

# Wat kan combinatie van schelpdier- en zeewierteelt opleveren?

## Resultaten van een driejarige veldstudie Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)

Door: Jouke Heringa<sup>1</sup>, Lotte Niemeijer<sup>1</sup>, Natan Hoefnagel<sup>1</sup>, Marco Dubbeldam<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> HZ University of Applied Sciences, Delimossel, Kreeke&Zn, Veersche Wier,

<sup>2</sup> Stichting Zeeschelp, Zeeuwse Mossel, Dutch Seaweed Group

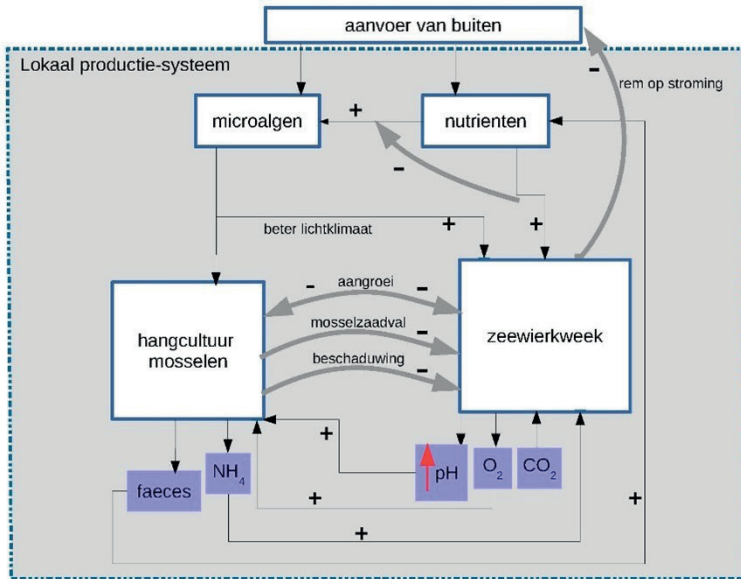
**Omdat in Nederland de ruimte voor de hangcultuur van schelpdieren en zeewier beperkt is, en de kwekers hun percelen voor deze mosselteelt maar voor ongeveer 70% vullen, onderzocht HZ met partners de kansen voor de combinatie met zeewier. Het onderzoek op twee locaties laat zien dat het combineren van beide hangteelten synergie oplevert, dit wil zeggen meer oplevert dan 1+1.**

### Ruimte voor zeewierkweek

De teelt van schelpdieren vindt al ruim 100 jaar plaats in de Zuidwestelijke Delta en de Waddenzee. Het betreft dan met name de blauwe mossel (*Mytilus edulis*), platte oester (*Ostrea edulis*) en de Japanse oester (*Crassostrea gigas*<sup>\*)</sup>). In Nederland staat zeewierkweek echter nog in de kinderschoenen. Op zeer beperkte schaal vindt er in de Zuidwestelijke Delta productie plaats van bruinwiersoorten als Suikerwier (*Saccharina latissima*), Wakame (*Undaria sp.*), het roodwier *Gracilaria* en het groenwier Zeesla (*Ulva sp.*). De eerste twee genoemde soorten zijn zogenaamde winterwieren. Zij worden in het late najaar (oktober – november) als stekje uitgehangen en in mei het daaropvolgend jaar geoogst.

Door toenemende druk op de beschikbare ruimte vanuit natuurdoelstellingen, recreatie en andere belangen, zijn er slechts beperkte mogelijkheden voor de gewenste uitbreiding van de productie voor zowel schelpdieren als wieren. Het lijkt alsof iedere cm<sup>3</sup> water in bijvoorbeeld Oosterschelde, Grevelingen en Veerse Meer, alle drie in de Zuidwestelijke Delta, al bestemd is. Vandaar dat voor de verdere ontwikkeling en uitbreiding van de zeewierproductie in Nederland wordt gekeken naar het concept van meervoudig ruimtegebruik.

Een eerdere verkenning liet zien dat de meeste potentie (qua ruimte en periode van het jaar) zit in het combineren (co-cultivatatie) van zeewierteelt met die van hangcultuurmosselen <sup>[1]</sup>.



Figuur 1. Theoretische feedbackmechanismen in co-cultivatie van mosselen en zeewier. Nutriënten, microalgen, mosselen en zeewier beïnvloeden elkaar op positieve (pijlen met een +) en negatieve (pijlen met een -) manieren. Ook de mogelijke rol van abiotische factoren (pH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) is aangegeven.

In de Zuidwestelijk Deltawateren bevinden zich verschillende locaties met hangcultuurteelt van mosselen. Veel kwekers hanteren daarbij het principe van 'minder is meer', wat inhoudt dat de mosselopbrengst hoger is als de locatie niet 100% volhangt met mosselen. Ze weten uit ervaring dat de bovengrens aan de hoeveelheid mosselen, die op een productielocatie kan worden gekweekt, bepaald wordt door de beschikbare hoeveelheid voedsel (met name microalgen). Kwekers hanteren daarom de vuistregel om 30% van hun productieruimte vrij te houden van mosselen. Deze ruimte zou gebruikt kunnen worden voor de kweek van zeewier, omdat zeewier opgeloste voedingsstoffen (nutriënten) gebruikt en niet direct concurreert met de productie van mosselen. In totaal is er door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselveiligheid & Natuur voor meer dan 160 ha aan mosselhang-

cultuur in Nederland vergund. In potentie betekent dit dat er ± 50 ha (±30%) beschikbaar is voor co-cultuur van zeewier op die locaties.

Behalve efficiënter ruimtegebruik m.b.v. co-cultivatie van mosselen en zeewier, geven fysiologie en ecologie argumenten dat mosselen en zeewier elkaar misschien positief beïnvloeden. Verschillende terugkoppelmecanismen (Figuur 1) kunnen ervoor zorgen dat de groei en productie van zeewier en mogelijk ook mosselen verbeteren door de aanwezigheid van de andere soort (1+1>2 effect synergie).

Eerder veldonderzoek in Zweden liet zien dat de groei van *Saccharina latissima* in de buurt van mosselen 30% hoger was dan op de referentielocatie buiten de invloed van de mosselen [2]. Daarbij leek de belangrijkste invloed te



Figuur 2. ZEE MOS Testlocaties in de Zuidwestelijke Delta.

komen van verbeterde lichtomstandigheden doordat mosselen het water filteren. Ook een modelstudie in de Oosterschelde liet een verhoogde groei van zeewier zien onder invloed van de aanwezigheid van mosselen<sup>[3]</sup>. Die concludeerde dat daarbij juist de hogere beschikbaarheid van stikstof (als gevolg van de excretie van ammonium door mosselen) de belangrijkste stimulans was voor zeewiergroei.

Om het effect van mosselen op de groei van zeewier te voorspellen is de vraag in welke mate factoren als temperatuur, licht en nutriënten op de concrete productielocaties de groei van zeewier limiteren. En hoe die limiterende factoren gedurende het groeiseizoen van november tot mei veranderen en beïnvloed worden door mosselen. Concentraties van opgelost stikstof en fosfor in mariene wateren bereiken vaak een dieptepunt in april – juni en kunnen dan limiterend worden voor de groei van zeewier (Zie figuur 8). Aan de andere kant is bekend dat zeewier soorten in staat zijn tot zogenaamde luxe opname<sup>[4]</sup>. D.w.z. de opslag van stikstof in weefsel in tijden van overvloed, zodat die stikstof gebruikt kan worden in periodes waarin minder beschikbaar is.

Naast de theoretische en verwachte voordelen, uiten sommige mosselkwekers ook zor-

*Mosselen groeien beter als kwekers maar 70% van de ruimte vullen.*

gen bij het idee van co-cultivatie. Zij zijn bang voor concurrentie om nutriënten (stikstof en fosfor) tussen het zeewier en microalgen (het voer voor hun mosselen) op hun productielocatie. In dat geval zou i.p.v. 1+1 niet meer, maar minder dan 2 kunnen zijn, m.a.w. dat zeewier wel profiteert maar mosselen geen of zelfs negatieve effecten ondervinden.

### **Driejarig onderzoek naar de co-cultivatie op productielocaties**

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijke interacties tussen mosselen en zeewier op productielocaties is het project ZEE MOS gestart. Dit project was een onderdeel van het programma Living Lab Schouwen-Duiveland. Op twee locaties (Mattenhaven bij Neeltje Jans en Paardekreek in het Veerse Meer) met verschillende karakteristieken (Tabel 1) is de groei en productie van het winterwier Suiker-

Test-locatie	Water-systeem	Getij/ max diepte	Jaar van onderzoek	Standing stock mosselen	Soorten zeewier en kweek-methode
Mattenhaven	Ooster-schelde	2,5 mt getij/ 14 mt max. diepte	2020 – 2023	± 500 à 700,000 kg halfwas (tot 5 cm) en consumptie formaat	<i>Saccharina latissima</i> op lijnen van 240 tot 460 mt.
Paardekreek	Veerse Meer	Geen getij / 5 meter max diep	2020 - 2023	Onbekend	<i>Saccharina latissima</i> op lijnen van 40 mt.

Tabel 1. Karakteristieken van de testlocaties in het ZEEMOS project.

			
<b>ADCP</b>	<b>JFE</b>	<b>HOBO</b>	<b>Nutriënten</b>
Stroomsnelheid Stroomrichting op verschillende diepten (bodem tot aan water oppervlak)	Chlorofyl Turbiditeit	Licht Temperatuur	NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> Total N, Total P
m/s Graden	µg/l FTU	lux °C	mg/L

Tabel 2. Overzicht van de verschillende meetinstrumenten die zijn gebruikt in ZEEMOS.

wier (*Saccharina latissima*) in combinatie met hangcultuurmosselen onderzocht (Figuur 2). Daarnaast werd zeewier gekweekt op een referentielocatie bij de ingang van de Mattenhaven op 400 meter buiten de mossellijnen.

Het zeewier, *Saccharina latissima*, was afkomstig uit het broedhuis van de Stichting Zeeschelp (Jacobahaven). Daar was het onder gecontroleerde omstandigheden op een touw gezet, en vervolgens uitgehangen op de verschillende testlocaties in de periode eind oktober – begin december (2020 – 2022).

Het onderzoek in het eerste jaar (2021) van ZEEMOS was er met name op gericht inzicht

te krijgen in de instroom en verblijftijden van microalgen en nutriënten op de testlocaties Mattenhaven en Paardekreek. Hiervoor werden ADCP stromingsmeters gebruikt (Tabel 2). Daarnaast maten we tijdens de productieperiode van het zeewier (november – mei) met verschillende sensoren de waterkwaliteitsfactoren chlorofyl, temperatuur en turbiditeit (troebelheid). Dat werd gedaan op vaste plaatsen binnen de testlocaties om deze hydrologisch en ecologisch te karakteriseren. Verder deden we in dat jaar de eerste metingen aan de groei van *S. latissima*. De groei van individuele thalli werd berekend aan de hand van bladoppervlaktebepaling (Lengte X gemiddelde Breedte) van gemerkte thalli (Figuur 4).



Figuur 3. Detail van de productielocatie Mattenhaven met de ligging van de stromingsmeters en de mossel- en zeewierlijnen (inclusief referentielijn).



Figuur 4: Voorbeeld van individuele markering met kleurtag en nummer van zeewierplanten op een lijn.

In het tweede en derde jaar van het project volgden we de groei van het uitgehangen zeewier systematisch op verschillende plaatsen tussen de mosselen aan de touwen en daarbuiten. De hierboven genoemde metingen van waterkwaliteitsparameters werden uitgebreid om de ruimtelijk variabiliteit binnen de productielocaties vast te leggen. Daarnaast werden ook de concentraties van opgeloste nutriënten (stikstof en fosfor) bepaald.

### **Draagkracht productielocaties**

Zoals eerder aangegeven wordt de productiepotentie (productiedraagkracht) voor mosselen en zeewier mede bepaald door het beschikbare voedsel (resp. microalgen en nutriënten). Een aandachtspunt bij de mogelijke concurrentie om nutriënten, was de vraag of de microalgen op de productielocatie zelf groeiden of aangevoerd werden van buiten. De achterliggende gedachte is dat plaatselijke groei van microalgen veel minder is dan aanvoer met getijdenstroom en dat een systeem dat vooral afhankelijk is van plaatselijke microalgengroei een lagere productiedraagkracht voor mosselen heeft. Op locatie Mattenhaven (Figuur 3) werd bij de instroomopening waar mosselen, zeewier en meters hangen een gemiddelde stroomsnelheid van 0,081 m/s over het getij van 12 uur gemeten.

Op basis van het doorstroomprofiel, het watervolume in de haven en de gemeten stroomsnelheden op verschillende plaatsen en tijden is de verblijftijd van water in de Mattenhaven geschat op 16 uur. De mosselen in de Mattenhaven (500 - 700 ton) zouden het totale volume van deze productielocatie in 100 tot 160 uur filteren, uitgaande van een pompsnelheid van resp. 1 en 2 liter/uur per mossel voor halfwas en consumptieformaat mosselen [5]. Dat betekent dat de verblijftijd van het water in de Mattenhaven vele malen korter is dan de filtreercapaciteit van de mosselen en dat de microalgen als voedsel voor de mosselen voornamelijk van buiten de productielocatie

## **In combinatie van hangculturen met mosselen groeit zeewier beter.**

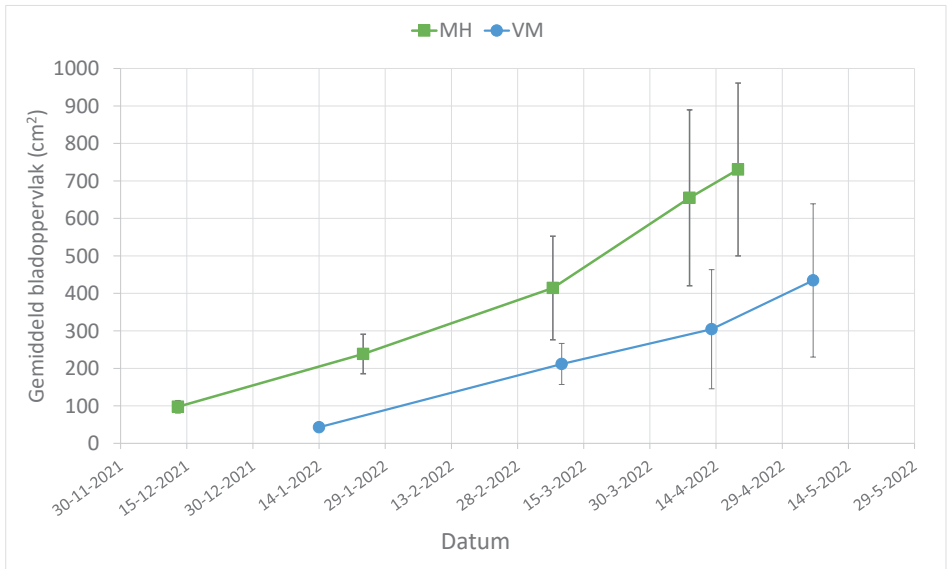
worden aangevoerd door het getij. De bijdrage van plaatselijke productie van de microalgen aan het voedselaanbod voor de mosselen is verwaarloosbaar. Er is dus hoogst waarschijnlijk geen concurrentie om de nutriënten tussen het voedsel (microalgen) voor de mosselen en het zeewier.

Op locatie Paardekreek (Veerse Meer) is geen getij en is de (met ACDP) gemeten waterbeweging rondom en bij de mossel- en zeewierlijnen vooral wind gedreven. Deze wind is variabel qua sterkte en richting. Gezien de zeer geringe biomassa aan gekweekt zeewier lijkt er ook geen reden om aan te nemen dat er sprake is van concurrentie om nutriënten tussen microalgen en suikerwier op deze productielocatie.

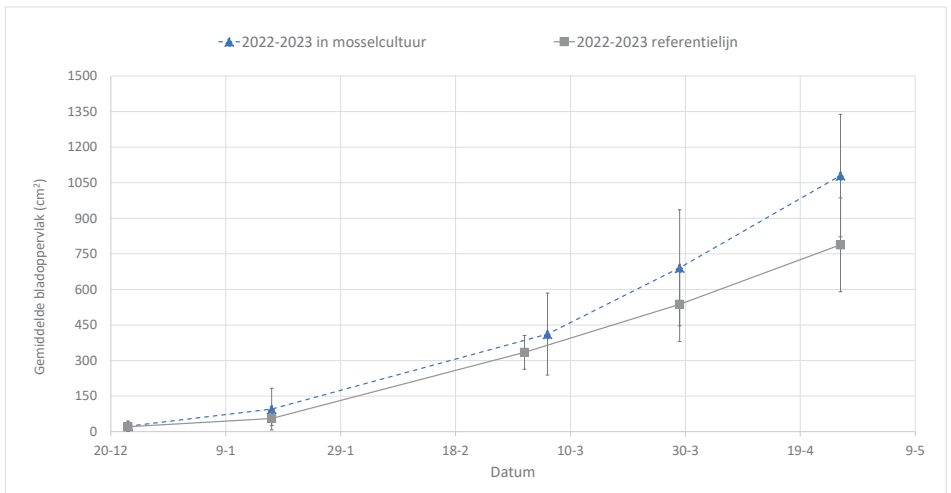
### **Groei en productie van zeewier**

De groei van het suikerwier (*S. latissima*) op de productielocaties is gemeten op basis van de toename in bladoppervlakte. In maximaal 10 zeewierplanten per stuk lijn, bovenaan in de thallus waar de groei optreedt (meristeem) zijn planten gemerkt met een code en kleur (Figuur 4). De ontwikkeling van deze individuele planten is op gezette tijden gedurende het groeiseizoen gevolgd door het opmeten van de lengte en de gemiddelde breedte.

De groei van het suikerwier in de seizoenen 2021-2022 en 2022-2023 op alle locaties was indrukwekkend. In minder dan 5 maanden groeide het zeewier van kiemplantje tot wel 1,3 meter lengte (Figuur 5). Het uiteindelijke bladoppervlak van de zeewierplanten die tussen de mossellijnen hangen is met 1050 cm<sup>2</sup>



Figuur 5: Gemiddelde bladoppervlak van *S. latissima* op twee productielocaties in het 2021- 2022 (december – mei). De groene lijn en vierkante symbolen geven de gemiddelde oppervlaktes en standaardafwijking aan in Mattenhaven (MH) (50 monsters) en de blauwe stippen en lijn die in het Veerse Meer (VM) (22 monsters).



Figuur 6. Gemiddeld bladoppervlak over de tijd (2022-2023) van *S. latissima* bij de Mattenhaven.

Legenda:

- Blauwe driehoeken en stippelijijn = tussen de mosselcultuur ( 39 monsters).
- Grijsze vierkanten en doorgetrokken lijn = de referentielocatie (2 monsters).
- Verticale lijntjes = standaardafwijking.

een-derde groter dan de 760 cm<sup>2</sup> op de referentie locatie (Figuur 6).

### Nutriëntenbeschikbaarheid

Om de verschillen in groei van het zeewier tussen locaties en binnen locaties te verklaren, is uitgebreid onderzoek gedaan naar enerzijds de beschikbaarheid van nutriënten en anderzijds de lichtomstandigheden op de productielocaties.

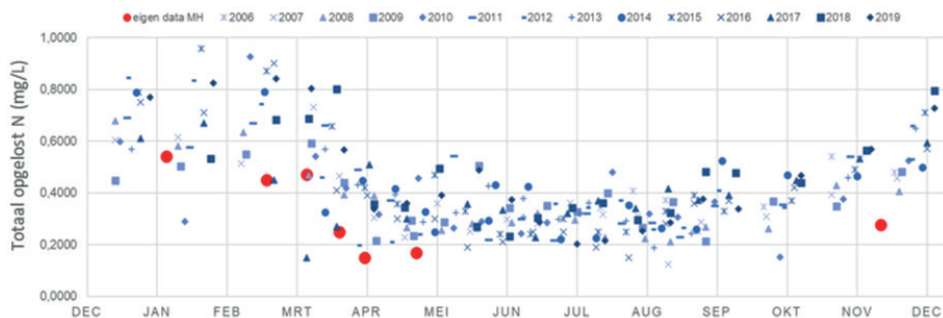
De concentraties van opgelost stikstof in de Oosterschelde vertonen een seizoenvariatie (Figuur 8). De concentraties zijn hoger in de winter en lager vanaf april/mei. De gemeten stikstof concentraties op de productielocatie komen hiermee overeen. De opgelost fosfor concentraties vertonen hetzelfde beeld. Deze dynamiek wordt aangestuurd door de opname door primaire producenten (microalgen en wieren) voor groei in het voorjaar en de zomer, en mineralisatie in herfst en winter (lees ook *Aquacultuur* 39-4, p19-27). De gehalten aan opgelost stikstof in voorjaar en zomer dalen in slechts enkele jaren onder de 0,2 mg N/l.

### Effect op lichtcondities

De troebelheid (gemeten met de JFE-sensor) tussen de mossellijnen is in de maanden december – maart duidelijk lager dan bij de

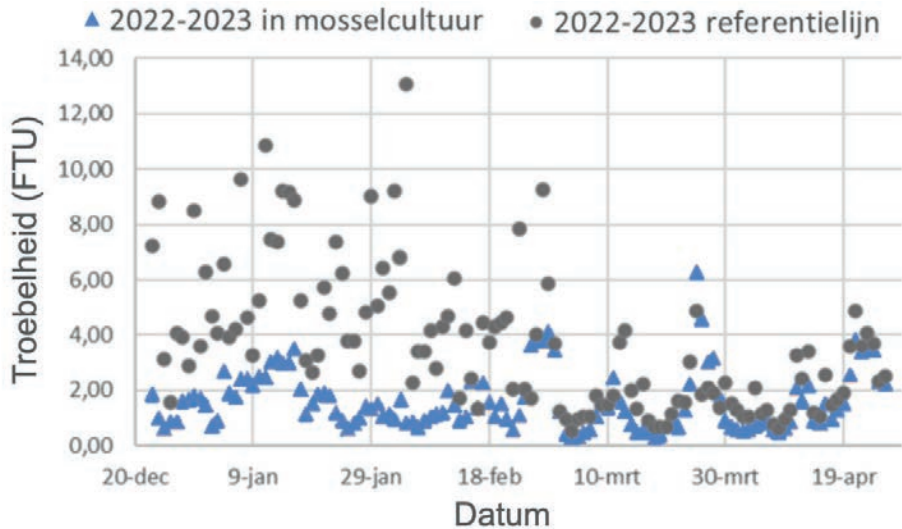


Figuur 7. Oogst van suikerwier bij mosselhangcultuur in Mattenhaven (foto Annika Mol).



Figuur 8. Dynamiek in opgelost stikstof componenten (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> en NO<sub>2</sub>) gedurende een jaar. Blauwe punten zijn de historische metingen van Rijkswaterstaat bij Wissenkerke (Oosterschelde) en rode cirkels de metingen in Mattenhaven in 2022.





Figuur 9. Gemiddelde troebelheid (uitgedrukt als FTU zonder eenheid) per dag in waterkolom op productielocatie Mattenhaven (2022 – 2023) op twee locaties: tussen de mosselcultuur en daarbuiten.

referentielocatie, die buiten de invloed van mosselen ligt (Figuur 9). In de maanden erna is het verschil in lichtbeschikbaarheid tussen referentie en tussen de mosselen minder duidelijk. De daadwerkelijke hoeveelheid licht in de waterkolom (gemeten met de HOBO meter) geeft aan dat in april 2023 de hoeveelheid licht hoger was tussen de mosselijnen dan daarbuiten (Figuur 10). Het lijkt er dus op dat de aanwezigheid van de hangcultuurmosselen zorgt voor meer licht in de waterkolom, wat gunstig is voor de zeewiergroei.

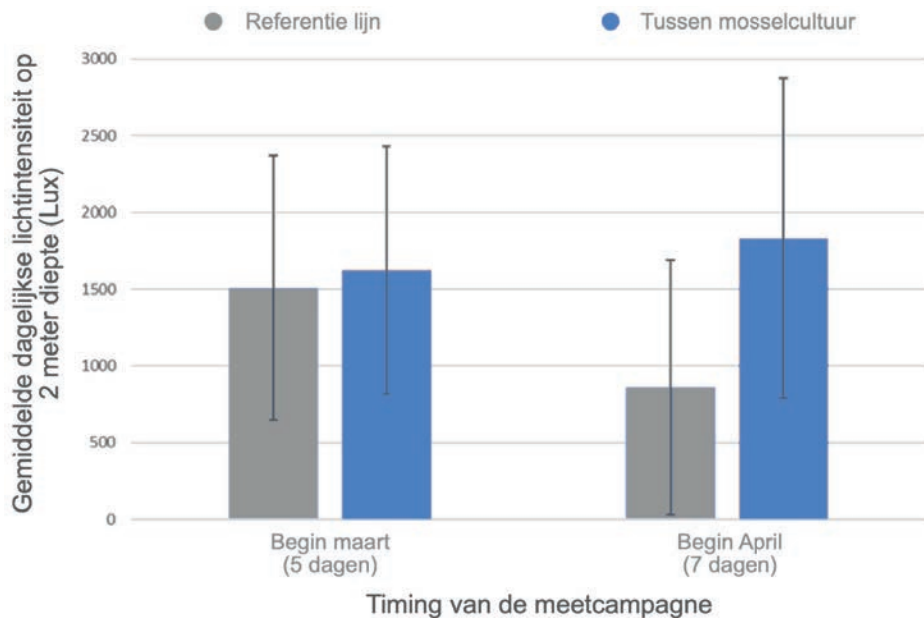
### Wat weten we wel en wat nog niet

De gerealiseerde groei (tot 1,5 meter lengte en bladoppervlak van 1050 cm<sub>2</sub> van een individuele thallus) en productie (tot 7 kg natgewicht per meter kweeklijn) tonen aan dat zowel het Veerse Meer als de Oosterschelde geschikt zijn om zeewier te kweken. Het uiteindelijke bladoppervlak van *S. latissima* is tot 30% hoger tussen de mosselen dan op de referentielocatie (zonder invloed van mosselen). De lichtomstandigheden (lichtintensiteit en

transparantie) zijn ook (significant) beter tussen de mosselen dan op de referentielocatie. Terwijl er geen verschil in nutriëntenbeschikbaarheid tussen de mosselen en de referentielocatie gemeten is.

De aanwezigheid van mosselen in hangcultuur in de nabijheid van zeewier lijkt dus een positief effect op de groei en productie van het zeewier te hebben. Dat effect lijkt met name te komen door betere lichtomstandigheden tussen de mosselijnen. Het is vooralsnog onduidelijk of de oorzaak daarvan fysisch (het afremmen van de stroming en daardoor meer sedimentatie) of biologisch (als gevolg van het filtreren van deeltjes door de mosselen zelf) is. Berekeningen van totale excretie van ammonium (kg/u) op basis van de mosselen (aantallen) en literatuur [6] over excretie van ammonium per mossel laten zien dat de potentiële verhoging van de stikstofconcentraties in het water zeer beperkt is (<1 % verhoging).

Bij dit alles moet wel opgemerkt worden dat



Figuur 10. Gemiddelde troebelheid (uitgedrukt als FTU zonder eenheid) per dag in waterkolom op productielocatie Mattenhaven (2022 – 2023) op twee locaties: tussen de mosselcultuur en daarbuiten. Foutenbalken zijn de standaardfouten.

onderzoek op productielocaties lastig is. Veel van de parameters die bepalend zijn voor de interactie tussen zeewier en mosselen zijn sterk variabel in tijd en ruimte (en daarbij ook nog in locatie en diepte). De continu metingen van chlorofyl en troebelheid over meerdere weken/maanden geven inzicht in de variabiliteit in de tijd. De periodieke metingen op verschillende locaties en dieptes geven iets meer inzicht in de ruimtelijke variabiliteit van de temperatuur, troebelheid en het chlorofyl gehalte op een productielocatie. Omdat nutriëntenbepalingen alleen met puntwaarmetingen (watermonsters voor analyses in het lab) gedaan konden worden, kregen we maar beperkt inzicht in nutriëntendynamiek in tijd en ruimte. Gemeten gehalten aan N en P liggen wel in de lijn van de metingen van Rijkswaterstaat (0,15 – 0,95 mg N/l).

Het meest volledige onderzoek is gedaan op de locatie Mattenhaven over een periode van drie productie jaren. De nodige voorzichtigheid moet in acht worden genomen bij de vertaling van de conclusies op basis van de resultaten van deze locatie naar andere productielocaties in Grevelingen, Oosterschelde, Voordelta of Noordzee.

De gekweekte biomassa aan zeewier op locaties Veerse Meer en Mattenhaven was zeer beperkt in vergelijking met de biomassa aan mosselen. Vandaar dat we alleen effect van mosselen meten/zien en verwachten op het zeewier en niet omgekeerd.

Op basis van de verschillen in groei van het suikerwier en de verschillen in lichtcondities buiten en binnen de mosselijnen zijn er sterke aanwijzingen dat de aanwezigheid van mos-

selen op touwen ervoor zorgt dat het water helderder wordt. Onduidelijk is nog of dat een fysisch of biologisch verschijnsel is. Wordt de stroming geremd door de touwen met mosselen en bezinken er daardoor meer deeltjes of worden de deeltjes gefiltreerd door de mosselen. Of is het een combinatie van beide factoren?

### Aanbevelingen

Om de interactie tussen mosselen en zeewier via licht en nutriënten beter te begrijpen is het wenselijk om gericht onderzoek op te zetten in een gecontroleerde kleinschalige omgeving. In het kader van het NWO-project "Sea to Society" is een promovenda daarmee in 2023 begonnen.

Daarnaast lijkt het nodig om op meerdere veldlocaties met grotere biomassa's aan zeewier en mosselen de mogelijke feedback loops te onderzoeken. Daardoor kan men ook inzicht krijgen in de (mogelijk negatieve) effecten van zeewierteelt op de mosselproductie bij co-cultivatie. Een model, gevoed met deze verschillende lab- en velddata, van de interactie tussen mosselen en zeewier inclusief waterbeweging kan helpen om beter begrip te krijgen van de synergie van co-cultivatie van hangcultuurmosselen en zeewier. Daarvoor is ook onderzoek nodig naar de ruimtelijke constellatie van de co-cultivatie: mosselen en zeewier gescheiden (links/rechts, boven/onder) of juist vermengd.

### Tot slot

In de afgelopen jaren is duidelijk geworden dat de belangrijkste bottleneck in zeewierkweek niet de beschikbare productieruimte is, maar het gebrek aan afzet/markt voor het suikerwier (lees ook *Aquacultuur* 39-4, p12-18). Ondanks alle beloftevolle toepassingen hebben de producenten van suikerwier heel veel moeite om hun eindproduct tegen een aantvaardbare prijs te verkopen.

### Dankwoord

Aan dit onderzoek hebben verschillende studenten van verschillende opleidingen bijgedragen. Onze dank gaat uit naar HZ studenten: Sanne Schellekens, Remco Smeets, Lisette Rabenberg, Annika Mol, Thomas Swart en HAS student Veerle van Merwijk. Dank ook aan Charlotte Wouters (HZ) voor het opmaken van de figuren en Pascalle Jacobs (HZ) voor de kritische blik op de tekst. Het ZEEMOS project is mede mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage vanuit TKI Deltatechnologie.

### Literatuurlijst

- 1/ Montet P, 2019. Room for seaweed culture. Vlissingen: Applied Research Group Aquaculture, HZ University of Applied.
- 2/ Hargrave, Nylund, Enge, Pavia, 2021. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737832
- 3/ Jiang, Jansen, Broch, Timmersmans, Soetaert, 2022. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac176>
- 4/ Perini & Bracken, 2014. doi.org/10.1007/s00442-014-2914-x
- 5/ Petersen, Bougrier, Smaal, Garen, Robert, Larsen, Brummelhuis, 2004. <https://doi.org/10.3354/meps267187>
- 6/ Bayne and Scullard, 1977. doi.org/10.1017/S0025315400021809

Meer info en achterliggende documenten over de TKI ZEEMOS zijn te vinden op [https://projectenportfolio.nl/wiki/index.php/PR\\_00329](https://projectenportfolio.nl/wiki/index.php/PR_00329)

