een unieke kans om langjarige monitoring naar de vestiging, successie en ontwikkeling van de entomofauna op nieuw land uit te voeren. De resultaten laten een verschil zien tussen de malaisevallen die in het duin op het Zuidstrand staan en de vallen die in de klei staan (zie Tabel 6 1). Op het zand worden heel veel dansmuggen gevangen, behorende tot de Chironomidae. Er komen ook wel redelijk wat (aeronautische) spinnen in de val terecht. Slechter vliegende soorten insecten, zoals kevers en wantsen, worden in beperkte aantallen gevangen.

Tabel 6 1 Maximum aantal exemplaren van de belangrijkste groepen per vangst (van de uitgezochte monsters uit 2019, met dank aan Arjan van der Veen).

Groep	Maximum	Locatie
Muggen, Nematocera	6790	Zuidstrand
Vliegen, Brachycera	2184	Zuidstrand
Vliesvleugeligen, Hymenoptera	370	Zuidstrand
Kevers, Coleoptera	45	Zuidstrand
Spinnen, Araneae	21	Klei
Vlinders, Lepidoptera	249	Klei
Cicaden/wantsen, Heteroptera	19	Klei

Om langjarige monitoring mogelijk te maken is het nodig om nieuwe vrijwilligers te blijven werven en voor de wetenschappelijke vragen samenwerking te zoeken met Hogescholen en Universiteiten. Ook is de betrokkenheid van ervaren entomologen voor determinatie essentieel. Randvoorwaarden zoals voldoende opslagcapaciteit van de monsters en een locatie voor microscopen en naslagwerken verdienen aandacht.

Fotomonitoring

Op vijf locaties van het bezoekerseiland van Marker Wadden staan fotopalen, waar bezoekers het landschap kunnen vastleggen. De tijdseries hiervan zijn ‘live’ te volgen⁶. De foto’s passeren in een diaserie van 10 tot 20 foto’s per locatie. Dit geeft inzicht in de ontwikkeling van Marker Wadden; zo is in de diaserie op locatie 4 te volgen hoe de vegetatie zich ontwikkelt van modder, via moerasandijvie tot riet. De diaseries kunnen ook voor onderzoekers interessant zijn voor het selecteren van bijvoorbeeld monsterlocaties.

6 <https://www.natuurmonumententimelapse.nl/>

Het ontwerpen van faciliteiten – zoals de fotopalen – om de bezoekers te begeleiden in het doen van hun waarnemingen kan ook een (ontwerpende) onderwijsopdracht zijn voor middelbare scholieren (aanbeveling van het Technasium Lelystad). Exploratief inzicht is de belangrijkste meerwaarde van deze activiteit voor zowel bezoeker, scholier of onderzoeker. De methode is niet direct geschikt voor kwantitatief wetenschappelijk onderzoek maar een innovatieve methode kan wel een wetenschappelijke toepassing krijgen.

Vlinderroutes

Er zijn op Marker Wadden twee vlinderroutes uitgezet. Deze worden door vaste vrijwilligers gelopen, maar ook bezoekers kunnen hieraan meedoen. Via de QR-code komen ze bij een online instructie en invoerportal uit, om daar hun waarnemingen door te voeren.

6.2.2 Beleving

Hoe bezoekers hun tocht en verblijf naar Marker Wadden ervaren is gepeild middels een enquête van Natuurmonumenten. Uit deze steekproef ontstaat de indruk dat het landschap en de ervaring van op het eiland zijn enorm gewaardeerd wordt. De enquête laat zien dat 96% van de respondenten zich welkom voelt in het gebied. Het overgrote deel van de respondenten komt om te wandelen, flora en fauna te spotten en te fotograferen. Bezoekers komen met eigen boot (25%), veerdienst (64%) of met een charter. Vrijwel alle respondenten geven aan nog een keer te willen terugkomen (Veraart et al., 2021).

De uitgevoerde participatieve waarnemingsactiviteiten op Marker Wadden hebben bijgedragen aan bewustwording van eilandbezoekers. Het betrekken van bewoners uit nabijgelegen plaatsen

is uiteraard lastiger dan op het vasteland, doordat het Markermeer een natuurlijke barrière is die een snel bezoek belemmert. In georganiseerde vorm is er meer mogelijk, zoals blijkt uit de vrijwilligersavonden van KNNV Lelystad (determinatiecafé avonden). Scholen (middelbaar onderwijs) uit de buurt kunnen zo’n rol in de toekomst misschien ook vervullen.

6.3 Lessen van de aanbestedingsstrategie

De ecologische en morfologische ontwikkeling van Marker Wadden eilanden wordt steeds meer zichtbaar. Wat echter weinig bekend is, is dat de huidige ontwikkelingen voor een groot deel zijn gestuurd door keuzes die al voorafgaand aan de aanleg zijn gemaakt bij het opstellen van het contract en door de gekozen aanbestedingsstrategie. In het contract zijn de projectdoelstellingen vertaald naar functies, objecten en eisen. Deze paragraaf gaat dieper in op de aanbestedingsstrategie die is ingezet om de aanleg van Marker Wadden te bewerkstelligen en op de effecten hiervan op het ontwerp, de aanleg en de ecologische ontwikkeling van Marker Wadden. De informatie hierover is gebaseerd op het onderzoek van Lieke Hüsken over inkoop en financiering van Marker Wadden (Hüsken 2021), aangevuld met resultaten van de workshop op het KIMA-congres 2021, en gesprekken met KIMA-onderzoekers.

6.3.1 De aanbesteding van de Marker Wadden

De aanbesteding⁷ van Marker Wadden bestond uit een marktconsultatie en een concurrentiegericht dialoog. Tijdens de initiatiefase van Marker Wadden bestond het ontwerp slechts uit een schets en een omschrijving van het idee. Er waren nog veel

7 Met aanbesteding wordt zowel het voorbereiden van de opdracht, het doorlopen van de aanbestedingsprocedure en de contractkeuzen bedoeld.

vragen over de precieze vormgeving, de technische mogelijkheden en ook de randvoorwaarden. Er is toen een marktconsultatie opgezet, waarbij aan de markt is gevraagd om een ontwerp te maken en de kostprijs aan te geven voor realisatie van dit idee. De opdrachtgever heeft gekozen voor de contractvorm design-construct-maintain, waarbij de opdrachtnemer de eerste tien jaar na de aanleg verantwoordelijk is voor het onderhoud van de stenen en zandige randen van de compartimenten.

Na de marktconsultatie is met drie partijen een concurrentiegericht dialog⁸ gevoerd. Uiteindelijk is op basis van de vooraf bepaalde selectiecriteria gekozen voor het ontwerp van het Boskalis consortium. Daarbij was de grootte van het eiland een belangrijk criterium, omdat areaal belangrijk is voor natuurontwikkeling. Daarnaast is er ook gekeken naar de draagkracht van partijen om tegenslagen op te kunnen vangen.

De bijdrage van het ontwerp aan het verbeteren van de waterkwaliteit was minder belangrijk voor de selectie, omdat de invloedzone van de eilanden te klein werd geacht. Er zijn ook geen prestatie-eisen opgenomen in het programma voor de gewenste lange termijn waterkwaliteitsverbetering. Wel werd de potentie van de achterliggende technieken en ideeën (zoals de slibgeul) herkend en kon Marker Wadden een mooi platform zijn om deze technieken verder te onderzoeken en ontwikkelen. Er is gekozen voor een vaste prijsafspraken, dat wil zeggen dat als er aanpassingen nodig blijken te zijn die afwijken van het oorspronkelijke plan dit

8 De concurrentiegericht dialog biedt de ruimte voor geschikte partijen om verschillende oplossingen aan te dragen om in de behoefte van de aanbestedende dienst te kunnen voorzien. Vervolgens kan de aanbestedende dienst in de dialog samen met deze deelnemers de voorgestelde oplossingen nader uitwerken en uiteindelijk bepalen welke oplossing(en) het best in zijn behoefte kan voorzien (PIANOO - Expertisecentrum Aanbesteden).

niet mag leiden tot meerkosten. Het komt dan neer op ‘hier iets erbij, daar iets eraf.’

De gekozen contractvorm reflecteert de veel gebruikte, traditionele, opdrachtgever – opdrachtnemer verhouding. De aanleg van Marker Wadden is een type project dat, vanwege het innovatieve karakter en onderzoeksopgaven, geschikt lijkt voor andere vormen, zoals een innovatie partnerschap. Hier is tijdens de aanbestedingsprocedure van Fase 1 bewust niet voor gekozen. De reden hiervoor was dat de samenwerking tussen Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat als gezamenlijk opdrachtgever al zeer vernieuwend en uitdagend zou zijn, zonder extra complexiteit van een innovatiepartnerschap met de opdrachtnemer erbij.

6.3.2 Effecten contracteisen

In het contract zijn de doelen van Marker Wadden uitgewerkt in functies, objecten en eisen. De vier realisatiedoelen van Marker Wadden zijn: 1) creëren van een vogelparadijs, 2) verbetering van het watersysteem Markermeer, 3) leren en kennis genereren voor volgende fasen, en 4) kostenminimalisatie voor onderhoud in de toekomst. Om deze doelen in meer detail uit te werken, zijn functies en objecten geïdentificeerd. De drie hoofdfuncties zijn: het invangen en vastleggen van slib, het bieden van nieuwe habitats en het bieden van mogelijkheden van recreatie. De vier nevenfuncties zijn: het beschermen van Marker Wadden, het vervolg van Marker Wadden mogelijk maken, leren voor het vervolg en de Marker Wadden te beheren maken. Voor elke functie is aangegeven welke objecten daaraan bijdragen (zie Tabel 6 2).

De objecten zijn onderverdeeld in randen en dammen, waterbodemverlaging, habitattypen en inrichtingselementen. In het contract is naast het onderscheid hoofd- en nevenfunctie geen

expliciete hiërarchie van functies vastgesteld. Hierdoor zijn er geen afspraken gemaakt over wat te doen bij eventuele conflicten tussen functies zoals recreatie versus natuurontwikkeling of bouwtempo versus bouwen met natuurlijk geproduceerde grondstoffen.

Om te kunnen sturen op de uitvoering zijn de objecten uitgewerkt in contracteisen voor de aannemer. Hieronder wordt toegelicht op welke manier deze contracteisen sturend zijn geweest voor het ontwerp, de aanleg en de ecologische ontwikkeling van Marker Wadden.

Ontwerp

De eisen die zijn opgesteld door de opdrachtgever (Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat) zijn door Boskalis gebruikt als startpunt voor het ontwerp van Marker Wadden. In de eisen staat specifiek aangegeven wat de hoogteligging moet zijn van de verschillende habitats (plas dras, oeverzone en ondiep water) en het areaal van deze habitats in het ontwerp. Zo is bijvoorbeeld beschreven dat minimaal 2/3 van het oppervlakte moeras plas-dras dient te zijn. Daarvan heeft minimaal 80% een hoogteligging tussen -20 en +20cm ten opzichte van het zomerpeil, en de draagkracht is 0,15 kg/cm². De bovenste 1m moet bestaan uit slib, klei en/of veen.

Boskalis heeft op basis van deze randvoorwaarden een ontwerp gemaakt met hoogtegradiënten binnen de compartimenten en stuurt op de hoogteligging en draagkracht met (extra) vulslagen. In de praktijk is het waterpeil van het Markermeer hoger dan waar rekening mee is gehouden in het ontwerp. In het ontwerp is rekening gehouden met een zomerpeil van -20 cm, terwijl dat in de praktijk varieert tussen -12 cm en -15 cm.

Tabel 6 2 De kruistabel van functie, objecten en eisen (Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat, 2015)

	objecten	RA Randen/dammen			WV Waterbodemverlaging			HT Habitatype			IE Inrichtingselementen					
		RA1 Harde rand	RA2 Zachte rand	RA3 Eventuele vooroeverdam	WV1 Zand winput	WV2 Slibgeul	WV3 Oppervlakkige deklaag ontgraving	HT1.1 Beschut plas dras	HT1.2 Beschut ondiep water	HT2 Beschutte oeverzone	IE1 Zand plateau	IE2 Buiten haven	IE3 Recreatie-strand	IE4 Tijdelijke ontvangsvoorziening	IE 5 Compartiment voor dun slib	IE 6 loswal
functies																
Invangen en verzamelen van slib					X	X		X							X	
Bieden nieuwe habitats	Beschut plas dras							X							X	
	Oeverzones		X	X				X	X	X					X	
	Diep refugium				X	X										
	Beschut ondiep water								X							
	Slibarme waterbodem						X									
Bieden mogelijkheden recreëren	Invalen en afmeren, verpozen											X	X			
	Dragen bezoekers-centrum										X					
	Bieden dagrecreatie										X	X	X			
Beschermen	Reduceren golfslag	X	X	X												
	Beschermen ophoog-materiaal	X	X													
Vervolg MW mogelijk maken	Beschikbaar hebben zand				X											
	Ontvangst- ruimte grond- stromen derden													X		
Leren voor het vervolg	Genereren uitvoerings en beheers- kennis		X			X										
Beheerbaar											X					X

Aanleg

De eisen in het contract zijn ook sturend geweest voor de methode die is gekozen voor de aanleg van de eilanden. Denk daarbij aan de eis die stelt dat 80% van het opvulmateriaal afkomstig dient te zijn van binnen de systeemgrens. Door deze grootschalige winning zijn er omvangrijke waterbodemverlagingen ontstaan in het Markermeer rondom Marker Wadden, hetgeen ecologisch gezien gunstig is voor onder andere natuurlijke slibvang en als leefomgeving voor vis (paragraaf 4.3.5). Bij de

oplevering wordt getoetst of het werk van de aannemer voldoet aan de eisen, waaronder de hoogteligging van de eilanden. Dit is echter een momentopname, en ook na de oplevering kunnen er veranderingen optreden in de hoogteligging door zetting en inklinking. Het voldoen aan de eisen bij oplevering geeft daardoor geen garantie over de langetermijnontwikkeling van de eilanden en de beheerbaarheid.

Ecologische ontwikkeling

De ecologische ontwikkeling wordt ook deels gestuurd door eisen die zijn gesteld in het contract. Als voorbeeld noemen we hier de eis om grootschalige bosvorming te voorkomen. Het oppervlaktepercentage bos mag maximaal 5% zijn. Het maaiveld van plasdras dient daarom tussen +20 cm en -20 cm t.o.v. het zomerpeil te liggen, omdat anders het risico op ongewenste bosvorming te groot wordt. Maximaal 20% van het oppervlak plasdras mag hiervan afwijken. De reden om bosvorming te voorkomen is voornamelijk de wens om een open landschap te creëren. Het open landschap zou moeten bijdragen aan een weidse natuurbeleving voor bezoekers en moet een geschikt habitat bieden voor broedvogels. Als gevolg van deze eis is bij de aanleg ingezet op vestiging en de ontwikkeling van riet. Ook is gestuurd op het waterpeil in de compartimenten om rietontwikkeling te stimuleren en om wilgenopslag tegen te gaan, voordat de compartimenten in 2020 in verbinding zijn gesteld met het Markermeer.

6.4 Financiering

De geschatte kosten waren 75 miljoen euro voor een gebied van 1000 hectare (Grotenberg en Altamirano, 2017). Voor de aanleg van Marker Wadden is ruim 75 miljoen euro geïnvesteerd door publieke en private partijen (IJff, et al., 2020). Hiervan kwam 30,5 miljoen euro van private partijen (Natuurmonumenten en het Droomfonds van de postcodeloterij) en ruim 45 miljoen van publieke partijen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Provincie Flevoland, Provincie Noord Holland, en de gemeente Lelystad). Bij aanvang, en zo ook vastgelegd in de samenwerkingsovereenkomst, moesten er gedurende het project nog additionele geldmiddelen worden geworven. De verwachting was dat dit



aanvullende deel van de investering door het bedrijfsleven en EU-fondsen gedekt zou worden. Dit is niet gelukt, waardoor de situatie ontstond dat er aanvullende investering bij de reeds betalende partijen vandaan moest komen (IJff, et al., 2020). Het benoemen van kansen die Marker Wadden biedt voor recreatie en natuurontwikkeling bood financieringskansen vanuit regionale en lokale overheden. De betrokkenheid van de provincies Flevoland en Noord-Holland en de gemeente Lelystad bij project Marker Wadden laat zien dat dit een belangrijke drijfveer kan zijn voor deze partijen om financieel bij te dragen. In deze paragraaf wordt besproken welke kansen er liggen voor de financiering van de aanleg van toekomstige eilanden en voor het beheer en onderhoud van de huidige eilanden. Het onderzoek en de daaruit voortkomende inzichten zijn geen rechtvaardiging voor de uitgave van publieke middelen (zoals een MKBA dat zou kunnen doen) maar kan wel gebruikt worden ter ondersteuning van de besluitvormingsprocessen rondom de aanleg van meerdere eilanden in het Markermeer.

6.4.1 Ecosysteemdiensten centraal

Ecosysteemdiensten zijn de goederen en diensten die worden geleverd door een ecosysteem en die voordelen (baten) bieden voor de mens (Liekens et al. 2013). Deze diensten zijn onder te verdelen in 1) producerende diensten, zoals voedsel, 2) regulerende diensten, zoals natuurlijke waterzuivering, 3) culturele diensten, zoals recreatie en 4) ondersteunende diensten. Deze laatste diensten vormen een voorwaarde voor het in standhouden van het ecosysteem en voor de levering van de diensten die vallen onder 1, 2 en 3 (bijvoorbeeld nutriëntenkringloop).

In Hüsken (2021) is onderzocht welke ecosysteemdiensten geleverd kunnen⁹ worden door Marker Wadden en welke daarvan

rendabel zijn voor partijen, publiek en/of privaat, om in te investeren. Daarbij is ook gekeken naar mogelijke exploitatievormen en naar de mate van onzekerheid die gepaard gaat met een bepaalde dienst; veel onzekerheid is immers risicovoller en daarmee minder aantrekkelijk om in te investeren. Het scala aan potentiële ecosysteemdiensten van Marker Wadden is uitgebreid en divers (longlist hiervan in Hüsken 2021). Van sommige diensten – zoals recreatie – is het vrij zeker dat ze geleverd worden door de huidige eilanden en ook dat dit het geval zal zijn wanneer er uitbreiding van de eilanden plaatsvindt. Bij andere diensten – zoals het vastleggen van CO₂ – is er nog veel onzekerheid over de potentie en omvang van deze dienst. Wanneer er bereidheid is om te betalen voor de dienst levert dat een financiële stroom op, die mogelijk kan zorgen voor een deel van de nodige investering voor uitbreiding van de eilanden of voor het onderhoud van de eilanden. Op basis van de tot nu toe beschikbare kennis lijken de volgende ecosysteemdiensten kansrijk om verder te verkennen voor toekomstige financiering:

- *Recreatie*

In 2019 zijn er 20.000 bezoekers geweest op Marker Wadden (Kolb, 2020). Deelname aan een vogelexcursie kost rond de 50 euro, ‘gewone’ toegangsprijzen liggen rond de 6 euro (=gebiedsbijdrage voor Natuurmonumenten). Aanmeren voor watersporters is mogelijk (er wordt liggeld gevraagd om met de boot te verblijven op het eiland) en er is overnachting op de eilanden mogelijk (er wordt een bedrag gevraagd van rond de 500 euro per nacht voor een 4 persoons verblijf). Charterbedrijven hebben de mogelijkheid om diensten naar het eiland te organiseren vanuit verschillende havens. Door de verschillende excursies wordt er een toename verwacht aan uitgaven in de vertrek en aankomst havens/gemeenten. Met

name de gemeente Lelystad, de thuisbasis van de veerdienst, kan hier voordeel van ondervinden. Recreatie en toerisme leiden tot financiële transacties waarmee het beheer van de eilanden bekostigd worden volgens het ‘cost-recovery’ principe. Er kan gezocht worden naar een optimum, waarbij de omvang van de toegestane recreatie wordt afgestemd op de benodigde financiering voor beheer en de aanleg van nieuwe eilanden, maar belemmering op natuurontwikkeling wordt voorkomen.

- *Koolstofvastlegging*

In de afgelopen jaren, onder andere als gevolg van het Klimaatakkoord, wordt de uitstoot van broeikasgassen meer gereguleerd en er een handelssysteem opgezet van CO₂-emissierechten. Wanneer er netto koolstofvastlegging gerealiseerd kan worden door het creëren van meer oppervlak aan natuurgebied kan dit van waarde zijn omdat er ‘uitstootruimte’ bij andere sectoren ontstaat (zoals de bouw- en infrasector) en/of een handel ontstaan in emissierechten¹⁰). Voor de potentie voor CO₂-handel is het belangrijk om de netto-opslag tijdens de levensduur van de eilanden (inclusief de exploitatie-activiteiten) in beeld te brengen.

- *Natuurcompensatie*

Natuurcompensatie gaat over het compenseren van natuur die door een project of maatregel elders zal verdwijnen. De Marker Wadden eilanden bieden mogelijkheden om te dienen als

⁹ ‘Kunnen’ omdat er in de huidige aanpak een zwaartepunt is gelegd bij het creëren van habitat oppervlak. Hierdoor staan andere diensten minder centraal staan of worden niet geleverd. Om andere financieringsbronnen te kunnen aanspreken is mogelijk een aanpassing nodig van de huidige implementatie strategie of het ontwerp van de eilanden.

¹⁰ Bedrijven die teveel uitstoten kunnen emissierechten kopen.

transparante natuurcompensatie. De eilanden zijn: a) zichtbaar, b) in Nederland en c) kunnen gebruikt/ bezocht worden. Wel moet dan de natuurwaarde aangetoond worden volgens de daarvoor geldende kaders.

- *Verbetering kwaliteit van grote zoetwatervoorraad*

Een kwalitatief goede zoetwatervoorraad is en blijft van groot belang. Ook de stakeholders die verantwoordelijk zijn voor het behalen van de Kader Richtlijn Water doelen en de zwemrecreatie voorzieningen hebben er belang bij wanneer deze ecosysteemdienst gerealiseerd wordt, mede met oog op hun middelen.

- *(Dun)slib als bouw materiaal*

Grondstoffen zijn waardevol. De marktprijs van klei werd in 2006 geschat op €11.13 per m³ (Ruijgrok en de Groot, 2006). De rijpheid en oorsprong van de klei kan veel invloed hebben op de prijs. Voor de aanleg van Marker Wadden is er in totaal 13 miljoen m³ zand gebruikt en 75.000 ton stenen voor de harde randen en havendammen. Daarnaast is er 14 miljoen m³ holocene klei gebruikt voor de aanleg van het moerasgebied. Er mocht geen gebruik worden gemaakt van materialen uit de projectgebieden Houtribdijk en Flevokust (VSE, 2015). Dit toont aan dat er sprake is van opportuniteitskosten¹¹ van het gebruik van deze grondstoffen.

In dit kader wordt het belang duidelijk van het invangen van dunslib rondom Marker Wadden. Het onttrekken van het dunslib gebeurt door gebruik te maken van de ontworpen slibgeul(en) en luwteplekken. Het ingevangen slib kan gebruikt worden voor het ophogen van de eilanden, maar de hoeveelheid dunslib lijkt onvoldoende om te worden gebruikt als

bouw materiaal voor de bouw van nieuwe eilanden (zie paragraaf 5.1.2). Deze ecosysteemdienst hangt nauw samen met de vorige dienst, namelijk de verbetering van de kwaliteit van de grote zoetwatervoorraad.

- *Golfreductie*

Marker Wadden kan een natuurlijke barrière zijn voor golven waardoor de omliggende dijken zoals de Houtribdijk beter beschermd zijn (Beumer, et al., 2017). De versterking van de Houtribdijk is in 2020 officieel afgerond, waardoor deze de komende vijftig jaar weer zonder problemen mee kan. Er is bij die versterking gekozen voor een zandige oplossing die minimaal 10 jaar zou moeten kunnen blijven liggen, zonder dat er onderhoud gepleegd hoeft te worden (EcoShape, 2018). De zandige oplossing heeft als doel om de golven te breken en biedt tegelijkertijd mogelijkheden voor natuurontwikkeling plaats vinden (HWBP, 2019). De versterking van de Houtribdijk is gegund aan Boskalis en van Oord voor een bedrag van 88,8 miljoen. Indien de aanleg van meerdere eilanden leidt tot significante golfreductie zou dat een positief effect kunnen hebben op 1) de levensduur, 2) de kosten voor beheer en onderhoud van deze zandige kering en 3) de toekomstige versterkingsopgave van de Houtribdijk. Gegeven de financiële omvang van deze versterkingsopgave kan de dienst ‘golfreductie’ leiden tot een waardevolle kostenreductie. Er is nog niet berekend hoeveel golfreductie kan worden verwacht bij opschaling van de eilanden.

- *Biodiversiteit*

Verwacht wordt dat het verlies van biodiversiteit uiteindelijk de productiviteit van onze (totale) economie zal ondermijnen. Daarom zullen financiële partijen – zoals de ASN-bank – steeds

meer toewerken naar een biodiversiteit neutrale of positieve portefeuille. Biodiversiteit moet dan wel meetbaar gemaakt worden. In dit kader kan er samenwerking worden gezocht met de financiële sector om met de casus Marker Wadden handen en voeten te geven aan dit vraagstuk. Deze strategie lijkt in deze fase nog niet zo haalbaar als andere strategieën, maar kan wel een belangrijk kennisontwikkelingsdoel zijn voor het in de toekomst mogelijk maken van het concept biodiversiteit-voetafdruk.

De Nederlandse Bank en Plan Bureau voor de Leefomgeving onderzoeken de systeem risico's van biodiversiteitsverlies. Deze partijen zijn een goed startpunt om deze ecosysteemdienst te onderzoeken en te verkennen wat er nodig is om de financiële sector in Marker Wadden of soortgelijke projecten geïnteresseerd te krijgen.



¹¹ Alternatieve kosten of opportuniteitskosten zijn de kosten van een keuze uitgedrukt in termen van de beste gemist kans.



6.5 Lessen van KIMA

Van KIMA kan veel worden geleerd over het parallel uitvoeren van een kennis- en innovatieprogramma en een innovatief aanlegproject. Die lessen zijn meteen toepasbaar voor andere kennis- en innovatieprogramma's en voor grootschalige aanlegprojecten. Om hierin meer inzicht te krijgen zijn 11 diepte-interviews gehouden met betrokkenen bij KIMA, voortbordurend op de lessen uit het onderzoek naar het aanlegproject Marker Wadden. De respondenten waren in verschillende fasen bij het project betrokken en hebben de koppeling gelegd tussen het fysieke aanlegproject en de kennisontwikkeling rondom Marker Wadden. Daarnaast hebben er gesprekken plaatsgevonden met personen die betrokken zijn bij de kennisontwikkeling in het Hoogwaterbeschermingsprogramma en bij drie projecten uit de Programmatische Aanpak Grote Wateren. Voor meer context willen wij verwijzen naar het volledige onderzoeksrapport 'Terugblikken op het Kennis- en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA)' (Duijn en Stouten 2022).

6.5.1 Het kennis- en innovatielandschap van Nederland

Verschillende respondenten hebben observaties gedeeld over het Nederlandse kennis- en innovatielandschap (Duijn en Stouten 2022). Deze observaties beschrijven de omstandigheden waarmee Nederlandse kennis- en innovatieprogramma's te maken hebben. Dat kan in meerdere of mindere mate invloed hebben op een programma, zonder dat het programma hier zelf iets aan kan veranderen. De observaties in deze paragraaf zijn naar voren gebracht door respondent betrokken bij KIMA, het Hoogwaterbeschermingsprogramma en de Programmatische Aanpak Grote Wateren (Wieringerhoek, Oostvaardersoever en Roggeplaat). Door de respondenten zijn de volgende observaties over het Nederlandse kennis- en innovatielandschap meegegeven:

- Het bundelen, opnieuw gebruiken en uitwisselen van opgedane kennis komt in Nederland moeizaam tot stand. Daarnaast is het kennis- en innovatielandschap versplinterd waardoor bredere, strategische kennisprogrammering op een laag niveau blijft staan.
- De politieke aandacht voor kennis- en innovatieprogramma's is vrij laag. Dat uit zich bijvoorbeeld in het feit dat de financiële middelen voor kennis en innovatie maar een fractie zijn van de middelen die in het aanleggen van infrastructurele projecten worden gestoken.
- Er blijft veel nadruk liggen op het terugverdienen van investeringen in kennisontwikkeling en innovaties. Bij het opzetten van het kennis- en innovatieprogramma is er behoefte aan duidelijkheid over het te verwachten rendement. De kennis die kan worden opgedaan en de waarde van deze kennis zijn vooraf echter moeilijk in te schatten, omdat bij een innovatief project veel onzekerheid komt kijken en het verloop van de kennisontwikkeling vooraf onduidelijk is.
- Vaak zijn er de juiste intenties om private partijen en kennisinstellingen samen aan opgaven te laten werken, en het liefst daarbij ook de overheid te betrekken. Hierachter schuilt het idee dat de integrale aanpak een efficiëntere kennisketen en kennisoverdracht kan realiseren. De ontwikkelde kennis zou daarmee direct bij de gebruikers terecht moeten komen zodat zij het weer kunnen toepassen in andere relevante projecten. In de praktijk vallen de partijen echter snel terug in de oude rolverdelingen van opdrachtgever en opdrachtnemer, bijvoorbeeld bij het verdelen van de financiële middelen.

6.5.2 Analyse van doelen KIMA

In de KIMA intentieverklaring (KIMA, 2018) zijn in artikel 3 een aantal doelen opgenomen voor het programma. In deze paragraaf evalueren we in hoeverre KIMA de zes doelen heeft waargemaakt.

We doen dit door eerst de informatie te geven wat er binnen KIMA is gedaan om te werken aan dit doel. Daarna geven we een samenvatting van de resultaten van de studie van de EUR (van Duijn en Stouten, 2022). Op basis van deze beide bronnen formuleren we dan een aantal geleerde lessen.

De doelen uit de Intentieverklaring zijn: 1) het faciliteren en coördineren van het onderzoeksprogramma; 2) bijdragen aan het kennisplatform Markermeer/IJmeer; 3) coördinatie en uitvoering van monitoring en evaluatie; 4) gebruik van Marker Wadden als living lab; 5) ontwikkelen van een veldstation; en 6) data- en kennismanagement.

1) Het faciliteren en coördineren van het onderzoeksprogramma

Uit de intentieverklaring: "KIMA verbindt toegepast en fundamenteel onderzoek. KIMA faciliteert en coördineert het onderzoeksprogramma. Uitbreiding van het programma is gewenst en hier staat KIMA voor open. Nieuw onderzoek dient in brede zin aan te sluiten bij de drie KIMA thema's, een aanvulling te zijn op bestaande programma, eigen financiering met zich mee te brengen en geen conflicterende belangen met het lopende onderzoek te creëren. Deelnemers die mee willen doen in KIMA krijgen de beschikking over fysieke faciliteiten en maken deel uit van de data uitwisseling community. De beheerders Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat stellen Marker Wadden e.o. beschikbaar als een zowel fysieke- als data-infrastructuur voor zover mogelijk en niet strijdig met gemaakte afspraken over beheer"

Acties KIMA:

- Als start heeft KIMA een Monitorings- en Evaluatieplan (MEP) opgeleverd voor de gehele looptijd (De Rijk et al., 2018). Uitgangspunt voor het MEP waren de onderzoeks- en evaluatievragen (zie paragraaf 2.1 en 2.2). Het MEP is afgestemd met de

- lopende monitoring van de overheden en projecten in het Markermeer. Prioritering heeft plaatsgevonden in verschillende workshops met de belangrijkste stakeholders (Natuurmonumenten, RWS, Min I&W, Min LNV en provincie Flevoland)
- KIMA heeft een jaarlijks onderzoeksplan en veldwerkplan gemaakt. Dit zorgde voor afstemming tussen de monitorings- en onderzoeksinspanningen.
 - Getracht is aanvullende budget via het programma 'Living Labs in de Dutch Delta' (NWO) te verkrijgen om het fundamentele onderzoek uit te breiden. Dit is niet gelukt.
 - Aanvullende financiering voor de periode tot en met 2022 met Europese financiering is niet gelukt.
 - Marker Wadden is wel als casus opgenomen in een Europees H2020 project (MERLIN¹²) en een ESA project naar biodiversiteit (BIOMONDO¹³).
 - Natuurmonumenten heeft de onderzoekers gefaciliteerd door het vervoer te regelen naar Marker Wadden en het mogelijk maken van het veldwerk ter plekke.
 - Er zijn 10 wetenschappelijke papers, drie proefschriften en 46 KIMA rapporten verschenen (zie referentie lijst in Bijlage II)
 - Vanaf 2018 is er jaarlijks een KIMA congres gehouden om de community rond het onderzoek vorm te geven en informatie uit te wisselen
 - Per thema zijn specialistische bijeenkomst geregeld om onderling onderzoeksresultaten te delen en af te stemmen.
 - Met name het thema Bouwen met slib heeft presentaties gegeven bij het Bouwteam over de onderzoeksresultaten
 - KIMA heeft onderzoekers uitgenodigd om aanvullend onderzoek te komen doen op Marker wadden (zie doel 4)
 - Het wetenschappelijke programma Natuur in Productie is ook in de KIMA Stuurgroep aangesloten

¹² <https://project-merlin.eu/>

¹³ <http://www.biomondo.info/>



Interviews:

KIMA heeft de samenwerking tussen overheid, private sector, kennisinstellingen en NGO's (gouden vierhoek) gestimuleerd om in gezamenlijkheid fundamenteel onderzoek, toegepast onderzoek, kennistoepassing en innovatieprojecten van de grond te krijgen. Daarnaast zorgde de openheid van het programma door het toepassen van de NKWK-governance ervoor dat andere partijen konden aansluiten met eigen financiële of personele middelen bij de thema's. Hierdoor werd het free-rider probleem ondervangen. Deze financieringsconstructie heeft ook een nadeel, namelijk dat het de mogelijkheden voor centrale sturing op het kennisprogramma beperkt. Er moet immers naar verschillende financiers verantwoording worden afgelegd en niet alleen naar de KIMA stuurgroep. Volgens de respondenten is KIMA erin geslaagd om integrale lessen te verzamelen en toe te passen over de aanleg van Marker

Wadden, het bouwen met slib en de ontwikkeling van de ecologie en governance.

In de praktijk blijkt wel dat de toepassing van kennis uit het KIMA in het aanlegproject Marker Wadden en in andere projecten nog niet volop wordt benut. Een mogelijkheid om de toepasbaarheid van kennis te vergroten is door vooraf de doelstelling te formuleren om naast kennis op te doen, ook met de toepassing ervan verandering/verbetering te realiseren. Dat zijn toepassingen binnen het eigen project maar ook bij andere projecten in Nederland, of zelfs daarbuiten op het internationale toneel. Een gestructureerde en gedeelde kennisbasis kan een stimulans zijn voor innovatie in de gehele waterbouwsector, van visievorming en ontwerp, tot beheer en onderhoud.



Een innovatief aanlegproject als de Marker Wadden vraagt van alle partijen – aanlegteam, beheerders en onderzoekers – een meewerkende en flexibele houding om de aanleg- en onderzoek-sactiviteiten in balans te houden en op beide thema's vooruitgang te boeken. Niet alleen het aanlegteam zou bereid moeten zijn om tussentijds gegevens en ervaringen te delen, ook onderzoekers moeten in staat en bereid zijn om tussentijdse resultaten te verspreiden ten behoeve van de uitvoering. Van een hechte vervlechting van het aanlegproject Marker Wadden en KIMA is echter niet echt sprake geweest.

Ook een directe terugkoppeling vanuit het aanlegproject Marker Wadden naar KIMA, als het gaat om de monitoring van de aanlegactiviteiten, bleef achterwege. Vanuit het aanlegproject is sprake geweest van beperkte openheid naar het KIMA, en dat past niet goed bij het innovatieve karakter van de Marker Wadden waar een van de doelstellingen draaide om het gezamenlijk leren. Het meebewegen met het aanlegproject is voor de betrokken KIMA onderzoekers niet altijd makkelijk geweest omdat er volgens hen in de aanleg weinig ruimte en waardering was voor hun activiteiten. Omgekeerd is er bij de onderzoekers te weinig notie geweest van de druk op de voortgang van de aanlegactiviteiten. Beter onderling begrip lijkt volgens de respondenten niet gestructureerd gestimuleerd te zijn geweest. Er is volgens de respondenten bovendien te weinig sprake geweest van geïntegreerde teams die gezamenlijk aan meer integratieve kennisontwikkeling en -toepassing hebben gewerkt. Uiteindelijk is er wel een vorm gevonden waarin er meer uitwisseling plaats vond tussen het aanlegteam en de onderzoekers en is KIMA er volgens de respondenten in geslaagd om kennis voor een deel terug te laten vloeien naar de doorlopende aanleg.

Lessen: Vanuit het de synergie tussen onderzoek en aanleg was het wenselijk geweest dat de aannemer onderdeel had uitgemaakt van KIMA. Positief is dat het onderzoek ondersteund is door monitoring op basis van kennisvragen. Het heeft meerwaarde om op de drie niveaus kennis te ontwikkelen (wetenschappelijk, toegepast en monitoring) waarbij resultaten van elk niveau de andere versterken.

2) Bijdragen aan het kennisplatform Markermeer/IJmeer

Uit de intentieverklaring: “KIMA draagt bij aan het voorgenomen Kennisplatform Markermeer/IJmeer door het verbinden van KIMA-onderzoek met de resultaten van eerdere onderzoeks-programma's, zoals de Autonome Neergaande Trendstudie in het IJsselmeergebied en naar de ontwikkeling van een Toekomst-bestendig Ecologisch Systeem (TBES)”.

Acties KIMA

- KIMA partners waren in verschillende projecten actief rond het Marker- en IJsselmeer. Hier is binnen KIMA ook actief op gestuurd. Omdat KIMA partners uit verschillende organisaties komen, was dit goed verspreid over beleidstrajecten, fundamenteel (universiteiten) en toegepast onderzoek (Deltares, WUR instituten en adviesbureaus) en MER studies (adviesbureaus). Doordat vaak dezelfde personen betrokken zijn, leidt dit tot een organische uitwisseling van kennis. Voorbeelden: de RWS programmaleider is actief binnen PAGW, de thematrekkers Ecosysteem van Waarde binnen Levend Markermeer en Park Nieuwland en de expert op zandige randen is ook betrokken bij de versterking Houtribdijk.
- Data en informatie werd actief gedeeld middels het jaarlijkse KIMA congres maar ook via de KIMA nieuwsbrief, publicaties,

rapporten en tijdens andere congressen. Een KIMA communicatieplan was daar de basis voor.

- Het laatste KIMA jaar (2022) stond in het teken van disseminatie, acties zijn vastgelegd in het disseminatieplan.

Interviews:

De doelstelling van KIMA is, volgens respondenten die direct betrokken waren bij het opzetten en aansturen van KIMA, niet alleen het genereren van wetenschappelijke resultaten maar ook maatschappelijke output en outcome. KIMA speelt een rol om de lessen van de ontwikkeling van Marker Wadden inzichtelijk te maken. Dat is een wezenlijk verschil met meer traditionele kennisprogramma's waarin vaak eerst fundamentele kennis wordt ontwikkeld die vertaald wordt in toegepaste kennis (instrumenten, concepten, etc.) die vervolgens in de praktijk worden geïmplementeerd.

In het IJsselmeer en Markermeer lopen verschillende projecten die worden getrokken door diverse partijen. Marker Wadden, Trintelzand, Oostvaardersoever en Lepelaarplassen zijn projecten die allemaal werken aan verbetering van de ecologie in en rond het IJsselmeer en Markermeer. Volgens de respondenten blijft de vraag in hoeverre kennis en ervaringen tussen deze projecten wordt uitgewisseld. Dit lijkt meer pragmatisch dan gestructureerd tot stand te komen. Dit komt mogelijk door de vele partijen die betrokken zijn bij onderzoek in en rond Marker Wadden, het IJsselmeer en bijvoorbeeld bij Nationaal Park Nieuw Land, wat leidt tot veel overhead voor de betrokken partijen (afstemming, overleg, overlappend onderzoek). De concurrentie tussen verschillende partijen in de aanbestedingsprocessen voor deelonderzoeken, is volgens de respondenten bovendien geen efficiënte manier van kennisontwikkeling voor een complex systeem zoals Markermeer-IJsselmeer.



Een kennis- en innovatieprogramma zoals KIMA maakt het mogelijk om de kennis die je opdoet breed te verspreiden en daarmee positieve aandacht voor je project te genereren. De KIMA kennis is ook geland in o.a. het tv-programma Vroege Vogels en de documentaire 'Marker Wadden' door natuurfilm-maker Cees van Kempen. De lessen uit KIMA kunnen volgens respondenten die direct betrokken waren bij het opzetten en aansturen van KIMA, bovendien met veel meerwaarde worden toegepast in de thuismarkt bij de uitvoering van nieuwe projecten.

Lessen: Er ontbreekt een duidelijke structuur voor kennis-ontwikkeling binnen het Markermeer- IJsselmeergebied. De vraag die nog niet beantwoord is, is of het ontbreken van deze structuur kennis overdracht belemmert. We zien dat er een hechte community van onderzoekers is die elkaar weten te vinden en ervaringen delen. Voor nieuwe programma's is het daarom belangrijk om juist bij die community aan te haken.

3) Coördinatie en uitvoering van monitoring en evaluatie

Uit de intentieverklaring: "KIMA neemt de coördinatie en uitvoering van monitoring en de evaluatie op zich. Dit heeft grote voordelen omdat dan een goede afstemming tussen monitoring en onderzoek geborgd wordt, evenals een geïntegreerd beheer van onderzoeks- en monitoringdata. KIMA zal zich inspannen om de financiële middelen hiervoor te genereren. De intentie is om bij ondertekening van deze verklaring een integraal monitorings- en evaluatieplan Marker Wadden vast te stellen op basis waarvan de monitoring gestart kan worden"

Acties KIMA

- Als start heeft KIMA een Monitorings- en Evaluatieplan (MEP) opgeleverd voor de gehele looptijd (De Rijk et al., 2018). Uitgangspunt voor het MEP waren de onderzoeks- en evaluatie vragen (zie paragraaf 2.1 en 2.2). Het MEP is afgestemd met de lopende monitoring van RWS (MWTL) en projectmonitoring in het Markermeer. Prioritering heeft plaatsgevonden in verschillende workshops met de belangrijkste stakeholders (Natuurmonumenten, RWS, Min I&W, Min LNV)
- KIMA heeft een jaarlijks onderzoeksplan en veldwerkplan gemaakt. Dit zorgde voor afstemming tussen de monitorings- en onderzoeksinspanningen.
- In 2019 is een Mid-Term review uitgevoerd (de Rijk en Dulfer, 2020). Alle evaluatie- en onderzoeksvragen zijn nagelopen en er is gekeken of er voldoende data is verzameld om aan het eind van KIMA een antwoord op de gestelde beleids- en onderzoeksvragen te kunnen geven. Naar aanleiding van deze review zijn er een aantal acties aan het onderzoeksprogramma toegevoegd. Zo is er bijvoorbeeld een analyse gedaan van de natuurontwikkelingsprojecten die al eerder gestart zijn en is er een DNA onderzoek gestart van de (onverwacht) aangetroffen zwavelbacteriën.

Interviews:

Het opzetten van een langjarig kennis- en innovatieprogramma is geholpen bij het goed in beeld brengen van de startsituatie in het aanlegproject Marker Wadden. Dit houdt in: een nauwkeurige nulmeting, goede tussentijdse metingen over het gedrag van het systeem en een zinvolle eindmeting over de resultaten op de lange termijn.

Meerdere respondenten geven aan dat de lange termijnmonitoring – dus langer dan de vijf jaar van KIMA - niet goed ingeregeld is.



Sommige ingrepen en activiteiten in het ecologische systeem die in het aanlegproject Marker Wadden zijn uitgevoerd, zullen pas op de lange termijn (zichtbare) effecten hebben. Om die in beeld te krijgen en te houden, zijn nog geen middelen beschikbaar. Volgens verschillende respondenten kan het ontbreken van financiële middelen voor de lange termijn ertoe leiden dat kennis en innovatie een speelbal wordt van ambtelijke en politieke afwegingen. Discontinuïteit in kennisontwikkeling en -toepassing ligt dan op de loer. Dit speelt ook wanneer er ‘zakelijke afwegingen’ (lees: zuiver financieel-economische) gemaakt gaan worden over de meerwaarde van kennisontwikkeling voor toekomstige aanlegprojecten. Dit lijkt te maken te hebben met het ontbreken van een lange termijnvisie op kennisontwikkeling, met name bij de partij met het grootste belang op dat vlak, Rijkswaterstaat¹⁴.

Lessen: Er is een duidelijk onderscheid tussen lange termijn oftewel reguliere monitoring zoals MWTL en project monitoring. Project monitoring zoals bij Marker Wadden heeft meestal een tijdhorizon van maximaal vijf jaar. Wil je de effecten van maatregelen langer volgen dan de lengte van een project, dan dient een lange termijn visie ontwikkeld te worden op de monitoringsactiviteiten.

¹⁴ Ter illustratie; op het Markermeer staat één meetpaal. Er is tijdens het KIMA-programma een tweede bijgekomen. Er is sprake van dat deze na twee jaar in gebruik te zijn geweest, weer weggehaald zal worden. Alle betrokken partijen weten dat de lange termijneffecten van de aanleg van Marker Wadden zijn op het Markermeer onduidelijk zijn en toch wordt het niet nodig geacht om financiering te regelen om dit te monitoren.

4) Gebruik van Marker Wadden als living lab

Uit de intentieverklaring: “Het gehele gebied Marker Wadden is een Living Lab, waar onderzoek en experimenten kunnen worden uitgevoerd door overheid, maatschappelijke organisaties, kennisinstituten en bedrijfsleven (Gouden Vierhoek) om onderzoek te doen, innovaties te ontwikkelen en kennis ten toon te spreiden voor belangstellenden uit binnen- en buitenland. Veldonderzoek en experimenten ter plekke kunnen alleen worden uitgevoerd na toestemming van de beheerder”.

Acties KIMA

- Naast het bestaande onderzoek biedt KIMA onderzoekers de ruimte om praktijkproeven uit te voeren in het zogenaamde Living Lab.
- Tijdens congressen, KIMA excursie en via bestaande netwerken hebben alle KIMA partners partijen opgeroepen om aanvullende onderzoek te komen doen op Marker Wadden.
- Uiteindelijk hebben er zes aanvullende onderzoeken plaatsgevonden: zandtransport (TUD), eolische processen van de duinen (Deltares), verdampingsonderzoek (WUR en RWS), broeikasgas emissie (Deltares, Witteveen+Bos) en een praktijktest met een drone die water monsters neemt (TUD).
- Van elk onderzoek is een factsheet gepubliceerd op de KIMA website. Het onderzoek naar zandtransport en verdamping is onderdeel van een promotietraject.
- Ook de resultaten van deze onderzoeken worden actief via de KIMA nieuwsbrief verspreid.

Interviews

Het concept living lab is door de respondenten niet als zodanig letterlijk genoemd. Wel wijzen zij op het living lab-achtige karakter van KIMA, in combinatie met het aanlegproject Marker Wadden. Door koppeling van wetenschappelijk en praktisch onderzoek

ontstaan er andere vraagarticulaties die meer verbonden zijn met vraagstukken uit de praktijk. Het werkt bijvoorbeeld goed om wetenschappers een dag te laten doorbrengen in de fysieke projectomgeving.

Respondenten waarderen het feit dat door het KIMA, promovendi onderzoek hebben kunnen doen op Marker Wadden. Zij hebben metingen en experimenten in het veld kunnen uitvoeren. Daarmee wordt fundamentele kennis opgedaan in een kennis- en innovatieprogramma dat, zoals eerder vermeld, een praktische insteek heeft.

Lessen: De open invitatie om onderzoek te komen doen op Marker Wadden is ons inziens niet goed van de grond gekomen. De verwachting was dat er meer gebruik gemaakt van zou worden. Er is echter geen analyse van de oorzaak gemaakt waardoor we niet kunnen aangeven waarom de drempel hoog was om te participeren.

5) Ontwikkelen van een veldstation

Uit de intentieverklaring: “Als onderdeel van het living lab overweegt Natuurmonumenten een veldstation te ontwikkelen op het eerste eiland, dat kan dienen als basisfaciliteit voor de aan KIMA deelnemende organisaties. Partijen ontwikkelen een regeling waarop het exploitatietekort kan worden gedekt middels een gebruiksovereenkomst tussen Natuurmonumenten en de overige aan KIMA deelnemende partijen. In een afzonderlijke overeenkomst worden afspraken over gebruik van deze faciliteit vastgelegd”

Acties KIMA

- Natuurmonumenten heeft daadwerkelijk een professioneel onderzoekstation laten bouwen. RWS en Deltares hebben hier een financiële bijdrage voor geleverd.
- Door de coronapandemie was het gebruik van het onderzoekstation in 2020 en 2021 minimaal. De KIMA onderzoekers hebben hier pas na een paar jaar echt gebruik van kunnen maken.

In de interviews is hier geen vraag over geweest.

6) Data- en kennismanagement

Uit de intentieverklaring: “KIMA heeft een belangrijke taak in de bundeling, het beheer en de verspreiding van de kwalitatief goede data, de ontwikkelde tools en de opgedane kennis. Om de meerwaarde van Marker Wadden als Living Lab te waarborgen is een professionele uitwisseling van data onontbeerlijk. De informatie uit de diverse onderzoeken, metingen en proeven wordt centraal gebundeld, opgeslagen, beschermd en beschikbaar gemaakt. De intentie is om als onderdeel van de samenwerking met de overige thema’s binnen NKWK, een systeem op te zetten in de vorm van een digitale kennisbank. Uiterlijk één jaar na ondertekening zal een plan rond data- en kennismanagement worden opgesteld voor het onderzoek dat plaatsvindt onder de KIMA vlag. Het plan zal in nauwe samenwerking geschreven worden met andere thema’s binnen NKWK met het doel synergie te bereiken”

Acties KIMA

- Er is een uitgebreid datamanagementplan gemaakt binnen KIMA. Dit plan omvatte ambities in termen van uitwisseling en opslag
- Dit plan is niet uitgevoerd omdat het beschikbare budget onvoldoende was en aanvullend budget niet gevonden kon worden.



- Opslag van de data is uiteindelijk wel geregeld (zie paragraaf 2.4)
- KIMA heeft circa 4 procent van het monitoringsbudget kunnen besteden aan dataopslag.

Interviews

Het verzamelen, beheren en ontsluiten van gegenereerde data zijn niet goed van de grond gekomen. Er hadden bij voorbaat scherpere ambities geformuleerd moeten zijn voor de mate van gestructureerde dataverzameling, informatiedeling en -voorziening vanuit het aanlegproject en KIMA naar relevante partijen. Mede hierdoor is nog niet duidelijk of de ontwikkelde kennis kan worden gedupliceerd naar andere aanlegprojecten of -programma's.

Lessen. Datamanagement gericht op opslag en uitwisseling is een kostbare zaak. Aanbeveling is om aan de start van een programma gezamenlijk te beslissen over het nut en noodzaak van de uitvoering van een uitgebreid plan en het benodigde budget beschikbaar te stellen.

6.6 Kennispositie

In KIMA is ook onderzoek gedaan naar de invloed van Marker Wadden op de kennispositie van Nederland. Hiermee wordt de kwaliteit, impact, toekomstbestendigheid, concurrentiepositie en samenwerking van de watersector in Nederland ten opzichte van andere landen bedoeld.



De resultaten zijn gebaseerd op literatuuronderzoek en op interviews met het Netherlands Water Partnership, de directie van Deltares, de Nederlandse Watergezant en het Nationaal Groenfonds. Dit onderzoek is gedaan door Deltares en WEnR (IJff en Veraart, 2022). Deze paragraaf bespreekt de kansen om de kennis van Marker Wadden internationaal toe te passen en doet aanbevelingen om barrières te overbruggen.

Internationale kansen

Op basis van de interviews zijn de volgende kansen geïdentificeerd om de kennis van Marker Wadden internationaal toe te passen:

Wat: welke kennis is relevant?

KIMA heeft kennis opgeleverd over het gedrag van slib en zand, de ecologische successie na aanleg van Marker Wadden en over de bestuurlijke samenwerking tussen partijen. De technische kennis over het winnen van zand en slib en over het bouwen van de eilanden met dit materiaal is daar een waardevolle toevoeging op. Bij de realisatie van Marker Wadden is veel ervaring opgedaan met het combineren van meerdere financieringsbronnen in een juridisch geborgde constructie. Hoewel dit natuurlijk voor ieder land anders is, zal er altijd gezocht worden naar het combineren van financieringsbronnen. Daarvoor kan de aanpak van project Marker Wadden een voorbeeld zijn. Daarnaast vormt Marker Wadden een voorbeeld van een project waar de inrichting en communicatie zijn afgestemd op bezoekers en waar overheden, NGO's, bedrijfsleven en kennispartijen bij elkaar zijn gebracht.

Waar: in welke gebieden kan de kennis worden toegepast?

Het bouwen met slib voor meerdere doelen is een concept dat elders in Nederland en in andere delta's op de wereld kan worden

toegepast. Facetten van het ontwerp en proces kunnen in andere gebieden worden overgenomen. Er kan worden gezocht naar locaties met geschikte fysische omstandigheden, zoals grote meren en bedamde rivieren. Daarnaast is de institutionele setting van belang, waar een 'coalition of the willing' bestaat of gecreëerd kan worden die achter het plan staat.

Binnen Europa kan bijvoorbeeld worden gekeken naar water-systemen waar de mens de natuurlijke dynamiek heeft beperkt, maar waarvoor de maatschappij toch ecologische ambities heeft geformuleerd. Er kunnen verschillende opgaven zijn waar concepten als Marker Wadden een oplossing voor kunnen bieden, zoals het verbeteren van de waterkwaliteit, het verhogen van biodiversiteit, het vergroten van waterveiligheid of het creëren van recreatiemogelijkheden. Het creëren van land met slib is een waardevol concept, waarnaar internationaal veel vraag naar is vanwege het wereldwijde tekort aan zand.

Wie: welke actoren kunnen zich inzetten om deze kennis te verspreiden?

Zowel publieke als private partijen kunnen ervaringen uit Marker Wadden gebruiken om zich internationaal te profileren. Grote bedrijven – zoals consultants, bouwbedrijven en baggeraars – kunnen Marker Wadden benutten als voorbeeldproject voor hun technische expertise. NGO's en overheden zullen eerder het verhaal rondom de succesvolle samenwerking vertellen als innovatieve showcase. Voor kennisinstellingen zal de nieuwe kennis over morfologie, ecologie en governance het belangrijkste aspect zijn bij hun internationale profilering. Omdat Marker Wadden een gedeelde inspanning is geweest, leent het concept zich voor gezamenlijke profilering door aannemers, kennisinstellingen, overheden en NGO's.

Het omgaan met barrières

Uit de interviews komen er naast kansen ook barrières naar voren die de internationale toepassing van de kennis van Marker Wadden kunnen belemmeren. De belangrijkste barrières – en aanbevelingen om deze te overbruggen – zijn als volgt:

- In veel gebieden moet het creëren van nieuw land economische belangen dienen. Het creëren van nieuwe natuur zoals op Marker Wadden zal in de meeste situaties geen (primair) doel zijn van het project. Leg daarom in de communicatie de nadruk op de innovatieve samenwerking, de technische kennis over het bouwen met slib en het meenemen van recreatie in het ontwerp.
- Het Midden- en Kleinbedrijf (MKB) is nauwelijks zichtbaar als het gaat om innovaties in grote inrichtingsprojecten zoals Marker Wadden, terwijl het MKB daar wel aan bijdraagt (bijvoorbeeld in het ontwikkelen van de zelfvoorzienende nederzetting op Marker Wadden). Maak het MKB daarom beter zichtbaar in de internationale profilering van de Nederlandse watersector en neem het reeds betrokken MKB mee bij het 'uitventen' van Marker Wadden. De sectoren samen kunnen een gezamenlijke profileringstrategie opstellen, inclusief bijvoorbeeld (promotie)materiaal.
- Kijk en leer van inrichtingsprojecten elders in de wereld die qua filosofie op project Marker Wadden lijken (look what your neighbour is doing). Denk bijvoorbeeld aan projecten die in de communicatie en internationale netwerken aangemerkt worden als 'Nature-Based Solutions' of als 'Building with Nature'. In sommige landen zijn barrières overbrugd die in Nederland nog bestaan, bijvoorbeeld op het gebied van natuurcompensatie en koolstofcertificaten. In het kader van dit type inrichtingsprojecten is er veel te leren uit het buitenland.

7

Vooruitkijken: duurzaamheid van de huidige situatie



Dit hoofdstuk blikt vooruit naar de duurzaamheid van Marker Wadden. Hiertoe worden eerst andere natuurontwikkelingsprojecten uit het IJsselmeergebied onder de loep genomen die al vele jaren geleden zijn aangelegd. Welke lessen zijn hieruit te trekken voor Marker Wadden? Vervolgens komt de duurzaamheid van de eilanden zelf aan bod, alsmede de toekomstige ontwikkeling van de hoogte en de vegetatie.

7.1 Wat leren we van andere natuurprojecten?

In Nederland zijn in de afgelopen 25 jaar verschillende natuurprojecten gestart, zowel in zoet- als in zoutwatergebieden. De ervaringen rond vegetatieontwikkeling, het beheer, en de vogelsuccessie van deze projecten kunnen worden gebruikt bij het toekomstig beheer van Marker Wadden (de Jong en Noordhuis, 2021). Er zijn echter slechts weinig projecten die specifieke informatie opleveren. In deze paragraaf wordt een aantal natuurprojecten toegelicht waar wel voldoende informatie over beschikbaar was en die als vergelijking kunnen dienen voor Marker Wadden (Tabel 7 1).

Tabel 7 1 Overzicht van de verschillende natuurontwikkelingsprojecten. Marker Wadden is gestart in 2016 en bestrijkt in 2021 een oppervlakte van 1300 ha

Natuur ontwikkelingsproject	Periode van aanleg	Oppervlakte (ha)	Bijzonderheden
IJsselmonding	1997/ 2001-2006	800 (770)	Zand/ slikeilanden
De Kreupel	2003-2004	70	Zandeilanden
Trintelzand	2019-2020	532	Moeras, zandplaten, slikvelden en rietoevers

Vegetatieontwikkeling

IJsselmonding

Dit is een grootschalig vervolg op de kleinschalige projecten in het Drontermeer en het Vossemeer. Het omvatte de aanleg van een eiland in het Ketelmeer, de Ramspolplaat (in 1997), gevolgd door de aanleg van vier andere platen (Kamperplaat, Schokkerplaat, Kattenplaat, en Ketelplaat) in de periode 2001-2006. Zand dat vrijkwam bij het graven van de saneringsput in het Ketelmeer (IJsseloog) is opgespoten binnen gedeeltelijk erodeerbare kaden. De platen vormen als het ware een nieuwe, kunstmatige delta van de IJssel. Het doel was om elementen uit grootschaliger moerasdelta's te verkrijgen, als overgangsgebied tussen rivier- en meer-systemen. Alleen de op de overheersende wind gerichte westelijke rand is met stortsteen versterkt, de oostelijke binnenrand is onverdedigd gelaten.

Het gebied heeft zich ontwikkeld van een pionierssituatie tot rietmoeras en plaatselijk opgaand wilgenbos. Het grootste deel van het gebied bestaat echter nog uit platen, ondiepten en zones met open begroeiing. Open zandige gebieden met een halfopen vegetatie (zoals hazenpootje en berk) waren in 2003 en 2004 nog op grotere schaal op de zanddammen aanwezig, maar in 2019 waren deze alleen nog te vinden op de Kamperplaat en Schokkerplaat (de Jong en Deuzeman, 2019). Het merendeel van de zandvlaktes is dichtbegroeid geraakt. Doorgeschoten wilgenopslag domineert. De wilgen vormen een dichte begroeiing met soms een strook ruigte ervoor (Evers et al, 2011). Volgroeid bos wordt gevonden op de noordrand van Ramspolplaat en aan de zuidkant van de Kamerplaat. Langs het ondiepe water staan voornamelijk riet, lisdodde en mattenbies. In de ondiepe kommen binnen de 'hoefijzers' wordt slib ingevangen, wat voor een dominantie van

lisdodde zorgt, maar plaatselijk ook voor velden moerasandijvie. Aan de randen van de eilanden domineert riet op de plaatsen waar geen beschoeiing is (de Jong en Deuzeman, 2019).

De ontwikkeling van helofytenvegetaties heeft hier betere kansen dan elders in het IJsselmeergebied, omdat het waterpeil relatief sterk fluctueert door op- en afwaaiing en door de IJsseldynamiek. Toch is de seizoensdynamiek in die fluctuaties ook hier niet natuurlijk en de verschillen tussen jaren zijn door het kunstmatige peil in IJssel- en Ketelmeer beperkt, en daardoor ook de ontwikkeling van helofytenvegetaties. Mogelijk wordt dat veroorzaakt door een te grote belasting van golven of stroming, te veel ophoping van slib of organisch materiaal, eutrofiëring, begrazing door vogels en/of een niet effectief beheer van de helofyten (Evers et al 2011).

Begin 2011 zijn op het zuidelijke deel van de Kattenplaat alle bomen (inclusief wortels) verwijderd, maar in augustus 2011 stonden er alweer wilgen van ongeveer 2 meter hoogte. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door uitlopers van dieper gelegen wortels en kieming van aangespoelde of aangewaaide zaden (Evers et al 2011). De openheid zorgde wel voor een grote soortenrijkdom aan planten. In het Natura 2000-ontwerpbeheerplan wordt aangegeven dat voor de IJsselmonding tussen 2016-2021 de moerasgebieden worden verbeterd (Rijkswaterstaat, 2016a). In het plan staat dat rietstekken worden aangeplant, cyclisch maaibeheer plaatsvindt en dat de oevers worden afgevlakt en heringericht om het effect van het huidige peilbeheer te mitigeren. Dit moet de variatie binnen het bestaande rietmoeras vergroten en de kwaliteit als leefgebied voor moerasvogels doen toenemen. De resultaten van deze verandering in beheer en vegetatie zijn nog niet bekend.



Toch zijn er grote successen behaald: Er broeden zeldzame vogels zoals zeearend en roerdomp en het gebied functioneert in de zomer als ruiplaats voor eenden, ganzen en zwanen. Er pleisteren veelvuldig enkele visarenden. In de nazomer en vroege herfst zijn er honderden lepelaars en grote zilvereigers te vinden.

De Kreupel

Dit is een eilandencomplex dat exclusief is aangelegd voor vogels en bestaat uit twee grote zandeilanden met ondieptes eromheen, die afgescheiden zijn van het open water van het IJsselmeer door een ring van kleinere eilanden en een brede kade met stortsteenbescherming aan de buitenkant. Het gebied is sinds de aanleg belangrijk als broed- en rustplaats voor vogels zoals de visdief,

aalscholver, ganzen, eenden en zwarte sterns. Ook kleine mantelmeeuw, Pontische meeuw, zilvermeeuw en zwartkopmeeuw broeden er, naast meer dan 10.000 paar kokmeeuwen. Het is inmiddels één van de grootste ruiplaatsen voor casarca's in Europa en in de nazomer pleisteren tal van steltlopers, reigers en lepelaars in het gebied. Duikeenden als topper rusten in de winter met soms tienduizenden exemplaren in de luwte van het eiland. Kort na aanleg zijn de randen van de zandeilanden veranderd in een terrein met plaatselijk hoge en dichte kruidenvegetatie. Tien jaar na aanleg was er nog één echt kale zandbult over. Op de lagere delen van de oorspronkelijk geheel kale eilanden treedt sterke begroeiing op van onder andere grote brandnetel, wilgenroosje, engelwortel en boerenwormkruid, naast meldesoorten en Canadese fijnstraal (Marbus en Marbus, 2007). De habitat is daarmee veranderd van de voorkeursbiotoop van de visdief in die van de kokmeeuw (Van der Winden et al, 2013). Riet komt in de gehele archipel nauwelijks voor.

Het beheer is erop gericht om het kenmerkende pionierlandschap kunstmatig te behouden. Daarom wordt er jaarlijks gemaaid en worden zaailingen van bomen, zoals wilgen, verwijderd (Van der Winden et al, 2013; Rijkswaterstaat, 2016a). Het kunstmatige peil van het IJsselmeer werkt het in stand houden van de pioniervegetatie tegen: veel grond ligt droog in de lente en kan dan begroeid raken met kruiden en jonge bomen voordat de pioniersoorten zich hebben gevestigd (Van der Winden et al, 2013). Naast het beheer wordt verstoring van het gebied rond de Kreupel tegengegaan door het instellen van een 300 m breder zone rondom de Kreupel die niet door recreanten kan worden betreden. Ook wordt kolonisatie door grondpredatoren, zoals bruine ratten, voorkomen door zoveel mogelijk eilandsituaties te stimuleren en in stand te houden (Rijkswaterstaat, 2016a).

Trintelzand

Dit gebied is in 2018 aangelegd als natuurgebied en onderdeel van de versterking van de Houtribdijk. Het gebied bestaat uit twee onderdelen, een moerassig gedeelte en een droger eiland. Er zijn verschillende zandplaten, slikvelden en rietoevers. Het slib dat is gebruikt voor de aanleg komt uit speciaal aangelegde winputten uit de directe omgeving. Trintelzand is bedoeld als paai- en leefgebied voor vissen en andere waterdieren, die weer als voedsel dienen voor vogels. Trintelzand is een broedplaats voor grote kolonies visdieven en sinds 2019 ook voor dwergsterns en kluten. In de nazomer is het een belangrijke slaapplek voor zwarte sterns (in 2021 ruim 5000). Regelmatig wordt het gebied bezocht door zeearend en enkele visarenden, soms in samenhang met Marker Wadden, lerst en/of het naviduct.

Het eerste jaar zijn de eilanden in het voorjaar onderwater gezet om versnelde wilgengroei tegen te gaan en met succes (Rijkswaterstaat, 2020). Op drie plekken is er riet aangeplant dat langzaam aanslaat. Wanneer het riet een groter gebied bestrijkt zijn er plannen om dit jaarlijks of periodiek te maaien (Rijkswaterstaat, 2016b). In de zomer van 2020 groeide er nog niet veel planten in het moerasgebied, en de soorten die voorkwamen waren voornamelijk pioniersoorten zoals moerasandijvie (Rijkswaterstaat 2020). Het volgende jaar veranderde het gebied langzaam vanuit een pioniersfase naar een stabiel systeem. Er wordt naar gestreefd om middels schommelingen in het waterpeil de zandplaten vrij te houden van opgaande vegetatie (Rijkswaterstaat, 2016b). Mocht er meer beheer nodig zijn, dan zijn er plannen om de opgaande begroeiing van houtige planten te verwijderen, of om deze begroeiing tegen te gaan door de periodieke aanbreng van zand of schelpen. Komende jaren zal het riet zich naar verwachting ontwikkelen en zullen er onder andere ook lisdodde, gele lis, rietgras, watermunt en kattenstaart voorkomen (Rijkswaterstaat, 2020).

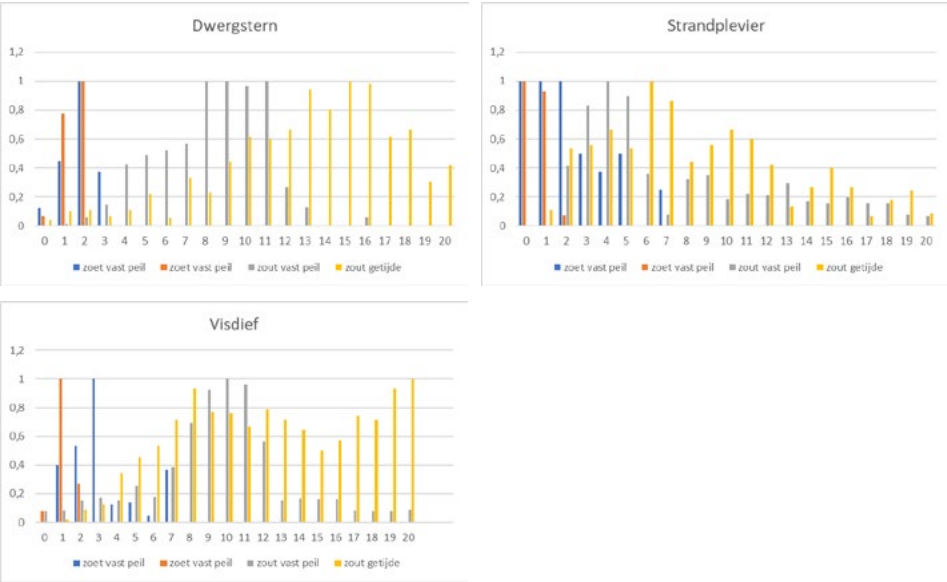
7.1.2 Vogels

Door verschillen in voedsel- en nestplaatskeuze zijn veranderingen in de samenstelling van de vogelgemeenschap van een natuurontwikkelingsgebied goede indicatoren voor de successie van de vegetatie en van de overige fauna. Na aanleg verschijnen eerst de vogels van kale gebieden, de kale-grondbroeders op het zand en de steltlopers van de slikken (Figuur 7.1).

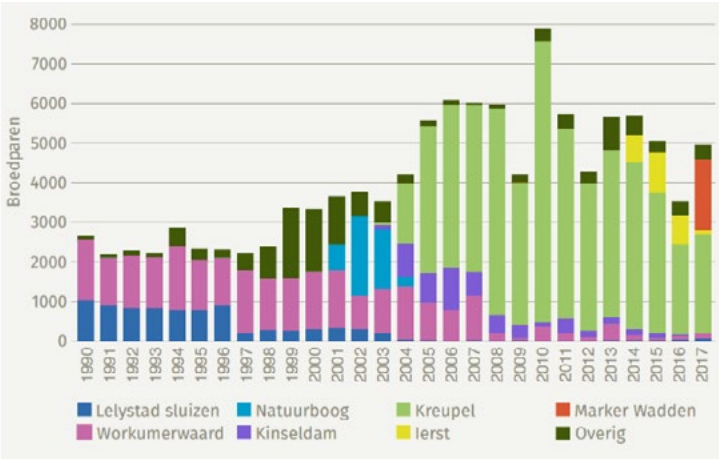
Op de Kreupel in het IJsselmeer werden de hoogste aantallen van de meest kritische kale-grondbroeders bereikt in het jaar na voltooiing (2004), waarna de aantallen weer snel afnamen (Noordhuis, 2010). Visdieven piekten een jaar later, en bleven broeden dankzij aanvullend beheer dat broedplaatsen zonder of met korte vegetatie in stand hield. Naarmate de vegetatie dichter werd (gras) nam de kokmeeuw het echter langzaam van de visdief over. Zonder aanvullend beheer verruigt de vegetatie en ontstaat uiteindelijk bos, met de daarbij behorende vogelgemeenschappen. Uit vergelijking van het populatieverloop na aanleg van diverse eilanden in het IJsselmeergebied (Noordhuis, 2010) blijkt dat de visdief als broedvogel in de praktijk zonder aanvullend beheer na maximaal vijf jaar weer afneemt en geleidelijk verdwijnt.

Arts et al. (2000) lieten een vergelijkbaar verloop van het aantal paren kale-grondbroeders na aanleg van de habitat in de zoete deltawateren zien. Opvallend was dat dit successieproces in zoute deltawateren met een vast peil veel langzamer verliep. In zoute getijdewateren was dat nog sterker en bleef de habitat voor de visdief minstens 20 jaar in stand. Ook na herstelprojecten in het rivierengebied was sprake van optimum effecten; het aantal broedparen van kleine plevier, tureluur en grauwe gans nam toe tot een maximum ongeveer vijf jaar na de uitvoering van natuurontwikkelingsprojecten, en nam daarna weer af (van Turnhout et al. 2007).

Marker Wadden is zo groot en de aanleg is zodanig gespreid dat de pioniersoorten hier relatief lang een plek vinden. De vogelgemeenschap is rijk aan pioniers. Toch zijn de dwergstern en de pleviertjes al op hun retour en heeft het aantal paren van de kokmeeuw dat van de visdief al ingehaald. De aanleg van de E-eilanden en eilanden die daarop volgen zullen de pioniers nieuwe impulsen geven, maar uiteindelijk zullen soorten van latere stadia in de vegetatiesuccessie belangrijker worden.



Figuur 7.1 Boven en onder links: Verschil in respons van dwergstern, strandplevier en visdief op natuurontwikkeling in zoete en zoute deltawateren met een vast peil en zoute getijdewateren (naar Arts et al., 2000).



Figuur 7.2 Verloop van het aantal broedparen van visdief op de Kreupel in vergelijking met het verloop in de andere kolonies in de regio (Van der Winden et al., 2018). Ontwikkeling specifiek voor Marker Wadden zie Tabel 4 3.

Conclusie

Er is continu beheer nodig om de pioniervegetatie te behouden. Een volgroeid wilgenbos is heel lastig te verwijderen. Rust is van groot belang voor broedende rietvogels en voor ruiende water- vogels. De rust is niet gewaarborgd bij het toestaan van recreatie. Het gereguleerde waterpeil van de meren geeft onvoldoende dynamiek om geleidelijke, ecologisch functionele land-water overgangen op enige schaal tot ontwikkeling te laten komen en om kale platen en open vegetaties op voldoende schaalniveau te handhaven. Pioniersoorten zoals broedvogels van kale bodems reageren sterk op het nieuw aangelegde habitat, maar verdwijnen zonder specifiek beheer binnen vijf jaar weer als gevolg van vegetatiesuccessie. De beste kansen voor moerasvogels als roerdomp liggen in de gebieden waar gebruik kan worden gemaakt van de dynamiek van op- en afwaaiing en fluctuaties in rivierafvoer.

7.2 Ontwikkeling van de eilanden

Deze paragraaf gaat in op twee relevante aspecten van de duurzaamheid van de eilanden, namelijk de hoogteontwikkeling en de vegetatieontwikkeling.

7.2.1 Ontwikkeling van de hoogte

Het onderzoek in de slibcompartimenten – de proefvakken – wijst uit dat de consolidatie van het holocene vulmateriaal zal doorgaan totdat er een bulkdichtheid van circa 1400 kg/m³ wordt bereikt voor slibrijk materiaal of hoger als er zand is doorgemengd. Uitgaande van een 4 meter dikke laag, 30 cm zetting van de ondergrond en een korst van 30 cm komt dit neer op ca. 2,8 ton droge stof per m². Bij een dichtheid van het ingebrachte materiaal van circa 1200 kg/m³ komt dit overeen met een bruto opvulhoogte van circa 8,7 meter slib. Tot op heden is er in de slibcompartimenten circa 4,4 meter slib ingebracht, hetgeen na 2 jaar heeft geresulteerd in een sliblaagdikte van ca. 2.7 m die grotendeels onder water ligt.

Hoeveel droge stof er reeds in de bestaande eilanden (dus buiten de slibcompartimenten) is ingebracht en hoeveel slib daar nog ingebracht moet worden om een stabiele bodem op ontwerp- hoogte te krijgen is onzeker. Hier geeft de Boskalis memo van 2022 geen uitsluitsel over. Het is echter wel duidelijk dat ook daar nog voortschrijdende consolidatie en bodemdaling optreedt en dat er in de toekomst nog extra vulslagen nodig zullen zijn.

7.2.2 Vegetatieontwikkeling

Momenteel bevinden de eilanden zich nog in een pril stadium van ontwikkeling. Ecologisch gezien is er sprake van een pioniersituatie, met veel kale grond en de ontwikkeling¹⁵ van pioniersoorten zoals moerasandijvie en rode ganzenvoet. De ontwikkeling van riet- moeras – het gewenste eindbeeld – is pas op enkele eilanden op gang gekomen. De rietontwikkeling is op gang gekomen middels zaaïen en op enkele plekken (o.a. langs de haven) door het planten van wortelstokken en verspreiding van maaïsel (zie paragraaf 4.3.2). Tegelijkertijd groeien er echter ook steeds meer wilgen, die ongewenste vertegenwoordigers vormen van het climax- stadium van de successie (moerasbos). Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van twee factoren: het waterpeilbeheer en vraat door ganzen.

Waterpeilbeheer

Een snelle ontwikkeling van wilgenbos kan tegengegaan worden door een specifiek seizoensafhankelijk peilbeheer te voeren, dat zorgt voor inundatie gedurende de periode dat er zaadverspreiding via wilgenpluis optreedt (mei-juni). In deze periode bereikt veel wilgenpluis Marker Wadden, omdat er in het IJsselmeergebied veel wilgen voorkomen. Binnen de gesloten eilanden is een dergelijk peilbeheer te realiseren met een pomp en een aflat. Op deze manier is het mogelijk gebleken om vestiging door wilgen vergaand te beperken en de ontwikkeling van rietmoeras te bevorderen. Echter: het peilverloop van het Markermeer is juist in het voordeel van wilgen. Zodra een eiland blootgesteld wordt aan het peil van het Markermeer (door één of meerdere openingen te maken in de kade rond het eiland) ontstaat er dus een risico op

15 In het aanlegcontract stond de eis dat er niet meer dan 1000 m2 wilgen mochten ontwikkelen. Vanuit die context (wilgen zijn ongewenst) is het beheer gevoerd en is deze tekst geschreven.

snelle ontwikkeling van wilgen (zie ook de ervaringen van andere natuurontwikkelingsprojecten in paragraaf 7.1.1). Dit kan worden beperkt door ervoor te zorgen dat de rietvegetatie op dat moment gesloten is, waardoor wilgenpluis niet goed kan kiemen en jonge wilgjes minder ontwikkelingskansen hebben. De ontwikkeling van een gesloten rietvegetatie vraagt echter tijd, met name als gevolg van vraat door ganzen.

Vraat door ganzen

Doordat zich snel een korst vormt, kunnen ganzen het recent aangebrachte holocene materiaal al snel betreden, namelijk binnen enkele weken (wat sneller is dan tijdens de ontwerpfase werd verwacht). De ganzen blijken een dominante invloed te hebben op de ontwikkeling van het gezaaide riet. Binnen delen die – middels linten of rasters – zijn afgeschermd voor vraat blijkt dat er binnen één seizoen een vitale rietkraag van 1,5 meter hoog kan ontstaan. In delen die blootstaan aan ganzenvraat blijft dit beperkt tot hooguit enkele centimeters (zie ook paragraaf 4.3.2). Omdat ganzen vrij zicht willen hebben blijven ze uit de directe buurt van hoger opgaande vegetatie. Op die manier hebben de rietkragen die tegen vraat zijn beschermd een zelfversterkend effect: in de omgeving ervan kan het riet snel uitbreiden. Ook de pioniersoorten moerasandijvie en rode ganzenvoet, die ganzen niet lekker vinden, lijken dit effect te hebben. Zo kan zich uiteindelijk toch een gesloten rietmoeras ontwikkelen. Afhankelijk van het aanbrengen van entmateriaal, de hoeveelheid vraatbeschermende maatregelen en de ontwikkeling van moerasandijvie en rode ganzenvoet kan dit tot meer dan vijf jaar duren.

Op dit moment (2022) heeft nog geen enkel eiland een gesloten rietmoerasvegetatie. Hierdoor blijft het risico op een snelle ontwikkeling en dominantie van wilgen bestaan. Dit is reeds

waarneembaar op hoger gelegen delen, die niet of nauwelijks inunderen en op eilanden die reeds blootgesteld zijn aan het peil van het Markermeer. Zonder een beheer dat is gericht op het snel bereiken en in stand houden van een dominante rietmoerasvegetatie moet gevreesd worden voor een snelle opmars van wilgenbos.



8

Vooruitkijken: aanbevelingen voor aanleg en beheer

Dit hoofdstuk bevat aanbevelingen voor aanleg en beheer, die voortvloeien uit de kennis die in de drie onderzoeksthema's van KIMA is opgedaan. Deze lessen zijn voor een klein deel al toegepast bij de ontwikkeling van de huidige eilanden van Marker Wadden, maar kunnen vooral van dienst zijn bij de toekomstige aanleg van nieuwe eilanden, het beheer van de bestaande eilanden en bij vergelijkbare projecten in Nederland of daarbuiten.



8.1 Bouwen met slib

8.1.1 De eerste drie tot vijf jaar

Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat er diverse verbanden zijn tussen de vulstrategie (en de bijvulstrategie) van de eilanden en de gewenste vegetatieontwikkeling (rietmoeras). Twee voorbeelden:

- De droogval die nodig is voor de vegetatieontwikkeling veroorzaakt korstvorming die de consolidatie versnelt.
- Extra vulslagen die nodig zijn voor de hoogteontwikkeling hebben grote invloed op de vegetatieontwikkeling.

Met de resultaten van het onderzoek moet het mogelijk zijn om het vullen en de gewenste ontwikkeling van rietmoeras beter op elkaar af te stemmen. Dat kan op de volgende manieren:

- De eilanden zodanig vullen (qua slibdichtheid en hoogte) dat de gewenste eindhoogte wordt bereikt in één of twee vulslagen, rekening houdend met een optimaal peilbeheer voor de vegetatieontwikkeling.
- De rietmoerasontwikkeling pas starten na de laatste vulslag.

Dit vraagt, naast een goed plan, ook om in-situ monitoring van de ontwikkeling.

Vulstrategie slib

De belangrijkste variabelen voor de vulstrategie zijn het volume en de dichtheid per vulslag, het totaalvolume en de hoeveelheid droge stof per vierkante meter en de fysische en chemische eigenschappen van het slib. Dit laatste is een gegeven of kan nog enigszins worden gestuurd via de keuze van de winlocatie. Twee of meer vulslagen hebben praktisch gezien de voorkeur, omdat bij één vulslag een zo groot volume nodig is dat dit hoge eisen stelt

aan de hoogte en stabiliteit van de kades rondom de compartimenten, wat hoge kosten met zich meebrengt. Bovendien kan de totale hoeveelheid droge stof die benodigd is voor een stabiel substraat op ontwerphoogte bij meerdere vulslagen nog kan worden bijgestuurd, op basis van de waargenomen consolidatie.

In de praktijk zal na uitstroming altijd segregatie optreden (zie paragraaf 4.1). Een mengsel met zo'n hoge dichtheid dat er geen segregatie meer optreedt is praktisch niet haalbaar, tenzij het slib niet wordt verpompt maar met grijpers wordt gewonnen, in bakken wordt vervoerd en op locatie wordt gestort. Maar dit is onpraktisch en duur en bovendien biedt segregatie juist kansen voor een meer gevarieerde natuur door het ontstaan van gradiënten in de hoogte en samenstelling van de bodem.

Door de spuitmond bij latere vulslagen te verplaatsen kan het veelal zandige substraat ter plekke van de oorspronkelijke vullocatie worden afgedekt met een laag(je) slib ten behoeve van de vegetatieontwikkeling.

Hoeveel droge stof er in totaal nodig is voor een stabiele ligging van de slibbodem op ontwerphoogte en hoeveel tijd er nodig is om deze hoogte te bereiken kan worden berekend op basis van kleinschalige laboratoriumproeven op representatieve slibmonsters. Hiermee wordt het verband vastgesteld tussen porositeit en doorlatendheid (dat sturend is voor de tijdschaal van het consolidatieproces) en het verband tussen bovenbelasting en/of zuigspanning en porositeit (sturend voor de evenwichtshoogte). Doordat de lokale vulhoogte en de samenstelling van de opgebrachte sliblaag varieert (mede door segregatie) en er ook variaties zijn in de diepte en doorlatendheid van de oorspronkelijke bodem, kan de eindhoogte in de praktijk fors afwijken van de vooraf berekende evenwichtsligging. Om deze onzekerheid te beperken is monitoring van de zetting na de eerste vulslag en

mogelijk bijsturing van de laagdikte voor de tweede vulslag essentieel.

Naast bijsturing via vulslagen is ook peilbeheer een belangrijke stuurknop, niet alleen voor de zetting, maar ook voor de vegetatieontwikkeling. Een peilbeheer waarbij de diepste delen onder water staan en de hoogste delen een plasdrassituatie vormen, is in veel gevallen optimaal. Volledige droogval leidt tot sterke(re) korstvorming en een sterkere zetting, zodat de evenwichtsligging lager uitkomt of er meer slib nodig is voor een gegeven evenwichtsligging. En zolang de compartimenten volledig onder water blijven komt de ontwikkeling van de sterkte en de vegetatie niet goed op gang en kunnen lokaal opgewekte windgolven – afhankelijk van de waterdiepte – erosie veroorzaken van de bodem of de taluds van de kades.

De conclusie is dat één keer vullen zonder peilbeheer nadien een risicovolle strategie is waarbij de eindhoogte onzeker is en in de praktijk fors kan afwijking van schattingen vooraf op basis van labonderzoek en berekeningen. Meerdere vulslagen met peilbeheer en tussentijdse monitoring van de zetting is een veel zekerder strategie waarbij goed (bij)gestuurd kan worden op eindhoogte.

Vegetatieontwikkeling op het slib

Aanbevolen wordt om de vegetatieontwikkeling zoveel mogelijk te sturen richting rietmoeras. Rietmoeras heeft de gewenste natuurwaarden, gaat verbossing tegen en kan tegen langdurige inundatie. Het onderzoek heeft laten zien dat riet zorgt voor een sterke doorworteling die weerstand kan bieden tegen erosiekrachten die na openstelling van de eilanden gaan optreden (zie Figuur 8.1).



Figuur 8.1 Riet (rechts) doorwortelt de bodem veel sterker dan moerasandijvie en grote Iisdodde



Figuur 8.2 Twee voorbeelden van de toepassing van wortelstokken in robuuste kernen

Rietontwikkeling via zaad kan onder de juiste kiemcondities en voldoende ontwikkelingstijd zeker succesvol zijn. Een doorlooptijd van 3 tot 5 jaar bij voldoende droogval lijkt een realistische ontwikkelingstijd (Bakker en Biewinga 1957, Brandsma 1969, RIZA 1996, Clevering en van der Toorn 2000). Het proces kan echter aanzienlijk versneld worden door gebruik te maken van hoogwaardiger rietmateriaal (stokken of wortelgrond) en/of door het riet te beschermen tegen vraat. Ervaringen op Marker Wadden laten zien dat een ontwikkeling tot een volgroeide rietvegetatie dan binnen 2 groeiseizoenen mogelijk is.

Tot slot is er de overweging van kosten. De aanleg van riet middels wortelstokken of -grond in combinatie met vraatbescherming is ongeveer 250 maal zo duur als de toepassing van alleen rietzaad. Daar staat tegenover dat rietzaad erg gevoelig is voor waterpeil, weersomstandigheden tijdens kieming, nutriëntbeschikbaarheid, vraat en concurrentie met andere planten (Belgers en Arts 2003, Ter Heerdt 2016 en de Fouw et. al., 2021). Rietwortels zijn minder gevoelig voor deze factoren maar vragen om een grotere investering.

We adviseren om bij de aanleg van nieuwe eilanden gebruik te maken van een combinatie van robuuste kernen en rietzaad. Robuuste kernen zijn rietvelden die snel ontwikkeld worden en waar vanuit vegetatieve en generatieve ontwikkeling mogelijk is. Een robuuste kern bestaat uit rietwortelstokken, rietwortelgrond of rietplaggen die tijdelijk (1-2 jaar) beschermd worden tegen begrazing. Zie Figuur 8.2 voor twee voorbeelden.

We adviseren deze kernen te ontwikkelen op de spuitmonden. Dit zijn logische locaties omdat:

- Spuitmonden het meest gevoelig zijn voor bosontwikkeling en dit risico door snelle kolonisatie met riet minder groot wordt;
- Rietwortelstokken makkelijker dan zaad kunnen opstarten onder ongunstigere kiemcondities;
- Deze minder snel onder water zullen zakken waardoor ontwikkeling middels droogval eenvoudig is;
- Deze bij een tweede vulslag waarschijnlijk 1 tot enkele decimeters nieuw materiaal zullen krijgen. Een ontwikkelde rietkraag kan hier, bij voldoende droogval, eenvoudig doorheen groeien;

- Relatief snel begaanbaar zullen zijn, waardoor het plaatsen van vraatbescherming mogelijk is.

Op de lagergelegen delen kan gebruik worden gemaakt van rietzaad. Dit is logisch omdat:

- De locaties verder van de spuitmond optimale kiemcondities voor rietzaad hebben; ze zijn vochtig en hebben een hoger organisch stofgehalte;
- Deze locaties niet snel te betreden zijn (te gevaarlijk) en rietzaad eenvoudig vanaf de oever te verspreiden is;
- Mocht er onverwachts een aanvullende vulslag nodig zijn – die het riet waarschijnlijk niet overleeft –, dan vormt dit door de lage investeringskosten geen groot verlies;
- Er ruimte blijft voor spontane ontwikkeling.

Peilbeheer

Voor zowel de vegetatie- als hoogteontwikkeling is het wenselijk om een plasdrassituatie te handhaven waarbij het peil geleidelijk met de bodemdaling mee zakt. Hiermee worden gunstige condities voor helofyten verkregen maar wordt ook voorkomen dat er een onnodig dikke korst ontstaat wat tot (onnodig) hoogteverlies leidt.

Door het waterpeil in de kiemperiode van wilgen (mei en juni) op te zetten zodat inundatie optreedt wordt massale kieming voorkomen. Droogval in de zomer draagt bij aan de generatieve (via zaad) en vegetatieve (bovengrondse uitlopers, of ‘runners’) uitbreiding van riet.

In verbinding stellen eilanden

Geadviseerd wordt om te wachten met het in verbinding stellen van de eilanden met het Markermeer totdat zich een voldoende robuust moeras heeft ontwikkeld, dat de belasting van het Markermeer als gevolg van de wateruitwisseling en de druk van watervogels gedurende enige jaren aan kan.

8.1.2 Beheer op langere termijn

Voorlopig zullen de moeraseilanden blijven zakken. In verband met voortschrijdende bodemdaling zullen de eilanden naar verwachting periodiek moeten worden opgehoogd. Hiervoor zou in principe dunslib uit de slibgeul gebruikt kunnen worden. Hiermee bestaat echter nog geen ervaring, omdat alle eilanden en de dun-slib compartimenten met holocene sediment gevuld zijn. Er zijn twee belangrijke aandachtspunten:

1. De lage dichtheid van het slib. Het slib uit de slibgeul heeft een lage dichtheid (bulkdichtheid 1100 kg/m³ = gehalte droge stof 15%) en is daarmee gemakkelijk verpomp- en verspreidbaar. Het aanbrengen van een uniforme laag dunslib van 1 m dikte zal uiteindelijk resultaten in een ophoging van het maaiveld van ca. 0.2 m.
2. Onzekerheid over de kwaliteit van het dunslib als productief substraat. Uit eerder onderzoek (o.a. Saaltink, 2018) is gebleken dat het dunne slib relatief arm is aan nutriënten en mogelijk voor ijzer-toxiciteit kan zorgen.

Het opbrengen van een sliblaag van 1 meter zal de vegetatie-ontwikkeling naar verwachting sterk terugzetten naar een pioniersituatie, die weer kansen biedt om rietmoeras te laten domineren. Dat geldt zeker als de eilanden die opgevuld worden weer tijdelijk afgesloten worden van het Markermeer, waardoor er een aangepast peilbeheer gevoerd kan worden. Door het ophogen van de eilanden te spreiden in de tijd wordt het mogelijk om de eilanden in verschillende stadia van ontwikkeling te brengen en te houden. Dat spreidt de beheerinspanningen en vergroot de diversiteit aan natuurwaarden.

8.2 Bouwen met zand

Een van de kenmerken van Marker Wadden is de aanwezigheid van zandige randen die een deel van de achterliggende eilanden moeten beschermen tegen ongewenste effecten van stroming en golven. Naast deze beschermende rol worden de zandige randen zelf ook steeds meer als natuurlijke overgang gewaardeerd. Als de primaire rol van de zandige randen niet alleen wordt gezien als een bescherming van het achterliggende gebied, zal er over moeten worden nagedacht hoe de positie van met name de strandlijn – en daarmee een bepaalde strandbreedte – op termijn het meest optimaal kan worden gehandhaafd. Bij een ongewenste verschuiving van de strandlijn is het uitvoeren van aanvullende strandsuppleties een praktische oplossing, maar uiteraard slechts van tijdelijke aard.

Analyse van de dwarsprofielen laat overigens ook zien dat het maximale niveau van het profiel als gevolg van zetting van de ondergrond aan zakking onderhevig is. Aanbeveling is om hier op termijn beheersplannen voor te ontwikkelen.

8.3 Creëren van een Ecosysteem van waarde

De ontwikkeling van een ecologisch waardevol moerasgebied vergt beheer dat in de loop van de eerste jaren wordt bijgesteld en afgestemd op de verschillende fasen van de ontwikkeling. In de startfase kan worden gestuurd op vestiging van pionier- en moerasplanten, door middel van droogval in de zomer en eventueel het aanbrengen van zaad of wortelstokken (robuuste kernen, zie paragraaf 8.1.1). In de ontwikkelingsfase daarna mag de dynamiek niet te groot zijn. Het peil kan worden afgestemd op de zetting en op handhaving van een plasdrassituatie, met relatief hoog water in mei en juni om de vestiging van wilgen te remmen, zoals beschreven in paragraaf 8.1. Tot de moerasvegetatie voldoende weerstand heeft om zich onder druk van dynamiek in stand te houden zijn beheersmaatregelen het sturen of voorkomen van graas (vooral door ganzen) en het tijdelijk beperken van peildynamiek door het aansluiten op het buitenwater uit te stellen.

8.3.1 Ontwikkeling van moerasnatuur

De belangrijkste sturende factoren voor de ontwikkeling van de gewenste moerasnatuur zijn:

- Een toegesneden waterpeilbeheer binnen de compartimenten. Een eigen peilbeheer in de start- en ontwikkelingsfase blijkt belangrijk te zijn om helofyten de ruimte te geven en massale wilgendominantie tegen te gaan. Hiermee heeft de beheerder op Marker Wadden een extra stuurknop om de vegetatie-ontwikkeling (en bijbehorende successie) te beïnvloeden ten bate van de gestelde natuurdoelen. Dat is uniek, maar tegelijkertijd is hier ook nog weinig ervaring mee, zeker in het geval van het tegennatuurlijke Markermeerpeil (hoog in de

zomer en laag in de winter). De keuze voor het (voorlopig) gesloten houden van de dammen van eiland C wordt vanuit het onderzoek ondersteund. Hierdoor ontstaat meer inzicht in de mogelijkheden van het specifieke peilbeheer binnen de compartimenten en de effecten hiervan op de moerasontwikkeling en biodiversiteit.

- Als de dammen van de eilanden geopend worden is de moeras-habitat in open verbinding met het Markermeer. Er is momenteel echter nog te weinig zicht op het optimale moment hiervoor. Te vroeg openen kan enerzijds leiden tot te sterke erosie en het wegspoelen van het slib. Anderzijds kan vroeg openen – op een moment dat de bodem van het compartiment nog niet volledig geconsolideerd is – wellicht ook leiden tot kreekvorming met de bijbehorende variatie aan habitats. Aanbevolen wordt om in verschillende compartimenten te experimenteren met het moment van het openen van de dammen en de effecten hiervan te monitoren ('learning by doing').
- Vraat door ganzen is in de pioniersfase van Marker Wadden sterk bepalend gebleken voor de ontwikkeling van de moerasvegetatie (paragraaf 4.3.2). De ganzenrasters die geplaatst zijn in het kader van de aanleg en het onderzoek hebben tot een lokaal goed ontwikkelde rietkern geleid, die vandaar uit verder kan uitbreiden. Voor de ontwikkeling van nieuwe moerasgebieden kan vraatbescherming tegen ganzen dus goede resultaten opleveren, maar daarnaast wordt geadviseerd om meer grip te krijgen op de meer natuurlijke mogelijkheden om ganzenvraat tegen te gaan via sturing van het peilbeheer in combinatie met de dikte van de sliblaag. Een interessante waarneming is dat in de directe nabijheid van spontane ontwikkeling van moeras-andijvie en rode ganzenvoet minder vraat van riet optreedt, doordat de ganzen daar niet graag komen (dan hebben ze geen vrij zicht op mogelijke predatoren). Hier zou gebruik van

gemaakt kunnen worden door juist daar riet te zaaien of rietzaad te mengen met zaad van deze planten.

8.3.2 Meer natuurlijke dynamiek voor instandhouding

Instandhouding van moeras op de langere termijn is juist gebaat bij dynamiek. Op grond van de ervaring van de ontwikkelingen van de eerste jaren worden aanbevelingen gedaan om na de aanleg van nieuwe eilanden op de langere termijn meer ruimte te geven aan natuurlijke dynamiek en een meer spontane vegetatieontwikkeling. De natuurlijke dynamiek kan gestimuleerd worden door:

- Het gericht oriënteren van washovers en waterpartijen aan de windzijde en het vergroten van de golfwerking door te spelen met strijk lengte en waterdiepte.
- Het optimaliseren van de stromingsdynamiek in de geulen in combinatie met overslag, zodat er fluxen van organisch materiaal en nutriënten naar het meer kunnen stromen. Het effect zal beperkt zijn, maar dit mechanisme ontbreekt nu volledig in het Markermeer door het gefixeerde peil en heeft dus al snel meerwaarde.
- Het experimenteren met de spontane ontwikkeling van vegetatie, begeleid door een bijpassend peilbeheer in de compartimenten. De gedachte hierachter is dat de aanwezigheid van de huidige moerasvegetatie als zaadbron kan dienen voor nog aan te leggen nieuwe eilanden in de luwte van de huidige archipel. De noodzaak om moerasvegetatie actief in te brengen is daardoor wat minder groot. Bij de spontane ontwikkeling van vegetatie gelden dezelfde aandachtspunten als die beschreven zijn in de vorige paragraaf, maar als zich eenmaal een substantieel en functioneel moeras heeft ontwikkeld is er in de volgende aanlegfase meer ruimte voor andere keuzes over de balans tussen sturing en spontane ontwikkelingen.





8.3.3 Waterkwaliteit en land-waterovergang

- Uit het onderzoek blijkt dat de ontwikkeling van Marker Wadden lokaal bijdraagt aan het verbeteren van de waterkwaliteit, vooral als gevolg van luwtewerking. In de nieuw ontstane luwe gebieden zijn de concentraties zwevend stof lager en het zwevend stof dat er is bevat een groter aandeel algen. Daardoor heeft het zwevend stof een betere kwaliteit als voedsel voor filteraars. Ook zijn er nieuwe gradiënten ontstaan van troebel naar helder water, wat bijdraagt aan verbeteringen in het voedselweb en in de ruimtelijke diversiteit. De luwtewerking van Marker Wadden is meetbaar op de locatie van de meetpaal Marker Wadden (Figuur 4.1) en is zichtbaar op satellietbeelden. Op andere beelden wordt luwtevorming echter nog enigszins doorkruist door pluimen van troebelheid door de werkzaamheden.
- Op verdere afstand van Marker Wadden (in het Markermeer, waar de overige MWTL-meetpunten liggen) zijn nog geen veranderingen te zien die aan Marker Wadden kunnen worden toegeschreven, behalve de tijdelijke effecten van de pluimen door de werkzaamheden. Deze hebben overigens ook een positief effect, doordat deze zorgen voor extra dynamiek en productie. Deze pluinvorming vanaf Marker Wadden staat niet op zichzelf, ook de werkzaamheden aan Trintelzand en van vaargeulonderhoud en zandwinning zijn op satellietbeelden over grote afstanden zichtbaar. Aanbevolen wordt om de rol van dergelijke verstoringen, die in enigerlei vorm toch wel min of meer structureel aanwezig is, bij toekomstige systeemanalyses beter te belichten.
- Het verdient aanbeveling om de (beperkte betekenis van) eventuele stromen van voedingsstoffen van de eilanden naar het meer te zien in het licht van de toenemende kennis over interne oligotrofiering in het Markermeer. Door binding van opgelost fosfaat aan opgewerveld sediment en daaropvolgende

sedimentatie verdwijnen voedingsstoffen snel uit de waterkolom. Ook de rol van windgestuurde stromingspatronen en sedimentatie van (fosfaathoudend) slib in zandwinputten is waarschijnlijk groter dan gedacht (Werkgemeenschap Levend Markermeer). Het denken over inrichting van een verbinding tussen Oostvaardersplassen en Markermeer richt zich daarom steeds meer op kleinschalige en lokale inrichting.

- Bij het inrichten van land-water natuur wordt geadviseerd om geleidelijke en brede land-waterovergangen in voldoende luwe gebieden aan te leggen. Er zijn verschillende beheervarianten denkbaar om het verdrinken van deze land-waterovergangen te voorkomen. Dat gaat in eerste instantie vooral om het bijvullen van materiaal totdat de zetting zo laag is dat sedimentatie en inzakken in dynamisch evenwicht zijn. Zoals eerder is aangegeven is het voor de ontwikkeling van moerasnatuur belangrijk dat er een eigen peilbeheer mogelijk is, zeker in de beginfase van aanleg.
- Als gevolg van de relatief grote diepte van het Markermeer op de locatie Marker Wadden is het realiseren van ondiep water met waterplanten hier maar op beperkte schaal zinvol. Het is dan ook belangrijk om de mogelijkheden en beperkingen van deze locatie te bezien in samenhang met de kansen in andere delen van het gebied, zoals op de locatie Trintelzand en de gebieden langs de westkust.
- De luwtegebieden rond Marker Wadden kunnen worden gezien als ruimtelijke variaties in een grootschaliger gradiënt in helderheid en dynamiek van oost naar west, waarbij ook de meer geëxponeerde en troebele gebieden hun waarde hebben.

8.3.4 Recreatievaart en waterplanten

In de ondiepe delen van Marker Wadden zijn de omstandigheden gunstig voor de ontwikkeling van waterplanten.

Waterplantenontwikkeling in de ondiepe geulen tussen de eilanden is in volle gang en herbergt een functie voor vispaai, visbroed en macrofauna. Het oppervlak van de geulen en is relatief beperkt, daarom wordt geadviseerd om alleen een smalle vaargeul te maaien, indien begaanbaarheid voor recreatievaart een absolute eis is. In de haven blijft massale waterplantengroei waarschijnlijk beperkt omdat de vele schepen de bodem vaak opwoelen en het water diep is.

8.3.5 Recreatie in het vogelparadijs

Om een systeem te bereiken met kwaliteiten als vogelparadijs, wordt gestreefd naar de ontwikkeling van grootschalig moeras. Hiervoor zijn een voldoende schaalniveau, rust en isolement essentieel. Broedende grote visetende watervogels zoals lepelaar, aalscholver, reigers en mogelijk pelikanen kunnen alleen in ongestoorde situaties tot broeden komen. Daarvoor is het belangrijk dat de uiteindelijke omvang van Marker Wadden groot genoeg is, maar ook de grootte van de voor deze soorten geschikte habitat eenheden speelt daarbij een rol. Dat heeft te maken met draagkracht, maar ook met verstoringsafstanden en de kans dat nesten worden gevonden door predatoren.

Verder heeft de toegankelijkheid van het gebied voor bezoekers en onderzoekers invloed op de rust. Hoewel KIMA niet specifiek onderzoek gedaan heeft naar de verstoring van vogels door mensen, constateren de onderzoekers wel dat er verstoring optreedt. Vogels reageren hier duidelijk op, sommige soorten veel meer dan andere. Voor rietvogels zijn de afstanden waarop zij worden verstoord beperkt (zie de baardmannetjes), maar steltlopers (kluten, lepelaars) zijn veel gevoeliger evenals de meeste eendensoorten. Gewinning kan wel optreden, maar vaak in beperkte mate.

Aanbevolen wordt daarom om de verstoring zoveel mogelijk te beperken door middel van recreatieve zonering. Het instellen van een beperkt aantal gebieden waar bezoekers kunnen komen verhoogt de voorspelbaarheid in die gebieden (gewenning) en verlaagt de verstoring in andere gebieden.

Ook is aan te raden om in de toegankelijke gebieden voldoende uitzichtsmogelijkheden te bieden (zonder te veel verstoring). Dat verlaagt de behoefte van bezoekers om zich elders te wagen of aan land te gaan, wat de situatie beter te handhaven maakt. Zandstrandjes in de luwte vormen een enorme trekpleister voor kanovaarders, terwijl slikkige bodems met veel waterplanten in het geheel niet aantrekkelijk zijn, dus ook daarop kan gestuurd worden (eventueel aangevuld met goed gekozen aanleg van zandstrandjes).

Vaarroutes rondom de eilanden kunnen een probleem zijn, met name als zich in de luwte van de eilanden in de zomer ruiconcentraties van soorten als kuifeenden ontwikkelen. Vogels kunnen dan een paar weken niet vliegen en de verstoringssafstand is groot. Activiteiten zoals een rondje Marker Wadden, met voor de kust voor anker en overnachten zullen zulke concentraties verder doen verdwijnen. Deze soorten staan in het NO Markermeer onder druk (Van Rijn en Van Eerden, 2021). Ook zeer verstorend zijn (kite)surfers en jetskiërs, die bij voorkeur strikt geweerd moeten worden, met duidelijke regels en strakke handhaving. Een deel van de toegangsbeperkingen zou in de tijd gezoned kunnen worden (zo zijn er geen ruiende vogels meer in het naseizoen).

8.3.6 Vis

Voor vissen is het van belang om een mozaïek te realiseren van ondiepe en diepere delen. Deze kunnen bestaan uit brede, vegetatierijke land-waterovergangszones (voor jonge vis in het voorjaar) met in de buurt diepere delen (1-2 m) met waterplanten (van belang in de zomer). Voor vissen in het najaar en de winter zijn diepere delen in de verdere omgeving nodig, zoals de haven en zandwinputten. Het is belangrijk dat deze zones toegankelijk zijn vanuit het open water, dus geleidelijke overgangen en voldoende diepe geulen voor grotere vis om zich in het voorjaar richting de ondieptes te wagen en veilig weer naar dieper water terug te keren.



8.4 Adaptieve governance

8.4.1 Samenwerking bij aanleg

Een goede samenwerking valt of staat bij de juiste personen. Om een groot project zoals Marker Wadden in korte tijd te kunnen realiseren is het aan te bevelen om te werken met een klein en hecht team van experts die risico durven te nemen en buiten de bestaande kaders durven te opereren. Belangrijk bij het werken met een klein projectteam en in een hoog tempo is wel dat er voldoende aandacht moet zijn voor regelmatige terugkoppeling van de voortgang en de geleerde lessen in de moederorganisaties, zodat deze voldoende meegenomen worden in het proces en er optimaal geleerd kan worden voor toekomstige soortgelijke projecten.

Verder heeft het meerwaarde dat het projectteam Marker Wadden en de opdrachtnemer aan één doel samenwerken, namelijk de aanleg van eilanden van een hoge kwaliteit, en daardoor publiciteit en aanvullende financiering realiseren. Daardoor ontstaat vertrouwen en het geld besteed aan de kwaliteit in plaats van het secundair voldoen aan de eisen.

Om te waarborgen dat de oplevering van het project en het beheer ervan goed op elkaar aansluiten, is er drie jaar uitgetrokken voor de overgang naar de beheerfase: 2 jaar voor de formele overdracht op 1 januari 2021 en 1 jaar erna. Uit gesprekken met de respondenten blijkt dat de beheereenheid van Natuurmonumenten en de districtorganisatie van RWS graag nog eerder betrokken waren geweest om mee te kunnen denken over de inrichting van het gebied en om elkaar binnen de complexe organisatie van het project beter te leren kennen.



Om meerdere redenen konden de lessen uit KIMA over de aanleg-fase, niet allemaal op tijd worden meegenomen bij de aanleg van de eerste eilanden. Dat had te maken met de ‘late’ oprichting van het KIMA (2018), de tijd die het duurt voordat onderzoeksresultaten beschikbaar kwamen en het aanvankelijk ontbreken van vertrouwen en verschillende verplichtingen tussen de kennispartijen, het projectteam Marker Wadden en de opdrachtnemer. Dit hinderde de gewenste flexibiliteit en adaptiviteit, omdat nieuwe wetenschappelijke inzichten niet meteen gekoppeld konden worden aan de realisatie.

Voor het creëren van de nieuwe eilanden, is het implementeren en in acht nemen van de lessen die uit KIMA voortvloeien wel mogelijk. Om frustratie te voorkomen is het voor het vervolg van belang dat de opdrachtgever en kennispartijen voldoende inzicht en begrip hebben voor elkaars belangen, doelen en werkwijzen en dat waar mogelijk kennisontwikkeling samen opgepakt wordt. Hierdoor kunnen kennis en uitvoering elkaar beter aanvullen en ondersteunen.

Het is van belang voor een kennis- en innovatieprogramma om bij het opzetten en uitvoeren van nieuwe projecten eerst te inventariseren bij alle belanghebbende partijen:

- Wat zij willen leren van het project;
- Hoe ze deze kennisontwikkeling vorm willen geven;
- In welke fase van het project de kennis wordt toegepast (directe toepassing in het huidige project of als input voor toekomstige projecten en/of opschaling)

Om kennisontwikkeling en aanleg beter te integreren, dient het kennisdoel al gedefinieerd te worden in de fase van contractvorming; de kennispartijen moeten hier al aan tafel zitten.

8.4.2 Participatieve monitoring

Het betrekken van het publiek via participatieve monitoring en via een programma voor scholieren is erg goed bevallen. Er wordt geadviseerd om hiermee door te gaan na afronding van KIMA. Het is belangrijk om de betrokken vrijwilligersnetwerken een plek te geven in de onderzoeksprogrammering, zodat de juiste randvoorwaarden voor effectief vrijwilligerswerk kunnen worden geschept. De insectenmonitoring illustreert dat; niet alleen de werving van nieuwe vrijwilligers is belangrijk, maar ook de logistieke randvoorwaarden moeten op orde zijn, zoals voldoende opslagcapaciteit van de monsters en een locatie voor microscopen en naslagwerken verdienen aandacht.

Natuurmonumenten zou graag een meerjarig educatieprogramma uitwerken, zodat elk jaar een groep scholieren of studenten aan hetzelfde onderwerp werkt en er een meerjarig inzicht ontstaat. In september 2021 is er al een eerste veldwerkweek geweest met studenten van de TUD die morfologisch onderzoek deden. Het voorstel is om dit jaarlijks te herhalen.

Het advies is om dit ook met scholieren te doen, waarbij zij onder begeleiding van deskundigen en een docent bijdragen aan ‘real life’ (echt) onderzoek. Dit kan eerst in de vorm van een pilot met één school plaatsvinden. Om het educatieprogramma mogelijk te maken zou contact kunnen worden gezocht met docentverenigingen (aardrijkskunde en biologie) en met de hogescholen en universiteiten die grotendeels ook al aan KIMA zijn verbonden. Een wedstrijd tussen verschillende scholen behoort ook tot de mogelijkheden. Websites zoals waarneming.nl, maar ook GLOBE (natuurkalender.nl en waterdiertjes.nl) kunnen worden gebruikt in een programma voor scholieren. Naast scholieren en studenten kunnen ‘summer schools’ worden ingezet om in korte tijd veel

waarnemingen te doen en Marker Wadden als locatie voor veldpracticum verder te benutten. Voor de studenten van landschapsarchitectuur (academie voor bouwkunst) is al twee jaar een ‘summer school’ georganiseerd.

8.4.3 Financiering

De ecosysteemdiensten die eilanden leveren bieden kansen voor private cofinanciering. Om deze vorm van financiering voor de aanleg van nieuwe eilanden aan te trekken, is het van belang om de taal van de investeerder te spreken en te weten welke doelstellingen voor een investeerder belangrijk zijn. Als tegenprestatie voor financiering moet het belang van de investeerder duidelijk onderdeel zijn van de doelstelling van het project en aantoonbaar zijn door het mee te nemen in het monitoringsprogramma.

Aanbevolen wordt om in de uitvoering te sturen op de levering van diensten in plaats van objecten, om ook op de lange termijn de doelstellingen te kunnen halen. Om te kunnen sturen op de levering van diensten, is een meerjarige monitoring van deze diensten essentieel. Verder is het van belang om te bespreken wat de onzekerheid is rondom de levering van diensten, hoe de risico's verdeeld worden en hoe hier procesmatig tijdens de uitvoering mee omgegaan zal worden.

Wanneer er verschillende diensten worden nagestreefd, bijvoorbeeld zowel recreatie als de verbetering van flora en fauna, is het noodzakelijk om vooraf een hiërarchie vast te stellen. Daarmee wordt duidelijk welke dienst voorrang krijgt en welke dienst moet wijken als het systeem zich anders gedraagt dan verwacht. Dit is zeker ook belangrijk als er cofinanciering gekoppeld is aan specifieke diensten.

9

Het leren binnen KIMA

Dit hoofdstuk beschrijft lessen van KIMA. Daarbij gaan we onder andere in op wat we geleerd hebben over het bouwen van de eilanden, de pioniersituatie, over de effecten op het Markermeer en over governance. Vervolgens beschrijven we wat er nog te leren valt, want Marker Wadden ontwikkelt verder en er resteren nog onderzoeksvragen. Tenslotte laten we zien wat de consequenties van KIMA zijn voor de kennispositie van Nederland.



9.1 Wat hebben we geleerd?

9.1.1 Lessen Bouwen met slib en zand

Lessen uit het onderzoek van de slibcompartimenten

- Tijdens deze pilot bleken de volgende parameters het belangrijkste te zijn voor het consolidatieproces: dikte van de sedimentlaag (=TDS, oftewel Ton Droge Stof), dikte van de droge laag (korst) en waterstandschommelingen.
- Door de grootte van de compartimenten en de dichtheid en samenstelling van het slib verspreidde het slib zich heterogeen door de compartimenten.
- Specifieke bodemkenmerken (percentages zand/klei/slib, organisch gehalte, pH) op een locatie in de compartimenten bepalen uiteindelijk het consolidatiegedrag.
- Binnen de fysische processen van bezinking, consolidatie en uitdroging treden complexe interacties op tussen verschillende parameters. Veranderingen in omgevingscondities hebben mogelijk invloed op verschillende parameters, wat ertoe kan leiden dat processen wijzigen of opnieuw starten.
Voortdurende veranderingen in forcering kunnen resulteren in een toe- of afname van de dichtheid en dus de totale hoogte. Naast sedimentatie, consolidatie en korstvorming is ook zetting van de ondergrond een belangrijk proces, met name na enkele jaren wanneer de andere processen grotendeels zijn voltooid en zetting dominant wordt.

De lessen met betrekking tot de uitvoeringsmaatregelen zijn weergegeven in onderstaande tabel. Deze lessen zijn gebaseerd op de ervaringen vanuit zowel de reguliere compartimenten als de slibcompartimenten.

Maatregel	Lessen vanuit Marker Wadden
Vullaagdikte, vulfrequentie en wachttijd tussen vulslagen	Een grote vulhoogte heeft de volgende nadelen: • Vereist grote volumes in één keer → vereist hoge ringdijken en grote ondersteunende volumes van b.v. zand; • Moeilijk te sturen naar de uiteindelijke maaiveldhoogte. Te veel → te hoog, te weinig → te laag; • Bij het vullen van een bassin moet er proceswater uitstromen. Bij één grote vulslag zijn er meer verliezen van de fijne fractie uit het bassin dan bij meerdere kleine vulslagen. Het gebruik van meerdere vulslagen geeft meer flexibiliteit om tot de beste oplossingen te komen. Met één laag zijn er minder opties om het proces te sturen.
Dichtheid van vulmateriaal	De dichtheid neemt af met de afstand tot het vulpunt. In eerste instantie zorgt dit voor niveauverschillen, maar door natuurlijke processen (zoals golfbewegingen boven onder water liggend slib) kan dit later worden geëgaliseerd, waardoor een vlakker maaiveld ontstaat. Voor natuurprojecten zijn niveauverschillen nodig om habitatdiversiteit te krijgen. Voor ander type projecten (bijvoorbeeld landaanwinningen voor havenbouw of huisvesting) kan dit ongewenst zijn.
Samenstelling vulmateriaal (% zand) Organisch materiaal → Mineralogie	Het percentage klei neemt toe met de afstand tot de vulpunten. Dit heeft ook een relatie met dichtheidsprofielen. Voor natuurprojecten is een beperkt zandpercentage van belang. Er is namelijk slib en organisch materiaal nodig voor goede habitatgeschiktheid.
Peilbeheer	Peilbeheer is één van de krachtigste stuurparameters om tot de gewenste eindsituatie te komen en de processen (consolidatie, rijping en vegetatieontwikkeling) te beheersen.
Vegetatieontwikkeling	Voor de ontwikkeling van de vegetatie is peilbeheer en bescherming tegen etende vogels van belang. Het waterpeil in de bassins bepaalt de voorwaarden voor vegetatieontwikkeling.
Planning van rijping toplaag	Korstvorming (rijping van de toplaag) gaat snel in de lente en zomer. De maximaal waargenomen korstdikte over een langere periode is enkele decimeters.
Bodemligging compartimenten	• Het koppelen van meerdere vulbassins is een efficiënte manier om het fijne sediment (bouw materiaal) in het systeem te houden. Voor het vullen van bassins is proceswater nodig dat eruit moet. Als er maar één bassin wordt gebruikt, zal fijn sediment uitstromen en niet efficiënt worden gebruikt voor landaanwinning. • Zelfs met relatief kleine compartimenten (in vergelijking met de grote ‘gewone’ Marker Wadden bassins), ontwikkelt zich een aanzienlijke heterogeniteit in dichtheid en sedimentsamenstelling over één compartiment. Indien dit ongewenst is, zijn zeer kleine bassins nodig, wat kan leiden tot inefficiënt gebruik van indammingsmateriaal. • In grote compartimenten is de controle van het peil moeilijker. Ook worden er meer golven opgewekt, wat zorgt voor erosie van dijken. Als dynamiek belangrijk is (reliëf, golven, stroming) dan zijn grote compartimenten beter.
Eigenschappen ondergrond (dikte, samenstelling, etc.)	De zetting van de ondergrond als gevolg van de belasting van een sliblaag (of een zandlichaam) is een belangrijk aandachtspunt. Dit is mede afhankelijk van de lokale eigenschappen en ontwatering van de ondergrond

De zandige randen bieden voldoende stabiliteit om de achterliggende slibrijke eilanden te beschermen, ook bij zwaardere stormomstandigheden. Lokaal kan er wel zijdelings zand verloren gaan als gevolg van ruimtelijke verschillen in het jaargemiddelde langstransport van materiaal. De aanwezigheid van stromingen speelt hierbij een belangrijke rol, met name op het Noordstrand.

De eilanden van slib ontwikkelen snel na vulling een stevige korst. Hierdoor kunnen ganzen de eilanden betreden (sneller dan verwacht in de ontwerpfase) en zich voeden met de aanwezige vegetatie. Met name de gewenste rietontwikkeling kan hierdoor worden vertraagd. Ganzen blijven uit de directe buurt van hoger opgaande vegetatie die hen het zicht op de omgeving ontnemt. Moerasandijvie en rode ganzenvoet blijken hiervoor te zorgen: in de directe omgeving blijven ganzen weg en ontwikkelt het riet veel beter. Ook hogere rietkragen, gecreëerd met tijdelijke vraatbescherming en/of door snelle ontwikkeling middels wortelstokken, vervullen deze functie. Door zaadverspreiding van hieruit zou de rietbegroeiing zich op een natuurlijke wijze kunnen gaan uitbreiden.

Het effect van riet op de consolidatie van het sediment is gering door de gebrekkige ontwikkeling ervan. Riet is belangrijk voor het vasthouden van slib door sterke en diepe doorworteling en het tegengaan van erosie. Aanwezigheid van riet vertraagt de groei van wilgen. Wilgen kunnen ook erosie tegengaan, maar het doel is een stabiel rietmoeras te ontwikkelen en daarmee is dominantie van wilgen ongewenst.

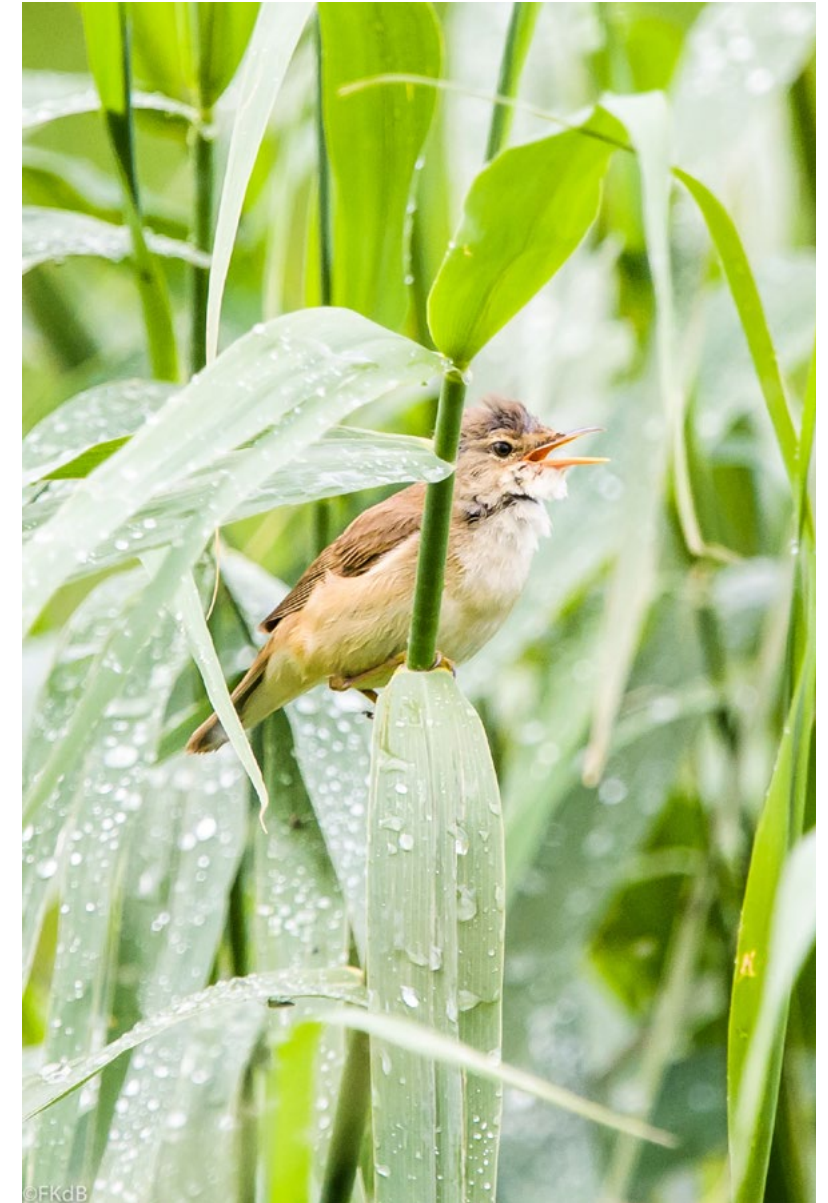
Het waterpeil bepaalt in belangrijke mate de ontwikkeling van moerasvegetaties. Peilbeheer bleek een belangrijke stuurparameter te zijn voor de ontwikkeling van de vegetatie op de eilanden. Het peilverloop van het Markermeer is in het voordeel

van wilgen en in het nadeel van riet, waardoor snelle verbossing dreigt. Door de kades rond de eilanden langer gesloten te houden kan er met behulp van een mobiele pomp en een aflat een eigen – op de vegetatieontwikkeling afgestemd – peilverloop binnen de eilanden gerealiseerd worden. Daardoor kan de gewenste dominantie van moerasvegetatie worden gerealiseerd, al dan niet in combinatie met de introductie van riet en lisdodde

In de slibgeul, de winputten en de luwte tussen Marker Wadden en de Houtribdijk sedimenteert extra slib ten opzichte van de situatie voor de aanleg van Marker Wadden. In de luwte achter Marker Wadden (richting de dijk) bedraagt deze aanslibbing ca. enkele cm per jaar. De slibgeul slibt tot ca. 40 cm per jaar aan en de winputten zelfs tot ca. 80 cm per jaar. Dit slib is erg dun en heeft een extreem lage bulkdichtheid van ca. 1100 kg/m³. In totaal gaat het omgerekend om circa 200 kiloton droge stof per jaar. Dit slib is in principe bruikbaar voor onderhoud van Marker Wadden. Als 200 kiloton over 600 ha wordt verspreid, resulteert dit in ca. 35 kg slib/m², hetgeen na consolidatie een laagdikte van ca. 5 cm geeft. Dit zou voldoende moeten zijn om op de langere termijn restzetting te compenseren, maar onvoldoende om de huidige zettingssnelheid als gevolg van de aanleg te compenseren.

9.1.2 Flora en fauna in de pioniersituatie

- Het is mogelijk om met zand en slib een habitat te creëren dat aantrekkelijk is voor vogels en vissen. Door het bouwen met voedselrijk slib ontstaat direct een aantrekkelijk voedselhabitat voor veel vogels (en bodemfauna en insecten). Er is dus een directe reactie van de habitat op de aanleg.
- De open pioniershabitats zijn kort na de aanleg (voordat opgaande vegetatie zich ontwikkelt) geschikt voor grondbroeders zoals visdieven, kluten en plevieren.





- Het open landschap van Marker Wadden zorgt ervoor dat vogels gevoelig zijn voor verstoring door recreatie (wandelaars en boten), werkzaamheden en onderzoekers. Naarmate eilanden meer met rust worden gelaten benutten meer vogels de eilanden. Dat verschilt per soort. Een zekere mate van gewenning kan optreden, maar voor veel vogelsoorten zien we een negatieve relatie met menselijk medegebruik van de eilanden.
- Luwe, beschutte zijden van de eilanden die bestaan uit ondieptes en geleidelijke land-waterovergangen worden snel spontaan gekoloniseerd door emergente plantensoorten zoals moerasandijvie en rode ganzenvoet en door (middels zaad of wortelstokken) geïntroduceerde soorten zoals lisdodde en riet (voor zover vraat door ganzen dat niet vertraagt).
- Onderwatervegetatie zoals fonteinkruiden, kranswieren, aarvederkruid en zannichellia volgen na ruim een jaar. Het mozaïek aan habitats op een voedselrijke bodem zorgt voor een hoge productie aan macrofauna en plankton die de voedselbasis vormen voor jonge vis en op hun beurt voor vogels. Ook zorgt de explosie aan waterplanten voor een hoge zaadproductie die benut wordt door herbivore watervogels.
- In het gebied ten westen van Marker Wadden, dat sterker wordt beïnvloed door stroming en golven, wordt de bodem juist zandiger. Het zand kan zowel afkomstig zijn van de aanleg van de zandige randen bij Marker Wadden als van de zandige versterkingswerkzaamheden bij de Houtribdijk.

9.1.3 Effecten op Markermeer niveau

- Marker Wadden zorgt voor luwte-effecten rondom de eilanden. Er is minder zwevende stof en de samenstelling van het zwevende stof is gunstiger voor de productiviteit in de hogere regionen van de pelagische voedselketens. Dat komt doordat de primaire productie beter beschikbaar is voor watervlooien en mosselen, die weer vissen en vogels voeden. Als het door-



zicht van het Markermeer lokaal toeneemt, kan de ruimtelijke variatie in productiviteit toenemen. Gradiënten in helderheid zijn daarbij eveneens van betekenis.

- De werkzaamheden aan de eilanden en de uitstralingseffecten van zandwinning en dijk aanleg spelen een grote rol in dynamiek van vertroebeling. Er ontstaan nieuwe gradiënten en er komen voedingsstoffen vrij, doordat gebaggerd materiaal een hogere nutriëntenconcentratie heeft dan de toplaag van het Markermeer. Dit is ook het geval bij opwerveling door wind of door meer reguliere werkzaamheden, zoals zandwinning en vaargeulonderhoud. Door de werkzaamheden aan Marker Wadden, maar ook aan Tintelzand, zijn deze effecten echter tijdelijk fors versterkt. Het KIMA-onderzoek geeft voor het eerst een indruk van de relatie met de basis van het voedselweb. In combinatie met de beperkte aanvoer en circulatie van voedingsstoffen wordt die relatie nu niet meer louter negatief beoordeeld.

- In het gebied dat is beïnvloed door de aanlegwerkzaamheden bleek de dichtheid aan draadvorming zwavelbacteriën hoog te zijn. Deze bacteriën vormen matten op de bodem die een groot aandeel hebben in de primaire productie (via chemosynthese, dus zonder licht) van het systeem en anderzijds effect hebben op de rest van het bodemleven en de mate van opwerveling van het sediment. De rol van deze bacteriën in het voedselweb is nog onduidelijk; er konden geen aanwijzingen worden gevonden voor consumptie door vis.
- In het gebied ten westen van Marker Wadden, dat sterker wordt beïnvloed door stroming en golven, wordt de bodem zandiger. Het zand kan zowel afkomstig zijn van de aanleg van de zandige randen bij Marker Wadden als van de zandige versterkingswerkzaamheden bij de Houtribdijk.
- Het gebied, ruwweg tussen Marker Wadden en Marken, was in 2016 relatief arm aan bodemfauna (zowel qua biomassa als qua diversiteit). Wormen en muggenlarven waren relatief goed vertegenwoordigd en op basis van de samenstelling van de bodemfauna was de potentiële graaf-activiteit (bioturbatie) relatief hoog. Tussen 2016 en 2019 – dus tijdens de aanleg van Marker Wadden – is dit gebied gekoloniseerd door mosselen. In dieper water rond Marker Wadden was dit tijdens de aanleg ook het beeld. In ondiep water is in een nieuw habitat echter een meer diverse gemeenschap ontstaan, met bijvoorbeeld meer kleine kreeftachtigen zoals vlokreeftjes en aasgarnalen. Deze gemeenschap lijkt op de macrofauna van soortgelijk habitat langs de westkust van het Markermeer.
- Er zijn aanwijzingen dat veranderingen in dynamiek – zoals in windsterkte, stormfrequentie, bodemwoeling door vis of werkzaamheden – mogelijk grote gevolgen kunnen hebben voor de bodemgemeenschappen en daarmee voor het functioneren van het watersysteem Markermeer. De kennisontwikkeling binnen KIMA en de Werkgemeenschap Levend



Markermeer is belangrijk geweest bij het begrip van deze processen.

- Eilanden hebben een grote aantrekkingskracht op een groot aantal vogelsoorten, omdat deze hier zowel predatorvrije broedgebieden als foerageergebieden vinden. Voor een productiever Markermeer, waarbij voedingsstoffen vanuit Marker Wadden ten goede komen aan de voedselketen elders in het Markermeer, is opschaling belangrijk. Dit kan hetzij door de bestaande oppervlakken optimaal te beheren, hetzij door de eiland(groep)en met productieve land-waterovergangen aanzienlijk uit te breiden.
- Natura 2000-doelen: van de soorten met een Natura 2000-instandhoudingsdoel in het Markermeer-IJmeer zijn er vier die een matige staat van instandhouding hebben. Vooralsnog heeft Marker Wadden alleen voor de Smient wat verbetering opgeleverd, al is het doel nog niet bereikt. Marker Wadden levert wel een belangrijke bijdrage aan de landelijke Natura 2000-doelen door habitats te bieden voor soorten zoals visdief, kluut, bontbekplevier (>10%), kleine plevier, strandplevier, zwartkopmeeuw, kokmeeuw, dwergstern en oeverwaluw. Bij de trekvogels ('niet-broedvogels') is de meeste winst behaald bij vogelsoorten die voor het Markermeer nog geen instandhoudingsdoel hebben zoals krakeend, slobbeend, tafeleend of lepelaar.
- Marker Wadden werken als een stepping stone naar andere plasdrasgebieden in de omgeving. De vogels van Marker Wadden gebruiken een groot gebied. Vogels van diverse soorten pendelen tussen broed- rust- en foerageergebieden in verschillende delen van het Markermeersysteem en zelfs daarbuiten. Deze ruimtelijke component draagt bij aan de biodiversiteit van de regio.
- De voedselrijke land-waterovergangen, in combinatie met dieper (plantenrijk) water rond Marker Wadden, zijn aantrekkelijk voor

jonge vis. Daarnaast vervullen diepere, beschutte waterpartijen – zoals de haven en diepe zandwinputten rond Marker Wadden – een belangrijke rol als refugia voor zowel kleine als grote vis.

- In andere reeds aangelegd natuureilanden binnen het IJsselmeer zien we dat door het relatief vaste peil intensief vegetatie-beheer nodig is. Alleen op die manier is de groei van wilgen tegen te gaan en kan een pionierfauna (o.a. visdiefkolonie) in stand blijven. Een voorbeeld is de Kreupel in het IJsselmeer, waar jaarlijks vegetatie wordt verwijderd. Maar ook dan kan de voorkeur van de vogels uitgaan naar nieuw aangelegde habitats. Zo waren er in het verleden verschuivingen zichtbaar van reeds bestaande kolonies naar de Kreupel, vervolgens van de Kreupel naar proefeiland Ierst en vandaaruit nu ook naar Marker Wadden. De vorming van een nieuwe kolonie betekent dan ook niet noodzakelijk een even grote toename van de regionale populatie.

9.1.4 Governance

- De samenwerking tussen Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat was een nieuwe en succesvolle vorm van publiek-private samenwerking. Dat het initiatief voor zo'n groot waterbouwkundig project werd genomen door een natuurorganisatie was vernieuwend. Bij de samenwerking had het een meerwaarde dat beide organisaties zo verschilden en dat de taken werden verdeeld op basis van kernkwaliteiten.
- Participatieve monitoring bleek een kansrijke manier te zijn om draagkracht te creëren voor natuurontwikkeling en om gegevens te verzamelen voor onderzoek en monitoring. Er liggen ook in de toekomst kansen om vrijwilligers, scholieren en bezoekers blijvend te betrekken bij dataverzameling op Marker Wadden, in aanvulling op de basis van reguliere, gestandaardiseerde monitoring.

- Het toepassen van nieuwe gegevens die voortvloeien uit onderzoek bij aanlegprojecten is een uitdaging. Om zowel de kennisontwikkeling te faciliteren als de uitvoering te ondersteunen, moeten daarvoor vooraf goede afspraken worden gemaakt. Dit kan op meerdere manieren worden aangepakt, maar in alle gevallen is het belangrijk dat de partijen die betrokken zijn bij het onderzoek en de aanleg vanaf het begin inzicht hebben in elkaars belangen, doelen en werkwijze.
- Op dit moment is het uiteraard nog lastig om te zien wat de bijdrage van Marker Wadden op de kennispositie van Nederland is, maar er is veel potentie voor de toekomst. Naast wetenschappelijke en technische kennis heeft project Marker Wadden kennis opgeleverd over de realisatie van het concept. Zowel publieke als private partijen kunnen deze kennis internationaal toepassen, bijvoorbeeld in grote meren en afgedamde rivieren en zeearmen. In veel gebieden moet het creëren van nieuw land economische belangen dienen. Het creëren van nieuwe natuur zoals op Marker Wadden zal in de meeste situaties geen (primaire) doel zijn van het project. Leg daarom in de communicatie de nadruk op de innovatieve samenwerking, de technische kennis over het bouwen met slib en het meenemen van recreatie in het ontwerp.
- Het concept Marker Wadden biedt een combinatie van veel waardevolle ecosysteemdiensten, waar zowel publieke als private partijen belang bij hebben. Voorwaarde is dan wel dat er gestuurd kan worden op de levering van die diensten die van belang zijn voor de publieke en private (mede)investeerders, zowel bij de voorbereiding en uitvoering van het project als tijdens de exploitatiefase. Transparante afspraken over de verdeling van risico's en de monitoring van afgesproken prestatie-indicatoren gedurende de gehele levenscyclus van het project zijn essentieel.

9.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

KIMA heeft onderzoek gedaan naar de eerste ontwikkelingen op Marker Wadden en naar de invloed van de eilanden op het Markermeersysteem. Daarmee is het verhaal nog niet af, want de ontwikkelingen gaan door. Deze paragraaf schetst daarom aanbevelingen en kennisvragen voor de toekomst.

9.2.1 Bouwen met slib

Om onbeantwoorde kennisvragen te beantwoorden wordt aanbevolen om de volgende activiteiten uit te voeren:

- Het toepassen van de tot geleerde lessen vanuit KIMA op het beheer en onderhoud van Marker Wadden en op het ontwerp van toekomstige uitbreidingen.
- Voortgaande monitoring van de hoogte- en dichtheidsontwikkeling van de sliblaag en met name de invloed van korstvorming en peilbeheer hierop. De huidige meetreeks neemt verder in waarde toe naarmate de reeks langer wordt. Op dit moment hebben fysische, chemische en biologische processen nog geen evenwicht bereikt.
- Onderzoek naar de toepassing van dunslib uit slibgeul en winputten. Dit oorspronkelijke doel van KIMA is nog niet gerealiseerd, maar inmiddels bevatten deze geul en putten veel slib en ligt het voor de hand om dit te benutten voor onderhoud van Marker Wadden.
- Monitoring van de invloed van het openen van de reguliere compartimenten op de uitwisseling van slib tussen het Markermeer en deze compartimenten. Is er sprake van netto import van slib (bij voldoende luwte en stabiliteit) of juist export (bij te vroegtijdige openstelling)? Wat is het optimale moment van openstelling, mede i.v.m. behoud van rietvegetatie?

- Onderzoek naar de rol van de geulen en putten rond Marker Wadden als eventuele sinks in de fosfaatbalans van het Markermeer. Als deze rol substantieel blijkt te zijn, kunnen ook de stofstromen vanuit de Marker Wadden naar het Markermeer worden beïnvloed.
- Hoe kan de rietontwikkeling optimaal afgestemd worden op de vulstrategie? Tot op heden is de rietontwikkeling regelmatig ‘opgeofferd’ voor extra vulslagen.
- Hoe kan op de langere termijn een vitale rietvegetatie behouden worden en verbossing voorkomen worden? Mogelijk kunnen toekomstige vulslagen – die worden uitgevoerd voor behoud van de hoogteligging van de eilanden – hieraan bijdragen, doordat de successie wordt teruggezet.



9.2.2 Bouwen met zand

Over dit thema resteren de volgende kennisleemten:

- Inzicht in de profielvormen aan de noordzijde van Marker Wadden. Een van de belangrijkste doelen van KIMA was het verkrijgen van inzicht in het effect van de waterstanden en golfwerking op de profielvorm van de zandige randen. In de meest optimale situatie zou daarbij ook inzicht zijn verkregen in de profielvormen aan de noordzijde van Marker Wadden. Het bleek namelijk dat de correlatie tussen waterstand en golf-aanval hier sterk afweek van de andere zijde van Marker Wadden. Aan de noordzijde bleek golfaanval samen te gaan met een verlaging van de waterstand, terwijl dit aan de andere zijde niet zo is. Dit is om meerdere redenen niet gelukt, waardoor kennisontwikkeling over dit thema nog steeds gewenst is. Deze kennis is ook van belang in het kader van de discussie over de aanwezigheid en het niveau van het zogenaamde plateau dat voor de stranden wordt gevonden.
- Het op termijn handhaven van de zandige randen – en meer specifiek de waterlijn – op de gewenste positie, rekening houdend met de effecten van de zetting. Tijdens het project is de rol van de zandige randen aangepast. In eerste instantie waren de zandige randen primair bedoeld om het achterliggende gebied met slibeilanden te beschermen en lag de focus op het aanwezige volume. Na aanleg nam de waardering voor de natuurlijke rand zelf toe, waardoor de rol ervan is aangepast en de vraagstelling is gewijzigd.
- De rol van de duinen. Dit is niet onderzocht binnen KIMA. Hier ligt nog een kennisvraag: wat is de rol van de duinen voor de natuurwaarde en de bescherming van de eilanden?
- Het onderwaterlandschap. Dit speelt waarschijnlijk ook een rol bij het breken van de golfaanval. Hierover ontbreekt nu ook nog kennis.



9.2.3 Ecosysteem van waarde

De onderzoeksresultaten die in deze rapportage zijn gepresenteerd, laten zien dat het ecosysteem nog volop in ontwikkeling is en zich in de pionierfase bevindt. De beoogde moerasontwikkeling komt nog maar net op gang. De werkzaamheden voor de aanleg van Marker Wadden blijken de ontwikkeling van het systeem te hebben beïnvloed, niet alleen ter plekke van de werkzaamheden maar ook op grotere afstand van de eilanden, door het transport van opgewerveld sediment. Om te volgen in hoeverre de ontwikkeling van Marker Wadden aan de vooraf gestelde doelen voldoet en hoe de werkzaamheden kunnen worden vervolgd, is het dus van belang om de monitoring voort te zetten.

Voor beheer en onderhoud is het verder van belang om aanvullend lokaal onderzoek uit te voeren, bijvoorbeeld over de afstemming tussen natuur en recreatie en over de sturing van de fasen van moerasontwikkeling. Verder impliceert de ‘learning-by-doing’ benadering die voor een aantal aspecten van het beheer wordt gevolgd –bijvoorbeeld wat betreft het peilbeheer en de timing van de opening van de compartimenten –een zekere mate van monitoring en interpretatie van actuele gegevens. Ook op watersysteemniveau liggen er nog vragen, bijvoorbeeld over stofstromen en de ruimtelijke samenhang met andere deelgebieden en projecten.

Monitoring

Monitoring is op twee manieren van belang: enerzijds voor het volgen van de ontwikkelingen in relatie tot de gestelde doelen (voorbij de pioniersstadia), anderzijds om behaalde resultaten te toetsen aan beoordelingssystemen zoals de maatlatten van de KRW. Aanbevolen wordt de volgende ontwikkelingen te (blijven) monitoren:

- De ontwikkelingen richting een ‘vogelparadijs’ na de pionierfase. Hiervoor is het gewenst om de tellingen van broedvogels en niet-broedvogels voort te zetten en het broedsucces van sleutelsoorten te monitoren.
- Moerasontwikkeling, door het herhalen van remote-sensing opnames cf Witteveen + Bos. Op termijn opname in MWTL ecotopenkartering.
- Waterplanten, voorlopig via het herhalen van de detailkarteringen, op termijn door de opname van de relevante gebieden rond Marker Wadden in de driejaarlijkse MWTL-kartering en het KRW-meetnet.
- Macrofauna, door opname van relevante locaties in het KRW/MWTL meetnet.
- Vis. Voorlopig door de ontwikkelingen paai- en opgroeigebieden in nieuwe habitats te volgen en de betekenis daarvan voor de visstand en voor de voedselsituatie van vogels. Op termijn opname van relevante gebieden rond Marker Wadden in de WMR/ MWTL vismonitoring in oevergebonden habitats.
- Waterkwaliteit, door het handhaven/ herstel van de MWTL-meetlocatie Marker Wadden.

Lokaal onderzoek

- Op lokale schaal wordt het aanbevolen om onderzoek uit te voeren dat een antwoord geeft op vragen over de relatie tussen natuurdoelen, recreatie en toegankelijkheid. Het gaat hierbij zowel om recreatie op de eilanden zelf als om vaarbeweging en aanlegpunten.
- Voortzetting van het onderzoek naar de relatie tussen peilbeheer en moerasontwikkeling (inclusief timing van opening ringdijken) in combinatie met maatregelen zoals beplanting en het voorkomen van overmatige graas.

Aanbevelingen voor onderzoek op het gebied van de ruimtelijke samenhang

- Voorzetting van onderzoek naar de rol van stofstromen vanuit de eilanden voor de productie in het Markermeer.
- Continuering van het onderzoek naar de ontwikkeling van luwtegebieden (na voltooiing van werkzaamheden) en hun betekenis voor de productiviteit en het voedselweb van het Markermeer. Dat kan via remote-sensing in combinatie met modellering en veldmetingen (o.a. primaire productie).
- Onderzoek naar de aard en chemische samenstelling van de baggerpluim die ontstaat bij werkzaamheden.
- Analyse van de ruimtelijke diversiteit van waterkwaliteit en productiviteit op systeemniveau. Het gaat onder andere om de betekenis van lokale variaties in de grootschalige oost-west gradiënten en de rol van variaties in de windgedreven waterbewegingen.
- Onderzoek naar de ruimte die vissen en vogels op watersysteem- of landschapsschaal gebruiken en de betekenis van de ruimtelijke spreiding van habitats daarin (stepping stones, cyclische beschikbaarheid van essentiële habitats).
- Een nog geheel openstaande vraag is hoe het IJsselmeer zich ontwikkelt van voorheen een rijk meer tussen IJssel en Wadden-zee naar een systeem dat de laatste jaren kampt met niet goed begrepen zeer matige ontwikkelingen in visstand en benutting door vogels. De van nature grote variatie in waterdiepte (van ondiepe zandbanken tot oude stroomgeulen) en in helderheid (van heldere riviermonding in het zuiden tot matig troebel geulengebied in het noorden) zouden gunstige randvoorwaarden kunnen zijn, maar het effect op het voedselweb is nauwelijks bekend (en nauwelijks onderzocht). De directe link van Marker Wadden met het IJsselmeer via broedende visdieven die sterk aangewezen zijn op voedselbronnen in het IJsselmeer is daarbij interessant.

9.2.4 Adaptieve governance

Voor dit thema worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Het uitvoeren van onderzoek naar de governance van de beheerfase. De samenwerking in de aanlegfase is binnen het thema Adaptieve governance uitgebreid onderzocht. Er is echter ook veel te leren van de samenwerking in de beheerfase. Aanvullend onderzoek kan inzicht geven in het beheer van nieuwe natuur en in de lessen over de verwachtingen versus de uitvoering ervan.
- Besteed aandacht aan manieren waarop het MKB kan worden betrokken en hoe hun kennis en innovaties kan worden gebruikt in het ontwerp, de aanleg en de beheerfase. Welke meerwaarde kunnen innovaties uit het MKB bieden voor Nature-Based Solution projecten?
- Er zijn vanuit PAGW en KRW meerdere projecten in het Markermeer en IJsselmeer die bouwen met slib. Welke gedeelde lessen kunnen uit deze projecten worden getrokken?
- Vervolgonderzoek naar de uitkomsten van participatieve monitoring. Natuurmonumenten is voornemens om met scholen en universiteiten samen participatieve monitoringprojecten op te zetten. Wat is de waarde van deze gegevens voor monitoring en onderzoek, en hoe draagt het bij aan de educatieve doelen van de studenten?

9.2.5 Wetenschappelijke adviesgroep

De komende jaren zijn aanzienlijke veranderingen in het directe gebied op en rond Marker Wadden te verwachten. Slechts een deel van de natuurlijke successie is enigszins voorspelbaar, maar een aanzienlijk deel zal zich ontwikkelen in een andere richting, bijvoorbeeld door fysische processen (zoals erosie, afslag, sedimentatie en inklinking) en biologische processen (zoals vegetatieontwikkeling en de kolonisatie van soorten). Daarbij zal

ook behoefte ontstaan aan adviezen over het beheer. Daarvoor is het van belang dat bepaalde processen nauwkeuriger worden gemeten of alternatieve beheersscenario's worden geanalyseerd, zodat voortschrijdend inzicht meegenomen kan worden. Het verdient aanbeveling om een beperkt budget te reserveren voor

een wetenschappelijke denktank en adviesgroep die daarin op korte termijn kan ondersteunen. Naast de werkgroep Levend Markermeer – waarin meer grootschalige ecologische processen worden bestudeerd – zou een meer hands-on ecologische adviesgroep voor Marker Wadden (en NPNL) zo'n rol kunnen vervullen.



Bijlages



Bijlage I Evaluatie onderzoeksvragen

Slibdynamiek Markermeer-1 Hoe gaat de invang van slib in geulen en putten?	
Indicator	Slibconcentratie en bodemsamenstelling
Status data	Rond Marker Wadden zijn in 2015 op 30 locaties bodemonsters genomen en op 25 locaties in 2019 en 2020. Deze meetcampagne staat bekend onder ‘scheepmetingen’. Van de bodemonsters wordt naast de fysische samenstelling (o.a. bulkdichtheid, percentage zand en slib,) ook de chemische samenstelling van de bodemonsters bepaald (o.a. organisch materiaal, nutriënten). Hiernaast zijn in de periode 2018-2021 (half)jaarlijks bodempeilingen uitgevoerd rondom Marker Wadden inclusief de slibgeul en winputten. De MWTL-meetpaal is bij Marker Wadden geplaatst en is operationeel vanaf mei 2019. Een mobiel meetframe is geplaatst op wisselende locaties in en aan de rand van de slibgeul en in de luwte achter Marker Wadden.
Uitkomst	In de slibgeul sedimenteert jaarlijks tot ca. 40 cm en in de zandwinputten tot ca. 80 cm slib. Dit slib is erg dun en heeft een bulkdichtheid van ca. 1100 kg/m³. In de luwte van de Marker Wadden wordt jaarlijks tot ca. 5 cm slib afgezet met een hogere dichtheid. Het slib in de geul en winputten kan potentieel worden benut voor het onderhoud van Marker Wadden. Het gaat jaarlijks in totaal om ca. 200 kiloton slib dat egaal verspreid over de Marker Wadden een zakking tot ca. 5 cm/jaar kan compenseren. Voor de aanleg van nieuwe eilanden is de invangsnelheid van slib onvoldoende tenzij de aanleg over zeer lange tijd (>10 jaar) wordt uitgespreid. In de luwe delen tussen de eilanden van Marker Wadden wordt het helder en hier zijn ook hoge concentraties van Daphnia’s (wijzend op hogere productiviteit) waargenomen. Hier wordt ook accumulatie van slib op de bodem waargenomen. De vierwekelijks MWTL-metingen ten oosten van Marker Wadden laten gemiddeld lagere zwevend stofgehalten zijn dan op alle omliggende MWTL-locaties. Tussen de eilanden hebben zich plaatselijk velden met waterplanten ontwikkeld, rondom de archipel niet, daar is het water nog te diep en het effect van luwte te beperkt. De analyse van remote sensing beelden laat ook zien dat luwte effecten optreden, maar beelden met westenwind en luwte ten oosten van de eilanden zijn schaars door wolkenvorming. Daarnaast laten deze beelden vooral effecten van sediment opwerveling door de aanleg zien. Het slibmodel is in 2021 geactualiseerd m.b.t. de bodemligging van het Markermeer en de aanleg van Marker Wadden. Het model is gedraaid voor de wind- en hydrodynamische omstandigheden van 2020 waardoor een directe vergelijking met monitoringdata mogelijk is. Het model is gedraaid met en zonder Marker Wadden om de invloed van Marker Wadden op de slibconcentratie en de invang van slib te kunnen onderscheiden van andere invloeden (zoals wind en golven, Trintelzand en slibpluimen tijdens aanleg). Zowel de metingen als het model laten zien dat ten gevolge van Marker Wadden er (extra) slib wordt ingevangen in de slibgeul, de winputten en in de luwte achter Marker Wadden. Ook wordt hierdoor in combinatie met de verminderde opwerveling door luwtewerking de slibconcentratie rondom Marker Wadden gemiddeld lager. Dit effect is qua sterkte en locatie sterk dynamisch en afhankelijk van de windsnelheid en – richting. Op grotere afstand van Marker Wadden (>5 km) is dit effect beperkt of afwezig. Het concentratie verhogende effect van slibpluimen tijdens aanlegwerkzaamheden is nog niet doorgerekend. Het is al wel duidelijk dat de met remote sensing waargenomen slibpluimen niet verklaard kunnen worden uit de natuurlijke slibdynamiek onder invloed van wind en golven, dus het is aannemelijk dat aanlegwerkzaamheden hiervan de oorzaak zijn.

Slibdynamiek Markermeer-2 Wat is de invloed van Marker Wadden op de slibdynamiek van het Markermeer?	
Indicator	Slibconcentratie en bodemsamenstelling
Status data	Idem vraag Slibdynamiek Markermeer-1. Voor ruimtelijke patronen zijn er 40 remote sensing beelden van 2015 tot 2017 geselecteerd en 11 beelden van 2018 t/m 2020. Beelden zijn aangevuld met modelberekeningen.
Uitkomst	De remote sensing beelden van de waterkwaliteit van het Markermeer geven, in combinatie met de in-situ data van de meetpaal, het meetframe en de MWTL-basismonitoring en het slibmodel, een goed beeld van de dynamiek van het zwevend stof in het systeem als functie van windsnelheid en -richting. Er is een video gemaakt waarin remote sensing beelden naast het slibmodel zijn gelegd en er tevens een windroos is geplot. De video laat in de tijd zien hoe de beelden het zwevend stof heeft waargenomen en het model vult de tussenliggende periodes in (per uur). Wat we nu zien zijn vooral de effecten (pluimen) tijdens de aanleg van Marker Wadden. Door werkzaamheden opgewerveld sediment verplaatst zich over grote afstanden met de wind-gestuurde stroming, vaak in zuidwestelijke richting. Dit effect verdwijnt natuurlijk na oplevering van de eilanden. Op dit moment kunnen we nog niet zeggen wat de lange termijneffecten zijn Het slibmodel is in 2021 geactualiseerd m.b.t. de bodemligging van het Markermeer en de aanleg van Marker Wadden. Het model is gedraaid voor de wind- en hydrodynamische omstandigheden van 2020 waardoor een directe vergelijking met monitoringdata mogelijk is. Het model is gedraaid met en zonder Marker Wadden om de invloed van Marker Wadden op de slibconcentratie en de invang van slib te kunnen onderscheiden van andere invloeden (zoals wind en golven, Trintelzand en slibpluimen tijdens aanleg). Zowel de metingen als het model laten zien dat ten gevolge van Marker Wadden er (extra) slib wordt ingevangen in de slibgeul, de winputten en in de luwte achter Marker Wadden. Ook wordt hierdoor in combinatie met de verminderde opwerveling door luwtewerking de slibconcentratie rondom Marker Wadden gemiddeld lager. Dit effect is qua sterkte en locatie sterk dynamisch afhankelijk van de windsnelheid en – richting. Op grotere afstand van Marker Wadden (>5 km) is dit effect beperkt of afwezig. Het concentratie verhogende effect van slibpluimen tijdens aanlegwerkzaamheden is nog niet doorgerekend. Het is al wel duidelijk dat de met remote sensing waargenomen slibpluimen niet verklaard kunnen worden uit de natuurlijke slibdynamiek onder invloed van wind en golven, dus het is aannemelijk dat aanlegwerkzaamheden hiervan de oorzaak zijn.

Slibdynamiek Markermeer-3 Kunnen we met de monitoringsgegevens het huidige slibmodel kalibreren?	
Indicator	Waterstanden, golfhoogte en slibconcentratie
Status data	Idem vraag Slibdynamiek Markermeer-2
Uitkomst	Ja dat is mogelijk. Wel was de in-situ bemonstering t.b.v. instrumentkalibratie beperkt, zodat verschillen tussen modeluitkomsten en waarnemingen niet alleen de modelonzekerheid, maar ook de meetonzekerheid kunnen worden veroorzaakt.

Bouwen met slib en zachte kering-1 Hoe kunnen we met voldoende zekerheid en kosteneffectiviteit een stabiel substraat creëren met slib?	
Indicator	Ontwikkeling bodemhoogte, dichtheid en sterkte
Status data	Vorming van een stabiel substraat wordt momenteel getest in de drie slibcompartimenten. De compartimenten zijn gevuld in zomer van 2019, later dan gepland. Er wordt echter niet het gedrag van dunslib getest maar holocene slib, dit is iets dikker. Er zijn vier meetcampagnes uitgevoerd, namelijk in november 2019, juli en oktober 2020 en in oktober 2021. De analyse van de monitoringsdata is nog niet volledig afgerond, nog niet alle labtesten van de bemonstering 2021 zijn beschikbaar.
Uitkomst	De observaties bij het slibcompartiment laten zien dat substraat met holocene slib met voldoende draagkracht (begaanbaar voor ganzen) al op korte termijn (weken) behaald kan worden, afhankelijk van begindichtheid, peilbeheer en weer. Wel ondergaat het slib in het eerste jaar een sterke zetting (> 30 cm, exclusief de snelle bezinkingsfase direct na vullen), die daarna afvlakt. Consolidatie van de sliblaag en zetting van de ondergrond spelen hierbij allebei een rol. Het beperkte volume holocene slib in compartimenten 2 en 3 beperkt het onderzoek aan droogval en vegetatie-ontwikkeling op de consolidatie. Alleen aan de randen is beperkte droogval en vegetatie-ontwikkeling. Compartiment 1 staat wel grotendeels droog, maar hierin is het slib veel zandiger. Er is dus sprake van een sterke heterogeniteit in de compartimenten, zowel qua samenstelling (dichtheid, zand- en organisch gehalte) als laagdikte na vulling. Van de oorspronkelijke laagdikte direct na vullen van ca. 4.5 m resteert nog een laagdikte van ca. 2.7 m met een drogestof gehalte >40% (bulkdichtheid >1300 kg/m³). In compartiment 1 is de dichtheid hoger vanwege het hogere zandgehalte. Om iets te zeggen over de toekomstbestendigheid (m.n. behoud van hoogte) is een langere tijdsreeks van 3 a 4 jaar nodig. Als we een uitspraak willen doen over toekomstbestendigheid van het substraat dienen we ook zonder interventie zoals vulslagen kunnen meten.

Bouwen met slib en zachte kering-2 Hoe werken de zachte (zandige) keringen onder invloed van stroming en golven in het meer?	
Indicator	Waterstanden en golfhoogte
Status data	In combinatie met LakeSide (TUD-project) is data verzameld ten aanzien van met name de golfaanval op de meetsecties. Deels onder de vlag van het Living Lab, deels met KIMA-budget. Focus van het uitgevoerde KIMA-onderzoek ligt op de vorm van dwarsprofielen (in drie meetvakken), de ontwikkeling van de drie verlaagde drempels in de zandige rand op het Zuidstrand en de vrije ontwikkeling van de zuidpunt. De gegevens zijn beschouwd tot het moment van grootschalige ingrepen (medio 2020).
Uitkomst	Inzicht in de bestudeerde processen en aanbevelingen voor toekomstig beheer. Waardevolle dataset voor de verbetering van het zogenaamde XBeach-model waarmee dit voor de Noordzeekust-omstandigheden afgeleide rekenmodel ook kan worden gebruikt voor het ontwerp en beoordelen van zandige randen/waterkeringen in het merengebied (zonder verticaal getij en zware golfaanval).

Ruimtelijke kwaliteit en ecologische processen-1	
Kan een natuurlijk voedselrijk moeras zich ontwikkelen en duurzaam in stand houden? Het gaat hierbij om het ontstaan van gradiënten in bodemsamenstelling en productiviteit, groei van water- en moerasplanten, de samenstelling en dichtheid van macrofauna en vis. Wat is de invloed van de inrichting hierbij?	
Indicator	Op Marker Wadden: macrofauna, vis (aanwezigheid jonge vis), waterplanten en moerasplanten (arealen). Bodemchemie Marker Wadden: beschikbare voedingsstoffen in de bodem (ijzer en zwavel). Aanwezigheid van grote insecten
Status data	- Bodemchemie op de eilanden zelf is gedaan door NiP, in 2018 en 2019, gebonden aan de vegetatie exclusures (nutriënten en metalen). - Macrofauna: bemonsterd op en rond MW, nog niet alles gedetermineerd - Vis: mei en september 2018 en 2019 door Sportvisserij Nederland gemonitord vanuit een boot - vooral de buitenzijde van de eilanden en de haven. WMR-monitoring (vis en larven) vanaf zomer 2019 van punten tussen de eilanden waar je met een kano kan komen. Ook een diepe put werd bemonsterd. Er zijn geen extra locaties aan bestaande MWTL-vismonitoring toegevoegd. - Waterplanten: in het MWTL-meetnet is Marker Wadden als locatie toegevoegd, elke drie jaar wordt een kartering uitgevoerd. In 2019 is de eerste opname gedaan. Daarnaast hebben we observaties door veldwerkers en hebben duikers tijdens de 1000 soorten dag waterplanten verzameld in de slibcompartimenten (anekdotisch). Tenslotte zijn in 2020 en 2021 zeer gedetailleerde karteringen van de waterplanten tussen de eilanden uitgevoerd. - Moerasvegetatie: opnames met drones en remote sensing en proof of concept ontwikkeld. - Insecten: door NiP en vrijwilligers van EIS worden vanaf 2017 regelmatig malaisevallen, potvallen en uitsluitvallen verzameld. Verdere monitoring is anekdotisch: In zomer 2018 heeft EIS een dag excursie georganiseerd en soorten (ook grotere insecten als libelles en kevers) gedetermineerd en gedocumenteerd. Waarschijnlijk wordt deze excursie in 2020 herhaald. Tijdens de 1000 soorten dag in 2021 zijn ook insecten gemonitord.
Uitkomst	Een natuurlijk moeras is onderhevig aan vegetatie successie, waarvan het verloop met name afhankelijk is van het hydrologische regime, met name peildynamiek. Omdat die in het Markermeer onvoldoende groot is, blijft moeras hier alleen in stand door middel van beheer. Dit geldt met name voor de moerashabitats, de vestiging van waterplanten met de bijbehorende vis- en macrofaunagemeenschappen is duurzamer. - De invloed van inrichting is groot: op dit moment wordt het peil alleen op eiland C nog gestuurd om groei van wilgen tegen te gaan. Het is inmiddels duidelijk dat bij vroegtijdig openstellen, d.w.z. het gelijk stellen van het peil tussen de eilanden met dat van het Markermeer, de ontwikkeling van moerasandijvie-velden naar een rietmoeras stopt of aanzienlijk wordt vertraagd. De verwachting van experts is dat wilgen vrij snel zullen opkomen. KIMA-onderzoekers zien naast peilsturing nog twee mogelijke struikelblokken voor moerasontwikkelingen: consolidatie en zetting (wegzinken) van het aangebrachte slib en ganzenvraat. - In 2021 was er ongeveer 220 ha vegetatie ontstaan op een totaal areaal van ongeveer 480 ha land. Op basis van remote sensing werd ongeveer 20 ha van die vegetatie als riet gekarakteriseerd, 11 ha als lisdodde, 34 ha als moerasandijvie, 3 ha als ganzenvoet en 6 ha als (wilgen)bos. De rest bestond uit een meersoortige pioniervegetatie. >>

- De productiviteit (groei vegetatie, primaire productie) op Marker Wadden zelf is momenteel hoog, dit was ook de verwachting omdat voedselrijke bodem (holoceen slib) in een terrestrische omgeving aan de oppervlakte wordt gebracht. Verdere ontwikkeling van de productiviteit op Marker Wadden is afhankelijk van de inrichting en ontwikkeling van waterplanten. Deze ontwikkeling is gaande. Er ontwikkelt zich een ruimtelijk gevarieerde gemeenschap van soorten met toenemende, lokaal hoge dichtheden. De vraag of productiviteit lokaal blijft of dat er uitwisseling met het meer mogelijk wordt is nog niet goed te beantwoorden. Onderzoek van NiP (promotie H. Jin) wijst op hoge voedselkwaliteit van zwevend stof (seston, inclusief algen) in de ondiepe wateren tussen de eilanden, vergeleken met het open water.
- Waterplanten: de MWTL-monitoring 2019 en de extra karteringen in 2020 en 2021 hebben een groeiende soortenlijst opgeleverd, met inmiddels 9 soorten hogere waterplanten en 4 soorten kranswieren. De omvang van de gemeenschap neemt sterk toe en is bijv. van 2020 op 2021 verdubbeld. Lokaal zijn aan het einde van het seizoen de dichtheden hoog, maar er is ook nog ruimte voor verdere ontwikkeling. Rond de buitenrand, in dieper water, is nog geen sprake van waterplanten. Hier valt niet voldoende licht op de bodem, als gevolg van de werkzaamheden ook nog niet genoeg aan de luwe zijde van de eilanden.
- Macrofauna: De systematisch genomen monsters van aquatische macrofauna op en rond de eilanden laten zien dat de gemeenschap zich in ruimtelijke zin differentieert. De oorspronkelijke gemeenschap van vooral wormen en muggenlarven handhaaft zich op grotere diepte en verder van de oevers, en is ook aanwezig in de geulen en putten rond Marker Wadden. Dichter bij de oevers, waar nieuw habitat ontstaat, gaat de gemeenschap meer lijken op die van de oeverzones langs de westkust van het Markermeer, met meer kleine kreeftachtigen zoals vlokreeftjes en slijk- en aasgarnalen. Veldwerkers zien geen hoge dichtheden, maar merken wel hier en daar (in plukken) aanwezigheid van voornamelijk zoetwaterslakken, vooral in de buurt van waterplanten.
- Vissen: er zijn 26 soorten gezien rond de Marker Wadden, ook veel jonge vis gesignaleerd tussen de eilanden (14 soorten). De aanwezigheid van vissen zal zeker effect kunnen sorteren voor het gehele meer (zij het gezien de schaal vooralsnog vooral kwalitatief) omdat de jonge vis niet rond Marker Wadden blijft. Diepe putten fungeren als refugia. Vooral ondiepe baaien met water- en oeverplanten en een open verbinding naar het Markermeer zijn van belang.
- Insecten: De steekproef (EIS-excursie) verraste door het hoge aantal keversoorten (109). In totaal werden 198 soorten insecten, negen soorten spinnen en één soort landslak waargenomen. Dit onderzoek is voortgezet door vrijwilligers van EIS en KNNV Lelystad. Op determinatie-avonden zijn monsters uit vallen op de eilanden uitgezocht waarin massaal muggen en vliegen werden aangetroffen. Dit materiaal wacht nog op uiteindelijke determinatie. Ook grotere, meer mobiele insecten zoals vlinders en libellen zijn inmiddels aanwezig, bijgehouden door vrijwilligers.

Ruimtelijke kwaliteit en ecologische processen-2 Wat is de rol van de bodemfauna voor het verhogen van de productiviteit? Ontwikkelingen in ruimtelijke patronen in water- bodem interactie (circulatie van voedingsstoffen vanuit de bodem) in relatie tot samenstelling en kwaliteit (voedingswaarde) van de bodemfauna, inrichting (strijklengte, diepte en voedselbeschikbaarheid vanuit Marker Wadden) en de watervegetatie.	
Indicator	Idem als voor vraag 1 m.u.v. moerasplanten en grote insecten en dan op schaal van het Markermeer
Status data	• Zie deels informatie bij vraag 1 • Daarnaast zijn rond Marker Wadden in 2015 (30 locaties) en 2019 (zelfde locaties minus 5) bodemonsters genomen en geanalyseerd. • In 2019 is op 10 en 12 september een survey uitgevoerd waarbij bodemonsters zijn genomen op 29 locatie verspreid over het Markermeer. Doel bepalen aanwezigheid zwavelbacteriën en bepalen kwaliteit oppervlakte en poriën water, inclusief biomassabepaling, maar ook bepalen effect bacteriematten op slibopwerveling en productiemetingen van de overige bodemorganismen (UvA). Deze survey is gedeeltelijk herhaald in november. In 2020 en 2021 zijn in combinatie met CIV-productiemetingen op enkele locaties bacteriemonsters genomen met een boxcorer voor het verkrijgen van betere biomassawaarden ten behoeve van voedselwebstudies. • Aansluitend op de bacteriëstudie van 2019 zijn bodemvissen van vier soorten verzameld voor maagonderzoek naar de rol van zwavelbacteriën in het voedsel web (secundaire productie; W+B) • MWTL heeft in het najaar van 2019 een nieuwe mosselkartering uitgevoerd. Deze bemonsteringen zijn uitgevoerd op het grid van locaties dat ook gebruikt is voor de hiervoor genoemde bemonsteringen, zodat de gegevens gemakkelijk kunnen worden gekoppeld. Naast veldgegevens is gebruik gemaakt van MWTL-waterkwaliteitsdata en KNMI-gegevens (wind) en van satellietbeelden, bewerkt voor zwevend stof, en slibmodellering.
Uitkomst	<i>Macrofauna van de eilanden</i> De bodemfauna was en is nog steeds relatief arm, maar verandert lokaal in samenstelling. Met de ontwikkeling van nieuw habitat verandert ook de beschikbaarheid voor predatoren. Dichtbij de eilanden verandert de oorspronkelijke, benthische gemeenschap van muggenlarven en wormen naar een diversere, litorale gemeenschap met meer kleine kreeftachtigen en slakken. Binnen deze groep bestaat weer diversiteit die aansluit bij de variatie aan habitats, zoals open ondiep water, zones met waterplanten of helofyten en stortsteen. Dit draagt bij aan de voedselvoorziening van jonge vis en van vogels en bedient daarbij een grotere diversiteit aan soorten van deze predatoren. Dit is anders dan de functie van bodemfauna in het Markermeer in een wat verder verleden, toen lage diversiteit samenging met hoge biomassa van enkele soorten. Het belang van het Markermeer voor watervogels was toen gestoeld om slechts enkele sleutelsoorten zoals de driehoeksmossel. Deze situatie was gekoppeld aan eutrofiering en gebrek aan dynamiek en habitatdiversiteit.

>>

Bodemfauna in dieper water

Er zijn nog geen aanwijzingen voor een wijziging in de samenstelling of abundantie van de bodemfauna (en uitwisseling van stoffen tussen bodem en water via bijv. bioturbatie) in de diepere wateren op grotere afstand van de eilanden, bijvoorbeeld in nieuwe luwtegebieden, wel zijn ook de diepe putten en de slibgeul door deze gemeenschap gekoloniseerd. In de nieuwe litorale gebieden verloopt ook de uitwisseling van stoffen anders (meer via planten en waterbeweging) en is de rol van macrofauna meer secundair.

Bacteriematten

In dieper water wordt die uitwisseling behalve door bioturbatie ook beïnvloed door de aanwezigheid van andere organismen. Binnen KIMA en Levend Markermeer is met name over de rol van matten van draadvormige zwavelbacteriën kennis opgedaan. Dit is geen bodemfauna, maar de matten zijn wel relevant voor de beantwoording van deze vraag omdat de matten eveneens invloed uitoefenen op de water-bodem interactie. De matten kunnen de resuspensie van sediment vertragen, maar nemen ook voedingsstoffen op (m.n. stikstof). De activiteiten voor de aanleg van Marker Wadden hebben de vorming van zulke matten mogelijk beïnvloed. In welke mate is nog onduidelijk. De betekenis van zwavel bacteriën is onderzocht in een gezamenlijk deelproject van thema 1 en 2, het zogenaamde Helder-troebelplan (zie paragraaf 5.2). De vraag rond productiviteit in met Markermeer wordt ook in het project Levend Markermeer geadresseerd (Troost 2020), daarom wordt hiermee intensief samengewerkt. Hieronder volgt een beschrijving in iets meer detail.

De aanwezigheid van grote hoeveelheden draadvormige zwavelbacteriën is opgemerkt op en in de bodem rond Marker Wadden, maar ook elders in het Markermeer. Ook voordat Marker Wadden waren aangelegd bestonden dergelijke bacteriematten al op de bodem van het Markermeer. Enkele recente waarnemingen: de bacteriën komen op alle onderzochte locaties voor in de bovenste 5 cm van het sediment. Het gebied met de grootste biomassa (met matvorming) is een groot gebied tussen Marker Wadden en Marken. De biomassa van de bacteriën in dit gebied zijn met enkele honderden grammen versgewicht per m² van dezelfde orde van grootte als die van de belangrijkste categorieën bodemfauna. Daarmee zijn deze bacteriën een belangrijke component in het voedselweb en in de stoffenbalans. Dit centrale gebied ligt buiten het belangrijkste mosselgebied, maar is wel recent door mosselen ge(her) koloniseerd (2019 t.o.v. 2011-16), en vertoont ook een verhoogde nachtelijke zuurstofconsumptie (wijst op activiteit bodemfauna; analyse UvA). De bacteriën hebben dus geen negatief effect op de rest van het bodemleven; het gebied heeft relatief hoge concentraties opgelost fosfor in de waterkolom en ook enigszins verhoogde concentraties zwavel, calcium en silicium.

Er is een overeenkomst tussen de abundantie van de zwavel bacteriën en de ruimtelijke verspreiding van slib ten gevolge van graafwerkzaamheden in het kader van Marker Wadden (en dijkverbetering langs de Noord Hollandse kust) en de positie van concentraties zwevend stof geassocieerd met (de aanleg van) Marker Wadden, die zichtbaar zijn op de satellietbeelden (en niet op de modelresultaten).

>>

	De biomassa is hoog ten opzichte van andere onderdelen van het voedselweb maar in de magen van bodemvissen zijn de bacteriën niet aangetroffen. De resultaten lijken te wijzen op een verhoogde productiviteit van het systeem in een groot gebied “benedenstrooms” van Marker Wadden, gekoppeld aan de werkzaamheden. Daarbij lijkt ook de groei van zwavelbacteriën zodanig te worden gestimuleerd dat ze een belangrijk deel van de primaire productie voor rekening nemen, dat echter niet rechtstreeks aan productie in de hogere niveaus (vissen) binnen het voedselweb ten goede komt. Aan de andere kant vertragen de zwavelbacteriën wel de opwerveling van sediment door de wind, zodat ze de helderheid (in theorie) gemiddeld enigszins doen toenemen. De rol van deze bacteriën in het voedselweb en effecten op slibdynamiek, die vooralsnog beide zeer relevant lijken te kunnen zijn, wordt verder onderzocht binnen het programma Levend Markermeer en het KIMA Helder troebelplan. Ook bodemonsters rond Marker Wadden laten mogelijke effecten van aanleg te zien; in de 2019 resultaten is een laagje zand ten westen van Marker Wadden te zien. Remote sensing beelden en directe waarnemingen vanuit de lucht bevestigen het feit dat de aanleg de nodige sediment verplaatsing in het meer tot gevolg had, mogelijk met effecten tot aan Marken toe. Data vraagt nog om ruimtelijke integratie. De bovenstaande analyse suggereert dat een deel van de ontwikkelingen tijdelijk is door een relatie met de werkzaamheden.
--	---

Ruimtelijke kwaliteit en ecologische processen-3 Hoe ontwikkelt Marker Wadden zich t.o.v. van bestaande luwe gebieden in het Markermeer? Het gaat hierbij om de rol van fytoplankton in het voedselweb in relatie tot ruimtelijke patronen in slib (zwevend stof) en helderheid. De vraag is of nieuwe luwe gebieden bij Marker Wadden ontstaan en of die bijdragen aan verbetering van voedselwebrelaties en van de productiviteit in het systeem	
Indicator	Veldmetingen chlorofyl, zwevend stof, primaire productie, doorzicht, soortensamenstelling fytoplankton
Status data	Fytoplankton en zoöplankton: vierwekelijks tussen maart en september, vanaf 2018 t/m 2021 drie meetpunten: Marker Wadden, Markermeer midden (MWTL-meetpalen) en Hoornsche Hop. Fytoplankton soortensamenstelling en Chl-A worden op deze locaties gemeten. Door RWS-CIV zijn tijdens MWTL-vaartochten en enkele aanvullende vaartochten in de zomers van 2020 en 2021, en continu bij Marker Wadden, gegevens verzameld waarmee concentraties en productie kunnen worden berekend met onderscheid tussen verschillende groepen fytoplankton. Hieruit zijn de variaties van de totale primaire productie in ruimte en tijd berekend, het aandeel van de verschillende algengroepen hierin moet nog worden uitgewerkt. Wel is in de uitgewerkte gegevens onderscheid gemaakt tussen algen die vrij in het water voorkomen en algen in “aggregaten” (vlokken). Fytoplankton en zoöplankton: studentenonderzoek in samenwerking met UvA: watermonsters op zes locaties in 2017, soortensamenstelling is bepaald. Voor ruimtelijk beeld waterkwaliteit zijn er 40 remote sensing beelden van 2015 tot 2017 geselecteerd en 11 beelden van 2018 t/m 2020. Deze zijn verwerkt met behulp van algoritmen voor chlorofyl en zwevend stof (en lichtuitdoving), waarmee ratiokaarten chlorofyl/ zwevend stof zijn gemaakt. Ook zijn vergelijkingen gemaakt met de output van slibmodellering, met als resultaten verschilkaarten tussen beide typen beelden, waarop met name effecten van werkzaamheden te zien zijn.

Uitkomst	Met de aanleg van Marker Wadden zijn nieuwe luwtegebieden ontstaan. Enerzijds zijn dat luwttes met ondiep water binnen de grenzen van de archipel, anderzijds in diepere gebieden rond de eilanden. De luwtegebieden binnen de archipel hebben eigenschappen die nieuw zijn voor het Markermeer in de zin van kleinschalige gebieden in combinatie met zeer geringe diepte en een diverse gemeenschap van waterplanten. De externe luwtegebieden zijn vergelijkbaar met andere luwe gebieden in het Markermeer-IJmeer. Waar zich die gebieden rond Marker Wadden bevinden hangt natuurlijk af van de windrichting, maar uit de metingen bij de meetpaal ten oosten van de eilanden is gebleken dat het water daar gemiddeld minder zwevend stof bevat en helderder is. Zulke luwte effecten zijn goed zichtbaar op satellietbeelden. Op die beelden is echter ook goed zichtbaar dat luwte effecten nog veelvuldig zijn gemaskeerd door effecten van de aanlegwerkzaamheden. Hieruit is af te leiden dat luwtewerking duidelijk naar voren zal komen als de werkzaamheden zijn afgerond of verplaatst. Op bewerkingen van de satellietbeelden zonder effecten van werkzaamheden is te zien dat in zulke gebieden (dus ook bij Marker Wadden) chlorofyl en zwevend stof concentraties lager zijn (helderder water), maar ook dat de hoeveelheid algen (chlorofyl) minder afneemt dan anorganisch zwevend stof (opgewerveld slib). Dat kan betekenen dat het zwevend stof voedzamer is voor filteraars zoals water-vlooien en mosselen. De primaire productie (algen) is dan beter beschikbaar voor het voedselweb Onderzoek in samenwerking met de UvA wijst bovendien uit dat in luwe gebieden (Hoornsche Hop) een andere soortensamenstelling aanwezig is. Hier is het aandeel van flagellaten groter. Dit zijn algen die zelf kunnen zwemmen en dus “aan vlokvorming kunnen ontsnappen” en in de waterkolom blijven, wat nog beter is voor de filteraars. Gegevens van RWS-CIV laten zien dat ondanks de intensieve vlokvorming toch nog twee derde van de algen in het Markermeer vrij voorkomt. Of dit percentage in luwtegebieden nog hoger is moet nog nader worden onderzocht. Waarschijnlijk is dit beeld in de data nog te veel verstoord door de werkzaamheden.
----------	---

Governance en gebruik

Governance-1 Hoe worden de continuïteit in relatie tot beleidsdoelen, uitvoering, beheer geborgd?	
Indicator	Interactie met partijen, terugkoppeling en evaluatie
Status data	Er zijn 18 interviews afgenomen met 22 respondenten en er is gerapporteerd op basis van de verslagen.
Uitkomst	Het gaat om continuïteit tussen beleidsdoelen, uitvoering, beheer en doorontwikkeling. De continuïteit van de beleidsdoelen en uitvoering (aanleg) is goed geborgd door stabiele beleidskaders en een duidelijke focus in de uitvoering van het project (het realiseren van zoveel mogelijk hectares rietmoeras). Op 1 januari 2021 was de formele overdracht van de projectorganisatie naar de beheereenheid. Er is drie jaar uitgetrokken voor de overdracht, om de continuïteit te waarborgen. Volgens betrokkenen was het beter geweest als beheereenheden van Natuurmonumenten en deskundigen van Rijkswaterstaat eerder in het proces waren betrokken. Bij de aanleg van de nieuwe E eilanden zitten zij wel vanaf het begin aan tafel. Voor eventuele doorontwikkeling wordt de continuïteit geborgd doordat projectleden van Marker Wadden fase 1 ook meedenken over nationaal park Nieuwland, waarin de ambitie is uitgesproken om ook in aangrenzende delen van het NO Markermeer eilanden aan te leggen.

Governance-2 Is het aanleg- en onderzoeksprogramma rond Marker Wadden adaptief en hoe blijft dit?	
Indicator	Interactie met partijen en evaluatie
Status data	De 18 interviewverslagen geven informatie met name over aanleg en deels over onderzoeksprogramma..
Uitkomst	Rapport ('Een uniek project, een unieke samenwerking. De governance van de Marker Wadden ontleed') geeft informatie over randvoorwaarden, flexibiliteit en adaptiviteit m.b.t aanleg. Aanlegproject is adaptief, gedurende de aanleg wordt geleerd en waar nodig bijgestuurd. Hierbij wordt niet veel gebruik gemaakt van resultaten van KIMA, daar o.a. vanwege de langere looptijd van het onderzoek t.o.v. de snelheid van aanleg. Er liggen kansen om de lessen van KIMA wel mee te nemen in de aanleg en inrichting van de E-eilanden en andere toekomstige eilanden.

Governance-3 Verbeter onze kennispositie dankzij de aanleg Marker Wadden en welke aspecten zijn daarbij belangrijk?	
Indicator	Idem als bij vraag 'Leren en Innoveren-2'. Aangevuld met een expertbijeenkomst in 2020/2021 om de vraag te beantwoorden
Status data	In 2021 zijn vier interviews afgenomen om antwoord te geven over deze vraag.
Uitkomst	De bijdrage van Marker Wadden op de kennispositie van NL is op dit moment nog beperkt, maar er is veel potentie voor de toekomst. De tot nu toe opgedane kennis dankzij het project Marker Wadden wordt internationaal nog niet uitgevent. Dat is ook niet verwonderlijk, want het project is nog in ontwikkeling, en de evaluaties van het project zijn nog niet beschikbaar. De potentie is wel groot, vanwege de verschillende vormen van kennis die zijn opgedaan en de mogelijkheid om het project met internationale delegaties te bezoeken. De kennis is een waardevolle uitbreiding van de 'gereedschapskist' van de Nederlandse watersector. Uit het onderzoek kunnen een aantal aanbevelingen worden gestedilleerd: Het concept Marker Wadden kan niet 1 op 1 worden gekopieerd naar andere situaties. Identificeer daarom die typen kennis van Marker Wadden die elders overgenomen kunnen worden en die daar van meerwaarde zijn. In veel gebieden moet het creëren van nieuw land economische belangen dienen. Het creëren van nieuwe natuur zoals op Marker Wadden zal in de meeste situaties geen (primair) doel zal zijn van het project. Leg daarom de in de communicatie de nadruk op de innovatieve samenwerking, de technische kennis over het bouwen met slib en het meenemen van recreatie in het ontwerp. Binnen het bedrijfsleven is het MKB nauwelijks zichtbaar als het gaat om innovaties in grote projecten, terwijl het MKB daar wel aan bijdraagt. Geef het MKB daarom meer zichtbaarheid in internationale profilering van de Nederlandse watersector en betrek het MKB meer bij het 'uitventen' van Marker Wadden.

Governance-4 Hoe heeft de samenwerking in het 'gouden vierkant' (overheid, bedrijfsleven, maatschappelijke organisatie en kennisinstellingen) gewerkt?	
Indicator	Interactie met partijen, terugkoppeling en evaluatie
Status data	De 18 interviewverslagen geven informatie over de samenwerking in het gouden vierkant, aangevuld met 11 interviews die zijn afgenomen om de samenwerking binnen KIMA en tussen KIMA en het aanlegproject verder te onderzoeken.
Uitkomst	- De interviews geven inzicht in de samenwerking tussen het projectteam (Natuurmonumenten-Rijkswaterstaat), de opdrachtnemer (Boskalis en consortium), de financiers (ministeries en provincies) en het KIMA. - De samenwerking is goed gelopen tussen de overheid en natuurmonumenten (publiek-private samenwerking). Hoewel de partijen en hun aanpak verschillen van elkaar, is daar steeds een passende oplossing voor gevonden. - De samenwerking tussen het Projectteam Marker Wadden en de Opdrachtnemer is als positief ervaren, door de gezamenlijke wil om de eilanden te realiseren en tijdens het project opgebouwd onderling vertrouwen. - De samenwerkingsovereenkomsten zijn een cruciaal fundament onder de samenwerking tussen het projectteam en de financiers. Daarnaast hielp het dat de doelen van Marker Wadden goed aansluiten bij de beleidsdoelen, en dat de financiers later in de Stuurgroep nog inspraak hielden in het project. - De relatie tussen Projectteam Marker Wadden en Kennispartijen is te bestempelen als zoekend en soms frustrerend, omdat Projectteam Marker Wadden en Kennispartijen bij de start weinig inzicht en begrip hadden in elkaars belangen, doelen en werkwijze. Na de intentieverklaring in 2018 is de samenwerking verbeterd en werken partijen systematischer samen.

Gebruik-1 Wat is het gebruik en perceptie van bezoekers?	
Indicator	Aantal bezoekers, vrijwilligers, type recreanten, km strand, aantal boten/ invloedsfeer Marker Wadden op andere gebruikers
Status data	Enquêtes worden uitgezet door gemeente Lelystad (bewoners panel) en Natuurmonumenten heeft een enquête uitgezet onder bezoekers Marker Wadden. Ook de 1000-soortendag heeft informatie opgeleverd over het gebruik en de perceptie van vrijwilligers bij het verzamelen van data op Marker Wadden. Verdere invulling wordt via participatieve monitoringsprojecten verkregen.
Uitkomst	De indruk op basis van gesprekken en de enquête is dat het landschap en de ervaring van op het eiland zijn enorm gewaardeerd wordt. De enquête laat zien dat 96% van de bezoeker zich welkom voelt in het gebied. Het overgrote deel van de bezoekers komt om te wandelen, flora en fauna te spotten en te fotograferen. Bezoekers komen met eigen boot (25%), veerdienst (64%) of met een charter. Vrijwel alle bezoekers geven aan nog een keer te willen terugkomen. Uit enquêtes van 1000-soortendag van 2019 en 2021 blijkt dat de deelnemers Marker Wadden waarderen als locatie omdat ze nieuwsgierig zijn naar deze bijzondere plek en graag bijdragen aan het onderzoek. Er wordt echter ook genoemd dat door het vroege successiestadium het aantal soorten van bepaalde soortgroepen (zoals paddenstoelen en loopkevers) nog tegenvalt.

Bijlage II Referenties

- Arcadis, 2022. Resultaten onderdeel Thema 1 ‘Bouwen met slib en zand’, Onderzoek zandige randen. Eindrapportage project 30067433-C03011.000543, @ 2022.
- Arts F.A., J. Graveland en P.L. Meininger 2000. Kustbroedvogels, vegetatiesuccessie en natuurontwikkeling: implicaties voor toekomstig beheer van kustgebieden. Limosa 73: 17-28.
- Bakker D. & Biewinga D.T. , 1957. Het Riet in de Noordoostpolder. Van Zee tot Land. Rapporten en mededelingen inzake de droogmaking, ontginning en sociaal economische opbouw der IJsselmeerpolder. Nr. 21.
- Bij de Vaate A. en E.A. Jansen 2008. Onderzoek naar de groei en voortplanten van driehoeks- en quaggamosselen in het IJsselmeergebied: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2008. Waterfauna Hydrologisch Adviesbureau, rapport 2008/08, Lelystad.
- Bij de Vaate A. en E.A. Jansen 2016. De dichtheid van quagga- en driehoeksmosselen in het Markermeer: resultaten van de kartering uitgevoerd in 2016. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, rapport 2016/01, LelystadBoderie P.M.A., M. van der Wal, T. van Kessel en M. Genseberger 2010. Aanslibgedrag vaargeul Amsterdam-Lelystad. Deltares rapport 1202714, Delft.
- Belgers J.D.M. & Arts G.H.P. , 2003. Moerasvogels op peil. Deelrapport 1: Peilen op Riet. Literatuurstudie naar de sturende processen en factoren voor de achteruitgang en herstel van jonge verlandingsvegetaties met Riet (*Phragmites australis*) in laagveenmoerassen en rivierkleigebieden.
- Beumer, V., Niel, L., Lenselink, G., de Boer, E., van de Meerendonk, W. & de Lange, M., 2017. Benutten van Natuurlijk Kapitaal. Theoretische verkenning met gebruik van de casus Marker Wadden. Deltares, RWS.
- Boskalis 2022. Memo. Hoogteontwikkeling en zetting ondergrond Marker Wadden. Kenmerk DT13084-TVIJ-05-MME-M-4 d.d. 14 juni 2022. Auteurs: Thomas Vijverberg, Pieter Turnhout en Andre Rijsdorp.
- Brand, J. 2019. Citizen science op Marker Wadden- een onderzoek naar lessen en kansen. Rijkswaterstaat, Lelystad.
- Brandsma M. (1969). Ervaringen met het zaaien van riet en andere planten en met het onderdrukken van onkruiden door deze gewassen op het Eemmeer-eiland in 1966 en 1967.
- Clevering O.A. & van der Toorn J., 2000. Observations on the colonization of a young polder area in the Netherlands in reference to the clonal expansion of *Phragmites Australis*.
- Daggenvoorde, R. en Vermeulen C-J. 2021. Datarapportage KIMA, Overzicht van meetdata op en rondom de Marker Wadden. HKV Lijn in water, PR4443.10.
- de Fouw, J., R.M.G. van der Hut, E.S. Bakker, A.J.P. Smolders, J. van der Winden en P.J. Westendorp, 2021. Inrichting, ontwikkeling en beheer van moerassen op voormalige landbouwgrond: Een eerste verkenning van de ontwikkeling van eutrofe moerassen. Rapport nummer 2021/OBN249-LZ, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.
- De Jong, A. en R. Noordhuis, 2021. Duurzaamheid van successie op natuureilanden in het IJsselmeergebied. Lessen voor de Marker Wadden. Rapport 11206217-013-ZWS-0001, Deltares, Utrecht.
- De Jong A. en Deuzeman S. 2019. Broedvogels van het Ketelmeer en Vossemeer (IJsselmonding) in 2019. Sovon-rapport 2019/59. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- De Leeuw Joep J. J. , Olvin van Keeken, Cees Meeldijk, Martin Poot 2020. Beschikbaarheid van vis voor visdieven rond Marker Wadden in juli 2020. Wageningen Marine Research rapport C099/20, IJmuiden.
- De Leeuw, J. en C. van Leeuwen 2020. Visparadijs Marker Wadden. Presentatie en workshop KIMA-symposium 2020.
- De Leeuw, J.J. en W.A.M. van Emmerik ,2019. Vis rond de Marker Wadden. Visionair 54: 18-21.
- De Leeuw, J.J., O. Van Keeken, H.V. Winter 2020a. Migratiestudie brasem in het IJsselmeergebied in 2020. Wageningen Marine research rapport C086/20. <https://doi.org/10.18174/532651>.
- De Leeuw, J.J., O. van Keeken, J. Elings, J. Volwater en C. van Leeuwen, 2021. Paai- en opgroeigebieden voor vis in en rond Marker Wadden. Wageningen Marine Research rapport C058/21.
- De Leeuw, J.J.O. van Keeken, C. Meeldijk, M. Poot 2020b. Beschikbaarheid van vis voor visdieven rond Marker Wadden in juli 2020. Wageningen Marine Research rapport C099/20. <https://doi.org/10.18174/535076>
- De Lucas Pardo, M., 2014. Effect of biota on fine sediment transport processes. A study of Lake Markermeer. Proefschrift TU Delft. ISBN 978-94-6169-557-4.
- De Rijk, S. en W. Dulfer, 2020. Mid Term review Kennis en Innovatieprogramma Marker Wadden.
- De Rijk, S., en R. Noordhuis, T. van Kessel en G. Ellen. 2018. Monitoring en Evaluatie Programma Marker Wadden. Deltares rapport, 11201465-000
- Dreef C. en J. van der Winden, 2019. Broedvogels en pleisteraars op de Marker Wadden 2017-2019. Rapport 2019-06, Jan van der Winden Ecology, Utrecht.
- Dreef C., J. van der Winden en Y.I. Verkuil, 2021a. Broedvogels en pleisteraars op Marker Wadden 2020-2021 Rapport 2021-02, Camilla Dreef, Amsterdam. Dreef C., Y.I. Verkuil en J. van der Winden, 2021b. Jaarrapportage van kluten op Marker Wadden in 2021. Aantallen, broedsucces en habitatgebruik van een indicatorsoort voor de draagkracht van Marker Wadden. Rapport 2021-03, Camilla Dreef, Amsterdam.
- Dreef C. en J. van der Winden. 2020. Broedvogels en pleisteraars op Marker Wadden 2019-2020. Rapport 2020-03, Camilla Dreef, Amsterdam.
- Dreef, C., R. Bom en J. van der Winden 2020. Jaarrapportage van kluten op Marker Wadden in 2020: Aantallen, broedsucces en habitatgebruik van een indicatorsoort voor de draagkracht van Marker Wadden. Rapport 2020-02, Camilla Dreef, Amsterdam.
- Dreef, C., J. van der Winden & Y.I. Verkuil. 2021b. Broedvogels en pleisteraars op Marker Wadden 2020-2021. Rapport 2021-02, Camilla Dreef, Amsterdam.
- Duijn M., en M. Stouten, 2022. Terugkijken op en Leren van het KIMA-programma. Lessen uit het kennis- en innovatieprogramma voor het aanlegproject Marker Wadden. Rapport GovernEUR en Erasmus Universiteit Rotterdam. 32 pp.
- Elings, J. 2019. The Marker Wadden. Pioneering with fish spawning. Student trainee presentation/rapport, Wageningen University
- Evers, C.H.M., Buskens R.F.M., Herpen F.C.J., 2011. Resultaten monitoring bestaande structuren NMIJ. Rijkswaterstaat Dienst IJsselmeergebied 9V6742.A3/R00062/901530/DenB
- EcoShape, 2018. BwN pilot Houtribdijk-Guideline Beheer Onderhoud, sl: sn
- Grotenberg, S. en M.A. Altamirano, 2017. Government facilitation of external initiatives: how Dutch water authorities cope with value dilemmas. International Journal of Water Resources Development 35(3): 1-26
- HWBP, 2019. Projectenboek 2019. sl:sn
- Hanssen, J, N. Lamers en T. van Kessel, 2022a. Resultaten KIMA monitoring dunslibcompartimenten Marker Wadden – fysica en chemie. Deltares rapport, 11208072-002-ZWS-0001
- Hanssen, J, M. Genseberger en B. Smits, 2022b. Slibdynamiek Marker Wadden. Invloed Markermeer. Deltares rapport 11206800-003-BGS-0001 .
- Hin J.A., L.A. Osté en C.A. Schmidt 2010. Handreiking beoordelen waterbodems. Ministerie van IenM – DGW, Den Haag.
- Hüsken L. (2021) Marker Wadden: uitbreiding van de eilanden. Financierings- en inkoopstrategie voor de verbetering van ecologie en waterkwaliteit. Deltares rapport
- IJff, S.D., G.J. Ellen, J. Veraart, en M. van Riel, 2018. Leren van Marker Wadden – Over het speelveld en governance opgaven van de nieuwe archipel. Deltares rapport. 54pp.
- IJff, S.D. (2021) Marker Wadden – innovatie in de praktijk. OTAR 2021/3. pp 24-27
- IJff, S.D. en J. Veraart, 2022. Invloed van Marker Wadden op de kennispositie van Nederland. Deltares memo. 4pp.
- IJff, S.D. J.J. Willems (EUR) en N. van den Berg, 2020 Een uniek project, een unieke samenwerking. De governance van Marker Wadden ontleed. Deltares rapport 11203732-001-BGS-0003.
- IJff, S.D. J.A. Veraart, J.J. Willems, M. Duijn, N. van den Berg, en G.M. Stouten, 2021. Innovatieve governance voor Building with Nature. Lessen uit het Marker Wadden-project. Landschap 2021/1. pp. 25-33
- Intentieverklaring KIMA, 2018
- Jin, H. 2021: Restoring aquatic food webs bottom-up: Improving trophic transfer through lake restoration projecten Marker Wadden. Proefschrift NIOO-KNAW.
- Kauhl L., 2020. Filamentous Sulphur Bacteria in Lake Markermeer. Spatial and temporal influences on primary production and resuspension. Stage rapport Hogeschool Zeeland.
- Klein Schaarsberg F.L.H. , en K. Ivushkin, 2021. Monitoring vegetatie ontwikkeling op land. Rapportage t.b.v project WN08 2019 Marker Wadden - Remote Sensing. Witteveen + Bos, rapport 119777/21-017.059, Deventer.
- Kolb E., 2020. Economic valuation of Ecosystem Services Case study Marker Wadden. Master thesis, Vrije Universiteit.
- Liekens , I. et al., 2013. Waardering van ecosysteemdiensten -handleiding, sl: Departement Leefmilieu Natuur en Energie (LNE).
- Maathuis M.A.M. , D.B Kruijt en J. de Jong, 2020. De dichtheid van driehoeks- en quaggamosselen in het Markermeer Resultaten van de kartering uitgevoerd in 2019. Bureau Waardenburg bv, rapport 19-302, Culemborg.
- Ministerie van IenW 2012. Brondocument waterlichaam Markermeer. Doelen en maatregelen Rijkswateren. Partiële Herziening. R WS Waterdienst, Lelystad.

- Ministerie van Infrastructuur en Milieu 2013. Rijk-Regiostructuurvisie Amsterdam-Almere-Markermeer (RRAAM)
- Natuurmonumenten 2016. Beheervisie Marker Wadden, 2016
- Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat, 2015. Eerste fase Marker Wadden. Vraagspecificatie Eisen. Referentie BA8757-107-101/R005/501063/402505/Nijm
- Noordhuis R., 2010. Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het natte hart van Nederland. Rijkswaterstaat, Lelystad.
- Noordhuis R., 2019. Survey draadvormige zwavelbacteriën Markermeer 2019. Deltares, Notitie 11204657-002-ZWS-0001, Utrecht, 46 pp.
- 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., S. de Rijk, G. van Geest, M. Maarse, S. Vergouwen en A. Boon. 2019. KlimaatScan. Deltares rapport 11203733
- Noordhuis, R. en G.D. Roskam, 2017. De rol van nalevering bij overschrijdingen van de KRW-normen in de Zuidelijke Randmeren, Deltares rapport 11200041-000-ZWS-0006.
- Noordhuis, R., M. Genseberger en V. Harezlak, 2022. Fosfaat in het Markermeer-IJmeer. Een ruimtelijk gedifferentieerde balansstudie. Deltares rapport 11206217-016, Utrecht.
- Poot M.J.M., M. Sikkema, M. Hotting en P.W. van Horssen, 2020. Verspreiding van visdieven tijdens het broedseizoen op het open water van Marker- en IJsselmeer. Rapport 2020-01, Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Princen, K., en V. Kalle, 2022. Bouwen met slib – deelrapport ecologie. Rapport Witteveen+Bos met referentie 126879/22-004.178.
- RIZA (1996). Oeverplanten. Over eigenschappen en toepassingen in het water- en oeverbeheer. RIZA-notanr. 96.001 ISBN 903694564X
- Roskam, G., N. Lamers (2022). Rapportage Scheepsmetingen Marker Wadden. Deltares rapport 11208072-002-ZWS-0002, Delft.
- Rijkeboer, M en N. Dijkman, 2022. Slib en fytoplankton dynamiek en primaire productie metingen in het Markermeer 2020 en 2021. Deel I: resultaten van metingen met de flowcytometer en FRRf tijdens vaartochten over het Markermeer. RWS rapport.
- Rijkswaterstaat, 2016a. Natura 2000 ontwerp-beheerplan IJsselmeergebied 2016-2021.
- Rijkswaterstaat, 2016b. Samenvatting Milieueffectrapport versterking Houtribdijk en benodigde ontgronding. HB29657555
- Rijkswaterstaat, 2020. Interview. Hoe groots bloeit de nieuwe natuur van Trintelzand en de Houtribdijk? [https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2020/04/hoe-groots-bloeit-de-nieuwe-natuur-van-trintelzand-en-de-houtribdijk]
- Ruijgrok, E. C. M. en De Groot, R. S., 2006. Kentallen Waardering Natuur, Water, Bodem en Landschap: hulpmiddel bij MKBA's.
- Saaltink, R.M., 2018. Wetland eco-engineering with fine sediment. Proefschrift. ISBN/EAN: 978-90-393-7025-4
- Saaltink, R.M., Dekker, S.C., Eppinga, M.B. et al., 2017. Plant-specific effects of iron-toxicity in wetlands. Plant Soil 416, 83–96 (2017).
- Samenwerkingsovereenkomst eerste fase Marker Wadden, 2014
- Sovon Vogelonderzoek Nederland 2018. Vogelatlas van Nederland. Broedvogels, wintervogels en 40 jaar verandering. Kosmos Uitgevers, Utrecht/Antwerpen.
- Temmink R.J.M., M. van den Akker, C.H.A. van Leeuwen, Y. Thole, H. Olf, V.C. Reijers, S.T.J. Weideveld, B.J.M. Robroek, L.P.M. Lamers en E.S. Bakker, 2021. Herbivore exclusion and active planting stimulate reed marsh development on a newly constructed archipelago. Ecological Engineering 175 (2022) 106474.
- Ter Heerdt, 2016. Establishment of different riparian plant communities from the same soil seed bank. Rijksuniversiteit Groningen. Proefschrift.
- Troost T., 2020. Primaire productie berekeningen Markermeer. Memo Deltares 11203697-033-BGS-0001, Delft.
- Van den Akker, L. P. M., , M., Posthoorn, R., Boosten, A., Olf, H., en Bakker, E. S., 2021. Enhancing ecological integrity while preserving ecosystem services: Constructing soft-sediment islands in a shallow lake. Ecological Solutions and Evidence, 2,e12098
- Van der Geest H.G., J.A. Vonk en M.R.L. Ouboter, 2017. Reconstructie water- en stoffenbalans Markermeer 1976-2015. Universiteit van Amsterdam en Waternet, Amsterdam.
- Van der Haas I., 2020. Analyse maaginhouden ten behoeve van helder-troebel plan KIMA. Witteveen+Bos, rapport 117775/20-002.328, Deventer.
- Van der Winden, J., Dirksen, S., Gyimesi, A., Poot, M.J.M. ,2013. Broedsucces en voedsel van visdieven op de Kreupel 2011-2012. Voortgangsrapport met overzicht van 2009-2012. Rapport van Bureau Waardenburg.
- Van der Winden J., S. Dirksen en M. Poot, 2018. Visdieven in het IJsselmeergebied. Aantalsontwikkeling, kolonisatie eilanden en broedsucces. Rapport 2018-02, Jan van der Winden Ecology, Utrecht.

- Van der Winden J. en C. Dreef, 2020. Visdieven en dwergsterns op Marker Wadden in 2020. Jaarrapport: aantallen, broedsucces en prooikeuze als indicatie van de relatie tussen vis en vogels. Rapport 2020-06, Jan van der Winden Ecology, Utrecht.
- Van der Winden J. , C. Dreef en M.J.M. Poot, 2019. Visdieven, dwergsterns en kluten op de Marker Wadden. Jaarrapport 2019: monitoring van aantallen, broedsucces, habitatgebruik en prooikeuze. Rapport 2019-09, Jan van der Winden Ecology, Utrecht.
- Van der Winden J., S. Weeda, M. Hotting, M. Poot, Y. Verkuil & C. Dreef 2021. Visdieven en dwergsterns op Marker Wadden in 2021. Jaarrapport: aantallen, broedsucces en prooikeuze als indicatie van relatie tussen vis en vogels. Rapport 2021-07, Jan van der Winden Ecology, Utrecht.
- Van Eerden M.R., S.H.M. van Rijn & M. Roos, 2005. Ecologie en Ruimte: gebruik door vogels en mensen in de SBZ's IJmeer, Markermeer en IJsselmeer. RIZA rapport 2005.014, Lelystad.
- Van Emmerik, W.A.M., 2020a. Vismonitoring Marker Wadden. Rapport 2019. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- Van Emmerik, W.A.M., 2020b. Vismonitoring Marker Wadden. Rapport 2020. Sportvisserij Nederland, Bilthoven
- Van Herk M. 2019. Onderzoek bodem Markermeer, 2019. Euglena Aquatische Ecologie, rapport 2019-01, Oosterwolde, 11 pp.
- Van Leeuwen B., 2005. Quick scan slibproblematiek Markermeer en Eem- en Gooimeer. Witteveen + Bos Rw1390-1, Deventer.
- Van Leeuwen C.H.A., R.J.M. Temmink, H. Jin, Y. Kahler, B.J.M. Robroek, M.P. Berg, L.P.M. Lamers, M. van den Akker, R. Posthoorn, A. Boosten, H. Olf en E.S. Bakker, 2021. Enhancing ecological integrity while preserving ecosystem services: Constructing soft-sediment islands in a shallow lake. Ecological Solutions and Evidence, 2,e12098. https://doi.org/10.1002/2688-8319.12098.
- van Riel M.C., Verdonschot P.F.M & Dekkers D.D. , 2018. Markermeer bodemfaunakartering 2016 en MWTL-analyse MWTL data. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 48 pp.
- Van Riel M.C., G. Muijzer en P.F.M. Verdonschot 2021. Microbiële levensgemeenschappen in de bodem van het Markermeer. Over de samenstelling en rol van zwavelbacteriën op het bodemleven. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 25 pp.
- Van Riel M.C. en P.F.M. Verdonschot, 2021. De ontwikkeling van macroinvertebraten op en rond de MarkerWadden. Een eerste verkenning. Notitie Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen, 14 pp.
- Van Rijn S., M. Kolen, M. Roos & M.R. van Eerden 2004. Bergen van baggerspecie in Flevoput 12A. Gevolgen voor vogels? RIZA rapport 2004.076X, Lelystad.
- Van Rijn, S.H.M. en M. Van Eerden, 2021. Actualisatie Doeluitwerking Vogelrichtlijnsoorten IJsselmeergebied 2020. Rijkswaterstaat rapportage PSR/00.379.231 / Deltamilieu Projecten Rapportnr. 2021-08.van Rijssel, J.C. , O.A. van Keeken, en J.J. de Leeuw, 2021. Vismonitoring Rijkswateren t/m 2020 Deel I: Toestand en trends. WMR rapport. Bascode: WOT-05-001-006 en WOT-05-001-007
- Van Turnhout C., M. van der Weide, G. Kurstjens en R. Leuven, 2007. Natuurontwikkeling in rivieruiterwaarden: hoe reageren broedvogels?. De Levende Natuur 108: 52-57.
- Veraart, J., S. Dillen, A. van der Veen en S. Claessens, 2021. Ervaringen met participatieve monitoring bij de uitvoering van project Marker Wadden in de periode 2017-2021. Memo Wageningen Environmental Research.
- Verdonschot P.F.M. 2020. Bioturbatie door het benthos in het Markermeer. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 22 pp.
- Verdonschot P.F.M., Noordhuis, R. Volwater J.J.J., de Leeuw J.J. en van Riel M.C. , 2021. Het bodemvoedselweb in het Markermeer? Over de rol van zwavelbacteriën – wormen - brasem. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 25 pp.
- Verdonschot P.F.M., M.C. van Riel & R.C.M. Verdonschot, 2021. Gezond bodemleven als sleutel voor een robuust Markermeer. Landschap 2021/1: 15-23.
- Vijverberg, T. (2008). Mud dynamics in the Markermeer. Silt traps as a mitigation measure for turbidity. Afstudeerrapport TU Delft.
- VSE, 2015. Eerste Fase Marker Wadden Vraagspecificatie Eisen Versie 26 mei 2015, sl: sn
- Willems J.J., Michael Duijn, Stéphanie IJff, Jeroen Veraart, Nienke Nuesink, Gerald Jan Ellen, Arwin van Buuren, 2021. The lifecycle of public value creation: eroding public values in the Dutch Marker Wadden project. Public Money en Management.

Colofon

Teksten en figuren door:

Sacha de Rijk (Deltares), Thijs van Kessel (Deltares), Marcel Klinge (Witteveen+Bos), Ruurd Noordhuis (Deltares), Joep de Leeuw (Wageningen Marine Research), Jeroen Veraart (Wageningen Environmental Research) en Stephanie IJff (Deltares).

Editor:

Sacha de Rijk (Deltares) en Moniek Löffler (Bureau Landwijzer).

Vormgeving:

Welmoed Jilderda (Deltares)

Foto's:

Van Eerden: Omslag

© Natuurmonumenten - Marjolein den Hartog: pag. 5

© Natuurmonumenten - John Gundlach: pag. 7

Camilla Dreef: pag. 9

Martin Poot: pag. 41

Koen Princen: pag. 55

Liesbeth Bakker: pag. 70

Folkert de Boer: pag. 88

Anne Ton: pag. 91, 94

John Gundlach: pag. 93

September 2022



