



De functie van Kelp in de Noordzee

Alexander Ebbing

Reinier Nauta

COLOFON

Dit rapport is opgesteld in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (project nummer: 2025 - 0106). De inhoud is samengesteld in samenwerking met Seawiser BV. (dhr. **Job Schipper**) en Campus@Sea (dhr. **Jan Hendrik Schretlen** & mvr. **Annemarie Smabers**).

Alexander Ebbing Ebbing Tides BV. Gentiaan 14, 7721HB, Dalfsen

Reinier Nauta Wageningen Marine Research. Ankerpark 27, 4407NT, Den Helder

Omslagfoto: Alexander Ebbing – Met kelp geïnoculeerde steen voor het pilot-experiment van het hier gepresenteerde project.



SEAWISER Campus@Sea

INHOUD

1. Inleiding.....	4
2. Wat is kelp.....	6
3. Ecologische en economische waarde van kelp	8
3.1 Waarom kelpwouden verdwijnen	8
3.2 Kelp wouden herstellen.....	9
3.3 Effect op de haringstand (<i>Clupea harengus</i>).....	9
3.4 Voordelen voor andere vissoorten	11
3.5 Ecosysteemdiensten: koolstofvastlegging, kustbescherming, sedimentstabilisatie.....	14
3.6 Vergelijking met andere rewilding-technieken (schelpdierriffen, kunstriffen, biogene riffen).....	16
4. Kelp in de Noordzee en langs de Nederlandse kust	20
4.1 Historische aanwezigheid	20
4.2 Huidige aanwezigheid en verspreiding.....	21
4.3 Staat van kennis.....	23
4.4 Lopende en recente projecten	23
5. Genetische diversiteit en populatie-structuur van <i>Saccharina latissima</i> 24	
5.1 Veredeling en de risico's	24
5.2 Verspreiding en lokale genetische bronnen	25
5.3 Genetische diversiteit Nederland	26
6. Kansen voor kelp Rewilding.....	27
6.1 Praktische kansen: kunstmatige riffen en offshore wind als drager	27
6.2 Innovatie: aquacultuurtechnieken als motor voor rewilding	29
6.3 Synergie, schaal en Noordzee specifiek perspectief	33
7. Knelpunten en kennishiaten	33
8. Beleids- en maatschappelijke context	36
8.1 Beleid en kennis.....	36
8.2 Maatschappelijke kennis en kunde.....	38
Projecten en Financiering	39
9. Conclusie.....	40
10. Referenties	43

1. INLEIDING

De Noordzee heeft te maken met een achteruitgang van belangrijke paaiplaatsen en kraamkamers voor vis, met name grindbedden en kelpwouden (onderwaterbossen van grote wieren). Deze habitats zijn van cruciaal belang voor soorten als de Atlantische haring (*Clupea harengus*) en commercieel waardevolle roofvissen zoals kabeljauw (*Gadus morhua*) en koolvis (*Pollachius virens*), maar ook voor bijzondere soorten als de snotolf (*Cyclopterus lumpus*) en diverse lipvissen.

Kelpwouden fungeren ecologisch als rijke habitats voor voortplanting en groeiplek van juveniele vissen. Ze bieden een complexe structuur van bladen en stengels die zich vasthechten aan de natuurlijke ondergrond (veelal rotsen en in sommige gevallen grind) waarop veel vissoorten graag hun eitjes afzetten of waar juvenielen beschutting vinden en voedsel zoeken. Atlantische haring, bijvoorbeeld, zet haar kleverige eitjes normaliter af op grof substraat zoals grind, kiezels, schelpgruis óf op onderwaterplanten (Frost & Diele 2022). In gebieden waar vroeger kelp of koraalwier (maerl) voorkwam, zagen vissers dat haringen deze bodems of zeewier/kelpbladeren verkozen als paaiplaats (Frost & Diele 2022). Uit onderzoek blijkt dat Atlantische haring in ~16% van de gedocumenteerde gevallen eieren op kelp of andere macro algen afzette (Frost & Diele 2022). Over het algemeen zoeken haringen structuur en reliëf: proeven in aquaria toonden dat paairijpe haringeitjes liefst op substraat met complexe textuur afzet – of dat nu grind is of waterplanten (macrofyten) (Frost & Diele 2022).

In de Noordzee zijn zulke geschikte paaigronden schaars geworden. Grindbedden zijn beschadigd of verdwenen door menselijk ingrijpen, zoals het winnen van zand en grind op zee, sleepnetvisserij die de bodem egaliseert, en milieuvervuiling (De Groot 1979). Reeds in 1979 waarschuwden wetenschappers dat grootschalige grindwinning in de Noordzee “een ernstig gevaar” vormde voor haringstanden vanwege de vernietiging van paaiplaatsen (De Groot 1979). Verlies van paaibiotop kan direct leiden tot instorting van visbestanden (Taylor et al. 2019). Tegelijkertijd zijn ook natuurlijke kelpwouden achteruitgegaan, denk aan de kusten van Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk, waar kelpwouden werden weggevreten door zee-egels (na overbevising van hun natuurlijke vijanden), of lokaal verdwenen door opwarming en vervuiling. Zonder kelp neemt de biodiversiteit drastisch af: de dichtheid en variëteit aan kleine ongewervelden en vislarven daalt,

waardoor er minder voedsel en schuilplaatsen zijn voor grotere vissen (Christie et al. 2022).

Het doel van dit document is om een overzicht te geven over de ecologische, genetische en praktische perspectieven rondom kelp restauratie (kelp rewilding) langs de Nederlandse kust en in bredere zin de Noordzee. We geven inzicht in hoe het aanleggen van kunstmatige kelpwouden kan helpen bij het herstellen van leefgebieden, het vergroten van visbestanden en het opleveren van economische voordelen. We bespreken de ecologische rol van kelpwouden als paaigrond/opgroeigebied, maken een schatting van hoe sterk de haringstand kan verbeteren (in omvang en herstelsnelheid) door habitattherstel, bekijken de verwachte voordelen voor andere vissoorten onderbouwd met wetenschappelijke bronnen en praktijkvoorbeelden. Verder kijken we wat de historische aanwezigheid was en hoe dit zich vertaalt naar het heden. Ook kijken we welke mogelijkheden ontstaan bij de nieuwe blauwe economie en de activiteiten op de Noordzee. Uiteindelijk willen we onderbouwd laten zien wat de meerwaarde van kelp is in de Noordzee en hoe kelp kan helpen met onze uitdagingen richting de toekomst.

2. WAT IS KELP

Macroalgen zijn meercellige, fotosynthetische eukaryoten die wereldwijd voorkomen in kust- en continentaalplat-ecosystemen. Hoewel ze gezamenlijk vaak “zeewier” worden genoemd, vormen ze geen enkele fylogenetische eenheid. In plaats daarvan zijn mariene macroalgen onafhankelijk ontstaan binnen drie grote evolutionaire lijnen, die elk worden gekenmerkt door eigen pigmenten, opslagproducten, celwandbiochemie en ecologische verspreidingspatronen (Graham et al. 2008; Raven et al. 2020).



Bruinwieren

Groenwieren

Roodwieren

Figuur 1. De drie primaire groepen zeewieren.

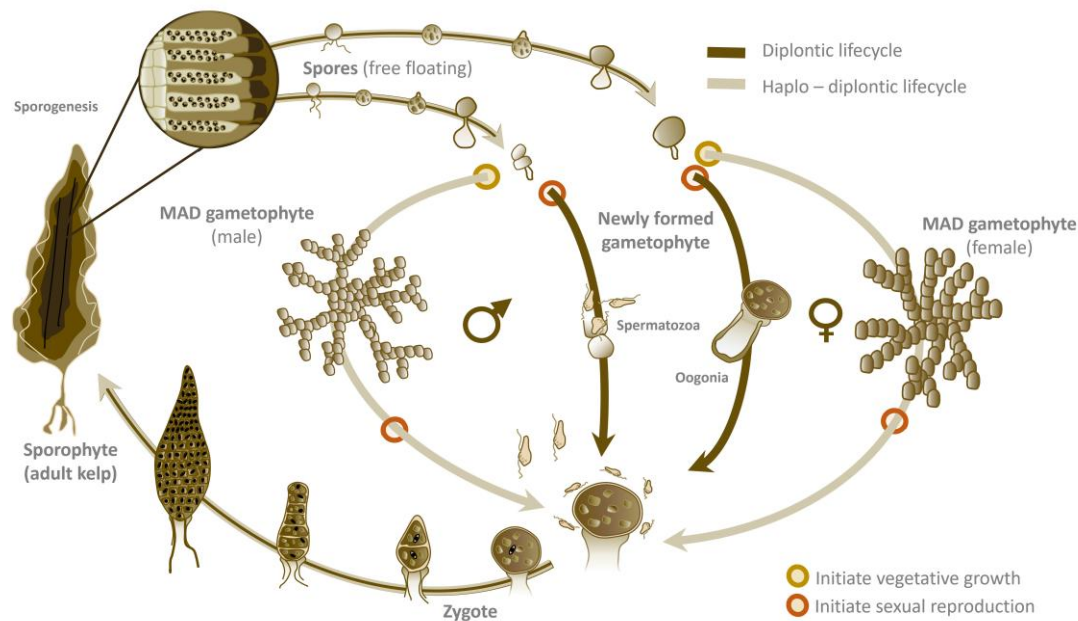
Kelp verwijst naar de grote bruine macroalgen van de orde *Laminariales*, binnen de klasse *Phaeophyceae*. Tot deze orde behoren geslachten zoals *Saccharina*, *Laminaria*, *Macrocystis*, *Ecklonia* en *Alaria*. De soort die centraal staat in veel Noord-Atlantische systemen, *Saccharina latissima*, komt voor in koude tot gematigde wateren van het noordelijk halfrond. *S. latissima* groeit optimaal bij 10–15°C, waarbij groeireductie en fysiologische stress optreden bij temperaturen boven circa 20°C (Martins et al. 2017).

De soort vertoont een typische kelp morfologie bestaande uit:

- een holdfast die het organisme verankert aan rotsen of kunstmatige substraten,
- een stipe die bij verschillende kelp soorten het thallus in de waterkolom omhoog houdt, en
- een lamina (blad) die verantwoordelijk is voor fotosynthese en sporenproductie.

Kelp heeft een heteromorfe haplodiplontische levenscyclus, waarin de diploide fase wordt afgewisseld met een haploide fase tussen een grote diploïde sporofyt,

en een microscopische haploïde gametofyt (Lüning 1990; Schiel & Foster 2006).



Figuur 2. De haplo-diplontische levenscyclus binnen de orde van Laminariales (Ebbing et al. 2025).

De macroscopische sporofiet vormt sori op de lamina. Binnen deze sori vindt meiose plaats, waarbij haploïde, beweeglijke zoösporen worden geproduceerd die in de waterkolom worden vrijgelaten. De zoösporen vestigen zich op ruw substraat, waar zij uitgroeien tot mannelijke en vrouwelijke gametofyten. Deze gametofyten leven in biofilm-achtige microhabitats en zijn gevoelig voor temperatuur, lichtniveaus, nutriëntenbeschikbaarheid, dichtheid en chemische signalen (Amsler & Neushul 1991; Tom Dieck 1993). Vrouwelijke gametofyten produceren eicellen; mannelijke gametofyten produceren bewegende spermacellen. De bevruchting vindt plaats op de schaal van micrometers, waarna een diploïde zygote ontstaat die direct uitgroeit tot een juveniele sporofiet. Een deel van de gametofyten blijft gedurende maanden tot jaren in een vegetatieve toestand zonder over te schakelen naar seksuele voortplanting. Deze MultiAnnual Delayed (MAD) gametofyten functioneren als langdurige genetische reservoirs en vergroten de veerkracht van populaties onder wisselende of suboptimale milieuomstandigheden (Ebbing et al. 2025). In aquacultuur en *rewilding* maken MAD gametofietlijnen het mogelijk om stabiele, controleerbare en seizoen onafhankelijke zaadproductie te realiseren (Ebbing et al. 2021).

3. ECOLOGISCHE EN ECONOMISCHE WAARDE VAN KELP

3.1 WAAROM KELPWouden VERDWIJNEN

Voordat we kunnen kijken hoe we kelpwouden kunnen herstellen en wat de meerwaarde is van deze kelpwouden is het belangrijk om inzicht te krijgen in de externe krachten die ervoor gezorgd hebben dat kelp wouden de laatste decennia aan het verdwijnen zijn. In deze paragraaf focussen we op twee verschillende gebieden langs de noordzee waar kelpwouden aan het verdwijnen zijn door verschillende externe factoren.

In Noorwegen lijken de kelpwouden vooral te verdwijnen door een trofische kettingreactie. Historisch stonden langs grote delen van de rotskust dichte wouden van *Laminaria hyperborea* en *Saccharina latissima*, gestabiliseerd door voldoende hard substraat, koele wateren en predatoren als kabeljauw en zeewolf die zee-egels in toom hielden (Smale 2020; Renaud et al. 2021). Door decennia van intensieve kustvisserij namen juist die roofvispopulaties sterk af, waarna de groene zee-egel *Strongylocentrotus droebachiensis* in groei explodeerde en duizenden vierkante kilometers kelp wegaten, met “urchin barrens” als alternatief stabiel eindpunt (Norderhaug et al. 2021; Filbee-Dexter and Scheibling 2014). Herstel draait hier daarom primair om het terugbrengen van predatoren en/of het actief reduceren van zee-egels, eventueel aangevuld met gerichte uitzaai op geschikt substraat.

In de zuidelijke Noordzee is het beeld anders: hier komt het verdwijnen en uitblijven van kelpwouden vooral door een combinatie van fysische grenzen en habitatverlies. Soorten als *Saccharina latissima* en *Laminaria digitata* zitten aan de warme rand van hun verspreiding en reageren scherp op stijgende watertemperaturen en mariene hittegolven, waardoor marginale populaties snel instorten (Smale 2020; Filbee-Dexter et al. 2020). Tegelijk is het ondiepe harde substraat waarop kelp zich kan hechten historisch vrijwel verdwenen: omvangrijke oester- en kokerwormriffen langs de NW-Europese kust zijn door visserij en bodemverstoring grotendeels geërodeerd, waardoor vooral een vlak, mobiel zandlandschap resteert (Thurstan et al. 2024; Van der Reijden et al. 2019). Rewilding in dit gebied betekent dus eerst weer “rots” en structuur creëren via kunstmatige of herstelde riffen en nature-inclusive offshore infrastructuur, plus werken aan licht- en temperatuurcondities; pas daarbinnen kan kelp nog duurzaam een rol spelen, eventueel versterkt met thermotolerantere lijnen.

3.2 KELP WOUDEN HERSTELLEN

Door het uitplanten van kelp op kunstmatige riffen, creëer je weer een 3D-habitat waar vissen hun eieren aan kunnen hechten en jongen kunnen opgroeien. Kelpwouden kunnen op verschillende manieren tot stand komen. In ondiepe zones met harde bodem kan men jonge kelpplanten uitplanten en op zandige bodems kan men eerst kunstmatige riffen (stenen of betonnen modules) plaatsen als houder voor kelp. Zodra er “onderwaterbos” staat, zien we doorgaans snelle kolonisatie door zeedieren. Praktijkvoorbeeld: in False creek Vancouver (Canada) is, in een baai waar het zeegras was weggebaggerd, een project gestart om haring te helpen paaïen. Vrijwilligers plaatsten daar kunstmatige paaïpanelen (netten en folie rond palen) die dienden als kunstmatige kelp/zeewier. De haring maakte er meteen gebruik van en plakte haar eieren op die panelen (Buu et al. 2020). Dit leidde tot een bijna 100% uitkomst van de eieren (in plaats van dat eieren afsterven op giftige of onbevestigde oppervlakken), en elk jaar kwamen er méér haringen paaïen (Buu et al. 2020). In een paar jaar tijd was de lokale haringstand duidelijk toegenomen, puur door het teruggeven van een geschikte paaïplaats (Buu et al. 2020).

Ook in Chili is aangetoond dat het “bebossen” van kale zeebodem met kelpstructuren de biodiversiteit en aantallen van commercieel beviste soorten verhoogt. Onderzoekers concludeerden dat kelpriffen een belangrijk hulpmiddel kunnen zijn om aangetaste bodemsystemen te herstellen (Vilegas et al. 2019). Kortom, door kelp terug te brengen waar het verdwenen is, kan men ecologisch gezien de paaïgronden en kraamkamers voor vis herstellen.

3.3 EFFECT OP DE HARINGSTAND (*CLUPEA HARENGUS*)

Het herstel van haringhabitat via kunstmatige kelpwouden kan de haringbestanden aanzienlijk verbeteren. Doelgericht habitatherstel verhoogt het voortplantingssucces van haring, hetgeen leidt tot grotere jaarklassen jonge haring en op termijn een hogere visbiomassa. Haring is zeer vruchtbaar, een volgroeide haring legt tienduizenden eitjes, maar die eieren zijn kwetsbaar. Ze moeten op een geschikt substraat kleven om zich te ontwikkelen. Betere paaïplekken leiden direct tot minder eisterfte. Wanneer haringeieren op schoon, stabiel substraat liggen (zoals kelpbladeren of grind) krijgen ze voldoende zuurstof en zijn ze minder blootgesteld aan predatie en verstikking, vergeleken met eieren op mobiel zand of slib (Frost & Diele 2022). Dat betekent dat een groter percentage eitjes uitkomt en larven wordt. Zelfs een ogenschijnlijk kleine verbetering in eiöverleving kan substantieel doorwerken in de populatiegrootte, gezien het enorme aantal eitjes dat wordt geproduceerd. Wetenschappelijke studies onderbouwen dit.

Een meta-analyse van herstelmaatregelen voor paaigronden (voornamelijk bij zalmachtigen, maar conceptueel relevant) toonde dat het toevoegen van geschikt substraat (bv. grind of hout als schuilplaats) gemiddeld leidde tot ~45% hogere dichtheden van vis vergeleken met onbehandelde locaties (Rytwinski et al. 2019.). Bij ingrepen met grind/stenen werden zelfs verdubbelingen van de visstand gezien in sommige gevallen (Rytwinski et al. 2019.). Voor een haring betekent het beschikbaar maken van een extra, hoogwaardige paaiplaats dat mogelijk duizenden extra eitjes per vierkante meter uitkomen tot larven. Indien op grotere schaal toegepast, zou dit zich kunnen vertalen in een merkbare stijging van de haringrekrutering (jonge aanwas). Bovendien kan het het hersteltempo van een uitgeputte haringstand verhogen. Haring groeit relatief snel en is rond het derde levensjaar geslachtsrijp (Buu et al. 2020). Stel dat in jaar 1 een nieuw kelpwoud wordt benut voor ei-afzet, dan zullen in datzelfde jaar meer larven overleven. Deze bereiken volwassenheid in jaar 3, waardoor de paaibiomassa dan al toeneemt. Met andere woorden, binnen enkele jaren kan effect zichtbaar zijn, wat sneller is dan herstel uitsluitend via vangstbeperking.

Een historische parallel: na de instorting van het Noordzee-haringbestand in de jaren '70 (hoofdzakelijk door overbevissing) duurde het meerdere jaren van sluiting voor de populatie herstelde. Men vermoedt dat in die periode sommige traditionele paaiplaatsen waren aangetast, wat het herstel vertraagde (Frost & Diele 2022). Als we nu zulke cruciale habitats actief beschermen en verbeteren, kan de haringstand stabiel en hoger uitkomen dan zonder habitatinterventie. Sommige modellen voorspellen bijvoorbeeld dat het herstellen van 30% van verloren kelphabitat tot een toename van ~7% in kustvisvangst zou kunnen leiden (inclusief haring) (O'Neill et al. 2024). Hoewel dit een grove schatting is, geeft het aan dat habitatmaatregelen meetbaar effect kunnen hebben op visproductie.

Een concreet voorbeeld, dat eerder al aangestipt was, is de impact die gezien werd in False Creek (Canada): daar moesten vrijwilligers elk jaar meer panelen bijplaatsen omdat er zoveel haring terugkwam om te paaien dat de bestaande “kunstkelp” bedekt raakte met meerdere lagen eieren (Buu et al. 2020). Een dubbele laag eieren is ongunstig (onderste laag kan verstikken), dus de populatie was in feite al boven het niveau dat de habitat eerst aankon, wat wijst op significante groei van de lokale haringstand in korte tijd door habitattoevoer (Buu et al. 2020). Voor de Noordzee-haring zou het herstel van bijvoorbeeld een traditionele paaigrond (zoals de Ballantrae Bank bij Schotland of bepaalde kustgronden) door kelpwier te introduceren of grind terug te storten de aanwas van haring kunnen verbeteren. Als *e.g.* 10% meer juvenielen ieder jaar overleven, kan de paaibiomassa in enkele generaties met vergelijkbare percentages stijgen. Daarnaast vergroot je de veerkracht van de populatie: een jaarklasse die goed overleeft dankzij voldoende habitat,

kan de kloof opvullen in jaren van minder gunstige omstandigheden. Samengevat: door kelpwouden te creëren, geef je de haring “veilige kraamkamers”, wat waarschijnlijk resulteert in sneller herstel en hogere maximumstanden van het bestand dan zonder dergelijke ingrepen.

3.4 VOORDELEN VOOR ANDERE VISSOORTEN

De aanleg van kelphabitat in de Noordzee zou een brede reeks soorten ten goede komen, met name soorten die economisch of ecologisch belangrijk zijn en die nu beperkt worden door habitattekort. Hieronder bespreken we de vier specifiek genoemde groepen:

Kabeljauw (Gadus morhua)

Jonge kabeljauwen (0+ en 1+ jaar) gebruiken vaak kustzones met zeewier of stenen als opgroeigebied. Ze zoeken beschutting tussen planten en onder rotsen om niet opgegeten te worden door roofvis. Kelpwouden fungeren als een soort crèche: de dichte bladeren verbergen de kleine kabeljauwtjes en er krioelt voedsel (garnalen, krabbetjes, wormpjes) op en rond de kelp. Uit een publicatie van het Smithsonian Ocean Initiative blijkt dat juveniele kabeljauw bijzonder afhankelijk is van de bescherming door kelp omdat ze anders gemakkelijk ten prooi valt aan grotere vissen (Kelp and Kelp Forests | Smithsonian Ocean). In kale omgeving (bijv. enkel zandbodem) hebben jonge kabeljauwen aanzienlijk minder overlevingskansen. In de Noordzee is kusthabitat schaars, maar lokaal (bij rotsige kusten van Noorwegen, Schotland, en kunstmatige structuren als golfbrekers) ziet men dat als er kelp aanwezig is, de dichtheid aan jonge kabeljauw hoger is (Michaelsen et al. 2012; Kelp and Kelp Forests - Smithsonian Ocean). Kelpherstel langs geschikte kusten of op kunstmatige riffen kan dus meer kabeljauw laten opgroeien tot vangbare vis. Gezien de huidige zorgen over het Noordzee-kabeljauwbestand (die laag staat en onder herstelplannen valt), kan elke bijdrage aan natuurlijke aanwas helpen. Uiteindelijk is kabeljauw een zeer waardevolle consumptievis, en economisch profijtelijker per kilo dan haring. Het argument is dus dat investeren in kelp ook investeren is in de toekomstige kabeljauwvisserij. Kabeljauw is in veel kustgemeenschappen van oudsher een pijler van de visserij-economie, en kelpwouden kunnen helpen deze soort terug te brengen (Kelp and Kelp Forests | Smithsonian Ocean).

Koolvis (Pollachius virens)

Koolvis is een andere kabeljauwachtige die de Noordzee bewoont. Als juveniel gedraagt koolvis zich vergelijkbaar met kabeljauw, al vormen ze

vaker scholen. Ze komen ook graag bij wrakken en kelp voor om te jagen op kleine visjes. Foto's uit Nova Scotia laten bijvoorbeeld zien hoe jonge pollak (Pollachius) schuilen boven kelpbedden.



Figuur 3. Stock foto van een school of juveniele Pollak (*Pollachius pollachius*).

In de Noordzee rond de kusten van Noorwegen en bij wrakken in de centrale Noordzee zie je koolvisjes tussen het wier schieten. Het voordeel van kelp voor koolvis is dus eveneens schuilplaats en jachtterrein. Een kelpwoud zou de voedselketen verrijken, meer kleine prooidieren die koolvis eet, en extra nissen bieden om te schuilen. Dit kan resulteren in snellere groei en hogere overleving van de jonge koolvis. De soort wordt commercieel bevestigd (als “koolvis” in diepvriesproducten bijvoorbeeld), dus een toename in hun bestand levert economisch gewin. Hoewel er minder specifieke studies zijn over koolvis en kelp, mogen we aannemen dat wat voor kabeljauw geldt, grotendeels ook opgaat voor koolvis, aangezien beide gedragsmatig rif- en wierecosystemen benutten in hun jeugd.

Snotolf (Cyclopterus lumpus)

De snotolf is een unieke vis die ook baat heeft bij kelpstructuur. Snotolven planten zich voort in ondiep water op rotsen, maar de larven die uitkomen zijn minuscuul en drijven met het plankton. Gedurende de eerste maanden na uitkomst leven jonge snotolven tussen drijvende zeewierplukken en in kustwateren met zeewier (*Cyclopterus* - Wikipedia). Ze hebben een zuignap (een aangepaste buikvin) waarmee ze zich vastkleven aan zeewier of ander drijvend materiaal. Dit gedrag is een overlevingsstrategie: de zwevende kelpmatten bieden voedsel en beschutting in de open zee (Meet the Lumpfish! - ArcGIS StoryMaps). Later, als ze wat groter zijn, trekken ze naar

de kust terug en leven ze rond bodems met wieren en stenen, tot ze volwassen zijn en gaan paaïen. Meer kelp in het ecosysteem betekent voor snotolf meer kansen in elke levensfase: drijvende kelpfragmenten (afgescheurd kelp blijft vaak drijven) vormen “vloten” voor pelagische juvenielen, en vaste kelpwouden langs de kust zijn plekken waar oudere juvenielen en volwassen snotolven kunnen foerageren en rusten. Daarnaast hangt er veel voedsel aan kelp (kleine schaaldieren en slakken waar snotolf van houdt; (Meet the Lumpfish! - ArcGIS StoryMaps). Een dicht kelpwoud zou dus de draagkracht voor snotolf verhogen. Dit is relevant omdat snotolven commercieel worden bevestigd in enkele noordelijke landen (voor hun kuit, die verwerkt wordt tot kaviaar-imitatie). Ook worden snotolven tegenwoordig opgekweekt en ingezet als schoonmaakvis in zalmkwekerijen (ze eten parasitaire zeeluis van de zalm). Een robuuste wilde snotolfpopulatie in de Noordzee zou de bronpopulatie kunnen vormen voor dergelijke kwekerijen en tegelijk ecologisch van waarde zijn (snotolven eten kwalen, kleine visjes en helpen zo evenwichten bewaren). Kortom, herstel van kelp helpt de snotolf, wat zowel ecologische diversiteit vergroot als potentieel een niche-visserij (of aquacultuur) ondersteunt.

Lipvissen

In de Atlantische wateren zijn lipvissen zoals de guldenroodbol (*Ctenolabrus rupestris*), steenbolk en koekoekslipvis (*Labrus mixtus*) typische bewoners van rots- en wierzones. Ze staan bekend als “rotsbewoners” die in en uit het wier zwemmen. Onderzoek langs de Noorse Skagerrak-kust toonde dat lipvissen het talrijkst waren in Laminaria-kelpwouden vergeleken met andere habitattypes (Christie et al. 2022). Ze waren ook veelvuldig aanwezig in gebieden met Saccharina (suikervier) en turfvier, maar kelp leverde de hoogste dichtheid. Lipvissen leggen geen eitjes aan de kelp vast (ze bouwen vaak nestjes of spreiden eitjes in waterkolom), maar ze leven in kelpbedden: ze schuilen tussen de bladeren voor roofdieren en jagen op kleine organismen die op het kelp groeien. In het Verenigd Koninkrijk en Noorwegen is een kleinschalige visserij ontstaan op lipvissen, omdat deze in zalmkweekinstallaties worden uitgezet als zalmluiseters. Deze visserij heeft al geleid tot zorgen over overbevissing van lokale lipvisbestanden. Het creëren van meer leefgebied (kelp) kan helpen deze lipvispopulaties te vergroten, wat op termijn de vraag vanuit de aquacultuur kan ondersteunen zonder wilde populaties uit te putten. Ook hier zien we dat de aquacultuursector zelf investeert in “kunstmatige kelp” binnen de netten. De KelpRing in zalmpennen is bedoeld om lipvissen en snotolven een natuurlijke omgeving te geven zodat ze gezond en effectief blijven (KelpRing, Scotland). Dat concept kan men ook naar de open natuur vertalen: door

kunstmatige kelpwouden te plaatsen, zullen lipvissen zich thuis voelen en vermenigvuldigen.

Andere organismen: Naast deze specifieke vis soorten zullen vele andere organismen profiteren: kreeften en krabben vinden onderdak onder het kelp, schelpdieren filteren het water en vestigen zich op kelpstengels, zeebaars en andere roofvissen jagen rond kelpbedden op prooien, en zeevogels of zeezoogdieren (zoals zeekoeten, alken, zeehonden) profiteren uiteindelijk van grotere visconcentraties rondom zulke riffen. Een vergelijkend onderzoek tussen kelpwouden en zogenaamde “egeltapijten” (waar kelp door zee-egels is weggevreten) liet zien dat kelpgebieden systematisch hogere biodiversiteit en biomassa hadden, niet alleen van vissen, maar ook van andere fauna (Shelamoff et al. 2020). Bij herstel van kelp in Noorwegen is bijvoorbeeld geconstateerd dat ook het aantal zeedonderpadden en jonge schelvis toenam. Tevens zijn kelpwouden ook plekken waar een verscheidenheid aan flora te vinden is. Zo zijn er epifytische macroalgen die zich vaak hechten aan de stipes van verschillende kelpsoorten (Whittick et al 1983). We kunnen dus verwachten dat een kunstmatig kelpwoud in de Noordzee fungeert als een hotspot van leven, waaruit ook omliggende gebieden worden “gevoed” (denk aan vislarven die uitzwormen).

3.5 ECOSYSTEEMDIENSTEN: KOOLSTOFVASTLEGGING, KUSTBESCHERMING, SEDIMENTSTABILISATIE.

Koolstofvastlegging

Kelpwouden zijn extreem productief, met een jaarlijkse koolstofopname die vergelijkbaar is met of hoger ligt dan veel andere kustsystemen zoals zeegras, mangroves en kwelders (Pessarrodona et al. 2018, Eger et al. 2023). Een belangrijk onderscheid is dat kelp het grootste deel van zijn vaste koolstof niet lokaal in de bodem opslaat, maar als detritus exporteert naar dieper water en sedimentvallen. Syntheses laten zien dat grofweg tien tot twintig procent van de netto primaire productie van macroalgen uiteindelijk langdurig wordt begraven in diepzee- of kustsedimenten, waarmee macroalgen mogelijk voor een groter deel van de wereldwijde mariene koolstofbegraving zorgen dan de klassieke blue carbon ecosystemen samen (Krause Jensen en Duarte 2016, Macreadie et al. 2019, Gao et al. 2022). Recente regionale studies maken dit concreet: in Noord-Portugal dragen kelpwouden van onder meer *Laminaria hyperborea* naar schatting circa 0,6 megaton koolstof per hectare per jaar bij aan feitelijke begraving, goed voor ongeveer een derde van de jaarlijkse blue carbon vastlegging langs die kust (Franco et al. 2025). Op wereldschaal schatten Eger et al. dat kelpwouden ongeveer 4,9 megaton koolstof per jaar netto verwijderen en dat koolstofverwijdering samen met nutriëntenverwijdering en visserijproductie een significante economische waarde vertegenwoordigt (Eger et al. 2023).

Voor rewilding betekent dit: herstel van kelpwouden vergroot de koolstofdoorvoer en een deel daarvan wordt daadwerkelijk als blue carbon begraven, maar de exacte fractie is sterk afhankelijk van hydrodynamiek, diepte en afvoerbanen en is nog onvoldoende scherp voor harde koolstofkredieten.

Kustbescherming en golfdemping

Kelp canopies werken als een ruwe, flexibele vooroever die energie uit golven trekt terwijl het water erdoorheen slaat. Experimentele en veldstudies laten zien dat subtidale kelpwouden korte golven en lokale stroming dempen, maar dat het effect op kusterosie meestal aanvullend is op andere habitats en harde infrastructuur. In een ondiepe baai met *Ecklonia radiata* reduceerden kelpbedden de golfhoogte en energie meetbaar, al was de extra demping beperkt in vergelijking met harde structuren (Morris et al. 2020). Voor *Macrocystis pyrifera* aan de Californische kust laten recente meetreeksen zien dat kelpwouden enkele procenten extra golfenergie uit het systeem halen, en dat die kleine reductie juist tijdens sterke stormcondities significant kan zijn voor de totale belasting van de kustlijn (Elsmore et al. 2024, Lindhart et al. 2024). Fysieke modelstudies voor drijvende kelpfarms laten zien wat er gebeurt als je de ruwe vooroever opschaaft en strategisch positioneert: een drijvende kelpzone van vijftig meter voor een breuksteen golfbreker halveerde de golfoverslag, terwijl tweehonderd meter kelp de overslag met meer dan negentig procent reduceerde (Miranda et al. 2025). Syntheses over mariene habitats en overstromingsrisico plaatsen kelp expliciet naast oesterbanken, mosselbanken en zeegrasvelden als systemen die golven afremmen en zo bijdragen aan kustbescherming, zij het met een relatief bescheiden effect per hectare (CREW 2025). In een rewilding context betekent dit dat uitgestrekte kelpwouden vooral als biogene ruwheid werken die golfenergie en stroming afvlakt, waardoor harde infrastructuur minder zwaar wordt belast. Je verkoopt ze niet als op zichzelf staande stormmuur, maar als biologische demper die in combinatie met riffen, zandplaten en dijken de kustveiligheid versterkt.

Sedimentstabilisatie, habitatvorming en gekoppelde diensten

Onder een kelpdek verandert de bodemfysica fundamenteel. Klassieke tracerexperimenten lieten al zien dat kelpcanopies de stroming vlak boven de bodem afremmen, de turbulentie veranderen en de neerwaartse flux van deeltjes verhogen, met als gevolg meer depositie en minder resuspensie van fijn sediment en organisch materiaal (Eckman et al. 1989). Vervolgwerk in dezelfde systemen laat zien dat deze combinatie van lagere stroomsnelheid, meer deeltjesval en schaduw direct doorwerkt in de recruitmentsuccessen en soortensamenstelling van bentische ongewervelden (Duggins et al. 1990). Op grotere schaal schetsen reviews in onder meer het Humboldt

Stroomsysteem hoe dichte wouden van *Lessonia* en *Macrocystis* een driedimensionale matrix vormen die sediment vasthoudt, nutriënten recyclet en meer dan tweehonderd geassocieerde taxa ondersteunt, van filteraars tot vissen (Cuba et al. 2022). Wereldwijde analyses van de ecosystemendiensten van kelpwouden benadrukken dat de grootste economische waarde tot nu toe afkomstig is van visserijproductie en nutriëntenverwijdering, maar dat juist deze diensten direct gekoppeld zijn aan het sediment en de waterkolom die door kelp worden getemperd en gestructureerd (Eger et al. 2023, Bayley et al. 2021). Voor kelp rewilding in bijvoorbeeld de zuidelijke Noordzee betekent dit dat het introduceren van hard substraat plus kelpcanopies zandige, mobiele bodems kan omzetten in ruwe, biogene eilanden die sediment en schelpmateriaal vasthouden, microhabitats creëren en zo een cascade aan ondersteunende diensten op gang brengen, van habitat voor jonge vis tot verbeterde waterhelderheid en gekoppelde koolstofbegraving.

3.6 VERGELIJKING MET ANDERE REWILDING-TECHNIEKEN (SCHELPHDIERRIFFEN, KUNSTRIFFEN, BIOGENE RIFFEN).

Elke rewilding-techniek creëert een hotspot van biodiversiteit ten opzichte van de kale zandige omgeving. Hieronder bespreken we per type rewilding welke extra soorten en ecologische functies ze opleveren, op basis van recent onderzoek en voorbeelden:



Figuur 4. Onderwaterbeeld van een mossel rif

Mossel- en oesterbanken

Schelpdierriffen gelden als de “koraalriffen van koude zeeën” en kennen een soortenrijkdom tot wel 60% hoger dan de omliggende zandbodem

(Christiansen et al. 2018; arkrewilding.nl). Tal van organismen profiteren: op en tussen de schelpen groeien wieren, hydroïdpoliepen, sponzen, zeeanemonen en zachte koralen (zoals dodemansduim) (arkrewilding.nl; wur.nl). De harde structuur biedt schuil- en hechtplekken voor zeenaaktslakken, kreeftachtigen (kreeften, krabben), stekelhuidigen, weekdieren en vele vissen (arkrewilding.nl). Zo zijn op herstelde oesterbanken Noordzeekrabben, galatheakreeftjes, zeesterren en brokkelsterren waargenomen, evenals lipvissen en kabeljauwachtigen die er voedsel vinden (arkrewilding.nl; wur.nl). Bovendien hebben oesterbanken een kraamkamerfunctie: soorten als hondshaaien, roggen en zeekatten zetten er eieren op af of gebruiken het rif als jeugdhabitat. Rond schelpdierbanken wemelt het van kleine visjes en garnalen, die op hun beurt weer zeevogels aantrekken. Al met al verhogen oester- en mosselriffen niet alleen de lokale soortenrijkdom, maar herstellen ze voedselketens: ze trekken toppredatoren aan (zeezoogdieren als bruinvis en zeehond foerageren er graag) en fungeren als rijk (wur.nl). Een veldstudie bevestigt dat op schelpdierriffen veel meer macrofauna leeft dan op zand, en dat deze riffen een belangrijke functie vervullen als hard substraat in een verder zachte zeebodem (arkrewilding.nl; publications.deltares.nl).



Figuur 5. Onderwaterbeeld van een beginnende oesterbank met zeenaalden, anemonen en diverse wieren. Schelpdierbanken bieden hard substraat voor sessiele soorten en schuilplaatsen voor vis en kreeftachtigen (arkrewilding.nl; wur.nl).

Kunstriffen

Kunstmatige riffen vormen nieuwe habitats in een zandig systeem en kunnen de lokale biodiversiteit verdubbelen (ter Hofstede et al. 2023). Zo blijkt dat de aanwezigheid van rotsblokken (zoals *scour protection* rond turbines) een heel andere gemeenschap aantrekt dan zandbodems, met rijkere



Figuur 6. Visualisatie van kunstriffen pilot tests (Ecoconcrete).

epibentische fauna (ter Hofstede et al. 2022). Op harde structuren vestigen zich snel zeepokken, mossels, zakpijpen en wieren, die weer grazers en filteraars aantrekken. Binnen enkele jaren ontstaan op kunstriffen complexe gemeenschappen: in het *Offshore Windpark Egmond aan Zee* zijn meer dan 30 nieuwe soorten op de funderingen gevonden, waaronder kleurrijke zeeanemonen, heremietkreeftjes en jonge kreeften (ter Hofstede et al. 2022). Ook trekken kunstriffen vis aan. De structuur biedt schuilplaatsen voor steenbol, puitaal, zeebaarzen en jonge kabeljauw. Onderwatercamera's bij rifballen lieten scholen steenbol en rondzwemmende kreeften zien na plaatsing (arkrewilding.nl). Door het *rif-effect* functioneren windparken inmiddels als reservaten voor rifbewoners: het aanbrengen van hard substraat in een zandige Noordzee leidt aantoonbaar tot hogere soortenrijkdom en dichtheden (ter Hofstede et al. 2022). Bovendien kunnen speciale reef-ontwerpen de biodiversiteit sturen: reliefpanelen met groeven en holtes herbergen andere soorten dan gladde blokken, waardoor ontwerpkeuzes de functionele diversiteit beïnvloeden. Al met al genereren kunstriffen niet alleen meer soorten, maar ook nieuwe ecologische niches die voorheen ontbraken in het landschap.

Biogene riffen (kokerwormen)

Hoewel minder opvallend dan schelpdierbanken, leveren ook door dieren gebouwde rifstructuren belangrijke biodiversiteit. Zandkokerworm-riffen (*Sabellaria*) vormen 3D structuren van zand en lichaamslijm, waarin allerlei kleine ongewervelden leven. Tussen de kokertjes schuilen polychaete wormen, kleine schelpjes, amphipoden en jonge visjes. *Sabellaria*-riffen creëren een ruwe structuur op de bodem die net als oesterbanken als kraamkamer kan dienen. *Sabellaria*-bioconstructies kunnen zelfs als natuurlijke golfbrekers fungeren en zand vasthouden (Lisco et al. 2020). Jonge platvis en zandspiering vinden er beschutting in de holten. Tevens stabiliseren ze sediment, waardoor zeehonden en bruinvissen indirect profijt hebben van meer voedsel (vis) in zo'n rifzone. Paardenmossel-bedden (*Modiolus*) in Noordwest-Europa bekend uit bijv. Schotse wateren zijn hotspots voor diversiteit: tussen de grote mossels leven stekelhuidigen, zakpijpen en vele vissoorten. Mocht herintroductie van paardenmosselriffen in de Noordzee slagen, dan verwachten onderzoekers dat ook hier vergelijkbare rifgemeenschappen ontstaan als rond oesters (orsted.com). Biogene riffen kunnen zelfs specifiek bedreigde soorten terugbrengen: bijvoorbeeld het *juweelanemoontje* (*Corynactis viridis*) gedijt op stabiele riffen en is nu zeldzaam, maar zou terugkeren als er weer langdurig bestaande riffen kome (publications.deltares.nl).



Figuur 7. *Sabellaria spinulosa* rifkorst (Marlin.uk.co)

Kortom, elk type rif, of het nu uit schelpen, wieren, beton of wormkokers bestaat, vormt een biodiversiteitsoase in de Noordzee. Zelfs exotische rifbouwers als de Japanse oester leveren vergelijkbare ecosysteefuncties als inheemse soorten (arkrewilding.nl), wat aangeeft hoe cruciaal het structuur-effect op zich is voor het onderwaterleven.

4. KELP IN DE NOORDZEE EN LANGS DE NEDERLANDSE KUST

4.1 HISTORISCHE AANWEZIGHEID

Kelp soorten komen voor op harde substraten in bijna alle mariene ecosystemen, maar zijn vooral overdadig in gematigde en koude wateren (Müller et al., 2009). In Nederland hebben wij een gematigd klimaat, wat zou impliceren dat grote gemeenschappen van kelp hiervoor zouden moeten (kunnen) voorkomen. Echter, de geomorfologie van Nederland is van oorsprong een zacht sediment systeem, omdat het een estuarium is (Geurts van Kessel, 2004; Baptist et al. 2007). Er zijn enkele sporadische, natuurlijke harde substraten zoals (grof) grind en zwerfkeien, maar dit is minimaal (Stegenga, 2002). De meeste harde substraten liggen overwegend te diep voor kelp of, in het geval van ondiepe kustgebieden, in veelal te dynamische gebieden waardoor het lichtklimaat (en temperatuur) niet geschikt is voor de aanwezigheid kelp (Müller et al., 2009). De Nederlandse mariene zeewierflora heeft zich dan ook pas ontwikkeld nadat artificiële harde substraten zijn gebruikt als kustverdediging in de loop van de 19^e eeuw (Stegenga & Prud'homme Van Reine, 1998; Stegenga, 2002).

Wetenschappelijke werken rondom de historische verspreiding en aanwezigheid van kelp zijn zeer beperkt beschikbaar of omvatten namen/verwijzingen die niet goed te herleiden zijn naar soorten zoals wij die vandaag de dag kennen qua naamgeving (Koster, J., 1939; Den Hartog, C., 1959; Stegenga & Mol, 1983). De oudste werken dateren uit 1683 (Commelin '*Catalogus Plantarum indigenarum Hollandiae*') en de eerste meer uitgewerkte stukken uit 1791 (De Gorter). Een belangrijke schakel in het herkennen en vast kunnen stellen van de aanwezigheid van kelp in Nederland zijn naast literatuur ook herbaria die ondermeer in Leiden (Naturalis) zijn¹. Hierin zijn gedroogde exemplaren van verschillende kelpsoorten opgeslagen met daarbij aanvullende informatie over oa de vindplaats en -datum wat een indicatie kan geven over de verspreiding van de soorten. In sommige gevallen is er zelfs additionele informatie gegeven over de omgeving en in welke mate de wieren voorkwamen.

Uit het gedigitaliseerde herbarium van Naturalis valt te herleiden dat zowel *Laminaria digitata* (Vingerwier) en *Saccharina latissima* (Suikerwier, syn. *Laminaria saccharina*) medio de 20st eeuw vrij verspreid voorkwamen en

¹ <https://biportal.naturalis.nl/nl>

ook in grotere getalen. Hierbij kwamen deze soorten vooral voor in Zeeland (Oosterschelde) en nabij Den Helder. Omstandigheden waren klaarblijkelijk toen gunstig genoeg om dergelijke gemeenschappen (of kelpbossen) te huisvesten. Tegenwoordig zijn op slechts op een heel beperkt aantal plaatsen deze wieren te vinden en doorgaans in zeer beperkte aantallen.



Figuur 8. Herbarium exemplaren van (**links**) *S. latissima* (Syn. *L. saccharina*) uit waarbij de tekst schrijft dat de soort ‘in menigte’ voorkwam op de dijk bij Den Helder in 1891 (m.a.w. veel voorkwam) en (**rechts**) *L. digitata*, eveneens gevonden in Den Helder (1920), Bron: Naturalis – Naturalis Bioportal.

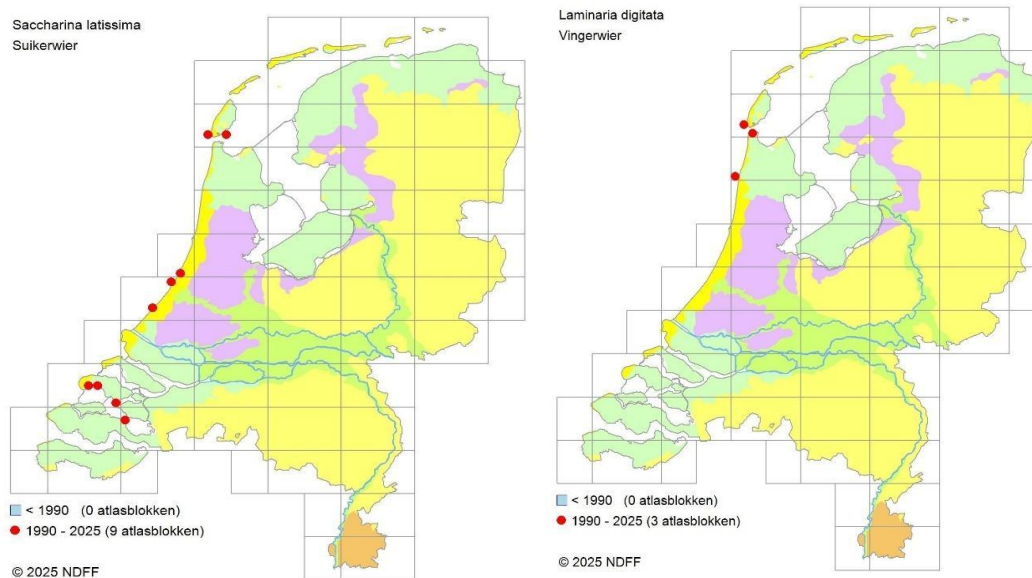
4.2 HUIDIGE AANWEZIGHEID EN VERSPREIDING

In het huidige, lopende project Natuurherstel Verordening Noordzee wat uitgevoerd wordt door Wageningen Marine Research in opdracht LVVN is recent een uitgebreide studie gedaan naar de huidige verspreiding van zeewiergemeenschappen, waaronder ook kelpwouden (De Froe et al. 2025). Hierin is duidelijk geworden dat ondanks dat de verspreiding van zeewieren, waaronder ook kelp soorten, zeer beperkt tot niet (wetenschappelijk) gemonitord wordt. Enige informatie die hierover beschikbaar is, is primair door vrijwilligers in kaart gebracht door Stichting Anemoon en gepubliceerd middels de online NDFF Verspreidingsatlas². Uit deze onlinedatabase is te

² <https://www.verspreidingsatlas.nl/>

herleiden dat de twee inheemse kelpsoorten *L. digitata* en *S. latissima* zeer beperkt verspreid zijn. Daarbij is bekend (pers. observ. R.W. Nauta) dat op de locaties waar deze kelpsoorten voorkomen de aantallen individuen vaak zeer beperkt is. In aanvulling hierop, sommige waarnemingen betreft ook aangespoeld materiaal wat mogelijk van andere (buitenlandse) locaties afkomstig is en door wind en stroming op de Nederlandse kust is beland.

Grootste reden dat de kelp soorten niet tot zeer beperkt voorkomen is, net



Figuur 9. Voorkomen van *S. latissima* (**links**) en *L. digitata* (**rechts**) langs de Nederlandse kust. (Bron: Stichting Anemoon, NNDF verpreidingsatlas)

als besproken in het vorige hoofdstuk (4.1) dat er niet afdoende geschikt substraat is i.c.m. de beperkte licht-beschikbaarheid. Op de Noordzee (Nederlandse wateren) is de kennis rondom de verspreiding van kelp nog beperkter. Er zijn geen aanwijzingen dat bij biodiversiteitsbemonsteringen op ondermeer windmolens en olieplatformen kelpsoorten zijn aangetroffen.

Naast *S. latissima* en *L. digitata* komt ook een andere kelp soort voor in Nederland, *Undaria pinnatifida* (Wakame). Deze soort is zeer wijd verspreid in de Zuidwest delta en breidt zich steeds verder uit naar het noorden (Gittenberger et al. 2009; Kraan, 2016) . Hoewel de soort permanent gevestigd is in Nederland, is het een invasieve exoot die mogelijk een negatief effect heeft op de verspreiding van de inheemse kelp soorten. De soort is voor het eerst waargenomen in de oesterputten in Yerseke in 1999 (Stegenga, 1999). Wat de specifieke impact van deze soort is op de inheemse kelpgemeenschappen is voor Nederland niet goed bekend. Wel is duidelijk dat deze soort uitgebreide gebieden beslaat en tot op zekere hoogte de niche invult die is ontstaan door de afwezigheid van de inheemse kelpsoorten.

Er komen in de Noordzee andere kelpsoorten voor, maar deze zijn niet vastgehecht aangetroffen op de Nederlandse kust. Hierdoor worden de soorten tot op heden beschouwd als niet inheems. Het gaat hierbij om

soorten zoals *Laminaria hyperborea*, *Alaria esculenta* en *Nereocystis luetkeana*.

4.3 STAAT VAN KENNIS

Ondanks dat er verschillende onderzoeken lopen naar zeewier, is er vooral een grote kennisleemte op het gebied van de bestaande zeewiergemeenschappen en kelpwouden in Nederland. Zeewieren zijn niet opgenomen in bestandsmonitoringen, surveys of andere (biodiversiteits-)onderzoeken, ondanks dat ze een belangrijke groep organismen vormen voor het mariene ecosysteem en zelfs kunnen dienen als bio-indicatoren. Dergelijke indicatoren kunnen een indicatie geven van de status van het natuurlijk (eco-)systeem, maar kunnen bijvoorbeeld ook mogelijk gebruikt kunnen worden voor het bepalen van de aanwezigheid van contaminanten en andere mogelijke schadelijke stoffen (bijv. PFAS).

Ondanks het gebrek aan kennis over de verspreiding van zeewier in het Nederlandse milieu (De Froe, 2025), wordt er wel onderzoek gedaan naar andere facetten van zeewier. Naast onderzoeksinstituten wordt dit in Nederland ook gedaan door commerciële bedrijven die werken aan de kweek of aan de ontwikkeling van uitgangsmateriaal ('zaaigoed') en kweekmethodes. Hoewel de kweek in Nederland zeer beperkt is, mede door de ongeschiktheid van de omstandigheden (te kostbaar), is in Nederland dus wel een aanzienlijke kennis aanwezig op diverse aspecten van zeewier, de markt en ook biologie. De kennis is dus aanwezig om kelpwouden te herstellen in Nederland. Hier zal verder op ingegaan worden in Hoofdstuk 8 – Beleids- en maatschappelijke context.

4.4 LOPENDE EN RECENTE PROJECTEN

North Sea Farmers ontwikkelt met het project North Sea Farm 1 de eerste commercieel opschaalbare zeewierboerderij ter wereld die volledig in een offshore windpark ligt. Met steun van onder meer Amazons *Right Now Climate Fund* wordt binnen het windpark Hollandse Kust Zuid een zeewierperceel aangelegd. Het doel is om onder realistische Noordzeecondities te laten zien dat grootschalige teelt tussen turbines technisch en economisch haalbaar is, terwijl tegelijkertijd wordt onderzocht hoeveel CO₂ kan worden vastgelegd en welke effecten dit heeft op biodiversiteit en multi-use van offshore windparken.

Ebbing Tides, in samenwerking met Seawiser, Wageningen Marine Research en Campus@sea laten in 2025/ 2026 via een pilot zien dat kelp rewilding langs onze Hollandse kustlijn mogelijk is. Tijdens dit project zal er op labschaal gevalideerd worden onder welke (a)biotische omstandigheden deze kelpen kunnen groeien en of dit toereikend is voor de Nederlandse omstandigheden. Verder zijn er enkele Mecal Nodes met kelp geplaatst in de havens van Scheveningen en Texel ter validatie.

5. GENETISCHE DIVERSITEIT EN POPULATIE- STRUCTUUR VAN *SACCHARINA* *LATISSIMA*

5.1 VEREDELING EN DE RISICO'S

Suikerwier, *Saccharina latissima*, komt voor op het noordelijk halfrond in zowel de Atlantische en de Stille oceaan. De soort heeft zich naar alle waarschijnlijkheid over zo'n groot gebied kunnen verspreiden in warmere periodes waarin het poolijs beperkt was en de soort zich ook naar de Stille oceaan heeft kunnen verplaatsen (Luttikhuisen et al., 2018). Hoewel het om dezelfde soort gaat, is er door diverse natuurlijke barrières wel te spreken van verschillende populaties. Deze genetische diversiteit is een belangrijk gegeven omdat hiermee de soort een hoog aanpassingsvermogen, veerkracht en ook overlevingskansen vergroot.

De (ontwikkeling van) de teelt van deze soort kan echter een risico vormen. Doordat 'boeren' graag sterke, snelgroeiende individuen willen van gelijke grootte, samenstelling en ontwikkeling wordt er gewerkt aan het veredelen van soorten. Dit is een bekend proces vanuit de landbouw, maar is voor zeewierkweek relatief nieuw. Door gestuurd verschillende individuen met elkaar te kruisen kun je soorten krijgen die aan bepaalde eigenschappen en wensen kunnen voldoen. Zo worden bijvoorbeeld individuen uit Noorwegen vaak groter dan degenen die in Nederland worden aangetroffen, terwijl individuen uit Nederland vaak beter tegen wisselende zoutgehaltes en temperaturen kunnen.

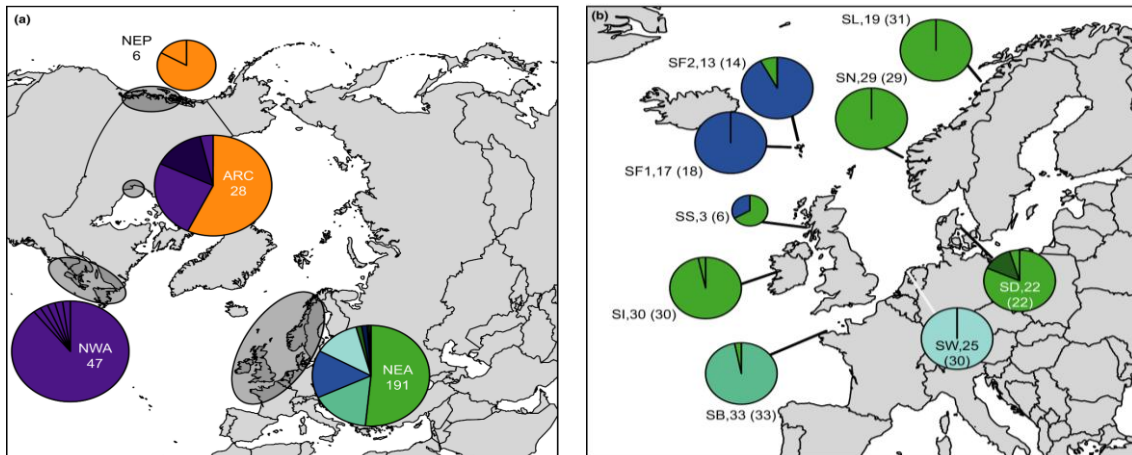
Beide eigenschappen zijn vooral voor Nederlandse zeewierboeren interessant omdat je hiermee hogere productie (grotere individuen) kan krijgen terwijl ze wel geschikt zijn voor de Nederlandse wateren. Wanneer een cultivar, een veredeld zeewier, ontwikkeld wordt en op grote schaal wordt gekweekt, neemt de kans toe dat deze zich mogelijk ook in de natuur

gaat vestigen. Hier kan de soort zich mengen met de natuurlijke populaties of in het ergste geval de natuurlijke populaties zelf volledig overnemen met als gevolg een reductie in de genetische diversiteit en dus een risico voor de soort zelf (Jaugeon et al. 2025).

5.2 VERSPREIDING EN LOKALE GENETISCHE BRONNEN

Om het verlies van genetische diversiteit te beperken is het van belang dat er gewerkt wordt met lokale genetische bronnen ('moederplanten') hierdoor behoud je meer de lokale diversiteit. Hierdoor homogeniseer je dus niet de verschillende populaties en voorkom je dus verlies van genetische diversiteit. Het in beeld krijgen van de verschillende populaties wordt gedaan door genetische analyses. Hierbij wordt gekeken naar de diversiteit in bepaalde delen van het DNA. Een eerste studie naar welke delen (loci) van het DNA voor dergelijke analyses is gedaan door Paulino et al. (2016). Zij testen 12 loci en kwamen tot de conclusie dat deze zeer geschikt zijn voor dergelijke studies. Een vervolg hierop is gedaan door Luttikhuizen et al. (2018). Hun werk laat zien dat in Europa duidelijk verschillende populaties zijn van *S. latissima* en in het bijzonder hoe de soort zich over de afgelopen millennia zich naar alle waarschijnlijkheid heeft verspreid. Hun studie laat zien dat de populaties aan de oostelijke kust van de Atlantische kust nauwer verwant zijn aan de populaties aan de oostelijke kust van de stille oceaan dan de populaties in het westelijk deel van de Atlantische oceaan, is het waarschijnlijk dat de populaties zich over verloop van tijd zich heeft verspreid vanuit de oostelijke stille oceaan richting Europa. Vervolgens heeft de soort zich vanuit Europa verspreid naar de westelijke kust van de Atlantische oceaan (dus oostelijk Amerika en Canada).

Het werk van Luttikhuizen et al. (2018) laat zien dat over de loop van tijd de soort zich ook binnen Europa zich ontwikkeld heeft tot verschillende (sub-)populaties die in bijna niet met elkaar verbonden zijn. De genetische afstand zal daarmee in de loop van de tijd meer en meer toenemen. Dit onderschrijft het belang van het gescheiden houden van de verschillende populaties voor veredelingsdoeleinden om zo de natuurlijke diversiteit te waarborgen. De aanwezigheid van natuurlijke barrières (o.a. de afwezigheid van natuurlijke harde substraten) speelt hierin een belangrijke rol.



Figuur 10. De verscheidenheid tussen de verschillende populaties over het noordelijk halfrond (**links**). Ingezoomd op Europa en de genetische diversiteit tussen de populaties hier (**rechts**). Bron: Luttikhuisen et al. 2018.

5.3 GENETISCHE DIVERSITEIT NEDERLAND

Uit het werk van Luttikhuisen et al. (2018) (figuur 10) kunnen we herleiden dat in Nederland een unieke genetische populatie is. Echter zijn de locaties waar de soort voorkomt zeer beperkt. Naar alle waarschijnlijkheid heeft deze beperkte aanwezigheid aan deze soort langs de Nederlandse kust bijgedragen aan het tot stand komen van deze uniciteit. De Nederlandse populaties staan eronder druk en de soort wordt daardoor steeds minder waargenomen en in het geval van de populatie die aanwezig was op Texel is deze naar alle waarschijnlijkheid, ondermeer door de dijkversterking, verdwenen. Gelukkig is van deze populatie de genetische diversiteit opgeslagen in de Nederlandse genenbank en bij enkele onderzoeksbedrijven/-instituten. Helaas ontbreekt het aan gedegen monitoring van deze soort en zeewieren in het algemeen om dit goed in beeld te hebben en te houden. Meer hierover in hoofdstuk 7.

Wel kunnen we hieruit herleiden dat het voor de soort en deze unieke populatie van belang is dat deze behouden blijft. Om hierin bij te dragen zal herstel en het faciliteren van deze soort cruciaal zijn. Met het hier gepresenteerde project kan hieraan gewerkt worden, maar het is dus belangrijk dat het gedaan wordt met lokale genetische bronnen. Daarnaast kan het ontwikkelen van kweek van deze soort met natuurlijke, lokale genetische diversiteit eveneens bijdragen aan de herontwikkeling van de Nederlandse populaties.

6. KANSEN VOOR KELP REWILDING

Kelp rewilding in de Noordzee bevindt zich op het snijvlak van natuurherstel, offshore infrastructuur en aquacultuurtechnologie. Wereldwijde syntheses laten zien dat kelpherstel inmiddels een volwassen veld is met honderden projecten, uiteenlopende methoden en duidelijke lessen over succes- en faalfactoren (Eger et al. 2022).

Voor de Noordzee kristalliseren drie hoofdlijnen van kansen uit:

1. Praktische kansen via kunstmatige riffen en *nature inclusive design* rond offshore windparken (multi-use).
2. Innovatiekansen door aquacultuurtechnieken in te zetten voor rewilding, zoals gametofytculturen, green gravel en integratie met structuren als Mecal Nodes.
3. Opschaalbare combinaties van deze benaderingen, afgestemd op lokale oorzaken van kelpverlies en hydrodynamische context.

6.1 PRAKTISCHE KANSEN: KUNSTMATIGE RIFFEN EN OFFSHORE WIND ALS DRAGER

6.1.1 Kunstmatige riffen als kelphabitat

Een globale review van kelpherstel laat zien dat het toevoegen van hard substraat met kunstmatige riffen één van de meest gebruikte methoden is om nieuwe kelphabitats te creëren, vooral waar natuurlijke rotskust ontbreekt of verdwenen is (Eger et al. 2022).

Belangrijke inzichten:

- Afforestatie met kunstmatige riffen creëert nieuw hard substraat waarop kelp zich kan vestigen en vervolgens een volledig nieuw onderwaterbos kan vormen, mits licht, diepte en hydrodynamica geschikt zijn.
- Kelpherstel is het succesvolst in de nabijheid van bestaande kelpwouden of bronpopulaties, omdat natuurlijke sporendispersie de kolonisatie ondersteunt (Eger et al. 2022).

- Kunstmatige rifstructuren kunnen op korte termijn hoge biodiversiteit opleveren, vergelijkbaar met natuurlijke riffen, al blijft het verschil tussen natuurlijke en kunstmatige systemen ecologisch relevant (Reis et al. 2021; Deltares 2017).

Voor de Noordzee betekent dit dat kunstmatige riffen rond bestaande of toekomstige structuren gerichte kansgebieden vormen voor kelp rewilding, zeker waar natuurlijke harde substraten schaars zijn. Denk hierbij aan dijkversterkingen, havens, en scour zones rondom monopiles.

6.1.2 Dijkversterking, Scour protection en nature inclusive design

Dijkversterkingen en havens hebben van nature veel hard substraat waar kelp zich op kan vestigen. Gezien de geringe plekken waar kelp zou kunnen vestigen en gedijen zijn dit ideale plekken om te starten en te zien of kelp zich jaar rond kan vestigen langs de Nederlandse kust. De ondiepe wateren en veelal afgesloten water lichamen maken deze plekken wel gevoelig voor hoge temperaturen in de zomer, waarbij we niet goed weten of dit een effect zal hebben op de overleving van de uitgezette kelp.

Offshore windturbines veroorzaken lokaal erosie rond de monopile, die wordt tegengegaan met zogenaamde scour protection van breuksteen, grind en filterlagen (Glarou et al. 2020). Recente studies laten zien dat deze steenvelden zich gedragen als kunstmatige riffen. Ze verhogen lokaal de hard substraat oppervlakte en ze functioneren als habitat en stepping stone voor vissen, macrofauna en sessiele soorten (Kingma et al. 2024; Coolen 2017).

Nature inclusive design bouwt daarop voort door scour protection doelbewust te ontwerpen voor biodiversiteit. Complexere micro-habitatstructuur, variatie in steengrootte en holtes. Integratie van modulaire elementen die kolonisatie door specifieke doelsoorten faciliteren. Mecal Nodes zijn een concreet voorbeeld waarin scour protection modules worden ontworpen om zowel erosie te beperken als onderwaternatuur te bevorderen, met ruimte voor diverse soorten en koppeling aan bijvoorbeeld oesterherstel (Mecal 2024). Voor kelp rewilding ontstaat hier een directe kans. Scour protection en biodiversiteitsmodules kunnen worden ontworpen zodat zij geschikt substraat en microtopografie bieden voor kelp vestiging en groei, bijvoorbeeld door ruwe oppervlakken, richels en luwtezones te creëren op dieptes met voldoende licht.

6.1.3 Offshore wind als multi-use platform voor kelp

De combinatie van offshore windparken met laag trofische aquacultuur (mosselen, kelp) wordt internationaal gezien als een belangrijke multi-use

route om emissievrije energie te koppelen aan voedselproductie en ecosysteemdiensten (Maar et al. 2023).

Kernpunten:

- Co-locatie van suikerwier en mosselen in windparken kan CO₂ en nutriënten vastleggen, extra habitat creëren en voedsel leveren met een beperkt ruimtelijk beslag (Maar et al. 2023).
- Quick scan studies voor de Noordzee wijzen zeewierproductie expliciet aan als kansrijke multi-use voor natuur inclusieve ontwikkeling in windparken (Diaz 2021; Rijksoverheid 2023).
- Recente reviews benadrukken dat opschaling van zeewierproductie via co-locatie met windparken technisch haalbaar is, maar duidelijke ecologische randvoorwaarden en governance nodig heeft (Coffey et al. 2025).

Voor kelp opent dit twee sporen:

1. Cultivatie Spoor: Kelp wordt gekweekt aan lijnen of structuren in het windpark, wat biomassa en inkomsten oplevert.
2. Rewilding spoor: Een deel van het materiaal en de propagules wordt bewust ingezet op rifstructuren, scour protection en nature inclusive modules om duurzame kelpwouden rond de turbines op te bouwen.

6.2 INNOVATIE: AQUACULTUURTECHNIEKEN ALS MOTOR VOOR REWILDING

De afgelopen decennia heeft de kelpaquacultuur verfijnde technieken ontwikkeld om de levenscyclus op te rekken en te sturen. Die toolbox kan nu rechtstreeks worden ingezet voor rewilding.

6.2.1 Gametofyt propagatie technologie en MAD gametofiet cultures.

In de moderne kelpkweek worden gametofyten onder gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium in stand gehouden en vermeerderd. De onderliggende methode wordt Precision Kelp Farming genoemd. Door licht, temperatuur en nutriënten te sturen blijven gametofyten langdurig in vegetatieve groei en schakelen zij niet door naar gametenvorming. Dit fenomeen wordt beschreven als MultiAnnual Delayed (MAD) gametofyten,

die functioneren als een levende, langdurige genetische reserve (Ebbing et al. 2025).

Kansen voor rewilding:

- Genetische buffering: MAD lijnen maken het mogelijk om lokaal aangepaste of klimaatrobuuste genotypen jarenlang beschikbaar te houden voor uitzaai.
- Precisie in timing: kelpzaai propagules kunnen worden aangeplant op het moment dat veldcondities optimaal zijn, in plaats van afhankelijk te zijn van natuurlijke sporulatie binnen wilde kelpbossen.
- Combinaties met rifstructuren: gametofyten en jonge sporofyten kunnen doelgericht worden aangebracht op kunstmatige riffen, scour protection of Mecal nodes via direct seeding technologie.

In termen van rewilding in de Noordzee maken MAD gametofyten een verschuiving mogelijk van opportunistisch “als het zich aandient” naar gepland, reproduceerbaar en schaalbaar natuurherstel.

6.2.2 Green gravel: kelp op kiezels als restauratie vector

Green gravel is een innovatieve methode waarbij kelp propagules in het lab op kiezels worden uitgezaaid, daar onder optimale omstandigheden doorgroeien, en vervolgens in het veld worden uitgezet door simpelweg het substraat te verspreiden (Fredriksen et al. 2020).

Belangrijke eigenschappen van green gravel:

- Lage kosten per oppervlakte ten opzichte van klassieke transplantaties.
- Geen duikers nodig, kiezels kunnen vanaf het oppervlak worden uitgestrooid.
- Hoge overleving en groei in pilots over meerdere maanden, ook bij ruwe handling (Fredriksen et al. 2020).
- Schaalbaar naar grotere gebieden en bruikbaar om klimaat robuuste genotypen in kwetsbare gebieden te introduceren (Alsuwaiyan et al. 2022).



Figuur 10. Top-down foto van intern geproduceerde “Green gravel”

Voor de Noordzee zijn de meest logische toepassingen:

- Verspreiden van met kelp bezaaide kiezels over kunstmatige rifvelden, dijkversterkingen, havens, en scour protection rond monopiles.
- Combinatie met bestaande steenbestortingen, waarbij green gravel fungeert als biologisch “zaad” boven op het mechanische substraat.
- Pilots in luwere delen van windparken of rond Mecal structuren, als proefopstellingen voor opschaling.

6.2.3 Integratie met Mecal en andere biodiversiteitsmodules zoals de Artificiële riffen van Reefy en Coastruction.

Artificiële rifstructuren zijn o.a. ontworpen om:

- Scour protection te stabiliseren.
- Extra complexiteit en schuilruimte te bieden voor fauna.
- Eventueel koppelingen te leggen met oesterherstel en andere biogene riffen (Mecal 2024; Kingma et al. 2024).



Figuur 11. Mecal Stenen gebruikt voor kelperstel.

Door hier een kelpcomponent aan toe te voegen ontstaat een multimodaal systeem:

- Sporophyte cultures en/of green gravel worden op of tussen deze artificiele rifstructuren aangebracht.
- De modules bieden beschutting en microtopografie voor kelpsettlement en groei.
- Ontwikkende kelpwouden versterken op hun beurt sedimentdemping en habitatkwaliteit en voegen extra 3D structuur toe aan het rifcomplex.

Dit sluit aan bij bredere Europese initiatieven waarin kunstmatige structuren in offshore windparken systematisch worden ingezet als stepping stones voor mariene soorten en als dragers van nieuwe rifsysteem (Glarou et al. 2020; Kingma et al. 2024).

6.3 SYNERGIE, SCHAAL EN NOORDZEE SPECIFIEK PERSPECTIEF

Syntheses van kelpherstel benadrukken dat succesvolle projecten meestal verschillende methoden combineren, zoals transplantaties, kunstmatige riffen, zaai technieken en grazercontrole (Eger et al. 2022; NIVA 2021).

Voor de Noordzee ontstaat een logisch gefaseerd pad:

1. Proof of concept
Kleine pilots waarbij kelpzaai (green gravel, ecoinclusieve substraten en direct seeding) worden gecombineerd met bestaande artificiële riffen, scour protection en en andere hard substraat structuren langs de kust of rondom een windmolen.
2. Opschaling binnen havens, langs de kust en mogelijk binnen windparken
Uitrollen van succesvolle configuraties over meerdere turbines en velden, gekoppeld aan monitoringsprogramma's zoals BeWild die biodiversiteitsontwikkeling rond scour protection al in kaart brengen (WUR BeWild project).
3. Regionale netwerken van kelpriffen
Ontwikkelen van een netwerk van kelprijke riflocaties verspreid over verschillende havens, kustintersecten, windparken en andere harde substraten in de Noordzee, als stepping stone systeem voor vis, en ongewervelden
4. Financiering en beleid
Aansluiten bij internationale initiatieven zoals de Kelp Forest Alliance en Europese restauratiekaders, die pleiten voor schaalvergroting van kelpherstel met passende juridische en financiële instrumenten (Eger et al. 2022; Giatrakou 2019).

7. KNELPUNTEN EN KENNISHIATEN

De grootste vraag is *of grootschalige kelpherstel in de Noordzee ecologisch haalbaar is*. Omdat grootschalige natuurlijke kelpbedden ontbreken, weten we weinig over randvoorwaarden: hoeveel hard substraat is nodig, en in hoeverre beperken licht, troebelheid en golfslag de groei? Daarnaast is er onzekerheid over herbivorie. In andere regio's kunnen zee-egels kelpwouden kaalvreten (Scheibling et al. 1999). In de Noordzee zijn grote zee-

egelpopulaties niet algemeen, behalve lokaal, maar veranderingen in voedselweb (bijv. minder roofvissen) zouden tot urchinbarrens kunnen leiden. Kennisleemte is er ook rond het *ontwikkelen van robuuste kelpdraggers*: welke constructies overleven stormen en stimuleren tegelijk kelpgroei? Dit vereist multidisciplinair onderzoek (hydrodynamica vs. biologie). Eveneens onbekend is de kruisbestuiving met aquacultuur: is het mogelijk natuurherstel te combineren met commerciële zeewierteelt, zodanig dat beide doelen worden behaald (NSF1 - North Sea Farmers)? Ten slotte is monitoring van kelpbedden moeilijk door de dynamische brandingzone; gebrek aan data vertraagt leerprocessen.

Overkoepelend rondom Noordzee natuurherstel zijn er enkele brede leemten die alle vormen van marien natuurherstel raken (noordzeeloket.nl). Zo is er behoefte aan een vlakke dekkende monitoring van de Noordzeebodem, op dit moment zijn natuurwaarden niet overal goed in kaart, waardoor baselinegegevens ontbreken om herstelresultaten tegen af te zetten (noordzeeloket.nl). Eveneens ontbreekt een kansenkaart en doelstellingenkaart voor natuurontwikkeling in de Noordzee. We weten niet exact wáár de beste locaties zijn voor welk type rif herstel en welke natuurdoelen we realistisch kunnen stellen per gebied. Daardoor mist een duidelijke ruimtelijke visie en afwegingskader voor grootschalig natuurherstel op zee (noordzeeloket.nl). Ook is weinig internationale afstemming waarbij kennis en plannen nog onvoldoende tussen Noordzeelanden gedeeld worden en gecoördineerd. Bovendien is effectmeting complex: de effecten van natuurmaatregelen zijn vaak locatie- en soort specifiek, wat generalisatie bemoeilijkt. Omdat resultaten uit pilots beperkt en verspreid zijn, blijven *onzekerheden* bestaan over de beste aanpak op grotere schaal (noordzeeloket.nl). Meer langdurig onderzoek en kennisdeling (bijv. via programma's als De Rijke Noordzee en allianties als NORA/NSHA) is nodig om deze kennishielen op te vullen en het vertrouwen in grootschalig rewilding te vergroten.

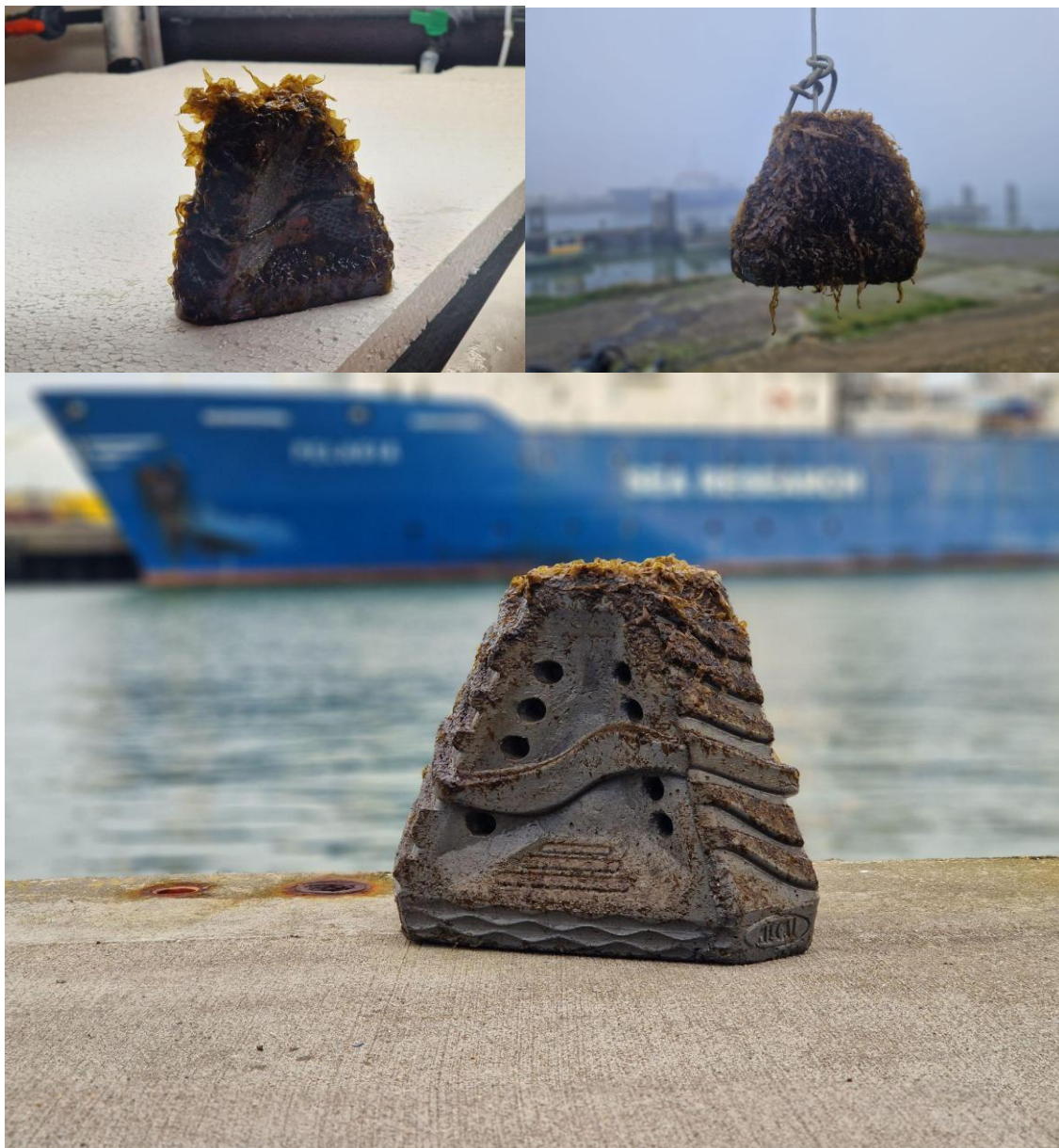
- Lichtlimitaties en hydrodynamica (stromingssnelheid en sediment).
- Substraat gevoeligheid in combinatie met direct seeding technologie
- Herbivorie (zee-egels, balans roofvissen).
- Onzekerheden over langetermijnbestendigheid van kelp op kunstmatige structuren.
- Behoeftte aan genetische monitoring bij uitzettingen (voorkomen homogenisatie en verlies adaptatie).

Tijdens deze pilot gaan we een belangrijk deel van deze kennis hielen onder lab condities onderzoeken. Zo gaan we kijken naar de limiterende grenzen van licht op de groei en ontwikkeling van kelp en gaan we kijken in hoeverre stromingssnelheid impact gaat hebben op het aanplantings succes. Verder

willen we een eerste globale scan doen van de verschillende substraten die beschikbaar zijn voor rewilding en hier aanhechtings tests mee doen.

Experimenten die onderdeel zijn van de pilotstudie (voor meer details lees ons plan van aanpak).

- Licht intensiteit experimenten
- Stromingssnelheid experimenten
- Direct seeding experimenten
- Substraat types (e.g. Mecal, hout, green gravel).
- Pilot uitzetting (zie foto's hieronder).



Figuur 12. Geïnoculeerde stenen met kelp tijdens het pilot-experiment uitgevoerd voor het hier gepresenteerde project. Rechtsboven is een recente foto waarbij de kelp al een maand in onze Noordzee heeft overleefd.

8. BELEIDS- EN MAATSCHAPPELIJKE CONTEXT

8.1 BELEID EN KENNIS

Nederland heeft op het gebied van beleid en natuurherstel/-ontwikkelingen verplichtingen richting zeewier- (en dus ook kelp-) gemeenschappen. Een relatief recente ontwikkeling is de natuurherstelverordening welke opgelegd is vanuit de EU (Verordening 2024/1991). Hierin worden lidstaten verplicht om te werken aan het herstellen van de natuur op basis van historische aanwezigheid van bepaalde habitattypes en doelsoorten. Hierbij wordt ondermeer vastgehouden aan de EUNIS-habitattypes. In deze lijst met habitats komen ook verschillende zeewier-habitats voor welke hieronder zijn weergegeven. Een uitgebreide uiteenzetting van deze natuurherstelverordening kan gevonden worden in het rapport van De Froe et al. (2025). Daarin worden ook zeewiergemeenschappen op schelpdierbedden behandeld.

Bossen van Macroalgen

- MA123: Zeewiergemeenschappen op volledig zilt litoraal gesteente
- MA125: *Fucales* op litoraal gesteente met variabel zoutgehalte
- MB121: Kelp- en zeewiergemeenschappen op infralitoraal gesteente
- MB123: Kelp- en zeewiergemeenschappen op door sedimenten beïnvloed of verstoord infralitoraal gesteente
- MB124: Kelpgemeenschappen op infralitoraal gesteente met variabel zoutgehalte
- MB321: Kelp- en zeewiergemeenschappen op infralitoraal grof sediment
- MB521: Kelp- en zeewiergemeenschappen op infralitoraal zand
- MB621: Vegetatiegemeenschappen op infralitorale modder

Kalkwiervelden

- MB322: Kalkwiervelden op infralitoraal grof sediment
- MB421: Kalkwiervelden op infralitoraal gemixt sediment
- MB622: Kalkwiervelden op infralitoraal modderig sediment

Hoewel dit dus meerdere type zeewier-gemeenschappen omvat dan alleen kelpwouden, is dit wel indicatief voor het belang van zeewiergemeenschappen voor natuurlijke systemen. Helaas zijn er echter geen specifieke (oppervlakte) doelen gesteld qua ontwikkeling en/of herstel van deze gemeenschappen. Dat heeft primair twee redenen. In eerste instantie moet gewerkt worden naar een 'gunstig referentie oppervlak', hiermee wordt bedoeld dat er gewerkt moet worden naar de 'historische' omvang van deze gemeenschappen. Het begrip 'historisch' is in dit perspectief relatief, want in de afgelopen eeuw hebben er zodanig veel veranderingen plaatsgevonden in het Nederlandse kustgebied dat het een subjectieve keuze is wanneer je iets als 'historisch' beschouwd. Zoals in H4.1 is aangegeven, is de Nederlandse kust van origine een estuarium wat gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van zachte sedimenten, variabele zoutgehaltes, lage doorzicht door het effluent van slib en zand uit rivieren en in Nederlands specifieke situatie: een gebrek aan hard substraat. Dat zou betekenen dat wanneer je kijkt naar 'historisch' als zijnde voor ~1850, toen de verstevigde kustverdediging in gebruik werd genomen, je een compleet ander referentiepunt hebt dan wanneer je gaat kijken naar 75 jaar geleden (1950). Want met de aanleg van nieuwe kustverdediging, inclusief de deltawerken rond de jaren 1930, hebben er grote veranderingen plaats gevonden. Zo zijn de getijdebewegingen veranderd en daarmee dus de uitwisseling met de Noordzee en vooral ook de aanwezigheid van harde (artificiële) substraten in de vorm van dijken en strekdammen (Leewis & Waardenburg, 1990).

Naast de Natuurherstelverordening die opgelegd zijn er vanuit de EU meerdere beleidskaders opgesteld rondom biodiversiteit, waterkwaliteit en natuur: Kaderrichtlijn marien (KRM), Kaderrichtlijn Water (KRW) en Natura2000 (N2000). Helaas zijn hier zeewiergemeenschappen niet of minimaal in opgenomen en zijn er dus geen beleidsverplichtingen om dit als zodanig te herstellen. Wel ligt de verplichting om zorg te dragen voor 'de natuur', waar in principe ook zeewiergemeenschappen onder vallen.

Hoewel er dus afdoende kennis over zeewier, is de kennis op het gebied van huidige verspreiding en de samenstelling van zeewiergemeenschappen erg beperkt. Er zijn geen bestaande monitoringsprogramma's gericht op zeewier of waarin zeewier meegenomen wordt. Vanuit WMR is er wel de intentie om dit te gaan doen, echter liggen er op dit moment uitdagingen qua budget, beschikbare capaciteit en soortenkennis om dit te realiseren. Dit is naar voren gekomen bij de uitvoering van het project voor de Natuurherstelverordening van de Nederlandse mariene ecosystemen (de Froe, 2025). Dit project is uitgezet door het ministerie van LVVN omdat voor het Kader Richtlijn Marien in kaart gebracht moet worden wat de huidige verspreiding is van zeewieren en of er herstelverplichtingen zijn in dit kader.

Omdat niet vast te stellen is wat de huidige verspreiding is, is het dus niet mogelijk om hier een antwoord op te formuleren of er inderdaad een herstelopdracht ligt. Kortom, in het kader van het beleid ligt er nu dus wel een opdracht vanuit de overheid om dit in kaart te brengen om vast te kunnen stellen wat óf er een herstelopdracht is. Uitdaging hierbij is dat de historische kennis over de verspreiding van zeewier, en in het bijzonder kelp, zeer minimaal is (wel dat ze aanwezig waren, maar niet de mate waarin)

8.2 MAATSCHAPPELIJKE KENNIS EN KUNDE

Zoals geschreven in H4.3 is er een aanzienlijke hoeveelheid aan kennis en kunde aanwezig in Nederland. Deze kennis zit niet alleen bij onderzoeksinstituten, maar ook bij bedrijven en NGO's. Hieronder is een overzicht gegeven van de bedrijven en organisaties die onderzoek doen naar zeewier en/of mogelijk een rol kunnen spelen in het herstellen van kelpwouden op de Noordzee:

- **Ark Rewilding** – Natuurorganisatie die zich inzet voor de ontwikkeling van natuur en het verbeteren van bestaande natuurgebieden. Zeewieren hebben slechts een beperkte tot geen plek in de huidige programma's en projecten.
- **Ebbing Tides BV** – Een innovatieve startup met unieke kennis op het gebied van Precision Kelp Farming wat zich richt op de potentie van kelpherstel in Nederland en de grootschalige productie van kelp voor kelp cultivatie.
- **Hortimare BV** – Commercieel bedrijf wat zich richt op (onderzoek naar) de veredeling van zeewier en het leveren van uitgangsmateriaal ('zaaigoed') voor commerciële en onderzoeksdoeleinden.
- **Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)** – Onderzoeksinstituut wat fundamenteel onderzoek doet naar het mariene milieu, inclusief onderzoek naar zeewier.
- **Seawiser BV** – Een gerenomeerd bedrijf met kelp cultivatie expertise en uitvinder van de State-of-the art Direct Seeding technologie.
- **Stichting Rijke Noordzee** – zet zich als stichting in voor het herstel van de natuur in de Noordzee en omschrijft zichzelf als een verbindend orgaan tussen overheid, onderzoekers en NGO's. Momenteel wordt er door de stichting (nog) niet gewerkt aan zeewier-herstel.
- **Wageningen University & Research** – Onderzoeksgaan wat bestaat uit de Wageningen Universiteit en acht zelfstandig opererende onderzoeksinstituten (incl. Wageningen Marine Research). Doen op verschillende vlakken

onderzoek naar zeewier (marktpotentie, kweek, ecologische impact, fysiologie, etc.).

PROJECTEN EN FINANCIERING

In de afgelopen jaren zijn er verschillende projecten en onderzoeken uitgevoerd door onderzoeksinstituten, hogescholen en bedrijven om te kijken naar de haalbaarheid van zeewierkweek in Nederland. Om deze onderzoeken te financieren zijn verschillende subsidies aangevraagd waarin het werk volledig of deels werd gesubsidieerd. Hierbij zijn ondermeer de volgende subsidies aangevraagd vanuit EU-middelen:

- Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO)
- Subsidie Duurzame Visserij & Aquacultuur (SDVA; EU-fonds uitgezet door RVO)
- European Maritime Fund for Aquaculture & Fisheries (EMFAF)
- EU-Horizon

Daarnaast zijn er ook nog projecten uitgevoerd die werden gefinancierd door ondermeer het WUR-Kennisbasisprogramma, MIT, Nederlandse ambassades en verschillende middelen vanuit het ministerie van LNV.

9. CONCLUSIE

Kelp rewilding in de Noordzee staat op het kruispunt van natuurherstel, visserijbeleid, offshore-infrastructuur en aquacultuurtechnologie. De beschikbare literatuur en praktijkvoorbeelden laten zien dat kelpwouden als “foundation species” een sleutelrol spelen in het vergroten van biodiversiteit, het leveren van kraamkamers voor vis en het versterken van ecosysteemdiensten zoals koolstofvastlegging, kustbescherming en sedimentstabilisatie (Eger et al. 2022; Bennett et al. 2015). In een grotendeels zandig systeem als de Nederlandse Noordzee kunnen kunstmatige kelpwouden, gekoppeld aan kunstriffen en nature inclusive design, fungeren als ontbrekend schakelpunt in het herstel van complexe, driedimensionale habitats.

Voor vispopulaties, met name haring, kabeljauwachtigen, snotolf en lipvissen, bieden kelpwouden de combinatie van structuur, schuilgelegenheid en voedselaanbod die nodig is voor succesvolle voortplanting en opgroei. De internationale voorbeelden van doelgericht habitattherstel voor haring, kelpafforestatie en kunstriffen laten zien dat relatief beperkte ingrepen al kunnen leiden tot hogere dichtheden, betere rekrutering en versneld herstel van lokale bestanden (Frost & Diele 2022; Rytwinski et al. 2019; Villegas et al. 2019; O'Neill et al. 2024). Kelp rewilding in de Noordzee kan daarmee een wezenlijke bijdrage leveren aan het toekomstbestendig maken van zowel ecologische doelen als bepaalde visserijketens.

Genetische kennis vormt een belangrijke randvoorwaarde voor duurzame herintroductie en kweek. Studies naar populatiestructuur van *Saccharina latissima* tonen aan dat er op Noord-Atlantische schaal duidelijke genetische eenheden bestaan, en dat Nederland een relatief unieke, kwetsbare genetische populatie huisvest (Paulino et al. 2016; Luttikhuisen et al. 2018; Jaugeon et al. 2025). Dit impliceert dat kelp rewilding in Nederland idealiter werkt met lokale genetische bronnen en expliciet aandacht besteedt aan genetische monitoring, traceerbaarheid en het voorkomen van homogeniatie door grootschalige teelt van veredelde lijnen. Daarmee wordt rewilding niet alleen een middel om habitats te herstellen, maar ook een instrument om genetische diversiteit en adaptief vermogen van populaties te behouden.

Technologisch gezien sluit kelp rewilding aan op een snel ontwikkelende toolbox uit de kelpaquacultuur: MAD-gametofyten, green gravel en direct-seeding technieken maken het mogelijk om gericht, seizoenonafhankelijk en

schaalbaar kelp uit te zetten op kunstmatige structuren (Ebbing et al. 2025; Fredriksen et al. 2020; Alsuwaiyan et al. 2022). Door deze technieken te koppelen aan bestaande en nieuwe infrastructuur – dijkversterkingen, havens, scour protection, Mecal Nodes en andere biodiversiteitsmodules – ontstaat een praktisch uitvoerbaar pad van kleinschalige pilots naar regionale netwerken van kelpriffen. De Noordzee kan zo uitgroeien tot een internationaal voorbeeld van hoe offshore wind, natuurherstel en laag-trofische aquacultuur elkaar kunnen versterken (Glarou et al. 2020; Maar et al. 2023; Kingma et al. 2024).

Tegelijkertijd zijn er duidelijke kennislacunes en beleidsmatige uitdagingen. Het ontbreken van systematische monitoring van zeewiergemeenschappen, onduidelijke historische referenties en het gebrek aan expliciete oppervlakdoelen voor kelphabitats maken het lastig om juridisch verankerde hersteldoelen te formuleren (De Froe et al. 2025; Noordzeeloket). Succesvolle opschaling vraagt daarom om integratie van ecologie, genetica, techniek, beleid en maatschappelijke samenwerking. Kelp rewilding in de Noordzee kan alleen slagen als onderzoeksinstituten, bedrijven, overheid, NGO's en gebruikers samen investeren in langjarige pilots, gestandaardiseerde monitoring en een helder ruimtelijk kader binnen de bestaande EU- en nationale beleidsinstrumenten.

Natuurherstel kan in de Noordzee uitgroeien tot een motor die ecologische én economische productiviteit tegelijk laat toenemen. Door nieuw substraat toe te voegen (e.g. riffen, steenvelden, kelpdragende structuren) krijgt de zee in de korte termijn weer iets om op te bouwen: larven overleven beter, kelp creëert driedimensionale leefruimte, en het systeem begint opnieuw te ademen. In de middellange termijn groeit dat fundament door naar herstel van vispopulaties zoals haring en jonge kabeljauw, waardoor natuurlijke productie stijgt zonder extra druk op het ecosysteem. Op de lange termijn opent dit een andere manier van kijken, in lijn met Lyla June Johnston's visie op mensen als keystone species: niet als uitbaters, maar als actieve medebeheerders, als keystone species, die ecosystemen juist productiever maken voor de natuur en voor zichzelf (Johnston et al. 2022). Zo ontstaat een Noordzee waarin technologie, natuurherstel en menselijk handelen samen een regeneratieve cyclus vormen, een economie gebouwd op het versterken van het systeem in plaats van het uitputten ervan.

Samenvattend biedt kelp rewilding unieke kansen om biodiversiteit, vispopulaties en ecosysteemdiensten in de Noordzee te herstellen en tegelijkertijd nieuwe economische perspectieven te openen. Door genetische inzichten (Paulino et al. 2016; Jaugeon et al. 2025) te koppelen aan innovatieve aquacultuurtechnieken en zorgvuldig ontworpen offshore-infrastructuur, kan Nederland zich positioneren als proeftuin voor duurzame

kelp-herintroductie en natuur-inclusieve blauwe economie. De volgende stap is om de hier beschreven concepten te vertalen naar concreet ruimtegebruik, meetbare doelstellingen en uitvoerbare programma's waarin ecologie, techniek en samenleving daadwerkelijk samenkomen.



Figuur 13. *Recente foto (08-12-2025) van een Mecal node met S.latissima kelp in de haven van Texel (**Links**) & een eerdere aanplant van kelp in de haven van Scheveningen onder de schaduw van het Campus@Sea hoofdkantoor (**Rechts**).*

10. REFERENTIES

- Baptist, M.J., De Mesel, I., Stuyt, L.C.P.M., Henkes, R., De Molenaar, H., Wijsman, J., Dankers, N. & Kimmels, V. (2007). Herstel van estuariene dynamiek in de zuidwestelijke Delta. Wageningen IMARES. Rapport C119-07.
- Bayley, D. T. I., Marengo, I. & Pelembe, T. (2017). *Giant kelp "blue carbon" storage and sequestration value in the Falkland Islands*. Natural Capital in the Falkland Islands Report. South Atlantic Environmental Research Institute, Stanley.
- Bayley, D. T. I., Brickle, P., Brewin, P. E., Golding, N. & Pelembe, T. (2021). Valuation of kelp forest ecosystem services in the Falkland Islands, a case study integrating blue carbon sequestration potential. *One Ecosystem*, 6, e62811.
- Bennett, S., Wernberg, T., Connell, S. D., Hobday, A. J., Johnson, C. R., & Poloczanska, E. S. (2015). The 'Great Southern Reef': social, ecological and economic value of Australia's neglected kelp forests. *Marine and Freshwater Research*, 67(1), 47-56.
- Buu, N., Wang, X., Yang, H., & Yerxa, K. (2020). The Success of Pacific Herring (*Clupea pallasi*) Spawning Net Deployment in False Creek [R]. doi:
- Christianen, M. J., Lengkeek, W., Bergsma, J. H., Coolen, J. W., Didderen, K., Dorenbosch, M. & Van Der Have, T. M. (2018). Return of the native facilitated by the invasive? Population composition, substrate preferences and epibenthic species richness of a recently discovered shellfish reef with native European flat oysters (*Ostrea edulis*) in the North Sea. *Marine Biology Research*, 14(6), 590-597.
- Cuba, D., Guardia Luzon, K., Cevallos, B., Ruz, C., Huovinen, P., Carreño, C. & Oróstica, M. H. (2022). Ecosystem services provided by kelp forests of the Humboldt Current System, a comprehensive review. *Coasts*, 2(4), 259–277.
- De Froe, E., Asjes, A., Escaravage, V., Glorius, S.T., Hoogenstrijd, G., Hulken, K.H.A., Jak, R.G., Nauta, R.W., Sandig, A., Smulders, F., Tamis, J.E., Troost, K. & Wijnhoven, S. (2025). Natuurherstelverordening en het Nederlandse mariene ecosysteem. Wageningen Marine Research.
- De Gorter, D. (1781). Flora VII provinciarum Belgii foederati indigena. apud CH Bohn & filium, Bibliopolas.
- De Groot, S. J. (1979). The potential environmental impact of marine gravel extraction in the North Sea. *Ocean Management* 5.3: 233-249.
- Ebbing, A. P., Pierik, R., Fivash, G. S., van de Loosdrecht, N. C., Bouma, T. J., Kromkamp, J. C., & Timmermans, K. (2021). The role of seasonality in reproduction of multiannual delayed gametophytes of *Saccharina latissima*. *Journal of phycology*, 57(5), 1580-1589.
- Ebbing, A., Lindell, S., Holm, H., Sato, Y., & Timmermans, K. (2025). Unravelling the secret life of MultiAnnual delayed gametophytes in the order of the Laminariales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 583, 152081.

- Eckman, J. E., Duggins, D. O. & Sewell, A. T. (1989). Ecology of understory kelp environments. I. Effects of kelps on flow and particle transport near the bottom. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 129(2), 173–187.
- Eger, Aaron M., et al. (2022). Global kelp forest restoration: past lessons, present status, and future directions. *Biological Reviews* 97.4: 1449-1475.
- Franco, J. N., Meyer, H. S., Babe, O., Martins, M., Reis, B., Sanchez Gallego, Á., Lemos, M. F. L., Dolbeth, M., Sousa Pinto, I. & Arenas, F. (2025). Potential blue carbon in the fringe of Southern European kelp forests. *Scientific Reports*, 15, 9361.
- Fredriksen, S., Filbee-Dexter, K., Norderhaug, K. M., Steen, H., Bodvin, T., Coleman, M. A. & Wernberg, T. (2020). Green gravel: a novel restoration tool to combat kelp forest decline. *Scientific reports*, 10(1), 3983.
- Frost, M., & Diele, K. (2022). Essential spawning grounds of Scottish herring: current knowledge and future challenges. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(3), 721–744.
- Gao, G., Beardall, J., Jin, P., Li, F., Wang, C., Xu, J., Häder, D. P. & Gao, K. (2022). A review of existing and potential blue carbon contributions to climate change mitigation in the Anthropocene. *Journal of Applied Ecology*, 59(11), 2800–2817.
- Geurts van Kessel, A. J. M., Berrevoets, C., Consemulder, J., de Jong, D., Kater, B., van Maldegem, D., ... & Withagen, L. (2004). Verlopend tij: Oosterschelde, een veranderend natuurmonument. Rijks Instituut voor Kust en Zee (RIKZ). Rapport RIKZ.
- Giartrakou L. (2019). Financial mechanisms for kelp restoration. MSc thesis, Wageningen University. <https://edepot.wur.nl/509048>
- Gittenberger, A., Rensing, M., Stegenga, H., & Hoeksema, B. W. (2009). Inventarisatie van de aan hard substraat gerelateerde macroflora en macrofauna in de Nederlandse Waddenzee. GiMaRIS report, 2009, 63.
- Glarou, M., Zrust, M., & Svendsen, J. C. (2020). Using artificial-reef knowledge to enhance the ecological function of offshore wind turbine foundations: implications for fish abundance and diversity. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(5), 332.
- Graham, L.E., Graham, J.M., & Wilcox, L.W. (2008). Algae. Benjamin Cummings. <https://www.amazon.com/Algae-2nd-James-Graham/dp/0321559657>
- Guiry, M.D. (2012). How many species of algae? *Journal of Phycology*, 48, 1057–1063.
- Jaugeon, L., Destombe, C., Ruggeri, P., Mauger, S., Coudret, J., Cock, J., Potin, P., & Valero, M. (2025). The genetic structure of wild and cultivated *Saccharina latissima* populations across European coasts provides guidance for sustainable aquaculture, traceability, and conservation. *Journal of Applied Phycology*. 1-15.
- Johnston, L. J. (2022). Architects of abundance: Indigenous regenerative food and land management systems and the excavation of hidden history (Doctoral dissertation, University of Alaska Fairbanks).
- Kingma, E. M., ter Hofstede, R., Kardinaal, E., Bakker, R., Bittner, O., van der Weide, B., & Coolen, J. W. (2024). Guardians of the seabed: Nature-inclusive design of scour protection in offshore wind farms enhances benthic diversity. *Journal of Sea Research*, 199, 102502.
- Koster, J. (1940). A review of the taxonomical and ecological studies on Netherlands' Algae. *Recueil des travaux botaniques néerlandais*, 36(2), 494-501.

- Kraan, S. (2016). Undaria marching on; late arrival in the Republic of Ireland. *Journal of Applied Phycology*, 29(2): 1107-1114.
- Leewis, R. J., & Waardenburg, H. W. (1990). Flora and fauna of the sublittoral hard substrata in the Oosterschelde (The Netherlands)—interactions with the North Sea and the influence of a storm surge barrier. *Hydrobiologia*, 195(1), 189-200.
- Lisco, S.N., Acquafredda, P., Gallicchio, S., et al. (2020). The sedimentary dynamics of Sabellaria alveolata bioconstructions (Ostia, Tyrrhenian Sea, central Italy). *Journal of Palaeogeography*, 9, 2.
- Luttikhuisen, P.C., van den Heuvel, F.H.M., Rebours, C., Witte, H.J., van Bleijswijk, J.D.L., & Timmermans, K. (2018). Strong population structure but no equilibrium yet: Genetic connectivity and phylogeography in the kelp *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyta). *Ecology & Evolution*, 8: 4265–4277.
- Maar, M., Holbach, A., Boderskov, T., Thomsen, M., Buck, B. H., Kotta, J., & Bruhn, A. (2023). Multi-use of offshore wind farms with low-trophic aquaculture can help achieve global sustainability goals. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 447.
- Martins, N., Tantt, H., Pearson, G. A., Serrão, E. A., & Bartsch, I. (2017). Interactions of daylength, temperature and nutrients affect thresholds for life stage transitions in the kelp *Laminaria digitata* (Phaeophyceae). *Botanica Marina*, 60(2), 109-121.
- Mecal. (2024). Mecal Nodes: Biodiversity enhancing scour protection. Company documentation. <https://mecal.nl/mecal-nodes-scour-protection/>
- Michaelsen, C. (2012). Habitat choice of juvenile coastal cod: the role of macroalgae habitats for juvenile coastal cod (*Gadus morhua* L.) in Porsangerfjorden and Ullsfjorden in Northern Norway (Master's thesis, University of Tromsø).
- Miranda, F., Calheiros Cabral, T., Proença, M. F., Barbedo, J., Serra, S., Fortes, C. J. E. M. & Neves, M. G. (2025). Reducing wave overtopping on rubble mound breakwaters using floating kelp farms. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(5), 850.
- Morris, R. L., Hale, R., Golding, N., Pelembe, T., Lanfear, J. & Duffy, J. P. (2020). Kelp beds as coastal protection, wave attenuation of *Ecklonia radiata* in a shallow coastal bay. *Annals of Botany*, 125(2), 235–246.
- Müller, R., Laepple, T., Bartsch, I., & Wiencke, C. (2009). Impact of oceanic warming on the distribution of seaweeds in polar and cold-temperate waters. *Botanica Marina*, 52(6), 617-638.
- NIVA. (2021). Restoring Norway's underwater forests. Norwegian Institute for Water Research.
- Norderhaug, K.M., Nedreaas, K., Huserbråten, M. & Moland, E. (2021). Depletion of coastal predatory fish sub-stocks coincided with the largest sea urchin grazing event observed in the NE Atlantic. *Ambio*, 50, 163–173.
- O'Neill, Tess, Scott Bennett, and Christopher J. Brown. (2024). Predicting the impact of giant kelp restoration on food webs and fisheries production. *bioRxiv*: 2024-12.
- Pessarrodona, A., Moore, P. J., Sayer, M. D. J. & Smale, D. A. (2018). Carbon assimilation and transfer through kelp forests in the northeast Atlantic is diminished under a warmer ocean climate. *Global Change Biology*, 24(9), 4386–4398
- Russell, G. (1986). Variation and natural selection in marine macroalgae. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 24, 309-377.

- Reis, B., van der Linden, P., Pinto, I. S., Almada, E., Borges, M. T., Hall, A. E., ... & Franco, J. N. (2021). Artificial reefs in the North–East Atlantic area: Present situation, knowledge gaps and future perspectives. *Ocean & Coastal Management*, 213, 105854.
- Rytwinski, T., Elmer, L. K., Taylor, J. J., Donaldson, L. A., Bennett, J. R., Smokorowski, K. E., & Cooke, S. J. (2019). How Effective are Spawning-habitat Creation Or Enhancement Measures for Substrate-spawning Fish?: A Synthesis.
- Scheibling, R. E., Hennigar, A. W., & Balch, T. (1999). Destructive grazing, epiphytism, and disease: the dynamics of sea urchin-kelp interactions in Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(12), 2300-2314.
- Shelamoff, V., Layton, C., Tatsumi, M., Cameron, M. J., Edgar, G. J., & Johnson, C. R. (2020). High kelp density attracts fishes except for recruiting cryptobenthic species. *Marine Environmental Research*, 161, 105127.
- Smale, D.A. (2020). Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. *New Phytologist*, 225, 1447–1454.
- Steins, N. A., Veraart, J. A., Klostermann, J. E., & Poelman, M. (2021). Combining offshore wind farms, nature conservation and seafood: Lessons from a Dutch community of practice. *Marine Policy*, 126, 104371.
- Stegenga, H., & Mol, I. (1983). Some marine brown algae new or rare to the Netherlands. *Acta botanica neerlandica*, 32(3), 153-162.
- Stegenga, H. (1999). *Undaria pinnatifida* in Nederland gearriveerd. *Het Zeepaard* 59:71-73.
- Stegenga, H. (2002). De Nederlandse zeewierflora: van kunstmatig naar exotisch? *Het Zeepaard* 62 (1): 13-24.
- Stegenga, H. E. R. R. E., & Prud'homme Van Reine, W. F. (1998). Changes in the seaweed flora of the Netherlands. *Changes in the marine flora of the North Sea*, 7, 7-8.
- Taylor, J. J., Rytwinski, T., Bennett, J. R., Smokorowski, K. E., Lapointe, N. W., Janusz, R., ... & Cooke, S. J. (2019). The effectiveness of spawning habitat creation or enhancement for substrate-spawning temperate fish: a systematic review. *Environmental Evidence*, 8(1), 19.
- Thurstan, R.H., McCormick, H., Preston, J., Ashton, E.C., Bennema, F.P., Bratoš Cetinić, A., Brown, J.H., Cameron, T.C., da Costa, F., Donnan, D.W., Ewers, C., Fortibuoni, T., Galimany, E., Giovanardi, O., Grancher, R., Grech, D., Hayden-Hughes, M., Helmer, L., Jensen, K.T., Juanes, J.A., Latchford, J., Moore, A.B.M., Moutopoulos, D.K., Nielsen, P., von Nordheim, H., Ondiviela, B., Peter, C., Pogoda, B., Pouvreau, S., Roberts, C.M., Scherer, C., Smaal, A.C., Smyth, D., Strand, Å., Theodorou, J.A. & Ermgassen, P.S.E. (2024). Records reveal the vast historical extent of European oyster reef ecosystems. *Nature Sustainability*.
- Ter Hofstede, R., Driessen, F. M. F., Elzinga, P. J., Van Koningsveld, M., & Schutter, M. (2022). Offshore wind farms contribute to epibenthic biodiversity in the North Sea. *Journal of sea research*, 185, 102229.
- Sas, Hein, Luca van Duren, Peter MJ Herman, Tom van der Have, Pauline Kamermans, O. G. Bos, E. M. Kingma, Tjeerd Bouma, and Edwin Kardinaal. "Reef-building species and biogenic reef enhancement in the Dutch North Sea: Background documents." (2023).

- Van Goor, A.C.J. (1923). Die Holländischen Meeresalgen. Koninklijke Akademie van Wetenschappen. Tweede sectie, 23(2), 232pp. https://books.google.nl/books/about/Die_Holl%C3%A4ndischen_Meeresalgen.html?id=-vz9zgEACAAJ&redir_esc=y
- Verbeek, J., Louro, I., Christie, H., Carlsson, P.M., Matsson, S. & Renaud, P.E. (2021). Restoring Norway's underwater forests: A strategy to recover kelp ecosystems from urchin barrens. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), SeaForester & Akvaplan-niva, Oslo. [https://www.niva.no/en/news/restoring-norways-underwater-forests/_/attachment/inline/e96d6c9c-b796-4cbe-9929-1e880a524e3e:db4874617c690ce14e978007f7cc269658e9ad74/Restoring%20Norway's%20Underwater%20Forests_UN%20\(1\).pdf](https://www.niva.no/en/news/restoring-norways-underwater-forests/_/attachment/inline/e96d6c9c-b796-4cbe-9929-1e880a524e3e:db4874617c690ce14e978007f7cc269658e9ad74/Restoring%20Norway's%20Underwater%20Forests_UN%20(1).pdf)
- Villegas, M., Laudien, J., Sielfeld, W., & Arntz, W. (2019). Effect of foresting barren ground with *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh on the occurrence of coastal fishes off northern Chile. *Journal of Applied Phycology*, 31(3), 2145-2157.
- Wageningen Marine Research. (2023). BeWild: measuring biodiversity at offshore wind farms. Project description. WUR. <https://www.wur.nl/en/project/bewild-measuring-biodiversity-at-offshore-wind-farms.htm>
- Williams, C., Rees, S., Sheehan, E. V., Ashley, M. & Davies, W. (2022). Rewilding the sea, a rapid, low cost model for valuing the ecosystem service benefits of kelp forest recovery based on existing valuations and benefit transfers. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 642775.
- Zhu, L., Zhao, H., Hu, Z., Tang, C., Hu, Z. & Ding, P. (2022). An analytical model of wave attenuation induced by flexible vegetation for suspended canopies. *Coastal Engineering*, 176, 104150.

Websites

[Schelpdierriffen bouwen zichzelf | ARK Rewilding Nederland](#)

[Herstel van platteoesterbanken in de Noordzee en Waddenzee - WUR](#)

<https://storymaps.arcgis.com/stories/78eba4aa5ea747b5bb04a737dca0f166>

https://publications.deltares.nl/1221293_000.pdf

[Ørsted and WWF embark on marine restoration project in the Danish North Sea](#)

[Noordzeeloket: Nature enhancement in offshore wind farms | The European Maritime Spatial Planning Platform](#)

[Kelp and Kelp Forests | Smithsonian Ocean](#)

[KelpRing, Scotland.](#)