



RWS INFORMATIE

Ontwerp onderwaterlandschap

Handreiking voor het ontwerpen van een ecologisch optimaal, morfologisch stabiel onderwaterlandschap/zandige oever

Datum	31 maart 2022
Versie	2.0
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door

Auteurs

H. Steetzel, E. Penning, R. Noordhuis, R. McCall, R. van Santen

Informatie

Telefoon

E-mail

Datum

31 maart 2022

Versie

2.0

Status

definitief

Versiebeheer

0.1	26 oktober 2020	Eerste voorlopige versie (structuur)
0.2	7 mei 2021	Versie met conceptresultaat interviews/onderzoeksvragen
0.3	23 juli 2021	Conceptrapportage Fase 1 met Plan van Aanpak Fase 2
1.0	24 september 2021	Definitieve versie eindrapportage Fase 1
1.1	24 februari 2022	Werkversie eindrapportage
1.2	8 maart 2022	Concept eindrapportage
1.3	15 maart 2022	Concept eindrapportage met separate bijlage/handreiking
2.0	31 maart 2022	Eindrapportage definitief

Inhoud

	Samenvatting	6
1	Inleiding en achtergronden	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Overzicht werkzaamheden	8
1.3	Leeswijzer	8
1.4	Totstandkoming	9
2	Gevolgte aanpak per fase	10
2.1	Aanpak Fase 1	10
2.1.1	Inleiding	10
2.1.2	Aanscherping onderzoeksvragen	10
2.1.3	Inventarisatie beschikbare data	11
2.1.4	Samenbrengen onderzoeksvragen en data	11
2.1.5	Opstelling adviesrapport inclusief onderzoeksplan Fase 2	11
2.2	Aanpak Fase 2	12
2.2.1	Inleiding	12
2.2.2	Nadere uitwerkingen	12
2.2.3	Vervoluitwerkingen	12
2.2.4	Presentatie concept generieke ontwerpprincipes en eindrapportage	12
3	Gehanteerde definities en criteria	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Wat is stabiel?	13
3.2.1	Algemene overwegingen	13
3.2.2	Nadere duiding: gewenste situatie	14
3.2.3	Beschouwde zone en afbakening	14
3.2.4	Afmeting (in langs- en dwarsrichting)	14
3.2.5	Toelaatbare variatie	14
3.3	Wat is robuust?	15
3.3.1	Algemene overwegingen	15
3.3.2	Nadere duiding - Uiterste grenzen aan variatie	15
3.4	Ondersteunende maatregelen (luwtedammen)	15
4	Aanscherping onderzoeksvragen via interviews	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Werkwijze en kaderschetsing	16
4.3	Resultaten	17
4.3.1	Inleiding	17
4.3.2	Planfase	17
4.3.3	Ontwerpfase	18
4.3.4	Implementatie/uitvoeringsfase	19
4.3.5	Beheer- en onderhoudsfase	19
5	Overzicht beschikbare data	20
5.1	Inleiding	20
5.2	Overzicht cases	20
6	Onderzoeksplan voor Fase 2	21
6.1	Inleiding	21

6.2	Uitwerking	21
6.2.1	Ontwikkeling stappenplan	21
6.2.2	Restvragen	21
6.2.3	Gebruik van cases	21
6.3	Plan van Aanpak	21
7	Uitwerking stappenplan	22
7.1	Inleiding	22
7.1.1	Algemeen	22
7.1.2	Nadere uitwerking per projectfase	22
7.1.3	Startpunt voorliggende uitwerkingen	22
7.2	Planfase	23
7.2.1	Inleiding	23
7.2.2	Verzamelen benodigde data	23
7.2.3	Identificatie omslagpunten	28
7.2.4	Inzet mogelijke mitigerende maatregelen	29
7.2.5	Eindresultaat ten behoeve van consultatie stakeholders	30
7.2.6	Bijkomende technische overwegingen	30
7.2.7	Slotopmerkingen	30
7.3	Ontwerpfase	31
7.3.1	Inleiding	31
7.3.2	Opstelling van schetsontwerpen	33
7.3.3	Uitwerking resulterende ontwerpen	33
7.3.4	Kwantificering	33
7.3.5	Optimalisatie	37
7.3.6	Eindresultaat: voorkeursalternatief	38
7.3.7	Slotopmerkingen: inzet rekenmodellen	38
7.4	Implementatiefase	38
7.4.1	Inleiding	38
7.4.2	Waar rekening mee te houden?	40
7.4.3	Ondersteunende mitigerende maatregelen	41
7.4.4	Ondersteunende monitoring	41
7.4.5	Resultaat: implementatie voorkeursalternatief	43
7.5	Overgangsbeheer en onderhoudsfase	44
7.5.1	Inleiding	44
7.5.2	Criteria als aanleiding voor beheersmaatregelen	44
7.5.3	Eindresultaat: Evaluatie als aanleiding tot ingrepen	46
7.5.4	Voorbeelden van type werkzaamheden	46
7.6	Langjarig beheer en onderhoud	46
7.6.1	Inleiding	46
7.6.2	Beheerder, criteria en financiering	46
7.6.3	Verschillende typen onderhoud	46
7.6.4	Monitoring op criteria en grenswaarden	48
7.6.5	Aanvullende overwegingen	50
8	Conclusies en aanbevelingen	51
8.1	Conclusies	51
8.2	Aanbevelingen	51
	Referenties	52

Bijlagen	53
Bijlage 1 – Handreiking onderwaterlandschappen	54
1 Achtergrond en totstandkoming	54
2 Fase 1 - Planfase	56
2.1 Stappenplan	56
2.2 Aandachtspunten binnen de planfase	58
3 Fase 2 - Ontwerpfase	64
3.1 Stappenplan	64
3.2 Aandachtspunten binnen de ontwerpfase	67
4 Fase 3 - Implementatiefase	72
4.1 Stappenplan	72
5 Fase 4 - Overgangsbeheer en onderhoudsfase	78
5.1 Stappenplan	78
5.2 Aandachtspunten binnen overgangsbeheer en onderhoudsfase	78
6 Fase 5 - Langjarig beheer en onderhoudsfase	80
6.1 Stappenplan	80
6.2 Aandachtspunten binnen langjarig beheer en onderhoud	82
7 Referenties	84

Samenvatting

In het kader van de PAGW (Programmatische Aanpak Grote Wateren) worden in de komende jaren meerdere grootschalige natuurontwikkelingsprojecten uitgevoerd in de grote wateren. In een aantal gevallen gaat het om het creëren van onderwaterlandschappen/zandige oevers ter verbetering van het ecosysteem. De in de voorliggende studie te beantwoorden vraag richt zich op de ontwerpprincipes voor een stabiel morfologisch onderwaterlandschap welke de gewenste resultaten oplevert voor het ecosysteem.

Het onderzoek bestaat uit twee opeenvolgende projectfasen. De eerste fase omvat drie onderdelen waarbij de eerste is gericht op het scherper krijgen en waar nodig aanvullen van de bij RWS bestaande onderzoeksvragen om een ecologisch functioneel en morfologisch robuust onderwaterlandschap te ontwerpen, te realiseren en (dynamisch) te (be)houden.

Daartoe is een inventarisatie uitgevoerd van de beschikbare monitorings- en onderzoeksdata in zowel uitgevoerde of lopende projecten, openbare data en data uit literatuur waarmee deze vragen mogelijk beantwoord zouden kunnen worden. Op basis hiervan is een set van onderzoeksvragen en een onderzoeksplan opgesteld die met de bestaande data beantwoord kunnen gaan worden in de tweede fase van het onderzoek.

Deze tweede fase betreft het vervolgens uitvoeren van een analyse van de gegevens en het opstellen van een rapportage daarvan waarmee de in eerste fase geselecteerde onderzoeksvragen beantwoord kunnen worden.

Het doel van de opdracht is om beschikbare monitoringsdata van natuurprojecten in het IJsselmeergebied bij elkaar te brengen en te analyseren, om daarmee ontwerpprincipes voor een duurzaam ecologisch functionerend onderwaterlandschap op te stellen.

Deze activiteiten vinden plaats binnen een door Rijkswaterstaat aan het samenwerkingsverband van EcoShape, Deltares en Arcadis gegunde opdracht tot formuleren van ontwerpprincipes voor een duurzaam ecologisch functionerend onderwaterlandschap.

Resultaat van deze opdracht is een zogenaamde 'Handreiking onderwaterlandschappen' waarin per ontwikkelingsfase de te doorlopen stappen zijn beschreven, dit inclusief de daarbij te hanteren uitgangspunten en criteria. Dit document is zowel als onderdeel van de voorliggende rapportage als bijlage ook separaat beschikbaar.

1 Inleiding en achtergronden

1.1 Aanleiding

In het kader van de PAGW (Programmatische Aanpak Grote Wateren) worden in de komende jaren meerdere grootschalige natuurontwikkelingsprojecten uitgevoerd in de grote wateren. In een aantal gevallen gaat het om het creëren van onderwaterlandschappen/zandige oevers ter verbetering van het ecosysteem. Aandachtspunten daarbij zijn het herstel van ecologische processen (zoals energie en nutriënten kringlopen, sedimentatie/erosie, vegetatiesuccessie, waterpeildynamiek) en functies (energieleverancier, paai-, foerageer-, opgroei-, rustgebied, substraat voor vestiging).

Hoe een dergelijk onderwaterlandschap er nu precies uit moet zien zodat het daadwerkelijk een bijdrage gaat leveren aan de processen en functies van de ecosystemen van de grote wateren is vanuit ecologisch perspectief wel bekend. Vanuit doelsoorten kunnen specifieke eisen worden opgesteld die vervolgens tot een ontwerp kunnen leiden. Het gaat dan bijvoorbeeld om geschikt substraat voor mosselen en de juiste diepte zodat het beschikbaar voedsel wordt voor duikeenden. Of het aanleggen van geschikte locaties voor waterplanten, waar niet alleen substraat en diepte een rol spelen maar ook doorzicht en luwte. Vanuit ecosystemen geredeneerd kan worden aangegeven dat het vooral gaat om het aanleggen van gradiënten in diepte, substraat, voedselrijkdom, dynamiek, en het creëren van mogelijkheden en ruimte voor natuurlijke processen zoals energie/nutriënten-kringlopen (voedselweb), sedimentatie en erosie, waterpeildynamiek, die dan samen zorgen voor een grotere diversiteit in ecotopen en daarmee voor een grotere biodiversiteit en robuuster ecosysteem zorgen.

Echter, hoe deze onderwaterlandschappen/zandige oevers het beste ontworpen en aangelegd kunnen worden in grote meren zoals in het IJsselmeergebied of afgesloten zeearmen zoals in de zuidwestelijke delta, is veel minder duidelijk. De ecologische eisen en randvoorwaarden geven weliswaar aan wat je nodig hebt aan onderwaterlandschap, maar het geeft niet aan hoe je dat landschap daar zich dan ook morfologisch gedraagt gegeven de aanwezige natuurlijke dynamiek in het systeem. Men kan bijvoorbeeld een zandlichaam onder water aanleggen voor bepaalde soorten. Echter, als gevolg van winddynamiek en stroming is de kans dat het ook op de langere termijn, als er meer erosie dan sedimentatie optreedt, zijn oorspronkelijke functie blijft behouden gering. Het zandlichaam helemaal inpakken in stortsteen is ook weer niet de bedoeling want dan verliest het ook zijn ecologische functie.

De hoofdvraag van de thans voorliggende opdracht is dan ook:

"Hoe ontwerp je een stabiel morfologisch onderwaterlandschap/zandige oevers zodat het de gewenste resultaten oplevert voor het ecosysteem?"

Hierbij moet rekening worden gehouden met de hydro-morfologische processen die in het systeem aanwezig zijn, zodat het onderwaterlandschap ook op de langere termijn zijn functie blijft behouden. Een bijkomende vraag, die net zo belangrijk is, is wat er gebeurt op de locaties waar grond of zand wordt weggehaald ten behoeve van de aanleg van een onderwaterlandschap elders. Veranderingen in de morfologie op die win-locaties kan leiden tot veranderingen in morfologische processen die weer van invloed kunnen zijn op de ecologie van het systeem op de win-locatie, of zelfs op de duurzaamheid van de nieuw aan te leggen onderwaterlandschappen als het effect van de win-locatie tot het nieuw in te richten gebied.

1.2 Overzicht werkzaamheden

De in het kader van deze opdracht gedefinieerde werkzaamheden beslaan twee opeenvolgende projectfasen, te weten Fase 1 en Fase 2 (Rijkswaterstaat/MinIenW, 2020).

Fase 1 omvat drie onderdelen:

1. Het scherper krijgen en waar nodig aanvullen van de bij RWS bestaande onderzoeksvragen om een ecologisch functioneel en morfologisch robuust onderwaterlandschap te ontwerpen, te realiseren en (dynamisch) te (be)houden;
2. Het inventariseren van beschikbare monitorings- en onderzoek data in uitgevoerde of lopende projecten, openbare data (o.a. KNMI) en data uit literatuur waarmee deze vragen beantwoord kunnen worden;
3. Het opstellen van een set van onderzoeksvragen en onderzoeksplan die met de bestaande data beantwoord kunnen gaan worden in Fase 2.

Fase 2 betreft vervolgens het uitvoeren van een analyse van de meetgegevens en het opstellen van een rapportage daarvan waarmee de in Fase 1 geselecteerde onderzoeksvragen beantwoord kunnen worden.

1.3 Leeswijzer

De voor deze studie gevolgde aanpak is voor wat betreft Fase 1 in meer detail beschreven in Hoofdstuk 2 van deze rapportage. De hierin beschreven aanpak voor Fase 2 is, passend bij de huidige fase van het project (en de daarmee samenhangende versie van de rapportage) nog op hoofdlijnen.

De volgende vier hoofdstukken (2 tot en met 6) beschrijven de resultaten van de werkzaamheden die vallen onder Fase 1 van het project.

Teneinde een helder beeld te krijgen van de in dit kader te gebruiken definities zijn in Hoofdstuk 3 de voor de relevante begrippen gehanteerde definities vastgelegd en is ook aangegeven op welke wijze de mogelijke ontwerpprincipes in onderlinge samenhang worden afgewogen. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van de resultaten van de gezamenlijke kick-off van dit project.

In Hoofdstuk 4 zijn de op basis van de in het kader van stap 1.1 uitgevoerde interviews met ingewonnen onderzoeksvragen en te behandelen onderwerpen beschreven. In dit hoofdstuk is ook beschreven op welke wijze de interviews zijn afgenomen en hoe de resultaten daarvan op een gestructureerde wijze zijn verwerkt. De relevante data (conform stap 1.2) is samengebracht in Hoofdstuk 5.

Op basis van de in de vorige drie hoofdstukken opgenomen informatie is vervolgens een in Hoofdstuk 6 opgenomen onderzoeksplan voor Fase 2 beschreven. Dit laatste onderzoeksplan vormt de opstap naar de hierop volgende drie hoofdstukken van deze rapportage welke daarmee de resultaten van Fase 2 .

In Hoofdstuk 7 is een overzicht opgenomen van de ten behoeve van Fase 2 uitgevoerde vervolgitwerkingen.

Uiteindelijk leidt dit tot de in Bijlage 1 opgenomen 'Handreiking onderwaterlandschap', zijnde het eindresultaat van deze studie. Dit document is in de definitieve eindversie ook los van het voorliggende achtergrondrapport beschikbaar gemaakt.

De voornaamste conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in Hoofdstuk 8 van deze rapportage.

1.4 Totstandkoming

Deze activiteiten vinden plaats binnen een door Rijkswaterstaat aan het samenwerkingsverband van EcoShape, Deltares en Arcadis gegunde opdracht tot formuleren van ontwerpprincipes voor een duurzaam ecologisch functionerend onderwaterlandschap. Van de zijde van de opdrachtgever trad dhr. P. Cornelissen op als projectleider. De begeleidingsgroep bestond uit afgevaardigden vanuit Rijkswaterstaat en RVO. Vanuit de opdrachtnemer waren dat dhr. H. Steetzel (Arcadis) en mevr. E. Penning (Deltares).

Tijdens de totstandkoming van deze rapportage is er meermalen contact geweest met de door de opdrachtgever ingestelde begeleidingsgroep. Naast een startbijeenkomst zijn ook de conceptresultaten van de interviews met de grote groep besproken. De reactie op de conceptrapportage van Fase 1 is in overleg met de opdrachtgever per email ingewonnen. Ten behoeve van Fase 2 is een stappenplan opgesteld dat uiteindelijk heeft geresulteerd in een 'Handreiking onderwaterlandschappen' waarin per ontwikkelingsfase de in Fase 1 verzamelde onderzoeksvragen een plaats krijgen. Deze handreiking is als Bijlage 1 opgenomen in de voorliggende rapportage, maar is in de definitieve versie van de rapportage ook als separaat, los document beschikbaar gemaakt.

2 Gevolgde aanpak per fase

2.1 Aanpak Fase 1

2.1.1 Inleiding

Fase 1 omvatte drie onderdelen, te weten:

- 1.1 Het scherper krijgen en waar nodig aanvullen van de bij RWS bestaande onderzoeksvragen om een ecologisch functioneel en morfologisch robuust onderwaterlandschap te ontwerpen, te realiseren en (dynamisch) te (be)houden;
- 1.2 Het inventariseren van beschikbare monitorings- en onderzoek data in uitgevoerde of lopende projecten, openbare data (o.a. KNMI) en data uit literatuur waarmee de vragen beantwoord kunnen worden;
- 1.3 Het opstellen van een set van onderzoeksvragen en uiteindelijk een onderzoeksplan die met de bestaande data beantwoord kunnen gaan worden in Fase 2 van het onderzoek.

2.1.2 Aanscherping onderzoeksvragen

Deze stap is gericht op het aanscherpen van de onderzoeksvragen en het uitwerken van de hoofdvraag in deelvragen.

Daarbij zijn de volgende deelactiviteiten uitgevoerd:

- Het via interviews inventariseren bij werknemers van Rijkswaterstaat die betrokken zijn bij PAGW projecten en bij werknemers van de EcoShape partners naar de specifieke vragen/kennisbehoefte met betrekking tot dit onderwerp om zo de onderzoeksvragen scherper te maken en een beter beeld te krijgen van de onderwerpen die uitgewerkt moeten gaan worden;
- Het interviewen van beheerders die te maken hebben/hebben gehad met de aanleg of het beheer van zandige oevers / onderwaterlandschappen om hun ervaringen en bevindingen te inventariseren;
- Het inventariseren en analyseren van literatuur (rapporten) waarin beschrijvingen van reeds uitgevoerde aanleg van morfologische onderwaterlandschappen staan of waarin evaluaties zijn uitgevoerd van (natuurontwikkeling)projecten waar bestaande onderwaterlandschappen/morfologie onderdeel van zijn.

Resultaat van bovenstaande activiteiten is het opstellen van de totale set van onderzoeksvragen die nodig is om de kennisbehoefte te vullen.

Het resultaat van deze activiteit is opgenomen in Hoofdstuk 4 van deze rapportage.

In dit verband zijn overigens ook de definities van belang. Hoe verhoudt zich bijvoorbeeld een 'stabiele' referentie is ten opzichte van iets nieuws aanleggen en waar vinden we nu al waardevol aan te duiden onderwaterlandschappen?

Een ander aspect betreft de samenhang tussen verschillende projecten. Heeft robuustheid betrekking op een individueel project of ook op een combinatie van meerdere projecten en is er sprake van onderlinge beïnvloeding?

Deze definities komen terug in Hoofdstuk 3 van deze rapportage.

2.1.3 *Inventarisatie beschikbare data*

De tweede stap is gericht op het gestructureerd inventariseren van de beschikbare data. Dit betreft het inventariseren van monitorings- en onderzoeksdata van reeds uitgevoerde of nog lopende projecten waar onderwaterlandschappen (dit betreft ook de onderwaterdelen van land-water overgangen) zijn aangelegd. Voorbeelden daarvan zijn de reeds in de vraagspecificatie genoemde Kreupel, Hoeckelingsdam, eilanden Ketelmeer en Randmeren, de Marker Wadden, Versterking Houtribdijk, Versterking Markermeerdijken en de Pilot vooroeverversteking Houtribdijk. Verder kan nog gedacht worden aan de randen van Ierst en de verkenningen die nu lopen bij de Wieringerhoek en de Vismigratierivier (inclusief het bijbehorende natuurcompensatieproject).

Dit levert inzicht in de bruikbaarheid van deze gegevens, wie de gegevens heeft, wie het eigenaarschap heeft en of deze data gedeeld kunnen worden bij een analyse.

In dit verband is het ook interessant om de vooraf uitgesproken of gemodelleerde verwachtingen over de fysische kant van een inrichtingsprojecten te vergelijken met de werkelijke gang van zaken. Vraag daarbij is immers of een aanwezig verschil achteraf kan worden begrepen. Dat kan een beeld geven van hoe goed we de ontwikkelingen nu met het bestaande/beschikbare instrumentarium kunnen voorspellen. In aanvulling op de data zou dan ook het gebruikte instrumentarium in de tabel een plaats moeten krijgen.

Het resultaat van deze activiteit is opgenomen in Hoofdstuk 5 van deze rapportage.

2.1.4 *Samenbrengen onderzoeksvragen en data*

Deze stap behelst het, binnen de mogelijkheden die de beschikbare data levert, samenbrengen van de onderzoeksvragen (uit stap 1.1) en data (uit stap 1.2).

In meer detail zijn hierbij de volgende sub-stappen voorzien:

- Het analyseren welke vragen met de bestaande monitorings- en onderzoeksdata, of ervaringen van ontwerpers, uitvoerders en beheerders beantwoord kunnen worden;
- Het opstellen van de lijst met vragen die op basis van een analyse van bestaande data beantwoord kunnen worden en een lijst met vragen die dat niet kunnen en via aanvullende monitoring/onderzoek opgepakt moeten gaan worden;
- Het bespreken van de concept vragenlijst met opdrachtgever om tot een definitieve vragenlijst te komen, dit met een toelichting op de vraag en een aanbeveling voor de wijze van beantwoording van de vraag.

2.1.5 *Opstelling adviesrapport inclusief onderzoeksplan Fase 2*

Na afronding van deze sub-stappen zullen bovenstaande onderdelen worden samengebracht in een separaat hoofdstuk van het rapport dat als onderzoeksplan voor Fase 2 kan worden gebruikt. Dit onderzoeksplan voorziet zowel in een aantal scherp geformuleerde onderzoeksvragen als een concrete randvoorwaarden. Doel is daarbij om dit, gegeven de tijdens Fase 1 beschikbaar gekomen informatie en het voor Fase 2 beschikbare budget, te laten resulteren in een succesvolle afronding van Fase 2.

Het resultaat van zowel stap 1.3 en 1.4 is opgenomen in Hoofdstuk 6 van deze rapportage waarin het onderzoeksplan voor Fase 2 is beschreven.

2.2 Aanpak Fase 2

2.2.1 Inleiding

Doel van Fase 2 was om op basis van de vragen die beantwoord kunnen worden met de aanwezige, relevant geachte data, te komen tot ontwerpprincipes voor de aanleg van zandige oevers en/of onderwaterlandschappen. Het onderzoeksplan voor Fase 2 beschrijft daarbij ook de samenhang met andere onderzoeksprojecten in het IJsselmeergebied, zoals KIMA en OenM Houtribdijk (Deltares, 2022).

De aanscherping van de beoogde werkwijze voor Fase 2 was onderdeel van Fase 1 en had niet alleen betrekking op de nadere detaillering van de uitwerkingen, maar ook op de vormgeving van het eindresultaat.

2.2.2 Nadere uitwerkingen

Als eerste stap in deze uitwerking is, als vervolg op de reeds in Fase 1 uitgevoerde verkenning, voorgesteld om nu in meer detail een aantal logische criteria te specificeren waarmee het succes van een robuust systeem kan worden gedefinieerd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan de duur waarin de aangelegde situatie intact blijft, de mate waarin er juist sprake is van dynamiek en of de mate waarin de ecologische randvoorwaarden daadwerkelijk in het ontwerp worden gehaald. Ook andere insteken zijn mogelijk, bijvoorbeeld het gemak waarmee de aanleg kan worden gerealiseerd, de kosteneffectiviteit van zowel aanleg als beheer en onderhoud, het beschikbaar zijn van materialen en de impact tijdens aanleg op het wingebied en het nadien optredende herstel.

2.2.3 Vervolgitwerkingen

Mede op basis van de resultaten van divers overleg zijn er in deze fase nog een aantal vervolgitwerkingen worden uitgevoerd.

De data-analyse die hierbij wordt uitgevoerd maakt gebruik van de definitieve evaluatiecriteria uit stap 1 om verschillende projecten op een zo eenduidig mogelijke wijze te vergelijken en te evalueren op hun robuustheid en functioneren, zowel tijdens ontwerp, aanleg en langere termijn ontwikkeling in het veld (zo veel mogelijk kwantitatief). Ook wordt er een inventarisatie gemaakt van de ontwerpprincipes die (mogelijkerwijs) zijn gedefinieerd per individuele case. Vragen die daarbij spelen zijn of er specifieke ecologische randvoorwaarden aan ten grondslag lagen (en zo ja welke) en of deze randvoorwaarden zijn gehaald.

Het resultaat hiervan zal worden gebruikt als finale input voor de volgende twee afrondende stappen.

2.2.4 Presentatie concept generieke ontwerpprincipes en eindrapportage

Feitelijk is dit het eindresultaat van de studie, welke bestaat uit een eindrapport met daarin de volgende onderdelen:

- Inleiding met daarin de aanleiding, het probleem, het doel en de specifieke onderzochte onderzoeksvragen;
- Lijst van evaluatiecriteria en ontwerpprincipes;
- Resultaten en discussie;
- Conclusies en antwoord op zowel de hoofdvraag "Hoe ontwerp je een stabiel morfologisch onderwaterlandschap/zandige oevers zodat het de gewenste resultaten oplevert voor het ecosysteem?" als de geselecteerde onderzoeksvragen;
- Aanbevelingen met betrekking tot de nog niet beantwoorde vragen.

Het voorliggende rapport beschrijft dus ook de totstandkoming van het eindresultaat. Het feitelijke eindresultaat wordt gevormd door een separaat document 'Handreiking onderwaterlandschappen' dat in het voorliggende rapport is opgenomen als Bijlage 1.

3 Gehanteerde definities en criteria

3.1 Inleiding

Bij de eerste projectdefinitie zijn verschillende definities en uitgangspunten gehanteerd (Rijkswaterstaat/MinIenW, 2020). Deze blijken echter nog niet eenduidig te zijn gedefinieerd en kunnen dan ook op een verschillende wijze worden geïnterpreteerd.

Als voorbeeld zijn te noemen de begrippen stabiel en robuust, maar dat geldt eigenlijk ook de definitie van het begrip onderwaterlandschap zelf.

In het volgende zijn deze verschillende begrippen van een meer specifieke duiding voorzien. Hiervoor is onder ander gebruik gemaakt van de resultaten van het aan het begin van dit project gehouden startoverleg.

3.2 Wat is stabiel?

3.2.1

Algemene overwegingen

De kernvraag richt zich op het ontwerp van een *stabiel* onderwaterlandschap.

In dit kader wordt, in nog algemene termen, onder *stabiel* verstaan dat hetgeen ontworpen is gedurende de tijd die daar voor is gepland blijft liggen zonder dat daarbij behoeft te worden ingegrepen.

In deze formulering zitten meerdere componenten, namelijk (i) 'het blijven liggen', (ii) de beschouwde termijn en (iii) het soort correctieve ingreep.

Het *blijven liggen* betekent niet dat er in de loop van de tijd geen (tussentijdse) veranderingen mogen optreden. Enige (seizoens)dynamiek is zelfs geen bezwaar mits er netto niet te veel aan de vorm wijzigt en daarmee de gewenste functionaliteit als onderwaterlandschap niet in gevaar komt. Deze dynamiek hangt samen met de natuurlijke processen en is iets waarmee dus expliciet rekening moet worden gehouden.

Ook moet het bij voorkeur zo zijn dat de het effect van bijvoorbeeld zware stormen niet leidt tot een ongewenste situatie met significant verlies aan functionaliteit.

Qua *termijn* gaat het om 10 tot mogelijk 20 jaar of nog langer, dus wel degelijk om een langere tijdspanne. Overigens is de termijn alleen van belang als er sprake is van een netto verandering waarbij er bijvoorbeeld een geleidelijke erosie (en dus ongewenste verdieping) aanwezig is. Hierdoor zal de gemiddelde diepte toenemen en wordt niet meer beantwoord aan de ondiepwatereis.

Aan het eind van deze termijn wordt dan niet meer voldaan aan de (initiële) doelstellingen en moet er een *ingreep* plaatsvinden, bijvoorbeeld door het uitvoeren van een grootschalige suppletie. Dit laatste in de veronderstelling dat het geheel aan netto erosie is onderhevig en zo niet meer beantwoord aan het basisontwerp.

Een andere conclusie zou dan overigens ook kunnen zijn dat het systeem een hele tijd goed heeft gefunctioneerd, maar dat daar een einde aan is gekomen (zonder in te grijpen dus).

Van belang is dat al tijdens het ontwerp moet worden nagedacht over de vraag wanneer een ondergrens ten aanzien van de functionaliteit bereikt is en dus een ingreep om het onderwaterlandschap te onderhouden nodig is, en hoe groot deze moet of mag zijn. Vooruitlopend daarop moet ook de vraag worden beantwoord of het sowieso nodig en wenselijk is. We kunnen de natuur uiteraard stimuleren, maar iets in stand houden wat van nature niet in stand kan blijven kan niet worden gezien als zinvol natuurherstel.

3.2.2 *Nadere duiding: gewenste situatie*

Samenvattend gaat het bij stabiliteit feitelijk om het al dan niet voldoen aan een bepaalde basiseis die bijvoorbeeld gerelateerd zou kunnen zijn aan een gewenste gemiddelde waterdiepte in een bepaald gebied. Het onderwaterlandschap mag niet te ondiep maar ook niet te diep gelegen zijn.

De gewenste optimale diepte volgt uit eisen die aan het ecologisch systeem worden gesteld. De feitelijke definitie van de precieze diepte-grenzen voor ecologie vallen buiten het kader van deze studie. Voor deze studie nemen we als vuistregel aan dat het belangrijkste deel van een onderwaterlandschap tussen de 0,5 en 2 m waterdiepte gesitueerd is vanuit ecologisch functioneren, omdat in die zone de meeste kans is op de vestiging van ondergedoken vegetatie en bijbehorende foerageer- en habitatmogelijkheden voor fauna.

Deze eis/wens komt dus voort uit de eisen aan ecologie/waterkwaliteit en leidt tot een vraag om een zekere morfologische vormgeving. Op het gebruik van een kwantitatieve maat voor het vastleggen van de gewenste situatie (morfologische vormgeving) wordt later nog uitgebreider teruggekomen en maakt ook deel uit van de te definiëren ontwerpprincipes.

3.2.3 *Beschouwde zone en afbakening*

Bij onderwaterlandschappen ligt de focus op de ondiepte aan de meerzijde van een oever- of dijklichaam. Het aanleggen van een ondiepte midden in het meer valt (door de ontbrekende connectie met een oever) buiten de scope van deze uitwerking. Binnendijkse plassen worden eveneens niet beschouwd ofschoon er wel vaak een logische connectie aanwezig is.

Ook worden wateren met een getijde-invloed buiten beschouwing gelaten, omdat getijdewerking een belangrijke sturende factor is in de dynamiek van ondiepe zones. De grote Nederlandse zoetwaterlichamen waar we ons in deze studie op focussen missen allen dit getij en worden gekenmerkt door een gereguleerd peilregime.

3.2.4 *Afmeting (in langs- en dwarsrichting)*

Aan deze definitie kan nog een ruimtelijke component worden toegevoegd, namelijk of deze definitie van de morfologische vormeis van toepassing is voor een specifiek dwarsprofiel van de droge oever naar diepere gronden of betrekking heeft op een bepaald vak langs de droge oever. In aanvulling op de eerste optie met twee begrenzingen (locatie met bepaalde waterdiepte aan meerzijde en de waterlijn aan landzijde), wordt in het tweede geval dus nog een afmeting van een vak langs de droge oever toegevoegd.

3.2.5 *Toelaatbare variatie*

Het gaat bij de definitie van ontwerpcriteria niet alleen om de ideale situatie (bijvoorbeeld gemiddelde waterdiepte) maar ook om de, vanuit een de ecologische functionaliteit en morfologische dynamiek beschouwde, toelaatbare variatie rond deze gemiddelde waarde.

Deze bandbreedte is van belang met het oog op de te verwachten en nog acceptabele, morfologische dynamiek als gevolg van lokaal aanwezige hydrodynamische forcering.

De feitelijke dynamiek hangt overigens ook samen met de beschouwde ruimtemaat. Op het niveau van een dwarsprofiel vallen veranderingen binnen het beschouwde deel van het dwarsprofiel (zonder dat er sprake is van een netto toe/afvoer van materiaal) buiten de eerdere definitie. De gemiddelde waterdiepte binnen het profieldeel wijzigt daarbij immers niet. Pas bij een netto toe/afvoer van materiaal is dit wel het geval.

Dit geldt ook voor een beschouwing op vakniveau. De interne dynamiek kan, in vergelijking tot de benadering op profielniveau, veel groter zijn. Ook hier is er pas een probleem als er sprake is van een structurele afvoer van materiaal.

Vraag is of een integrale parameter op dwarsprofiel- of vakniveau voldoet. Waarschijnlijk is het beter om het dwarsprofiel in te delen in verschillende

dieptezones. Een dergelijke indeling maakt ook onderdeel uit van de later te ontwikkelen ontwerpprincipes.

3.3 Wat is robuust?

3.3.1 Algemene overwegingen

In het verlengde van de definitie van de stabiliteit van een onderwaterlandschap is ook de term robuustheid van belang.

Onder robuustheid wordt in deze verstaan dat de eerder beschreven dynamisch stabiele situatie bestand is tegen specifieke (extremere) omstandigheden. Te denken valt daarbij aan een zwaardere storm of een ongunstiger variatie in de forcering onder invloed van een andere golfvalsrichting of stroming ten opzichte van de in het ontwerp beschouwde omstandigheden.

Een systeem is in deze zin robuust als een grotere veranderingen in de forcering dan beschouwd in het eigenlijke ontwerp geen groot effect hebben op het onderwaterlandschap-systeem. Ook moeten de effecten van de natuurlijke variabiliteit kunnen worden opgevangen zonder dat er direct hoeft te worden ingegrepen.

3.3.2 Nadere duiding - Uiterste grenzen aan variatie

Het mag duidelijk zijn dat er altijd sprake kan zijn van een zeer extreme gebeurtenis die het onderwaterlandschap-systeem onomkeerbaar verstoort en dus zal vragen om een herstellinggreep. Onderdeel van de definitie van het robuust zijn is dus ook het vastleggen van de kritische forcering tot waar een dergelijke ingreep niet nodig is. Dit komt dan ook verderop in deze rapportage terug.

3.4 Ondersteunende maatregelen (luwtedammen)

Soms wordt voor de instandhouding van een stabiele situatie en of voor het beperken van de dynamiek ook gebruik gemaakt van ondersteunende maatregelen in de vorm van (tijdelijke) harde constructies.

Deze kunstgreep wordt natuurlijk alleen toegepast als dat nodig is en moet waar mogelijk zelf ook een ecologisch doel dienen.

4 Aanscherping onderzoeksvragen via interviews

4.1 Inleiding

De generieke kwalitatief gedefinieerde algemene ontwerpcriteria uit Hoofdstuk 3 geven een eerste richtlijn voor een verdere uitwerking en kwantificering daarvan in Fase 2. Deze criteria worden in dit hoofdstuk aangevuld met een kader en criteria voortkomend uit de aangescherpte onderzoeksvragen die via interviews zijn verworven. Het kader betreft aspecten die uiterst relevant zijn voor de realisering van een stabiele en robuuste onderwater-oever, maar die buiten de verdere scope van Fase 2 vallen.

4.2 Werkwijze en kaderschetsing

Er zijn uiteindelijk in totaal 15 interviews gehouden met medewerkers van verschillende onderdelen van RWS, Staatsbosbeheer, NatuurMonumenten en aanvullende interviews met relevante EcoShape-betrokkenen, zowel vanuit de uitvoerende ontwerp- en aanlegpartners als kennispartners.

Uit deze interviews is een totaalijst met de belangrijkste opmerkingen en vragen gedestilleerd, samen met tips voor mogelijke cases om verder van te leren en databronnen die daarbij beschikbaar zijn. De totaalijst met vragen is vervolgens gerubriceerd en er is aangegeven of de vragen voldoende in scope van de hoofdvraag waren, en of deze binnen Fase 2 te beantwoorden zijn.

De 15 geïnterviewde personen vertegenwoordigen een grote diversiteit aan taken en verantwoordelijkheden zowel binnen RWS, als ook bij andere partijen zoals de natuurbeherende organisaties (SBB & NM), en uitvoerende ontwerp- en aanlegpartijen en kennispartners uit het EcoShape-consortium. Daarmee is tijdens de interviews een grote diversiteit aan kennisvragen opgehaald.

Deze kennisvragen zijn op te delen in verschillende typen vragen die tijdens verschillende fases van het proces aan de orde komen.

We onderscheiden vragen op het gebied van:

1. Techniek;
2. Proces en rol;
3. Omgeving;
4. Financiën en regelgeving.

Deze vragen komen gedurende de verschillende fases in de realisatie van een onderwaterlandschap aan de orde. De in eerste instantie beschouwde fases hebben betrekking op:

1. Planfase;
2. Ontwerpfase;
3. Implementatiefase;
4. Beheer- en onderhoudsfase.

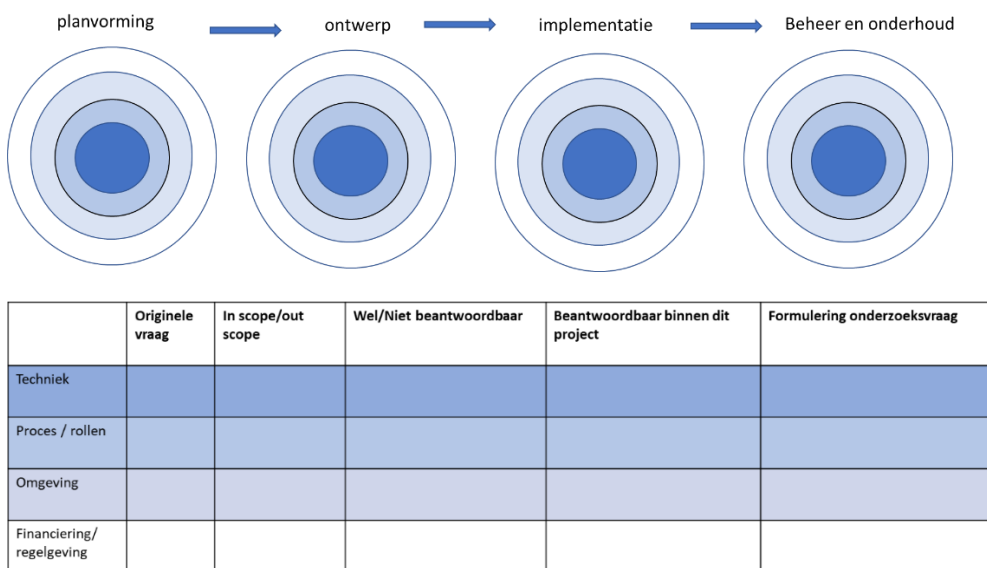
Tijdens de verdere uitwerkingen is ook de voorliggende verkenningfase aan de eerste fase toegevoegd. Dit is de fase waarin wordt beslist of een onderwaterlandschap nodig is, of dat er wellicht ook andere opties zijn.

Deze discussie valt buiten het kader van dit project. We gaan er vanuit dat er sowieso een noodzaak is een onderwaterlandschap te realiseren, en focussen op de vraag welke kennis er nodig is om dit op een verantwoorde wijze te kunnen doen. Onder implementatie valt ook de daadwerkelijke uitvoering van het werk.

Figuur 1 geeft een kaderschetsing van de indeling van de verschillende typen vragen voor de verschillende fases. De kern van de vragen draait om technische aspecten

rondom de realisatie van robuuste onderwaterlandschappen. Deze zijn aangegeven met de donkerblauwe binnenste cirkel van het figuur. De andere typen vragen aangaande proces, omgeving en financiering liggen als drie schillen om deze kernvraag heen en vormen het kader waarbinnen de technische kernvragen ingebed zijn. Deze vragen verschillen per ontwikkelingsfase. Er zijn dus ook vragen en opmerkingen die binnen dit bredere kader vallen, maar die mogelijk niet direct leiden tot ontwerpprincipes of criteria. In dat geval zijn deze wel benoemd, maar worden deze niet als uitwerkbaar binnen dit project geacht.

Voor elk van de fases zijn vervolgens de opgehaalde vragen gerubriceerd, en is vervolgens bekeken of de vragen binnen de scope van de hoofdvraag vallen, en of ze wel of niet beantwoordbaar zijn. De vragen die in scope en beantwoordbaar zijn, zijn daarna nog verder gespecificeerd: is het haalbaar de vraag binnen dit project te beantwoorden, en hoe (her)-formuleren we de vraag naar een geschikte onderzoeksvraag voor Fase 2.



Figuur 1 Overzicht van classificering van verzamelde vragen per fase en per type vraag.

4.3 Resultaten

4.3.1 Inleiding

De detail-resultaten van de interviews zijn weergegeven in een Excel-file, waarin per tabblad de verzamelde vragen per fase zijn gerubriceerd volgens de indeling van de tabel in Figuur 1.

In de volgende paragrafen is per fase een algemene beschouwing van de ingewonnen resultaten gegeven. Ook zijn de voornaamste vragen benoemd.

4.3.2 Planfase

Uit de interviews kwamen een aantal algemene constatering en stellingnamen naar voren met betrekking tot het proces, de rollen en de rol van de omgeving en financiering en regelgeving in de planfase. Logische punten zoals de opmerking dat 'alle betrokken stakeholders (incl. de latere beheerders, de financiers, toetsers, aanleggers etc.) al vanaf het begin goed moeten zijn aangesloten' lijken open deuren, maar in de praktijk is dit een punt dat altijd zorg en zorgvuldigheid behoeft.

Afbakening van het onderwerp en de doelstellingen is in de planfase een belangrijk aspect: gaat het alleen om diepere onderwatersystemen, of is het juist onderdeel van een groter geheel, waarin land-water overgangen ook een belangrijke rol spelen. Hoe de ambities en doelen passen binnen een grotere omgeving van gebruikers en overige doelen moet hierbij niet uit het oog worden verloren. Bijvoorbeeld zaken rondom

broeikasgasemissie bij grondverzet en inpassing binnen grotere plannen en processen in de regio zoals de energietransitie of bodemdaling moet in de planfase al duidelijk worden besproken en overdacht.

Afbakening rondom het type onderwaterlandschappen is nu dan ook gesteld als gebieden zonder getijde-Invloed, niet zijnde suppleties en ontgrondingen, en niet vallend binnen afgebakende compartimenten zoals van bijvoorbeeld de binnen de Marker Wadden aanwezige slibcompartimenten.

De onderwaterlandschappen hebben een zoetwaterkarakter en hebben te maken met enige mate van dynamiek, maar binnen de grenzen van een gereguleerd peil.

De twee belangrijkste (technische) onderzoeksvragen die voor de planfase gelden zijn:

- Welke mate van dynamiek is wenselijk en toelaatbaar?
- Hoe ontwikkel je een onderwaterlandschap dat voldoende ondiep is, maar ook de juiste condities schept voor het ontstaan van vegetatie?

Ten aanzien van de eerste vraag geldt dat er een zekere dynamiek nodig is. De vraag daarbij is of deze voldoende kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld de effecten van wind/golven in combinatie met wisselingen in het waterpeil.

In het verlengde van deze laatste vraag is er ook behoefte aan het specificeren van de gewenste 'mate van luwheid' en het effect van een omgekeerd peil op de mogelijke problemen bij de ontwikkeling van een onderwaterlandschap.

4.3.3 *Ontwerpfase*

In de ontwerpfase vallen de meeste onderzoeksvragen, die vrijwel allemaal van technische aard zijn.

De belangrijkste vragen (en subvragen) in deze fase zijn:

- Hoe wordt de stabiliteit van een onderwaterlandschap bepaald in tijd en ruimte?
 - Welke informatie is nodig om deze stabiliteit te bepalen
 - Welke methoden zijn beschikbaar om de stabiliteit te kwantificeren?
- Wanneer is een opsluitconstructie of harde rand nodig om een onderwaterlandschap duurzaam te laten blijven bestaan?
 - Welke drempelwaarden zijn er die bepalen of een opsluitconstructie nodig is?
 - Wat is de minimale grootte van een onderwaterlandschap?
 - Hoe worden deze randvoorwaarden rondom nut en noodzaak van een opsluitconstructie/harde rand bepaald?
- Welke criteria zijn er voor het gebruikte materiaal in relatie tot de dynamiek ter plaatse?

Een belangrijke aanvullende vraag betreft de financiering van verschillende ontwerpen, en hoe deze goed tegen elkaar af te wegen in termen van kosten en baten, wanneer de baten niet noodzakelijkerwijs (monetair) afweegbaar zijn.

Vragen rondom locatiekeuze, profiel- en materiaalkeuze hangen met elkaar samen en zijn gekoppeld aan de lokale hydrodynamische belastingen. Daaruit voortvloeiend zijn er vragen rondom aanvullende maatregelen om de onderwaterlandschappen voldoende stabiel op hun plek te laten bestaan, en of stimuleren van bijvoorbeeld zaadbanken of graasbescherming tot een sneller behalen van ecologische doelen leidt. Gebruik van de voorbeeldcases geeft een indruk van hoe dit soort aspecten samenhangen in een gegeven locatie.

Veel van de geïnterviewden benadrukken dat een onderwaterlandschap niet los moet worden gezien van de land-waterovergang en de koppeling met de diepere delen en dat in veel gevallen juist die koppeling meer aandacht behoeft.

Tijdens het ontwerp moet ook rekening worden gehouden met het mogelijke beheer en onderhoud dat nodig is om de onderwaterlandschap stabiel en succesvol te laten zijn. Hierbij gaat het om de Life Cycle Costs die moeten worden afgewogen tegen de baten (die onderling wel te vergelijken, maar wellicht niet monetair te wegen zijn). Hier is dialoog met de relevante stakeholders en financieringsparagraaf daarvan tijdens deze fase van het proces dan ook weer belangrijk.

4.3.4 *Implementatie/uitvoeringsfase*

Technische vragen in de implementatie richten zich veelal specifiek op hoe optimaal gewerkt kan worden met verschillende typen materialen en in hoeverre inzicht aanwezig is in de emissies van deze materialen tijdens het grondverzet, iets waarin de tenderfase overigens goed op kan worden gestuurd. De rol van seizoenen en dynamiek is hierbij een aandachtspunt: kun je altijd aan het werk, waar moet je rekening mee houden en hoe ga je om met onverwachte events.

De belangrijkste vragen zijn:

- Welke mogelijkheden zijn er om de implementatie te optimaliseren op aspecten van materiaal gebruik en emissies tijdens grondverzet?
- Welke mogelijkheden zijn er om vegetatieontwikkeling tijdens de aanlegfase te bespoedigen?
- Moeten er tijdelijke maatregelen worden aangelegd ter bescherming van een onderwaterlandschap?

Tijdens de implementatie zijn er relatief veel momenten waarop vergunningen, procedures en toetsing een rol speelt. Het ontbreekt soms nog aan de juiste handvaten om dit goed vorm te geven. Er is aandacht nodig voor dit onderdeel van het proces.

4.3.5 *Beheer- en onderhoudsfase*

Beheer en onderhoud wordt vaak uitgevoerd door natuurbeherende organisaties, die niet altijd het mandaat of de financiële middelen hebben om onderwaterlandschappen goed te monitoren en te onderhouden. Door gebrek aan inzicht in de ontwikkeling van de onderwaterlandschap over tijd is het moeilijk te bepalen in hoeverre ze nog functioneel zijn en of er onderhoud nodig is. Aspecten van rol, mandaat en financiën moeten dus goed worden uitgewerkt – hierin is een koppeling met de benodigde dialoog al tijdens de planfase nodig.

De belangrijkste vragen in de beheer- en onderhoudsfase zijn:

- Wat moet worden gemonitord en met welke frequentie?
- Hoe moet deze monitoring worden uitgevoerd?
- Met welke grenswaarden kan worden gewerkt als signaalwaarden voor ingrijpen?

5 Overzicht beschikbare data

5.1 Inleiding

Tijdens Fase 1 is een inventarisatie gemaakt van de verschillende cases die informatie zouden kunnen leveren in de uitwerking van de onderzoeksvragen in Fase 2. De daadwerkelijke data en informatie voor deze cases is deels bij het projectteam als ook bij de opdrachtgever aanwezig.

5.2 Overzicht cases

De tijdens de interviews aangedragen cases zijn:

- Galgeplaat
- Haringvliet/Hollands diep
- Hoekelingsdam
- Ierst/Markerwadden
- IJsseloog/Ketelmeer/Zwarte meer
- Koopmanspolder
- Kreupel
- Oostvaarders oevers
- Polder IJdoorn
- Roggeplaat
- Schardammerkogen
- Trintelzand B
- Volkerak Zoommeer/Grevelingen (Planten in de Peiling)
- Zwarte Meer (eilanden Snorre/Kragge)
- Houtribdijk (onderzoeks- en monitoringsprogramma)
- Natuureilanden Amstelmeer
- Waterproeftuin Markermeer

In de nadere uitwerking komen de resultaten van enkele van deze projecten terug als ondersteunend voorbeeld bij het stappenplan.

6 Onderzoeksplan voor Fase 2

6.1 Inleiding

Op basis van de geïnventariseerde onderzoeksvragen en beschikbare data en verschillende voorbeeldcases die hierbij zijn genoemd wordt hieronder een uitwerking van het onderzoeksplan voor Fase 2 gegeven.

6.2 Uitwerking

6.2.1 *Ontwikkeling stappenplan*

Het resultaat van Fase 2 is een leidraad die gebruik maakt van een stappenplan om een robuust onderwaterlandschap effectief te kunnen implementeren. Dit stappenplan heeft de vorm van een stroomschema, waarin per fase (plan-, ontwerp-implementatie-, beheer-) is aangegeven welke stappen moeten worden genomen om aspecten van een onderwaterlandschap te kwantificeren en zo tot een goed overall plan, ontwerp en implementatietraject te komen dat ook rekening houdt met de beheer- en onderhoudsfase daarna in een volledige Life Cycle Assessment. De geïdentificeerde onderzoeksvragen per fase zijn hierbij als leidraad genomen om elke fase van de relevante informatie te voorzien. Er wordt specifiek aandacht gegeven aan het 'hoe' van deze kwantificering, waarbij waar mogelijk ook rekenregels worden geformuleerd.

6.2.2 *Restvragen*

In de leidraad worden per fase ook aspecten genoemd die niet verder van kwantitatieve duiding kunnen worden voorzien binnen dit project. Het gaat hierbij vooral om aspecten rondom procedures, stakeholders, wetgeving en financiële aspecten. Wel zullen deze onderwerpen kwalitatief worden benoemd als aanvullende onderwerpen waar aandacht voor nodig is.

6.2.3 *Gebruik van cases*

We maken gebruik van case-beschrijvingen om specifieke aspecten te verduidelijken en gebruiken kennis uit deze cases als bron van informatie voor het opschalen naar generieke handreikingen op specifieke deelaspecten.

6.3 Plan van Aanpak

In eerste instantie is door het projectteam een concept stappenplan opgesteld, waarin per fase de belangrijkste onderzoeksvragen zijn gecategoriseerd en benoemd. Vervolgens is deze van een eerste uitwerking voorzien. Hierin werd specifiek aandacht gegeven aan of en zo ja welke criteria en drempelwaarden voor deze criteria gedefinieerd konden worden. Het stappenplan is vervolgens voorgelegd aan de begeleidingscommissie voor verdere aanscherping en verduidelijking.

Het stappenplan is aansluitend verder uitgewerkt tot een definitief concept stappenplan, waarbij waar mogelijk data-analyse voor verschillende cases wordt gebruikt om tot definitieve drempelwaarden te komen voor de belangrijkste ontwerpcriteria.

7 Uitwerking stappenplan

7.1 Inleiding

7.1.1 Algemeen

In dit hoofdstuk is beschreven op welke wijze deze studie leidt tot een toegankelijk eindresultaat waarin, in de vorm van een handreiking, de stappen zijn beschreven die voor de realisatie van een onderwaterlandschap nodig zijn.

Uiteindelijk leidt dit tot een separaat, los leesbaar document welke in het vervolg is aangeduid als de '**Handreiking onderwaterlandschappen**'. Deze handreiking komt in het voorliggende document ook terug als **Bijlage 1**. Daarbij wordt gebruik van rond een aantal onderzoeksvragen opgestelde intermezzo's waarin zo goed mogelijk antwoord wordt gegeven op de in Fase 1 van de onderzoek geïnventariseerde vraagstukken.

7.1.2 Nadere uitwerking per projectfase

In het stappenplan voor de uitwerking van Fase 2 zijn vijf verschillende projectfasen beschouwd. Het gaat daarbij om:

- Planfase;
- Ontwerpfase;
- Implementatiefase;
- Overgangsbeheer en onderhoudsfase;
- Langjarig beheer en onderhoud.

In vergelijking tot de in Fase 1 gebruikte fases, is de beheer- en onderhoudsfase in de finale uitwerking opgeknipt in twee opeenvolgende fasen, te weten: *i*) het zogenaamde overgangsbeheer zoals dat direct na de aanleg plaatsvindt en vaak nog onder verantwoordelijkheid van een aannemer valt en *ii*) het reguliere, lange termijn beheer.

7.1.3 Startpunt voorliggende uitwerkingen

Een van de uitgangspunten is dat er op voorhand inzicht bestaat over het benodigde areaal aan te realiseren onderwaterlandschap volgend vanuit ecologische randvoorwaarden en doelen. Deze bepaling vanuit ecologisch doel valt dan ook buiten de scope van het huidige project.

Intermezzo 1 Definitie omvang benodigd areaal vanuit ecologisch perspectief.

Definitie omvang benodigd areaal

Vanuit ecologisch perspectief bestaan vuistregels voor een percentage van een gebied dat uit een bepaald type habitat moet bestaan. Als voorbeeld nemen we de inrichting van de Wieringerhoek. Dit is een van de projecten van PAGW IJsselmeergebied waarbij wordt gestreefd naar het creëren van enkele ondervertegenwoordigde habitats in het noordwestelijk deel van het IJsselmeer, met name ondiepten met waterplanten, overstromingsgrasland en helofytenmoeras (Turlings, 2020). De gewenste arealen hiervan zijn onder meer gebaseerd op de aanname dat 10% van het wateroppervlak uit de genoemde habitats moet bestaan. Dat is echter aan de magere kant.

De review van Westendorp et al. stelt dat voor een effect op watersysteemniveau een areaal van 5-10% waterriet nodig is en 10-25% waterplanten (Westendorp P.J., 2019). Overstromingsgrasland (en drogere delen van moerasgebieden) zijn hierbij nog niet

inbegrepen. De arealen waarnaar bij de Wieringerhoek wordt gestreefd zijn verbonden aan de arealen die op andere PAGW-locaties in het IJsselmeergebied moeten worden gerealiseerd. Op basis van de genoemde 10% is dat ongeveer 18.000 hectare, waarvan de Wieringerhoek 20% toebedeeld heeft gekregen. Daarbij is in eerste instantie uitgegaan van een gelijke verhouding tussen de verschillende habitats in alle PAGW projectgebieden. De opgave moet in 25-30 jaar op pragmatische en adaptieve wijze worden gerealiseerd, dat wil zeggen inspeland op de kansen en beperkingen van de vijf verschillende PAGW-locaties in het IJsselmeergebied en op de overige ontwikkelingen in het gebied.

Een ander belangrijk uitgangspunt voor deze uitwerking is dat situaties waarin sprake is van een verticaal getij niet worden beschouwd. Dit geldt ook bij aanwezigheid van een permanente stroming zoals in rivieren welke kan zorgen voor een doorgaand verlies van materiaal. De situatie met golfwerking worden natuurlijk wel beschouwd.

7.2 Planfase

7.2.1

Inleiding

In Figuur 2 is een schematisch overzicht gegeven van de tijdens de planfase van belang zijnde aandachtspunten. In een eerste stap moeten de voor het verdere ontwerp benodigde gegevens en de zogenaamde omslagpunten in de toelaatbare dynamiek in kaart worden gebracht. Vervolgens moet worden beoordeeld of de omgeving, al dan niet met het implementeren van mitigerende maatregelen, wel geschikt is voor de realisatie van een onderwaterlandschap.

De twee belangrijkste (technische) onderzoeksvragen die voor de planfase in Fase 1 van deze studie naar voren kwamen waren:

- *Welke mate van dynamiek is wenselijk en toelaatbaar?*
- *Hoe ontwikkel je een onderwaterlandschap dat voldoende ondiep is, maar ook de juiste condities schept voor het ontstaan van vegetatie?*

Onderzoeksvragen 1 Samenvattend overzicht belangrijkste onderzoeksvragen voor planfase.

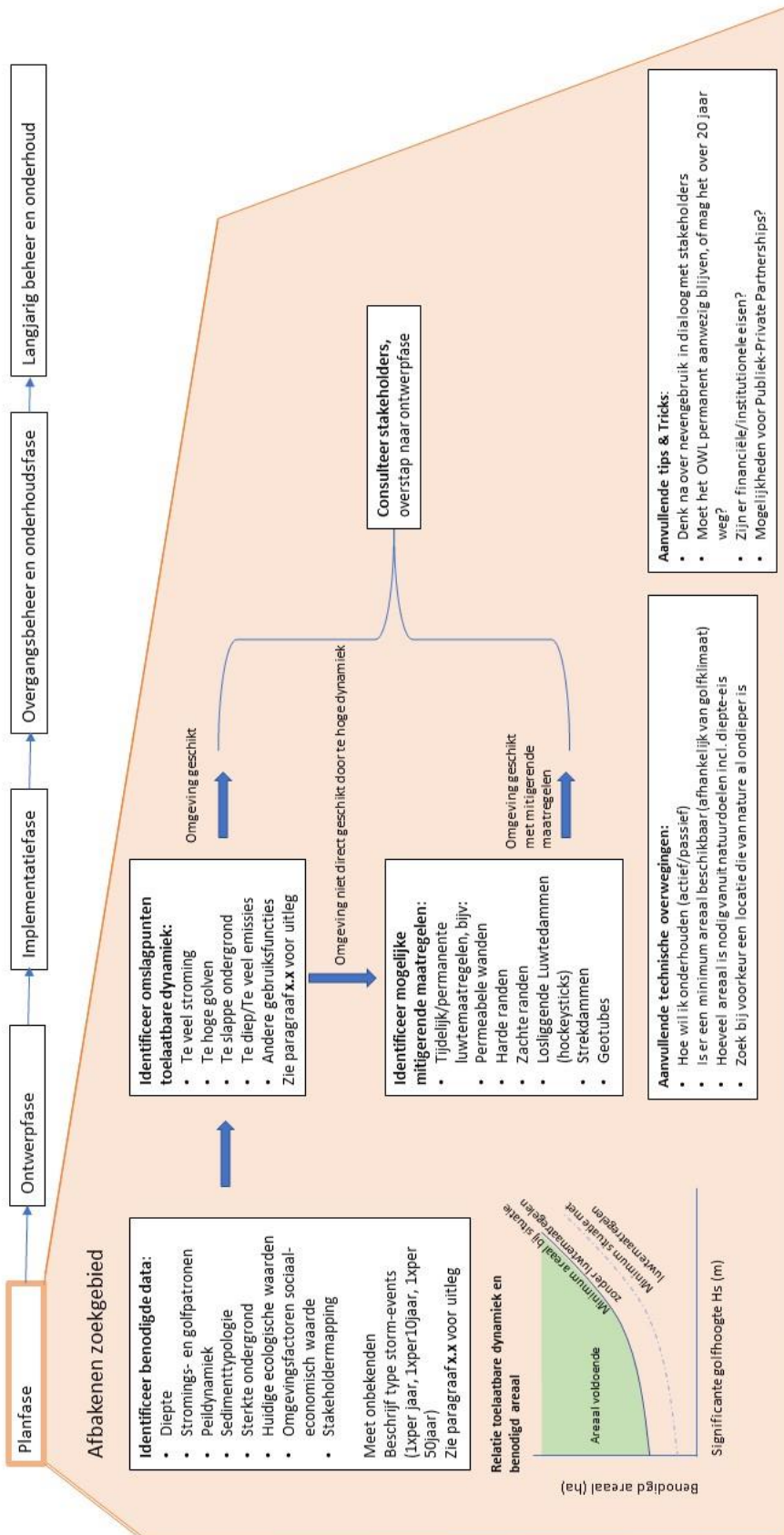
7.2.2

Verzamelen benodigde data

In deze fase gaat het in eerste instantie om het identificeren en verzamelen van de benodigde data. Daarbij valt te denken aan de diepteligging, de aanwezige/verwachte stromings- en golfpatronen en de peildynamiek.

Ook dient een beeld te worden verkregen van de type stormevents. Hierbij kan gedacht worden aan overschrijdingsfrequenties van 1/1, 1/10 en 1/50 per jaar.

Ook van belang zijn de karakteristieken van het aanwezige sediment en de sterkte van de ondergrond.



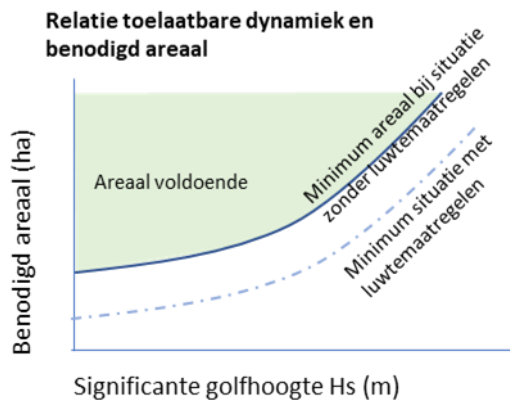
Figuur 2 Belangrijkste onderdelen stappenplan tijdens de planfase.

Intermezzo 2 Relatie tussen toelaatbare dynamiek en benodigd areaal en bijbehorende omslagpunten.

Relatie toelaatbare dynamiek en benodigd areaal

Het benodigd areaal voor een robuust en stabiel onderwaterlandschap is mede afhankelijk van de zwaarte van de golfaanval (significante golfhoogte). In locaties met relatief veel golfaanval is de evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap dieper en (Ton, A. et al., 2020) en de helling van het onderwaterlandschap veelal steiler (Hegge, 1996) (Travers, 2007) dan in locaties met relatief weinig golfaanval.

Voor het creëren van een robuust onderwaterlandschap in een locatie met zware golfaanval is dus relatief meer areaal nodig om deze natuurlijke dynamiek te compenseren. Indien gebruik wordt gemaakt van mitigerende maatregelen kan volstaan worden met een relatief minder groot areaal. Dergelijke mitigerende maatregelen moeten bij voorkeur de voor een ecologisch onderwaterlandschap van belang zijnde natuurlijke processen zoveel mogelijk de ruimte geven en de verbinding binnen en tussen leefgebieden van soorten mogelijk maken.



In deze figuur is dit principe schematisch weergegeven. Wil je dus meer een zeker oppervlak aan onderwaterlandschap wil behouden moet je voor zwaardere omstandigheden meer buffer-areaal aanleggen.

Tijdens de planfase van een onderwaterlandschap is het relevant om rekening te houden met de beperkt beschikbare kwantitatieve kennis over fysische omslagpunten. Voor de onderwaterlandschappen van de Markerwadden en Houtribdijk hebben Ton et al. een relatie gelegd tussen de evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap (ongeveer NAP - 1 m) en de waterstand en golfhoogte tijdens stormen (Steetzel et al., 2017) (Ton, A. et al., 2020).

Deze evenwichtsdiepte is groter voor locaties met grotere golfaanval (grotere strijklengte) en met lagere waterstanden tijdens stormen (minder windopzet), en hoger voor locaties met minder golfaanval en hogere waterstanden. Op basis van deze relaties kan in de planfase getoetst worden of de evenwichtsdiepte op een locatie geschikt is voor de beoogde functies van het onderwaterlandschap.

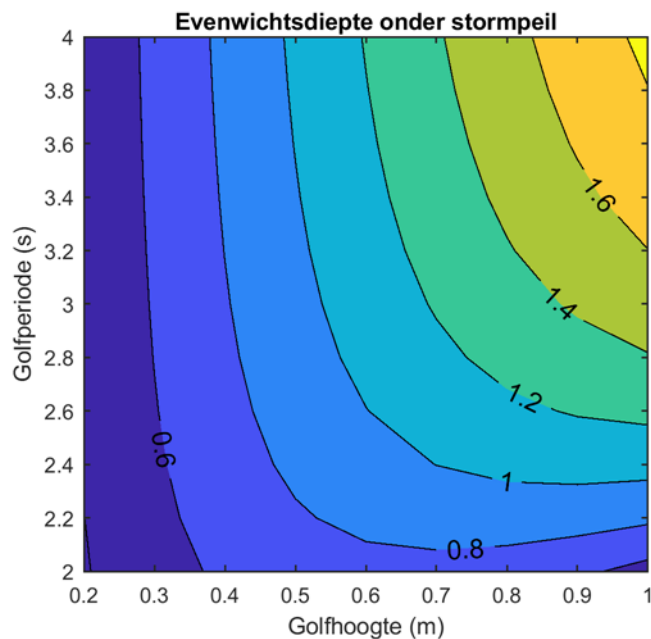
Intermezzo 3 Schatting evenwichtsdiepte onderwaterlandschap.

Schatting evenwichtsdiepte onderwaterlandschap

Voor het ontwerp van een onderwaterlandschap is inzicht de relatie tussen lokale golfcondities en de natuurlijke minimale evenwichtsdiepte van het landschap relevant. Voor het onderwaterlandschap bij de Houtribdijk, hebben Steetzel et al. een relatie gevonden tussen de evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap en de lokaal optredende golfcondities en waterstandsopzet (Steetzel et al., 2017). Deze relatie is kwantitatief uitgewerkt door Ton et al., die gevonden hebben dat de evenwichtsdiepte van onderwaterlandschappen in de

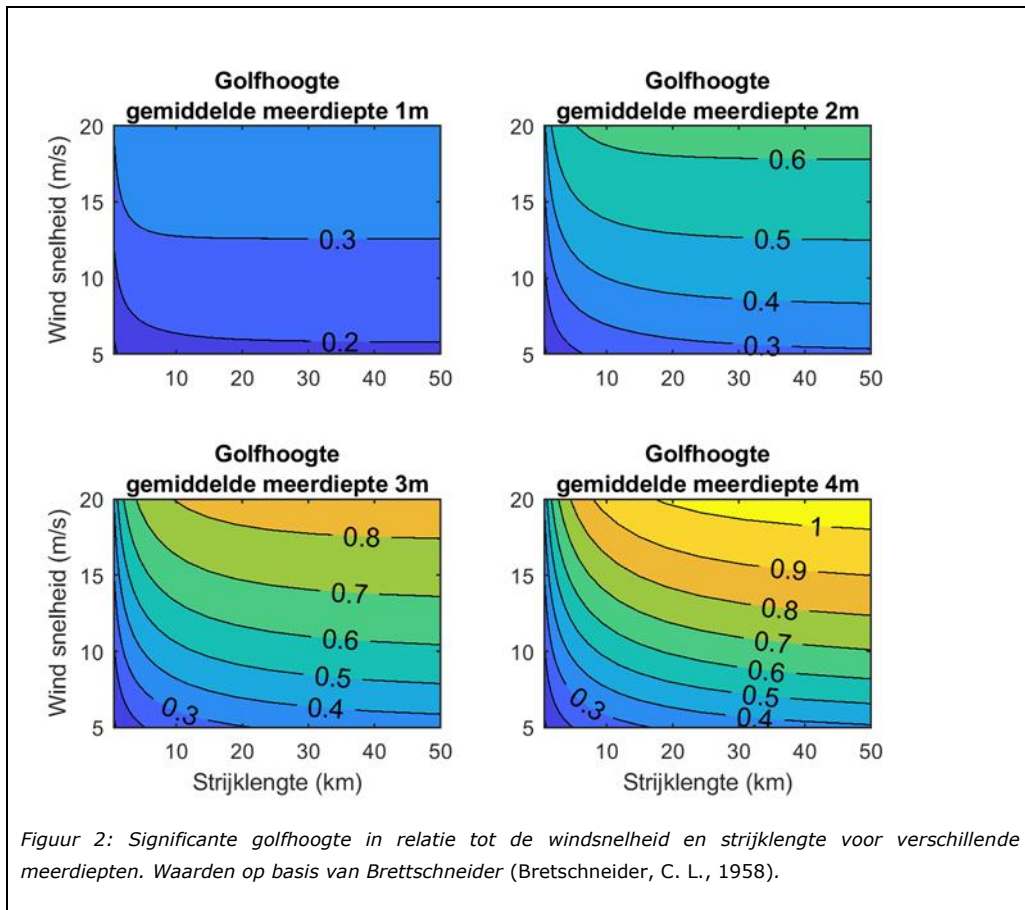
Markermeer relateert aan de diepte waarop tijdens energetische condities nog sediment transport plaats vindt, de zogenaamde *depth-of-closure* (Ton, A. et al., 2020). Op de onderzochte locaties in de Markermeer komt de geobserveerde evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap goed overeen met de gemiddelde *depth-of-closure* tijdens alle milde tot grote stormen (meest energetische condities per periode van 14 dagen).

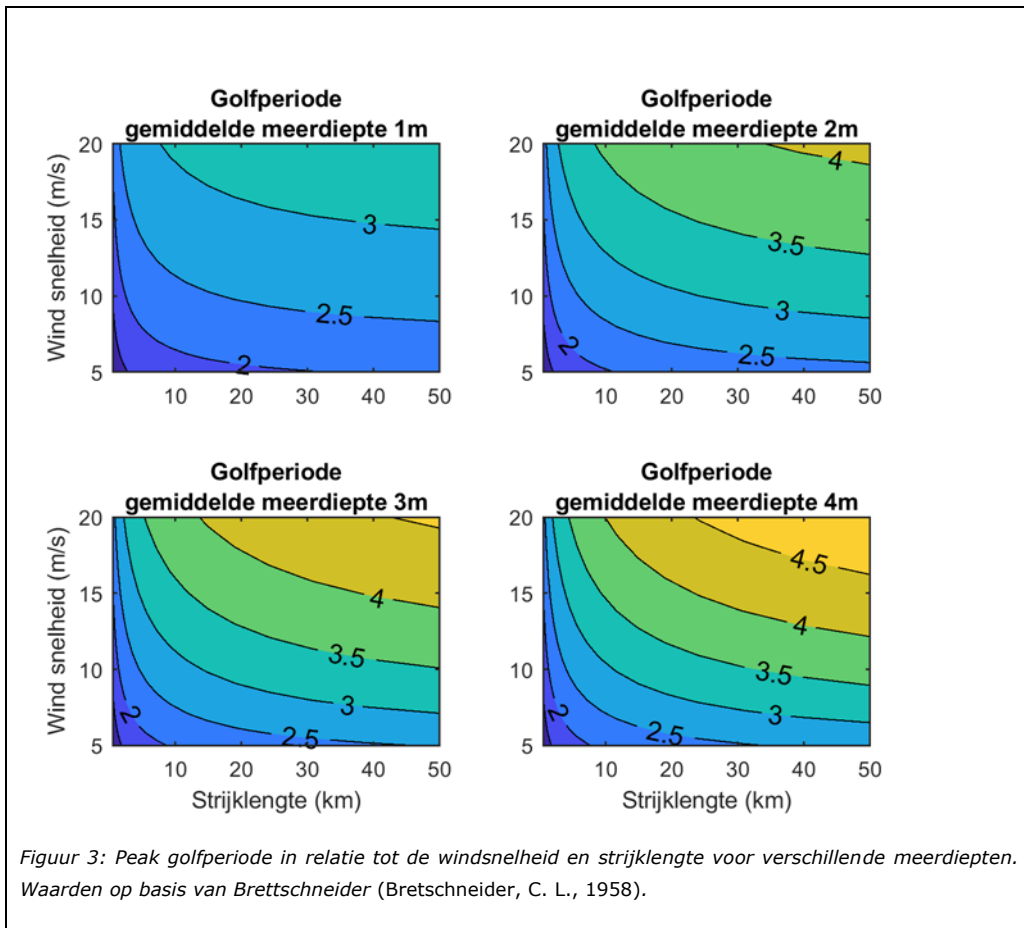
In Figuur 1 is de minimale evenwichtsdiepte van een onderwaterlandschap op basis van Ton et al. (2020) weergegeven voor verschillende waarden van de effectieve golfhoogte en -periode tijdens stormen. Hierbij is de evenwichtsdiepte gerelateerd aan de waterpeil inclusief windopzet, welke afhankelijk van de windcondities meer dan 0,5 m kan bedragen in de Markermeer, moet de effectieve golfhoogte en -periode gezien worden als een gemiddelde waarde voor stormcondities die regelmatig voorkomen (tweewekelijks in de analyse van Ton et al., 2020).



Figuur 1: Minimale evenwichtsdiepte van onderwaterlandschappen in relatie tot de effectieve golfhoogte en -periode tijdens stormen. Waarden op basis van Ton et al. (2020).

Indien geen lokale golfmetingen beschikbaar zijn, kan de effectieve golfhoogte en -periode geschat worden op basis van (regelmatig) voorkomende windsnelheden, de strijklengte, en de gemiddelde diepte in het meer, op basis van het parametrische model van Bretschneider (Bretschneider, C. L., 1958). Deze waarden zijn voor enkele gemiddelde meerdiepten en condities voor de Nederlandse meren weergegeven in Figuur 2 (golfhoogte) en Figuur 3 (golfperiode).





7.2.3

Identificatie omslagpunten

Onder bepaalde omstandigheden kan het aanleggen van een onderwaterlandschap van een bepaalde omvang dus niet goed mogelijk zijn. Daarbij kan worden gedacht aan situatie met te zware golfaanval (zie ook Intermezzo 2) en/of te veel stroming.

Intermezzo 4 Schatting golfeffecten op habitat macrofyten

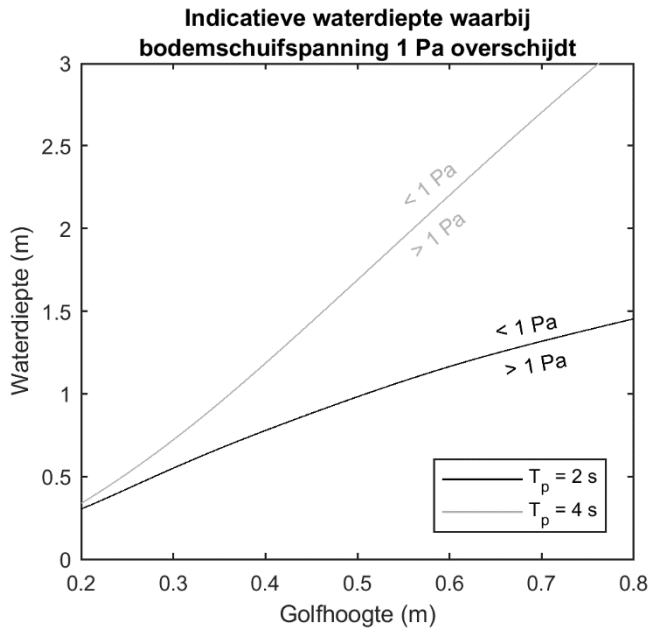
Schatting golfeffecten op habitat macrofyten

Indien een onderwaterlandschap moet dienen als habitat voor met het blote oog zichtbare planten die, geheel of gedeeltelijk, leven onder water, op het wateroppervlak of langs de oever (macrofyten), is het relevant om de optredende bodemschuifspanning door stroming en golven te bepalen. Op basis van observaties in de IJsselmeer, Markermeer, en de Nederlandse randmeren, hebben Van Zuidam en Peeters (2015) een relatie gevonden tussen de aanwezigheid van macrofyten en de maximaal optredende bodemschuifspanning door golven tijdens de lente (Van Zuidam, B.G. and Peeters, E.T., 2015).

Er is hierbij gevonden dat macrofyten vrijwel niet voorkomen in locaties waar de maximale bodemschuifspanning door golven tijdens de lente groter is dan 1 Pa.

In Figuur 1 is indicatief de relatie weergegeven tussen optredende golfcondities (golfhoogte en -periode) en de waterdiepte waarbij de bodemschuifspanning door golven groter of kleiner dan 1 Pa is. Op basis van de analyse van Van Zuidam en Peeters (2015) kan dit als een

indicatieve minimale waterdiepte worden gezien die nodig is om te voorkomen dat macrofyten zich door bodemschuifspanning niet kunnen vestigen.



Figuur 1: Relatie tussen waterdiepte, golfhoogte en -periode, en het optreden van bodemschuifspanning groter dan 1 Pa (indicatieve grens voor aanwezigheid van macrofyten (Van Zuidam, B.G. and Peeters, E.T., 2015).

Andere abiotische factoren die relevant zijn voor de vestiging van macrofyten, zoals lichtdoordringing, waterkwaliteit, en bodemsamenstelling, worden op basis van deze analyse niet meegenomen en dienen apart onderzocht te worden bij het ontwerp van een onderwaterlandschap.

Ook kan een te slappe ondergrond een succesvolle realisatie van een onderwaterlandschap in de weg staan. In dit geval zal een bepaalde ophoging van het bodemniveau relatief veel materiaal nodig zijn. Dit is natuurlijk ook het geval als de aanwezige bodem gewoonweg te diep is gelegen.

Daarnaast kunnen niet acceptabele emissies (tijdens de aanleg) of reeds aanwezige, andere gebruiksfuncties uiteindelijk maken dat de beschouwde omgeving niet zondermeer geschikt is voor de aanleg van een onderwaterlandschap.

7.2.4

Inzet mogelijke mitigerende maatregelen

Indien de omgeving (net) niet geschikt is kan worden overwogen om de eerder genoemde belemmeringen enigszins te beïnvloeden.

In het geval van te hoge golven of te veel stroming zou het aanleggen van tijdelijke of permanente luwtemaatregelen dit potentiële probleem kunnen wegnemen. Daarbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het plaatsen van permeabele wanden (paalrijen), maar ook aan doorgaande harde of zachte beschermende randen. Afhankelijk van de lokale situatie kunnen ook losliggende luwtedammen (hockeysticks) of strekdammen worden overwogen.

Deze constructies vragen natuurlijk wel om additionele investeringen, niet alleen voor de realisatie, maar ook voor het onderhoud ervan.

7.2.5 *Eindresultaat ten behoeve van consultatie stakeholders*

Indien de omgeving, al dan niet met de inzet van mitigerende maatregelen, geschikt is voor de aanleg van een onderwaterlandschap kan de overstap naar de ontwerpfase worden gemaakt. Bij deze overstap moeten natuurlijk ook de stakeholders worden betrokken.

7.2.6 *Bijkomende technische overwegingen*

Bij deze initiële besluitvorming spelen verschillende technische overwegingen een rol. Als eerste is het verstandig om qua zoekgebied bij voorkeur te zoeken naar een locatie/omgeving waar het van nature al ondieper is.

Van belang is verder natuurlijk om goed zicht te hebben op het vanuit de natuurdoelen benodigde areaal, alsmede welke dieptes hier dan bij horen. Gegeven het beschikbare areaal kan dan eenvoudig worden beoordeeld of het minimaal benodigde areaal inderdaad beschikbaar is.

Van later belang is ook om nu duidelijkheid te krijgen over het type onderhoud dat zal worden uitgevoerd, en wel of actief of passief (reactief) zal zijn.

7.2.7 *Slotopmerkingen*

Tijdens de gesprekken met de stakeholders moet ook worden nagedacht over eventueel nevengebruik. Ook moeten de mogelijkheden voor publiek-private partnerships in beeld worden gebracht. Verder is het van belang om een doorkijk te hebben naar de lange-termijn situatie. Is het een probleem als het onderwaterlandschap haar functie over bijvoorbeeld 10 of 20 jaar verliest? Dit laatste ook in relatie tot mogelijke financiële of institutionele eisen.

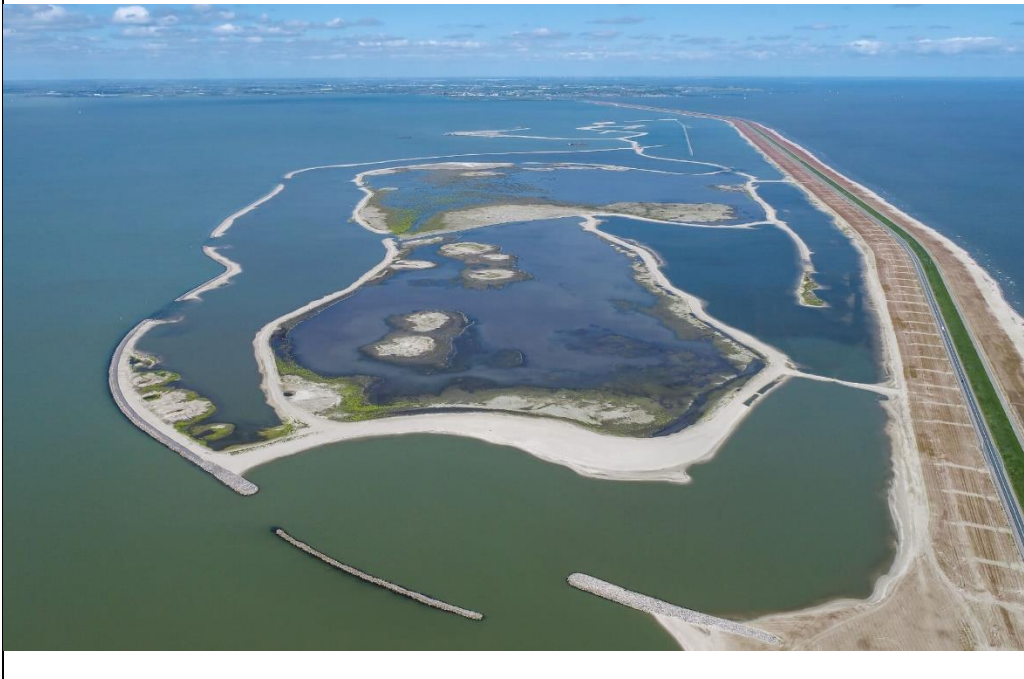
Intermezzo 5 Toepassing luwtestructuren.

Toepassing luwtestructuren

Luwte is in het Markermeer waarschijnlijk van bijzonder belang voor het voedselweb, omdat in een luwtezone minder slib opwervelt, waardoor het zwevend stof (dat overblijft) meer algen bevat. Daardoor is het voedzamer voor filteraars zoals watervlooien en mosselen. Dit is bij Marker Wadden onderzocht met onder meer satellietbeelden. Daarvoor zijn bewerkingen voor chlorofyl en zwevend stof op elkaar gedeeld.

Behalve de luwte zelf is ook de overgang van luw naar geëxponeerd, dat wil zeggen van helder naar troebel water van belang, en is dus een belangrijk punt voor het programma van eisen. Deze overgangsgebieden zijn belangrijk voor een duurzame relatie tussen vis en visetende vogels, omdat beide daar een kans hebben.

Voorbeelden van luwtectreactie zijn bijvoorbeeld aanwezig langs de Houtribdijk zoals te zien op onderstaande foto (© Peter Leenen). Hierop zijn zowel de Houtribdijk met voorliggende luwtedammen (op de achtergrond) als het nieuwe natuurgebied Trintelzand (op de voorgrond) te zien.

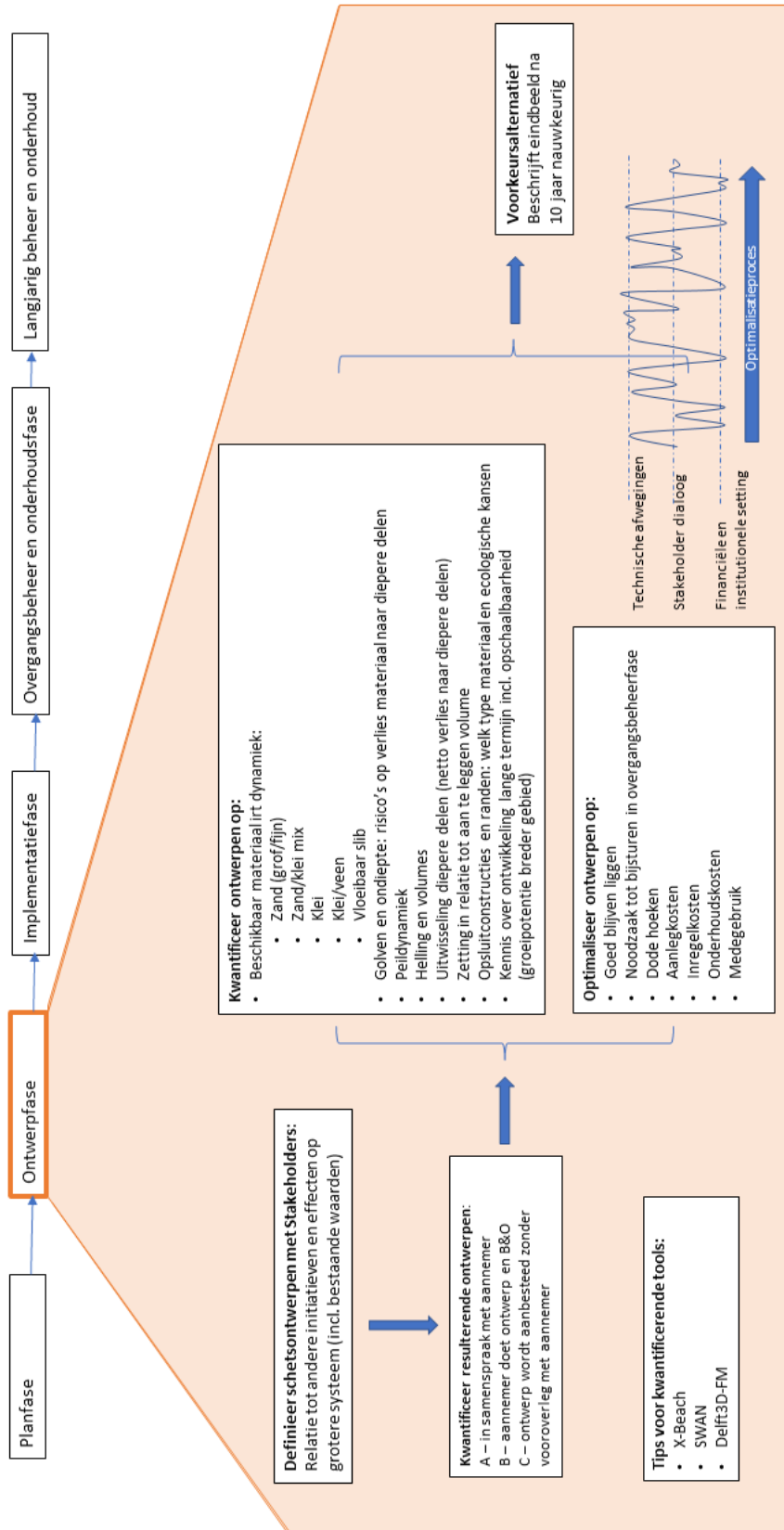


7.3 Ontwerpfase

7.3.1

Inleiding

In Figuur 3 is een schematisch overzicht gegeven van de tijdens de ontwerpfase van belang zijnde aandachtspunten. In deze fase wordt een schetsontwerp gedefinieerd en resulterende ontwerpen een stap verder gebracht. Vertrekpunt is daarbij het op basis van de vorige fases bereikte resultaat dat bij voorkeur is vastgelegd in een intentieverklaring tussen de betrokken partijen. Deze laatste worden verder geoptimaliseerd om vervolgens te resulteren in een voorkeursalternatief.



Figuur 3 Belangrijkste onderdelen stappenplan ontwerpfase.

De drie belangrijkste (technische) onderzoeksvragen die voor de ontwerpfase in Fase 1 van deze studie naar voren kwamen waren:

- Hoe wordt de stabiliteit van een onderwaterlandschap bepaald in tijd en ruimte?
 - Welke informatie is nodig om deze stabiliteit te bepalen
 - Welke methoden zijn beschikbaar om de stabiliteit te kwantificeren?
- Wanneer is een opsluitconstructie of harde rand nodig om een onderwaterlandschap duurzaam te laten blijven bestaan?
 - Welke drempelwaarden zijn er die bepalen of een opsluitconstructie nodig is?
 - Wat is de minimale grootte van een onderwaterlandschap?
 - Hoe worden deze randvoorwaarden rondom nut en noodzaak van een opsluitconstructie/harde rand bepaald?
- Welke criteria zijn er voor het gebruikte materiaal in relatie tot de dynamiek ter plaatse?

Onderzoeksvragen 2 Samenvattend overzicht belangrijkste onderzoeksvragen voor ontwerpfase.

7.3.2 Opstelling van schetsontwerpen

Startpunt zijn de in samenspraak met de stakeholders opgestelde schetsontwerpen. Daarbij moet ook worden ingegaan op de relatie met andere initiatieven en de effecten op het grotere systeem.

7.3.3 Uitwerking resulterende ontwerpen

Voor de nadere kwantificering van de resulterende ontwerpen zijn meerdere opties aanwezig, dit afhankelijk van de betrokkenheid van een aannemer. Dit kan variëren van het in samenspraak met een aannemer opstellen van deze ontwerpen tot het doen van een aanbesteding zonder betrokkenheid van een aannemer. Als tussenvorm kan de aannemer ook worden gevraagd om een reeds op hoofdlijnen opgesteld ontwerp in meer detail uit te werken.

7.3.4 Kwantificering

De voorontwerpen worden in deze fase op tal van aspecten gekwantificeerd. Hierbij moet worden gedacht aan bijvoorbeeld de beschikbaarheid van materiaal in relatie tot de dynamiek, ten aanzien van het gebruik van zand (grof/fijn), een zand/klei mix, klei, een klei/veen mix of vloeibaar slib.

Intermezzo 6 Effect grofheid materiaal op stabiliteit onderwaterlandschap.

Invloed grofheid materiaal

In het dwarsprofiel zal er rond de waterlijn veelal sprake zijn van relatief grover materiaal. In het Markermeer bestaat deze uit zand (met een gemiddelde korreldiameter van 0,3 mm) maar ook schelpen(gruis) (met een gemiddelde diameter > 1 mm) komt hier voor (Van der Weij, 2005). De fijnere fractie is hier door golfwerking uit verdwenen en toegevoegd aan het op iets dieper water gelegen deel van het profiel. Het grovere materiaal is mede door de grotere doorlatendheid iets beter bestand tegen de golfwerking en resulteert dus in een relatief steil talud met soms een bermpje aan de landzijde van de waterlijn. Het effect van de grofheid van het materiaal is slechts van beperkte invloed op de helling van het diepere deel van het onderwaterlandschap. In deze zin heeft de grofheid van het materiaal geen groot effect op de dimensies van het onderwaterlandschap.

Ook cohesiviteit of het aandeel fijnere fractie heeft geen duidelijk effect.

Overigens kan de aanwezigheid van relatief fijn materiaal bij aanwezigheid van een netto stroming wel leiden tot een verlies van materiaal (zie ook Intermezzo 8).

*Intermezzo 7 Rol van holoceen materiaal.***Rol van holoceen materiaal**

Het holoceen is de periode na de laatste ijstijd (pleistoceen). In die periode zijn op een ondergrond van pleistoceen zand in het IJsselmeergebied veengebieden ontstaan. Later zijn daarin grote meren ontstaan waarin door afzetting van fijn materiaal dikke kleilagen zijn ontstaan. Met dit materiaal worden nu eilanden gemaakt, bijvoorbeeld op de Marker Wadden en langs de Houtribdijk. Dit materiaal is rijk aan voedingsstoffen, waardoor pioniervegetatie zich gemakkelijk vestigt en hard groeit. In het meer zelf is de holocene klei vaak bedekt met geërodeerd materiaal dat is ge-her-sedimenteerd. Dit materiaal (dus de toplaag van de meerbodem) is veel armer aan voedingsstoffen. Na de afname van voedingsstoffen vanuit de rivieren, sinds de verbetering van de waterkwaliteit in de jaren '90, is de productie in de meren afgenomen. Toevoer vanuit de productieve moerassen kan bijdragen aan een kleine toename van voedingsstoffen in het grotere meer zelf, maar zonder peil- en stromingsdynamiek is het effect hiervan echter beperkt en lokaal.

Overigens kan holoceen materiaal goed worden gebruikt om de vegetatiegroei op de oever zelf te bevorderen. Dit bleek met name uit de in het kader van de Pilot Houtribdijk uitgevoerde onderzoek waarin een vergelijking is gemaakt tussen de vegetatiegroei met en zonder bijmenging met holoceen materiaal (EcoShape, 2018b).

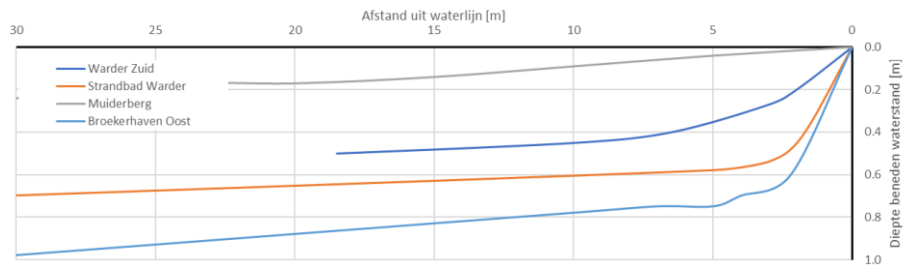
Bij Marker Wadden zijn geulen en putten gegraven om het holocene materiaal te verzamelen om daarmee de eilanden aan te leggen. Deze putten hebben ook een functie voor de ecologie, met name voor vis. De putten kunnen echter ook een belangrijk deel van de voedingsstoffen afvangen, zodat de ruimtelijke samenhang met het moeras goed moet worden overdacht. Dit probleem is van bijzonder belang in het Markermeer, omdat ijzerrijk sediment dat hier bij harde wind wordt opgewerveld fosfaat uit de waterkolom bindt. Bij hersedimentatie in combinatie met lateraal transport kan dat in de geulen en putten terecht komen, waarna een deel aan circulatie wordt onttrokken.

Ook de risico's op verlies materiaal naar en uitwisseling met de diepere delen onder invloed van golfwerking speelt hierbij een rol.

*Intermezzo 8 Verlies naar dieper water.***Verlies naar dieper water**

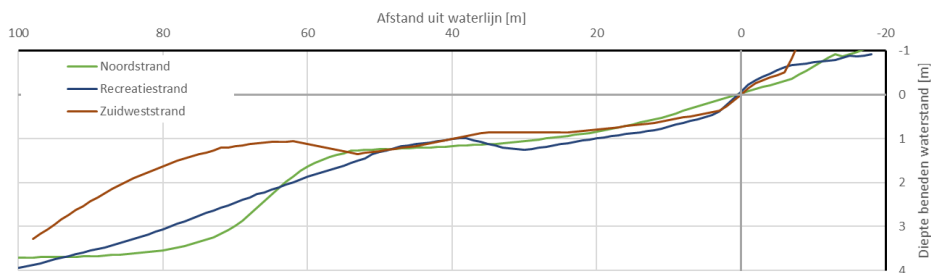
Voor het eventuele verlies van materiaal uit het onderwaterlandschap is de profielvorm ter plaatse van de meerwaartse grens van het onderwaterlandschap van belang. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt tussen (i) een situatie waarbij de bodemligging aansluit en er feitelijk sprake is van een doorgaande flauwe helling en (ii) een situatie waarbij dit duidelijk niet zo is.

In het eerste geval met een doorgaande flauwe helling behoeft er geen rekening te worden gehouden met significante netto verliezen naar dieper water. Voorbeelden van dergelijke profielen zijn weergegeven in onderstaande figuur waarin als illustratie voor een viertal locaties langs het Markermeer het (flauwe) dwarsprofiel is weergegeven (data ontleend aan (Van der Weij, 2005).



Dit kan wel het geval zijn voor een situatie waarbij er sprake is van een duidelijke discontinuïteit in de bodemligging op deze grens. Vanuit de landzijde gezien gaat het flauw hellende plateau hier over in en veel steiler overgangstalud dat aansluit op de diepere, vlakke bodem.

Typische voorbeelden hiervan zijn de langs de Marker Wadden aanwezige strandprofielen zoals aanwezig ter plaatse van het Zuider- en Noordstrand (Arcadis, 2022).



Feitelijk is er dan, vanaf de meerzijde gezien, sprake van een rand waarachter het hoger gelegen onderwaterlandschap is gelegen. Op het moment dat er sprake is van transport van materiaal over deze rand leidt dit tot een netto verlies van materiaal en dus tot een geleidelijke afname van het oppervlak of niveau van het onderwaterlandschap.

Een dergelijke situatie kan optreden bij aanwezigheid van stromingen of onder invloed van met name scheve golfaanval. In dat laatste geval zorgt de door het breken van de golven opgewekte langstroom voor het aan de 'lage' zijde optreden van deze verliezen.

Deze laatste situatie kan bij aanwezigheid van sterk wisselende invalsrichtingen ook aan beide uiteinden van het beschouwde vak optreden. Deze situatie deed zich voor bij de pilot Houtribdijk waarbij een zandige oever werd ingepast tussen de dijk en een hier dwars op gelegen opsluitdam (EcoShape, 2018f).

Verder moet er gekeken worden naar hellingen en volumes, ook in relatie tot eventueel aanwezige zetting.

Indien er gebruik wordt gemaakt van opsluitconstructies komt de vraag naar voren welk type materiaal moet worden gebruikt en of dit ook leidt tot aanvullende ecologische kansen.

Intermezzo 9 Effect inzet opsluitconstructie.

Inzet opsluitconstructie

Een zandige oever of onderwaterlandschap kan zijdelings worden ingesloten door opsluitconstructies in de vorm van loodrecht op de oever gelegen damconstructies. Deze constructies zorgen er voor dat de invloed van eventueel aanwezige langstromen wordt gereduceerd. Ook kunnen dergelijke constructies resulteren in een lokale bijdraaiing van de golfvalsrichting waardoor er tussen twee opsluitconstructies sprake is van een soort van baaivorm.

Een mooi voorbeeld van de toepassing van dergelijke constructies voor beïnvloeding van de golfvalsrichting is aanwezig bij de stadsstranden in Hoorn als zichtbaar in onderstaande afbeelding.



Hier is voor de bestaande dijk een zandige oever (de zogenaamde oeverdijk) aangebracht welke qua langsbelijning wordt 'aangestuurd' door de dwarsconstructies.

Voor het in Intermezzo 8 toegelichte verlies naar dieper water is hierbij de ligging van de nieuwe oeverlijn in elke baai ten opzichte van de beëindiging van de opsluitconstructies van belang.

Intermezzo 10 Effect peildynamiek op ontwikkelingen.

Effect peildynamiek op ontwikkeling

Moerassen zijn van nature onderhevig aan vegetatie-successie, en veranderen geleidelijk in bos. In bepaalde omstandigheden kan ook veenvorming optreden, maar bij natuurontwikkeling in de grote wateren is veenvorming nauwelijks te verwachten, met name door de relatief hoge sulfaatconcentraties in de bodem. Een dynamisch peil kan dat proces vertragen, waardoor oevermoerassen langer in stand blijven. Zonder kunstmatige peilbeheersing varieert het peil in onze laaglandmeren in het seizoen binnen een amplitude van ongeveer anderhalve meter. In het vroege voorjaar is het water het hoogst, in de loop van de zomer zakt het uit tot een minimum in de nazomer. Het hoge water in januari-maart gaat samen met de winterstormen, waardoor dood plantenmateriaal wordt weggespoeld. Daardoor vertraagt de verlanding en de bosvorming. De peilvariatie wordt verder vergroot door verschillen tussen jaren. In uitzonderlijk droge jaren kan ondiep water droogvallen, en dan kan riet zich uitbreiden. Daardoor ontstaat een geleidelijke land-water overgang met riet dat tot een halve meter diep in het water staat. Dit is het "helofytenmoeras", met water

tussen de stengels. Dit is belangrijk habitat voor vis, maar ook voor de productie van het systeem in het algemeen, met veel waterplanten en aangroei op rietstengels.

Door peilbeheersing is het natuurlijke seizoensverloop in de Nederlandse grote meren nu omgekeerd ten opzichte van het natuurlijke peil. Daardoor is de verlanding versneld en zijn harde overgangen van land naar water ontstaan. In de grote meren is er nog enige peildynamiek als gevolg van opstuwing door de wind, maar deze opstuwing heeft een heel ander karakter dan seizoensmatige peilfluctuatie. Hierdoor heeft zich bijvoorbeeld in het Zwarte Meer en in de IJsselmonding relatief lang open rietland gehandhaafd, met kensoorten als roerdomp en grote karekiet. Ook hier is de dynamiek echter verminderd, recent nog door de balgstuw en de bypass Kampen. Ook in het Zwarte Meer heeft Natuurmonumenten kortgeleden de rietvelden kunstmatig opnieuw geopend door oude watergangen uit te graven. Bij het kiezen van locaties voor natuurontwikkeling kan rekening worden gehouden met de resterende peildynamiek door windwerking. De eilanden in de IJsselmonding, projecten langs de Friese kust en de Houtribdijk, maar ook de Marker Wadden profiteren daarvan.

Intermezzo 11 Anticiperen op effect verwachte zettingen.

Anticiperen op effect verwachte zettingen

Het oppervlak en niveau van het onderwaterlandschap kan afnemen door het netto verlies van materiaal over de randen van het beschouwde gebied naar diepere delen (zie Intermezzo 8). De zetting van de ondergrond heeft een vergelijkbaar effect en maakt dat er sprake is van een geleidelijke afname van het gemiddelde bodemniveau. De mate waarin dit gebeurt is zowel afhankelijk van de kwaliteit van de ondergrond als de omvang van de extra aangebrachte bovenbelasting. Een uit veenlagen bestaande ondergrond zal leiden tot een aanzienlijke zettingswaarden.

De uiteindelijke zetting hangt overigens ook af van de reeds aanwezige voorbelasting. In het geval van de pilot Houtribdijk speelde daarbij de reeds aanwezige dijk en het onderliggende cunet een reducerende rol op de uiteindelijke zetting (EcoShape, 2018b) (EcoShape, 2018d).

In dergelijke gevallen wordt aanbevolen om hier bij het ontwerp reeds rekening mee te houden door het aanbrengen van een bepaalde overhoogte of het vroegtijdig anticiperen op het uitvoeren van onderhoudssuppleties waarbij het verlies weer wordt aangevuld door van extern aangevoerd materiaal. Deze laatste optie leidt dan overigens tot een, waarschijnlijk ongewenste, verstoring van het onderwaterlandschap.

Tot slot is ook inzicht in de ontwikkeling op langere termijn van belang, zeker in relatie tot verdere opschaalbaarheid van het initiatief (groeipotentie breder gebied).

7.3.5

Optimalisatie

Als tussenstap richting voorkeursalternatief moeten de ontwerpen op de hierboven genoemde onderdelen waar mogelijk worden geoptimaliseerd. Aandachtspunten zijn natuurlijk ook de mate waarin verwacht wordt dat het aangelegde onderwaterlandschap zal blijven liggen en de noodzaak tot bijsturen in de eerste beheerfase, en ook de aanwezigheid van ongewenste dode hoeken waar rommel zich kan ophopen en de waterkwaliteit slecht kan zijn door ophoping van bijvoorbeeld blauwalgen. Deze optimalisatie geldt ook ten aanzien van de kosten, zowel qua aanleg, inregeling als onderhoud.

Tijdens het optimalisatieproces wordt het ontwerp op steeds wisselende niveaus beschouwd. Centraal staat daarbij de dialoog met de stakeholders, afgewisseld met

de confrontatie met technische afwegingen en de effecten van de financiële en institutionele setting.

7.3.6 *Eindresultaat: voorkeursalternatief*

Uiteindelijk leidt een vergelijking tussen de verschillende ontwerpen tot een enkel voorkeursalternatief. Van belang hierbij is dat zowel het begin als het eindbeeld (na een aantal jaren) zo nauwkeurig mogelijk wordt beschreven.

7.3.7 *Slotopmerkingen: inzet rekenmodellen*

Mogelijk kan bij de optimalisatie gebruik worden gemaakt van kwantificerende tools zoals SWAN voor de golfwerking, Deltft3D-FM voor de stromingen. Inzet van bijvoorbeeld XBeach voor de morfologische ontwikkeling lijkt op dit moment nog niet veel toe te voegen omdat het model voor dit soort hydraulische omstandigheden nog niet voldoende is afgeregeld.

7.4 **Implementatiefase**

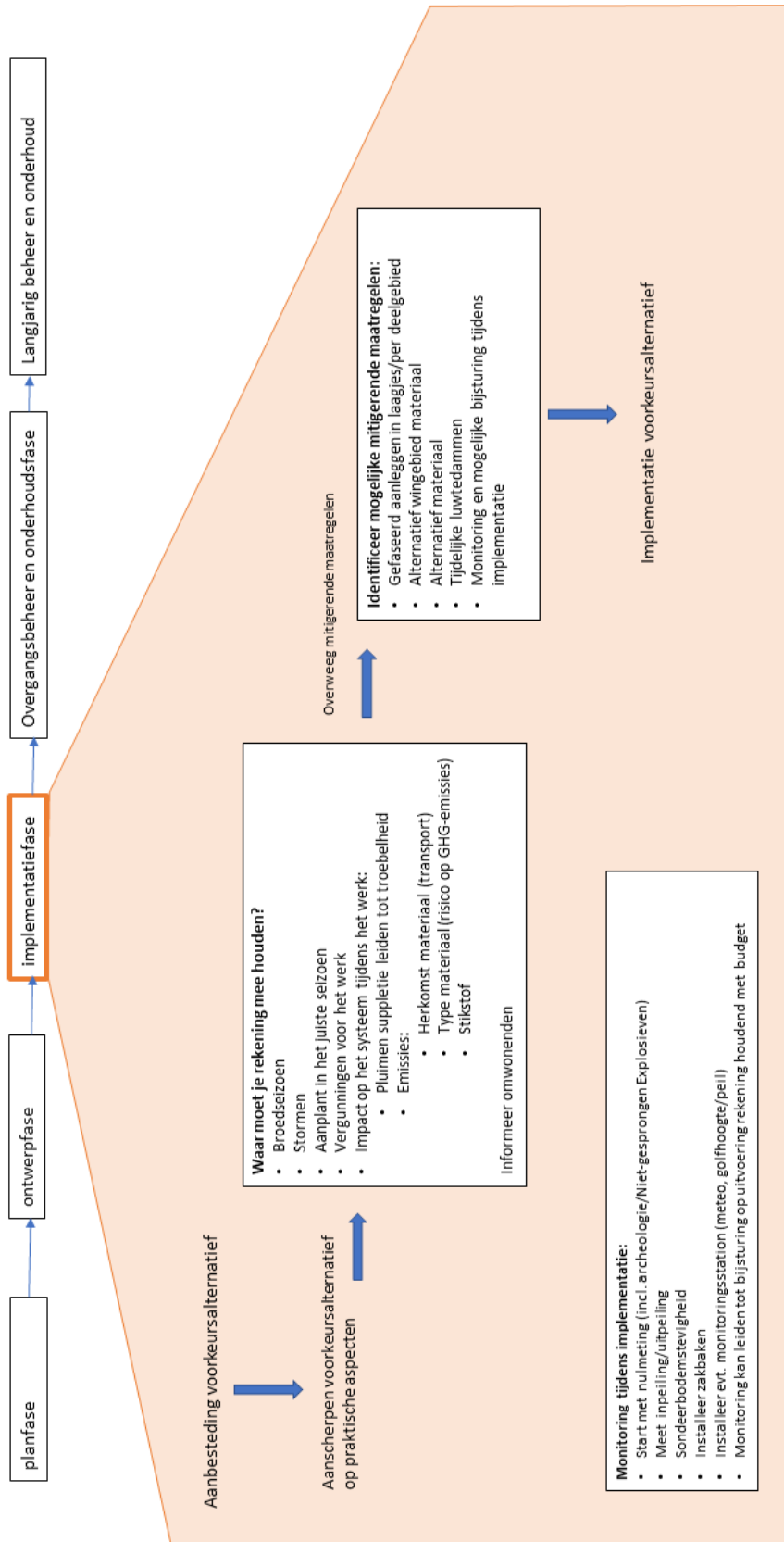
7.4.1 *Inleiding*

Een schematisch overzicht van de tijdens de implementatiefase van belang zijnde aandachtspunten is weergegeven in Figuur 4 **Error! Reference source not found.** In deze fase wordt het voorkeursalternatief aangescherpt op een aantal meer praktische aspecten. Waar moet zoal rekening mee worden gehouden en moeten er bijvoorbeeld mitigerende maatregelen worden genomen. Van belang is ook dat er tijdens de implementatiefase een adequaat monitoringsprogramma wordt gevolgd.

De drie belangrijkste (technische) onderzoeksvragen die voor de implementatie in Fase 1 van deze studie naar voren kwamen waren:

- *Welke mogelijkheden zijn er om de implementatie te optimaliseren op aspecten van materiaal gebruik en emissies tijdens grondverzet?*
- *Welke mogelijkheden zijn er om vegetatieontwikkeling tijdens de aanlegfase te bespoedigen?*
- *Moeten er tijdelijke maatregelen worden aangelegd ter bescherming van een onderwaterlandschap?*

Onderzoeksvragen 3 Samenvattend overzicht belangrijkste onderzoeksvragen voor implementatiefase.



Figuur 4 Belangrijkste onderdelen stappenplan implementatiefase.

7.4.2 *Waar rekening mee te houden?*

Bij de planning van de implementatie moet rekening worden gehouden met bijvoorbeeld het broedseizoen en de hiermee samenhangende vergunningen. Qua aanplanting heeft een geschikt seizoen natuurlijk de voorkeur.

Intermezzo 12 Mogelijkheden tot verbeterd opstarten vegetatieontwikkeling.

Opstarten vegetatieontwikkeling

Bij natuurontwikkelingsprojecten in de meren vestigen moeras- en waterplanten zich vanzelf. Wind, water en vogels brengen zaden en (kranswier)sporen aan. Zo waren in de ondiepte van het moerasediland Ierst direct in het eerste seizoen zes soorten waterplanten aanwezig, ook al ontbraken die soorten in het diepe water in de wijde omgeving.

Op nieuwe eilanden vindt vanaf oplevering een successie van land- en moerasvegetatie plaats die begint bij pioniers als moerasandijvie, ganzenvoet, goudknopje en blaartrekkende boterbloem, gevolgd door wilgen, lisdodde en riet. Vaak zijn wilgen ongewenst en rietontwikkeling gewild. Beide vraagt in afwezigheid van voldoende peildynamiek echter specifieke inrichting en beheer. Wilgen kunnen enigszins beperkt worden via de timing van wateropzet, maar moeten in de praktijk uiteindelijk actief verwijderd worden.

Rietontwikkeling wordt tegenwoordig vaak beperkt door ganzenvraat. Uitrasteringen totdat het riet voldoende massa en weerstand heeft kan dan helpen – deze strategie is gekozen bij de aanleg van nieuwe rietoevers in het Zwarte Water. Ook zijn daar grote uitgestoken 'rietmatrassen' vanuit de wieden gebruikt als ent-materiaal vanuit waar de rietkraag is opgestart. Dit werkt beter dan het aanplanten van individuele zaailingen omdat het wortelsysteem al veel beter ontwikkeld is en een robuuste basis vormt. Individuele zaailingen zijn kwetsbaar voor droogval of golfwerking. Op Marker Wadden handhaaft het riet zich vooralsnog alleen door een combinatie van het planten van wortelstokken en uitrastering tegen ganzen. Onderstaande foto toont de uitrastering van riet tegen ganzenvraat in aangelegde nieuwe rietoevers van geënte zoden in het Zwarte Meer (foto H. van Manen RWS).



Lisdodde is hier ook gestimuleerd door het uitstrooien van zaad. De ontwikkeling van ondergedoken vegetaties is wel eens gestimuleerd door het aanbrengen van sediment met zaden en sporen uit andere gebieden. Dit is onder meer op Marker Wadden en in het Eemmeer gebeurd, in beide gevallen gericht op kranswier. De resultaten zijn wisselend als gevolg van

andere beperkende factoren dan de beschikbaarheid van zaad of sporen, zoals water- en bodemkwaliteit. Terwijl hogere waterplanten zoals fonteinkruiden in het algemeen zeer snel spontaan present zijn, is de spontane vestiging van kranswier bij geschikte omstandigheden een kwestie van iets meer geduld.

Overigens is blijkt het aanslaan van riet alleen mogelijk op locaties waarbij er sprake is van een beperkte golfaanval. Het zelfs met beschermende maatregelen laten groeien van rietvegetatie rond de waterlijn van de pilot Houtribdijk was geen succes. Golfaanval die hoger is dan 0,2 m onder dagelijkse omstandigheden zorgt voor een dusdanige hoge dynamiek dat vegetatie in de oeverzone zich niet kan handhaven (EcoShape, 2018e).



In het Ketelmeer werden tijdelijke vooroevers en damwanden gebruikt om de rietzone te laten ontstaan. Voorbeelden van dergelijke tijdelijke luwtmaatregelen in het ketelmeer om ondiepe zone en rietoevers te beschermen zijn te zien in bovenstaande foto (bron H van Manen RWS).

Specifieke aandacht zal moeten worden gegeven aan de impact op het omliggende systeem tijdens de uitvoering van het werk. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld troebelheid en emissies.

7.4.3 *Ondersteunende mitigerende maatregelen*

Teneinde de impact van de implementatiefase te beperken kunnen verschillende uitvoeringsvormen worden overwogen. Voorbeelden daarvan zijn het gefaseerd aanleggen (per laag of deelgebied) en het gebruik van tijdelijke luwtedammen. Ook kan het gebruik van alternatief materiaal, bijvoorbeeld uit een ander wingebed een oplossing bieden.

7.4.4 *Ondersteunende monitoring*

Mede ten behoeve van de vergunningverlening dient er tijdens de implementatie ook nadrukkelijk te worden gemonitord. Daarbij moet altijd worden gestart met een zogenaamde nulmeting, inclusief archeologie en niet-gesprongen explosieven.

Ook onderzoek van de ondergrond (sonderingen) en het installeren van zakkbakens maakt onderdeel uit van deze monitoringsactiviteit.

De uit deze monitoring af te leiden inzichten kunnen eventueel leiden tot een bijsturing van de uitvoering. Hiertoe kan eventueel ook nog de inzet van een

monitoringsstation (golfhoogte, meteo-omstandigheden) worden overwogen om zo de waargenomen ontwikkelingen beter te kunnen duiden.

Intermezzo 13 Overzicht uit te voeren monitoring.

Uit te voeren monitoring

Monitoring tijdens en vlak na de aanleg kan zich toespitsen op verschillende aspecten: Hydrodynamica (golven en stroming), morfologische ontwikkeling van het onderwaterlandschap, eventuele pluimvorming van zwevend stof tijdens de aanleg en ecologische aspecten.

Hydrodynamica monitoren is vooral nuttig als een beter beeld moet worden verkregen van de lokale situatie op dit punt: zijn golven en stromingspatronen nog slecht bekend in ruimte en tijd dan is de plaatsing van bijvoorbeeld druksensoren aan te bevelen in combinatie met een lokaal meteo-station. Een deel van deze informatie kan ook uit de toepassing van gedetailleerde hydrodynamica modellen worden verkregen.

De morfologische monitoring moet worden opgesplitst in zettingen van de ondergrond en verspreiding van het aangebrachte materiaal in de ruimte (zowel langtransport naar aanliggende gebieden als dwarstransport wat veelal verlies naar diepere delen inhoudt).

De hoeveelheid zetting van de ondergrond kan weliswaar worden gekwantificeerd met sondering vooraf, maar in het veld aangebrachte zakbakens helpen de daadwerkelijk zetting te monitoren tijdens en na aanleg, zodat eventueel kan worden bijgestuurd in het aan te brengen volume. Bovendien kan zo een beeld verkregen worden over de uiteindelijk te verwachten zettingen en daarmee samenhangende verliezen van de dimensies van het onderwaterlandschap (zie ook Intermezzo 11).

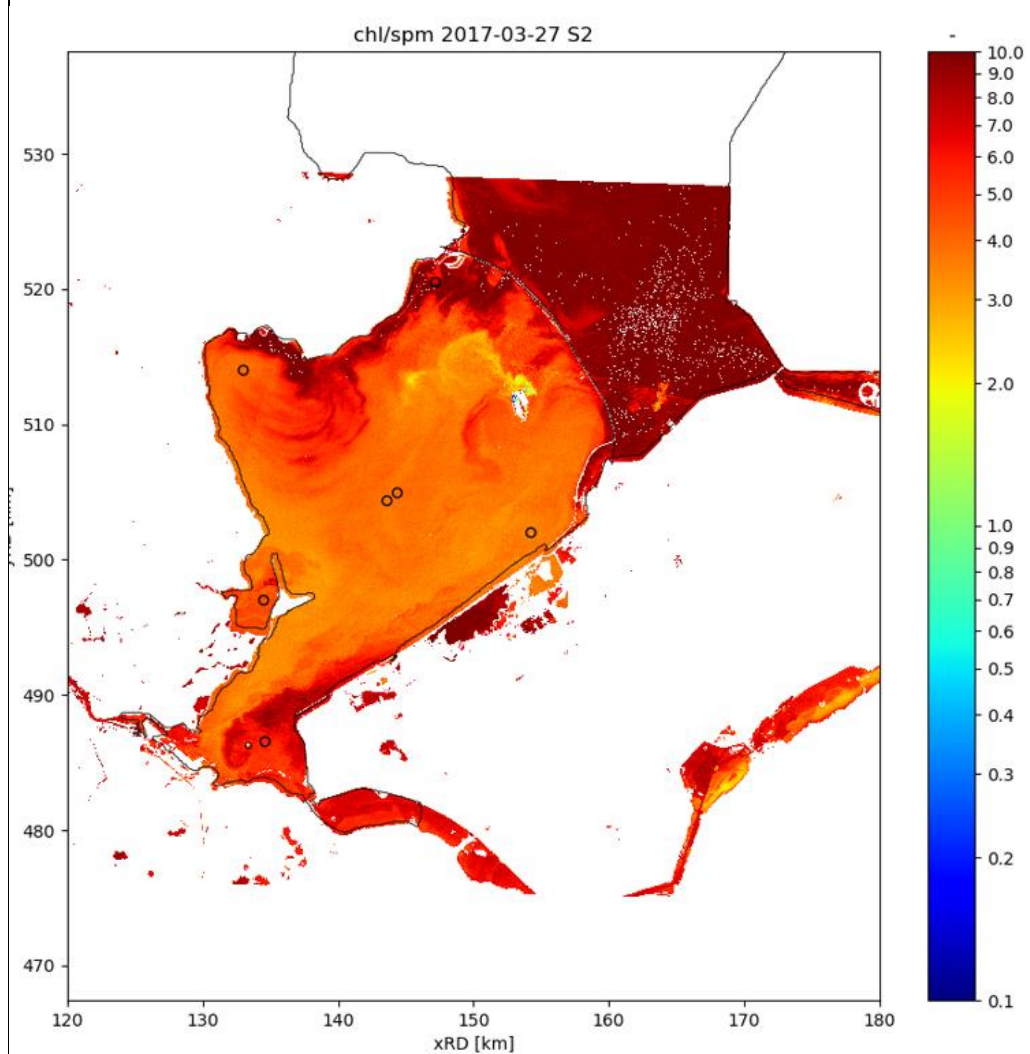
Voor de verspreiding van materiaal door golf- en stromingspatronen zijn vlakdekkende inmetingen met bijvoorbeeld een multi-beam tijdens, in en na de periode na de aanleg nodig. Ook deze informatie helpt bij het al dan niet beslissen of meer materiaal moet worden aangebracht.

Ecologische monitoring tijdens de aanleg moet zich vooral richten op het niet creëren van een onacceptabele verstoring in relatie tot de gedefinieerde toelaatbare verstoring. Hiervoor zijn veldobservaties van bijvoorbeeld vogelbewegingen nodig. Voor verstoringen onderwater wordt vaak gerefereerd naar het monitoren van de verspreiding van de pluim van zwevend stof die tijdens de implementatie kan worden veroorzaakt. Vanuit de vergunningverlening worden hier vaak bepaalde eisen aan gesteld ten aanzien van de duur en intensiteit van de verhoging ten opzichte van de achtergrondwaarden (EcoShape, 2018a), (EcoShape, 2018c).

Een goede lange termijn monitoring van natuurontwikkelingsprojecten is cruciaal voor kennisontwikkeling ten behoeve van bijstelling in de periode na aanleg en volgende projecten. Helaas is het vaak een stiefkindje van financiële beperkingen. Voor ecologische en hydro-morfologische en meteo-data inwinning op langere termijn kan dat betekenen de evaluatie moet worden uitgevoerd op basis van de reguliere monitoring vanaf bestaande meetstations en van ecologische standaardmonitoring van het gehele waterlichaam, zonder specifieke, lokale data. Als er wel een specifiek monitoringsprogramma is, loop dit vaak maar een paar jaar. Dat kan tekortkomingen aan het licht brengen, maar ook de successen in het beginstadium. Die successen zijn echter vaak gekoppeld aan de pioniersstadia van flora en fauna. Een monitoringsprogramma van vijf jaar of minder brengt nog niet het uiteindelijke resultaat in beeld omdat gemiddeld genomen een systeem pas na 10 jaar in een stabielere fase is gekomen.

Welke parameters moeten worden gemonitord hangt natuurlijk af van de doelstellingen. Met betrekking tot arealen bovenwater habitat is tegenwoordig veel mogelijk met remote sensing,

hetzij met satellietbeelden, hetzij met vliegtuig of dronebeelden. Moerasvegetatie kan met behulp van drones goed in beeld worden gebracht. Onder water is dit veel lastiger omdat licht onderwater met de diepte uitdooft/ het water troebel kan zijn of verschillen tussen bijvoorbeeld draad- en kranswier niet zichtbaar zijn. Het kan daarom zinvol zijn om de reguliere karteringen van waterplanten uit te breiden met de nieuw ontwikkelde arealen. Luwte-effecten kunnen met satellietbeelden goed worden gevolgd, via bewerking voor parameters als chlorofyl, zwevend stof of lichtuitdoving. Verder zijn dieptelodingen zinvol. Vogeltellingen zijn zinvol als het doelsoorten betreft, maar ook als indicatoren van habitatkwaliteit.



Bovenstaande figuur betreft van een verwerkt satellietbeeld waarin chlorofyl en zwevend stof signaal op elkaar gedeeld worden in een ratio-kaart. De luwe gebieden zijn donkerder (d.w.z. relatief veel algen in het zwevend stof, en geel een pluim is van werkzaamheden met relatief veel anorganisch opgewerveld slib bij de Marker Wadden).

7.4.5

Resultaat: implementatie voorkeursalternatief

Uiteindelijk leidt dit tot de implementatie van een geoptimaliseerd en op praktische aspecten bijgesteld voorkeursalternatief.

7.5 Overgangsbeheer en onderhoudsfase

7.5.1

Inleiding

Figuur 5 geeft een schematisch overzicht van de tijdens deze fase van belang zijnde aandachtspunten. Feitelijk volgen deze uit de vergelijking van het gewenste eindbeeld met de criteria op basis waarvan het beheer moet worden uitgevoerd. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de monitoringsgegevens zoals deze reeds in de implementatiefase zijn benoemd.

De twee belangrijkste (technische) onderzoeksvragen die voor de volledige beheer- en onderhoudsfase in Fase 1 van deze studie naar voren kwamen waren:

- *Wat moet worden gemonitord en met welke frequentie?*
- *Hoe moet deze monitoring worden uitgevoerd?*
- *Met welke grenswaarden kan worden gewerkt als signaalwaarden voor ingrijpen?*

Onderzoeksvragen 4 Samenvattend overzicht belangrijkste onderzoeksvragen voor volledige beheer- en onderhoudsfase.

7.5.2

Criteria als aanleiding voor beheersmaatregelen

Reden voor het nemen van extra beheersmaatregelen kunnen gelegen zijn in tal van aspecten. Te noemen valt bijvoorbeeld het optredende van onverwacht grote zettingen en/of verliezen van materiaal langs de randen. Ook de vestiging van ongewenste soorten of overdadige vraat kan als een aanleiding worden gezien.

Intermezzo 14 Grenswaarden als signaalwaarde voor ingrijpen.

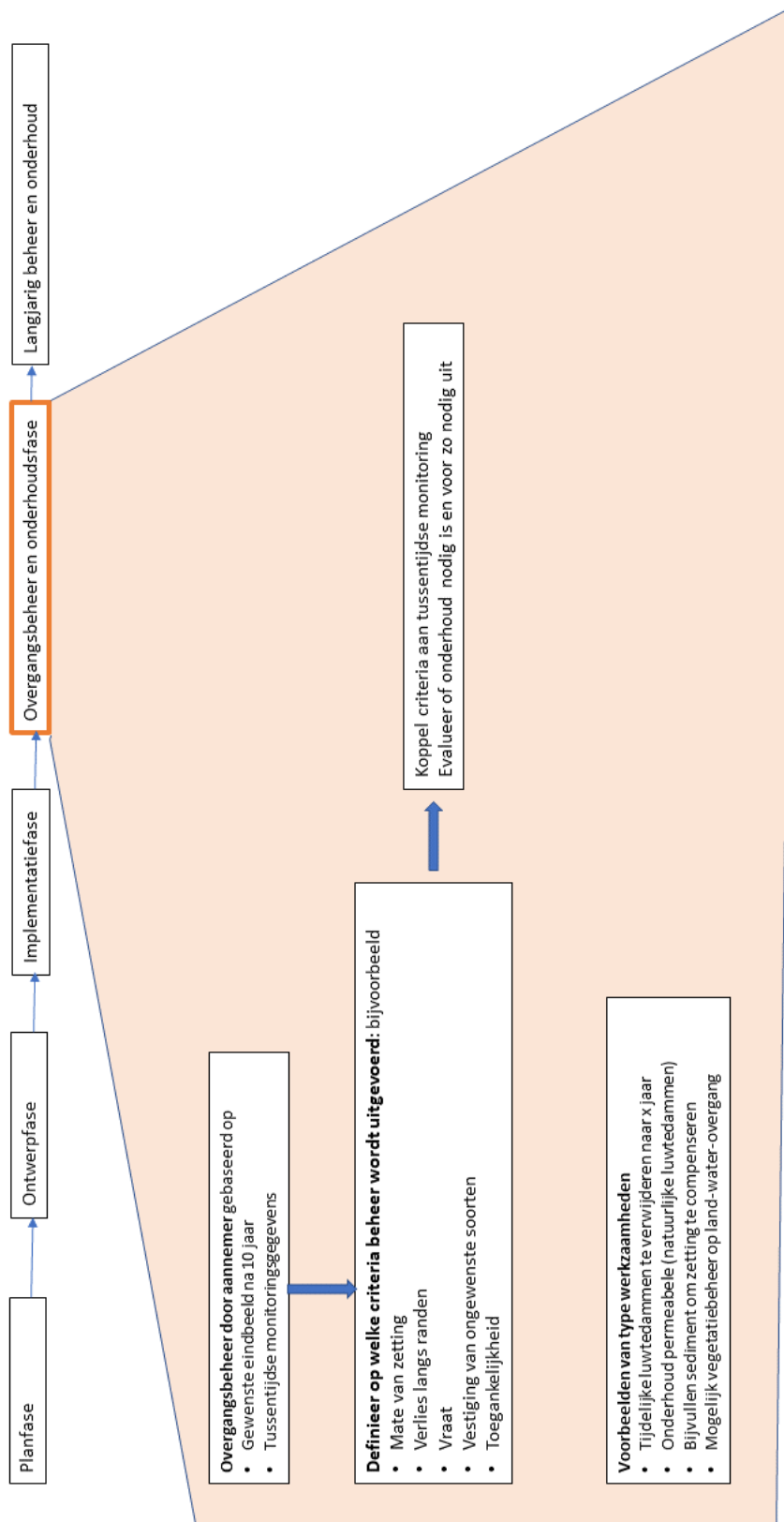
Grenswaarden

Afhankelijk van het ontwerp en de locatie zijn beelden geschetst waar het onderwaterlandschap aan moet voldoen. Deze helpen bij het definiëren van grenswaarden die minimaal aanwezig moeten zijn: bijvoorbeeld is er voor gekozen om x ha van een gegeven diepte te willen hebben, dan moet er door monitoring van het diepteprofiel worden bepaald of dit oppervlak nog aanwezig is (zie ook Intermezzo 8). Wanneer het oppervlak teveel is afgenomen, en het areaal in gevaar dreigt te komen, moet beheer worden uitgevoerd. Ook kan bijvoorbeeld zetting een rol spelen: zakt een onderwaterlandschap onder een bepaalde kritische grenswaarde, dan moet er weer ingegrepen worden (zie ook Intermezzo 11).

Daadwerkelijk harde grenswaarden zijn niet te geven omdat deze afhankelijk zijn van het doelstellingen, ontwerp en de locatie. Wel kunnen voor het bepalen van grenswaarden kunnen de volgende overwegingen meegenomen worden:

- Hoeveel verlies van materiaal sta je toe?
- Meet de morfologische ontwikkeling van het onderwaterlandschap na een storm extra in en wees alert op events die invloed kunnen hebben op de staat van de onderwaterlandschap.
- Meet ook jaarlijks de zetting door zakbaken in te meten en volg de ontwikkeling van de randen periodiek

De grenswaarden zijn mede afhankelijk van de ligging/expositie ten opzichte van wind en golven.



Figuur 5 Belangrijkste onderdelen stappenplan overgangsbeheer en onderhoud.

7.5.3 *Eindresultaat: Evaluatie als aanleiding tot ingrepen*

Op basis van zowel de resultaten van de monitoring en als de van belang zijnde criteria kan de noodzaak tot het uitvoeren van additioneel onderhoud worden gedefinieerd.

7.5.4 *Voorbeelden van type werkzaamheden*

Voorbeelden van mogelijk naar aanleiding van deze evaluaties te treffen maatregelen zijn bijvoorbeeld het na een aantal jaar verwijderen van tijdelijke luwtedammen of juist het onderhoud van permeabele (natuurlijke) luwtedammen. Ook kan gedacht worden aan het aanvullen met extra sediment om de effecten van zetting te compenseren of mogelijk vegetatiebeheer op de land-water-overgang.

7.6 Langjarig beheer en onderhoud

7.6.1 *Inleiding*

In Figuur 6 is een schematisch overzicht gegeven van de tijdens deze beheer- en onderhoudsfase van belang zijnde aandachtspunten.

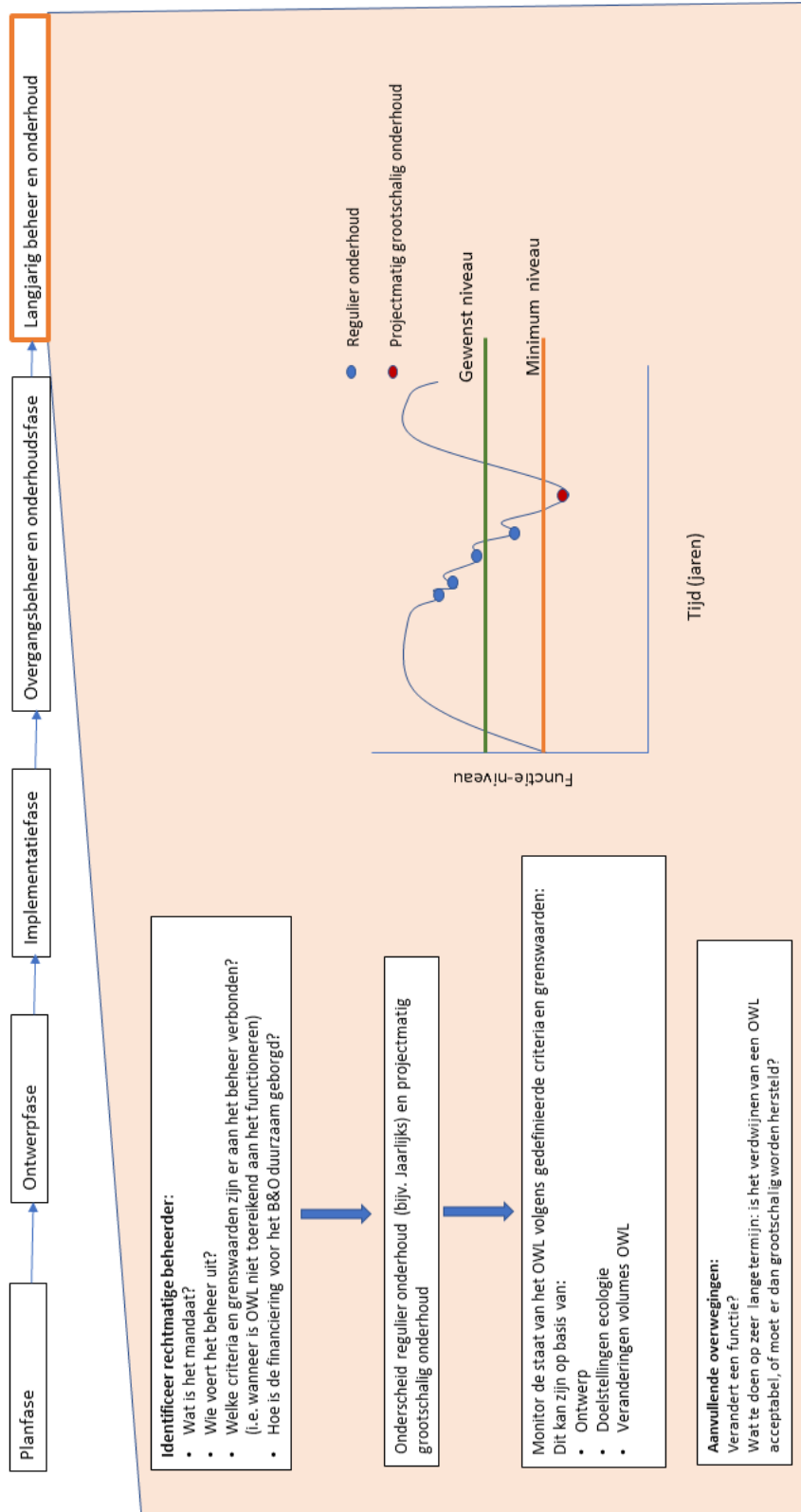
7.6.2 *Beheerder, criteria en financiering*

Cruciaal is wie het feitelijke beheer gaat uitvoeren en wat zijn/haar mandaat daarbij is. In dit verband dient ook helderheid te bestaan over welke criteria en grenswaarden aan dit beheer zijn verbonden. Met andere woorden, wanneer voldoet het onderwaterlandschap niet meer aan de gestelde eisen en is deze niet meer toereikend aan het functioneren.

Ook is het van belang duidelijkheid te hebben over de wijze waarop het langere termijn beheer en onderhoud financieel is geborgd. Veel van deze afspraken moeten al in de planfase worden besproken, ter voorkoming van problemen in deze fase.

7.6.3 *Verschillende typen onderhoud*

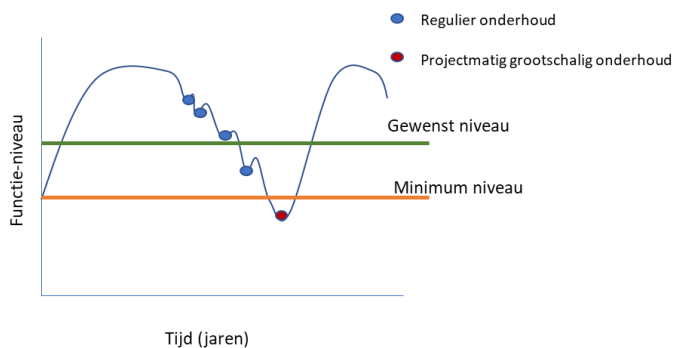
Er moet onderscheid worden gemaakt tussen regulier (bijvoorbeeld jaarlijks) onderhoud en meer grootschalig onderhoud.



Figuur 6 Belangrijkste onderdelen stappenplan Langjarig beheer en onderhoud.

*Intermezzo 15 Regulier en langjarig onderhoud.***Regulier en langjarig onderhoud**

Regulier onderhoud vindt periodiek plaats, en kan worden ingevuld met eenvoudige middelen. Zo kan bijvoorbeeld worden gekeken of luwtemaatregelen nog in voldoende goede staat zijn om hun functie stabiel te blijven waarborgen, of recreatief medegebruik geen grote schade toebrengt aan het onderwaterlandschap en of er geen onverwachte veranderingen vragen om aandacht. Onderdeel van het regulier onderhoud kan ook zijn dat er jaarlijks wordt gemonitord wat de zetting is en hoe de randen van het onderwaterlandschap zich houden. Op basis van deze monitoring kan ook worden bepaald of er een neerwaartse trend is in het onderwaterlandschap (teveel zetting, te veel erosie) waarvoor grootschaliger projectmatig onderhoud nodig is. Bijvoorbeeld als na 10 jaar het onderwaterlandschap door zetting te diep is geworden, kan het worden overwogen of het nodig is om aanvullende suppletie uit te voeren.



Zoals al genoemd in Intermezzo 11 leidt dit laatste wel tot een significante verstoring van het op dat moment aanwezige onderwaterlandschap. Overwogen kan dan ook worden om slechts een deel (bijvoorbeeld de helft) van het onderwaterlandschap van een extra laag materiaal te voorzien, zodat flora en fauna vanuit de andere helft de bezande sectie weer kunnen koloniseren, waarmee de schade in het onderhoud mogelijk beperkter blijft dan wanneer in een keer het volledige oppervlak bedekt wordt en daarbij de volledige aanwezige flora en fauna verstikt. Overwogen kan worden of een dergelijk 'meegroeionderwaterlandschap' een relevante, meer ecologisch verantwoorde beheerstrategie is.

Ook kan het na een bepaald aantal jaren nodig zijn om luwtemaatregelen te herstellen omdat de luwtemaatregel dusdanig is beschadigd dat golven weer vrij spel hebben achter de luwtemaatregel: dit valt ook onder de categorie projectmatig grootschalig onderhoud.

7.6.4 Monitoring op criteria en grenswaarden

De actuele staat van het onderwaterlandschap moet worden vastgelegd volgens duidelijk gedefinieerde criteria en grenswaarden. Dit kan zijn op basis van ontwerpoverwegingen, ecologische doelstelling of meer kwantitatief door het beschouwen van veranderingen in het volume van het onderwaterlandschap.

*Intermezzo 16 Voorbeelden langjarige ontwikkelingen.***Voorbeelden langjarige ontwikkelingen**

Natuurlijke landschappen zijn altijd in enige fase van ontwikkeling: vanuit een pioniersfase na aanleg zal het onderwaterlandschap worden gekoloniseerd door flora en fauna, en zal het zich morfologisch vormen naar een dynamisch evenwicht, waarbij door gebrek aan getijde mogelijk wel langjarig langzame erosie kan optreden. Vaak is een situatie na een jaar of 10 in een min of meer 'stabiele' situatie gekomen, waarbij de pioniersfase niet meer aanwezig is. Wel kan door extreme stormen dan nog onverwachte verandering optreden die gemonitord moet worden.

Over langjarige ontwikkeling van praktijkvoorbeelden is voor morfologische ontwikkeling vaak niet lang genoeg gemonitord: de monitoring ontbreekt vaak of is bewust na een aantal jaren na aanleg al gestopt. Een voorbeeld hiervan is moeraseiland Ierst: het test-eiland met oermoeras dat in 2013 in het Markermeer werd aangelegd om te onderzoeken hoe een dergelijk aangelegd stuk onderwaterlandschap en plas-drasmoeras zich zou ontwikkelen. Ierst is niet onderhouden en behalve een deel van de ringwal inmiddels geheel onder water gezakt. De onderwaterontwikkelingen zijn nog slechter in beeld hier, maar dit geldt voor veel van dit soort natuurontwikkelingsprojecten: zeer ondiep water wordt vaak niet bemonsterd voor bijvoorbeeld morfologische ontwikkelingen omdat het slecht begaanbaar is (let wel – zeker niet onmogelijk, wel lastiger omdat het met een multi-beam vanaf een schip niet in te meten is, maar handmatig moet worden ingemeten met bijvoorbeeld een handheld dGPS).

Als een onderwaterlandschap gekoppeld is aan plas-drasoevers of eilanden moet ook rekening worden gehouden met verlanding. Zo is in 1994 natuurontwikkelingsproject Abbert II aangelegd, nabij het eiland Abbert in het Drontermeer. Het project bestond uit circa 110 opgespoten miniatuur eilanden voor natuurontwikkeling, met als doel dit rietmoeras-eilandjes te laten zijn (Remmelzwaal A.J., 2001). Deze eilandjes zijn inmiddels begroeid met bos en de rietkragen van de verschillende eilandjes zijn aan elkaar gegroeid tot een uitgebreider rietveld.



Luchtfoto van de een deel van Abbert II in het Drontermeer in 2005 (links) en in 2021(rechts) (Bron Google Earth Pro) waarop duidelijk te zien is dat de rietkragen tussen de individuele eilandjes zich verder hebben uitgebreid in deze periode.

Andere langjarige ontwikkelingen kunnen worden gevolgd doordat vogels als indicatoren een goede optie: pioniersstadia en het verdwijnen daarvan zijn goed afleesbaar aan de vogelbevolking.

7.6.5

Aanvullende overwegingen

Het zou bijvoorbeeld zo kunnen zijn dat de functie van het onderwaterlandschap wijzigt. Van belang is dat er een onderscheid wordt gemaakt tussen het (jaarlijkse) reguliere onderhoud en het meer projectmatige grootschalige onderhoud.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

In eerste aanzet was het de bedoeling om een primair kwantitatieve invulling te geven aan de ontwerpprincipes voor onderwaterlandschappen. Aanleggen van een onderwaterlandschap blijkt echter zeer context specifiek. Dit is ook de reden dat deze uitwerking niet heeft geresulteerd in getalsmatige, technische aspecten, maar in een handreiking van de aspecten waarmee in de verschillende fasen van de ontwikkeling van een onderwaterlandschap rekening mee moet worden gehouden.

Het vooraf bewust zijn van deze aspecten in de verschillende fasen kan als cruciaal worden beschouwd. Daarmee kan ook op tijd worden ingegrepen wordt voorkomen dat niet de juiste inzichten beschikbaar komen.

De ervaringen zijn primair gebaseerd op bestaande projecten. Nieuwe projecten leveren nieuwe inzichten, zeker als daarbij op voorhand qua monitoring op wordt ingespeeld (zie ook bij de aanbevelingen).

In de handreiking is de uitwerking met name betrokken op de meer technische aspecten. Institutionele aspecten zoals het vastleggen van het mandaat en de financiële kant gedurende de hele life cycle van een onderwaterlandschap zijn echter ook van wezenlijk belang. Deze meer proces-achtige vragen kwamen ook naar voor in de gewonnen onderzoeksvragen.

8.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de uitwerkingen kunnen de volgende aanbevelingen worden geformuleerd.

Ten aanzien van de lange-termijn monitoring wordt een meer actief beleid aanbevolen. Dit kan mede worden bereikt door reeds in de planfase onderhoud en monitoring als belangrijke onderwerpen in de discussies te betrekken en in deze fase de in deze rapportage genoemde key-performance indicatoren vast te leggen. Op deze wijze kan eenduidiger worden gedefinieerd welk onderhoud nodig is en kunnen ook aanpassingen daarin beter worden geëvalueerd.

Als resultaat van een dergelijke meer gestructureerde monitoring komt ook meer informatie beschikbaar over de zogenaamde grenswaarden. Daarmee kan een geüpdatete versie van deze handleiding wellicht van meer kwantitatieve handvatten worden voorzien.

Verder wordt aanbevolen meer aandacht te besteden aan emissie-monitoring en circulair werken.

Tot slot beperkt de handreiking zich tot onderwaterlandschappen en worden geen uitspraken gedaan over de hier mee verband houdende land-water-overgangen. Zowel ten aanzien van het ontwerp als het beheer en onderhoud daarvan is nog wel veel winst te halen.

Referenties

- Arcadis. (2022). *Kennis en Innovatie programma Marker Wadden/KIMa. Resultaten onderdeel Thema 1 'Bouwen met slib en zand', Onderzoek zandige randen. Eindrapportage project 30067433-C03011.000543 (in voorbereiding).*
- Bretschneider, C. L. (1958). *Revisions in Wave Forecasting: Deep and Shallow Water. Proceedings of the 6th Conference on Coastal Engineers, ASCE, 1958, pp. 30.*
- Deltares. (2022). *Syntheserapport KIMA; De eerste vijf jaar onderzoek op Marker Wadden (in voorbereiding/af ronding).*
- EcoShape. (2018a). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Lessons-learned vergunningen. Document 078275948:A .*
- EcoShape. (2018b). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Lessons-learned aanleg. Document 078276043:A.*
- EcoShape. (2018c). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Guideline vergunningen. Document 078680109:A.*
- EcoShape. (2018d). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Guideline aanleg. Document 078680471:A.*
- EcoShape. (2018e). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Guideline beheer en onderhoud.*
- EcoShape. (2018f). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Overkoepelende hoofdrapportage.*
- Hegge, B. E. (1996). *Sheltered sandy beaches of southwestern Australia. Journal of coastal Research, pp.748-760.*
- Remmelzwaal A.J., D. J. (2001). *De ontwikkeling van natuurproject Abbert II. RIZA werkdokument 2001.061.X. In opdracht van Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied.*
- Rijkswaterstaat/MinIenW. (2020). *Vraagspecificatie Ontwerp onderwaterlandschap. Zaaknummer 31162395, versie 4 (definitief) d.d. 27 juli 2020.*
- Steetzel et al. (2017). *Building with nature pilot sandy foreshore Houtribdijk; Design and behaviour of a sandy dike defence in a lake system. Coastal Dynamisc 2017.*
- Ton, A. et al. (2020). *Sandy beaches in low-energy, non-tidal environments: Linking morphological development to hydrodynamic forcing. Geomorphology. 374. 107522. 10.1016/j.geomorph.2020.107522.*
- Travers. (2007). *Low-energy beach morphology with respect to physical setting: A case study from Cockburn Sound, Southwestern Australia. Journal of Coastal Research, 23(2), 429-444. <https://doi.org/10.2112/04-0275.1> .*
- Turlings, L. (2020). *Project Wieringerhoek. Notitie Reikwijdte en detailniveau. Rijkswaterstaat Midden Nederland i.s.m. Witteveen en Bos. Definitieve rapportage maart 2020. Lelystad.*
- Van der Weij. (2005). *De Markermeerstranden onderzocht; Kansen voor schelpenstranden. Afstudeerscriptie Universiteit Twente, september 2005.*
- Van Zuidam, B.G. and Peeters, E.T. (2015). *Wave forces limit the establishment of submerged macrophytes in large shallow lakes. Limnology and Oceanography, 60(5), pp.1536-1549.*
- Westendorp P.J., E. R. (2019). *Onderbouwing ecologische maatregelen IJsselmeergebied. Het areaal land-waterovergangen. Literatuurstudie. B-WARE BV, Radboud Univ. Nijmegen, rapport RP-19.072.20.18. Nijmegen.*

Bijlagen

Bijlage 1 – Handreiking onderwaterlandschappen

1 Achtergrond en totstandkoming

Onderwaterlandschappen vormen een belangrijk onderdeel van zoetwater ecosystemen. Ze bieden voor veel flora en fauna een geschikt habitat en verbinden het diepe open water met de oeverzones. Vanuit ecologisch perspectief is wel bekend hoe een dergelijk onderwaterlandschap er nu precies uit moet zien, en ligt de nadruk op *het aanleggen van gradiënten in diepte, substraat, voedselrijkdom, dynamiek, en het creëren van mogelijkheden en ruimte voor natuurlijke processen zoals energie/nutriënten-kringlopen (voedselweb), sedimentatie en erosie, waterpeildynamiek*. Deze processen zorgen samen voor een grotere diversiteit in ecotopen en daarmee voor een grotere biodiversiteit en robuuster ecosysteem zorgen.

Echter, hoe deze onderwaterlandschappen/zandige oevers het beste ontworpen en aangelegd kunnen worden in de Nederlandse grote meren zonder getijde-invloed zoals in het IJsselmeergebied of afgesloten zeearmen zoals in de zuidwestelijke delta, is veel minder duidelijk. Het morfologisch gedrag van het onderwaterlandschap wordt bepaald door de aanwezige natuurlijke dynamiek. Als gevolg van winddynamiek en stroming is de kans groot dat een onderwaterlandschap op de langere termijn verandert. Als er meer erosie dan sedimentatie optreedt kan het zijn oorspronkelijke beoogde ecologische functie verliezen. Het zandlichaam helemaal inpakken in bijvoorbeeld stortsteen is ook weer niet de bedoeling want dan verliest het ook zijn ecologische functie.

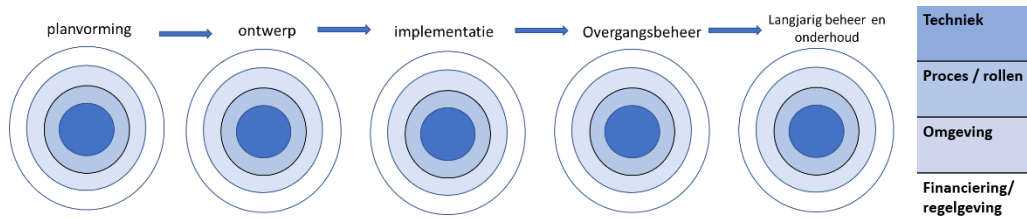
Deze handreiking gaat dan ook in op de vraag:

"Hoe ontwerp, realiseer en onderhoud je een stabiel morfologisch onderwaterlandschap/zandige oevers in grote Nederlandse binnenwateren zonder getij en rivierstroming, zodat het de gewenste resultaten oplevert voor het ecosysteem?"

In de handreiking onderscheiden we vijf fases in de realisatie van een onderwaterlandschap:

1. Planvormingsfase
2. Ontwerpfase
3. Implementatiefase
4. Overgangsbeheerfase
5. Langjarig beheer en onderhoudsfase

De handreiking gaat in de kern vooral over de technische kennis van hydro-morfologische processen, zodat het onderwaterlandschap ook op de langere termijn zijn functie blijft behouden. Daarnaast is ook in meer algemene zin aandacht voor aspecten zoals proces- en planningsaspecten met bijbehorende rollen en verantwoordelijkheden, financiën en regelgeving (zie Figuur 7).



Figuur 7 Overzicht van de 5 fases in de realisatie van een onderwaterlandschap. Per fase is zeer specifieke kennis nodig van techniek (donkerblauw), proces (blauw), omgeving (lichtblauw) en financiering en regelgeving (wit).

De handreiking geeft per fase relevante informatie en overwegingen voor elk van deze aspecten en is tot stand gekomen op basis van interviews met betrokkenen uit het werkveld, aangevuld met expert-kennis en informatie uit voorbeeldcases uit relevante gebieden.

Voor elke fase geven we een overzicht van de belangrijkste factoren en stappen in het proces.

Definitie omvang benodigd areaal

Vanuit ecologisch perspectief bestaan vuistregels voor een percentage van een gebied dat uit een bepaald type habitat moet bestaan. Als voorbeeld nemen we de inrichting van de Wieringerhoek. Dit is een van de projecten van PAGW IJsselmeergebied waarbij wordt gestreefd naar het creëren van enkele ondervertegenwoordigde habitats in het noordwestelijk deel van het IJsselmeer, met name ondiepten met waterplanten, overstromingsgrasland en helofytenmoeras (Turlings, 2020). De gewenste arealen hiervan zijn onder meer gebaseerd op de aanname dat 10% van het wateroppervlak uit de genoemde habitats moet bestaan. Dat is echter aan de magere kant.

De review van Westendorp et al. stelt dat voor een effect op watersysteemniveau een areaal van 5-10% waterriet nodig is en 10-25% waterplanten (Westendorp P.J., 2019). Overstromingsgrasland (en drogere delen van moerasgebieden) zijn hierbij nog niet inbegrepen. De arealen waarnaar bij de Wieringerhoek wordt gestreefd zijn verbonden aan de arealen die op andere PAGW-locaties in het IJsselmeergebied moeten worden gerealiseerd. Op basis van de genoemde 10% is dat ongeveer 18.000 hectare, waarvan de Wieringerhoek 20% toebedeeld heeft gekregen. Daarbij is in eerste instantie uitgegaan van een gelijke verhouding tussen de verschillende habitats in alle PAGW projectgebieden. De opgave moet in 25-30 jaar op pragmatische en adaptieve wijze worden gerealiseerd, dat wil zeggen inspeland op de kansen en beperkingen van de vijf verschillende PAGW-locaties in het IJsselmeergebied en op de overige ontwikkelingen in het gebied.

Intermezzo 1 Definitie omvang benodigd areaal vanuit ecologisch perspectief.

2 Fase 1 - Planfase

2.1 Stappenplan

In de planfase wordt gestart met het afbakenen van het zoekgebied, zijnde het gebied waarbinnen ergens een onderwaterlandschap moet worden gerealiseerd.

Stap 1. Verzamel de benodigde data voor een goede systeemanalyse.

- Data over diepte, stromings- en golfpatronen, peildynamiek, sedimenttypologie, de sterkte van de ondergrond en huidige ecologische waarden zijn allemaal nodig voor een goede technische systeembeschrijving. Mist dit soort data dan zal die ingewonnen moeten worden, of via bijvoorbeeld hydrodynamische modellen tot een benadering te worden gekomen.
- Verzamel informatie over de omgevingsfactoren en sociaaleconomische waarden in het gebied nu, en in een situatie met een onderwaterlandschap, inclusief het uitvoeren van een omgevingsanalyse en andere plannen die in het gebied spelen, bijvoorbeeld mogelijke plannen rondom de Regionale Energie Transitie.
- Verzamel informatie over regelgeving en financiering in het gebied, bijvoorbeeld criteria vanuit N2000 en de Wet Natuurbescherming, eigendomsrechten etc.

Beschrijf hoe het systeem zich gedraagt onder verschillende type events, zoals bijvoorbeeld eens per jaar, 1x per 10 jaar en 1x per 50 jaar, zodat de hydro-morfologische dynamiek kan worden ingeschat: wat zijn de te verwachte golfhoogtes en stromingspatronen op de locatie op dit moment onder zulke omstandigheden.

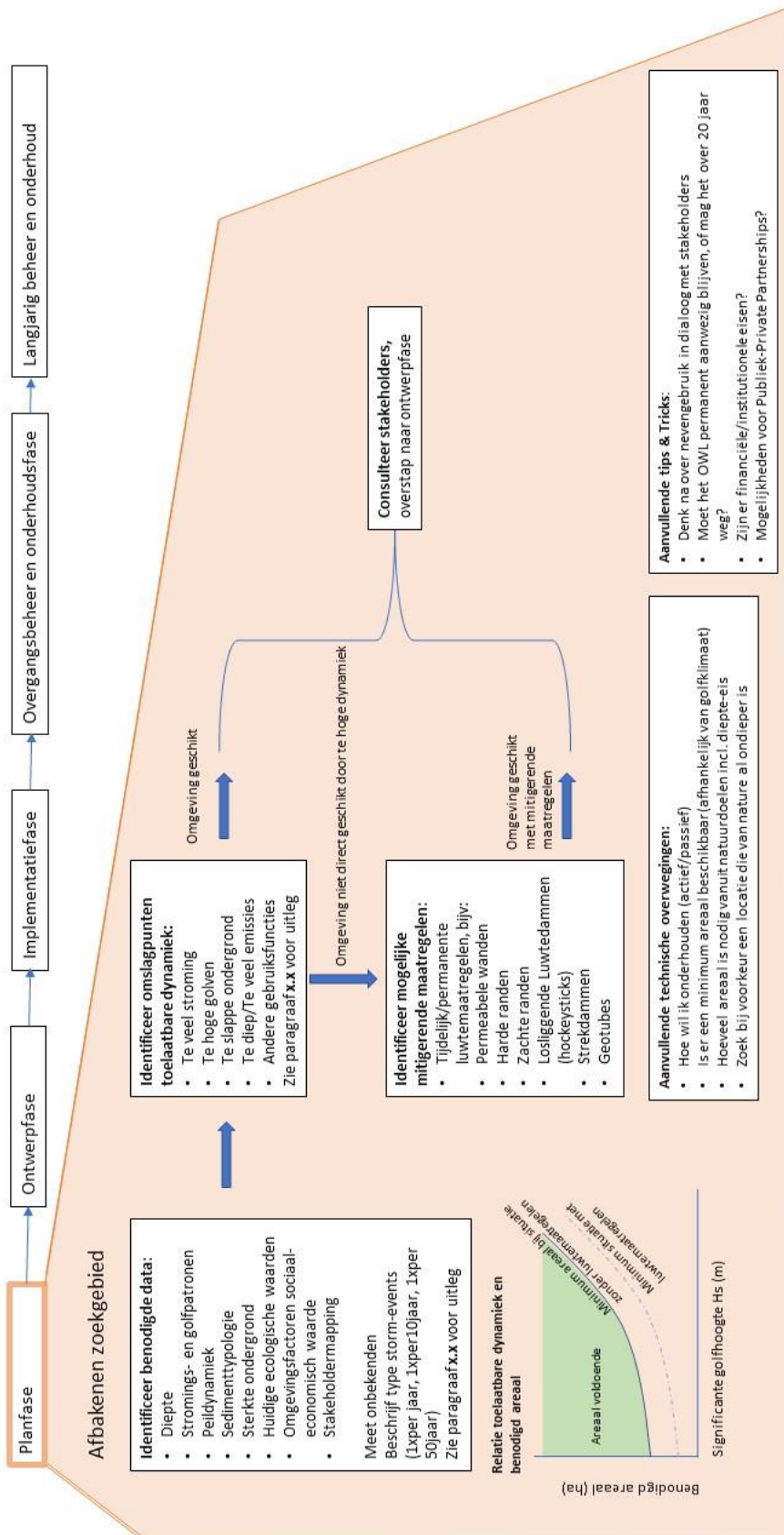
Stap 2: Identificeer de omslagpunten in toelaatbare dynamiek op de beoogde locatie voor het onderwaterlandschap.

Omslagpunten zijn karakteristieke waarden van bijvoorbeeld golfhoogte en stroming waarbij erosie kan gaan optreden van een onderwaterlandschap. Afhankelijk van de locatie kunnen er bepaalde omslagpunten zijn waarboven er door te grote golfwerking of stroming zoveel erosie gaat optreden van een onderwaterlandschap niet robuust en stabiel meer kan op een aanvaardbare termijn. Ook kan zetting van de ondergrond zorgen dat een onderwaterlandschap op termijn te diep zinkt, waardoor het zijn functies voor ecologie verliest. Immers, op grotere diepte vind je andere soorten flora en fauna, en in ondiepere stukken is de ecologische waarde het hoogst. Wordt een onderwaterlandschap gemiddeld genomen dieper dan grofweg 1,5 meter, dan wordt het ook steeds minder geschikt voor een variatie aan flora en fauna. Een groot deel van het onderwaterlandschap bestaat idealiter uit habitats tussen de 0,5 en 1,5 m diepte. Van belang is ook de ligging van de zones ten opzichte van elkaar en de grootte en breedte variaties van deze zones.

Stap 3. Bepaal of aanvullende maatregelen nodig zijn om de aanwezige golfaanval of erosieve stroming te beteugelen.

Er zijn al veel voorbeelden van luwtmaatregelen bekend. Er kan in de opvolgende ontwerpogaven gekozen worden voor tijdelijke of permanente luwtmaatregelen te implementeren. Een tijdelijke maatregel helpt om de beginfase direct na aanleg door te komen. Vervolgens neemt bijvoorbeeld begroeiing of een gesettelde bodem het werk over.

Voorbeelden van mitigerende maatregelen om een teveel aan dynamiek te temperen zijn: permeabele wanden, harde of zachte randen, losliggende luwtedammen (hockeysticks), strekdammen en geotubes. De conclusie kan natuurlijk ook zijn dat een opgave op deze locatie helemaal niet mogelijk is.



Figuur 8 Belangrijkste onderdelen stappenplan tijdens de planfase.

Stap 4. Overweeg nu al wat er na aanleg gaat gebeuren met het onderwaterlandschap.

In de planfase moet al worden nagedacht over het type onderhoud dat je beoogt: kan dit onderhoud vrij passief zijn, of moet er vaak actief worden ingegrepen? Wie is daarvoor verantwoordelijk en hoe wordt het gefinancierd, niet alleen de eerste jaren, maar voor de hele levensduur van het onderwaterlandschap. Stel een goed bijpassend monitoringsplan op waarin staat wat moet worden gemeten, met welke frequentie, schaal en hoe dit wordt uitgevoerd en gefinancierd. Leg hierbij ook de link met hoe deze monitoringsresultaten kunnen worden gebruikt om algemenere kennis mee op te doen voor vergelijkbare gebieden elders (zie ook Intermezzo 13).

Stap 5. Overleg met stakeholders over nevengebruik en het beoogde ontwerp

Stakeholders zijn een belangrijke schakel in het al dan niet succesvol kunnen implementeren van een onderwaterlandschap: Dialoog over het mogelijke ontwerp en nevengebruik is dan ook relevant: Is recreatie of visserij in het gebied mogelijk? Moeten daar nog faciliteiten worden gepland en wie is daar verantwoordelijk voor (ook qua beheer en onderhoud, handhaving en financiering)?

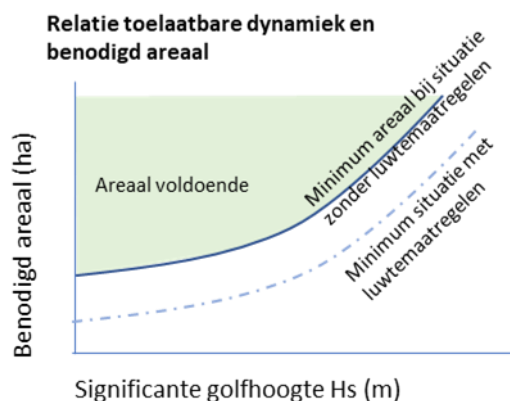
Stakeholderdialoog gaat dan ook verder dan meningen van het publiek ophalen en helpen bij het zoeken naar bijvoorbeeld publiek-private partnerships en aanvullende private financieringsbronnen. Gegeven de aan het onderwaterlandschap te stellen eisen, moet in kaart worden gebracht wat het effect is van het medegebruik en op welke wijze alsnog dit toelaatbaar kan zijn. Een uitkomst kan overigens ook zijn dat medegebruik niet mogelijk is.

2.2 Aandachtspunten binnen de planfase

Relatie toelaatbare dynamiek en benodigd areaal

Het benodigd areaal voor een robuust en stabiel onderwaterlandschap is mede afhankelijk van de zwaarte van de golfaanval (significante golfhoogte). In locaties met relatief veel golfaanval is de evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap dieper en (Ton, A. et al., 2020) en de helling van het onderwaterlandschap veelal steiler (Hegge, 1996) (Travers, 2007) dan in locaties met relatief weinig golfaanval.

Voor het creëren van een robuust onderwaterlandschap in een locatie met zware golfaanval is dus relatief meer areaal nodig om deze natuurlijke dynamiek te compenseren. Indien gebruik wordt gemaakt van mitigerende maatregelen kan volstaan worden met een relatief minder groot areaal. Dergelijke mitigerende maatregelen moeten bij voorkeur de voor een ecologisch onderwaterlandschap van belang zijnde natuurlijke processen zoveel mogelijk de ruimte geven en de verbinding binnen en tussen leefgebieden van soorten mogelijk maken.



In deze figuur is dit principe schematisch weergegeven. Wil je dus meer een zeker oppervlak aan onderwaterlandschap wil behouden moet je voor zwaardere omstandigheden meer buffer-areaal aanleggen.

Tijdens de planfase van een onderwaterlandschap is het relevant om rekening te houden met de beperkt beschikbare kwantitatieve kennis over fysische omslagpunten. Voor de onderwaterlandschappen van de Markerwadden en Houtribdijk hebben Ton et al. een relatie gelegd tussen de evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap (ongeveer NAP – 1 m) en de waterstand en golfhoogte tijdens stormen (Steetzel et al., 2017) (Ton, A. et al., 2020).

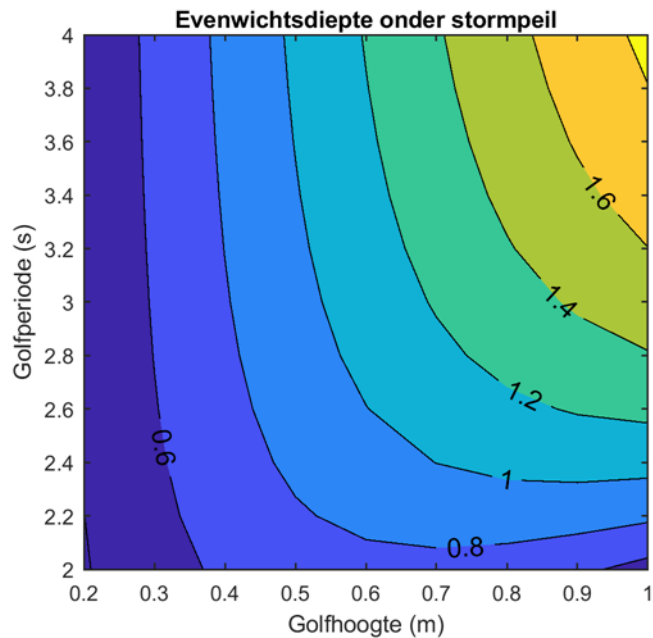
Deze evenwichtsdiepte is groter voor locaties met grotere golfaanval (grotere strijklengte) en met lagere waterstanden tijdens stormen (minder windopzet), en hoger voor locaties met minder golfaanval en hogere waterstanden. Op basis van deze relaties kan in de planfase getoetst worden of de evenwichtsdiepte op een locatie geschikt is voor de beoogde functies van het onderwaterlandschap.

Intermezzo 2 Relatie tussen toelaatbare dynamiek en benodigd areaal en bijbehorende omslagpunten.

Schatting evenwichtsdiepte onderwaterlandschap

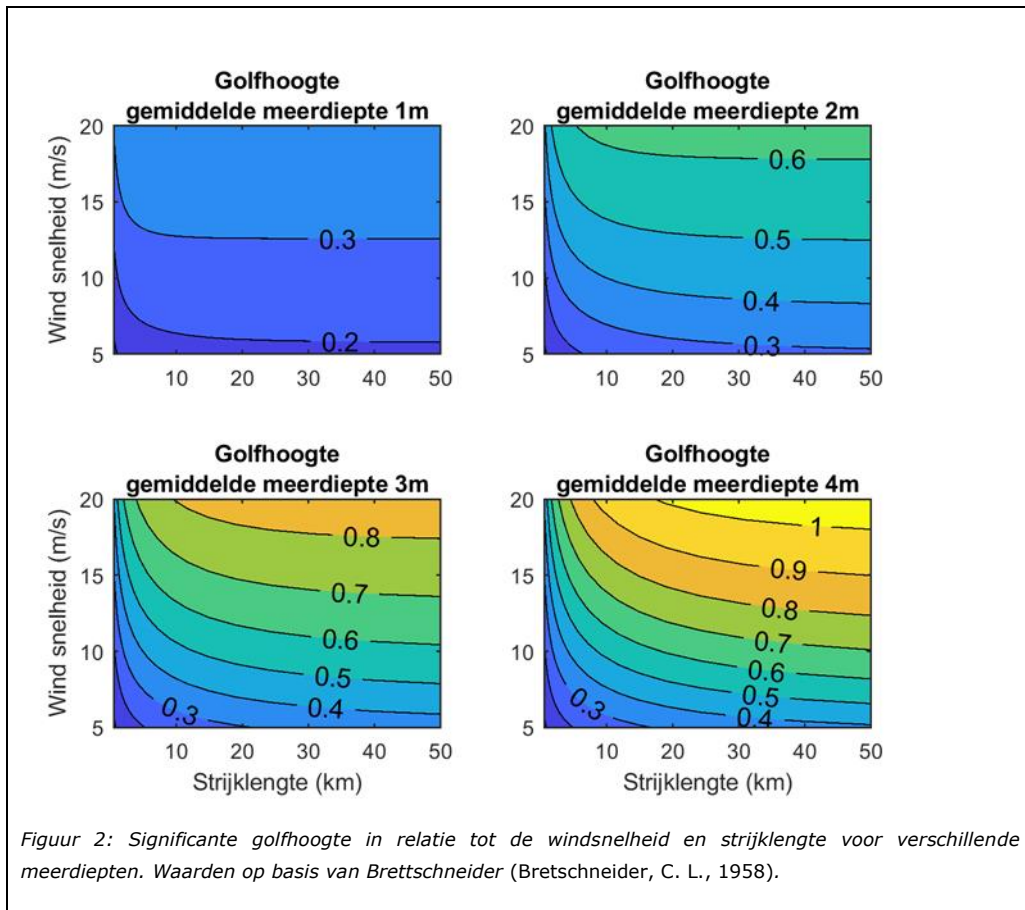
Voor het ontwerp van een onderwaterlandschap is inzicht de relatie tussen lokale golfcondities en de natuurlijke minimale evenwichtsdiepte van het landschap relevant. Voor het onderwaterlandschap bij de Houtribdijk, hebben Steetzel et al. (2017) een relatie gevonden tussen de evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap en de lokaal optredende golfcondities en waterstandsopzet (Steetzel et al., 2017). Deze relatie is kwantitatief uitgewerkt door Ton et al.(2020), die gevonden hebben dat de evenwichtsdiepte van onderwaterlandschappen in de Markermeer relateert aan de diepte waarop tijdens energetische condities nog sediment transport plaats vindt, de zogenaamde *depth-of-closure* (Ton, A. et al., 2020). Op de onderzochte locaties in de Markermeer komt de geobserveerde evenwichtsdiepte van het onderwaterlandschap goed overeen met de gemiddelde *depth-of-closure* tijdens alle milde tot grote stormen (meest energetische condities per periode van 14 dagen).

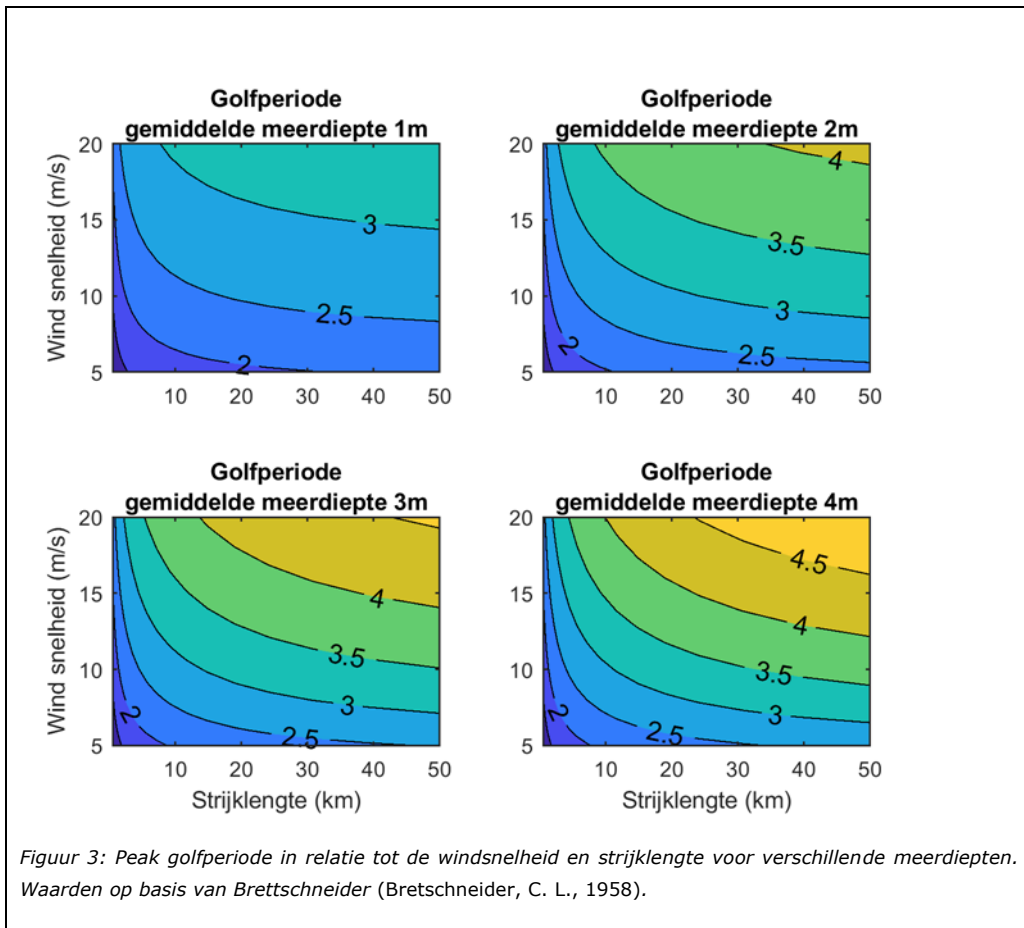
In Figuur 1 is de minimale evenwichtsdiepte van een onderwaterlandschap op basis van Ton et al. (2020) weergegeven voor verschillende waarden van de effectieve golfhoogte en -periode tijdens stormen. Hierbij is de evenwichtsdiepte gerelateerd aan de waterpeil inclusief windopzet, welke afhankelijk van de windcondities meer dan 0,5 m kan bedragen in de Markermeer, moet de effectieve golfhoogte en -periode gezien worden als een gemiddelde waarde voor stormcondities die regelmatig voorkomen (tweewekelijks in de analyse van Ton et al., 2020).



Figuur 1: Minimale evenwichtsdiepte van onderwaterlandschappen in relatie tot de effectieve golfhoogte en -periode tijdens stormen. Waarden op basis van Ton et al. (2020).

Indien geen lokale golfmetingen beschikbaar zijn, kan de effectieve golfhoogte en -periode geschat worden op basis van (regelmatig) voorkomende windsnelheden, de strijklengte, en de gemiddelde diepte in het meer, op basis van het parametrische model van Brettschneider (Brettschneider, C. L., 1958). Deze waarden zijn voor enkele gemiddelde meerdiepten en condities voor de Nederlandse meren weergegeven in Figuur 2 (golfhoogte) en Figuur 3 (golfperiode).





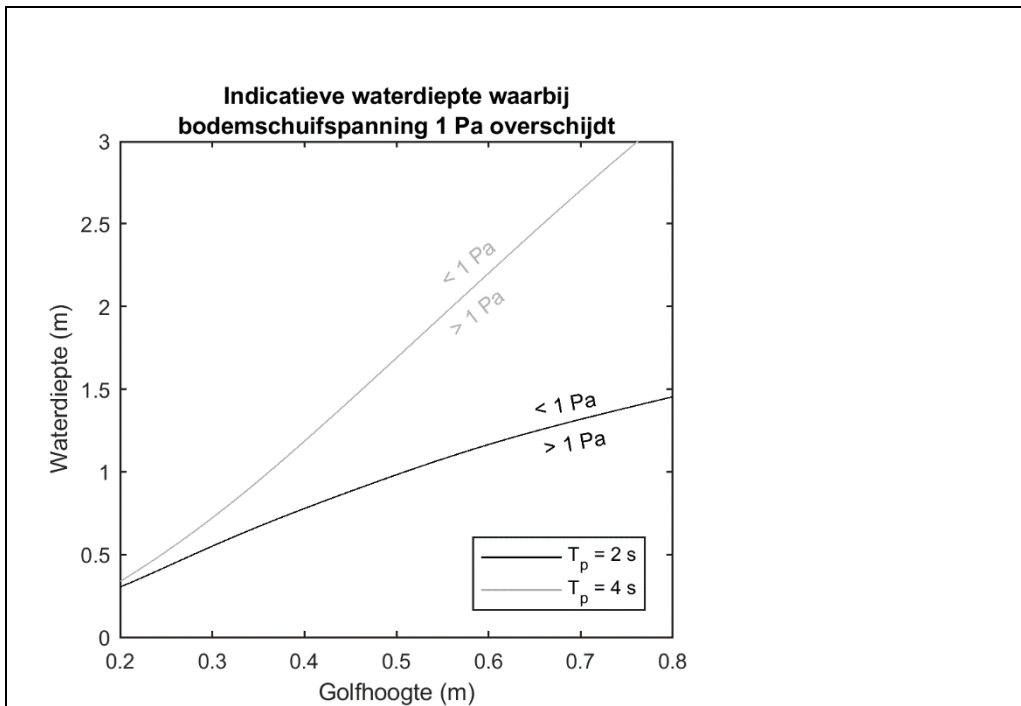
Intermezzo 3 Schatting evenwichtsdiepte onderwaterlandschap.

Schatting golfeffecten op habitat macrofyten

Indien een onderwaterlandschap moet dienen als habitat voor met het blote oog zichtbare planten die, geheel of gedeeltelijk, leven onder water, op het wateroppervlak of langs de oever (macrofyten), is het relevant om de optredende bodemschuifspanning door stroming en golven te bepalen. Op basis van observaties in de IJsselmeer, Markermeer, en de Nederlandse randmeren, hebben Van Zuidam en Peeters (2015) een relatie gevonden tussen de aanwezigheid van macrofyten en de maximaal optredende bodemschuifspanning door golven tijdens de lente (Van Zuidam, B.G. and Peeters, E.T., 2015).

Er is hierbij gevonden dat macrofyten vrijwel niet voorkomen in locaties waar de maximale bodemschuifspanning door golven tijdens de lente groter is dan 1 Pa.

In Figuur 1 is indicatief de relatie weergegeven tussen optredende golfcondities (golfhoogte en -periode) en de waterdiepte waarbij de bodemschuifspanning door golven groter of kleiner dan 1 Pa is. Op basis van de analyse van Van Zuidam en Peeters (2015) kan dit als een indicatieve minimale waterdiepte worden gezien die nodig is om te voorkomen dat macrofyten zich door bodemschuifspanning niet kunnen vestigen.



Figuur 1: Relatie tussen waterdiepte, golfhoogte en -periode, en het optreden van bodemschuifspanning groter dan 1 Pa (indicatieve grens voor aanwezigheid van macrofyten (Van Zuidam, B.G. and Peeters, E.T., 2015).

Andere abiotische factoren die relevant zijn voor de vestiging van macrofyten, zoals lichtdoordringing, waterkwaliteit, en bodemsamenstelling, worden op basis van deze analyse niet meegenomen en dienen apart onderzocht te worden bij het ontwerp van een onderwaterlandschap.

Intermezzo 4 Schatting golfeffecten op habitat macrofyten

Toepassing luwtestructuren

Luwte is in het Markermeer waarschijnlijk van bijzonder belang voor het voedselweb, omdat in een luwtezone minder slib opwervelt, waardoor het zwevend stof (dat overblijft) meer algen bevat. Daardoor is het voedzamer voor filteraars zoals watervlooien en mosselen. Dit is bij Marker Wadden onderzocht met onder meer satellietbeelden. Daarvoor zijn bewerkingen voor chlorofyl en zwevend stof op elkaar gedeeld.

Behalve de luwte zelf is ook de overgang van luw naar geëxponeerd, dat wil zeggen van helder naar troebel water van belang, en is dus een belangrijk punt voor het programma van eisen. Deze overgangsgebieden zijn belangrijk voor een duurzame relatie tussen vis en visetende vogels, omdat beide daar een kans hebben.

Voorbeelden van luwtcreatie zijn bijvoorbeeld aanwezig langs de Houtribdijk zoals te zien op onderstaande foto (© Peter Leenen). Hierop zijn zowel de Houtribdijk met voorliggende luwtedammen (op de achtergrond) als het nieuwe natuurgebied Trintelzand (op de voorgrond) te zien.

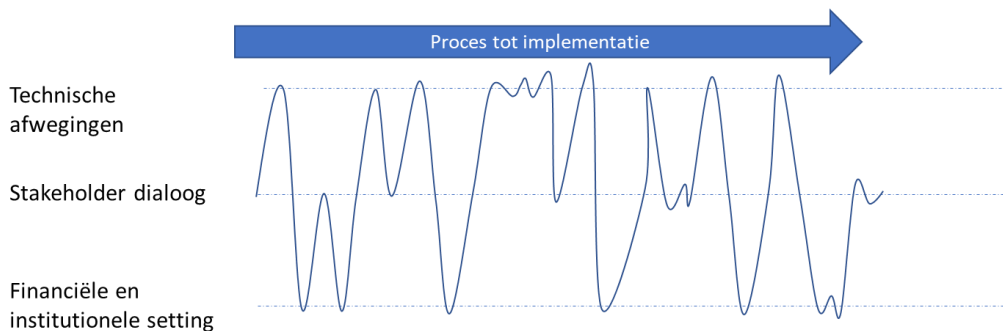


Intermezzo 5 Toepassing luwtstructuren.

3 Fase 2 - Ontwerpfase

3.1 Stappenplan

In de ontwerpfase wordt toegewerkt naar een voorkeursalternatief om daadwerkelijk te gaan implementeren. Vertrekpunt is daarbij het op basis van de vorige fases bereikte resultaat dat bij voorkeur is vastgelegd in een intentieverklaring tussen de betrokken partijen. In het optimalisatieproces naar dit voorkeursalternatief vindt een wisselwerking plaats tussen technische afwegingen, stakeholderdialoog en de financiële en institutionele setting. Wensen en mogelijkheden worden afgetast, bijgeschaafd en getoetst op haalbaarheid vanuit alle drie deze aspecten.



Stap 1. Definieer verschillende schetsontwerpen met stakeholders

Er zijn vaak meerdere mogelijkheden om een onderwaterlandschap vorm te geven. Verschillende stakeholders zullen hier verschillende ideeën over hebben. Door al deze ideeën mee te wegen komt uiteindelijk een breed gedragen ontwerp tot wasdom.

Stap 2. Overweeg werkwijze waarop de verschillende schetsontwerpen worden uitgewerkt en gekwantificeerd

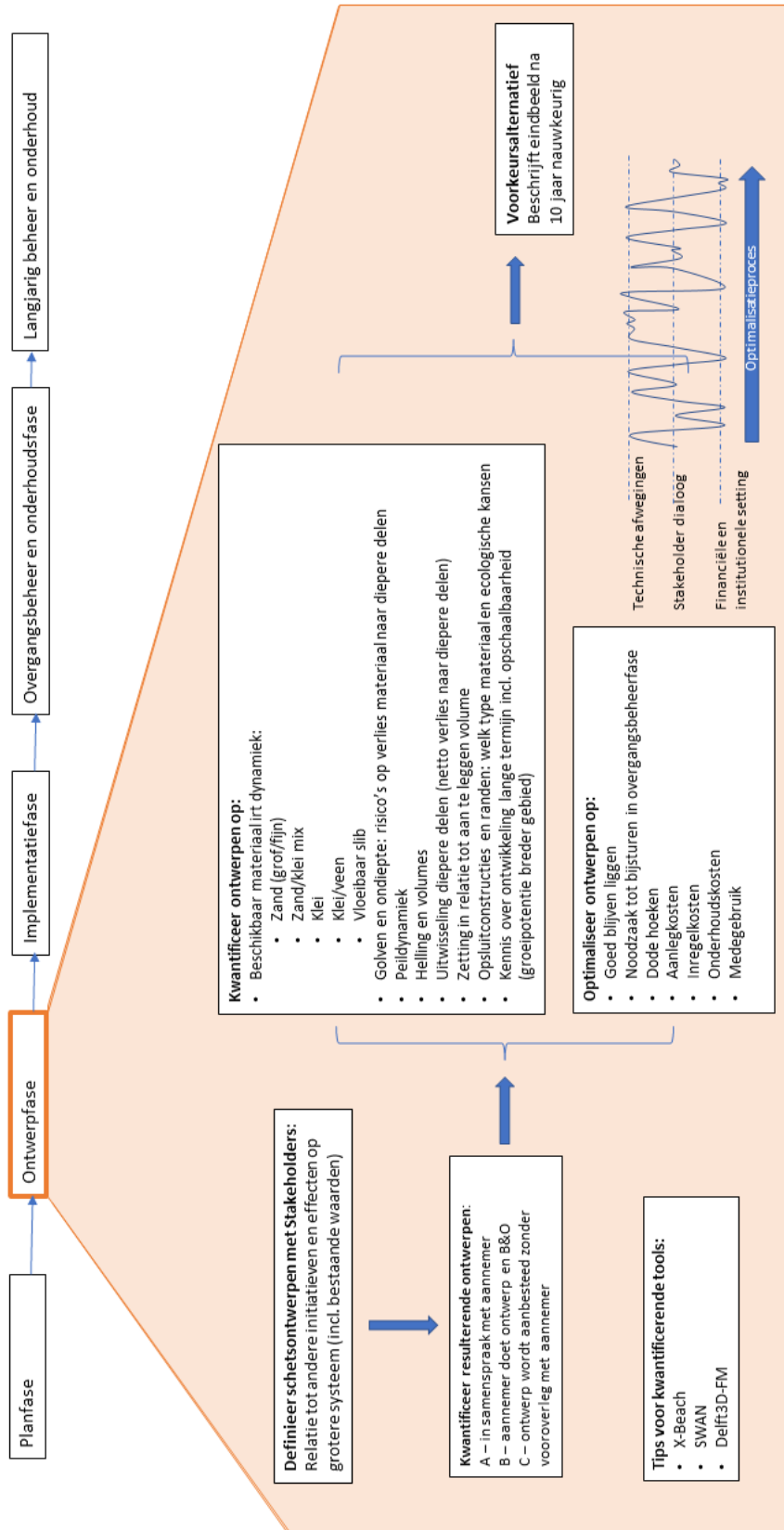
Er zijn meerdere opties om tot een ontwerp te komen, waarbij de mogelijke uitvoerende aannemer op verschillende manieren een rol kan spelen:

A: ontwerp in samenspraak met de uitvoerende aannemer;

B: laat het ontwerpproces inclusief definitie van benodigde beheer en onderhoud aan verschillende mogelijke aannemers;

C: ontwerp zelf en besteed uit zonder vooroverleg met de aannemer.

Gebruik bij de kwantificering van het ontwerp de systeembekendheid, data en modellen die verzameld zijn in de planfase. Er zijn verschillende technische modellen beschikbaar die ook voor het ontwerp berekening kunnen doen om het gedrag van golven, wind en stroming in de nieuw ontworpen inzichtelijk te maken. Voorbeelden van dit soort modellen zijn Delft3D-FM, SWAN en XBeach – elk met hun eigen mogelijkheden en beperkingen. Het Delft3D-FMmodel kan informatie geven over de aanwezige stromingen. Inzicht in de golfwerking kan worden verkregen door toepassing van het SWAN-model. XBeach kan tenslotte een eerste indicatie leveren ten aanzien van de morfologische ontwikkelingen ofschoon deze functionaliteit voor situaties in de meero omgeving nog duidelijk in ontwikkeling is. Win advies in over dit type kwantificerende modellen wanneer nodig.



Figuur 9 Belangrijkste onderdelen stappenplan ontwerpfase.

Stap 3 Stel de randvoorwaarden op waar het technisch ontwerp rekening mee moet houden

Er zijn verschillende technische randvoorwaarden waar een robuust ontwerp rekening mee moet houden zoals deze zijn opgenomen in het in de planfase opgestelde programma van eisen. In dit programma van eisen kan ook worden opgenomen hoe moet worden omgegaan met onzekerheden. Deze moeten in het ontwerp nadrukkelijk worden gecheckt om te komen tot een robuust ontwerp:

- Overweeg welk materiaal beschikbaar is en hoe dat zich verhoudt tot de dynamiek op de locatie
- Beschouw het risico van verlies van materiaal naar grotere dieptes: hoe snel gaat dit en wat kan er worden veranderd in het ontwerp om dit te verminderen
- Houd rekening met de (vaak onnatuurlijke) peildynamiek – deze speelt een belangrijke rol in de hydro-morfologische ontwikkeling van het onderwaterlandschap. De afwezigheid van getijde en natuurlijk peil zorgt voor morfologische ontwikkelingen die mogelijk niet goed ingebed zijn in numerieke hydro-morfologische modellen, omdat deze modellen in eerste instantie gemaakt zijn voor kustsystemen waarin deze processen wel een rol spelen.
- Bepaal de benodigde helling en volume aan op te brengen materiaal, en houdt rekening met de zetting van de ondergrond
- Kies mogelijk benodigde opsluitconstructies met zorg om ze ook te optimaliseren voor natuurontwikkeling: welk type materiaal wordt gebruikt en kan dit extra habitat bieden in het gebied?
- Denk na over de ontwikkeling op lange termijn: is het gebied uitbreidbaar, en zijn er kansen voor opschaling? Welke lange-termijn-ontwikkelingen worden er gezien.

Stap 4. Optimaliseer het ontwerp

Indien het eerste technische ontwerp niet voldoet aan de in het programma van eisen vastgelegde randvoorwaarden moet het ontwerp worden aangepast.

Optimaliseren van het ontwerp gaat niet alleen over het robuust blijven liggen, de potentie voor onverwachte (negatieve) ontwikkelingen, maar ook over de kosten die gemoeid zijn met de aanleg en het onderhoud en invloed van medegebruik.

Stap 5. Kom met stakeholders tot een voorkeursalternatief

In de verschillende ontwerpstappen zullen meerdere ontwerpen ter tafel hebben gelegen. Koppel voldoende vaak in dit proces terug met stakeholders om te komen tot een gedragen voorkeursalternatief.

3.2 Aandachtspunten binnen de ontwerpfase

Invloed grofheid materiaal

In het dwarsprofiel zal er rond de waterlijn veelal sprake zijn van relatief grover materiaal. In het Markermeer bestaat deze uit zand (met een gemiddelde korreldiameter van 0,3 mm) maar ook schelpen(gruis) (met een gemiddelde diameter > 1 mm) komt hier voor (Van der Weij, 2005). De fijnere fractie is hier door golfwerking uit verdwenen en toegevoegd aan het op iets dieper water gelegen deel van het profiel. Het grovere materiaal is mede door de grotere doorlatendheid iets beter bestand tegen de golfwerking en resulteert dus in een relatief steil talud met soms een bermpje aan de landzijde van de waterlijn. Het effect van de grofheid van het materiaal is slechts van beperkte invloed op de helling van het diepere deel van het onderwaterlandschap. In deze zin heeft de grofheid van het materiaal geen groot effect op de dimensies van het onderwaterlandschap.

Ook cohesiviteit of het aandeel fijnere fractie heeft geen duidelijk effect.

Overigens kan de aanwezigheid van relatief fijn materiaal bij aanwezigheid van een netto stroming wel leiden tot een verlies van materiaal (zie ook Intermezzo 8).

Intermezzo 6 Effect grofheid materiaal op stabiliteit onderwaterlandschap.

Rol van holoceen materiaal

Het holoceen is de periode na de laatste ijstijd (pleistoceen). In die periode zijn op een ondergrond van pleistoceen zand in het IJsselmeergebied veengebieden ontstaan. Later zijn daarin grote meren ontstaan waarin door afzetting van fijn materiaal dikke kleilagen zijn ontstaan. Met dit materiaal worden nu eilanden gemaakt, bijvoorbeeld op de Marker Wadden en langs de Houtribdijk. Dit materiaal is rijk aan voedingsstoffen, waardoor pioniervegetatie zich gemakkelijk vestigt en hard groeit. In het meer zelf is de holocene klei vaak bedekt met geërodeerd materiaal dat is ge-her-sedimenteerd. Dit materiaal (dus de toplaag van de meerbodem) is veel armer aan voedingsstoffen. Na de afname van voedingsstoffen vanuit de rivieren, sinds de verbetering van de waterkwaliteit in de jaren '90, is de productie in de meren afgenomen. Toevoer vanuit de productieve moerassen kan bijdragen aan een kleine toename van voedingsstoffen in het grotere mee zelf, maar zonder peil- en stromingsdynamiek is het effect hiervan echter beperkt en lokaal.

Overigens kan holoceen materiaal goed worden gebruikt om de vegetatiegroei op de oever zelf te bevorderen. Dit bleek met name uit de in het kader van de Pilot Houtribdijk uitgevoerde onderzoek waarin een vergelijking is gemaakt tussen de vegetatiegroei met en zonder bijmenging met holoceen materiaal (EcoShape, 2018b).

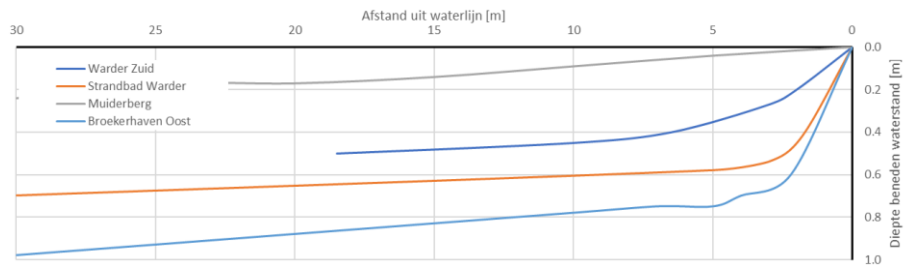
Bij Marker Wadden zijn geulen en putten gegraven om het holocene materiaal te verzamelen om daarmee de eilanden aan te leggen. Deze putten hebben ook een functie voor de ecologie, met name voor vis. De putten kunnen echter ook een belangrijk deel van de voedingsstoffen afvangen, zodat de ruimtelijke samenhang met het moeras goed moet worden overdacht. Dit probleem is van bijzonder belang in het Markermeer, omdat ijzerrijk sediment dat hier bij harde wind wordt opgewerveld fosfaat uit de waterkolom bindt. Bij hersedimentatie in combinatie met lateraal transport kan dat in de geulen en putten terecht komen, waarna een deel aan circulatie wordt onttrokken.

Intermezzo 7 Rol van holoceen materiaal.

Verlies naar dieper water

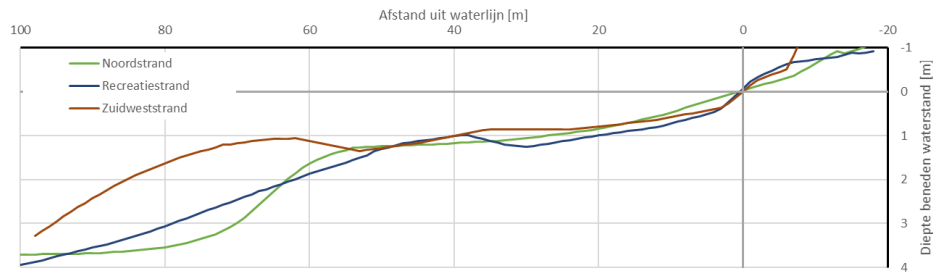
Voor het eventuele verlies van materiaal uit het onderwaterlandschap is de profielvorm ter plaatse van de meerwaartse grens van het onderwaterlandschap van belang. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt tussen (*i*) een situatie waarbij de bodemligging aansluit en er feitelijk sprake is van een doorgaande flauwe helling en (*ii*) een situatie waarbij dit duidelijk niet zo is.

In het eerste geval met een doorgaande flauwe helling behoeft er geen rekening te worden gehouden met significante netto verliezen naar dieper water. Voorbeelden van dergelijke profielen zijn weergegeven in onderstaande figuur waarin als illustratie voor een viertal locaties langs het Markermeer het (flauwe) dwarsprofiel is weergegeven (data ontleend aan (Van der Weij, 2005).



Dit kan wel het geval zijn voor een situatie waarbij er sprake is van een duidelijke discontinuïteit in de bodemligging op deze grens. Vanuit de landzijde gezien gaat het flauw hellende plateau hier over in en veel steiler overgangstalud dat aansluit op de diepere, vlakke bodem.

Typische voorbeelden hiervan zijn de langs de Marker Wadden aanwezige strandprofielen zoals aanwezig ter plaatse van het Zuider- en Noordstrand (Arcadis, 2022).



Feitelijk is er dan, vanaf de meerzijde gezien, sprake van een rand waarachter het hoger gelegen onderwaterlandschap is gelegen. Op het moment dat er sprake is van transport van materiaal over deze rand leidt dit tot een netto verlies van materiaal en dus tot een geleidelijke afname van het oppervlak of niveau van het onderwaterlandschap.

Een dergelijke situatie kan optreden bij aanwezigheid van stromingen of onder invloed van met name scheve golfaanval. In dat laatste geval zorgt de door het breken van de golven opgewekte langstroom voor het aan de 'lage' zijde optreden van deze verliezen.

Deze laatste situatie kan bij aanwezigheid van sterk wisselende invalrichtingen ook aan beide uiteinden van het beschouwde vak optreden. Deze situatie deed zich voor bij de pilot Houtribdijk waarbij een zandige oever werd ingepast tussen de dijk en een hier dwars op gelegen opsluitdam (EcoShape, 2018f).

Intermezzo 8 Verlies naar dieper water.

Inzet opsluitconstructie

Een zandige oever of onderwaterlandschap kan zijdelings worden ingesloten door opsluitconstructies in de vorm van loodrecht op de oever gelegen damconstructies. Deze constructies zorgen er voor dat de invloed van eventueel aanwezige langstromen wordt gereduceerd. Ook kunnen dergelijke constructies resulteren in een lokale bijdraaiing van de golfinvalsrichting waardoor er tussen twee opsluitconstructies sprake is van een soort van baaivorm.

Een mooi voorbeeld van de toepassing van dergelijke constructies voor beïnvloeding van de golfinvalsrichting is aanwezig bij de stadsstranden in Hoorn als zichtbaar in onderstaande afbeelding.



Hier is voor de bestaande dijk een zandige oever (de zogenaamde oeverdijk) aangebracht welke qua langsbelijning wordt 'aangestuurd' door de dwarsconstructies. Voor het in Intermezzo 8 toegelichte verlies naar dieper water is hierbij de ligging van de nieuwe oeverlijn in elke baai ten opzichte van de beëindiging van de opsluitconstructies van belang.

Intermezzo 9 Effect inzet opsluitconstructie

Effect peildynamiek op ontwikkeling

Moerassen zijn van nature onderhevig aan vegetatie-succesie, en veranderen geleidelijk in bos. In bepaalde omstandigheden kan ook veenvorming optreden, maar bij natuurontwikkeling in de grote wateren is veenvorming nauwelijks te verwachten, met name door de relatief hoge sulfaatconcentraties in de bodem. Een dynamisch peil kan dat proces vertragen, waardoor oevermoerassen langer in stand blijven. Zonder kunstmatige peilbeheersing varieert het peil in onze laaglandmeren in het seizoen binnen een amplitude van ongeveer anderhalve meter. In het vroege voorjaar is het water het hoogst, in de loop van de zomer zakt het uit tot een minimum in de nazomer. Het hoge water in januari-maart gaat samen met de winterstormen, waardoor dood plantenmateriaal wordt weggespoeld. Daardoor vertraagt de verlanding en de bosvorming. De peilvariatie wordt verder vergroot door verschillen tussen jaren. In uitzonderlijk droge jaren kan ondiep water droogvallen, en dan kan riet zich uitbreiden. Daardoor ontstaat een geleidelijke land-water overgang met riet dat tot een halve meter diep in het water staat. Dit is het "helofytenmoeras", met water tussen de stengels. Dit is belangrijk habitat voor vis, maar ook voor de productie van het systeem in het algemeen, met veel waterplanten en aangroei op rietstengels.

Door peilbeheersing is het natuurlijke seizoensverloop in de Nederlandse grote meren nu omgekeerd ten opzichte van het natuurlijke peil. Daardoor is de verlanding versneld en zijn harde overgangen van land naar water ontstaan. In de grote meren is er nog enige peildynamiek als gevolg van opstuwing door de wind, maar deze opstuwing heeft een heel ander karakter dan seizoensmatige peilfluctuatie. Hierdoor heeft zich bijvoorbeeld in het Zwarte Meer en in de IJsselmonding relatief lang open rietland gehandhaafd, met kensoorten als roerdomp en grote karekiet. Ook hier is de dynamiek echter verminderd, recent nog door de balgstuw en de bypass Kampen. Ook in het Zwarte Meer heeft Natuurmonumenten kortgeleden de rietvelden kunstmatig opnieuw geopend door oude watergangen uit te graven. Bij het kiezen van locaties voor natuurontwikkeling kan rekening worden gehouden met de resterende peildynamiek door windwerking. De eilanden in de IJsselmonding, projecten langs de Friese kust en de Houtribdijk, maar ook de Marker Wadden profiteren daarvan.

Intermezzo 10 Effect peildynamiek

Anticiperen op effect verwachte zettingen

Het oppervlak en niveau van het onderwaterlandschap kan afnemen door het netto verlies van materiaal over de randen van het beschouwde gebied naar diepere delen (zie Intermezzo 8). De zetting van de ondergrond heeft een vergelijkbaar effect en maakt dat er sprake is van een geleidelijke afname van het gemiddelde bodemniveau. De mate waarin dit gebeurt is zowel afhankelijk van de kwaliteit van de ondergrond als de omvang van de extra aangebrachte bovenbelasting. Een uit veenlagen bestaande ondergrond zal leiden tot een aanzienlijke zettingswaarden.

De uiteindelijke zetting hangt overigens ook af van de reeds aanwezige voorbelasting. In het geval van de pilot Houtribdijk speelde daarbij de reeds aanwezige dijk en het onderliggende cunet een reducerende rol op de uiteindelijke zetting (EcoShape, 2018b) (EcoShape, 2018d).

In dergelijke gevallen wordt aanbevolen om hier bij het ontwerp reeds rekening mee te houden door het aanbrengen van een bepaalde overhoogte of het vroegtijdig anticiperen op het uitvoeren van onderhoudssuppleties waarbij het verlies weer wordt aangevuld door van extern aangevoerd materiaal. Deze laatste optie leidt dan overigens tot een, waarschijnlijk ongewenste, verstoring van het onderwaterlandschap.

Intermezzo 11 Anticiperen op effect verwachte zettingen

4 Fase 3 - Implementatiefase

4.1 Stappenplan

In de implementatiefase wordt het gekozen voorkeursalternatief aanbesteed. Bij de daadwerkelijke uitvoering van het werk moet rekening worden gehouden met verschillende praktische zaken – hier noemen we de belangrijkste, maar zijn niet uitputtend.

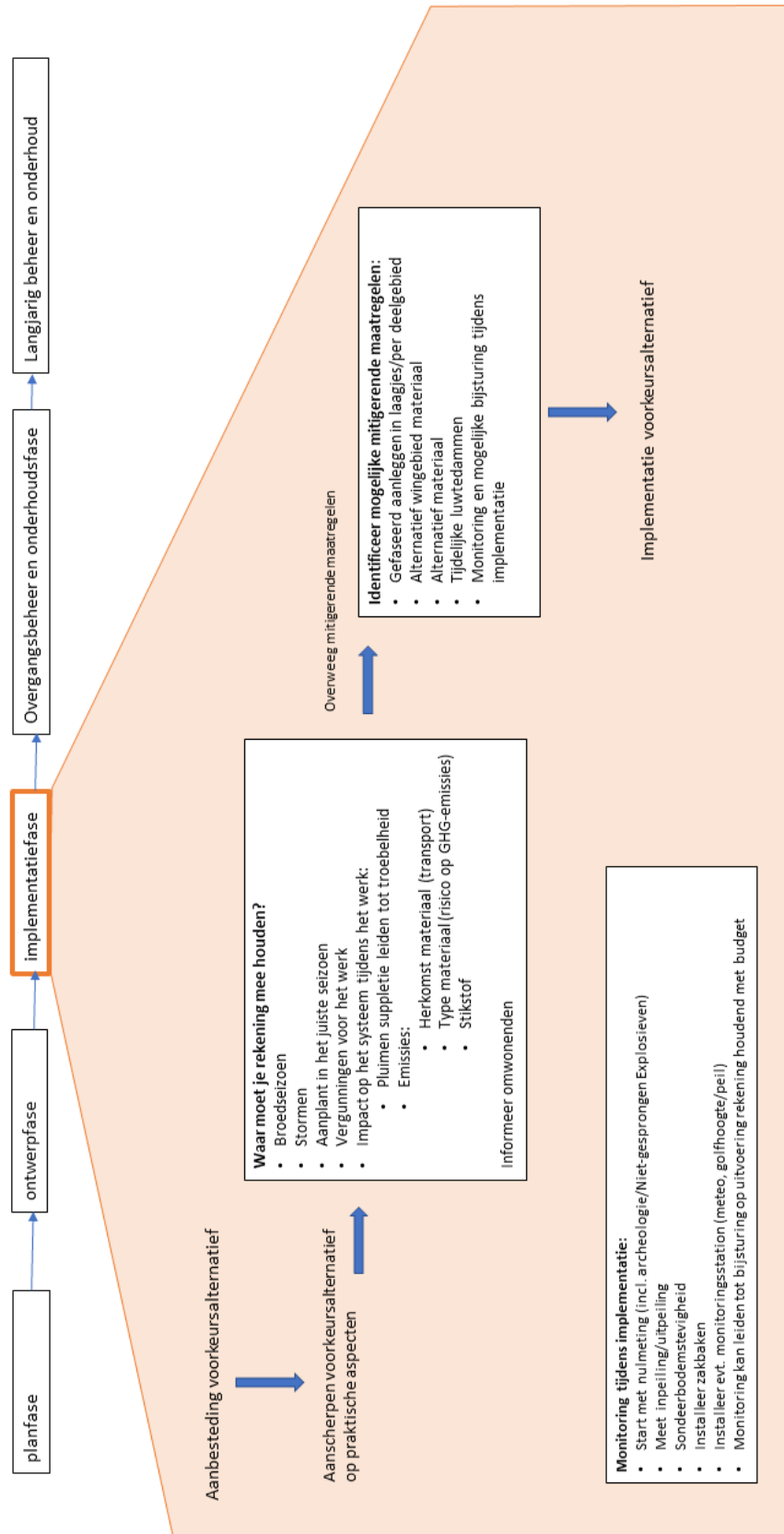
- Broedseizoenen kan leiden tot stopzetten werkzaamheden – plan in overeenstemming met dit soort regels.
- Check aanvraag van benodigde vergunningen voor het werk op tijd. Vergunningen kunnen voor veel vertraging zorgen, zeker als daardoor tegen het broedseizoen aangelopen dreigt te worden.
- Stormen kunnen tijdens de aanlegfase voor extra veel schade zorgen, omdat het onderwaterlandschap nog prematuur is en niet voldoende stabiel is om grote golfwerkingen te weerstaan. Ook kan schade aan aanlegapparatuur optreden. Zorg voor een stormplan, dat in werking kan worden gesteld bij op verwacht slecht weer en plan de aanleg zodanig dat zo snel mogelijk luwtmaatregelen zijn geïmplementeerd.
- Wordt een onderwaterlandschap aangelegd met bijbehorende plas-dras oeverzone, dan is aanplant van vegetatie vaak gewenst om te zorgen voor een spoedige ontwikkeling van deze oeverzone en afkalving zoveel mogelijk te vermijden. Plant aan in het vroege voorjaar voor grootste kans op succes van aanslaan van de beoogde vegetatie. Gebruik voor rietoevers transplantatie van wortelstokken (matrassen van uitgestoken materiaal) als basis.
- Monitor impact van het werk op het systeem: baggerpluimen leiden tot ongewenste troebelheid en moeten beperkt worden. Emissies van stikstof en broeikasgassen moeten zoveel mogelijk beperkt worden, door gebruik te maken van innovatieve technieken die dit zoveel mogelijk ondervangen.
- Informeer omwonende en de bredere stakeholdergroep over de aankomende werkzaamheden.

Monitoring is tijdens de implementatiefase belangrijk:

- Voer een nulmeting uit voor het geval dat dit niet tijdens de planfase is gedaan: al voor aanvang van het werk moet een nulmeting worden uitgevoerd, waarbij archeologie, niet-gesprongen explosieven en ecologische waarden in beeld zijn gebracht. Ook sonderingen van de ondergrond zijn nodig om het risico op zetting in kaart te hebben.
- Plaats zakbaken om zetting tijdens het werk en na afloop in kaart te brengen
- Installeer benodigde monitoring tijdens implementatie (zie intermezzo)

Overweeg op basis van de monitoring tijdens de aanleg of mogelijke mitigerende maatregelen nodig zijn om negatieve impact tijdens het werk te verminderen:

- Is het mogelijk om gefaseerd aan te leggen (bijvoorbeeld in laagjes of per deelgebied)?
- Zijn er alternatieve wingebieden dichterbij de locatie van de onderwaterlandschap zodat emissies kunnen worden beperkt?
- Is er alternatief materiaal voorhanden waardoor er op een meer circulaire manier met sediment kan worden omgegaan?
- Zijn er tijdelijke luwtedammen nodig om schade tijdens uitvoering te beperken
- Houdt mogelijkheden open om bij te sturen tijdens het werk door goede monitoring zodat deze bijsturing goed onderbouwd kan worden.



Figuur 10 Belangrijkste onderdelen stappenplan implementatiefase.

4.2 Aandachtspunten binnen de implementatiefase

Opstarten vegetatieontwikkeling

Bij natuurontwikkelingsprojecten in de meren vestigen moeras- en waterplanten zich vanzelf. Wind, water en vogels brengen zaden en (kranswier)sporen aan. Zo waren in de ondiepte van het moeraseiland Ierst direct in het eerste seizoen zes soorten waterplanten aanwezig, ook al ontbraken die soorten in het diepe water in de wijde omgeving.

Op nieuwe eilanden vindt vanaf oplevering een successie van land- en moerasvegetatie plaats die begint bij pioniers als moerasandijvie, ganzenvoet, goudknopje en blaartrekkende boterbloem, gevolgd door wilgen, lisdodde en riet. Vaak zijn wilgen ongewenst en rietontwikkeling gewild. Beide vraagt in afwezigheid van voldoende peildynamiek echter specifieke inrichting en beheer. Wilgen kunnen enigszins beperkt worden via de timing van wateropzet, maar moeten in de praktijk uiteindelijk actief verwijderd worden.

Rietontwikkeling wordt tegenwoordig vaak beperkt door ganzenvraat. Uitrasteringen totdat het riet voldoende massa en weerstand heeft kan dan helpen – deze strategie is gekozen bij de aanleg van nieuwe rietoevers in het Zwarte Water. Ook zijn daar grote uitgestoken 'rietmatrassen' vanuit de wieden gebruikt als ent-materiaal vanuit waar de rietkraag is opgestart. Dit werkt beter dan het aanplanten van individuele zaailingen omdat het wortelsysteem al veel beter ontwikkeld is en een robuuste basis vormt. Individuele zaailingen zijn kwetsbaar voor droogval of golfwerking. Op Marker Wadden handhaaft het riet zich vooralsnog alleen door een combinatie van het planten van wortelstokken en uitrastering tegen ganzen. Onderstaande foto toont de uitrastering van riet tegen ganzenvraat in aangelegde nieuwe rietoevers van geënte zoden in het Zwarte Meer (foto H. van Manen RWS).



Lisdodde is hier ook gestimuleerd door het uitstrooien van zaad. De ontwikkeling van ondergedoken vegetaties is wel eens gestimuleerd door het aanbrengen van sediment met zaden en sporen uit andere gebieden. Dit is onder meer op Marker Wadden en in het Eemmeer gebeurd, in beide gevallen gericht op kranswier. De resultaten zijn wisselend als gevolg van andere beperkende factoren dan de beschikbaarheid van zaad of sporen, zoals water- en bodemkwaliteit. Terwijl hogere waterplanten zoals fonteinkruiden in het algemeen zeer snel spontaan present zijn, is de spontane vestiging van kranswier bij geschikte omstandigheden een kwestie van iets meer geduld.

Overigens is blijkt het aanslaan van riet alleen mogelijk op locaties waarbij er sprake is van een beperkte golfaanval. Het zelfs met beschermende maatregelen laten groeien van rietvegetatie rond de waterlijn van de pilot Houtribdijk was geen succes. Golfaanval die hoger is dan 0,2 m onder dagelijkse omstandigheden zorgt voor een dusdanige hoge dynamiek dat vegetatie in de oeverzone zich niet kan handhaven (EcoShape, 2018e).



In het Ketelmeer werden tijdelijke vooroevers en damwanden gebruikt om de rietzone te laten ontstaan. Voorbeelden van dergelijke tijdelijke luwtmaatregelen in het ketelmeer om ondiepe zone en rietoeveren te beschermen zijn te zien in bovenstaande foto (bron H. van Manen RWS).

Intermezzo 12 Mogelijkheden tot verbeterd opstarten vegetatieontwikkeling.

Uit te voeren monitoring

Monitoring tijdens en vlak na de aanleg kan zich toespitsen op verschillende aspecten: Hydrodynamica (golven en stroming), morfologische ontwikkeling van het onderwaterlandschap, eventuele pluimvorming van zwevend stof tijdens de aanleg en ecologische aspecten. Uitgangspunt is hierbij het reeds in het programma van eisen vastgelegde raamwerk. Hierin staat wat, er wanneer, hoe en waar gemonitord moet worden.

Hydrodynamica monitoren is vooral nuttig als een beter beeld moet worden verkregen van de lokale situatie op dit punt: zijn golven en stromingspatronen nog slecht bekend in ruimte en tijd dan is de plaatsing van bijvoorbeeld druksensoren aan te bevelen in combinatie met een lokaal meteo-station. Een deel van deze informatie kan ook uit de toepassing van gedetailleerde hydrodynamica modellen worden verkregen.

De morfologische monitoring moet worden opgesplitst in zettingen van de ondergrond en verspreiding van het aangebrachte materiaal in de ruimte (zowel langstransport naar aanliggende gebieden als dwarstransport wat veelal verlies naar diepere delen inhoudt). De hoeveelheid zetting van de ondergrond kan weliswaar worden gekwantificeerd met sondering vooraf, maar in het veld aangebrachte zakbakens helpen de daadwerkelijk zetting te monitoren tijdens en na aanleg, zodat eventueel kan worden bijgestuurd in het aan te brengen volume. Bovendien kan zo een beeld verkregen worden over de uiteindelijk te

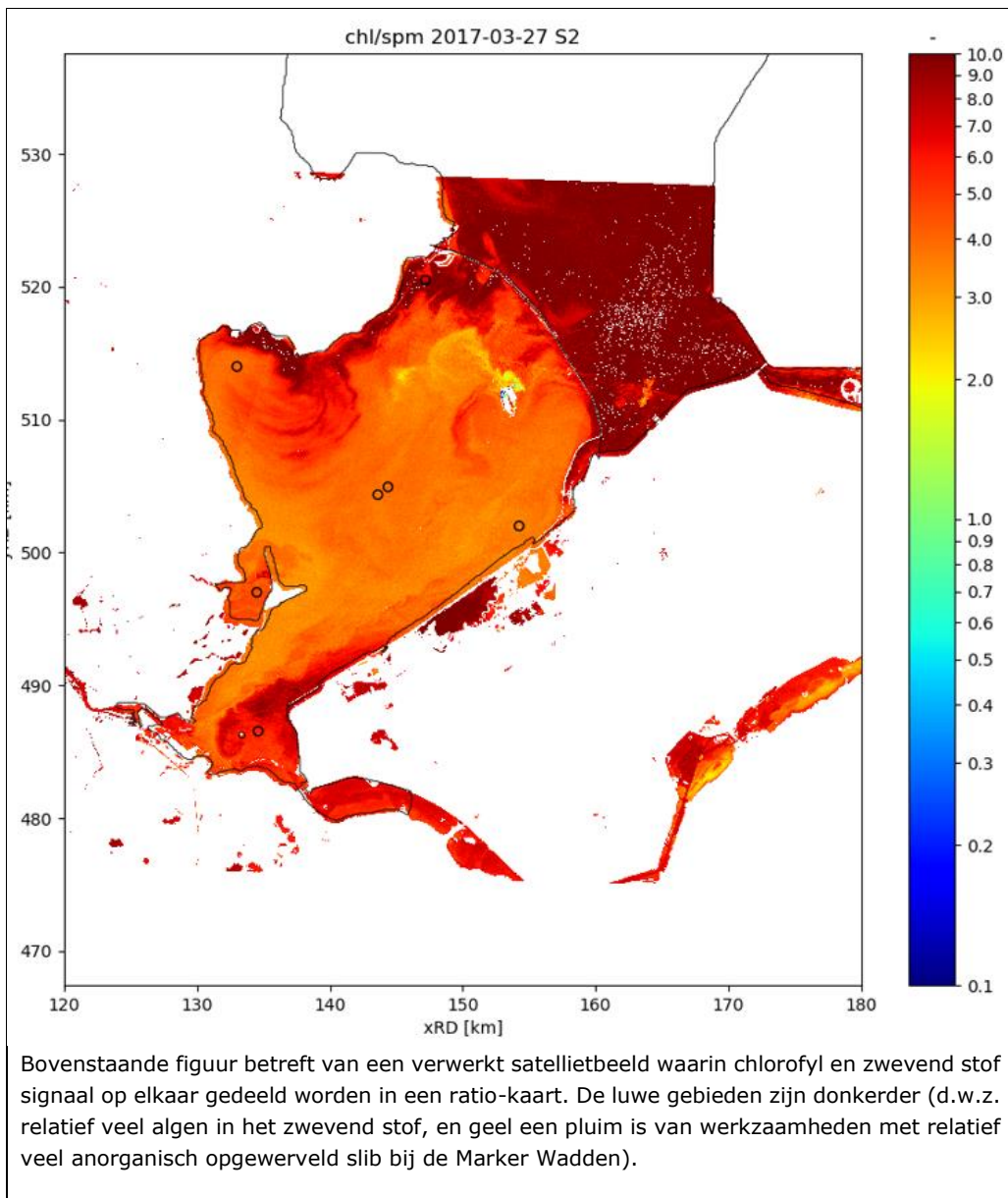
verwachten zettingen en daarmee samenhangende verliezen van de dimensies van het onderwaterlandschap (zie ook Intermezzo 11).

Voor de verspreiding van materiaal door golf- en stromingspatronen zijn vlakdekkende inmetingen met bijvoorbeeld een multi-beam tijdens, in en na de periode na de aanleg nodig. Ook deze informatie helpt bij het al dan niet beslissen of meer materiaal moet worden aangebracht.

Ecologische monitoring tijdens de aanleg moet zich vooral richten op het niet creëren van een onacceptabele verstoring in relatie tot de gedefinieerde toelaatbare verstoring. Hiervoor zijn veldobservaties van bijvoorbeeld vogelbewegingen nodig. Voor verstoringen onderwater wordt vaak gerefereerd naar het monitoren van de verspreiding van de pluim van zwevend stof die tijdens de implementatie kan worden veroorzaakt. Vanuit de vergunningverlening worden hier vaak bepaalde eisen aan gesteld ten aanzien van de duur en intensiteit van de verhoging ten opzichte van de achtergrondwaarden (EcoShape, 2018a), (EcoShape, 2018c).

Een goede lange termijn monitoring van natuurontwikkelingsprojecten is cruciaal voor kennisontwikkeling ten behoeve van bijstelling in de periode na aanleg en volgende projecten. Helaas is het vaak een stiefkindje van financiële beperkingen. Voor ecologische en hydro-morfologische en meteo-data inwinning op langere termijn kan dat betekenen de evaluatie moet worden uitgevoerd op basis van de reguliere monitoring vanaf bestaande meetstations en van ecologische standaardmonitoring van het gehele waterlichaam, zonder specifieke, lokale data. Als er wel een specifiek monitoringsprogramma is, loop dit vaak maar een paar jaar. Dat kan tekortkomingen aan het licht brengen, maar ook de successen in het beginstadium. Die successen zijn echter vaak gekoppeld aan de pioniersstadia van flora en fauna. Een monitoringsprogramma van vijf jaar of minder brengt nog niet het uiteindelijke resultaat in beeld omdat gemiddeld genomen een systeem pas na 10 jaar in een stabielere fase is gekomen.

Welke parameters moeten worden gemonitord hangt natuurlijk af van de doelstellingen. Met betrekking tot arealen bovenwater habitat is tegenwoordig veel mogelijk met remote sensing, hetzij met satellietbeelden, hetzij met vliegtuig of dronebeelden. Moerasvegetatie kan met behulp van drones goed in beeld worden gebracht. Onder water is dit veel lastiger omdat licht onderwater met de diepte uitdooft/ het water troebel kan zijn of verschillen tussen bijvoorbeeld draad- en kranswier niet zichtbaar zijn. Het kan daarom zinvol zijn om de reguliere karteringen van waterplanten uit te breiden met de nieuw ontwikkelde arealen. Luwte-effecten kunnen met satellietbeelden goed worden gevolgd, via bewerking voor parameters als chlorofyl, zwevend stof of lichtuitdoving. Verder zijn dieptelodingen zinvol. Vogeltellingen zijn zinvol als het doelsoorten betreft, maar ook als indicatoren van habitatkwaliteit.



Intermezzo 13 Overzicht uit te voeren monitoring.

5 Fase 4 - Overgangsbeheer en onderhoudsfase

5.1 Stappenplan

Vlak na aanleg is een onderwaterlandschap nog volop in beweging en ontwikkeling. Zeker in de eerste 3 jaar zal er nog veel verschuiving van materiaal zijn vooral bij grotere stormen en als gevolg van zetting en vegetatieontwikkeling. Gemiddeld genomen is na een jaar of 10 het onderwaterlandschap in een stabiele (mogelijk nog altijd langzaam eroderende of verlandende) fase gekomen. In deze dynamische fase is overgangsbeheer mogelijk nodig.

Definieer op basis van welke criteria deze overgangsfase wordt uitgevoerd:

- Wat is de mate van zetting die gecompenseerd moet worden;
- Hoeveel verlies op de randen wordt toegestaan;
- Moeten er maatregelen tegen vraat worden ingezet;
- Moeten ongewenste soorten (bijvoorbeeld opslag van houtige soorten in een riet-oeverzone) worden verwijderd;
- Is de toegankelijkheid (on-)voldoende of juist te makkelijk?

Overgangsbeheer kan ook inhouden dat na x jaar tijdelijke luwtedammen moeten worden verwijderd of worden onderhouden, en mogelijk moet sediment worden bijgevoerd om zetting te compenseren.

5.2 Aandachtspunten binnen overgangsbeheer en onderhoudsfase

Grenswaarden

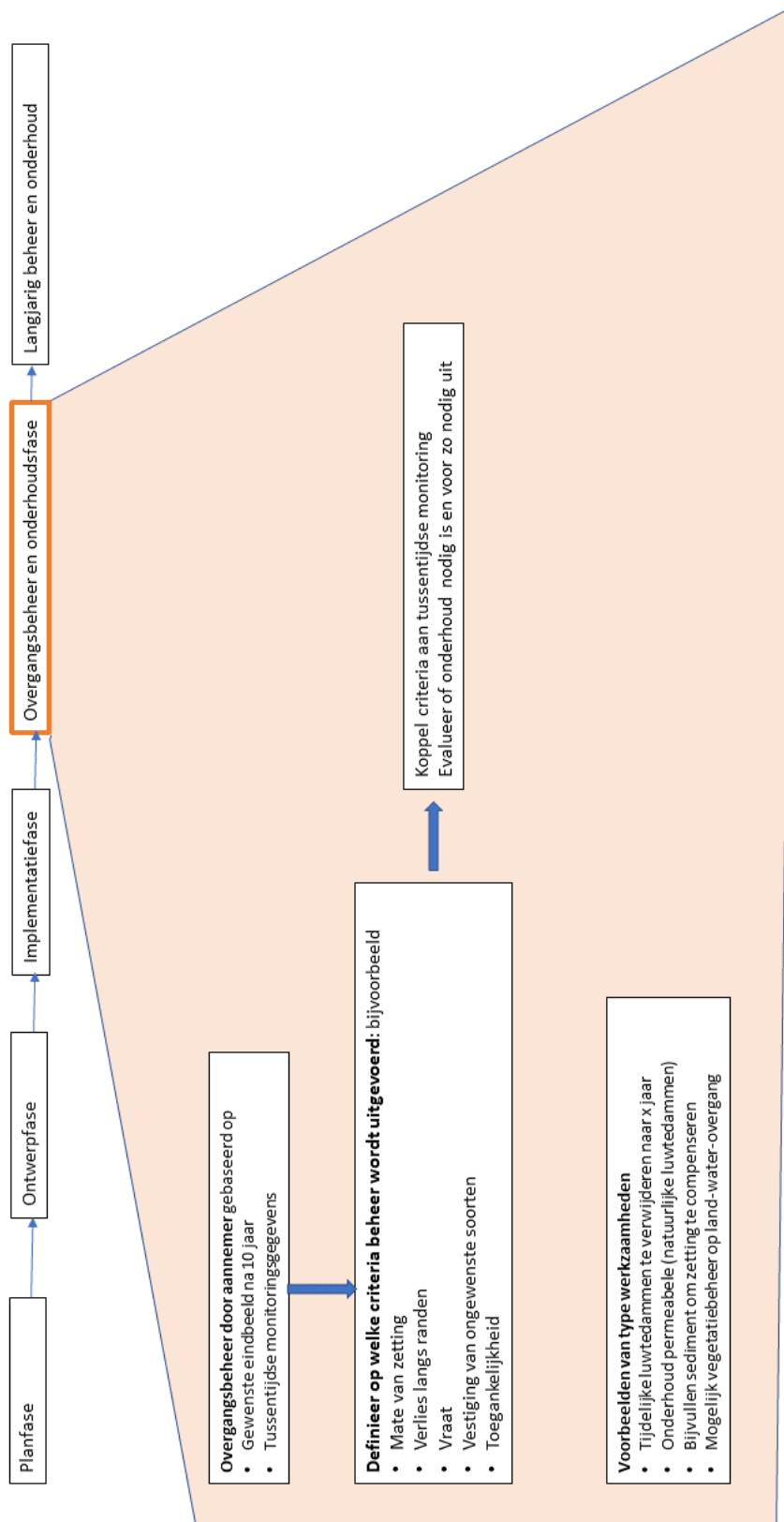
Afhankelijk van het ontwerp en de locatie zijn beelden geschetst waar het onderwaterlandschap aan moet voldoen. Deze helpen bij het definiëren van grenswaarden die minimaal aanwezig moeten zijn: bijvoorbeeld is er voor gekozen om x ha van een gegeven diepte te willen hebben, dan moet er door monitoring van het diepteprofiel worden bepaald of dit oppervlak nog aanwezig is (zie ook Intermezzo 8). Wanneer het oppervlak teveel is afgenomen, en het areaal in gevaar dreigt te komen, moet beheer worden uitgevoerd. Ook kan bijvoorbeeld zetting een rol spelen: zakt een onderwaterlandschap onder een bepaalde kritische grenswaarde, dan moet er weer ingegrepen worden (zie ook Intermezzo 11).

Daadwerkelijk harde grenswaarden zijn niet te geven omdat deze afhankelijk zijn van het doelstellingen, ontwerp en de locatie. Wel kunnen voor het bepalen van grenswaarden kunnen de volgende overwegingen meegenomen worden:

- Hoeveel verlies van materiaal sta je toe?
- Meet de morfologische ontwikkeling van het onderwaterlandschap na een storm extra in en wees alert op events die invloed kunnen hebben op de staat van de onderwaterlandschap.
- Meet ook jaarlijks de zetting door zakbaken in te meten en volg de ontwikkeling van de randen periodiek

De grenswaarden zijn mede afhankelijk van de ligging/expositie ten opzichte van wind en golven.

Intermezzo 14 Grenswaarden als signaalwaarde voor ingrijpen.



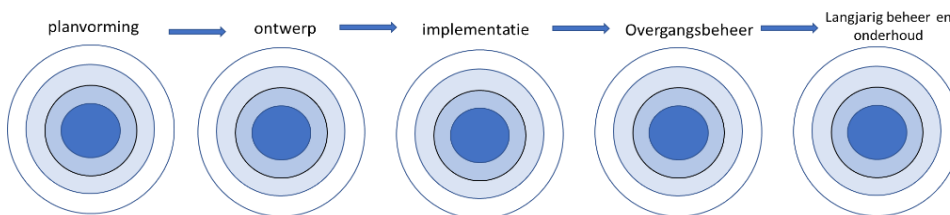
Figuur 11 Belangrijkste onderdelen stappenplan overgangsbeheer en onderhoud.

6 Fase 5 - Langjarig beheer en onderhoudsfase

6.1 Stappenplan

Langjarig beheer wordt uitgevoerd door de rechtmatige beheerder van het gebied. Dit kan ook uitbesteed worden aan een derde partij. Identificeer en beantwoord dan ook duidelijk de volgende vragen:

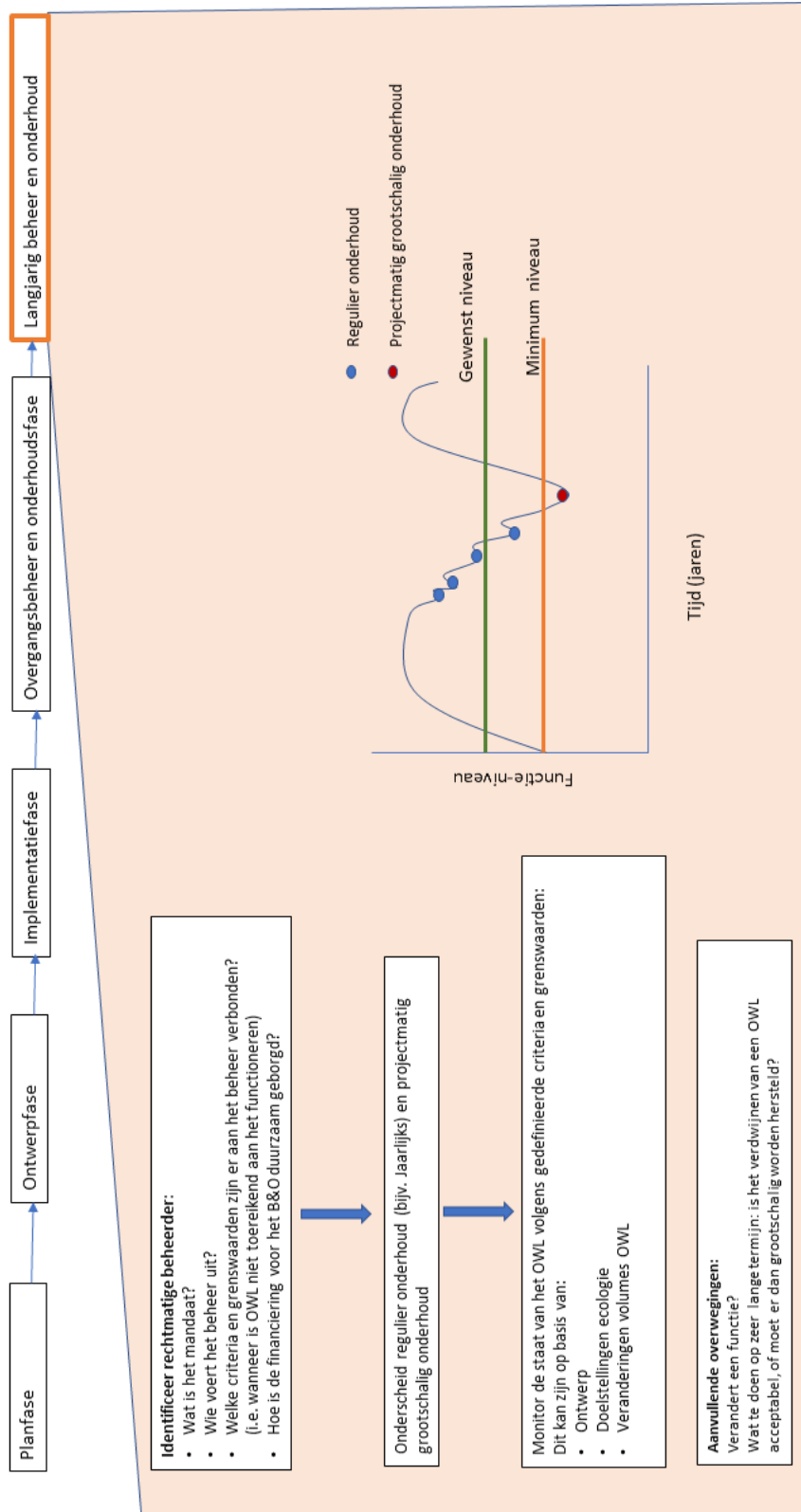
- Wat is het mandaat van de beheerder: wat mag/moet er door de beheerder worden uitgevoerd en gemonitord.
- Wie voert het beheer uit? Is het de 'eigenaar' van het onderwaterlandschap of bijvoorbeeld een terrein-beherende organisatie of private partij?
- Welke criteria en grenswaarden zijn er aan het beheer verbonden en wanneer is het onderwaterlandschap niet meer toereikend aan het functioneren?
- Hoe is de financiering duurzaam geborgd, en hoe zijn financiële risico's belegd?



Figuur 12 Belangrijkste onderdelen stappenplan Langjarig beheer en onderhoud.

Maak een meerjarig onderhoudsplan waarin onderscheid wordt gemaakt tussen regulier onderhoud (- kleine ingrepen die jaarlijkse nodig zijn) en projectmatig grootschalig onderhoud dat alleen nodig is als bepaalde minimum functieniveaus niet meer gehaald worden.

Neem in het meerjarig onderhoudsplan ook criteria op waarop de status van de onderwaterlandschap wordt beoordeeld, gebruik hierbij het ontwerp, de doelstellingen vanuit ecologie en veranderende volumes van het onderwaterlandschap als basis.

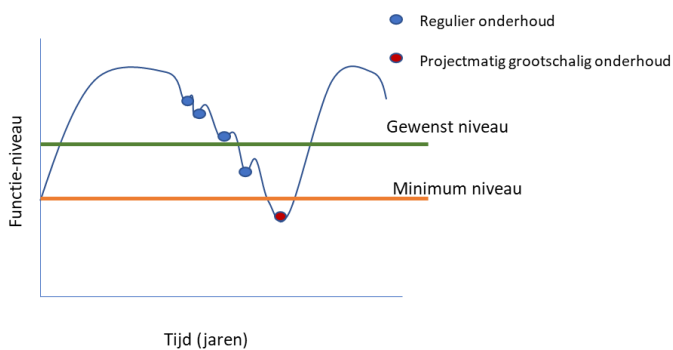


Figuur 13 Belangrijkste onderdelen stappenplan Langjarig beheer en onderhoud.

6.2 Aandachtspunten binnen langjarig beheer en onderhoud

Regulier en langjarig onderhoud

Regulier onderhoud vindt periodiek plaats, en kan worden ingevuld met eenvoudige middelen. Zo kan bijvoorbeeld worden gekeken of luwtmaatregelen nog in voldoende goede staat zijn om hun functie stabiel te blijven waarborgen, of recreatief medegebruik geen grote schade toebrengt aan het onderwaterlandschap en of er geen onverwachte veranderingen vragen om aandacht. Onderdeel van het regulier onderhoud kan ook zijn dat er jaarlijks wordt gemonitord wat de zetting is en hoe de randen van het onderwaterlandschap zich houden. Op basis van deze monitoring kan ook worden bepaald of er een neerwaartse trend is in het onderwaterlandschap (teveel zetting, te veel erosie) waarvoor grootschaliger projectmatig onderhoud nodig is. Bijvoorbeeld als na 10 jaar het onderwaterlandschap door zetting te diep is geworden, kan het worden overwogen of het nodig is om aanvullende suppletie uit te voeren.



Zoals al genoemd in Intermezzo 11 leidt dit laatste wel tot een significante verstoring van het op dat moment aanwezige onderwaterlandschap. Overwogen kan dan ook worden om slechts een deel (bijvoorbeeld de helft) van het onderwaterlandschap van een extra laag materiaal te voorzien, zodat flora en fauna vanuit de andere helft de bezande sectie weer kunnen koloniseren, waarmee de schade in het onderhoud mogelijk beperkter blijft dan wanneer in een keer het volledige oppervlak bedekt wordt en daarbij de volledige aanwezige flora en fauna verstikt. Overwogen kan worden of een dergelijk 'meegroeionderwaterlandschap' een relevante, meer ecologisch verantwoorde beheerstrategie is.

Ook kan het na een bepaald aantal jaren nodig zijn om luwtmaatregelen te herstellen omdat de luwtmaatregel dusdanig is beschadigd dat golven weer vrij spel hebben achter de luwtmaatregel: dit valt ook onder de categorie projectmatig grootschalig onderhoud.

Intermezzo 15 Regulier en langjarig onderhoud.

Voorbeelden langjarige ontwikkelingen

Natuurlijke landschappen zijn altijd in enige fase van ontwikkeling: vanuit een pioniersfase na aanleg zal het onderwaterlandschap worden gekoloniseerd door flora en fauna, en zal het zich morfologisch vormen naar een dynamisch evenwicht, waarbij door gebrek aan getijde mogelijk wel langjarig langzame erosie kan optreden. Vaak is een situatie na een jaar of 10 in een min of meer 'stabiele' situatie gekomen, waarbij de pioniersfase niet meer aanwezig is. Wel kan door extreme stormen dan nog onverwachte verandering optreden die gemonitord moet worden.

Over langjarige ontwikkeling van praktijkvoorbeelden is voor morfologische ontwikkeling vaak niet lang genoeg gemonitord: de monitoring ontbreekt vaak of is bewust na een aantal jaren na aanleg al gestopt. Een voorbeeld hiervan is moeraseiland Ierst: het test-eiland met oermoeras dat in 2013 in het Markermeer werd aangelegd om te onderzoeken hoe een dergelijk aangelegd stuk onderwaterlandschap en plas-drasmoeras zich zou ontwikkelen. Ierst is niet onderhouden en behalve een deel van de ringwal inmiddels geheel onder water gezakt. De onderwaterontwikkelingen zijn nog slechter in beeld hier, maar dit geldt voor veel van dit soort natuurontwikkelingsprojecten: zeer ondiep water wordt vaak niet bemonsterd voor bijvoorbeeld morfologische ontwikkelingen omdat het slecht begaanbaar is (let wel – zeker niet onmogelijk, wel lastiger omdat het met een multi-beam vanaf een schip niet in te meten is, maar handmatig moet worden ingemeten met bijvoorbeeld een handheld dGPS).

Als een onderwaterlandschap gekoppeld is aan plas-drasoevers of eilanden moet ook rekening worden gehouden met verlanding. Zo is in 1994 natuurontwikkelingsproject Abbert II aangelegd, nabij het eiland Abbert in het Drontermeer. Het project bestond uit circa 110 opgespoten miniatuur eilanden voor natuurontwikkeling, met als doel dit rietmoeras-eilandjes te laten zijn (Remmelzwaal A.J., 2001). Deze eilandjes zijn inmiddels begroeid met bos en de rietkragen van de verschillende eilandjes zijn aan elkaar gegroeid tot een uitgebreider rietveld.



Luchtfoto van de een deel van Abbert II in het Drontermeer in 2005 (links) en in 2021 (rechts) (Bron Google Earth Pro) waarop duidelijk te zien is dat de rietkragen tussen de individuele eilandjes zich verder hebben uitgebreid in deze periode.

Andere langjarige ontwikkelingen kunnen worden gevolgd doordat vogels als indicatoren een goede optie: pioniersstadia en het verdwijnen daarvan zijn goed afleesbaar aan de vogelbevolking.

Intermezzo 16 Voorbeelden langjarige ontwikkelingen.

7 Referenties

- Arcadis. (2022). *Kennis en Innovatie programma Marker Wadden/KIMa. Resultaten onderdeel Thema 1 'Bouwen met slib en zand', Onderzoek zandige randen. Eindrapportage project 30067433-C03011.000543 (in voorbereiding).*
- Bretschneider, C. L. (1958). *Revisions in Wave Forecasting: Deep and Shallow Water. Proceedings of the 6th Conference on Coastal Engineers, ASCE, 1958, pp. 30.*
- Deltares. (2022). *Syntheserapport KIMA; De eerste vijf jaar onderzoek op Marker Wadden (in voorbereiding/af ronding).*
- EcoShape. (2018a). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Lessons-learned vergunningen. Document 078275948:A .*
- EcoShape. (2018b). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Lessons-learned aanleg. Document 078276043:A.*
- EcoShape. (2018c). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Guideline vergunningen. Document 078680109:A.*
- EcoShape. (2018d). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Guideline aanleg. Document 078680471:A.*
- EcoShape. (2018e). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Guideline beheer en onderhoud.*
- EcoShape. (2018f). *Pilot zandige vooroever Houtribdijk; Overkoepelende hoofdrapportage.*
- Hegge, B. E. (1996). *Sheltered sandy beaches of southwestern Australia. Journal of coastal Research, pp.748-760.*
- Rommelzwaal A.J., D. J. (2001). *De ontwikkeling van natuurproject Abbert II. RIZA werkdocument 2001.061.X. In opdracht van Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied.*
- Rijkswaterstaat/MinIenW. (2020). *Vraagspecificatie Ontwerp onderwaterlandschap. Zaaknummer 31162395, versie 4 (definitief) d.d. 27 juli 2020.*
- Steetzel et al. (2017). *Building with nature pilot sandy foreshore Houtribdijk; Design and behaviour of a sandy dike defence in a lake system. Coastal Dynamisc 2017.*
- Ton, A. et al. (2020). *Sandy beaches in low-energy, non-tidal environments: Linking morphological development to hydrodynamic forcing. Geomorphology. 374. 107522. 10.1016/j.geomorph.2020.107522.*
- Travers. (2007). *Low-energy beach morphology with respect to physical setting: A case study from Cockburn Sound, Southwestern Australia. Journal of Coastal Research, 23(2), 429-444. <https://doi.org/10.2112/04-0275.1> .*
- Turlings, L. (2020). *Project Wieringerhoek. Notitie Reikwijdte en detailniveau. Rijkswaterstaat Midden Nederland i.s.m. Witteveen en Bos. Definitieve rapportage maart 2020. Lelystad.*
- Van der Weij. (2005). *De Markermeerstranden onderzocht; Kansen voor schelpenstranden. Afstudeerscriptie Universiteit Twente, september 2005.*
- Van Zuidam, B.G. and Peeters, E.T. (2015). *Wave forces limit the establishment of submerged macrophytes in large shallow lakes. Limnology and Oceanography, 60(5), pp.1536-1549.*
- Westendorp P.J., E. R. (2019). *Onderbouwing ecologische maatregelen IJsselmeergebied. Het areaal land-waterovergangen. Literatuurstudie. B-WARE BV, Radboud Univ. Nijmegen, rapport RP-19.072.20.18. Nijmegen.*

