



# Benutten organische (rest)stromen uit vegetatiebeheer

PAGW-studie Noord-Hollandse  
Markermeerkust

**Opdrachtgever**

Rijkswaterstaat (PAGW)

Contactpersoon: Joost Lankester (RVO)

**Datum**

07-07-2026

**Status**

Definitief

**Auteurs**

Gwenaël Hanon, Barend de Jong, Koen Kaffener



IMPACT ON · WATER · NATURE · PARKS



## Inhoud

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| .....                                                                        | 2  |
| Samenvatting.....                                                            | 3  |
| 1 Inleiding .....                                                            | 4  |
| 1.1 Ecologische situatie Markermeer .....                                    | 4  |
| 1.2 Aanleiding .....                                                         | 5  |
| 1.3 Doelstelling .....                                                       | 5  |
| 1.4 Leeswijzer.....                                                          | 6  |
| 2 Aanpak.....                                                                | 7  |
| 3 Gebiedsbeschrijving .....                                                  | 8  |
| 3.1 Gebieden Markermeerkust.....                                             | 8  |
| 3.2 Arealen ecotopen.....                                                    | 8  |
| 4 Theorie: Markermeer en organische stof.....                                | 10 |
| 4.1 Het Ecosysteem van het Markermeer .....                                  | 10 |
| 4.2 Herstelmaatregelen: waarom die focus op het achterland? .....            | 12 |
| 4.3 Waarom is organische stof belangrijk?.....                               | 13 |
| 4.4 Organisch materiaal - verschijningsvormen en afbraak .....               | 16 |
| 5 Benutten van Organische Reststromen – praktijkervaring en ideevorming..... | 22 |
| 5.1 Omvang reststromen ecotopen.....                                         | 22 |
| 5.2 Praktijkervaringen benutten organische stof .....                        | 24 |
| 5.3 Ideeën expertsessie .....                                                | 30 |
| 5.4 Randvoorwaarden en risico's.....                                         | 31 |
| 6 Toepassingsconcept in het Markermeer.....                                  | 34 |
| 6.1 Trechters naar het beste toepassingsconcept .....                        | 34 |
| 6.2 Uitwerking praktijkvoorbeeld op locatie De Nes.....                      | 35 |
| 7 Conclusies en aanbevelingen .....                                          | 45 |
| 7.1 Conclusies .....                                                         | 45 |
| 7.2 Aanbevelingen .....                                                      | 46 |
| Referenties .....                                                            | 48 |
| Geraadpleegde experts .....                                                  | 50 |

## Samenvatting

Dit onderzoek, uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat als onderdeel van de PAGW, richt zich op het benutten van organische reststromen uit vegetatiebeheer om het ecologisch functioneren van het Markermeer te versterken. Het Markermeer kampt momenteel met een tekort aan nutriënten en kwalitatief goede organische stof, wat de productiviteit van het voedselweb beperkt. Daarom werkt de Programmatische Aanpak Grote Wateren aan maatregelen langs de Noord-Hollandse Markermeerkust met de ontwikkeling van voorlanden als helofytenmoeras en overstromingsgrasland.

Met de maatregelen wordt veel ruimte gerealiseerd voor de ontwikkeling van waterriet. Naar verwachting is het nagebootste natuurlijk waterpeilbeheer onvoldoende om het rietmoeras vitaal te laten ontwikkelen. Verwacht wordt dat aanvullend vegetatiebeheer nodig zal zijn in de vernatte delen. De reststromen die daarbij vrijkomen worden in de huidige beheerpraktijk afgevoerd en komt dus niet ten goede aan het ecosysteem van het Markermeer. In een natuurlijke situatie dienen deze organische restmaterialen als detritus voor het aquatisch ecosysteem. Door de reststroom uit beheer actief terug te brengen in het Markermeersysteem kan de zogenaamde bruine voedselketen (detritus) worden gestimuleerd en dienen als vliegwiel voor de productiviteit van het ecosysteem.

De aanpak van de studie bestond uit een literatuuronderzoek naar de koolstofcyclus en afbraaksnelheden, aangevuld met een expertsessie waarin praktische beheerervaringen en innovatieve ideeën zijn verzameld. Daaruit blijkt dat de afbraaksnelheid en daarmee effectiviteit van de inbreng sterk afhangt van vele factoren; type vegetatie, de beschikbaarheid van het materiaal uit beheerinspanningen, de aanwezigheid van luwte en doorstroming om zuurstofloosheid te voorkomen. Er is wel één gemene deler; het toepassen van organische reststromen is kansrijk om het voedselweb van het Markermeer te stimuleren.

Vervolgens is het van belang te streven naar een goede balans tussen de uit beheer vrijkomende materialen en de opname en afbraak hiervan in het ecosysteem. In dit rapport zijn verschillende toepassingsconcepten beschreven, variërend van het inbrengen van dood hout tot het creëren van drijvende natuur. Als meest veelbelovende oplossing is het concept van biologisch afbreekbare balen en bundels (bijvoorbeeld in jute) naar voren gekomen. Dit concept is specifiek uitgewerkt voor een pilot in de Nes. Daar kunnen jaarlijks zo'n 60 balen riet en/of gras in luwtezones kunnen worden geplaatst. Deze methode biedt een praktisch uitvoerbaar alternatief voor de huidige afvoer van maaisel. De toepassing langs de oevers sluit daarmee aan op de reststroom van de jaarlijkse beheeropgave. Hierdoor komen de voedingsstoffen uit het organisch materiaal tegoeed aan het Markermeer en wordt de biodiversiteit van macrofauna en vis lokaal gestimuleerd.

# 1 Inleiding

## 1.1 Ecologische situatie Markermeer

Het Markermeer vertoont vanuit ecologisch oogpunt een tekort aan beschikbare nutriënten, met name fosfor, en een tekort aan kwalitatief bruikbare organische stof, als ook een onbalans in de arealen van ecotopen water en oeverzones, waardoor de primaire productie en de werking van het aquatische voedselweb beperkt zijn (Van Leeuwen et al., 2026; De Haan et al., 2019; Noordhuis, 2014). Door verbeterde rioolwaterzuivering en afgenomen externe nutriëntenbelasting sinds de jaren tachtig zijn de fosforconcentraties sterk gedaald (De Haan et al., 2019). Hoewel dit vanuit chemisch-waterkwaliteitsbeleid als positief wordt beoordeeld, heeft dit geleid tot een lage algenproductie en een beperkte opbouw van organisch materiaal aan de basis van het ecosysteem.

Tegelijkertijd bevat het Markermeer grote hoeveelheden fijn sediment dat door wind en golfslag voortdurend wordt opgewerveld (Noordhuis, 2014; Verdonschot et al., 2022). Dit slib is echter ecologisch arm en draagt weinig bij aan de voedselvoorziening van bodemfauna, waardoor de ontwikkeling van benthos, vis en visetende en bodemfauna-etende vogels wordt geremd. Deze beperkte productiviteit vormt een knelpunt voor het behalen van ecologische doelen binnen zowel de Kaderrichtlijn Water als de Natura 2000-instandhoudingsdoelen voor het Markermeer & IJmeer. De draagkracht van het systeem is onvoldoende voor de populaties van beschermde soorten waarvoor het gebied is aangewezen (LVVN, 2026).

Voor het Markermeer ligt er daarom de opgave voor het creëren van natuurlijke oeverhabitats met een geleidelijke overgang van water naar land, zones met ondiep en helder water, gradiënten in waterdiepten en het verbinden van buiten- en binnendijks gebied. Een natuurlijke balans van verschillende ecotopen in de verbinding van water naar achterland draagt bij aan het goed functioneren van het ecosysteem in een groot waterlichaam (Van Leeuwen et al., 2026; De Bruijne et al., 2025; Verdonschot et al., 2022).

Om een impuls te geven aan de natuurkwaliteit van het Markermeer worden langs de Noord-Hollandse Markermeerkust voorlanden ontwikkeld tot gevarieerde oeverzones. In de voorkeursbeslissing van de PAGW-verkenning is vastgesteld dat op drie locaties langs de Markermeerkust voorlanden ontwikkeld worden met ecotopen als overstromingsgrasland, rietmoeras en ondiep water met waterplanten. De voorlanden op locaties Kinselbaai, de Nes en Schardammer Kogen zullen worden ontwikkeld tot paai- en opgroeihabitat voor vissen die leven in het Markermeer en vormen een habitat voor weide- en moerasvogels. Op enkele locaties zal ook een kunstmatig natuurlijk peilbeheer worden ingesteld. Langs de Noord-Hollandse Markermeerkust wordt daarmee een bijdrage geleverd aan het PAGW-streefbeeld voor het IJsselmeergebied.

De totale omvang van de ecotopen 'ondiep water met waterplanten', 'helofytenmoeras' en 'overstromingsgraslanden en vloedvlaktemoeras' in de locatievarianten van het voorkeursalternatief bedraagt ongeveer 85 hectare. Ten opzichte van de totale opgave voor een ecologisch goed functionerend Markermeer (minimaal 2.000 hectare langs de Noord-Hollandse Markermeerkust) is de bijdrage hiervan in absolute zin gering maar bieden deze lokaal wél positieve ecologische effecten en zijn ze een goede stap in de ontwikkelingsroute van het Markermeer-ecosysteem (Tijhuis et al., 2025).



## 1.2 Aanleiding

Ondanks de introductie van een nagebootst natuurlijk waterpeil en nieuwe verbindingen met het achterland is de verwachting van beheerders dat de hydrodynamiek onvoldoende is om de voorlanden met overstromingsgrasland en helofytenmoeras zonder aanvullend beheer vitaal te laten ontwikkelen. Afgestorven vegetatie, zoals riet en strooisellagen, zullen naar verwachting onvoldoende worden verspreid en afgevoerd naar het open water van het Markermeer, mede omdat de verbinding daarnaartoe ontbreekt. Daarmee ontstaat verruiging en verlanding, verdwijnen de gewenste oeverecotopen naar wilgen-/broekbos-achtige ecotopen die op termijn niet meer bijdragen aan het beoogde doelbereik én blijft het Markermeer een hongerig ecosysteem. Verwacht wordt dat (aanvullend) vegetatiebeheer nodig zal zijn in de vernatte delen. Bij het vegetatiebeheer komen organische (rest)stromen vrij. In de huidige beheerpraktijk worden deze veelal afgevoerd en gestort. Op deze manier komen de voedingsstoffen niet ten goede aan het ecosysteem van het Markermeer dat juist een tekort heeft aan organische stof en nutriënten. Bovendien brengt het beheer en het afvoeren van maaisel forse afvoerkosten met zich mee.

Eenzijds komt er uit overtollige reststromen organisch materiaal vrij, wat kostbaar is om af te voeren. Anderzijds heeft het ecosysteem van het Markermeer behoefte aan organisch materiaal maar wordt dit niet op natuurlijke wijze geleverd. Dit leidt tot de wens en zoektocht naar kansen voor een andere invulling van het (vegetatie)beheer. Wat zijn de mogelijkheden voor het omgaan met reststromen uit het beheer van de voorlanden in het Markermeer en de oevers van het Markermeer?

## 1.3 Doelstelling

Deze situatie in het Markermeer en de ontwikkeling van voorlanden beschrijft feitelijk een tweeledige opgave voor vegetatiebeheer:

1. Tegengaan van vergaande verruiging voor de instandhouding van de ecotopen en daarmee het doel van PAGW Noord-Hollandse Markermeerkust.
2. Het zodanig toepassen van vrijkomende reststromen uit vegetatiebeheer dat de organische stof en nutriënten ten goede komen aan het Markermeer-ecosysteem.

De inrichting van de voorlanden en een voorzet voor passend vegetatiebeheer zijn al beschreven in het voorkeursalternatief voor PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust. Echter wordt daarmee vooralsnog enkel invulling gegeven aan de eerste opgave. Dit project richt zich daarom op de tweede opgave.

Het doel is om met een beknopte bureaustudie én bevraging van ecologen, onderzoekers en terreinbeheerders tot conceptontwikkeling te komen voor nieuwe of verbeterde vormen van vegetatiebeheer van voorlanden met helofytenmoeras en overstromingsgrasland met als voornaamste doel dat organische reststromen ten gunste van het (aquatische) ecosysteem van het Markermeer gebruikt en benut worden. Daarbij wordt de haalbaarheid van nieuwe of verbeterde vegetatiebeheerconcepten beschreven vanuit verwachte beheerskosten o.b.v. kengetallen en praktische uitvoerbaarheid.

Hierbij gaat het niet om een zo groot mogelijke bijdrage aan de ecologische doelen van het Markermeer (die bijdrage zal hiermee beperkt zijn) maar ligt de focus op de praktische win-win van het toepassen van de organische reststromen uit oeverbeheer in het Markermeer.

De uitkomsten van dit project vormen input voor een bredere beheervisie voor PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust, een mogelijke pilot en als mogelijke inspiratiebron voor andere projecten in het IJsselmeergebied of binnen de PAGW.



## 1.4 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft hoe organische reststromen uit natuurbeheer, zoals maaisel en riet, kunnen worden benut om het tekort aan nutriënten en kwalitatieve organische stof in het Markermeer aan te pakken. Na een inleiding over de ecologische knelpunten en een beschrijving van de projectlocaties (Kinselbaai, De Nes en Schardammer Kogen), biedt de studie een diepgaand theoretisch kader over de werking van de bruine voedselketen en het belang van verschillende vormen van organische stof als motor voor het aquatische ecosysteem. Dit is een uitgebreid hoofdstuk vanwege het innovatieve karakter van het onderzoek en zeer relevant voor de beschrijving van de toepassingsconcepten.

Het tweede deel van de studie richt zich op de praktische toepassingsmogelijkheden, waarbij diverse innovatieve beheerconcepten worden verkend zoals het inbrengen van dood hout, *brush bundles* en drijvende eilanden om organisch materiaal in het systeem te brengen. Deze ideeën monden uit in een uitwerking voor de concrete toepassing bij VKA-locatie de Nes, waar de inzet van biologisch afbreekbare rietballen en vegetatiebundels wordt geanalyseerd op basis van haalbaarheid, beheerkosten en ecologische risico's.

Om de rode draad in het stuk te bewaken zal voorafgaand aan de hoofdstukken 4, 5 en 6 ook een korte introductie als leeswijzer worden geschreven om de kern van de verdieping binnen dat hoofdstuk te kunnen onderscheiden.

## 2 Aanpak

De aanpak van dit project berust op drie pijlers die direct hebben geleid tot de resultaten in het eindrapport: (1) een bureaustudie vegetatiebeheer en benutten organische reststromen, (2) een interactieve sessie met experts en (3) een afsluitende synthese waarin vegetatiebeheerconcepten en praktische toepassingen zijn geanalyseerd en uitgewerkt.

### 1. Beknopte bureaustudie

De basis van het rapport werd gevormd door een theoretische en praktische analyse. Hierbij is gekeken naar de specifieke arealen en beheerkosten van de voorlanden uit het project Noord-Hollandse Markermeerkust. Er is diepgaand onderzoek gedaan naar de vormen van organisch materiaal (zoals POC en DOC) en hoe dit materiaal moet worden aangeboden om het ecosysteem optimaal te laten profiteren. Deze bureaustudie maakte gebruik van zowel eigen expertise als relevante literatuur over de bruine voedselketen in het aquatisch ecosysteem van grote wateren.

### 2. Expertsessie

Een belangrijk onderdeel van de aanpak was de organisatie van een interactieve sessie met experts vanuit kennisinstituten, terreinbeherende organisaties en adviesbureaus. Het doel van deze sessie was tweeledig:

- 1) Het ophalen van praktische ervaringen en beheerervaringen van kennishouders.
- 2) Het gezamenlijk ontwikkelen en toetsen van nieuwe ideeën voor het benutten van reststromen specifiek voor de Markermeerkust.

De bijeenkomst heeft plaatsgevonden op 21 april en is door 16 mensen bijgewoond. De resultaten van deze sessie zijn verwerkt in hoofdstuk 5 van het eindrapport; praktijkervaring en ideevorming. Experts die hier niet bij konden zijn, zijn naderhand per mail of telefonisch benaderd voor een reactie.

### 3. Synthese en Praktijkvoorbeeld

In de laatste fase van het project zijn de inzichten uit de bureaustudie en de expertsessie geïntegreerd tot de uitwerking van praktische concepten voor de benutting van organische reststromen. Dit leidde tot;

- een overzicht van mogelijke concrete vegetatiebeheerconcepten, waarbij per concept is gekeken naar de wijze van maaien, verwerken en toepassen van het materiaal;
- een toets van deze concepten haalbaarheid, kosten en ecologisch effect;
- de gedetailleerde uitwerking voor de toepassing van vegetatieballen en -bundels in een praktijkvoorbeeld voor de Nes, inclusief een raming van volumes, kosten en een tijdsplanning.

Deze gestructureerde aanpak zorgde ervoor dat het onderzoek niet alleen een theoretische beschrijving geeft maar daarnaast een advies bevat met concrete aanbevelingen over praktische toepassingsmogelijkheden waarbij organische reststromen ten gunste komen van het ecosysteem van het Markermeer. Dit kan worden benut als vertrekpunt voor het beheervriendelijk ontwerpen in de nog te starten planuitwerking van het PAGW-project langs de Noord-Hollandse Markermeerkust.

### 3 Gebiedsbeschrijving

In dit hoofdstuk worden kort de gebieden beschreven die vanuit PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust als natuurlijkere vooroever of achterland ontwikkeld zullen worden. Dit geeft een beeld van de omvang en ruimtelijke inrichting van de gebieden voor de latere toepassingsconcepten voor benutting van reststromen. Meer informatie is te vinden in de beschrijving van het MIRT-Voorkeursalternatief (van der Meer et al., 2025)

#### 3.1 Gebieden Markermeerkust

In de MIRT-verkenning zijn voor zes locaties langs de kust tussen Amsterdam en Enkhuizen samenhangende maatregelen ('locatievarianten') onderzocht die bijdragen aan ecologische doelstellingen van het Markermeer. Hieruit zijn vier locatievarianten naar voren gekomen die positief zullen bijdragen aan de doelen van het project en passend zijn qua doelbereik, milieueffecten, meekoppelkansen, financiële haalbaarheid en effectiviteit en bestuurlijke adviezen. Dit zijn locatievarianten voor de locaties Kinselbaai, De Nes en Schardammer Kogen. Deze drie locatievarianten (Figuur 3.1) zijn vastgesteld als het (MIRT)-voorkeursalternatief (VKA) en worden na zienswijze ook opgenomen als (ontwerp)voorkeursbeslissing (VKB), waarbij locatie Uiterdijk in de planning- en studiefase in beeld zal blijven als reservelocatie voor het geval één van de andere locaties niet (geheel) gerealiseerd kan worden, of als de locatievariant toch te realiseren is binnen het beschikbaar budget. Op alle locaties worden maatregelen voorzien in de (buitendijkse) voorlanden en het aangrenzende Markermeer. In de voorlanden en de aangrenzende kustzone van locaties worden zo extra hectares helofytenmoeras, overstromingsvlakte en ondiep water met waterplanten gerealiseerd. De gebieden krijgen een functie als paai- en opgroeigebied voor vissen, er ontstaat nieuw leefgebied voor vogels en de productie van organische stoffen wordt vergroot.

In het kort worden de gebieden als volgt ontwikkeld:

- In de **Kinselbaai** wordt helofytenmoeras en ondiep water met ondergedoken waterplanten ontwikkeld. Daarnaast wordt de Kinselbaai verbonden met het naastgelegen natuurgebied. Dit gebied volgt het peil van het Markermeer.
- In de **Nes** wordt helofytenmoeras, overstromingsgrasland en ondiep water met ondergedoken waterplanten ontwikkeld, waarbij het voorland verbonden wordt met het Markermeer. In de Nes zal een natuurlijk peilverloop worden nagebootst.
- In de **Schardammer Kogen** wordt helofytenmoeras, overstromingsgrasland en ondiep water met ondergedoken waterplanten ontwikkeld, waarbij de kogen verbonden worden met het Markermeer. In de Oosterkoog is sprake van gereguleerd natuurlijk peilbeheer, in de Floriskoog is sprake van een open verbinding met het Markermeer. De Rietkoog volgt zijn eigen peildynamiek en is met een vispassage verbonden met het Markermeer. De kleine Koog wordt bereikbaar gemaakt voor vis.
- **Uiterdijk** wordt als reservelocatie meegenomen in de planning- en studiefase. In dit gebied kan ongeveer 15 hectare helofytenmoeras, overstromingsgrasland en ondiep water met ondergedoken waterplanten worden ontwikkeld.

#### 3.2 Arealen ecotopen

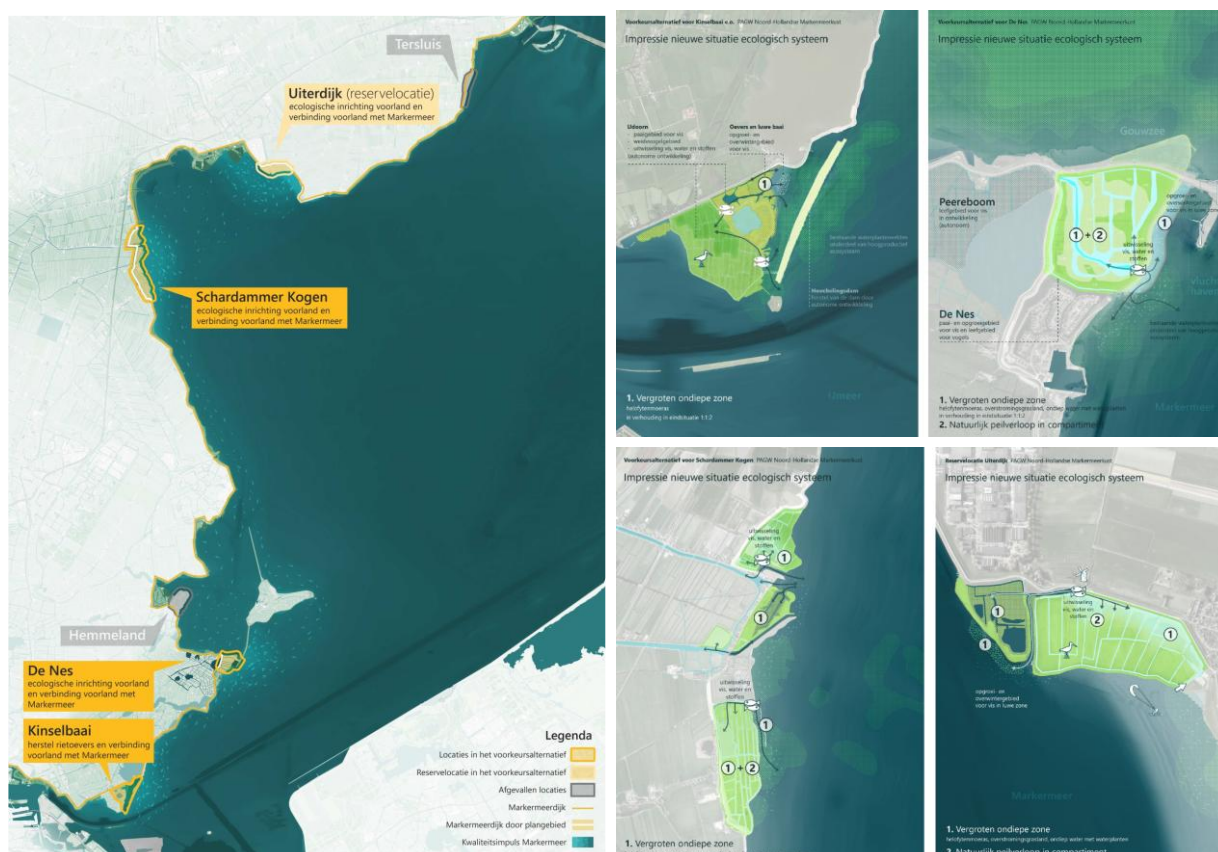
Het voorkeursalternatief (VKA) beschrijft ook de te ontwikkelen arealen voor de verschillende ecotopen die voorkomen langs de randen van het Markermeer en of hier natuurlijk peilverloop en visverbinding met het achterland wordt gerealiseerd.



**Tabel 3.1: Arealen ecotopen binnen de te ontwikkelingen gebieden volgens doelbereik van het VKA van PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust. De arealen voor grasland/droogblijvende delen in buitenpolder zijn niet onderdeel van het doelbereik VKA maar wel opgenomen in te beheren arealen.**

| Gebieden volgens VKA PAGW NHMK | Ondiep water met ondergedoken waterplanten | Overstromings-grasland | Helofytenmoeras | Grasland of droogblijvende delen polder | Natuurlijk peil-verloop | Visverbinding met achterland   |
|--------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Kinselbaai                     | 1,6 ha                                     | -                      | 6,9 ha          | -                                       | -                       | -                              |
| De Nes                         | 7,3 ha                                     | 5,4 ha                 | 5,4 ha          | 8,8 ha                                  | in polder               | -                              |
| Schardammer Kogen              | 3 ha                                       | 39,1 ha                | 14,7 ha         | 11,4 ha                                 | in Oosterkoog           | Kleine Koog met Schermerboezem |
| <b>Subtotaal</b>               | <b>11,9 ha</b>                             | <b>44,5 ha</b>         | <b>27 ha</b>    | <b>20,2 ha</b>                          |                         |                                |
| Reservelocatie Uiterdijk       | 1,9 ha                                     | 6,8 ha                 | 6,4 ha          | 17,4 ha                                 | in Binnen-Uiterdijk     | -                              |
| <b>Totaal</b>                  | <b>13,8 ha</b>                             | <b>51,3 ha</b>         | <b>33,4 ha</b>  | <b>37,6 ha</b>                          |                         |                                |

Op enkele van deze locaties zal dus ook een natuurlijk peil geïntroduceerd worden wat onafhankelijk maar verbonden met het Markermeer(peil) op kleine schaal in buitendijkse compartimenten functioneert. De totale omvang van de ecotopen ‘ondiep water met waterplanten’, ‘helofytenmoeras’ en ‘overstromingsgraslanden en vloedvlaktemoeras’ in de locatievarianten van het VKA bedraagt ongeveer 85 hectare (exclusief reservelocatie Uiterdijk).



**Figuur 3.1: De drie te ontwikkelingen locaties aan het Markermeer volgens het voorkeursalternatief van PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust, inclusief reservelocatie Uiterdijk (rechtsonder)**

## 4 Theorie: Markermeer en organische stof

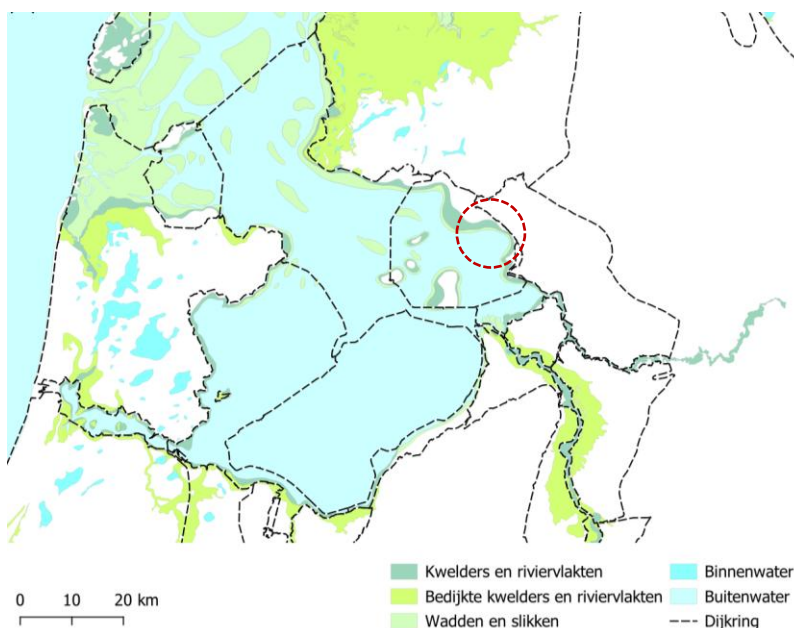
Dit hoofdstuk is de theoretische basis voor de hoofdstukken die hierna volgen. Het geeft achtergrondinformatie over het ecosysteem van het Markermeer, de knelpunten die er zijn met de doelen van Vogel- en Habitatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water en daarvoor mogelijke herstelmaatregelen. Vanaf paragraaf 4.3 spitst de theorie zich toe op organisch materiaal. Paragraaf 4.3 is belangrijk voor het begrip over het belang van organische stof en het stimuleren van de bruine voedselketen. Hiermee is het de inhoudelijke onderbouwing voor de toepassingsconcepten die worden beschreven in hoofdstuk 5. De slotparagraaf (4.4) is verdieping en beschrijft in meer detail wat verstaan wordt onder organische stof.

### 4.1 Het Ecosysteem van het Markermeer

#### Novel ecosystem

Het Markermeer is een sterk veranderd, ondiep zoetwatermeer (gemiddeld 3,6 meter diep) dat is ontstaan na de afsluiting van de Zuiderzee en de latere scheiding van het IJsselmeer door de Houtribdijk. Omdat de historische referentie van het systeem marien is, wordt het huidige zoete Markermeer dat wordt gestuurd door menselijke ingrepen zoals peilbeheer en bedijking beschouwd als een *novel ecosystem*: een nieuw type ecosysteem zonder direct historische referentie.

Ter illustratie toont Figuur 4.1 een reconstructie van de Zuiderzee rond 1250 n.C., ook wel paleografische kaart genoemd, met daarin de huidige ligging van de dijken en inpolderingen. Dit laat zien hoeveel kwelders en wadden er in het Zuiderzeegebied zijn verdwenen door bedijking, inpoldering, oeverafslag en het sterk gereguleerde waterpeil. De groene randen zijn op de schaal van de Zuiderzee maar smal, maar voor het beeld: ter hoogte van de huidige Noordoostpolder (rode cirkel in de afbeelding) is die zone wel 4 km breed. De bedijking leidde er ook toe dat de open verbindingen met omliggende zeeklei en veengebieden en bijbehorende stroompjes verbroken werden. Het levert veilige polders op, maar door de veenwinning en toegenomen drooglegging is het land in de loop van de tijd soms ook meters gedaald. Grote droogmakerijen liggen van zichzelf al lager. De Zuiderzeebodem in bijvoorbeeld de Flevopolder ligt op de laagste delen meer dan 5 meter beneden NAP.



*Figuur 4.1: Paleografische kaart van de Zuiderzee, IJssel en Waddenzee anno 1250 n.C. met de huidige dijkringen. De kleuren tonen de historische ligging van wadden, kwelders, uiterwaarden en al ingedijkte delen daarvan (donkergroen). Deze zijn door verdere bedijking, inpoldering en afsluiting van de Zuiderzee buitendijks grotendeels verdwenen of veel minder breed geworden (De Bruijne et.al. 2025). Ter hoogte van de rode cirkel is de oever met wadden en kwelders zo'n 4 km breed.*

### Ecologische Knelpunten: harde grenzen, troebelheid en een hongerig meer

“Het Markermeer is hongerig en ademt niet meer” (citaat Marcel van den Berg). Daarmee bedoelt hij dat de hoeveelheid nutriënten en organische stof beperkt is en dat de waterpeilen niet meer meebewegen met de seizoenen: hoger in de winter inclusief inundatie van oeverzones en lager in de zomer. Dit werkt negatief door op het voedselweb en de vis- en vogelstand en bedreigt het halen van de doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water.

De belangrijkste knelpunten zijn (Van den Berg et al., 2023; Tack et al., 2024):

- **Gebrek aan natuurlijke oevers en een natuurlijke peilfluctuatie:** De oevers bestaan voor het grootste deel uit harde structuren van zet- en stortsteen waardoor de natuurlijke land-waterovergang (litorale zone) vrijwel volledig ontbreekt. Er is een schreeuwend gebrek aan ondiepe zone met waterplanten, riet en andere helofyten en overstroombare oeverlanden met moeras, grasland en wilgenbos. Het sterk gereguleerde peil, met lagere winterpeilen en hogere zomerpeilen, werkt nadelig voor ontwikkeling van rietoevers. Dit belemmert cruciale processen zoals de voortplanting van vis (De Bruijne et al., 2025), de filtering van slib, de opname van nutriënten en het leveren van kwalitatief goed organische materiaal. Het voedselweb bouwt daarmee vooral op primaire productie vanuit fytoplankton, benthische productie is nauwelijks aan de orde. Het voedselweb is daarmee minder gediversifieerd, vooral vissen en macrofauna die over kunnen schakelen op opportunistische omnivore voedingsstrategieën doen het goed, gespecialiseerde soorten doen het minder goed (Tack et al., 2024).
- **Slibhuishouding, slibkwaliteit en troebelheid:** Door de grote strijklengte van de wind en het ontbreken van luwtes wordt fijn sediment (het zgn. *floating mud*) continu opgewerveld. Daarnaast kan het slib door de afsluiting van het meer het systeem niet verlaten. Dit slib is bovendien voedselarm en beperkt de lichtindringing in de waterkolom, wat de primaire productie van algen en ontwikkeling van macrofauna en waterplanten remt. Het slib beperkt ook de voedselkwaliteit van verzamelaars en filteraars zoals watervlooien en schelpdieren waardoor hun populaties afnemen. Bij het filteren van hun voeding uit het water eten ze namelijk naast algen ook onbedoeld het slib met een lagere voedingswaarde.
- **Nutriëntentekort:** Sinds de jaren tachtig is de nutriëntenbelasting van alle wateren in Nederland sterk afgenomen door verbeterde rioolwaterzuivering, het saneren van overstorten en een strengere mestwetgeving. Waar de fosforconcentratie in de beginjaren na de vorming van het meer tussen de 0,20 en 0,25 mg P/l (zomergemiddeld) lag, daalden ze in de periode 1976-2022 tot 0.01-0.07 mg P/l en bleef ze daarna < 0.1 mg P/l (Van Riel et al. 2019). Naast de afname van de nutriëntenbelasting, blijkt ook dat meer dan de helft van het inkomende fosfor - gebonden aan zwevend slib - verdwijnt in diepe putten van het Markermeer. Hoewel positief voor de chemische waterkwaliteit, heeft de oligotrofiëring in dit *novel ecosystem* geleid tot een voedselarm systeem met een lage algenproductie en een beperkte opbouw van organisch materiaal aan de basis van het ecosysteem. Uit onderzoek blijkt dat de lage nutriëntenbelasting voor algen ondertussen een groter knelpunt is dan het hoge slibgehalte in de waterkolom (Van den Berg et al., 2023).

Door bovenstaande punten is het systeem terecht gekomen in een pioniersstadium van ecologische ontwikkeling, waarbij de energie- en stofstromen tussen de bodem (benthisch) en de waterkolom (pelagisch) zijn verzwakt en successie richting een volwaardig climaxstadium niet van de grond komt. De waterplanten komen wel terug en daarmee ook de plantenetende vogels, maar de waterplanten zijn niet in staat om het voedselweb genoeg te stimuleren. De hogere trofische niveaus, zoals vissen en vogels, gaan daardoor achteruit in kwaliteit.



## 4.2 Herstelmaatregelen: waarom die focus op het achterland?

Aangetoond is dat voor een robuuste waterkwaliteit van het Markermeer en IJmeer er een tekort is aan duizenden hectares aan litorale zones en overstromingszones (Westendorp et.al., 2020; Heins et.al., 2020; zie Tabel 4.1). De waterplanten, oeverplanten, oobossen en overstromingszones met moeras, grasland en bos (zie Figuur 4.2) vervullen een cruciale functie bij het invangen en de omzetting en vastlegging van stoffen in biomassa. Het zijn ook de zones in meren en plassen met de hoogste biodiversiteit, bijvoorbeeld van vis. In een sterk door de mens veranderd ecosysteem zoals het Markermeer is herstel volgens klassieke methoden echter lastig. De aanleg van duizenden hectares aan nieuwe, buitendijkse natuur is kostbaar en tijdrovend.

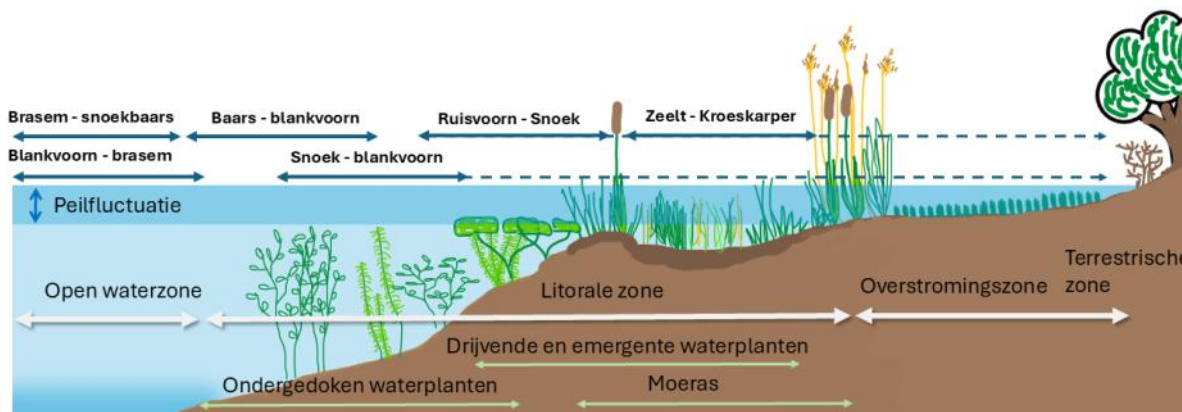
Dat het goed kan werken, is aangetoond bij de Marker Wadden en het Trintelzand, nieuwe eilandengroepen in het Markermeer met zachte oevers en ruimte voor ondiepe luwtezones met waterplanten en oeverplanten als leefgebied voor belangrijke, aquatische soortgroepen zoals plankton, macrofauna, macrofyten en vis (De Rijk & Löffler, 2022; Van Leeuwen et.al., 2026. Zie ook paragraaf 5.2).

Experts (zie bijvoorbeeld Van den Berg et.al., 2023) verwachten als alternatief op buitendijkse oplossingen ook veel van het herstellen van de connectiviteit met het binnendijkse achterland. De focus ligt daarbij op de uitwisseling van nutriënten en organische stof als 'motor van het voedselweb' én op vismigratie. Dat geeft direct ook het belang aan van de actieve inbreng van organische stof wat in voorliggend project wordt onderzocht.

Tabel 4.1: Opgave voor de ecotopen in het Markermeer IJmeer (Heins, 2020).

| Ecotoop                                        | Code           | Minimale opgave | Benodigd oppervlak in Markermeer (ca 71.200 ha) | MM huidige opp. (ha) | MM huidige opp. (%) | minimale opgave nog te realiseren (ha)    |
|------------------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------------|
| Zeer diep water                                | MzZ            |                 |                                                 | 1.463                | 2%                  |                                           |
| Diep water                                     | MzD            |                 |                                                 | 53.975               | 76%                 |                                           |
| Matig diep water                               | MzM            |                 |                                                 | 13.558               | 19%                 |                                           |
| Ondiep water                                   | MzO            |                 |                                                 | 326                  | 0%                  |                                           |
| Matig diep en ondiep water met waterplanten*   |                | 10-25%          | 7.120 – 17.800 ha                               | 4.511                | 6%                  | <b>2.600 – 13.300</b><br>(2.609 – 13.289) |
| Moerasplanten en helofytenzone                 | IV.1-2-3-6-8-9 | 5-10%           | 3.560 – 7.120 ha                                | 101                  | 0%                  | <b>3.560 – 7.000</b><br>(3.458 – 7.019)   |
| Moerasruigte / gorsruigte in oever             | V.1-2-3-4      | 5%              | 3.560 ha                                        | 715                  | 1%                  | <b>2.900</b><br>(2.845)                   |
| Zachthout struweel in oever                    | VI.2           |                 |                                                 |                      |                     |                                           |
| Zachthout oobos in oever                       | VI.4           |                 |                                                 |                      |                     |                                           |
| Moerassig structuurrijk overstromings-grasland | VII.1-2        |                 |                                                 |                      |                     |                                           |
| Grasland in oever                              | VII.1-2-3      |                 |                                                 |                      |                     |                                           |





Figuur 4.2. Theoretisch profiel van een natuurlijke land-water overgang met peilfluctuaties, verschillende oeverzones en bijbehorende visgemeenschappen in plassen en meren (De Bruijne et al., 2025). De dijk en de binnendijkse gebieden liggen rechts van de tekening.

Relevant voor voorliggend project is het WENR-project Ecosysteembenadering & Voedselweb in opdracht van LVVN. Onder leiding van Ralph Verdonschot (WENR) zijn vier studies uitgevoerd met als overkoepelend doel het begrijpen van de rol die stofstromen tussen grote meren en hun achterland en oeverzones spelen bij de ecologische draagkracht van systemen zoals het IJsselmeergebied. Er zijn vier rapporten uitgebracht die de bronnen, routes en de daadwerkelijke opname van organische materiaal in het aquatische voedselweb in kaart brengen (zie kader). Deze rapporten zijn een belangrijke bron van inspiratie voor voorliggend project.

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

Samengevat behandelen ze de volgende thema's:

- **Deel I** - Theoretisch kader en casestudie IJssel-Vechtdelta (Verdonschot et al., 2022): Beschrijft het theoretisch kader waarin externe aanvoer van organisch materiaal wordt gezien als de motor van het voedselweb en analyseert de huidige onderbroken verbindingen in de IJssel-Vechtdelta.
- **Deel II** - Pilotstudie kwantificering stofafgifte organische bronnen IJsselmeergebied (Verdonschot, 2024): Kwantificeert via laboratoriumexperimenten de stofafgifte van verschillende bronnen (riet, wilg, waterplanten, ganzenkeutels) en benadrukt het belang van habitatheterogeniteit voor een constante voedselstroom.
- **Deel III** - Koppeling van meer en moeras: systeemanalyse van de stofstromen vanuit de binnendijkse moerassen in Flevoland naar het Markermeer (Van Leeuwen et al., 2024): Identificeert binnendijkse moerassen (Oostvaardersplassen/Lepelaarplassen) als hotspots van nutriënten en koolstof en verkent scenario's om deze bronnen weer aan het Markermeer te koppelen.
- **Deel IV** - Pilotstudie koppeling van meer en moeras: isotopenanalyse van het voedselweb van de oever en het water van het Ketelmeer (Van Bendegom et al., 2025): Toont met isotopenanalyse aan dat organisch materiaal uit de oeverzones daadwerkelijk wordt opgenomen in het sediment en het voedselweb van het meer, wat de noodzaak voor betere connectiviteit bevestigt.

### 4.3 Waarom is organische stof belangrijk?

Om over het benutten van reststromen na te kunnen denken, is kennis van organische stof van belang. Wat is organische stof? In welke vormen komt het voor? Wat zijn de bronnen? En hoe verplaatst het zich door het ecosysteem en voedselweb? Dat werken we in deze en de volgende paragraaf uit. Hiervoor hebben we uitvoerig gebruik gemaakt van het standaardwerk Wetzel's Limnology: Lake and River (Jones & Smol, 2024) en aanvullende literatuur. Deze paragraaf is de inhoudelijke basis voor de toepassingsconcepten uit hoofdstuk 5.





## De bruine en groene voedselketen

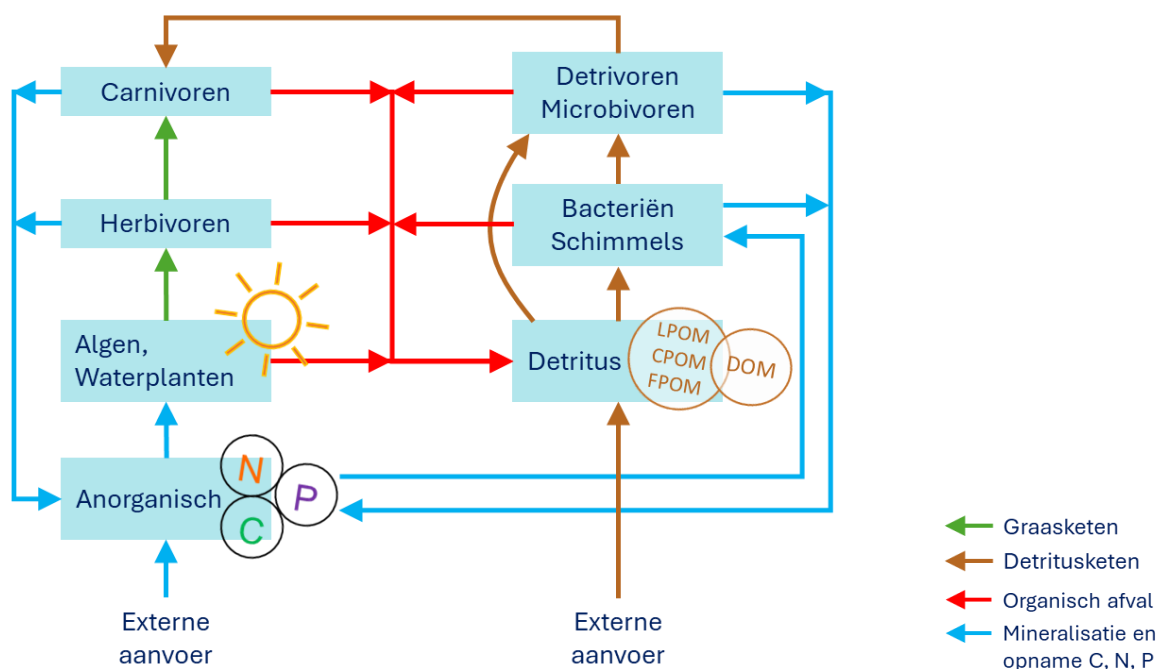
Lange tijd werd in de limnologie aangenomen dat de groene voedselketen de hoofdmotor van het aquatische voedselweb was. Deze is schematisch weergegeven in de linkerhelft van Figuur 4.3. Voedingsstoffen, waarvan koolstof, stikstof en fosfor (C, N en P) de belangrijkste zijn, worden door algen en waterplanten onder invloed van zonlicht omgezet in biomassa. Door consumptie (herbivoren en carnivoren) komt de energie in het voedselweb terecht. Wanneer soorten doodgaan, ontstaat dood organisch materiaal, ook wel detritus genoemd. Bacteriën en schimmels zetten dat weer om in voedingsstoffen en zo is de cyclus rond.

De meeste watersystemen zijn echter heterotroof en niet autotroof zoals het Markermeer nu. Dat wil zeggen dat de meeste energie in meren van buiten komt, via de aanvoer en omzetting van detritus, de rechterhelft van Figuur 4.3. Detritus is er in verschillende vormen. Vooral Dissolved Organic Matter (DOM) maakt een grote fractie uit. Daarnaast de grovere deeltjes (Particulate Organic Matter). De bacteriën en schimmels die betrokken zijn bij de afbraak én het detritus zelf worden gegeten door de microbivoren (eten micro-organismen) en detrivoren (eten detritus). Carnivoren eten die soorten vervolgens weer.

Beide ketens zijn van belang en beïnvloeden elkaar:

- Het bruine voedselweb is te vergelijken met een vliegwielt. Het zorgt voor een stabiele bron van energie. Het groene voedselweb is dan de turbo die de energiestroom een boost geeft. In een gezond systeem is de bruine voedselketen de energiebron wanneer de primaire productie laag is, bijvoorbeeld in de winter. Zonder de daarvoor benodigde aanvoer is het voedselweb in het Markermeer eenzijdig en onvoldoende productief voor hogere trofische niveaus zoals vissen en vogels.
- Het groene voedselweb produceert ten opzichte van het bruine voedselweb een betere kwaliteit aan voeding (Jones & Smol, 2024). Algen zijn bijvoorbeeld rijk aan onverzadigde vetzuren en hebben een lagere C:N en C:P verhouding waardoor ze makkelijker verteerbaar zijn. Dat leidt tot een hogere productiviteit en gezondere populaties van bijvoorbeeld zoöplankton en vis.
- Soorten kunnen in beide voedselketens een functie hebben. Carnivoren eten bijvoorbeeld van beide groepen en zoöplankton eet zowel algen als detritus.
- De variatie aan algen, waterplanten en verschillende vormen van detritus leidt tot een hogere biodiversiteit. Dit is goed bekend uit de bekenwereld waar variatie in substraat (mix van bodemmateriaal met grof en fijn organisch (dood) materiaal) een van de stuurknoppen is voor de soortenrijkdom.

In de bekenwereld is de bruine voedselketen goed onderzocht. De groene keten speelt in de bovenloop van beken namelijk geen rol van betekenis. Er is door de begroeide oevers vaak te weinig licht voor fotosynthese. Daar komt het grootste deel van de energie dus uit blad en takken die in de beek vallen. Functionele soortgroepen zoals *versnipperaars* (zoals kokerjuffers en vlokreeften), *verzamelaars* (borstelwormen, muggenlarven), *filteraars* (schelpdieren, sponzen, watervlooien) en *grazers of schrapers* (slakken) helpen ieder op hun eigen manier mee om dat organische materiaal kleiner te maken en om te zetten in biomassa. Deze soorten zijn op hun beurt weer uitstekend visvoer. De variatie in substraat (mix van grof en fijn bodemmateriaal en organisch (dood) materiaal) is in beken een van de stuurknoppen voor de soortenrijkdom. Dit concept met functionele groepen is al in 1980 uitgewerkt in het bekende River Continuum Concept voor beken en rivieren (Vannote et.al., 1980). Het inspireerde het nadenken over de koolstofcyclus ook in andere watersystemen zoals meren.



Figuur 4.3. Schematische weergave van de groene graasketen en bruine detritusketen (naar Moore et.al., 2004). Zie voor de betekenis van de afkortingen het kader verderop. In deze studie kijken we naar externe aanvoer aan de rechter kant van de figuur door het actief inbrengen van dood organisch materiaal (een vorm van LPOM en CPOM).

### Paradigmashift

In Nederland was de aanleiding voor herstelmaatregelen van watersystemen vaak de eutrofiëringsproblematiek uit de jaren '70 en '80 waarbij een overmaat aan organische stof, fosfor en stikstof leidde tot troebel, algenrijk en zuurstofarm water en het verdwijnen van waterplanten en biodiversiteit. Herstel richtte zich daarom sterk op het terugdringen van lozingen, aangescherpte mestwetgeving en het ontwikkelen van nieuw leefgebied. In verschillende wateren is deze strategie succesvol. Daar leidde de afname van nutriënten tot helder water en de terugkeer van waterplanten (kranswieren, fonteinkruiden) en daarvan afhankelijke visgilden, wat een robuust ecosysteem herstelde. Echter, in sterk veranderde meren zoals het Markermeer en IJsselmeer is een impasse ontstaan. Door de nutriëntenreductie is de interne primaire productie (algen) sterk gedaald, maar omdat deze meren door harde dijken zijn afgesneden van hun natuurlijke achterland is er onvoldoende externe aanvoer van nutriënten en detritus (dood organisch materiaal) om dit verlies te compenseren.

Er zijn referenties die laten zien dat in natuurlijke grote ondiepe meren tot wel 50% van de energie in een voedselweb van het stroomgebied bovenstrooms afkomstig is. In het Markermeer is dat vrijwel niks (pers. communicatie H. van der Geest). Het inzicht dat de meeste watersystemen heterotroof zijn, mag gerust een paradigmaverschuiving genoemd worden in de limnologie (Jones & Smol, 2024). Specifiek voor het IJsselmeergebied is het belang hiervan doorgedrongen. Verschillend onderzoeken die in dit rapport zijn gebruikt, richten zich ook specifiek op de rol van organische stof. Zie bijvoorbeeld de hierboven genoemde rapporten uit het WENR-project Ecosysteembenadering & Voedselweb. Ook tijdens de expertsessie die in het kader van voorliggende studie werd gehouden, werd duidelijk dat stakeholders het belang van organische stof inzien.



#### 4.4 Organisch materiaal - verschijningsvormen en afbraak

Dit is een verdiepende paragraaf. In deze paragraaf bespreken we in meer detail wat verstaan wordt onder organische stof: welke vormen zijn er, hoe wordt het afgebroken en hoe snel. Omdat het project een innovatief karakter heeft, is het verzamelen van dit soort basiskennis zinvol.

##### Koolstof – een van de belangrijkste bouwstoffen van het leven

De samenstelling van levende organismen verschilt per soortgroep. Koolstof (C), Stikstof (N) en fosfor (P) vormen de belangrijkste elementen. Tabel 4.2 geeft de atomaire samenstelling van algen. Kijken we naar gewicht, dan staat koolstof (C) duidelijk bovenaan. Ze bedraagt 45% Van het totale gewicht van de genoemde elementen in de tabel. Ook voor waterplanten (macrofyten) is koolstof een cruciaal macronutriënt. Ze bedraagt doorgaans 35% tot 50% van het drooggewicht (Jones & Smol, 2024). De C:N:P-verhoudingen verschillen echter tussen algen, waterplanten en landplanten. Op basis van de massa-verhouding met P uit de tabel is een gemiddelde C:N:P-ratio te berekenen van 39:5:1 mg/mg. Dit komt dicht in de buurt van de in de aquatische wereld bekende Redfield-ratio van 40:7:1 mg/mg (omgerekend C:N:P = 106:16:1 mol/mol). Later zullen we zien dat dit uitmaakt voor het gemak waarmee detritus weer afgebroken kan worden.

Tabel 4.2. Gemiddelde hoeveelheden ( $\mu\text{g}/\text{mg}$  droge massa), aantallen atomen en massa-verhoudingen van atomen met C in algen. De tabel is gerangschikt in volgorde van gemiddeld gewicht (Jones & Smol, 2024)

| Element | Gemiddelde<br>( $\mu\text{g}/\text{mg}$ droge massa) | Bereik<br>( $\mu\text{g}/\text{mg}$ droge massa) | Aantal<br>(atomen) | Massa-verhouding met<br>P |
|---------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| C       | 430                                                  | 175–650                                          | 4.460.000          | 39                        |
| O       | 275                                                  | 205–330                                          | 2.120.000          | 25                        |
| H       | 65                                                   | 29–100                                           | 8.140.000          | 5,9                       |
| N       | 55                                                   | 10–140                                           | 487.000            | 5,0                       |
| Si      | 54                                                   | 0–230                                            | 237.000            | 4,9                       |
| K       | 17                                                   | 1–75                                             | 55.000             | 1,5                       |
| P       | 11                                                   | 0,5–33                                           | 43.800             | 1,0                       |
| Ca      | 8,7                                                  | 0–80                                             | 27.500             | 0,8                       |
| Na      | 6,1                                                  | 0,4–47                                           | 32.500             | 0,6                       |
| S       | 5,9                                                  | 1,5–16                                           | 23.800             | 0,5                       |
| Fe      | 5,9                                                  | 0,2–34                                           | 13.800             | 0,5                       |
| Mg      | 5,6                                                  | 0,5–75                                           | 28.700             | 0,5                       |
| Zn      | 0,28                                                 | 0,005–1,0                                        | 540                | 0,03                      |
| Cu      | 0,1                                                  | 0,006–0,3                                        | 200                | 0,01                      |
| Mn      | 0,06                                                 | 0,02–0,24                                        | 138                | 0,01                      |
| Co      | 0,06                                                 | 0,0001–0,2                                       | 125                | 0,01                      |
| Se      | 0,04                                                 | 0,02–0,08                                        | 100                | 0,004                     |
| B       | 0,03                                                 | 0,001–0,25                                       | 350                | 0,003                     |
| Mo      | 0,0008                                               | 0,0002–0,001                                     | 1                  | 0,0001                    |

##### Groeilimitatie

De verhouding tussen verschillende voedingsstoffen in het milieu is cruciaal voor de groei van organismen. Wanneer de beschikbaarheid van de bouwstoffen in het milieu afwijkt van de behoefte van het organisme, ontstaat er een groeiachterstand door de schaarste van het minst beschikbare element. In de meeste Nederlandse wateren (met uitzondering van zure en matig gebufferde wateren, bijvoorbeeld vennen) is koolstof ruim voldoende aanwezig. Stikstof en fosfor komen echter in verhouding met koolstof in lagere hoeveelheden voor dan wat de algen en planten voor hun weefselopbouw nodig hebben, waardoor deze stoffen limiterend zijn voor de groei. Eutrofiëring — de verrijking van het water met extra stikstof en fosfor — verschuift deze CNP-verhoudingen richting het optimum voor algen en planten, wat een explosieve toename van biomassa mogelijk maakt. In ernstige gevallen leidt dit tot algendominantie en troebel water. Dit heeft een kettingreactie tot gevolg: de dieper groeiende waterplanten sterven door lichtgebrek, waardoor een essentieel leefgebied voor vissen en macrofauna verloren gaat.



## Vormen van organische stof

Koolstof, maar ook de andere atomen in organische stof (N, P), zijn na het sterven van een organisme niet direct beschikbaar als bouwstof voor andere organismen. Dieren kunnen het afbreken in hun spijsverteringskanaal, maar voor fytoplankton en waterplanten dient het eerst afgebroken te worden tot anorganisch koolstof (zie ook Figuur 4.3). Zo ontstaat een kringloop of cyclus, de koolstofcyclus met verschillende vormen van organische stof (Figuur 4.4). Voor het project is begrip hiervan relevant omdat de maatregelen die voorgesteld zijn, ingrijpen op deze kringloop. Literatuur over dit thema is best complex, alleen al door de vele koolstofvormen met bijbehorende, Engelstalige afkortingen. Daarnaast ook door de verschillende soortgroepen die een cruciale rol spelen in de cyclus. Het kader met bijbehorende Figuur 4.4 geven een samenvatting van de koolstofvormen en de omzetting ervan.

### Koolstofvormen en omzetting in aquatische systemen

De koolstofcyclus in oppervlaktewater werkt als een dynamisch systeem met drie hoofdlagen (Figuur 4.4): **atmosfeer, waterkolom en waterbodem**. De cyclus start met **opgelost anorganisch koolstof (DIC)**. Dit bestaat uit koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ) uit de lucht, bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) en carbonaat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), waarbij de onderlinge verhouding wordt gereguleerd door de pH-waarde (Figuur 4.4; merk overigens op dat klimaatverandering leidt tot een hoger  $\text{CO}_2$ -gehalte in het water en dus tot zuurder water). Via fotosynthese leggen algen en planten anorganisch koolstof vast in biomassa (organisch koolstof), terwijl macrofauna het organisch materiaal weer afbreken zodat micro-organismen het kunnen omzetten naar  $\text{CO}_2$  (respiratie).

De **totale hoeveelheid organische stof (TOC)** in het water wordt op basis van deeltjesgrootte gecategoriseerd in twee hoofdvormen, waarbij de grens gewoonlijk op **0,45  $\mu\text{m}$**  ligt. Deze indeling is praktisch ontstaan door de filtergrootte die bij het nemen van watermonsters wordt gebruikt. Men onderscheidt:

**Zwevend of Particulair Organisch Koolstof (POC >0,45  $\mu\text{m}$ )**: Dit betreft het materiaal wat bij filtratie achter blijft. De koolstoffractie hiervan wordt **Particulair Organisch Koolstof (POC)** genoemd en omvat levende biomassa (algen, bacteriën) en dood organisch materiaal (detritus). Dit wordt nog onderverdeeld in:

**LPOM** (large >10 mm): bijvoorbeeld hout.

**CPOM** (coarse 1-10 mm): bijvoorbeeld bladeren, takken en dode organismen.

**FPOM** (fine 0,45  $\mu\text{m}$  - 1 mm): zeer kleine fragmenten die vaak in suspensie door de waterkolom zweven.

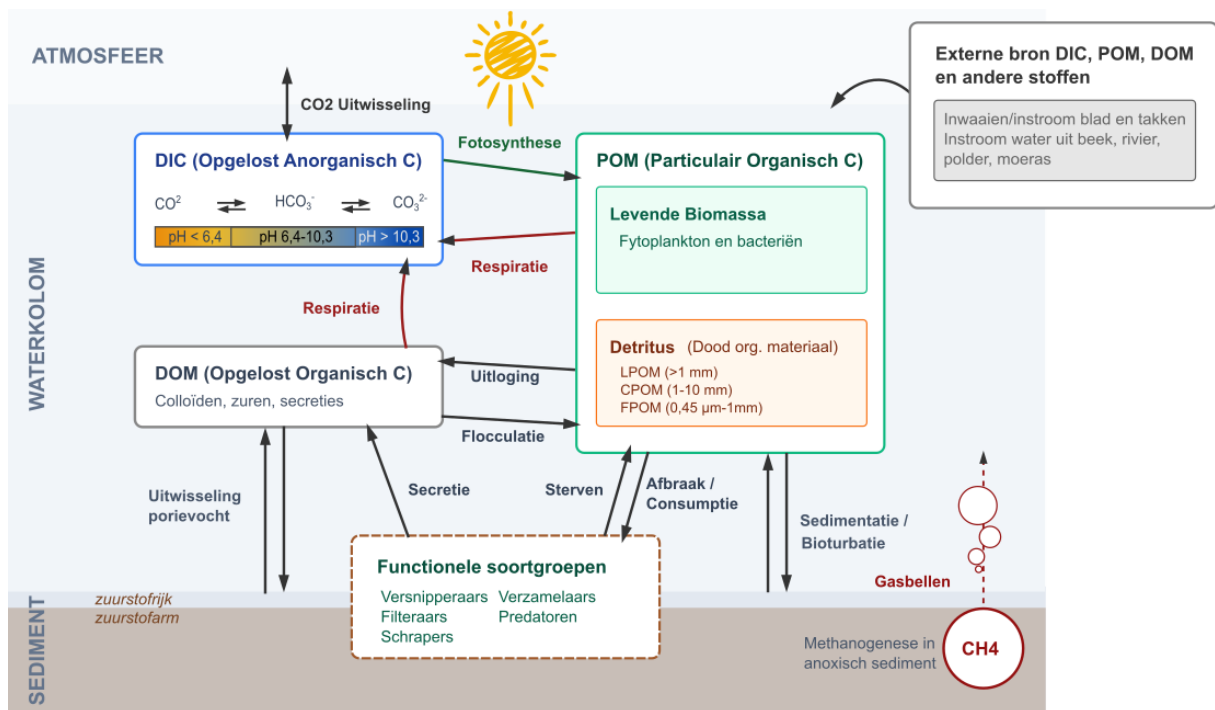
**Opgelost Organisch Koolstof (DOC <0,45  $\mu\text{m}$  filter)**: Dit materiaal gaat door het filter en is de meest dominante en best meetbare component. DOC is cruciaal voor transport over grote afstanden omdat het gemakkelijk met waterstromen wordt meegevoerd.

In de meeste meren en rivieren ligt de **ratio tussen DOC (opgelost) en POC (deeltjes)** doorgaans tussen de 6:1 en 10:1. Gloeirest geeft inzicht in het *anorganische* materiaal dat overblijft na gloeien bij 550 °C zoals de minerale deeltjes klei, zand, slib of neergeslagen kalk. Gloeirest geeft de kwaliteit aan van de POC en helpt te verklaren waar de troebelheid in een meer vandaan komt. Een hoge POC-waarde met een lage gloeirest wijst op veel invloed van algen of detritus, en andersom voor anorganische stof (bijv. opgewerveld sediment).

De **totale hoeveelheid koolstof (anorganisch + organisch)** noemt men **TC**.

De waterbodem fungeert als opslagplaats en als bron voor koolstof in het ecosysteem. Koolstofvormen worden begraven en weer opgewerveld (bioturbatie, bijvoorbeeld door bodemwoelende vis) en worden afgebroken door micro-organismen. Daarbij komen nutriënten vrij en onder anaerobe condities ook methaangas. Het poriewater in de waterbodem kan hoge concentraties DIC en DOC bevatten die via diffusie of door opwerveling (resuspensie door wind of vis) weer in de bovenliggende waterkolom terecht kunnen komen. Een mooi voorbeeld van vastgelegde organische stof zijn de veenbodems die volledig bestaan uit, soms millennia oude, plantenresten.

Naast de belangrijke rol van micro-organismen, is de activiteit van al eerdergenoemde functionele groepen van belang waaronder de versnipperaars. Zij breken grof organisch materiaal (CPOM) fysiek af tot fijn organisch materiaal (FPOM). Dit proces is essentieel omdat de resulterende kleinere deeltjes toegankelijker zijn voor bacteriën, schimmels en andere functionele soortgroepen. Ook vissen spelen hierin een rol. Moerassen en wetlands fungeren als cruciale hotspots voor organische stof; zij bevatten de hoogste concentraties DOM van alle watertypen (gemiddeld 30 mg/l; range 3-400 mg/l; Thurham, 1985 in Verdonschot, 2024) en kunnen als motor dienen voor de productiviteit van aangrenzende, voedselarmere wateren. Uiteraard is dan wel peilfluctuatie en periodieke inundatie nodig om alle stoffen ook daadwerkelijk te laten af- en toestromen.



Figuur 4.4. Belangrijke koolstofvormen en koolstofomzetting in een aquatisch systeem.

### Kwaliteit en afbreeksnelheid van organisch materiaal

Naast de grootte (zie hiervoor) varieert organische stof ook in kwaliteit. Men maakt onderscheid op basis van de biobeschikbaarheid. Dat is een maat voor het gemak waarmee micro-organismen organisch materiaal kunnen afbreken. Men onderscheidt grofweg twee typen kwaliteiten:

- **Label materiaal:** Wordt zeer snel (binnen dagen) omgezet en zorgt voor een snelle nutriëntenpiek (bijv. afstervend plankton en waterplanten). Deze bron kenmerkt zich door een hoge voedingskwaliteit voor consumenten, met relatief veel stikstof en fosfor in verhouding tot koolstof.
- **Semi-label tot refractair materiaal:** Blijft weken tot maanden aanwezig en vormt een langdurige, stabiele bron (bijv. riet of houtig materiaal). Allochtoon materiaal (afkomstig van buiten het aquatische voedselweb) is vaak rijker aan structurele weefsels zoals lignine en cellulose, waardoor het minder reactief is. Daarnaast is de verhouding tussen nutriënten en koolstof lager wat het een minder efficiënte voedingsbron maakt voor hogere trofische niveaus dan algen.

De afbreeksnelheid is naast deze kwaliteit en de grootte van deeltjes afhankelijk van *temperatuur*, *zuurstof*, *zuurgraad* en *vochtgehalte* (onder of boven water). In warme maanden breekt organisch materiaal sneller af dan in koudere maanden. De stofwisseling van micro-organismen is dan lager. De snelheid is ook lager onder zuurstofloze omstandigheden, zelfs dus als het materiaal zeer biobeschikbaar is. Micro-organismen schakelen dan over op de anaerobe afbraak. Dit proces verloopt via de zogenaamde 'redox-ladder' waarbij organismen achtereenvolgens andere stoffen als elektronenacceptor gaan gebruiken zoals nitraat, mangaan, ijzer, sulfaat en uiteindelijk ook koolstofdioxide. In het laatste geval ontstaat het broeikasgas methaan. De link met klimaat willen we verder niet uitdiepen, maar al het oppervlaktewater in Nederland stoot broeikasgas uit ( $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$ ). Eutrofe wateren meer dan oligotrofe wateren.

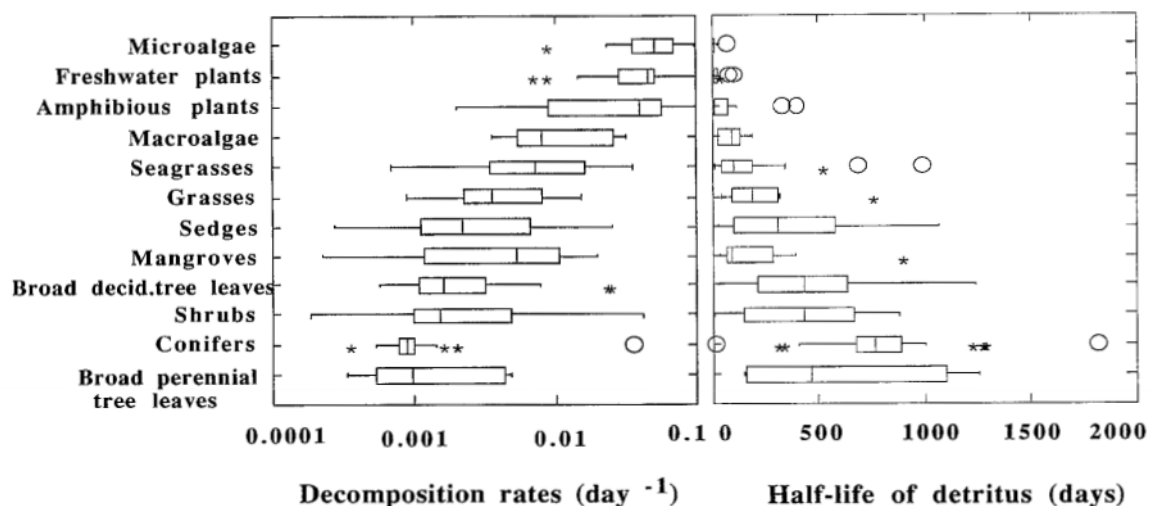
Micro-organismen gebruiken bij de afbraak zelf ook zuurstof. De krantenberichten over dode vis in warme zomers en ondiepe wateren hebben daar alles mee te maken. Tegelijk daalt tijdens de afbraak doorgaans ook de zuurgraad (oxidatie werkt verzurend) en kunnen toxische stoffen



(ammonium, sulfide) zich ophopen. Beide processen kunnen de afbraak volledig tot stilstand brengen. Dé oorzaak voor het ontstaan van veen is precies dit proces.

Tenslotte maakt het nog uit of organisch materiaal boven dan wel onder water ligt of juist wisselt tussen beide toestanden. Riet breekt in water aanzienlijk sneller af dan op land. Daarnaast is iedereen wel bekend met rotte tuinpalen die juist afbreken op de overgang van droog naar nat.

Er zijn onderzoeken gedaan naar de afbraaksnelheid van plankton en verschillende vegetaties zoals waterplanten, riet, gras, bladeren en hout. Zie bijvoorbeeld het overzicht in Enriques *et.al.* (1993; Figuur 4.5) en Verdonschot (2024) specifiek voor het IJsselmeergebied. De afbraaksnelheid geeft men vaak aan met de afbraakcoëfficiënt  $k$ . Dit is doorgaans een klein getal (0,09 – 0,0007 voor de getallen in deze studie). Wiskundig gezien is  $k$  ongeveer gelijk aan het percentage (dus  $k$  vermenigvuldigen met 100%). Hoe hoger het percentage, hoe hoger de afbraaksnelheid. Figuur 4.5 geeft twee boxplots uit het overzichtsartikel van Enriques *et.al.* (1993). Tabel 4.3 geeft een overzicht van enkele specifieke soorten. Duidelijk mag zijn dat aquatische soorten de snelste afbraaksnelheid kennen, en onderdelen van bomen en struiken (blad, twijgen, ...) de laagste. De makkelijk afbreekbare soorten geven vaak een piek bij de start. De  $k$ -waarde veronderstelt een continue afbraak, maar dat is bij een piek dus vertekenend.



Figuur 4.5. Boxplots van de afbraaksnelheid en halfwaardetijd van detritus van verschillende soortgroepen (Enriques *et.al.*, 1993).

Tabel 4.3. Afbraaksnelheid van organische stof voor een selectie van soorten ( $k$  omgerekend naar percentage).

| Soort organische stof                                     | Afbraaksnelheid<br>(% verlies per dag)              | Bijzonderheden                                                                                               | Bron                                            |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Algen en waterplanten</b>                              |                                                     |                                                                                                              |                                                 |
| Fytoplankton/ Algen – groep met natuurlijke samenstelling | 2,7 – 9,8                                           | Wordt binnen enkele dagen volledig omgezet; hoge voedingskwaliteit door lage C:N en C:P-ratio.               | Enriques <i>et.al.</i> 1993; Jones & Smol, 2024 |
| Gele plomp ( <i>Nuphar luteum</i> )                       | 9,88 – stengels en blad<br>1,4 – wortels en rizomen | Zeer labiel materiaal; snelle nutriëntenafgifte aan de waterkolom. Wortels en rizomen breken minder snel af. | Enriques <i>et.al.</i> 1993                     |
| Doorgr. fonteinkruid ( <i>Potamogeton perfoliatus</i> )   | 4,5                                                 | Geeft een snelle, kortdurende piek in DOC-afgifte direct na afsterven.                                       | Enriques <i>et.al.</i> 1993; Verdonschot, 2024  |



| Soort organische stof                      | Afbraaksnelheid<br>(% verlies per dag) | Bijzonderheden                                                                                                                                       | Bron                                           |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Riet<br>( <i>Phragmites australis</i> )    | 0,14 - 0,18                            | Refractair; geen piek, maar een langdurige en constante bron. Kan na 100 dagen nog steeds stoffen afgeven.                                           | Enriques <i>et.al.</i> 1993; Verdonschot, 2024 |
| <b>Vogels</b>                              |                                        |                                                                                                                                                      |                                                |
| Ganzenkeutels                              | matig (semi-labiel)                    | Constante afgifte over weken/maanden; geen duidelijke initiële piek. Snel afbreekbare componenten van gegeten planten zijn al door de gans verteerd. | Verdonschot, 2024                              |
| <b>Bomen - Blad en hout</b>                |                                        |                                                                                                                                                      |                                                |
| Es - blad<br>( <i>Fraxinus sp.</i> )       | 1,04                                   | Relatief snelle afbraak voor terrestrisch bladmateriaal.                                                                                             | Petersen & Cummins, 1974                       |
| Esdoorn - blad<br>( <i>Acer spp.</i> )     | 0,93                                   | Materiaal met een gemiddelde turnover-snelheid.                                                                                                      | Petersen & Cummins, 1974                       |
| Wilg - blad<br>( <i>Salix spp.</i> )       | 0,70                                   | Semi-labiel: Vertoont een hoge initiële piek (vergelijkbaar met fonteinkruid), maar de afgifte neemt daarna veel geleidelijker af                    | Petersen & Cummins, 1974; Verdonschot, 2024    |
| Populier - blad<br>( <i>Populus spp.</i> ) | 0,43                                   | Bladmateriaal met een gematigde afbraaksnelheid                                                                                                      | Petersen & Cummins, 1974                       |
| Eik - blad<br>( <i>Quercus robur</i> )     | 0,35                                   | Langzame afbraak door hogere concentraties lignine en cellulose.                                                                                     | Petersen & Cummins, 1974                       |
| Beuk - blad<br>( <i>Fagus sp.</i> )        | 0,07 - 0,25                            | Refractair materiaal; zeer langzame omzetting door micro-organismen.                                                                                 | Petersen & Cummins, 1974                       |
| Dood hout                                  | zeer laag                              | Afbraak in de orde van 10 tot 20 jaar; fungeert primair als leefgebied en structuur. Een eco-kickstarter voor perifyton, macrofauna en vis.          | Anderson et al., 1978                          |

## Metten aan koolstof

Het meten van organische stof wordt niet standaard gedaan door de waterbeheerders. De monitoring en analyse is complex. We noemen enkele methodes om dit duidelijk te maken.

De meest directe manier om organische stof te meten is door de hoeveelheid organische koolstofatomen te bepalen via een TOC-analyse (Total Organic Carbon = POC + DOC). Op een vergelijkbare manier kan men de totale hoeveelheid koolstof meten (TC). Het verschil tussen beiden is het DIC (Dissolved Inorganic Carbon). In onderstaand kader is de methode beschreven.

DIC kan men ook afleiden uit metingen die waterbeheerders wel standaard doen. Aan de hand van de pH en de alkaliniteit (het zuurbufferend vermogen) kan via chemische evenwichtstabellen exact bepaalt worden hoeveel  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  of  $\text{CO}_3^{2-}$  er aanwezig is.

Natuur is niet de enige bron van organische stof. In de 70'er jaren vertoonde de kwaliteit van bijvoorbeeld de Rijn, maar ook veel andere wateren in Nederland, een dieptepunt. Dat werd naast toxische stoffen en vernietiging van leefgebied voor een groot deel veroorzaakt door ongezuiverde lozingen van rioolwater. De afbraak van organische stof in de Rijn veroorzaakte zulke lage zuurstofgehalten dat soorten verdwenen. De mate waarin oppervlaktewateren worden belast met organische stof noemt men de saprobie. Dit drukt men uit in de hoeveelheid zuurstof die micro-organismen of chemische processen nodig hebben om organische stof te oxideren. Dit heet BZV (Biologisch Zuurstofverbruik) en CZV (Chemisch Zuurstofverbruik). De CZV/BZV-verhouding zegt wat over het type organische stof en de afbreekbaarheid ervan (labiel of refractair). Zie verder het kader. Beide parameters worden wel standaard gemeten door de waterbeheerders. Het belang van



saprobie-parameters is door de sterke verbetering van de waterkwaliteit echter wel afgenomen. Ze krijgen de laatste jaren in waterkwaliteitsanalyses ook minder aandacht. In het kader van deze studie kan men deze parameters weer eens afstoffen om te kijken of ze inzicht gevend zijn bij bijvoorbeeld een pilot met inbreng van organische stof en het volgen van de effecten daarvan.

#### **Kader: analyse van organische stof en productie**

##### **TOC-analyse (= DOC + POC)**

- Verwijdering van anorganische koolstof: Het monster wordt eerst aangezuurd om DIC (als CO<sub>2</sub>-gas) te verwijderen.
- Oxidatie: De resterende organische stoffen worden volledig geoxideerd tot CO<sub>2</sub> via verbranding bij hoge temperatuur (680- 950°C) of door Uv-straling met chemische oxidatoren.
- Detectie: Een infrarooddetector (NDIR) meet de hoeveelheid gevormd CO<sub>2</sub>, wat direct evenredig is aan de hoeveelheid organische koolstof.

Zonder aanzuring en oxidatie ontstaat inzicht in TC (Total Carbon). Het verschil (TC – TOX) is dan het DIC (opgelost anorganisch koolstof).

##### **Gloeirest**

Geeft inzicht in het anorganische deel van zwevende stof. Dit bepaalt men door het filtraat te drogen bij 105 °C (dit is direct een maat voor de totale hoeveelheid zwevende stof) en te gloeien bij 550 °C waarna het monster wordt gewogen. De eenheid is mg/l of het gewichtspercentage ten opzichte van de zwevende stof (mg/mg).

##### **BZV-bepaling:**

- Een monster wordt 5 dagen bij 20°C in het donker bewaard (BZV<sub>5</sub>). Het verschil in zuurstofconcentratie tussen dag 0 en dag 5 is de BZV-waarde in mg/l.
- Het simuleert wat er gebeurt als afvalwater in een rivier wordt geloosd.

##### **CZV-bepaling:**

- Het monster wordt gekookt met een zeer sterke chemische oxidator (meestal kaliumdichromaat, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) in zuur milieu. Het verbruikte dichromaat wordt omgerekend naar de hoeveelheid zuurstofverbruik (mg/l).
- Het geeft een totaalbeeld van alle oxideerbare stoffen, inclusief stoffen die bacteriën niet kunnen afbreken.

De verhouding BZV en CZV geeft informatie over de aard van de vervuiling. CZV is altijd gelijk of hoger dan BZV omdat de chemische afbraak altijd krachtiger is dan de biologische. Hoe hoger de CZV/BZV verhouding, hoe lastiger de aanwezige organische stof afbreekbaar is door micro-organismen.

##### **Productie**

De organische stof moet uiteindelijk leiden tot een toename van de biomassa in het voedselweb. Bij monitoring van de Markerwadden en het Trintelzand is ervaring opgedaan met het in kaart brengen van het voedselweb door het inventariseren van verschillende soortgroepen en het meten of modelleren van primaire productie door plankton via sensoren (FRRF-methode en EXO-sensor).

## 5 Benutten van Organische Reststromen – praktijkervaring en ideevorming

Dit hoofdstuk heeft het karakter van een brede brainstorm. Verschillende praktijkervaringen uit binnen- en buitenland en ideeën uit de literatuur en expertsessie zijn bij elkaar gebracht. In dit hoofdstuk worden deze ervaringen en toepassingen beschreven inclusief voor- en nadelen en belangrijke voorwaarden. Het hoofdstuk biedt een overzicht en is input voor hoofdstuk 6 waarin één praktijkconcept verder is uitgewerkt, specifiek voor een locatie aan de Noord-Hollandse Markermeerkust.

### 5.1 Omvang reststromen ecotopen

In de gebiedsbeschrijving zijn de arealen ecotopen beschreven. De te beheren arealen in Tabel 5.1 wijken hier iets van af, dit komt doordat arealen voor beheertypen iets anders uitgerekend worden. Ook is er sprake van enige autonome ontwikkeling van de vegetatie waardoor (d.m.v. expert judgement) bepaald is wat de toekomstige te beheren arealen zijn. Voor deze studie naar reststromen zijn de te beheren arealen helofytenmoeras en overstromingsgrasland het interessantst en daarom groen gemarkeerd. Deze vegetatietypes bevatten vegetatietypes die voorkomen in land-water overgangen. Deze vegetaties zouden van nature afbreken en in een natuurlijk verbonden systeem terugstromen in het aquatische voedselweb. In het Markermeer gebeurt dat nu niet.

*Tabel 5.1: Te beheren arealen van de gebieden onderverdeeld in beheertypen. Voor onderwaterstructuur zal het gaan om de plaatsing van dood hout en andere luwtestructuren als schuilplaats/overwinterplek voor vis. In hoeverre hier ook bij beheer organisch materiaal vrijkomt is niet bekend. Deels zullen deze begroeid raken met onderwaterplanten en deels helofyten.*

| Beheertype                                                      | Kinselbaai (ha) | De Nes (ha)  | Kogen (ha)   | Uiterdijk (ha) | Totaal (ha)  |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| N04.02 voor ondieptes en geulen                                 | 0,0             | 9,0          | 0,0          | 0,9            | 9,9          |
| N04.02 voor onderwaterstructuur                                 | 1,4             | 0,0          | 2,0          | 2,0            | 5,4          |
| N05.03 voor helofytenmoeras                                     | 7,1             | 5,4          | 15,7         | 6,4            | 34,6         |
| N12.04 voor overstromingsgrasland                               | 0               | 5,4          | 39,1         | 6,8            | 51,3         |
| N12.04/N10.02 voor niet-overstroomd grasland (vochtig hooiland) | 0               | 8,8          | 11,5         | 0              | 20,3         |
| <b>Totaal te beheren ha</b>                                     | <b>8,5</b>      | <b>28,64</b> | <b>68,26</b> | <b>16,1</b>    | <b>121,5</b> |

De volumes en samenstelling (houtigheid, structuur, koolstof-stikstof-fosfor verhouding) van organisch restmateriaal wat vrijkomt is afhankelijk van het type beheer en andere factoren:

- Hoe vaak wordt er gemaaid en hoeveel areaal?
- Vindt er begrazing plaats door gehouden runderen of ganzen en zo ja hoeveel?
- Wat is de peildynamiek en hoe nat staat de vegetatie in het groeiseizoen?

Zo kan de compositie van het organisch materiaal uit beheertype helofytenmoeras verschillen door peildynamiek (ontwikkeling waterriet, moerasriet en/of landriet en ontwikkeling overige soorten moerasvegetatie tussen het riet) als ook beheerregime (maaimoment, jong vs. overjarig riet). Volumes zijn weer afhankelijk van % mozaïekbeheer, wel/geen beweiding, begrazingsdruk van ganzen en wederom de peildynamiek. Dit allemaal heeft impact op het organische restmateriaal wat vrijkomt bij vegetatiebeheer.



Kortom, er is een grote variatie in volume en samenstelling van het organisch materiaal wat vrijkomt bij vegetatiebeheer van helofytenmoeras en (overstromings)grasland. Voor productiewaarden van grasland zijn meerdere agrarische bronnen te vinden, voor helofyten-/rietmoeras is dat beperkt en zijn er maar enkele literatuurreferenties (STOWA; Geurts et al., 2020; Daatselaar et al, 2009) die productiewaarden versgewicht en droge stof delen. Daarbij kunnen we een onderscheid maken voor gebruikelijke waarden bij optimale productieomstandigheden met geoptimaliseerd maaibeheer als ook natuurlijkere omstandigheden met extensiever beheer. De spreiding kan groot zijn, dit is het resultaat van lokale groeiomstandigheden zoals zonlicht, bodem, waterpeil, nutriënten, natuurlijke begrazing, etc.

*Tabel 5.2: Volumes organisch materiaal uit vegetatiebeheer van helofytenmoeras en (overstromings)grasland, waarbij vergelijking wordt gemaakt tussen natuurbeheer en met geoptimaliseerde meest productieve systemen. Op basis van literatuurreferenties (STOWA; Geurts et al., 2020; Daatselaar et al, 2009)*

| Vegetatietype                          | Beheer                                                       | Export biomassa<br>ton versgewicht/ha/jaar | Export biomassa<br>ton droge stof/ha/jaar |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Helofytenmoeras/<br/>rietmoeras</b> | Natuurlijk (rietland)                                        | 4-16                                       | 2-8                                       |
|                                        | Productief (paludicultuur)                                   | 20-40                                      | 10-20                                     |
| <b>Grasland</b>                        | Natuurlijk (extensief<br>hooiland/overstromingsgras<br>land) | 10-30 ('nat' gras)<br>2,5-7,5 (droog/hooi) | 2-6                                       |
|                                        | Productief (bemest<br>grasland)                              | 40-75 ('nat' gras)                         | 10-15                                     |

Hoe doen de voorlanden/achteroeveren aan het Markermeer het in vergelijking tot bovenstaande? Een beheerder van de Kogen aan het Markermeer vermeldt dat één hectare rietland ongeveer 14 balen per jaar oplevert, en één hectare overstromingsgrasland 8 ronde balen per hectare per jaar oplevert. Het gewicht van een ronde baal ligt tussen de 300-500kg en is afhankelijk van persing en vochtgehalte, rietbalen kunnen verschillende vormen en ordegroottes hebben maar voor het gemak gaan we uit van hetzelfde gewicht.

- Voor riet hebben we te maken met een vrij hoog vochtgehalte en gaan we uit van goed geperste balen, hierdoor mogen we met de bovenkant van de marge rekenen. 14 balen met 500kg versgewicht per baal maakt 7000kg riet. Dat is 7 ton versgewicht per hectare rietland per jaar, wat overeenkomt met de spreiding van 4-16 ton/ha/jaar voor extensief beheerd rietland uit bovenstaande tabel. We kunnen daarom 7 ton/ha/jaar versgewicht riet aanhouden voor gebieden van Markermeerkust\*, wat gelijk staat aan 3 ton/ha/jaar droge stof organisch materiaal. Gebruiken we deze gegevens met de totaal te beheren arealen ecotopen uit de 4 gebieden van PAGW Noord-Hollandse Markermeerkust komen we uit volgende totaal: 34,6 ha helofytenmoeras  $\times$  6 ton/ha/jaar = 242 ton riet per jaar aan organisch materiaal, wat gelijk staat aan  $\pm$ 121 ton droge stof aan riet. Qua volumes zijn dat 484 balen riet per jaar.
- Voor (extensief/overstromings)grasland is het gewicht veel meer variabel, dit komt omdat gras veel meer variabel is qua vochtgehalte. Uitgaande dat maaien wordt uitgevoerd wanneer het grasland wat droger staat kunnen we uitgaan van 350kg per baal, dat betekent  $8 \times 350 = 2800$ kg. Dat is dus  $\pm$ 2,8 ton versgewicht/ ha voor (overstromings)grasland. Dat komt overeen met de spreiding 2,5-7,5 ton/ha/jaar voor extensief grasland in bovenstaande tabel, ook hier wederom zit de productie lager in de spreiding (wat past bij grasland wat gedeelte onder water staat). We kunnen daarom 3 ton/ha/jaar versgewicht gras (in de drogere vorm als hooi) aanhouden voor gebieden van Markermeerkust\*, wat gelijk staat aan 2,5 ton/ha/jaar droge stof organisch materiaal. Gebruiken we deze gegevens met de totaal te





beheren arealen ecotopen uit de 4 gebieden van PAGW Noord-Hollandse Markermeerkust komen we uit volgende totaal: 51,3 ha overstromingsgrasland  $\times$  3 ton/ha/jaar = 154 ton gras (hooi) per jaar, wat gelijk staat aan  $\pm$ 128 ton droge stof aan gras. Qua volumes zijn dat 410 ronde balen gras per jaar.

\*Bovenstaande getallen geven ordegroottes weer, daarbij moeten grote marges genomen worden om de productievevariatie in acht te nemen. Denk hierbij aan variabiliteit in het weer tussen de jaren waardoor verschillende groeiomstandigheden en variatie tussen de gebieden ontstaan met ieder verschillende lokale omstandigheden door bodem, peildynamiek, beweiding, natuurlijke begrazing, etc.

## 5.2 Praktijkervaringen benutten organische stof

Hoewel het inbrengen van organische stof in meren voor het stimuleren van de bruine voedselketen een relatief nieuwe maatregel is in Nederland, is dat internationaal gezien al veel gebruikelijker. Op verschillende plekken heeft men hiermee geëxperimenteerd of wordt het al structureel ingezet voor verbetering van de waterkwaliteit. Hieronder zijn enkele internationale en nationale (praktische) toepassingen beschreven waarbij de verwerking van reststromen uit beheer aan de stimulering van de bruine voedselketen worden gekoppeld. De ervaringen zijn thematisch gebundeld.

Elke oplossing heeft voor- en nadelen voor uitvoerbaarheid en beheerbaarheid. Dat wordt in detail in paragraaf 6.1 besproken.

### **Dood hout: wood is good**

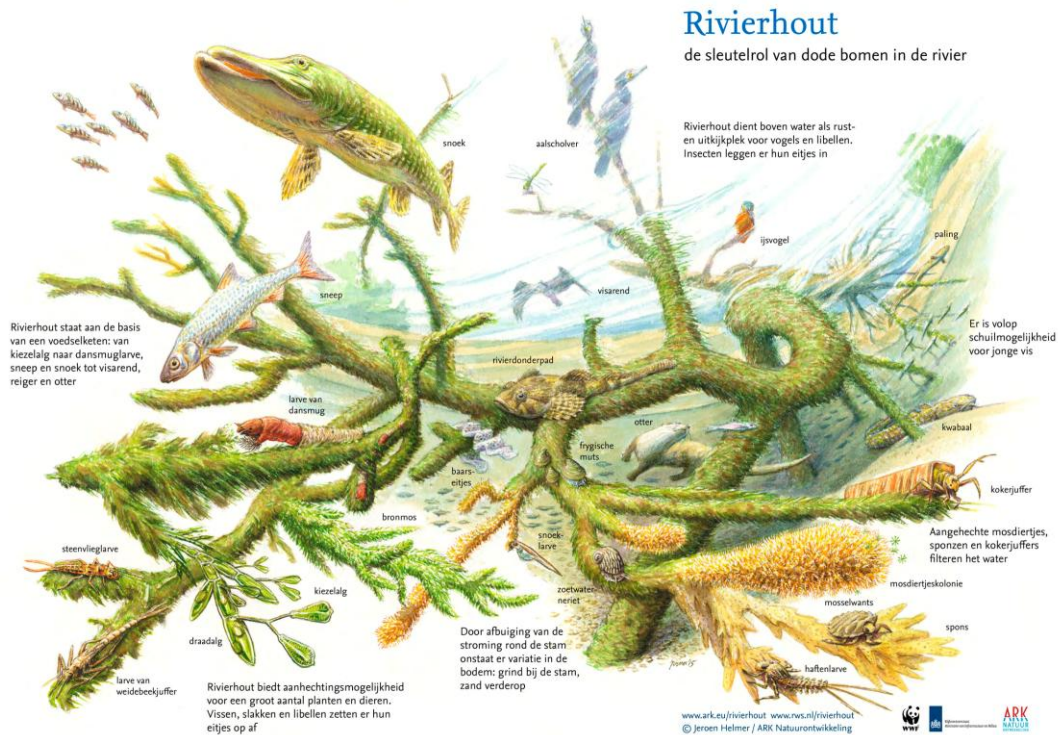
Dood hout is een substraat wat langzaam uit onze watersystemen is verdwenen. Bossen en oevers worden beheerd, bossen op oevers en in overstromingszones zijn verdwenen, er is minder oeverinundatie en hout wordt uit het water gehaald om schade aan scheepvaart, gemalen en sluizen te voorkomen. Het weer terugbrengen van hout is ondertussen een beproefde methode en ook bekend in Nederland.

Het gaat om het inbrengen van hout in verschillende vormen: van de hele boom met kluit en al tot takken of takkenrillen (zie ter illustratie Figuur 5.2). Rijkswaterstaat experimenteert met rivierhout in de grote rivieren en waterschappen passen het toe, bijvoorbeeld als vissenhotel of vissenbossen. De takken bieden substraat voor perifyton (aangroei van bacteriën, schimmels en algen) wat vervolgens een aanjager is voor het voedselweb (Jones & Smol, 2024). Zoöplankton, macrofauna en vis eten ervan. Daarnaast maken vissen en andere soorten gebruik van de fijne takken en wortels om er te schuilen, te jagen en om er te paaien. In stromende wateren helpt het hout ook om water vast te houden (het remt de waterafvoer) en om morfologische processen op gang te stimuleren die leiden tot meer habitatvariatie. Verzwaren of vastleggen van het hout is noodzakelijk, zeker wanneer scheepvaart aanwezig is. Rijkswaterstaat heeft daar ontwerpbeelden voor opgesteld (RWS, 2023).

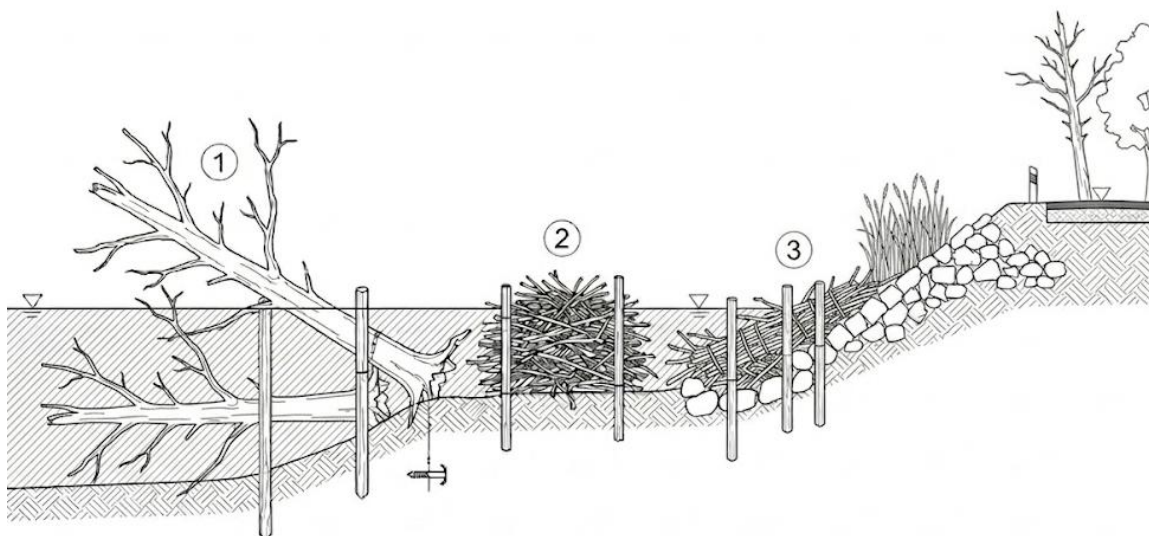
Om een effect te hebben op het hele watersysteem is -afhankelijk van de grootte van het watersysteem- veel hout nodig. Van nature heeft er waarschijnlijk ook veel hout in onze meren gelegen. In buitenlandse studies (wellicht niet helemaal vergelijkbaar met de Nederlandse situatie wat betreft bosrijke omgeving, maar toch geeft het een beeld) komt men op aantallen van 42 tot wel 638 stammen per kilometer oever (Czarnecka, 2016). Grootschalige toepassing in meren is in Nederland nog niet uitgevoerd, maar is uit het buitenland wel bekend. In bijvoorbeeld stuwwerken die soms net als het Markermeer weinig natuurlijke oevers hebben, is het aanbrengen van hout een bekende maatregel. Tot de verbeelding spreken de jaarlijkse acties in Ohio (Ohio Department of Natural Resources Division of Wildlife) om afgedankte kerstbomen te verzamelen, deze op te bossen tot zogenaamde brush piles en aan stenen in een meer te laten zakken. Er wordt ook gewerkt met

bosbeheerders die exoten uit bossen kappen en deze vervolgens op deze manier in meren laten afzinken.

Zoals in hoofdstuk 5.1 beschreven komt er met name riet- en grasvegetatie beschikbaar uit de beheerde arealen langs de Markermeerkust en komt er vanuit daar dus maar beperkt dood hout beschikbaar om toe te passen als bron voor organisch materiaal.



**Figuur 5.1. Sleutelrol van rivierhout als aanjager van de waterkwaliteit in stromende wateren (bron: Jeroen Helmer, ARK Rewilding)**

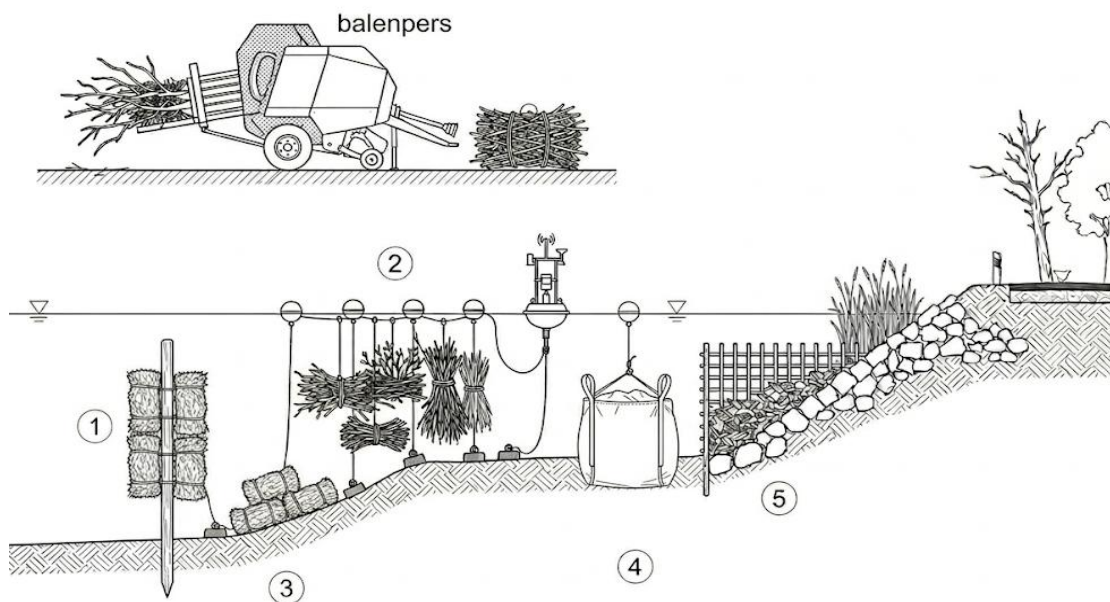


**Figuur 5.2. Schets van de besproken oplossingen: 1) een vissenbos met verankerde, dode bomen; 2) een vissenhotel van gestapelde struiken, stammen of takken of 3) een rijshout dam.**

### Stengels en bladeren: bundels, balen of zakken

Het inbrengen van fijner materiaal dan bomen, stammen en takken wordt meer in experimentele vorm gedaan om te onderzoeken hoe het wordt afgebroken, wat het effect is van klimaatverandering op die afbraak en hoe het voedselweb ervan profiteert. Uit dit soort experimenten weten we nu dat de bruine voedselketen een onmisbare basis vormt van vrijwel alle watersystemen (Jones & Smol, 2024).

In analogie met de *brush piles* van hout hierboven, wordt ook gewerkt met *brush bundles*. Takken, riet of maaisel worden dan met touwen of ijzerdraad strak samengebonden en in groepjes met een gewicht in het water afgezonken waar ze langzaam mogen weggroten. De uitdaging is om een praktische manier te vinden om het geoogste materiaal eenvoudig samen te binden en daar te laten blijven liggen. Een balenpers die gebruikt wordt voor het persen van hooibalen zou getest kunnen worden. Om de gewichten voor verankering te kunnen hergebruiken, kunnen ze voorzien worden van boeien. Dit maakt het ook mogelijk om de *brush bundles* te verdelen over de waterdiepte. In ondiep water kan een staande paal fungeren als anker waar de bossen aan gehangen worden.



*Figuur 5.3. Schets van de besproken oplossingen: 1) geperste balen aan een paal; 2+3) balen of brush bundles aan drijvers en gewichten met een monitoringsstation; 4) big bag met maaisel; 5) vakken om maaisel vanaf de oever in te storten.*

Een voorbeeld van grootschalige toepassing van los blad en maaisel in meren hebben we niet gevonden. In beken wel. In beekprojecten wordt wel dood hout ingebracht samen met bodemmateriaal waar soms ook bladeren of andere plantenresten in zijn bijgemengd. Het probleem met los materiaal is dat het wegdrijft en wegwaait. Luwtestructuren, compartimenten met rijshoutschermen zoals bij de Marker Wadden of grote netten of zakken (formaat big bag, gemaakt van herbruikbaar of bioafbreekbaar materiaal) waarin het materiaal met een gewicht op de bodem afzinkt is het onderzoeken waard. Een oplossing zou ook kunnen zijn om vakken langs de oever te maken afgeschermd met stevig gaas, wilgenwiepen of een rijshoutdam waar maaisel direct vanaf de oever van bovenaf in aangebracht kan worden. Dit zal afbreken en door de stroming en golven ook langzaam verdwijnen naar de omgeving waarna de vakken eenvoudig weer aangevuld kunnen worden.

Vanuit beheeroogpunt zijn er in de expertsessie zorgen geuit over de uitvoerbaarheid en gevoeligheid voor falen van de genoemde oplossingen. Er zijn veel hulpmaterialen nodig (zoals palen, kabels/touw en gewichten) om de balen onder de waterlijn te houden (= kostbaar). Daarnaast is de vraag hoe het standhoudt in de dynamiek van het Markermeer. Ter vergelijking: rijshoutendammen, die stevig met sisaltouw worden gebonden, raken door de dynamiek in het IJsselmeergebied vaak al binnen een jaar beschadigd of gaan kapot. Tenslotte zal de beheerder de instandhouding en werking van deze maatregel willen inspecteren en monitoren. In de volgende hoofdstukken zijn deze zorgen meegenomen. Er zal een afweging gemaakt moeten worden tussen de toegevoegde waarde van deze maatregel (opbrengsten, biodiversiteit, verbetering waterkwaliteit, etc.) versus jaarlijkse beheerinspanningen. Met het ontwerp kan hierop gestuurd worden.

### **Drijvende natuur: veek of deek, rietzud of drijftil**

Net als bij dood hout was er vroeger ook veel meer sprake van drijvende plantenresten. Zonneveld (1960) beschrijft dit in zijn proefschrift over de Biesbosch. Drijvend plantenmateriaal, door de plaatselijke bevolking in de Biesbosch aangeduid als deek of veek (en elders als "daak"), is een verzameling van dode plantenresten die een drijvende laag vormen. Deze massa bestaat hoofdzakelijk uit rietstengels en andere plantenresten zoals wilgentakken die op luwe, beschutte plaatsen bijeen zijn gedreven. De veeklaag drijft door de luchtgevulde stengels. Omdat de holle stengels in het pakket veel water vasthouden, blijft er ook tijdens droogval op de oever voldoende vocht beschikbaar voor de planten. Hierdoor fungeert de veeklaag als een ideaal kiembed: het is constant vochtig, ligt meestal op luwe plekken en wordt (in tegenstelling tot de vaste bodem) nooit volledig overspoeld. Planten ontwikkelen zich op dit substraat als op een watercultuur die rijk is aan stikstof en andere mineralen.

De drijvende massa wordt bijeengehouden door een dicht vlechtwerk van wortels van de planten die erop groeien. In de Biesbosch speelde met name het bitterzoet een cruciale rol; de taaie stengels groeien vanaf de oevers over het veek heen en verankeren de massa. Naast bitterzoet zijn soorten als zwart tandzaad, het moerasvergeet-me-nietje en de gele lis kenmerkend voor vegetatie van de drijftil, maar haagwinde, harig wilgenroosje, bittere veldkers, wolfspoot, riet, heen voelen zich er ook thuis. In laagveenplassen komen andere vormen van drijvende planten voor. Daar gaat het om afgeslagen rietland of wortelpakketten van drijfbladplanten waar weer andere planten in groeien. Daar spreekt men over drijftillen of rietzodden. Ze zijn onderdeel van de verlanding in laagveenmoerassen. Wanneer ze niet losslaan, nemen ze toe in dikte en kunnen tenslotte vastgroeien aan de vaste bodem.

Wanneer stukken van een drijftil of veek losraken en wegdrijven, fungeren ze als een belangrijke transporteur voor plantensoorten door de delta en langs de oevers van meren; zodra ze elders aanspoelen, kunnen de aanwezige planten wortelschieten en zich definitief vestigen. Hoewel het leven voortbrengt, kan aangespoeld materiaal ook negatieve effecten hebben. Zeker wanneer een dik pakket op de oever blijft liggen, kan het de bestaande kruidenvegetatie verstikken of de groei van jong, opschietend riet in het voorjaar ernstig belemmeren. Dan moeten de oevers uiteraard wel begroeid zijn, wat in het Markermeer nu juist niet het geval is.

Het is ons niet duidelijk welke oppervlaktes drijvende plantenmassa's oorspronkelijk konden bereiken en wat daarvan dan een kunstmatige vorm zou kunnen zijn. Een experiment met een van de grootste drijvende, groene constructies in Nederland werd uitgevoerd in het kader van het NMIJ-project (Natuurlijk(er) Markermeer-IJmeer). De aaneengeschakelde rijshoutmatten met drijvers van plastic jerrycans en begroeid met riet hielden het twee maanden vol (Van Geest e.a., 2010). Een van de aanbevelingen was om de matten bewust te laten afzinken op een geschikte plek om de planten kans te geven om voeding uit de bodem zelf te halen. De voedselbeschikbaarheid in het water was op de proeflocatie mogelijk niet hoog genoeg. Het laten afzinken kan meer positieve effecten hebben



zoals oeverbescherming en het vastleggen en tegengaan van opwerveling van sediment. Het rijnshout zelf is organisch materiaal wat langzaam wordt afgebroken en de bruine voedselketen stimuleert. De extra structuur helpt perifyton-aangroei en kan dienen als leefgebied voor macrofauna en jonge vis. Wellicht is het mogelijk om ook andere reststromen te combineren, zoals snoeiafval, riet en maaisel.

Dit afzinken is in een nieuwe proef getest langs de oever van het Amsterdam-Rijnkanaal en in de noordwestelijke hoek van het Zeeburgereiland (Van der Wal & Coops, 2015). De resultaten waren positief. Toepassing op andere locaties is mogelijk, mits er voldoende luwte is (zie het voorgenomde rapport voor de details). De rijsmatten zijn na ongeveer 5 maanden gezonken. Het experiment toonde aan dat op in ondiep water (< 0,7 m diep) afgezonken rijsmatten riet kan groeien. Tijdens de drijvende fase van een rijsmat heeft het riet voldoende tijd om uit te groeien, zodanig dat het riet na het afzinken boven water uitsteekt en blijft doorgroeien.

Naast dit grootschalige experiment zijn in minder dynamische wateren in beheer bij een waterschap of gemeente kleinschalige toepassingen met drijvend groen steeds meer gewoon geworden. Vaak ziet het er wat kunstmatig uit en zijn niet natuurlijke materialen nodig om doorwortelbaar substraat, drijvers en een verstevigende structuur van het eiland tot een geheel te maken. Wilgenmatten met herbruikbare drijvers zijn eenvoudig toepasbaar en bieden flexibiliteit om matten te koppelen, substraat mee te vlechten en levend of dood wilgenhout te gebruiken zodat je ook 'living island' kunt maken van wilg. Er worden verschillende soorten planten aangebracht, maar vaak soorten die passen bij strooiselruigtes met riet of juist kleurrijke kruiden zoals kattenstaart.



*Figuur 5.4. Impressies van de matten voor (links) en na afzinken (rechts; foto's Hugo Coops).*

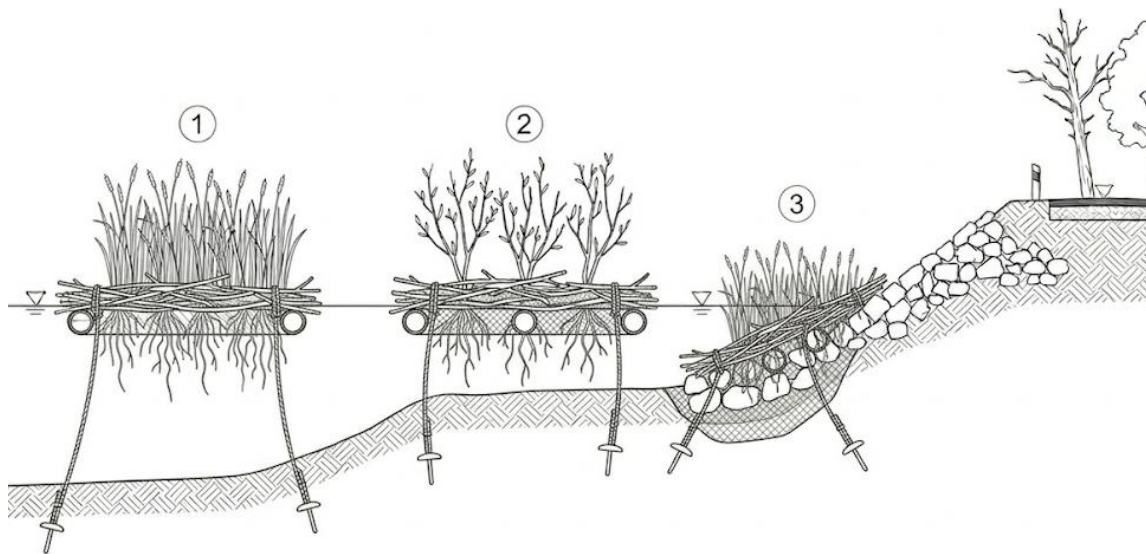


*Figuur 5.5. Rijshoutmat met riet tijdens het experiment (Van Geest e.a., 2010)*

## Marker Wadden: luwte, slib, nutriënten én organische stof

De Marker Wadden zijn hét voorbeeld, en internationaal gezien ook uniek, van het herstel van de waterkwaliteit door in te grijpen op zowel de detritus- als grazers-keten. Dit voorbeeld is overbekend en werken we niet in detail uit. Ook het Trintelzand, wat minder bekend, is een goed voorbeeld. Succesfactoren zijn; het aanbieden van luwtestructuren met geschikte omstandigheden voor water- en oeverplanten en de opbouw van de eilanden met gerijpt, voedselrijk slib uit het Markermeer zelf. De luwte zorgt voor helder water (minder slib) waardoor algen kunnen groeien en zoöplankton efficiënter kan foerageren. Het heldere water en de voedselrijke bodem (gerijpt slib) stimuleert de ontwikkeling van water- en oeverplanten (moerasandijvie, riet, fonteinkruiden, kranswieren). Dit leidt tot goed afbreekbare organische stof en een divers habitat voor macrofauna (o.a. vlokreeften, slijkgarnalen en aasgarnalen). Samen leidt dit tot een verbetering van het voedselweb wat te zien is aan toppredatoren zoals vissen en vogels.

Voor de opdracht van deze studie gaat deze oplossing op dezelfde schaal te ver, maar op kleinere schaal zou nagedacht kunnen worden over de verwerking van schoon baggerslib uit polderwateren in het meer. Er zou een luwtezone gecreëerd kunnen worden waar dit baggerslib in aangebracht kan worden. In de loop van jaren kan zo een nieuw eiland groeien. De uitdaging is hoe het fijne slib daar blijft liggen. Bij de Markerwadden kreeg het slib de tijd om te rijpen door het waterpeil te regelen in compartimenten. Rijping zou ook op land kunnen. In de Rijn-Maasmonding wordt ook geëxperimenteerd met de toepassing van baggerslib voor versterking van de natuur, in dat geval van getijdennatuur (zoet en brak) in de Nieuwe Waterweg, het Spui en Hollands Diep en Haringvliet<sup>1</sup>. Ook daar wordt gewerkt met de toepassing in luwtezones en denkt men na over de toepassing van fijn baggerslib in compartimenten. Er kan geleerd worden van hun ervaringen.



Figuur 5.6. Schets van de besproken oplossingen: 1) wiepenmat met drijvers met riet; 2) living-island van levende wiepen; 3) afgezonken wiepenmat in de oever.

## Inundatiezones: zoals het vroeger ging

Bovenstaande oplossingen gaan allemaal om het actief inbrengen van organisch materiaal ter stimulering van de bruine voedselketen. Daar zijn veel handelingen voor nodig en ze vragen ook om het periodiek herhalen van de ingreep en om beheer. De natuur zorgde vroeger zelf voor de aanvoer van organisch materiaal door een groot oppervlak aan land-waterovergangen en overstromingszones en een hoge mate van natuurlijke peildynamiek. Een belangrijke bron van organisch materiaal is

<sup>1</sup> <https://www.proeftuinsediment.nl>



inundatie van uiterwaarden en oeverlanden waarbij veel organisch materiaal in rivieren en meren terecht komt en tegelijk fijn slib achterblijft. Inundatie heeft dus een dubbelfunctie. Als alternatief op buitendijkse overstromingszones zoekt men naar binnendijkse oplossingen. Door binnendijkse natuur met de grote buitenwateren te verbinden kan water met stoffen en soorten zoals vis uitwisselen. In verschillende studies, zoals de studie in het kader van PAGW-project Oostvaardersoever, werkt men hier al aan. In het Oostvaardersoever-project wordt het Oostvaardersdiep doorgespoeld en wordt het voedselrijke water met nutriënten en organische stof buitendijks opgevangen in een luwtegebied waar het voedselweb de kans krijgt om op te nemen en om te zetten in biomassa.

Op kleinere schaal kan uitgezocht worden of er rondom het Markermeer binnendijks natuurgebieden liggen die wellicht niet voor vis verbonden hoeven te worden, maar die wel kunnen bijdragen aan productie van organische stof. Dit zou kunnen door binnendijkse gebieden met een natuurlijk peilverloop te verbinden met het Markermeer (achteroeverconcept). Windmolens kunnen zorgen voor een continue doorspoeling van het voedselrijke water naar het Markermeer. Zo ontstaat een semi-natuurlijke oplossing die past bij de natuurlijke manier van aanvoer van organische stof.

Deze maatregel kan gecombineerd worden met de hiervoor al beschreven varianten voor het inbrengen van organische stof. Het voordeel is dat binnendijks minder dynamische condities gelden waardoor het vastleggen en opsluiten van organisch restmateriaal minder robuust hoeft te zijn. Mogelijk is dit beheerstechnisch makkelijker en ook dan zal het organisch materiaal worden getransporteerd naar het Markermeer. Mogelijk verspreidt het materiaal zich op deze manier verder en dient dit ook als interessante lokstroom voor vis. Dit zou moeten worden onderzocht in een pilotproject.

Er zullen verschillende haken en ogen zijn met botsende belangen (agrarisch medegebruik, bewoning, flora-doelen, weidevogelgebied, etc.) of technische uitdagingen (geschiktheid stuwen en gemalen, aanwezigheid kades, etc.), dat moet uiteraard goed in beeld gebracht worden. Maar als verschillende polders hieraan mee kunnen doen, kan dit een grote bron zijn van organische stof. Hoewel deze vraag niet past bij de scope van het project, zou het wel interessant zijn om deze optie te vergelijken wat betreft kosten en baten met de voorgaande oplossingen.

### 5.3 Ideeën expertsessie

Bovenstaande ideeën zijn gepresenteerd in de expertsessie (21 april 2026 te Uitdam). Dat heeft waardevolle inzichten opgeleverd over het benutten van organische reststromen. Deze zijn grotendeels verwerkt in paragraaf 5.2. Andere ideeën en aanvullingen daarop zijn hieronder opgenomen.

#### **Praktische toepassingen**

In het IJsselmeer wordt zowel langs de Friese als de Flevolandse kust al langer verkend hoe vegetatiemaaisel kan worden toegepast in het ondiepe kustwater. It Fryske Gea, beheerder van de Friese Kust, experimenteert met rietcycleplaatsen met daarbij aan de bodem gefixeerde kooiconstructies. Rietcycleplaatsen zijn met name aantrekkelijk vanuit beheer. Gemaaid riet hoeft dan niet te worden afgevoerd maar kan lokaal worden toegepast, een win-win.

Het Fryske Gea gebruikt in de experimenten kooiconstructies als praktische en stabiele manier in de ondiepe wateren van de Mokkebank. Het geheel blijft onder water en is hervulbaar vanaf de bovenkant. Het maaisel vergaat langzaam en het organisch materiaal komt zo in het water terecht. In de Mokkebank kan het Fryske Gea zelf een natuurlijk peil simuleren, het voedselrijke water spoelt dan uit naar het IJsselmeer. Hierdoor is de maatregel eenvoudiger uit te voeren en te onderhouden dan in het Markermeer.

Het Waterschap Zuiderzeeland verkent de mogelijkheid om vegetatiestromen te gebruiken als toepassing in vissenbossen in de nog te ontwikkelen vooroever ten Noorden van Lelystad. De vooroever creëert een luwtegebied tussen oever en dijk. Een luwtestructuur mét voldoende uitwisseling is essentieel voor een effectieve praktische toepassing van vegetatiereststromen.

In potentie lijken daarom alle locaties uit het Voorkeursalternatief geschikt voor het benutten van reststromen. Voor een pilot op korte termijn lijken Polder IJdoorn en de Nes het meest geschikt, op dit moment zijn daar al luwttes aanwezig. In de Nes is echter op dit moment nog maar weinig materiaal aanwezig.

### **Kennisontwikkeling**

Tijdens de bijeenkomst spraken de experts de wens uit voor *in situ* onderzoek naar de wijze van afbraak om de effectiviteit te bepalen en te leren van én voor andere projectlocaties. Kennis delen tussen de 3 locaties in het IJsselmeergebied (Mokkebank, IJsselmeerdijk en Markermeerdijk) maar ook binnen de gehele PAGW lijkt dan ook voor de hand liggend. De experts kwamen tot de conclusie dat het zou zinvol zijn om de pilots met monitoring in het IJsselmeergebied (of mogelijk daarbuiten) goed op elkaar af te stemmen. Verschillende organisaties hebben aangegeven een rol te kunnen spelen bij een dergelijke monitoring. De WUR, als logisch vervolg op eerdere isotopenanalyse (van Bendegom, 2025) maar ook voor macrofauna. Daarnaast zouden OAK en de UvA kunnen helpen en heeft Aeres Hogeschool (Marcel van den Berg red.) aangegeven bij te kunnen dragen mocht het komen tot praktijkgerichte experimenten. Er is ervaring op gedaan met monitoring van primaire productie (met EXO-sensoren en FRRF-methodiek) op de Marker Wadden, bij Trintelzand en monitoring van het Oostvaardersdiep in het kader van het project Oostvaardersoever.

## **5.4 Randvoorwaarden en risico's**

Voor een effectieve praktische toepassing is het zoeken naar een optimum van verschillende randvoorwaarden. Uit de bureaustudie en de expertsessie is gebleken dat in de gehele keten van maaibeheer tot toepassing in het systeem er veel factoren zijn die de effectiviteit en afbraaksnelheid bepalen. Idealiter kan al het vrijgekomen materiaal uit het beheer volledig worden toegepast. Echter spelen hier aspecten als samenstelling van de reststroom (grof/fijn, nat/droog), beschikbaar oppervlakte voor toepassing en de afbraaksnelheid na toepassing een grote rol. Daarnaast zijn er aandachtspunten voor het beheer zelf. Hoe past het benutten van reststromen in de gangbare beheermethode van de terreinbeheerder? Deze twee thema's lichten we hieronder kort toe. In hoofdstuk 6 zal specifiek aandacht zijn voor gehele keten.

### **Afbraak, verspreiding en zuurstofloosheid**

Ter bescherming tegen wind en golven dient de toepassing te gebeuren in een gebied met luwte en ondiep water. Luwte en ondiepte lijken ook ecologisch gezien essentieel voor opname in het voedselweb. Goede afbraakcondities worden bepaald door onder andere warmte, diepte en de verversing van water. Voor een goede verspreiding van opgeloste nutriënten, micro-organismen en toevoer van zuurstof is stroming en uitwisseling van water essentieel.

Bij het verteringsproces zal het materiaal loslaten en zich met het water verspreiden. Het is belangrijk daarbij in ogenschouw te nemen dat er geen overlast ontstaat door maaisel. Denk bijvoorbeeld aan maaisel dat aanspoelt op strandjes in de omgeving. Los drijvende maaiseleenheden zijn ook voor de scheepvaart en recreatievaart niet wenselijk.

Bij de afbraak van organische stof gebruiken micro-organismen zuurstof. Bekend is dat bij ophoping van plantenresten tussen rietstengels zuurstofarme condities ontstaan waarbij ook toxische stoffen ophopen, zoals sulfide en ammonium. We denken dat dit ook kan plaatsvinden in dicht gepakte hooibalen. Balen op de bodem (vooral in luwe, ondiepe zones met weinig stroming/menging) kunnen lokaal een zuurstofloze microzone creëren onder de baal, zeker bij hoge zomertemperaturen wanneer afbraaksnelheden toenemen en de zuurstofvraag hoog is. In een anaerobe omgeving met voldoende sulfaat (in het sediment van het Markermeer aanwezig), kan sulfaatreductie optreden met vorming van H<sub>2</sub>S/sulfide, wat lokaal toxisch kan zijn voor bodemfauna en wortels van waterplanten in de directe nabijheid. Dit risico is waarschijnlijk sterk lokaal begrensd (enkele decimeters tot meters rond de baal), zeker als de balen niet te dicht opeen liggen en er voldoende waterbeweging/menging in de luwe zone blijft (pers. communicatie H. van der Geest). Effecten door toxische stoffen is daarmee waarschijnlijk een klein risico.

Een ander punt is wel dat ook zuurstofarme condities kunnen optreden in het water zelf nabij de baal. Vooral in warme periodes en ondiep water. Dat remt waarschijnlijk de afbraaksnelheid omdat micro-organismen minder actief zijn. Waarschijnlijk blijft ook dit sterk lokaal begrensd, een risico voor de ecologie is niet te verwachten.

Bij de afbraak komen nutriënten vrij. Een risico is mogelijk (blauw)algenbloei bij een toenemende nutriëntenbelasting in te luwe oeverzones. Het vrijkomen van N (nitraat) en P (fosfaat) bij afbraak zou lokaal de nutriëntenconcentratie kunnen verhogen, wat in theorie blauwalgengroei kan stimuleren. In de praktijk is dit risico denk ook beperkt omdat de hoeveelheid vrijkomend P relatief klein is t.o.v. de totale meerbelasting. Een lokale, geconcentreerde nutriëntenpluim in stilstaand water kan in theorie wel een lokale piek veroorzaken, maar bij enige waterbeweging/menging zijn weinig problemen te verwachten (pers. communicatie H. van der Geest).

Concluderend, het aansluiten van de beheerstroom op de toepassing langs de kust vraagt om een locatie-specifieke uitwerking. De inbreng van materiaal heeft geen zin als er geen luwtegebied (met voldoende doorstroming) is waarin het materiaal kan worden toegepast. Het is dus zoeken naar een optimum van enerzijds luwte zodat het materiaal niet te snel wegspoelt, en anderzijds niet te veel luwte. Daarbij komen nog aspecten van de juiste hoeveelheid organisch materiaal, hoe dit wordt aangeboden (los of geperst) en de mate van verversing om waterkwaliteitsproblemen te voorkomen. In een pilot zouden deze aspecten onderzocht kunnen worden.

## Voedselweb

Het hoofddoel van de inbreng van organische stof is uiteindelijk om het voedselweb een boost te geven, zoals beschreven in paragraaf 4.3. Een gouden regel in de ecologie is dat soorten naast voeding ook een veilige plek moeten hebben om te kunnen schuilen en zich voort te planten. Het gaat om *bed én breakfast*. Het aanbrengen van organische stof in een verder kale waterbak is niet zo zinvol, al zullen de ingebrachte structuren zelf ook een rol kunnen vervullen als leefgebied. Dit pleit ervoor om de maatregel te combineren met de ontwikkeling van natuurvriendelijke oevers met waterplanten, riet en wilgen (Figuur 4.2) – zoals ook wordt beoogd in het PAGW-project. Voldoende luwte tegen golfslag vanaf het grote meer is daarbij randvoorwaardelijk.

Aangezien het grootste deel van de Markermeerkust bestaat uit stort- en zetsteen, is de vraag of de juiste organismen aanwezig zijn om de organische stof te verknippen en te verteren? Uit de monitoring van de Marker Wadden en het Trintelzand blijkt echter dat plankton en macrofauna zich vrij snel vestigen. In de eerste jaren vooral muggenlarven en borstelarme wormen, maar later ook mosselen en soorten die passen in ondiepe oevers met waterplanten en riet. Het heeft dus wel even tijd nodig, in de orde van enkele jaren, voordat de gemeenschap zich aanpast van pioniersstadium

naar een meer complex voedselweb. In pilots waarin ook naar het voedselweb wordt gekeken, dient daar rekening mee gehouden te worden. Daar dient meerjarige monitoring onderdeel van te zijn.

Op de korte termijn kan vooral het fysieke substraat van ingebracht organisch materiaal kolonisatie door biofilm worden verwacht, met macrofauna en mogelijk kleine vis volgend, vergelijkbaar aan dood hout of vissenbos. Op de middellange termijn, als het materiaal afbreekt en organisch koolstof vrijkomt, kan dit de heterotrofe voedselketen voeden: bacteriën en detritivoren (waaronder bodemfauna die als voedsel dient voor vis en vogels) profiteren van extra koolstof, wat aansluit bij de hypothese dat het Markermeer een tekort heeft aan kwalitatief hoogwaardig organisch materiaal voor deze schakel. De eventuele lokale verrijking van zoöplankton/bacterioplankton rondom kan ook vislarven aantrekken (versterking bentische keten). Ook hier zal het effect sterk lokaal en kleinschalig zijn (in de orde van meters tot enkele tientallen meters rond elke baal) en vooralsnog weinig invloed hebben op het systeembrede voedselweb (pers. communicatie H. van der Geest).

Een vraag is nog of er bepaalde periodes in het jaar zijn waarop de inbreng van organische stof het meest of juist het minst effectief is voor opname door het voedselweb. Wanneer heeft het voedselweb er het meest aan? De verwachting is dat inbreng net vóór of tijdens de start van het groeiseizoen het meest zinvol is. Vrijkomende stoffen kunnen dan direct opgenomen worden. Tegelijk raakt dit ook de praktische uitvoering. Als er na het maaien gewacht moet worden met inbrengen, dient het tijdelijk opgeslagen te worden. Los van het feit dat daar een plek voor moet zijn, verandert het maaisel in de periode van opslag ook van kwaliteit en wordt dit binnen de wet dan als afval (en niet langer als grondstof) beschouwd. Direct inbrengen heeft daarom de voorkeur. Mogelijk dat het moment van maaien hierop aangepast kan worden.

### **Randvoorwaarden beheer**

Een laatste randvoorwaarde, is de praktische toepasbaarheid en beheersbaarheid in de praktijk van de terreinbeheerder. Beheerders willen bijvoorbeeld zo min mogelijk extra beheerhandelingen om kosten te minimaliseren. We noemen enkele aandachtspunten die tijdens de expertsessie werden meegegeven:

- Makkelijke verwerking van het maaisel: de wens is om zoveel mogelijk gebruik te kunnen maken van bestaand materieel.
- Transport naar de oever en naar de locaties in het water: Bij voorkeur is de transportafstand van perceel naar water zo klein mogelijk. Het moet praktisch goed mogelijk zijn om het materiaal op de plek te krijgen waar het in het water wordt toegepast. Storten of plaatsen vanaf land heeft daarbij veruit de voorkeur boven het gebruik van varend materieel.
- Opslag en uitloging van nutriënten: Wetgeving blijkt een uitdaging te zijn. Wanneer maaisel langer dan 6 weken in depot zit, dan beschouwt de wet het als afval en niet als grondstof. Toepassing in het water is dan mogelijk niet meer zo eenvoudig. Los daarvan verandert het maaisel tijdens opslag van kwaliteit en zal het een deel van de nutriënten verliezen. Als het depot dicht bij het water ligt, is dat geen probleem, maar anders verdwijnt het in de bodem.
- Afstand en afscherming tot de oever: Loskomend organisch materiaal mag zich niet te veel op de oever ophopen aangezien dit negatieve effecten zal hebben op de ontwikkeling van waterriet aan de oevers van het Markermeer groeit (pers. communicatie, M. van der Berg).
- Beheersbaarheid van de constructie: om intensiever beheer te voorkomen is het belangrijk te werken met een duurzame toepassingsconstructie. Afhankelijk van de toepassingsmethode moeten deze lange periode kunnen blijven, zonder dat het bijvoorbeeld wegspoelt. Afgezonken bundels moeten niet wegslaan en benodigde onderdelen als palen of kooien moeten niet (te) vaak vervangen te hoeven worden.

## 6 Toepassingsconcept in het Markermeer

In dit hoofdstuk wordt specifiek gekeken naar het Markermeer en wordt het concreet voor de praktische toepassing organisch materiaal binnen het PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust. Het hoofdstuk beschrijft met welke zaken rekening moet worden gehouden, hoe beheer en toepassing op elkaar aan kunnen sluiten en eindigt met een grove inschatting van de kosten.

### 6.1 Trechters naar het beste toepassingsconcept

De toepassingsconcepten zijn met experts en vanuit onze bureaustudie beoordeeld op hun kansen en zwaktes, onderstaande tabel geeft hier overzicht van.

| Toepassings-concept                             | Wijze van toepassen & benutten                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Sterktes en zwaktes, aansluiting op huidige beheer voorlanden & oevers                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Meerwaarde en haalbaarheid Markermeerkust                                                                                                                                                                                                                           | Kosten |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Dood hout &amp; brush piles</b>              | Dood hout (boomstammen los of verankerd, of bundels takken of rillen) in ondiepe wateren als structuur en voedselbron. Langzame afbraak onder water, fungeert primair als leefgebied en structuur. Kickstarter voor perifyton, macrofauna, vis.                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Houtstructuur heeft grote ecologische meerwaarde</li> <li>+ Toepassingscombinaties als vissenbos en erosiebescherming mogelijk</li> <li>- Fixatie nodig voor hout, vanwege risico scheepvaart (afhankelijk van locatie)</li> <li>- Lage afbraaksnelheid, past niet bij jaarlijks beheer</li> <li>- Uit beheer voorlanden zal weinig hout vrijkomen</li> </ul>                                                                                                                                                                                              | <b>Laag</b> , meerwaarde zou groot zijn maar houtig materiaal schaars vanuit huidig beheer en dient elders te worden gehaald. Werken met grotere volumes lijkt moeilijker.                                                                                          | €€     |
| <b>Balen en bundels van stengels en maaisel</b> | Middelgrof tot fijn organisch materiaal (rietstengels, grasmaaisel met kruiden) dat in geperste balen of kleinere bundels in ondiep water wordt toegepast. Combinatie van gemiddeld (riet) tot relatief snelle afbraak (gras) onder water verwacht. Dient ook als tijdelijke structuur en voedselbron voor vis en macrofauna.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Structuur balen en bundels heeft ecologisch meerwaarde</li> <li>+ Sluit aan op reststroom vegetatiebeheer</li> <li>+ Potentieel erosiebescherming oever</li> <li>+ Potentieel grote volumes organisch materiaal te verwerken</li> <li>+/- Afbraaksnelheid onzeker, maar It Fryske Gea gaat experimenteren met toepassing.</li> <li>- Balen moeten in luwtezone met voldoende doorstroming</li> <li>- Initieel fixatie nodig, vegetatie zal met de tijd loslaten en verspreiden.</li> <li>- beheersmatig intensief bij werken met kleine bundels</li> </ul> | <b>Hoog</b> , sluit aan bij huidige beheer, toepassingspotentieel vanuit beheer enkel met grote volumes. Concepten in ondiepe luwtezones zijn toepasbaar vanaf de kant.                                                                                             | €      |
| <b>Drijvende natuur of drijfzillen</b>          | Middelgrof tot fijn organisch materiaal wordt toegepast op of binnen een drijvende constructie die verankerd wordt in ondiep water. Afbraaksnelheid door combi onder én boven water mogelijk sneller, echter vormt het een kiembed voor moerasvegetatie en is aangroei te verwachten. Belangrijke structuur voor vis en macrofauna. | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Drijvende vegetatie heeft grote ecologisch meerwaarde</li> <li>+ Sluit aan op reststroom vegetatiebeheer</li> <li>- Gevoelig voor wind en golfslag, voldoende luwte nodig</li> <li>- Fixatie aan de bodem nodig, technischere toepassing</li> <li>- Kleinschalig haalbaar, op middel/grote schaal lastig</li> <li>- Niet-natuurlijke materialen, uiterlijk mogelijk kunstmatig</li> <li>- Toepassing drijvende constructies moet op het water, moeilijker inpasbaar in beheer</li> </ul>                                                                   | <b>Laag</b> , vanwege bewerkbaarheid en kleinschaligheid van toepassingsconcept. Fixatie maakt bewerkelijk en werken met grotere volumes lijkt niet haalbaar.                                                                                                       | €€€    |
| <b>Versnipperd toepassen (rietconfetti)</b>     | Middelgrof tot fijn organisch materiaal wordt verhakeld verspreid over een groter wateroppervlak, dit kan zowel in ondiep water vanuit de kant als dieper water vanuit een boot. Verspreiding kan op het wateroppervlak of met een pompsysteem het water in. Snelle afbraak verwacht door fijne structuur.                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Al het vrijkomend restmateriaal kan worden benut</li> <li>+ Toepassing mogelijk op grote schaal</li> <li>+ Tijdens maaien kan materiaal eenvoudig versnipperd en vervoerd worden</li> <li>- Verspreiding moet vanuit het water, vereist extra stap</li> <li>- Grotere verspreiding materiaal, lokale effectiviteit onzeker</li> <li>- Risico op ophoping en aanspoelen en daarmee overlast</li> <li>- Snelle afbraak creëert piek in opgeloste nutriënten en koolstof, onzeker over de ecologische meerwaarde risico zuurstofloosheid</li> </ul>           | <b>Gemiddeld</b> , kosteneffectieve en snelle oplossing. Onzeker of hoge afbraaksnelheid en biomassa-input tot problemen kan leiden. Snelle input en afbraak mogelijk niet 'natuurlijk' en roept vragen op. Extra werk materieel nodig voor toepassing op het water | €      |
| <b>Aankoppelen voorland of achterland</b>       | Semi-natuurlijke aanvoer van organisch materiaal via inundatie of doorspoelen buitendijkse voorlanden of aangekoppelde achterland (binnendijkse gebieden). Kan eventueel gecombineerd worden met ontwikkeling van vispaaigebieden.                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Potentieel grote bron van organisch materiaal</li> <li>+ Timing afbraak en beschikbaarheid nutriënten is natuurlijk</li> <li>- Mogelijk botsende belangen met bestaand (agrarisch) gebruik binnendijkse terreinen</li> <li>- Aankoppelen en/of doorspoelen vereist technische uitwerkingen waterbeheer en grotere investeringen in kunstwerken (doorsteken van kades, duikers, gemaaltjes)</li> </ul>                                                                                                                                                      | <b>Laag</b> , complicaties bestaand landgebruik en dure aanpassingen watersysteem. <b>Doorspoelen heeft mogelijk hoge potentie als dit meegenomen wordt in begin van ontwerptraject voorlanden.</b>                                                                 | €€€    |

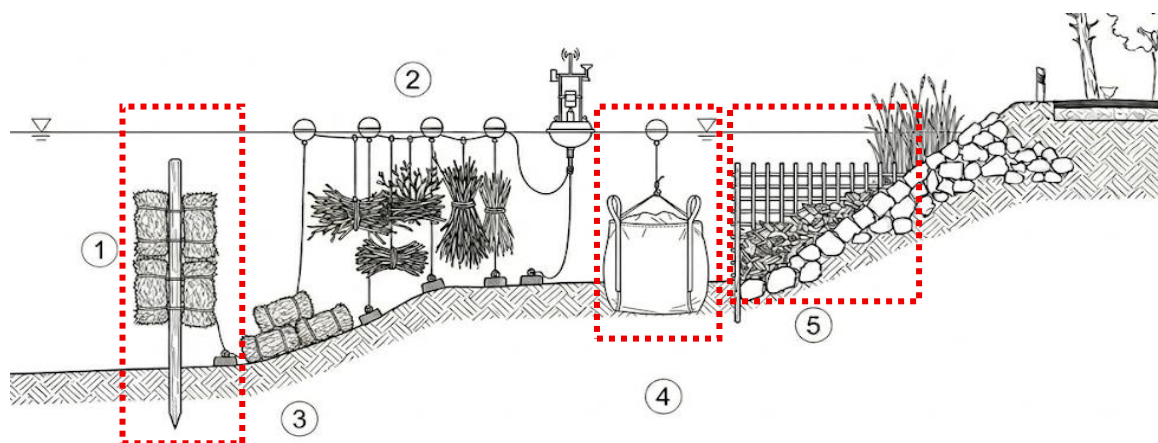


De informatie in voorgaande tabel geeft weer dat het concept van toepassen van balen en bundels van (riet)stengels en maaisel als meest waardevol en haalbaar wordt beschouwd voor het toepassen en benutten van reststromen uit vegetatiebeheer aan de Markermeerkust. Andere toepassingsconcepten doen het minder goed, voornamelijk omdat deze technisch uitdagender zijn (drijvende natuur en aankoppelen achterland), niet aansluiten op type en hoeveelheden restmateriaal (dood hout) of onzekerheid over de toepassing en effecten hiervan (versnipperd toepassen). Vanuit de experts werd wel benadrukt dat werken met balen en bundels beheerstechnisch mogelijk wordt wanneer met grotere volumes gewerkt wordt, de toepassingsconcepten met kleine gebonden bundels, drijvend of afgezonken met gewichten, lijken daarom niet zinnig om verder uit te diepen.

## 6.2 Uitwerking praktijkvoorbeeld op locatie De Nes

### 6.2.1 Toepassingsvormen en keuze

De toepassing van balen of bundels in het Markermeer lijkt het meest kansrijk. Dit kan echter op verschillende manieren. Vanuit het toepassingsconcept balen en bundels zijn er meerdere varianten te bedenken, die allemaal technisch iets anders in elkaar steken maar hetzelfde principe volgen. Deze kwamen al even ter sprake in de expertsessie en hebben ‘culinaire werktitels’ gekregen.



Figuur 6.1: Keuze uitwerking van toepassingsconcepten balen en bundels, gevisualiseerd bij een harde oever.

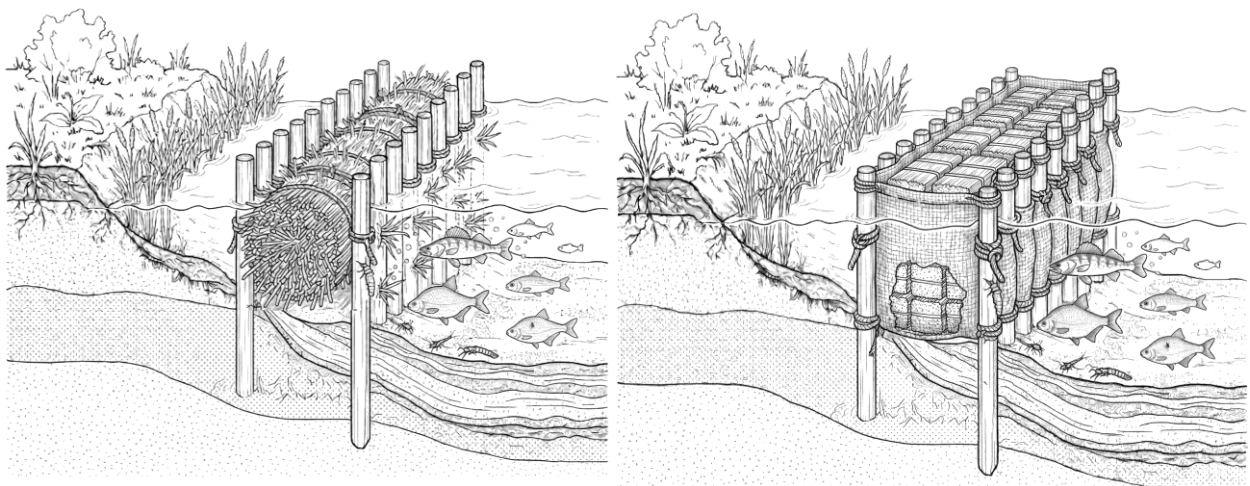
Tabel 6.1: Varianten van toepassingsconcept balen en bundels in beeld en beknopte tekstuele uitwerking

| Varianten                                              | Wat is het?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kansen en bezwaren                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. Riet 'spies'</b><br>Zoals #1 in Figuur 6.1       | Balen riet en maaisel worden gespiesd op of bevestigd aan hardhouten palen. Hardhouten palen kunnen enkele jaren (verwachting is tot 20 jaar) worden 'hergebruikt'.                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Uitdaging is het eenvoudig samen binden en het praktisch bevestigen aan de palen.</li> <li>Geperste balen hebben mogelijk tragere afbraak en kunnen uiteen vallen.</li> </ul>                                                 |
| <b>B. Jute 'loempia'</b><br>Zoals #4 in Figuur 6.1     | Geperste balen die in plaats van regulier plastic touw/doek ingepakt worden in het biologisch afbreekbare (jute/sisal/cellulose) variant en eventueel in jute bigbags met sluitschort. De ingepakte baal wordt onder water gebracht en zal langzaam vergaan.                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Maaisel is ingepakt, zal langere tijd bij elkaar blijven maar minder doorstroming en mogelijk minder snel afbreken</li> <li>Verpakking is biologisch afbreekbaar.</li> <li>Jute bigbag maakt verplaatsen makkelijk</li> </ul> |
| <b>C. Paal 'pizza'</b><br>Variant van #5 in Figuur 6.1 | In essentie een vissennet XXL. Een palenrij of -plot dient als bodem en omheining en worden gevuld ('belegd') met riet en ander maaisel. Maaisel kan van bovenaf worden ingebracht. Dient te worden afgedekt zodat maaisel onder water te houden.<br>Ter inspiratie: <a href="https://www.vanaalsburg.com/legakker/">https://www.vanaalsburg.com/legakker/</a> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hervulbaar concept</li> <li>Palenrij is vrij grof, materiaal zal sneller 'ontsnappen' maar biedt ruimte voor uitwisseling en voorkomt zuurstofloosheid</li> <li>Afdekking mogelijk ingewikkeld</li> </ul>                     |
| <b>D. Wilgen 'wok'</b><br>Variant van #5 in Figuur 6.1 | Grote ronde of rechthoekige kooi van wilgenwiepen of stalen raster. Equivalent van de kooiconstructie waarmee It Fryske Gea experimenteert maar dan groter. Van boven verzwaard om maaisel onder water te houden, of constructie moet hoger boven water uitsteken.                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hervulbaar concept</li> <li>Biologisch afbreekbaar met wilgenwiepen</li> <li>Mogelijk moeilijke constructies</li> <li>Bepaalde levensduur</li> </ul>                                                                          |

Bovenstaande varianten hebben ieder hun sterktes en zwaktes, vooral vanwege uitvoerbaarheid lijkt de ene variant beter toepasbaar te zijn dan de andere. Dit is ook besproken met de experts. Uit overleg met de PAGW-begeleidingsgroep ging de meeste steun uit naar een combinatie van:

- afbreekbare balen/bundels (ingepakt);
- een luwteconstructie of palenrij parallel met enige afstand tot de oever;
- eenvoudige verwerking vanaf de kant;
- grotere volumes (geen kleine bundels)

Met name concept B in combinatie met een palenrij/oeverconstructie zoals voorgesteld bij concept C werd gezien als praktisch en breed toepasbaar. Dit gecombineerde toepassingsconcept zou als volgt eruit kunnen komen te zien (Figuur 6.2).



*Figuur 6.2: Twee varianten van het gecombineerde toepassingsconcept tussen eerder genoemde varianten B&C, waarbij gebruik wordt gemaakt van een palenrij als omliggende structuur en jute bigbags (of andere doorlatende bio-afbreekbare stof) om kleinere geperste balen bij mekaar te houden. Welke variant toegepast wordt is afhankelijk van lokale mogelijkheden tot persen van ronde balen op locatie.*

Dit toepassingsconcept vormt zo niet alleen een structuur die technisch makkelijk aan te leggen is maar ook op verschillende wijze te vullen is. Grote ronde rietbalen die met natuurlijk touw/doek afgewikkeld zijn zouden zo tussen de palenrijen afgezonken kunnen worden, waarbij de mogelijkheid bestaat om grofmazige jute bigbags in te zetten voor verwerken van kleinere geperste rietbalen. Dit maakt die toepassingsconcept aanpasbaar aan het type beheermaterieel. Daarnaast vormt dit concept ook een lange luwtestructuur die golfaanval tegenhoudt en een extra luwe zone creëert. Deze luwte creëert geschikte condities door minder opwervend slib, betere lichtdoordringing en daarmee meer kansen voor onderwaterplanten. Daarnaast is het natuurlijk als kickstart voor de detritus-gedreven voedselketen ook interessant voor macro-invertebraten en vis, en zal de houten structuur met riet voor aangroei van perifyton zorgen en daarmee de lokale bentisch primaire productie aanzwengelen.

Waar mogelijk kan er met 1 palenrij gewerkt worden voor eenvoudigere toepassing van geperste balen vanaf de kant, dit verhoogt wel het risico op rollen en loskomen van de balen bij hoger peil en golfaanval door windopzet. Daarbij kan het waterriet aan de oever beschadigen of door ophoping verstikken. Bij voldoende luwte kan 1 palenrij voldoende zijn en toepassing voor beheer eenvoudiger maken. Voor voldoende uitwisseling van water wordt aanbevolen om de palenstructuur op enige afstand van de oever aan te leggen, dit moet echter niet te ver zijn buiten het bereik van in te zetten hijsmaterieel. Een standaard hydraulische opbouwkraan voor een tractor heeft een horizontaal bereik tot 5 meter, zwaardere versies met bosbouwkransen kunnen tot 8 meter ver reiken. De toepassingsconstructie zal dus binnen deze marges van de berijdbare werkstrook in de oever moeten

liggen. Voor voldoende draagkracht wordt voorgesteld om gebruik te maken van 8x8x400cm azobe hardhouten palen met geslepen punt met plaatsing van 3 palen per meter. Deze palen kunnen dan 2,5m diep in de waterbodem gedrukt worden door een hydraulische kraan en zo 1,5m erbovenuit steken om de balen vast te houden.

Er wordt aanbevolen om de sterkte en draagkracht van de constructie door te rekenen als ook de plaatsing ten opzichte van de oever voor bereikbaarheid van materieel dat de balen in de constructie zal plaatsen.

## 6.2.2 Toepassingslocatie(s) in De Nes, volumes en oppervlakten voor toepassing



*Figuur 6.1: Maatregelenkaart VKA voor locatie de Nes, in rood omcirkeld waar toepassing zou kunnen.*

Om bovenstaande toepassingsconcept te 'testen' zal de toepassing hiervan op Locatie de Nes worden uitgewerkt. Polder De Nes (Waterland-Oost) zal zo worden ingericht dat er 5,4 hectare aan helofytenmoeras en 5,4 hectare aan te beheren ecotoop overstromingsgrasland ontstaat (Figuur 6.3). Door het aanbrengen van reliëf, het ophogen van een zomerkade en het toepassen natuurlijk waterpeil met een gemaal plaatsvinden. Daarnaast wordt er een geul aangelegd en deze wordt verbonden met een vispassage bij het gemaal voor peilregulatie.

Voor de oever van de polder is een luwtestructuur voorzien zodat er een zone ontstaat tussen de oever en deze structuur waar ondergedoken waterplanten kunnen vestigen en wat kan dienen als geschikt opgroei-habitat voor juveniele vis. Daarnaast is de vluchthaven ten oosten van de Nes al een relatief luwe zone, in open verbinding met het Markermeer. Vóór de oever in de vluchthaven zou om die reden een perfecte toepassingslocatie zijn. Deze locatie zou namelijk zowel luwte, doorstroming als ondiep habitat bieden voor macrofauna en vis. Om te bepalen hoeveel ruimte nodig is zijn de te verwachten reststromen van polder De Nes in beeld gebracht (Tabel 6.2) op basis van de te beheren ecotopen en potentiële scenario's voor maaibeheer.

Volgens het VKA voor de Nes wordt gefaseerd maaien voorzien voor de helofytenmoerassen. Deze helofytenmoerassen behoren tot natuurbeheertype N05.03 veenmoeras. De beheerrichtlijnen hiervan maken duidelijk dat voor beheer van een goed rietland voor riet- en moerasvogels deze jaarlijks maar slechts voor de helft mogen worden gemaaid. We gaan voor de volumes reststromen daarom uit van gefaseerd maaibeheer met 50% te maaien oppervlakte ieder jaar. Het ontwikkelbeheer in de eerste jaren zal andere volumes reststromen opleveren, en mogelijk zal het instandhoudingsbeheer ook niet de 50% halen om hoogkwalitatief rietland te behouden met overjarig riet voor riet- en moerasvogels.

Het overstromingsgrasland wordt beheerd als natuurbeheertype N12.04 zilt- en overstromingsgrasland, waarbij normaliter jaarlijks maaibeheer nodig is om doorschieten naar rietland tegen te houden. Tegelijkertijd wordt in de beheerrichtlijnen als ook in het VKA voor De Nes voor dit beheertype duidelijk gemaakt dat peildynamiek een groot effect heeft op de vegetatieve ontwikkeling en daarmee de benodigde maai-intensiteit sterk kan wisselen. Aangezien het peil in dit gebied voor vis in de winter en het voorjaar gecontroleerd opgezet zal worden en uit zal zakken in de zomer naar droger grasland is niet aannemelijk dat dit grasland snel doorschiet naar riet, het betreft namelijk geen permanent natte graslanden. We gaan voor de volumes reststromen daarom ook hier uit van gefaseerd maaibeheer met 50% maaien ieder jaar. Dit zou ook 1x per 2 jaar 100% maaien kunnen zijn.

**Bovenstaand maaibeheer in de Nes levert een jaarlijkse reststroom op van ongeveer 38 balen riet per jaar en 22 balen gras/hooi per jaar, in totaal dus 60 balen per jaar.** Zie Tabel 6.2 voor de totstandkoming van deze hoeveelheden. Deze getallen zijn gebaseerd op basis van kengetallen uit maaibeheer, grote marges moeten aangehouden worden voor variatie tussen groeiseizoen en locatie.

*Tabel 6.2: Te verwachten reststromen uit vegetatiebeheer uit polder de Nes met verschillende maaiscenario's. Deze getallen zijn op basis van kengetallen uit beheer, grote marges moeten aangehouden worden voor variatie tussen groeiseizoen en locatie.*

| Ecotoop               | Maaibeheer       | Oppervlakte te maaien ha. | Ronde balen | Ton versgewicht | Ton droge stof |
|-----------------------|------------------|---------------------------|-------------|-----------------|----------------|
| Helofytenmoeras       | 1x j. 100%       | 5,4                       | 75,6        | 37,8            | 18,9           |
|                       | <b>1x j. 50%</b> | <b>2,7</b>                | <b>37,8</b> | <b>18,9</b>     | <b>9,5</b>     |
|                       | 1x j. 30%        | 1,62                      | 22,7        | 11,3            | 5,7            |
| Overstromingsgrasland | 1x j. 100%       | 5,4                       | 43,2        | 16,2            | 13,5           |
|                       | <b>1x j. 50%</b> | <b>2,7</b>                | <b>21,6</b> | <b>8,1</b>      | <b>6,8</b>     |
|                       | 1x j. 30%        | 1,62                      | 13          | 4,86            | 4,1            |

Ronde balen kunnen verschillende diameters hebben, afhankelijk van de instellingen van de balenpers. Doorgaans hebben deze een diameter van 1,20-1,50m en een breedte van 1,20m. De plaatsing van de ronde baal zoals afgebeeld in Figuur 6.2 betekent dat de breedte van de ronde baal bepalend is. Voldoende ruimte tussen de balen is belangrijk voor doorstroming en uitwisseling van nutriënten. Daarom wordt in deze berekening een marge van 30cm aan weerszijden van de balen aangehouden. Daarmee wordt de totale benodigde breedte voor plaatsing per baal 1,50m. Volgens het VKA is de voorziene luwtestructuur voor de oever 670 meter lang. Wanneer het toepassingsconcept langs of in deze luwtestructuur over de volledige lengte zou worden ingericht zou er in totaal plaats zijn voor 446 ronde balen. Er is dus in principe voldoende ruimte binnen of langs de lengte van de voorziene luwtestructuur.

Daarnaast moet er ook rekening gehouden worden met de afbreeksnelheid. De afbreeksnelheid van riet is daarbij bepalender, het is langzaam afbreekbaar refractair materiaal vanwege moeilijk afbreekbare componenten zoals lignine. Tabel 4.3 laat zien dat riet 0,14-0,18% per dag afbreekt, dat





betekent een totale periode van 555-714 dagen voor volledige afbraak, ofwel grofweg 2 jaar. Dit gaat echter om losse rietstengels, we kunnen ervan uitgaan dat de afbraak in geperste balen langzamer zal gaan. Daarnaast hebben variabele temperatuur, zuurstof en andere afbraakcondities door het jaar heen veel impact op de afbreeksnelheid. Dus de afbreeksnelheid zal van nature sterk wisselen door de seizoenen heen. Tegelijkertijd is te verwachten dat tijdens de afbraak van grof naar fijn het fijnere materiaal op een gegeven moment wegspoelt tussen de houten palen door of uit de grofmazige jutezakken de waterkolom in. Vanuit een beheerder in het gebied werd opgemerkt dat afbraak van geperste balen in het water meer dan 3 jaar zal duren, dit is op basis van enige ervaring met verwerken van rietbalen in het water. We rekenen daarom met een ruimere marge en nemen aan dat na 3-5 jaar een baal riet volledig is opgelost. Voor gras laten Figuur 4.5 en Tabel 4.3 zien dat de afbreeksnelheid ongeveer gelijk is aan blad van loofbomen zonder zuren of tannines, zoals wilg en populier, en daarmee tussen de 0,7-1% per dag. Dat betekent volledige afbraak in 100-143 dagen. Voegen we daar dezelfde extra marge aan toe vanwege de geperste balen en onzekerheid over de afbraakcondities dan kunnen we ervan uitgaan dat binnen 1-1,5 jaar de balen grasmengsel weg zijn, waarbij oprekken tot 2 jaar verstandig is vanwege een gehalte aan kruiden in het grasmengsel en de mogelijk langzamere afbreeksnelheid hiervan.

Tabel 6.3: Samenvatting betreffende stromen organisch materiaal en kwantiteit polder de Nes

|                                                                                                         | Rietmaaisel                                                                                           | (Kruidenrijk) grasmengsel                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Afbreeksnelheid o.b.v. literatuur</i>                                                                | 0,14-0,18% per dag                                                                                    | 0,7-1% per dag                                                                                       |
| <i>Volledige afbraak in dagen volgens afbreeksnelheid</i>                                               | 555-714 dagen<br>= $\pm 1,5$ -2 jaar                                                                  | 100-143 dagen<br>= $\pm 1/3^e$ tot $1/2^e$ jaar                                                      |
| <i>Aanname afbraak in balen (x2)</i>                                                                    | $\pm 3$ -5 jaar                                                                                       | $\pm 1$ -2 jaar                                                                                      |
| <i>Maaimoment &amp; timing aanvoer</i>                                                                  | September - oktober                                                                                   | Vanaf 15 juni tot september                                                                          |
| <i>Aanvoer balen per jaar uit maaibeheer De Nes</i>                                                     | 38 ronde balen riet, o.b.v. 50% te maaien oppervlak                                                   | 22 ronde balen grasmengsel, o.b.v. te maaien oppervlak                                               |
| <i>Aanvoer #rietbalen tijdens totale afbraakcyclus</i>                                                  | 114 balen bij afbraak in 3 jaar<br>152 balen bij afbraak in 4 jaar<br>190 balen bij afbraak in 5 jaar | 22 balen bij afbraak in 1 jaar<br>33 balen bij afbraak in 1,5 jaar<br>44 balen bij afbraak in 2 jaar |
| <i>Meter lengte toepassingsconstructie o.b.v. volledige afbraakcyclus (aantal balen x 1,5m breedte)</i> | 171m voor 114 balen in 3 jaar<br>228m voor 152 balen in 4 jaar<br>285m voor 190 balen in 5 jaar       | 33m voor 22 balen in 1 jaar<br>50m voor 33 balen in 1,5 jaar<br>66m voor 44 balen in 2 jaar          |

Uit bovenstaande tabel blijkt dat uitgaande van ruime marges voor afbraak van riet en grasmaaisel in totaal 350 meter aan toepassingsconstructie nodig voor toepassing van al het riet en (kruidenrijk) grasmaaisel van 5,4ha helofytenmoeras en 5,4ha overstromingsgrasland van polder De Nes, waarvan  $\pm 285$  meter voor rietbalen en  $\pm 66$ m voor grasbalen. Dit gaat uit van jaarlijkse herhalende toepassing die het mogelijk zou moeten maken om ieder jaar 38 balen riet en 22 balen grasmengsel te verwerken in de toepassingsconstructie. Enige onzekerheid resteert met de afbreeksnelheid van geperste balen onderwater, daarom wordt cyclisch adaptief beheer toegepast.

### 6.2.3 Beheermaatregelen, scenario's en tijdsplanning

Voor de toepassing van organische reststromen uit De Nes wordt uitgegaan van een ketenbenadering: maaibeheer - verwerking - intern transport - toepassing. Het gaat om het beheer van 5,4 ha helofytenmoeras en 5,4 ha overstromingsgrasland. Bij gefaseerd beheer wordt jaarlijks circa 50% van beide vegetatietypen gemaaid. Daarmee komt per jaar naar verwachting circa 38 ronde balen rietmaaisel en 22 ronde balen gras-/hooimaaisel vrij. In totaal gaat het om circa 60 balen per jaar. Omdat riet in geperste balen veel langzamer afbreekt dan gras, vraagt vooral het riet om meer permanente capaciteit in de toepassingsconstructie. Uitgaande van een afbraakduur van circa





drie jaar voor riet en circa één seizoen voor gras is ongeveer 200 meter toepassingsconstructie nodig om het jaarlijkse vrijkomende materiaal uit De Nes lokaal te kunnen toepassen

### Beheerscenario's

Het toepassingsconcept ligt enkele meters uit de oever, in of langs de voorziene luwtezone. De meest praktische uitvoering is toepassing vanaf de oever, deze moet wel voldoende draagkracht hebben of tijdelijk berijdbaar gemaakt worden met rijplaten of gebruik van een rups-/moeraskraan. Een kraan op brede rupsen of een moeraskraan kan de balen vanaf een werkstrook oppakken, in de palenrij of juteconstructie plaatsen en waar nodig onder water drukken. Deze werkwijze beperkt vaarbewegingen, maakt korte interne transportlijnen mogelijk en sluit goed aan bij het maaibeheer vanaf het land. Een (beun)boot met kraan is logisch wanneer vanaf het land geen stabiele werkstrook beschikbaar is. Deze werkwijze is wel gevoeliger voor wind, golfslag, waterdiepte en aan- en afmeermogelijkheden en creëert een extra complexe stap om materiaal vanaf de kant op de boot te krijgen. In de kostenraming wordt uitgegaan van toepassing vanaf de oever. Voor de verdere uitwerking richting beheerplan zijn twee uitvoeringsscenario's denkbaar.

Tabel 6.4: Vergelijking twee beheerscenario's

|                                         | Scenario 1: grote gespecialiseerde machines                                                                                                                                                               | Scenario 2: kleine machines en lichte verwerking                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Maaibeheer helofytenmoeras</b>       | Inzet van gespecialiseerde rietmaaier op rupsen of vergelijkbare wetlandmachine. Zie bijvoorbeeld machines van De Vries B.V. Cornjum of Wellink loglogic.                                                 | Inzet van lichte één-assige trekker met rietmaaier. En/of maaïen en binden met kleine carraro trekker of kleine Wellink                                                               |
| <b>Maaibeheer overstromingsgrasland</b> | Maaïen met rupsmaaier, wetlandmaaier of lichte trekker op brede banden/rupsen wanneer de bodem voldoende draagkracht heeft.                                                                               | Maaïen met één-assige trekker of lichte carraro trekker met kleine maaibalk.                                                                                                          |
| <b>Verwerking op locatie</b>            | Riet en gras-maaisel wordt direct in grote ronde balen geperst, omhuld door biologisch afbreekbaar touw of gaas.                                                                                          | Riet en gras-maaisel wordt in balen verwerkt met balenpers. Bij onvoldoende perscapaciteit kunnen mogelijk kleinere balen geproduceerd worden met een kleine balenpers achter carraro |
| <b>Intern transport</b>                 | Transport met rupsvoertuig, trekker met lage bodemdruk, voorlader of verreiker over tijdelijke rijroute naar een verzamelplek bij de oever. Beperkt aantal transportbewegingen door grote baalcapaciteit. | Transport met lichte aanhanger of kleine carraro trekker. Meer transportbewegingen, maar lagere bodemdruk en meer flexibiliteit in kwetsbare terreindelen.                            |
| <b>Toepassing in systeem</b>            | Balen worden vanaf de oever geplaatst met een rups-/moeraskraan. De balen worden in de palenrij of luwteconstructie gelegd, eventueel van boven tussen de palen gefixeerd met touw.                       | Balen worden met lichte oeverkraan of trekker met opbouw-/bosbouwkraan geplaatst. Of kleine balen ingebracht in jute bigbags in constructie.                                          |
| <b>Voordelen</b>                        | Efficiënt bij grotere arealen, snelle verwerking, minder handwerk, direct geschikt voor ronde balen en jaarlijkse toepassing van circa 60 balen.                                                          | Lage bodemdruk, hoge wendbaarheid, geschikt voor kwetsbare en kleinschalige zones, eenvoudiger aan te passen aan mozaïekbeheer.                                                       |
| <b>Aandachtspunten</b>                  | Moeilijker te vinden materieel bij aannemers. Zwaardere logistiek, afhankelijk van bereikbaarheid, draaicirkels, transportroute en draagkracht van bodem.                                                 | Arbeidsintensiever, langere uitvoeringsduur, meer transportbewegingen en mogelijk minder uniforme balen/bundels.                                                                      |



Figuur 6.4: Visualisaties van scenario's maaibeheer en toepassing met groot gespecialiseerd materieel (boven, scenario 1) wanneer aanpak op grotere schaal mogelijk is, en aanpak kleiner materieel (onder, scenario 2).

### Voorkeursuitvoering

Voor De Nes lijkt scenario 2 het meest geschikt voor het reguliere beheer, omdat het areaal en de jaarlijkse hoeveelheid restmateriaal waarschijnlijk niet groot genoeg zijn om gespecialiseerde machines zoals bij scenario 1 efficiënt in te zetten. Scenario 1 blijft relevant als aanvullend scenario., mogelijk kan dit later wanneer het gecombineerd kan worden met maai- en toepassingsbeheer van andere nabije voorlanden aan de Markermeerkust.

Waarschijnlijk is beheer met de kleinste machines zoals een 1-assige trekker nodig tijdens ontwikkelfase, deze zijn vooral geschikt voor randen, natte zones, delen met beperkte draagkracht, ecologisch gevoelige plekken en dus ontwikkelbeheer in de eerste jaren. Voor een beheerplan ligt daarom een hybride aanpak voor de hand: kleine machines voor de hoofdmassa van riet en gras, aangevuld met lichte (handmatige) machines voor randen, natte delen en maatwerkbeheer.



## Globale tijdsplanning door het jaar

Tabel 6.5: Globale tijdsplanning door een jaar heen.

| Periode                   | Activiteit                        | Toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Januari-maart             | Voorbereiding beheerjaar          | Check op toepassingsconstructie tijdens winter, voornamelijk na peilopzet door wind winters stormen. Vismigratie de polder in het vroege voorjaar, check of organisch materiaal geen fysieke belemmering vormt bij ingang vispassage.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Maart-juni                | Rustperiode/ecologische controle  | Geen activiteiten in verband met broedseizoen en ontwikkeling van vegetatie. Wel inspectie op vismigratie de polder uit en constructie met organisch materiaal geen belemmering vormt. Eventueel visbemonsteringen rondom constructie voor ecologische monitoring habitat voor juveniele vis. Tijdens deze periode moet ook eventuele monitoring plaatsvinden van zuurstof en TOC/DOC gehalten in water.                                                                                                                  |
| Vanaf half juni-september | Maaien overstromingsgrasland      | Gefaseerd maaien van circa 50% van het overstromingsgrasland, bij voorkeur in droge perioden met voldoende draagkracht. Maaisel kort laten voordrogen indien nodig, daarna persen en naar de oever brengen op aparte oeverstrook. Tijdens deze periode moet ook eventuele monitoring plaatsvinden van zuurstof en TOC/DOC gehalten in water.                                                                                                                                                                              |
| September-oktober         | Maaien helofytenmoeras/rietmoeras | Gefaseerd maaien van circa 50% van het rietmoeras. Het maaimoment wordt afgestemd op rietvogels, draagkracht, waterpeil en gewenste rietstructuur. Riet wordt direct verwerkt tot balen en naast grasbalen gelegd.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| September-november        | Transport en toepassing           | Plaatsen van riet- en grasbalen in de palenrij. Grasbalen kunnen relatief kort na het maaien worden toegepast; rietbalen vormen een meerjarige, langzamer afbrekende voorraad. Bij plaatsing enkele meters uit de oever heeft een tractor met opbouwkraan/bosbouwkraan de voorkeur wanneer het bereik en de bodem dit toelaten. Ook bestaan er kleine kranen die aangesloten kunnen op kleine trekkers van het type Carraro, maar deze reiken niet ver. D.m.v. touw tussen palen te spannen blijven balen in constructie. |
| November-december         | Controle en vastlegging           | Controleren of balen niet opdrijven en niet ongewenst uitspoelen. Eventuele schade aan oever en aandachtspunten voor het volgende beheerjaar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### Uitvoeringsrandvoorwaarden

Bij de verdere uitwerking naar een beheerplan moeten minimaal de volgende randvoorwaarden worden vastgelegd: maximale bodemdruk van machines, toegestane werkroutes, tijdelijke opslaglocaties, waterdiepte bij de toepassingsconstructie, kraanbereik vanaf de oever, wind- en golfcondities voor werken met een boot, quickscan ecologie en daaropvolgende ecologische werkprotocollen voor (broed)vogels, vissen en macrofauna. Ook is aan te raden in de eerste jaren de monitoring van afbraak organisch materiaal doen met watermetingen TOC/DOC gehalten, zuurstofhuishouding en eventuele ophoping van fijn organisch materiaal. De toepassingsconstructie moet voldoende luwte bieden om het materiaal vast te houden, maar ook voldoende doorstroming behouden om zuurstofloosheid te voorkomen. Daarmee blijft de maatregel gericht op geleidelijke afgifte van organische stof aan het Markermeer, zonder dat lokaal negatieve waterkwaliteits- of beheerproblemen ontstaan.

### 6.3.3 Kosteninschatting

Voor de kosteninschatting maken we onderscheid tussen aanlegkosten van de toepassingsconstructie en jaarlijkse beheerkosten voor maaien en toepassen van organisch materiaal. Aangenomen wordt dat de azobé hardhouten constructie maximaal 50 jaar constructief voldoende sterk blijft wanneer volledig onder water en/of in de waterbodem worden aangebracht. Voor jute bigbags wordt uitgegaan van een tijdelijke, biologisch afbreekbare functie. Aandachtspunt daarbij is dat jute wordt behandeld met olie, wat bij toepassing in water mogelijk een drijfslaag kan geven. In zoet water met geringe golfbelasting blijven de zakken naar verwachting minstens 2 jaar functioneel als omhulling van riet- en maaiselbundels. Daarna neemt de sterkte snel af en zullen de zakken in één tot enkele jaren grotendeels afbreken. Over de conservatieve levensduur van 50 jaar



van de constructie zal daarmee bij gebruik van jute bigbags bij iedere toepassing ook nieuwe jute bigbags moeten worden toegepast.

*Tabel 6.6: Kosteninschatting aanlegkosten voor 350 meter aan toepassingsconstructie voor de levensduur van 50 jaar. Over de directe bouwkosten (materiaal, personeel, materieel) wordt een opslag van +25% gerekend voor indirecte bouwkosten (werkvoorbereiding, tekenwerk, vergunningen, K&L/NGE-check, afstemming). Dit is een vrij ruime opslag gezien de relatieve eenvoud van de constructie.*

| Kostenpost                                               | Specificatie                                      | Hoeveelheid   | Eenheidsprijs | Kosten excl. btw  |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|---------------|-------------------|
| <b>Directe bouwkosten</b>                                | <b>Materiaal</b>                                  |               |               |                   |
| Azobé hardhouten palen                                   | 12x12x400 cm, pyramidepunt, FSC                   | 2.100 st      | € 85          | <b>€ 178.500</b>  |
| Transport/levering palen                                 |                                                   | 1 post        | € 2.500       | <b>€ 2.500</b>    |
| <b>Directe bouwkosten</b>                                | <b>Inzet personeel &amp; materieel</b>            |               |               |                   |
| Rijplaten huur, leggen en verwijderen                    | 500 m oeverlengte, tijdelijke werkstrook          | 1 post        | € 8.500       | <b>€ 8.500</b>    |
| Tractor 4x4 of lichte rupskraan met hydraulische drukarm | 15 palen/uur, 2,5m diep in bodem, 1,5m uitstekend | 140 uur       | € 95          | <b>€ 13.300</b>   |
| 2 medewerkers vanaf oever                                | Bestuurder + toezichthouder                       | 280 uur       | € 65          | <b>€ 18.200</b>   |
| Materiaalboot                                            | Begeleiding & plaatsing palen                     | 140 uur       | € 90          | <b>€ 12.600</b>   |
| 2 medewerkers boot                                       | Begeleiding & plaatsing                           | 280 uur       | € 65          | <b>€ 18.200 +</b> |
| <b>Subtotaal directe bouwkosten</b>                      | <b>Vorb, vergunningen, K&amp;L, NGE, etc.</b>     |               |               | <b>€ 251.800</b>  |
| Indirecte bouwkosten                                     | 25% over directe bouwkosten                       | +25%          |               | <b>€ 34.075 +</b> |
| <b>Totale aanlegkosten</b>                               |                                                   |               |               | <b>€ 285.875</b>  |
|                                                          |                                                   |               |               |                   |
| Optioneel: extra inzet materiaalboot + 2 medewerkers     | Plaatsen 60 st. jute bigbags                      | 10 uur        | € 1.550       | <b>€ 1.500</b>    |
| Optioneel: jute bigbags                                  | Bigbags 90x90x110cm met lussen                    | 60 st.        | € 30          | <b>€ 1.800 +</b>  |
| <b>Subtotaal jute bigbags per jaar</b>                   |                                                   | <b>1 jaar</b> |               | <b>€ 3.300</b>    |
| Subtotaal jute bigbags per 50 jaar                       | Totaal levensduur 50 jaar                         | 50 jaar       |               | <b>€ 165.000</b>  |
| <b>Totaal aanlegkosten + jute bigbags</b>                |                                                   |               |               | <b>€450.875</b>   |

In Tabel 6.6 is uitgegaan van een dubbele palenrij. Dit wordt nodig geacht voor voldoende stabiliteit voor de bigbags tijdens ruige weersomstandigheden. Bij een enkele palenrij is de helft van de palen nodig en valt dit bedrag zo'n €90.000 lager uit.

*Tabel 6.7: Kosteninschatting jaarlijkse beheerkosten voor locatie de Nes (Waterland-Oost) voor nieuw beheertechniek incl. (1x/2jaar maaien, intern transport en lokale verwerking in toepassingsconstructie. De inzet van een carraro-trekker of 1-assige trekker is geprijsd o.b.v. de kosten voor maaien in nabijgelegen gebieden (€2.400/ha - S. Luiten, persoonlijke communicatie, 06-07-2026)*

| Kostenpost                                     | Specificatie                                               | Hoeveelheid | Tarief   | Kosten excl. btw |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------|----------|------------------|
| Maaien overstromingsgrasland (juni – augustus) | Carraro of 1-assige trekker met maaibalk                   | 2,7 ha      | €2400/ha | <b>€6.480</b>    |
| Persen gras                                    | 22 balen, balenpers                                        | 4 uur       | €85/uur  | <b>€340</b>      |
| Transport gras naar oever                      | 10 ritten à 500 m, mini-opraapwagen achter Carraro         | 4 uur       | €75/uur  | <b>€300</b>      |
| Maaien rietmoeras (september - oktober)        | Carraro of 1-assige trekker met rietmaaier                 | 2,7 ha      | €2400/ha | <b>€6.480</b>    |
| Persen riet                                    | 38 balen, balenpers                                        | 8 uur       | €85/uur  | <b>€680</b>      |
| Transport riet naar oever                      | 20 ritten à 500 m, mini-opraapwagen achter Carraro         | 8 uur       | €75/uur  | <b>€600</b>      |
| Toepassing in palenconstructie                 | Rupstrekker met opdraapwagen en verreikende opbouwkraan of | 10 uur      | €120/uur | <b>€1.200</b>    |



| Kostenpost                                       | Specificatie                                                                      | Hoeveelheid | Tarief  | Kosten excl. btw |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|------------------|
| Extra medewerker/toezichthouder                  | bosbouwkraan, 60 balen<br>Begeleiding plaatsing, veiligheid, ecologische controle | 10 uur      | €65/uur | €650             |
| <b>Subtotaal directe jaarlijkse beheerkosten</b> |                                                                                   |             |         | <b>€15.530</b>   |
| Werkvoorbereiding/afstemming/overhead            | 27% overhead (standaard voor SBB beheer)                                          | 27%         |         | <b>€4.193</b>    |
| <b>Totale jaarlijkse beheerkosten scenario 2</b> |                                                                                   |             |         | <b>€19.723</b>   |

### Kosten totale levensduur in vergelijking tot begrootte jaarlijkse beheerkosten

Over de totale levensduur van 50 jaar wordt een totale kostenpost geschat van ongeveer €1.437.030 excl. BTW ( $€450.875 + 50 \times €15.530$ ), wat uitgesmeerd uitkomt op jaarlijkse kosten van €28.740 per jaar is (bij een enkele palenrij is dit €26.940). Bij de inschatting van deze kosten op lange termijn is geen rekening gehouden met jaarlijkse indexatie door inflatie. Ook is er in deze berekening rekening gehouden dat er geen afvoeren en composteren van maaisel nodig is en alles verwerkt kan worden in de toepassingsconstructie.

De beheerkosten voor maaien en afvoeren voor locatie de Nes voor 2,7 ha overstromingsgrasland en 2,7 ha helofytenmoeras worden door Staatsbosbeheer op €30.175 per jaar incl. overhead excl. BTW begroot. De voorgestelde toepassingsconstructie is volgens eerste schattingen daarmee gelijk aan de begrootte maai- en afvoerkosten. Op basis van deze kosteninschatting lijkt, ondanks de initiële grotere investering, de toepassing van organisch materiaal op locatie in een relatief simpele houten constructie dicht bij de oever financieel gezien een goed alternatief voor het huidige maai- en afvoerbeheer.

### Kosten in vergelijking tot SNL beheersubsidies

Natuurbeheer in Nederland wordt gedeeltelijk vergoed door middel van SNL beheersubsidies voor natuurbeheerders die stukken natuur beheren. Voor 2026 bedraagt de SNL subsidie 84% van standaardkostprijs + 10,48% opslag. Met de huidige SNL subsidietarieven voor helofytenmoeras in de Nes, vallend onder beheertype N05.03 veenmoeras, kan een beheerder €797,58 per ha per jaar vergoed krijgen (tarief 2026). Voor de Nes betekent dat €4.307 euro aan SNL beheersubsidie verkregen kan worden voor helofytenmoeras. Overstromingsgrasland valt onder N12.04 Zilt- en overstromingsgrasland en een vergelijkbaar bedrag van €745,18 per ha per jaar vergoed krijgen. Voor 5,4 ha overstromingsgrasland in de Nes is dat €4.024 per jaar.

In totaal is dat €8.331 per jaar aan SNL beheersubsidie voor locatie de Nes voor het totaaloppervlak van het helofytenmoeras en het overstromingsgrasland.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste conclusies van de studie op een rij gezet. Daarnaast zijn de aanbevelingen de do's and don'ts voor het ontwerp of ontwikkeling van een praktisch toepassingsconcept langs de Noord-Hollandse Markermeerkust.

### 7.1 Conclusies

Het Markermeer bevindt zich momenteel in een ecologische impasse. Het is een novel ecosysteem met een tekort aan duizenden hectares aan land-water overgangen, aan nutriënten en aan kwalitatief goede organische stof. Deze studie richtte zich op het benutten van organische reststromen uit vegetatiebeheer om het ecologisch functioneren van het Markermeer te versterken. De belangrijkste bevindingen van deze studie zijn:

- **Potentie van de bruine voedselketen:** De rol van organische stof in het ecosysteem van meren is lang onderschat. Waterkwaliteitsstudies en maatregelen richtten zich de afgelopen decennia vooral op het terugdringen van de overmaat aan nutriënten en de groene voedselketen via algen en waterplanten. De belangrijkste energiestroom is echter de externe aanvoer van organisch materiaal en de opname in het voedselweb via detritus in de bruine voedselketen. Door de harde randen van het meer en het ontbreken van brede oevers en overstromingsvlaktes is die aanvoer zeer beperkt. Het actief inbrengen van organische reststromen (detritus) is daarom een kansrijke methode om het aquatische voedselweb te stimuleren. Dit werkt als een 'vliegwieltje' voor de productiviteit van het ecosysteem, met name in perioden waarin de primaire algenproductie laag is.
- **Effect op het Markermeer:** Het inbrengen van organisch materiaal op enkele locaties is een marginale bijdrage op de schaal van het gehele meer en zal weinig invloed hebben op het systeembrede voedselweb. Onderzoek laat zien dat bij natuurlijke grote ondiepe meren tot wel 50% van de energie in hun voedselweb uit het stroomgebied komt, waarbij het Markermeer vrijwel niets ontvangt. Kwantificering van de bijdrage op het bestaande tekort van het Markermeer voedselweb is relevant maar niet gelijk te beantwoorden. Systeemherstel van het Markermeer vraagt om duizenden hectares aan land-water overgangen.
- **Lokaal effect:** Lokaal mag van de toepassing van organisch materiaal wel zeker een positief effect verwacht worden. Het effect zal sterk lokaal en kleinschalig zijn, tot enkele tientallen meters rondom. Op de korte termijn kan vooral het fysieke substraat van de balen kolonisatie door biofilm, macrofauna en kleine vis bieden zoals dood hout of vissenbos. Op de middellange termijn, als het materiaal afbreekt en organisch koolstof vrijkomt, kan dit de heterotrofe voedselketen voeden van bacteriën en detritivoren, waaronder bodemfauna die als voedsel dient voor vis en vogels. De eventuele lokale verrijking van zoöplankton/bacterioplankton rond de balen kan ook vislarven aantrekken, daarmee ook een versterking van de benthische keten (pers. communicatie, H. van der Geest).
- **Win-win voor ecologie én beheer:** In de huidige praktijk wordt maaisel uit voorlanden vaak tegen hoge kosten afgevoerd. Door dit materiaal ter plekke in het systeem te brengen, worden nutriënten en organisch koolstof behouden voor het Markermeer en vervallen de afvoerkosten. Daarmee lijkt, ondanks de grotere initiële investering, deze toepassing ook nog goedkoper.
- **Praktijkervaringen:** Het actief inbrengen van organische stof om het voedselweb van onderaf te stimuleren is innovatief. Er zijn in meren geen voorbeelden van. Wel zijn er praktijkervaringen gericht op structuur als vishabitat. Daarnaast op de ontwikkeling van natuurvriendelijke oevers en drijvende natuur.



- **Meest kansrijke concept:** Het toepassen van balen en bundels (en bijvoorbeeld in jute) in luwe zones lijkt de meest veelbelovende oplossing. Dit concept sluit goed aan bij de jaarlijkse beheeropgave en biedt tevens een fysieke structuur voor vis en macrofauna. De geraamde kosten zijn vergelijkbaar met de op dit moment begrote kosten voor beheer.
- **Haalbaarheid op locatie De Nes:** Uit de uitwerking voor De Nes blijkt dat er jaarlijks ca. 60 balen (riet en gras) vrijkomen. Om deze volumes te verwerken en rekening te houden met de afbraaksnelheid (tot 3-5 jaar voor riet), is een toepassingsconstructie met een lengte tot 350 meter nodig. Voor de meest effectieve toepassing is het streven naar een goede balans tussen het vrijkomen van organische reststromen en de afbraak in het aquatisch ecosysteem.
- **Randvoorwaarden voor succes:** De effectiviteit hangt enigszins af van de balans tussen luwte en doorstroming. Te veel luwte kan leiden tot lokale zuurstofloosheid en ophoping van toxische stoffen, terwijl te veel dynamiek het materiaal te snel verspreidt voordat het kan worden afgebroken. Risico's door te veel luwte lijken wel beperkt, ook qua schaal.
- **Kennishiaten:** Omdat het innovatieve oplossing betreft, is één en ander onduidelijk. Een pilot langs de Markermeerkust lijkt daarom zinvol. In deze studie en in de gesprekken met experts en terreinbeherende organisaties is veel draagvlak voor de theorie en oplossingsrichtingen, net als voor een praktische uitvoering van een pilot. Uitvoering van een pilot binnen het PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust lijkt het meest voor de hand te liggen. De uitvoerbaarheid van een pilot of de toepassing binnen een project dient nog verder uitgewerkt te worden.

## 7.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten worden de volgende stappen aanbevolen voor de verdere ontwikkeling van het PAGW-project Noord-Hollandse Markermeerkust:

- **Start een pilotproject:** Toets de effectiviteit van het gecombineerde concept van een palenrij en in jute-verpakte balen in het veld. Langs de Markermeerkust zijn daarvoor locaties met geschikte omstandigheden: bestaande luwte én beschikbare reststromen.
- **Implementeer meerjarige monitoring:** Omdat het enkele jaren duurt voordat een complex voedselweb zich rond nieuwe structuren vestigt, is een langdurige monitoring essentieel. Focus hierbij op:
  - Afbraaksnelheden van toegepaste materialen inclusief het esthetische beeld en het ontstaan van overlast door bijvoorbeeld het aanspoelen van los materiaal.
  - Praktische uitvoerbaarheid over meerdere jaren inclusief financiële aspecten.
  - Waterkwaliteitsparameters die inzicht geven in mogelijke toename van de productiviteit van de luwtezone met de aangebrachte organische stof en die inzicht geven in risico's (zuurstoftekort, overmatige algenbloei).
  - Ontwikkeling van waterleven (van alg tot vis) en de functie opgroeihabitat voor vis.
  - Constructieve duurzaamheid toepassingsconstructie t.o.v. windopzet en golfaanval.
- **Zet in op kennisdeling en samenwerking:** Stem de pilots en monitoring af met andere locaties in het IJsselmeergebied, zoals de Mokkebank en de IJsselmeerdijk. Betrek hierbij kennisinstituten zoals WUR, UvA en Aeres Hogeschool voor de wetenschappelijke onderbouwing. Gebruik de PAGW-structuren om zoveel mogelijk kennis uit te wisselen.
- **Integreer reststroombenutting in het ontwerp:** Neem het benutten van organische reststromen ook al in de vroege fase van de planuitwerking mee voor de locaties Kinselbaai en Schardammer Kogen. Overweeg hierbij ook het achteroeverconcept, waarbij binnendijkse natuurgebieden via doorspoeling organische stof aan het Markermeer leveren.
- **Hanteer een adaptieve beheerstrategie:** Vanwege de onzekerheden rondom afbraakcondities en volumes moet het beheer 'cyclisch adaptief' zijn. Pas de hoeveelheid in



te brengen materiaal aan op basis van de werkelijke afbraak die in het veld wordt waargenomen. Verruim eventueel afstanden tussen balen voor balans luwte/doorstroming.

- **Houd rekening met wetgeving:** Voorkom dat maaisel langer dan zes weken in depot ligt, omdat het anders juridisch als afval wordt beschouwd in plaats van als grondstof, wat de toepassing in het water bemoeilijkt.



## Referenties

- Berg, M. van den, M. Platteeuw, A. Remmelzwaal, T. Garritsen, J. Postema, L. Tack, F. van Luijn, J. Schilder, & K. Kaffener (2023). Levenskansen van een hongerig Markermeer. Water, Verkeer en Leefomgeving, afdeling Waterkwaliteit en Natuurbeheer. Rijkswaterstaat.
- Czarnecka M. (2016). Coarse woody debris in temperate littoral zones: implications for biodiversity, food webs and lake management. *Hydrobiologia* (2016) 767:13–25
- Daatselaar, C., Hoogendam, K., Poppe, K. (2009). Economie van het veenrietweidebedrijf, Een quickscan voor West-Nederland. Wageningen Economic Research rapportnr. 09.2.218, Utrecht, september 2009.
- De Bruijne, W., S. Tukker, B. de Jong, M. Kroes, G. Hanon (2025). Ecologisch ontwerp Visverbindingen stilstaande wateren. Rapport in opdracht van Rijkswaterstaat (Programmatische Aanpak Grote Wateren - PAGW). OAK consultants en Kroes Consultancy.
- De Haan et al. (2019). Voedselweb en productiviteit van het Markermeer. Platform IJsselmeergebied.
- De Rijk S., M. Löffler (ed.)(2022). Syntheserapport KIMA. De eerste vijf jaar onderzoek op Marker Wadden. Natuurmonumenten.
- Enriquez S., C.M. Duarte, K. Sand-Jensen (1993). Patterns in decomposition rates among the importance of detritus C:N:P content. Review article. *Oecologia* (1993) 94:457-471.
- Geurts, J. J., Oehmke, C., Lambertini, C., Eller, F., Sorrell, B. K., Mandiola, S. R., ... & Fritz, C. (2020). Nutrient removal potential and biomass production by *Phragmites australis* and *Typha latifolia* on European rewetted peat and mineral soils. *Science of the Total Environment*, 747, 141102.
- Heins, R., I. van Leijenhorst, J. Lourens (2020). Ecologische Opgave land-waterovergangen voor een robuust IJsselmeergebied. Werkdocument Programma Aanpak Grote Wateren, Rijkswaterstaat Midden Nederland.
- Jones, I. D., & Smol, J. P. (Red.). (2024). *Wetzel's Limnology: Lake and River Ecosystems* (4th ed.). Academic Press.
- LVVN (2026). Natura 2000-gebied Markermeer & IJmeer – instandhoudingsdoelstellingen.
- Moore J.C., E.L. Berlow, D.C. Coleman, P.C. de Ruiter, Q. Dong, A. Hastings, N.C. Johnson, K.S. McCann, K. Melville, P.J. Morin, K. Nadelhoffer, A.D. Rosemond, D.M. Post, J.L. Sabo, K.M. Scow, M.J. Vanni, D.H. Wall. (2004). Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters*, (2004) 7: 584–600.
- Noordhuis (2014). Landschap. Waterkwaliteit en ecologische veranderingen Markermeer-IJmeer.
- Petersen, R.C. and Cummins, K.W. (1974). Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, 4: 343-368.
- RWS (2023) Afwegingen bij het plaatsen van Rivierhout. Versie 09-01-2023.
- STOWA Deltafacts Natte teelten – opgesteld door Wageningen Plant Research en Wageningen Environmental Research, aangepast door KWR Water Research Institute & Radboud University, Waterschap de Dommel en Louis Bolk Instituut (versie 8 december 2023)
- Tack, L. F. J., Vonk, J. A., van Riel et.al. , M. C., de Leeuw, J. J., Koopman, J., Maathuis, M. A. M., Schilder, K., van Hall, R. L., Huisman, J., & van der Geest, H. G. (2024). Food webs in isolation: The food-web structure of a freshwater reservoir with armoured shores in a former coastal bay area. *Science of the Total Environment*, 925, 171780

- Tijhuis, S., L.J.H. van Zwam, L.F.A. Mathu, J. Lindaart, drs. R. van Ek, J.F. Heinen, A.F. van der Meer (2025). Ontwerprapport PAGW Noord-Hollandse Markermeerkust. Witteveen+Bos referentie 137980/24-018.180.
- Van Bendegom, D., C.H.A. van Leeuwen, R.C.M. Verdonschot (2025). Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren; Verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen. **Deel IV: Pilotstudie koppeling van meer en moeras: isotopenanalyse van het voedselweb van de oever en het water van het Ketelmeer**. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3426.
- Van der Meer, A.F., Tijhuis, S., van der Zijden, N.C. (2025). MIRT Verkenning PAGW Noord-Hollandse Markermeerkust. Verkenningsrapportage.
- Van der Wal M., H. Coops (2015). Veldexperiment afzinken rietoevers. Resultaten van de monitoring in 2012-2014. Deltares 1205683-000-VEB-0051.
- Van Geest, G., G. Geerling, M. de Vries (2010). Pilot Drijvend Rietmoeras NMII. Deltares
- Van Leeuwen, C. H. A., van der Geest, H. G., Bom, J., de Leeuw, J. J., Tack, L. F. J., van Beilen, G. H., & Vonk, J. A. (2026). Recoupling terrestrial, benthic and pelagic habitats by constructing littoral zones diversifies carbon flows to aquatic macroinvertebrates. Basic and Applied Ecology.
- Van Leeuwen, C.H.A., J. van der Gref, D. van Bendegom (2024). Verbrede blik op het voedselweb en het ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren; Verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen. **Deel III: Koppeling van meer en moeras: systeemanalyse van de stofstromen vanuit de binnendijkse moerassen in Flevoland naar het Markermeer**. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3366.
- Van Riel, M.C., R.C.M. Verdonschot, en P.F.M. Verdonschot (2021). Systeemanalyse van het IJsselmeergebied; Verkenning van de water- en stoffenstromen in het IJsselmeergebied voor de toepassing in een systeemanalyse. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen 32 pp.
- Verdonschot, R.C.M. (2024). Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren; Verkenning van de rol die het achterland speelt voor het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen. **Deel II: Pilotstudie kwantificering stofafgifte organische bronnen IJsselmeergebied**. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3324.
- Verdonschot, R.C.M., J. de Vries, G.H. Van der Lee, A. Bakker, A.M. Van Noord, P.F.M. Verdonschot (2022). Verbrede blik op het voedselweb en ecologisch functioneren van de Nederlandse grote wateren; Verkenning van de rol die het achterland speelt bij het ecologisch functioneren van het IJsselmeergebied aan de hand van stofstromen. **Deel I: Theoretisch kader en casestudie IJssel-Vechtdelta**. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3214.
- Westendorp, P.J., E. Remke, J. de Fouw & R. Noordhuis (2020). Onderbouwing ecologische maatregelen IJsselmeergebied – Het areaal land-waterovergangen - Literatuurstudie. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer: RP-19.072.20.18.





## Geraadpleegde experts

### **Aanwezig op expertsessie van 21 april 2026**

Joost Lankester – RVO/PAGW

Sjoerd Luiten – SBB/PAGW

Marlon Dijkshoorn – RWS/PAGW

Edwin Verdonschot – RWS/PAGW

Barend de Jong – OAK consultants

Gwenaël Hanon – OAK consultants

Koen Kaffener – OAK consultants

Hugo Coops – Scirpus Ecologisch Advies

Matthew Sprangers – Staatsbosbeheer

Eise Harkema – Staatsbosbeheer

Germ van der Burg – It Fryske Gea

Mark Hilboezen – It Fryske Gea

Ymke Winkel – Rijkswaterstaat (district)

Nico Korporaal – Rijkswaterstaat (district)

Daan van Bendegom – Wageningen Environmental Research (+ meegelezen op conceptrapport)

Ate Groenendijk – Waterschap Zuiderzeeland

### **Separaat geraadpleegd**

Marcel van den Berg – RWS-WVL / Aeres Hogeschool (4 mei 2026, telefonisch)

Harm van der Geest – UvA Benthic Ecology Lab (30 juni 2026, per mail)

# Colofon

## Benutten organische (rest)stromen uit vegetatiebeheer

**Datum:** 7 juli 2026

**Status:** Definitief

**Auteurs:** Gwenaël Hanon,  
Barend de Jong,  
Koen Kaffener



IMPACT ON · WATER · NATURE · PARKS

