De invloed van licht en stikstof op zeewiergroei in aanwezigheid van mosselen

Jaar 3 van meerjarig onderzoek naar de combinatieteelt van zeewier en mosselen en de onderlinge invloed van de soorten op elkaar

Onderzoeksrapport

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

HAS green academy

Jaar 3 van meerjarig onderzoek naar de combinatieteelt van zeewier en mosselen en de onderlinge invloed van de soorten op elkaar

Onderzoeksrapport

05-02-2023

Foto: *Saccharina latissima* in de Mattenhaven (januari, 2023)

Onderzoeker/Stagiaire: Veerle van Merwijk

Docent HAS green academy: Carol van Helmond

Opdrachtgever: Lotte Niemeijer & Jouke Heringa, HZ University of Applied Sciences

Overkoepelende partij: Living Lab Schouwen Duiveland (netwerkorganisatie van overheden, bedrijven en kennisinstellingen)

Jaar 3 Onderzoeksstage – Toegepaste Biologie

HAS green academy Den Bosch

Voorwoord

Dit onderzoeksrapport is in opdracht van HZ University of Applied Sciences als onderdeel van project ZEEMOS van Living Lab Schouwen-Duiveland opgesteld. Het gaat hier om een derdejaars onderzoeksstage voor HAS Green Academy, waarbij wordt gekeken naar de combinatieteelt van zeewier en mosselen. Dit onderzoek is dan ook voornamelijk opgesteld voor onderzoekers en bedrijven binnen de aquacultuur sector.
Dit project is bij de HZ University of Applied Sciences begeleid door onderzoeker Lotte Niemeijer en senior onderzoeker Jouke Heringa en uitgevoerd met behulp van onderzoeker Lotte Julia Bouwman. Vanuit de HAS Green Academy heeft docent Carol van Helmond gezorgd voor een beoordeling en feedback en heeft medestudent Ivo van Marwijk bijgedragen aan het verbeteren van het rapport door middel van feedback. Bij deze wordt iedereen die aan het project heeft bijgedragen bedankt.

Veerle van Merwijk

Abstract

Food production has to be optimalised due to the rising demand for food. Combination cultivation is a possible solution, especially in aquaculture. The Netherlands are big producers when it comes to mussel farming. However, the interest in uses of seaweed is rising, so more farmers are interested in trying combination cultivation of shellfish and seaweed. Mussel longlines need at least 30% free space, of which a part can potentially be used for seaweed farming. Therefore, research into combination cultivation of seaweed and mussels is needed. Project ZEEMOS was founded by Living Lab Schouwen-Duiveland in September 2020 as a three-year research project into the influence of mussels and seaweed on each other in co-cultivation. This report is about the first half of the third project year, in which the focus is on the influence of light and/or nitrogen on seaweed growth in the presence of mussels. In the Mattenhaven and Lake Veere, longlines with *Saccharina latissima* are placed between the mussel longlines. The baseline and first intermediate monitoring of seaweed growth, as well as the first measurement campaign with light and chlorophyll sensors were carried out in this research. The light results of year 1 and the nitrogen results of year 2 were analyzed and compared to results of similar projects from Jiang et al. (2022) and Hargrave et al. (2022) as well. Because of the limited growth monitoring and the variety in standard deviation, it is not possible to determine if seaweed growth is indeed influenced by the presence of mussels. Seaweed growth in year 2 showed an average growth rate per plant, but low occupancy on the starting material resulted in low yield per line. The light intensity of year 1 was relatively low in March, which can possibly be explained by blockage of sunlight by grown seaweed. The light intensity of year 1 in November confirmed that light intensity is higher in the presence of mussels. C:N ratios of Jiang et al. (2022) and Hargrave et al. (2022) are higher than the C:N ratio of year 2, which could mean that the ratios were observed in different time periods of the year. Besides, analyzations show significant relationship between C:N ratio and protein content, but not between C:N ratio and Total Inorganic Nitrogen (TIN). According to this research report, seaweed growth is not determined by nitrogen availability. Light conditions are improved in the presence of mussels, but a relation to higher seaweed growth is not confirmed. In other words, it is not determined whether seaweed growth is higher in the presence of mussels. It is advised to await the results of the second half of project year 3, but also to focus more on the relation between seaweed growth, light and nitrogen in and outside the mussel longline culture in the second half.

Samenvatting

Vanwege de stijgende vraag naar voedsel, moet de voedselproductie geoptimaliseerd worden. Een mogelijke oplossing binnen de aquacultuur is combinatieteelt. In Nederland vindt de mosselteelt op grote schaal plaats en is er steeds meer interesse in zeewierteelt. Bij handcultuurmosselen wordt een richtlijn van minstens 30% vrije ruimte gehanteerd, waarvan potentieel een deel gebruikt zou kunnen worden voor de uitbreiding van zeewierkweek. Onderzoek naar combinatieteelt tussen zeewier en mosselen komt daardoor steeds vaker voor. Project ZEEMOS (ZEEwierenteelt en MOSselhangcultuur) is daarom door netwerkorganisatie het Living Lab Schouwen-Duiveland in september 2020 opgestart als driejarig onderzoek naar de invloed van mosselen en zeewieren op elkaar in combinatieteelt. Dit rapport gaat over de eerste helft van projectjaar 3 (2022-2023), waarbij de focus ligt bij de invloed van licht en/of stikstof op zeewiergroei in aanwezigheid van mosselen. In de Mattenhaven en het Veerse Meer is tussen mosselhangculturen uitgangsmateriaal met *Saccharina latissima* uitgehangen. Hierbij zijn de nulmeting en eerste tussenmeting van de zeewiergroeimonitoring en een meetcampagne met licht- en chlorofylsensoren uitgevoerd. Daarnaast zijn lichtresultaten van projectjaar 1 (2020-2021) en stikstofresultaten van projectjaar 2 (2021-2022) geanalyseerd en zijn de resultaten vergeleken met soortgelijke onderzoeken van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022). Vanwege de beperkte metingen en sterk variërende standaarddeviaties is het nog niet mogelijk om vast te stellen of zeewiergroei daadwerkelijk toeneemt in aanwezigheid van mosselen. Met de groeiresultaten van jaar 2 is vastgesteld dat het zeewier naar verwachting groeide en de opbrengst per plant gemiddeld is, maar de lage bezetting op het uitgangsmateriaal zorgde voor een lagere opbrengst per lijn. De lichtintensiteit van projectjaar 1 in maart (2021) was relatief laag, wat mogelijk komt door blokkeren van het licht door het gegroeide zeewier. Uit de lichtresultaten van november (2020) uit projectjaar 1 bleek dat de lichtintensiteit wordt verhoogd in aanwezigheid van mosselen. De C:N ratio's van projectjaar 2 (2021-2022) waren lager dan bij Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022), wat kan betekenen dat de C:N ratio's in verschillende periodes in het jaar zijn waargenomen. Daarnaast resulteerde de analyses uit dit onderzoek in een significant verband tussen C:N ratio en eiwitgehalte, maar niet tussen C:N ratio en Total Inorganic Nitrogen (TIN) in de waterkolom. Volgens dit onderzoek wordt zeewiergroei niet bepaald door de aanwezigheid van stikstof. Lichtomstandigheden lijken verbeterd in de aanwezigheid van mosselen, maar het is niet bevestigd of zeewiergroei hierdoor ook verbeterd. Uit dit onderzoek blijkt niet of mosselen daadwerkelijk zorgen voor een verbeterde zeewiergroei en het wordt geadviseerd om de tweede helft van projectjaar 3 (2023) af te wachten, waarbij ook wordt gekeken naar de totale opbrengst. Voor de tweede helft wordt geadviseerd meer te focussen op de verbanden tussen zeewiergroei, licht en stikstof en meer te kijken naar de verschillen in verbanden binnen en buiten de mosselhangcultuur.

Inhoud

1. Inleiding 1
2. Theoretisch kader 3
2.1. Zeewiergroei 4
2.2. Licht 4
2.3. Stikstof 6
3. Uitvoering/Werkwijze 7
3.1. Onderzoekslocaties en opstelling 7
3.1.1. Onderzoekslocatie de Mattenhaven 7
3.1.2. Onderzoekslocatie het Veerse Meer 8
3.2. Onderzoeksopstelling abiotische factoren en zeewiergroei 9
3.2.1. Zeewiergroei 10
3.2.2. Licht 11
3.2.3. Stikstof 12
3.2.4. Vergelijken met soortgelijke onderzoeken 12
4. Resultaten 13
4.1. Zeewiergroei 13
4.2. Licht 15
4.2.1. Lichtintensiteit per locatie binnen de Mattenhaven 15
4.2.2. Lichtintensiteit tussen de vier locaties in de Mattenhaven per diepte 19
4.3. Stikstof 22
4.3.1. Stikstofgehalte in het zeewier 22
4.3.1. Stikstofgehalte in de waterkolom 23
4.4. Vergelijken met soortgelijke onderzoeken 24
5. Discussie en Conclusie 25
5.1. Zeewiergroei 25
5.2. Licht 25
5.3. Stikstof 26
5.4. Vergelijken met soortgelijke onderzoeken 26
5.5. Algemene discussie en conclusie 27
Literatuurlijst 29

1. Inleiding

De wereldbevolking neemt alsmaar toe en de mens krijgt steeds meer te maken met klimaatverandering en de toenemende concurrentie om land en water (Van Dijk et al., 2021). Dit betekent dat de voedselproductie geoptimaliseerd moet worden om voldoende voedsel te hebben om de wereldbevolking te voeden. Volgens het onderzoek van Captein (2019) is zeewierkweek een mogelijke milieuvriendelijke medeoplossing voor het voedseltekort, aangezien zeewier geen zoetwater en kostbare landbouwgrond nodig heeft. In West-Europa is dan ook steeds meer belangstelling voor zeewierkweek als bron voor voedsel, diervoeder, bodem- en gewasstimulant en biologische grondstof. In Nederlandse wateren is de zeewierproductie nog kleinschalig, maar in de nabije toekomst worden meer windmolenparken in de Noordzee gerealiseerd en kunnen deze locaties mogelijk gecombineerd worden met zeewierteelt op grotere schaal (Wageningen University & Research, 2022).

In tegenstelling tot de zeewierteelt vindt de schelpdierteelt, waaronder de mosselteelt, in Nederlandse wateren op grotere schaal plaats. Per jaar komt 80 tot 100 miljoen kilo Zeeuwse mosselen op de markt (Vleet, 2020). Tot 1950 was de mosselproductie beperkt tot de Oosterschelde en was er vooral sprake van bodemteelt, maar na een parasitaire besmetting in de mosselteelt in de Oosterschelde is een groot deel van de teelt verplaatst naar de Waddenzee (Mosselen. Zo uit Zeeland., 2017). Sinds 1990 neemt de mosselkweek doormiddel van de hangcultuurmethode in Zeeland toe. Hierbij hangen de mosselen in de waterkolom en is er tijdens de gehele levenscyclus geen contact met de zeebodem. Na één tot twee jaar kunnen de mosselen geoogst worden (Hangcultuur Mosselen, 2016). Deze kweekmethode heeft verschillende voordelen ten opzichte van bodemkweekmosselen. Hangcultuurmosselen groeien over het algemeen sneller uit tot consumptieformaat (18-24 maanden), omdat ze voedsel uit de waterkolom kunnen opnemen, in tegenstelling tot bodemkweekmosselen die drie jaar nodig hebben om te groeien (Mosselen. Zo uit Zeeland., 2017). Op het moment bedraagt de productie van hangcultuurmosselen slechts 5% van de totale mosselproductie in Nederland (Mosselen. Zo uit Zeeland., 2021).

Bij hangcultuurmosselen wordt een richtlijn van minstens 30% vrije ruimte gehanteerd om overbegrazing te voorkomen (Mol et al., 2021). Een deel van deze 30% zou potentieel gebruikt kunnen worden voor de uitbreiding van zeewierkweek. Daarom wordt er voor efficiëntere voedselproductie steeds meer gekeken naar de combinatieteelt tussen onder andere mossel- en zeewierkweek. Zo droeg het onderzoek naar de interactie tussen mosselen en zeewier van Buisman (2019) bij aan de toekomstige selectie van zeewiersoorten voor grootschalige kweek, maar gaf het onderzoek nog geen uitsluitsel over de positieve effecten van de aanwezigheid van mosselen op zeewierkweek. Soortgelijke onderzoeken blijven niet beperkt tot Nederlandse wateren. In Zweden is onderzoek gedaan naar combinatieteelt met suikerwier (*Saccharina latissima*), een bruinwier dat in de winter groeit, en blauwe mossel (*Mytilus edulis*) en hier bleek dat combinatieteelt wel degelijk voordelen heeft voor onder andere de groei met betrekking tot opbrengst en kwaliteit van zeewier in vergelijking met monocultuur kweekopstellingen (Hargrave et al., 2022).

Om te onderzoeken of en hoe mosselen en zeewieren elkaar beïnvloeden bij combinatieteelt, is project ZEEMOS (ZEEwierenteelt en MOSselhangcultuur) in september 2020 opgestart. Dit project betreft een driejarig onderzoek van netwerkorganisatie het Living Lab Schouwen Duiveland, waar onder andere HZ University of Applied Sciences actief bij betrokken is (Living Lab Schouwen-Duiveland, 2022; TKI Delta Technologie, 2022). Het project is gericht op de interactie tussen *Saccharina latissima* en *Mytilus edulis*. In augustus 2020 heeft Rootlieb (2020) een literatuurstudie uitgevoerd om mogelijke interacties tussen mosselen en zeewier in kaart te brengen. De opstelling

van het project is gebaseerd op de interacties uit de literatuurstudie. Het project bestaat uit twee fases waarbij in fase 1 (jaar 1) de productielocaties worden gekarakteriseerd in termen van relevantie voor zeewier- en mosselkweek, zoals stroming, troebelheid, nutriëntenbeschikbaarheid en lichtintensiteit. In fase 2 (jaar 2 en 3) ligt de focus op de interactie tussen mosselen en zeewier. Uit de resultaten van het eerste jaar bleek indirect dat mosselgroei niet negatief beïnvloed wordt door de aanwezigheid van zeewier, omdat de microalgen die als voedsel dienen voor de mosselen van buitenaf worden aangevoerd en daardoor niet concurreren met het zeewier. De metingen van het tweede jaar suggereren dat zeewiergroei mogelijk positief wordt beïnvloed door de aanwezigheid van mosselen, maar door beperkte data is dit niet bevestigd.

Dit onderzoek valt in het derde jaar van het project en hierbij zijn limiterende factoren van *S. latissima* die mogelijk beïnvloed kunnen worden door de aanwezigheid van mosselen onderzocht. Het doel van dit onderzoek is bepalen wat de invloed is van mosselteelt op de omgeving en of de omgeving ook invloed heeft op de groei, samenstelling en productie van het zeewier. In 2022 zijn twee soortgelijke onderzoeken naar de combinatieteelt van *M. edulis* en *S. latissima* gepubliceerd, waarbij volgens de modelstudie van Jiang et al. (2022) stikstof de meest beperkende factor is voor zeewiergroei en volgens de veldstudie van Hargrave et al. (2022) licht de meest beperkende factor is voor zeewiergroei. Het onderzoek in jaar 3 is daarom gericht op de lichtintensiteit en stikstof in de waterkolom, waarbij de hoofdvraag is:

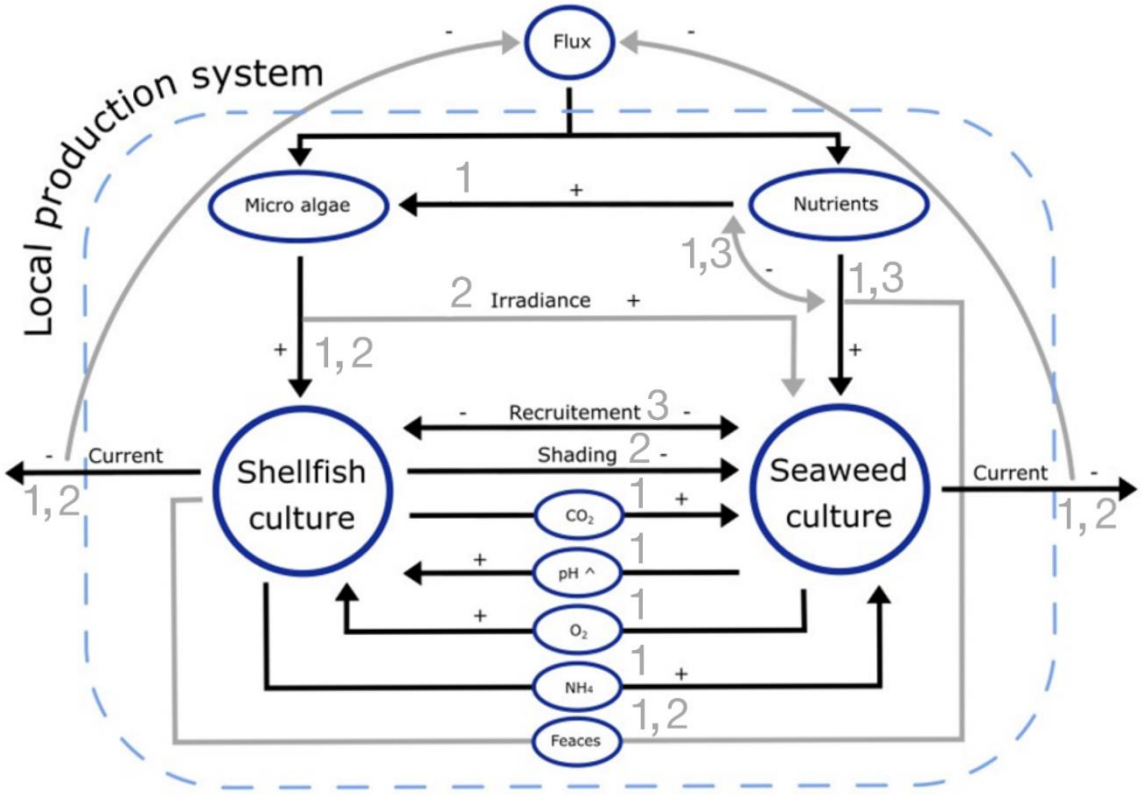
In hoeverre wordt de groei van S. latissima *beïnvloed door licht en/of stikstof in aanwezigheid van mosselen?*

Om de hoofdvraag te beantwoorden, zijn meerdere deelvragen opgesteld die met verschillende onderdelen van het onderzoek te maken hebben (tabel 2.1).

Het onderzoek is uitgevoerd bij de mosselhangculturen in de Mattenhaven en het Veerse Meer. Hiertussen is uitgangsmateriaal uitgehangen dat bestaat uit touwen met daaromheen dunne touwen met *S. latissima* planten om de invloed van de twee organismen op elkaar en de omgeving te onderzoeken. Hierbij is de zeewiergroei en de abiotische factoren lichtintensiteit, troebelheid, chlorofylgehalte en vrije nutriënten (stikstof) in aan- en afwezigheid van mosselen gemeten. In jaar 1 zijn lichtmetingen uitgevoerd en in jaar 2 zijn bladmonsters van zeewier onderzocht om het C:N ratio te bepalen, waarvan de resultaten in dit onderzoek zijn geanalyseerd. De verwachting is dat zeewiergroei positief wordt beïnvloedt door licht en/of stikstof in de aanwezigheid van mosselen vergeleken met in afwezigheid van mosselen.

2. Theoretisch kader

Voor onderzoek naar de onderlinge invloed tussen schelpdieren en zeewieren kunnen verschillende abiotische factoren bekeken worden, aangezien deze mogelijke beperkende factoren zijn voor de groei. In figuur 2.1 is een schematische impressie van de verschillende mogelijke onderlinge interacties tussen schelpdieren en zeewieren afgebeeld. In dit stroomschema is bijvoorbeeld weergegeven dat microalgen en zeewieren mogelijk kunnen concurreren om nutriënten. Ook is zichtbaar dat de CO_2 uitstoot van schelpdieren zeewieren positief kan beïnvloeden, alhoewel schelpdieren zeewieren mogelijk negatief beïnvloeden met schaduw.



Figuur 2.1: Een impressie van de terugkoppeling van processen en effecten in een aquacultuur met schelpdieren en zeewieren (1 = stikstof gerelateerd proces; 2 = licht gerelateerd proces; 3 = proces met directe invloed op zeewiergroei) (Rootlieb, 2020).

Schelpdieren en zeewieren kunnen elkaar op verschillende manieren beïnvloeden. Aangezien in jaar 3 van project ZEEMOS de focus ligt bij licht en stikstof, zijn de deelvragen gekoppeld aan verschillende pijlen in de het terugkoppelingsschema van figuur 2.1. In tabel 2.1 is weergegeven welk onderdeel van de terugkoppeling van belang is bij iedere deelvraag van het onderzoek.

Tabel 2.1: De genummerde deelvragen van het onderzoek naar de invloed van licht en/of stikstof op zeewiergroei in de aanwezigheid van mosselen met de bijbehorende onderwerpen en de nummers die verwijzen naar het terugkoppelingsschema in figuur 2.1.

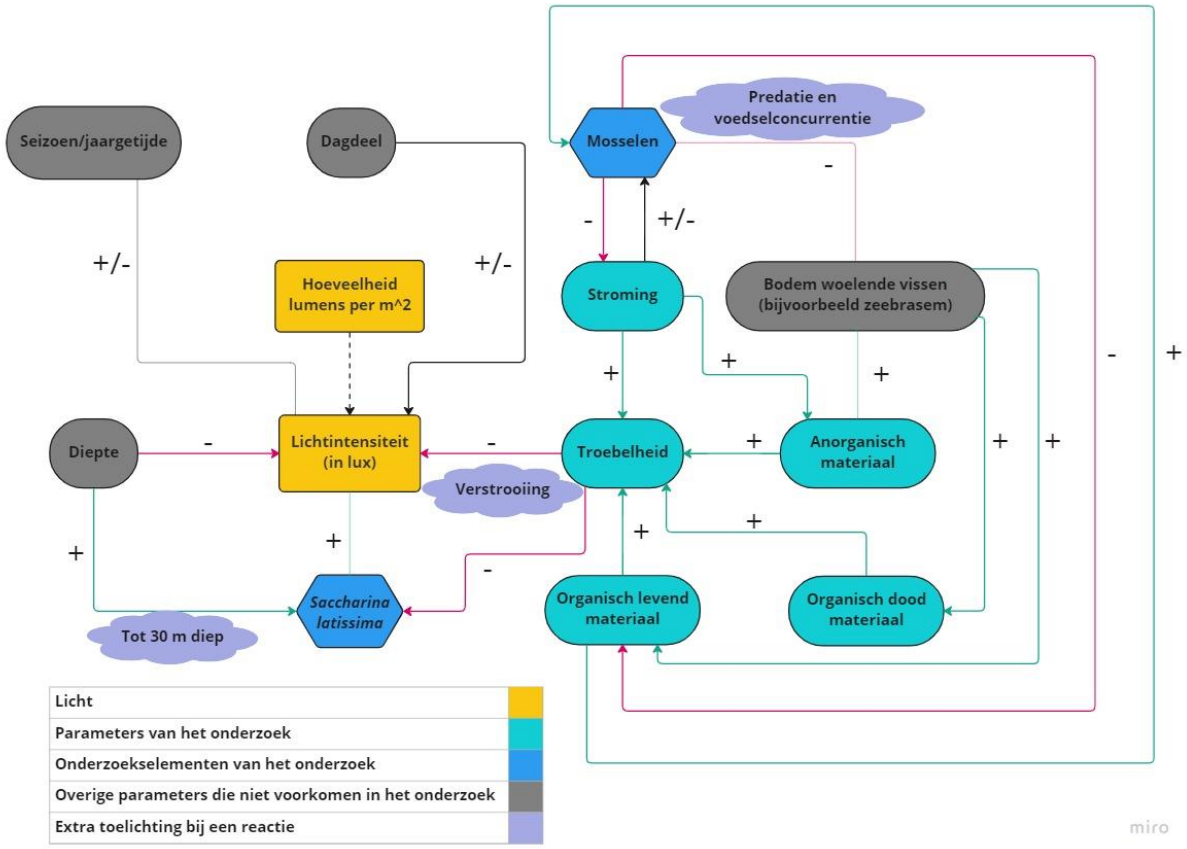
Nummer deelvraag	Nummer figuur 2.1	Deelvragen	Bijbehorende onderwerpen
1	2	Zorgen hangcultuurmosselen voor een lagere troebelheid en een hogere lichtintensiteit in de waterkolom?	Licht
2	2	Wat is de samenstelling van het zwevend stof en hoe bepaalt dit de troebelheid?	Licht
3	2 & 3	Resulteren betere lichtomstandigheden in een hogere biomassa van *Saccharina latissima*?	Zeewiergroei & Licht
4	1	Zorgen hangcultuurmosselen voor een hogere Total Inorganic Nitrogen in de waterkolom?	Stikstof
5	1	Resulteren hogere Total Inorganic Nitrogen concentraties in een lagere C:N ratio/hogere protein content van *Saccharina latissima*?	Stikstof
6	1 & 3	Resulteren hogere Total Inorganic Nitrogen concentraties in een hogere biomassa van *Saccharina latissima*?	Zeewiergroei & Stikstof

2.1. Zeewiergroei

Een manier om de groeisnelheid van *S. latissima* te bepalen is met de Relative Growth Rate (RGR). Uit onderzoek van Azevedo et al. (2019) bleek dat de RGR van *S. latissima* van januari tot mei hoger was (3,3%-4,5% per dag) dan van mei tot juli (0,1%-0,7% per dag). Daarnaast werd in de eerste periode de RGR lager naarmate de planten dieper in de waterkolom hingen, terwijl in de tweede periode de RGR het hoogst was op 10 m diep. Bijkomend werd in 2019 onderzoek uitgevoerd met *S. latissima* van mei tot juni waarbij de RGR fluctueerde tussen 0,02-0,05 per dag (Forbord et al., 2019). Om de seizoensinvloed op de RGR van *S. latissima* te bepalen, heeft Matsson et al. (2021) *S. latissima* in februari, april en mei uitgehangen en de berekende RGR onderling vergeleken. De RGR en het C:N ratio bleken in dit onderzoek lager bij de wieren die in februari waren uitgehangen dan bij de wieren die in april waren uitgehangen. De RGR van *S. latissima* vermindert bij lagere stikstofconcentraties en de maximale groeisnelheid van suikerwier is bij een stikstofconcentratie van ~1,9% in het drooggewicht (Chapman et al., 1978). Bij het onderzoek verminderde de RGR halverwege juni, wanneer ook het C:N ratio sterk toenam (Matsson et al., 2021).

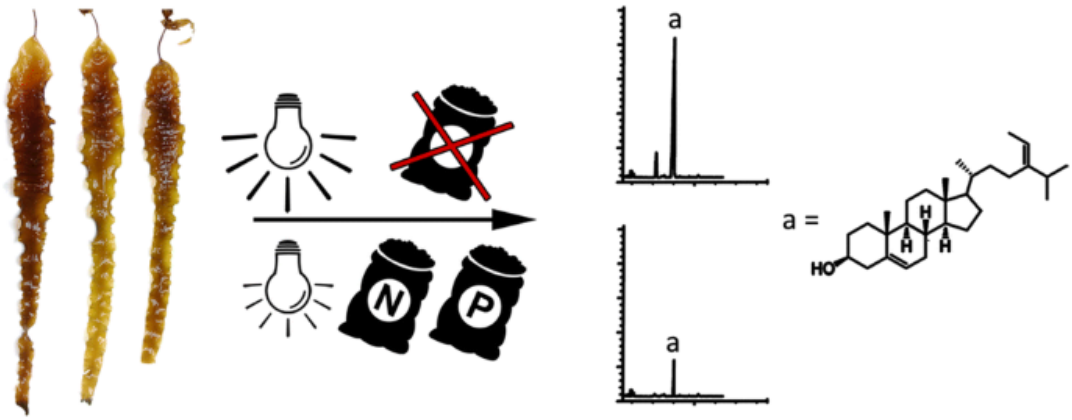
2.2. Licht

Een beperkende factor voor de groei en ontwikkeling van zeewiersoorten zoals *S. latissima* is lichtintensiteit (Bruhn et al., 2016; Lubsch & Timmermans, 2019). Lichtintensiteit is helderheid van licht of lumen per m^2, uitgedrukt in lux. De lichtintensiteit in water wordt door verschillende parameters beïnvloed, waaronder troebelheid (figuur 2.2). Troebelheid zorgt voor meer lichtverspreiding door de hoeveelheid moleculen in het water. Dit betekent dat troebelheid en lichtintensiteit een negatief effect op elkaar hebben. Volgens de resultaten van Blain & Shears (2020) is de optimale mate van troebelheid in combinatie met lichtintensiteit verschillend per zeewiersoort. *S. latissima* groeit optimaal bij een lichtintensiteit boven 70 µmol m^{-2} s^{-1} (Forbord et al., 2018; Fortes & Lüning 1980; Matsson, et al., 2021).



Figuur 2.2: Denkschema van processen van lichtintensiteit.

Ook is er een verband tussen de samenstelling van *S. latissima* en lichtintensiteit en nutriëntenbeschikbaarheid in de waterkolom, zoals de aanwezigheid van stikstof. Onderzoek van De Jong et al. (2021) toonde aan dat de sterolconcentratie van *S. latissima* wordt beïnvloed door lichtintensiteit. Sterol is een groep cholesterolachtige stoffen in celmembranen van planten. Verder zijn sterolconcentraties bij zeewieren laag bij hoge fosforconcentraties in de waterkolom, maar verschilt de invloed van stikstof in de waterkolom op de sterolconcentraties per soort. De hoogste sterolconcentratie werd gemeten bij *S. latissima* die werd blootgesteld aan lage nutriëntenbeschikbaarheid (stikstof en fosfor) en hoge lichtomstandigheden. Dit betekent dat lichtintensiteit in combinatie met nutriëntenbeschikbaarheid invloed heeft op het sterolgehalte en daarmee de samenstelling van *S. latissima* (figuur 2.3).



*Figuur 2.3: Schematische weergave van de invloed van lichtintensiteit op nutriëntenbeschikbaarheid en sterolgehalte van suikerwier (*S. latissima*) (De Jong et al., 2021).*

2.3. Stikstof

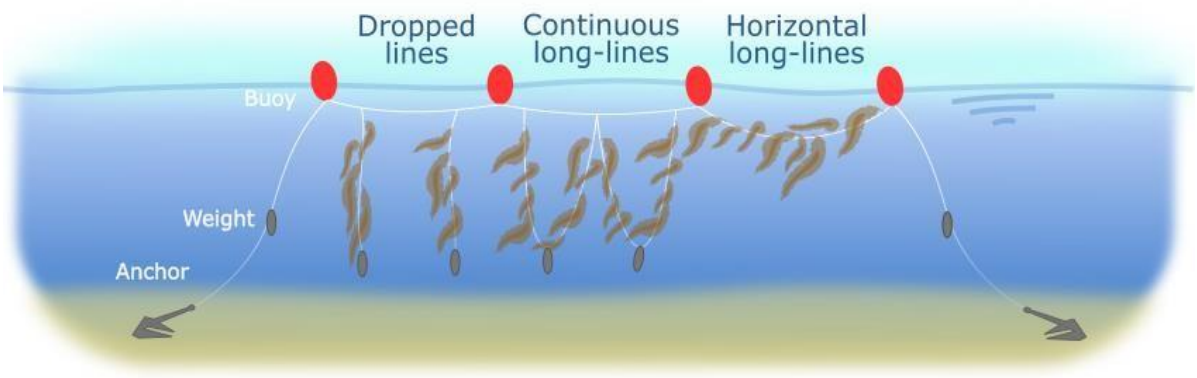
Een beperkende factor voor zeewiergroei is de hoeveelheid vrije nutriënten in de waterkolom, wat onder andere belangrijk is voor de verhouding van koolstof en stikstof die opgenomen wordt door *S. latissima*. Het C:N ratio geeft aan hoeveel stikstof vrijkomt bij organische stofafbraak. Stikstof is een van de belangrijkste nutriënten voor eiwitaanmaak voor zowel zeewier als het voedsel van mosselen zoals fytoplankton (Nauta et al., 2021). Echter kan de primaire productie niet enkel op basis van het C:N ratio worden bepaald, aangezien de ratio's aanzienlijk kunnen variëren tussen bladdelen op basis van locatie, jaar/seizoen en zeewiersoort (Broch & Slagstad, 2011; Buchholz et al., 2019; Harrison & Hurd, 2001). Zo kan het C:N ratio tussen zeewiersoorten variëren van 5 tot 40 (Hanisak, 1983). Deswege werd bij het onderzoek van Van Duren et al. (2019) uitgegaan van een C:N ratio van 9 bij suikerwier (*Saccharina latissima*), 15 bij Dulse (*Chondrus crispus*) en 22 bij vingerwier (*Laminaria digitata*), wat betekent dat *S. latissima* een relatief laag C:N ratio en hoge stikstofconcentratie heeft. Hoe hoger de stikstofconcentratie in het weefsel, hoe hoger het eiwitgehalte (Forbord et al., 2020; Mortensen, 2017). Verder ondervond Buchholz et al. (2019) dat de waterdiepte waarop het zeewier is uitgehangen invloed had op het C:N ratio. Het onderzoek toonde aan dat bij Vleugelkelp (*Alaria esculenta*) op 1 meter diepte het C:N ratio 31,8 was en op 15 meter het C:N ratio op zijn laagst was met 17,3. Daarnaast toonde het onderzoek aan dat tot 10 meter diep de hoeveelheid stikstof toenam en vanaf 15 meter diep het koolstofgehalte daalde. Ook bleek uit onderzoek van Monteiro et al. (2020) dat het C:N ratio van *S. latissima* significant hoger was bij een watertemperatuur van 15 ^{o}C dan bij 8 ^{o}C. De optimale groeitemperatuur van *S. latissima* ligt tussen 10 en 17 ^{o}C (Bolton & Lüning, 1982; Druehl, 1967; Fortes & Lüning, 1980).

3. Uitvoering/Werkwijze

Voor de uitvoering van projectjaar 3 (2022-2023) van ZEEMOS is een jaarplan opgesteld (bijlage 1). In dit hoofdstuk wordt globaal de methode van dit onderzoek uitgelegd en voor verdere details wordt verwezen naar bijlage 1.

3.1. Onderzoekslocaties en opstelling

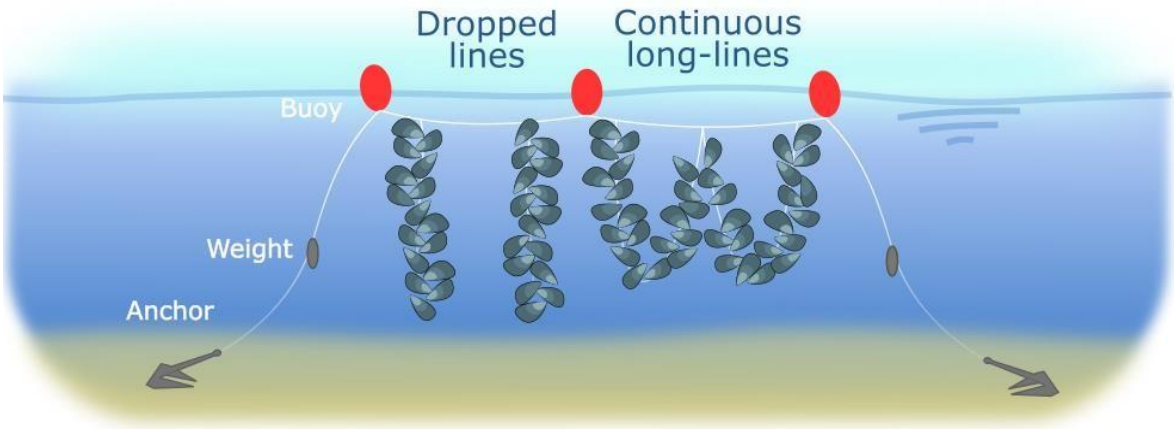
Het onderzoek is uitgevoerd in onderzoekslocaties de Mattenhaven en het Veerse Meer. Dit zijn productielocaties van *M. edulis* waar uitgangsmateriaal in de vorm van touwen met daaromheen gewikkeld dunne touwen met *S. latissima* op 0,8-1,2 meter diep in de waterkolom zijn uitgehangen (figuur 3.3; figuur 3.4). De lijnen variëren in lengte van 16,6 tot 22 meter en zijn opgehangen in de vorm van “horizontal long-lines” (figuur 3.1) (bijlage 1).



Figuur 3.1: Zeewierkweek schematisch “dropped lines”, “continuous long-lines” en “horizontal long-lines” (Rootlieb, 2020).

3.1.1. Onderzoekslocatie de Mattenhaven

De Mattenhaven is gelegen op het gemaakte werkeiland Neeltje Jans aan de Oosterscheldezijde. Sinds de haven bij de Oosterschelde hoort, valt het binnen het Natura2000 gebied Oosterschelde (gebiedsnummer 118) (Natura 2000, 2023a). De totale wateroppervlakte van de Mattenhaven is 0,63 km^2 en de diepte varieert van acht tot vijftien meter. Het getij verschilt van 1,30 meter boven NAP tot -1,10 meter onder NAP (Mol et al., 2021). In de Mattenhaven vindt mosselkweek plaats als mosselhangculturen in de vorm van “continuous long-lines” (figuur 3.2).



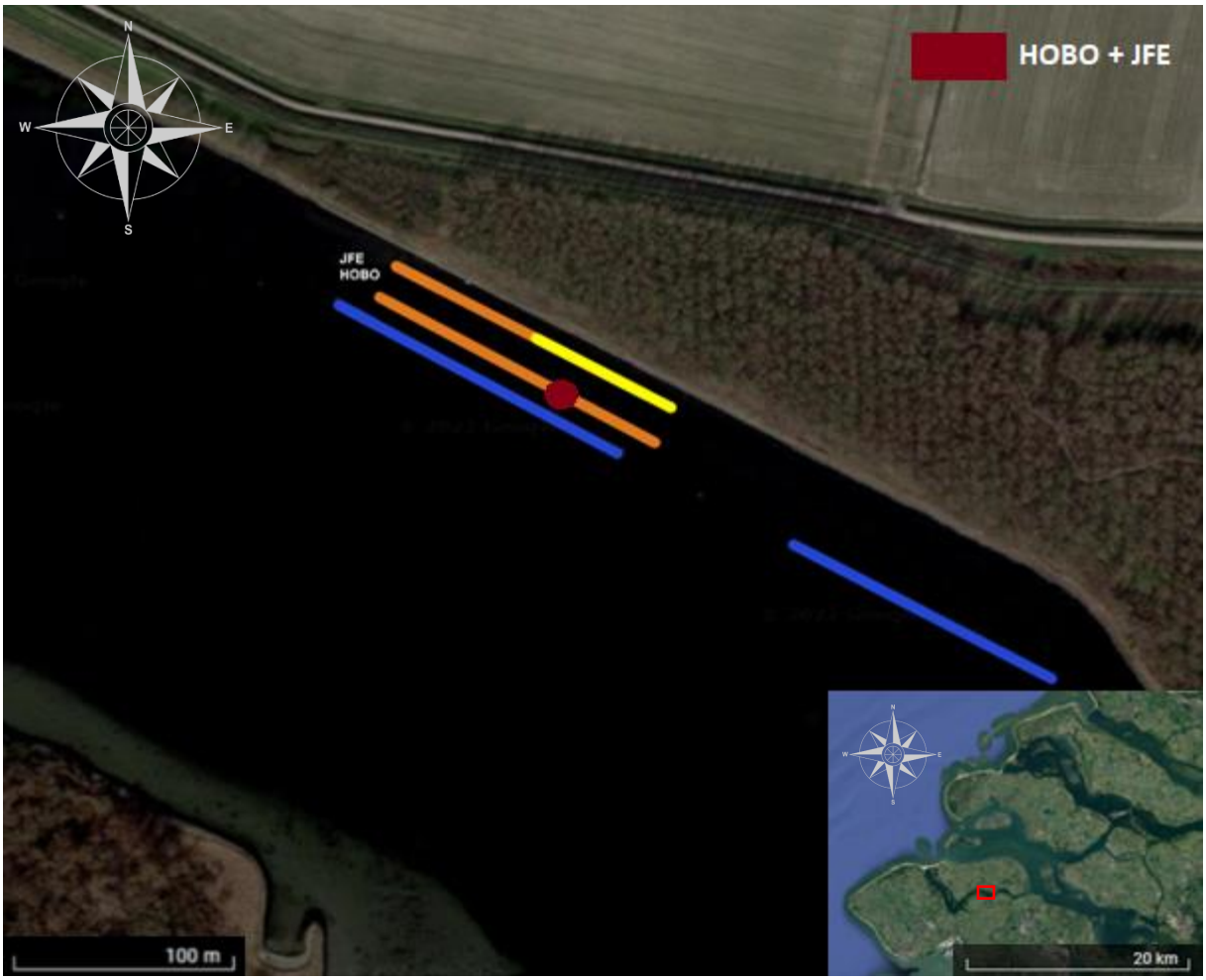
Figuur 3.2: mosselhangcultuur schematisch “dropped lines” en “continuous long-lines” (Rootlieb, 2020).

In figuur 3.3 is een luchtfoto van de Mattenhaven te zien met hierin de mosselhangculturen. De blauwe lijnen zijn hangcultuurmosselen en de oranje lijnen zijn uitgangsmaterialen. Ten oosten van de mosselhangcultuur is een referentielijn met uitgangsmateriaal uitgehangen.

Figuur 3.3: De Mattenhaven mosselhangcultuur. Blauw zijn de lijnen met M. edulis *en oranje zijn de lijnen met* S. latissima*. Bij lijn 7 en de referentielijn worden bij de zeewierlijn een JFE en een HOBO meter uitgehangen voor continu metingen.*

3.1.2. Onderzoekslocatie het Veerse Meer

Het Veerse Meer is een voormalig onderdeel van de Oosterschelde. In 1961 is de Veerse Dam aangelegd, dat het getij in het gebied wegnam en het zoutgehalte van het water verlaagde. De afsluiting zorgde voor verzoeting van het meer en geringe stroming, waardoor de zuurstoftoevoer en waterverversing lager werden dan voorheen (Natura 2000, 2023b). Sinds 2004 is er een doorlaat in de Zandkreekdam (Katse Heule) om de waterkwaliteit te verbeteren, waardoor het zoutgehalte flink is gestegen (Delta Expertise, 2023). Het meer heeft een totale oppervlakte van 25,39 km^2 en is aangewezen als Natura2000 gebied (gebiedsnummer 119) (Natura 2000, 2023b). Momenteel worden op zeer kleine schaal mosselen geteeld in het Veerse Meer. Dit zijn halfwas mosselen, wat betekent dat de mosselen half volgroeid zijn. Net als bij de Mattenhaven wordt dit gedaan door middel van “continuous long-lines” (figuur 2) (Rootlieb, 2020), maar bij het Veerse Meer zijn dit slechts twee lijnen. De kweek vindt plaats tegen de oever aan de noordzijde van het meer, vlakbij de West Bermweg (figuur 3.4) (Mol et al., 2021).



Figuur 3.4: Het Veerse Meer mosselhangcultuur. Blauw zijn de lijnen met M. edulis*, oranje zijn de lijnen met* S. latissima *en geel is wat leeg hangt en waar in december ander zeewier voor een ander onderzoek komt. Bij de lijnen met* S. latissima *worden een JFE en HOBO meter uitgehangen voor continu metingen.*

3.2. Onderzoeksopstelling abiotische factoren en zeewiergroei

Bij de mosselhangculturen van de onderzoekslocaties is uitgangmateriaal met *S. latissima* uitgehangen. Iedere lijn met *S. latissima* bevat meerdere clusters met zeewierplanten met een variatie in bezetting per lijn en cluster. Zeewiergroei is gemonitord en de abiotische factoren lichtintensiteit, chlorofylgehalte, vrije nutriënten en troebelheid zijn gemeten. De meetgegevens die binnen de onderzoeksperiode December (2022) en Januari (2023) zijn verzameld zijn in dit rapport verwerkt. Enkele gegevens van de voorgaande projectjaren zijn ook geanalyseerd en verwerkt in dit verslag. Toelichting volgt in de komende sub-paragrafen.

In dit onderzoek wordt vooral gebruik gemaakt van verschillende sensoren die zowel met continu metingen als meetcampagnes gedaan kunnen worden. Bij continu metingen worden enkele sensoren tijdens het gehele onderzoek in het water gehouden, bij meetcampagnes worden meerdere sensoren voor enkele dagen in het water gelaten. Meetcampagnes zijn dus korter maar intensiever dan continu metingen. De sensoren en meetperiodes verschillen per parameter en worden in de volgende sub-paragrafen toegelicht. Verder zijn tijdens het veldwerk ook water- en bladmonsters genomen voor laboratoriumonderzoek. De monsters zijn genomen tijdens het verzamelen van de gegevens van de sensoren (bijlage 1).

3.2.1. Zeewiergroei

Tussen 28 oktober en 14 november is het uitgangsmateriaal uitgehangen. De groeimetingen zijn begonnen begin december 2022. De eerste meting was de startmeting (T0), gevolgd door een tussenmeting in half januari (T1) (bijlage 1). De groeimetingen zijn in dit onderzoeksrapport beperkt geanalyseerd en dit onderzoek wordt door een andere onderzoeker voortgezet in de rest van het groeiseizoen (februari tot mei).

De monstergrootte per lijn bij de monitoring bedraagt tien zeewierplanten binnen één strekkende meter horizontale longline (figuur 3.1). Bij de groeimetingen zijn de lengte en verschillende breedtes gemeten. Hiermee zijn het bladoppervlak (=bladlengte*gemiddelde breedte) en de Relative Growth Rate (RGR) bepaald. De RGR wordt berekend met de formule: (RGR) = (((LN(opp t+1)-LN(opp t))*100)/n dagen).

Bij de groeimetingen zijn verschillende protocollen gebruikt die zijn overgenomen van het voorgaande onderzoek Mol et al. (2021) (bijlage 1):

- Protocol A: markeren specifieke wieren
- Protocol B: startmeting (T0)
- Protocol C: groeimonitoring
- Protocol D: verlies plant

De geselecteerde planten zijn gemarkeerd volgens protocol A: markeren specifieke wieren, om bij ieder meetmoment dezelfde planten te kunnen meten. Na het merken van de wieren is de startmeting (T0) uitgevoerd volgens protocol B: startmeting (T0). De startmeting is de eerste meting voor de groei van het zeewier, waarbij voor het eerst verschillende lengtes en breedtes worden gemeten. In de monitoringen die volgen zijn de lengtes en breedtes gemeten volgens protocol C: groeimonitoring, waarmee het bladoppervlak per plant is bepaald.

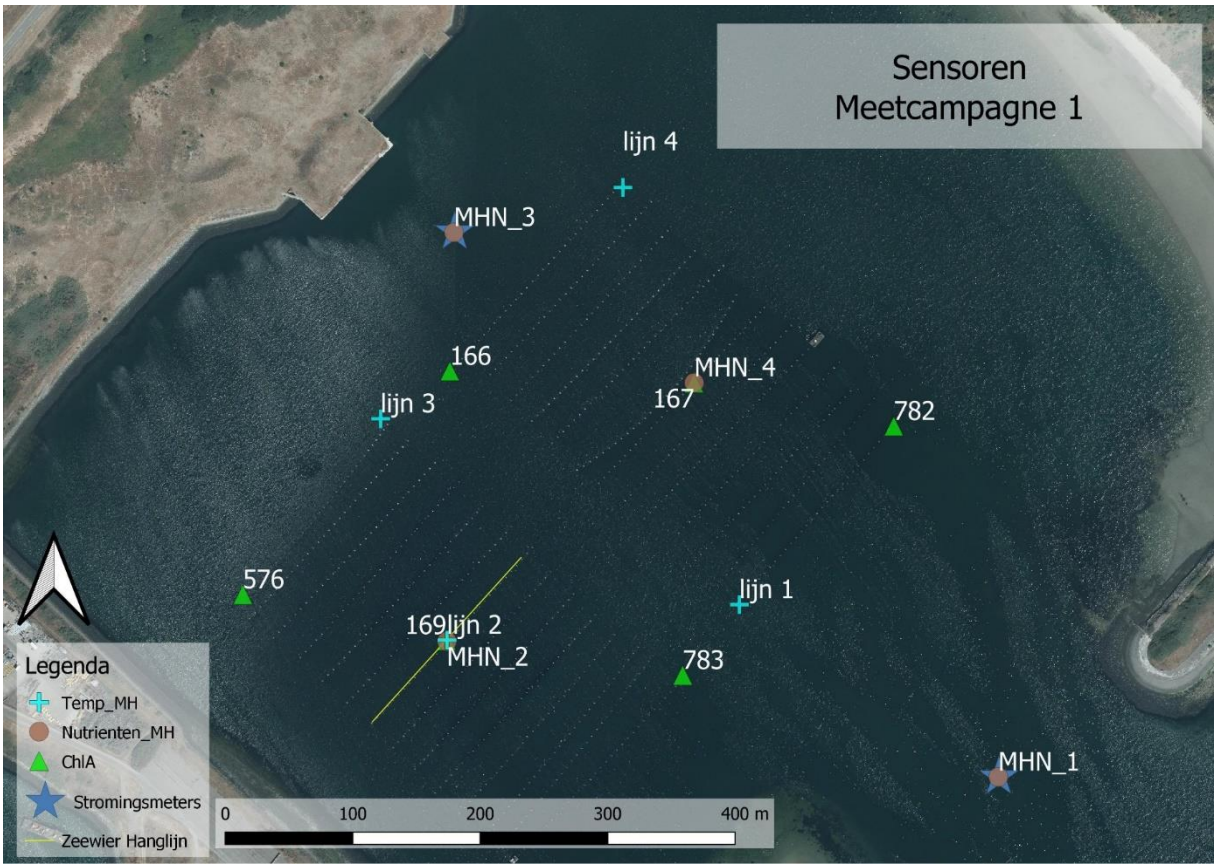
Het kan voorkomen dat door golven, stromingen of andere oorzaken een geselecteerde plant verloren gaat. Wanneer dit gebeurt, is over het algemeen een nieuwe plant geselecteerd om de monstergrootte aan te vullen met behulp van Protocol D: verlies plant.

Met de oppervlaktemethode wordt het totale bladoppervlak berekend. Hiervoor is ieder individu gemerkt en opgemeten in de totale lengte en in de breedte per 5 cm lengte van het blad. Zodra het blad 30+ cm lang was, is de breedte per 10 cm van het blad genomen. Door de gemiddelde breedte te vermenigvuldigen met de totale lengte wordt het uiteindelijke bladoppervlakte berekend (Nielsen et al., 2014).

Voor de bepaling van het eiwitgehalte en de nutriëntensamenstelling (C:N ratio) zijn tijdens de groeimetingen van elke meetlocatie nabij de geselecteerde planten bladmonsters (*S. latissima*) genomen. Voor de bepaling van vrije nutriënten en de samenstelling van troebelheid in de waterkolom zijn op dezelfde locaties en tijdstippen van de groeimetingen watermonsters genomen. Per watermonster is 15 mL gefilterd en opgeslagen bij -20^{o}C tot verder analyse door een andere partij (NIOZ). Met behulp van de gloeiverliesmethode (bijlage 2) wordt het gehalte zwevende stof en organisch materiaal (POM) van de watermonsters bepaald.

3.2.2. Licht

De lichtintensiteit in de waterkolom en de watertemperatuur zijn gemeten met HOBO sensoren. Voor dit rapport zijn de lichtintensiteit meetgegevens van projectjaar 1 (2020-2021) geanalyseerd. In projectjaar 1 zijn op 26 november 2020 op vier locaties binnen de Mattenhaven op 1, 2 en 3 meter diep HOBO sensoren uitgehangen. Deze locaties zijn “in” (lijn 2), “voor” (lijn 1), “na” (lijn 4) en “na2” (lijn 3) de mosselhangcultuur in de Mattenhaven (figuur 3.5). De sensoren hebben van 10:00 uur tot 16:00 uur de lichtintensiteit en temperatuur in de waterkolom gemeten met een interval van 1 minuut.



Figuur 3.5: Overzicht van de sensoren van de meetcampagne in de Mattenhaven op 26 november 2020. De HOBO sensoren liggen “in” (lijn 2), “voor” (lijn 1), “na” (lijn 4) en “na2” (lijn 3) de mosselhangcultuur.

Verder zijn voor projectjaar 3 (2022-2023) ook lichtmetingen uitgevoerd, maar deze resultaten zijn in verband met de beschikbare tijd niet meegenomen in het rapport.

Vanaf november 2022 zijn vijf HOBO sensoren in de Mattenhaven en één HOBO sensor in het Veerse Meer 1 meter diep in de waterkolom geplaatst voor continu metingen. De HOBO sensoren in de Mattenhaven hangen bij de referentielijn buiten het kweekgebied en binnen de zuidelijke mosselhangcultuur bij lijn 1A, lijn 6, lijn 7 en lijn 11 (figuur 3.3). Het meetinterval van de HOBO sensor is 5 minuten.

Met continu metingen met JFE sensoren serie 7 zijn het chlorofylgehalte (µg/l) en de troebelheid (NTU/JTU) bepaald. In de Mattenhaven zijn drie JFE sensoren geplaatst, bij de referentielijn buiten het kweekgebied en binnen de zuidelijke mosselhangcultuur bij lijn 7 en lijn 11 (figuur 3.3). In het Veerse Meer is één sensor geplaatst bij de daar aanwezige HOBO sensor.

Halverwege januari is een meetcampagne met acht HOBO sensoren en vier JFE sensoren in de Mattenhaven uitgevoerd, waarbij de sensoren van 11:00 uur tot 15:00 uur in de waterkolom hingen. De sensoren zijn bij lijn 1A, lijn 7, lijn 11 en de referentielijn geplaatst, waarbij de HOBO sensoren op 1 en 2 meter diep en de JFE sensoren op 1 meter diep in de waterkolom zijn uitgehangen. Iedere 5 minuten werden de metingen van de sensoren gelogd (bijlage 1).

Voor de bepaling van vrije nutriënten en de samenstelling van troebelheid op 1 meter en 2 meter diepte in de waterkolom zijn op dezelfde dag om 10:00 uur, 13:00 uur en 15:00 uur watermonsters genomen (figuur xx (kaart van de meetcampagne). Voor de bepaling van nutriënten wordt 15 mL gefilterd en opgeslagen bij bij -20^{o}C tot verder analyse. De samenstelling van troebelheid wordt nader bepaald met behulp van de gloeiverliesmethode (bijlage 2).

3.2.3. Stikstof

In het voorgaande onderzoek in projectjaar 2 (2021-2022) zijn C:N ratio's en eiwitgehaltes van bladmonsters van *S. latissima* in triplo en nutriëntengehaltes van watermonsters gemeten in het laboratorium. In dit onderzoek zijn deze resultaten geanalyseerd en onderling vergeleken.

3.2.4. Vergelijken met soortgelijke onderzoeken

In dit onderzoek wordt gekeken naar de invloed van licht en stikstof op de groei van *S. latissima* in de aanwezigheid van *M. edulis*. In 2022 zijn twee soortgelijke onderzoeken gepubliceerd met twee tegengestelde conclusies. Jiang et al. (2022) concludeert dat stikstof de belangrijkste beperkende factor is voor de groei van *S. latissima*, terwijl Hargrave et al. (2022) concludeerde dat licht de belangrijkste beperkende factor is voor de groei van *S. latissima*. Jiang et al. (2022) is een modelstudie in de Oosterschelde met gegevens van 40 verschillende mosselkwekerijen met of zonder uitgangsmateriaal met *S. latissima*. Hargrave et al. (2022) is een veldstudie met tien lijnen met *S. latissima* van 200 m lang vlakbij mosselkwekerijen in Mollösund (Orust) aan de Zweedse westkust, met controlelocaties met *S. latissima* in afwezigheid van mosselen 500 m stroomopwaarts.

In dit onderzoek zijn de resultaten van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) vergeleken met de resultaten van ZEEMOS projectjaar 1 en 2 (2020-2022). Hierbij zijn de lichtintensiteit en temperatuur resultaten van projectjaar 1 (2020-2021) en de stikstofgegevens en groeiresultaten van projectjaar 2 (2021-2022) gebruikt.

Lichtintensiteit gegevens die in PAR (µE m–2 s–1) waren weergegeven zijn omgerekend naar lux door te vermenigvuldigen met 54 (ApogeeInstruments, 2022). Drooggewichten zijn waar nodig was berekend door 10% van het versgewicht te nemen. De som van de lichtintensiteit over een hele dag in maart is omgerekend door de som van de hele dag van project ZEEMOS te delen door 3, omdat Hargrave et al. (2022) intervallen van 30 minuten had en project ZEEMOS intervallen van 10 minuten had.

Met de resultaten van deze drie onderzoeken is een tabel opgesteld die de resultaten van de onderzoeken naast elkaar weergeeft. Dit is gedaan om mogelijke afwijkingen in resultaten weer te geven en om de betrouwbaarheid van de gegevens van voorgaande projectjaren te onderzoeken.

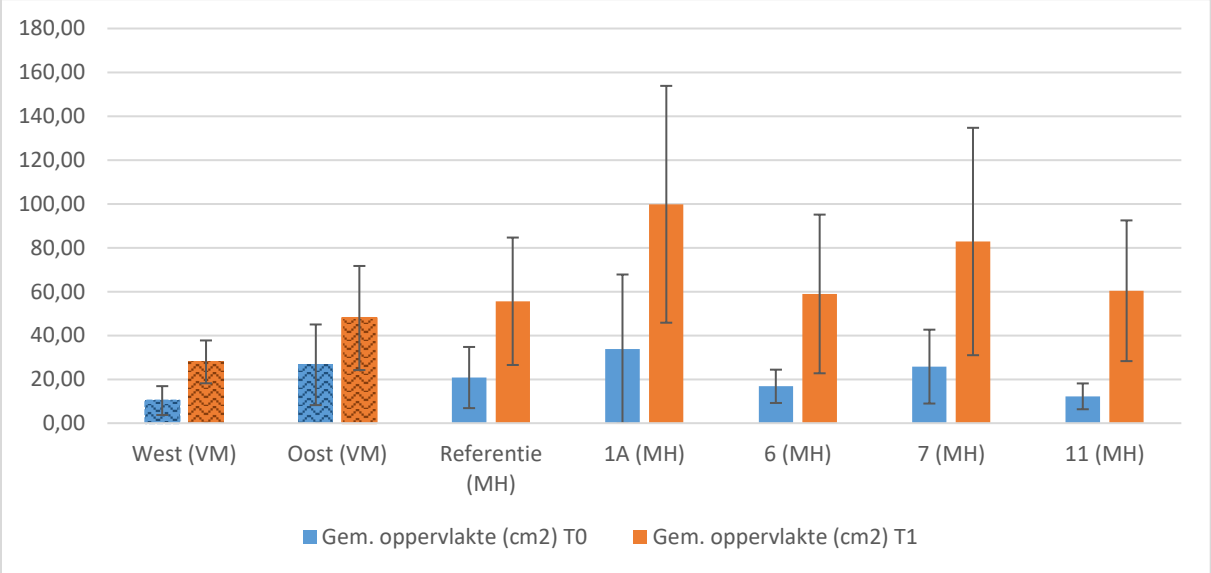
4. Resultaten

In dit onderzoek zijn de eerste twee groeimonitoringen van *S. latissima* uitgevoerd. Daarnaast zijn de lichtmetingen van projectjaar 1 (2020-2021) en de stikstofmetingen van projectjaar 2 (2021-2022) geanalyseerd en vergeleken met de resultaten van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022). De resultaten worden verder in dit hoofdstuk besproken.

4.1. Zeewiergroei

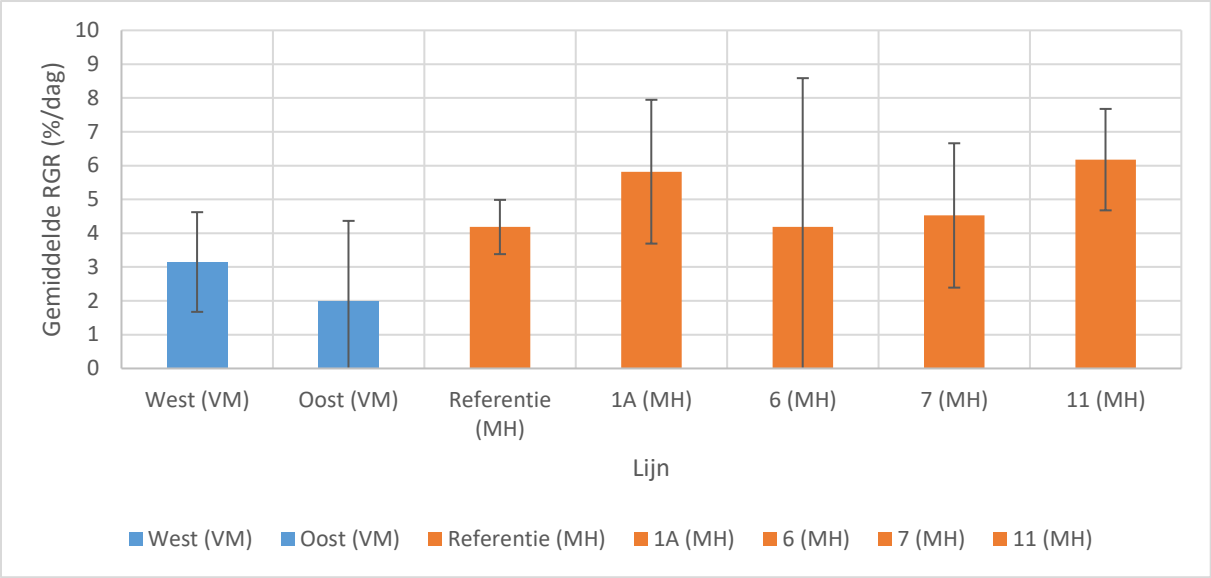
In dit rapport zijn alleen de groeimonitoringen T0 (december) en T1 (januari) verwerkt en meegenomen (bijlage 3 & figuur 4.1). De T2 en Teind worden later in de groeiperiode van *S. latissima* uitgevoerd (februari-mei).

In het Veerse Meer is het gemiddelde oppervlak van T0 en T1 lager dan in de Mattenhaven. Lijn 1A van de Mattenhaven heeft het hoogste oppervlak bij de T0 met 33,85 cm^2 en bij T1 met 99,83 cm^2. Lijn West van het Veerse Meer heeft het laagste oppervlak bij de T0 met 10,31 cm^2 en bij T1 met 27,96 cm^2 (figuur 4.1).



Figuur 4.1: Het gemiddelde (n=10 planten) oppervlakte (cm^2) van S. latissima *van T0 (december 2022) en T1 (januari 2023) op de verschillende lijnen in productielocaties het Veerse Meer (West en Oost) en de Mattenhaven (Referentie, 1A, 6, 7 en 11).*

In het Veerse Meer ligt de RGR lager dan in de Mattenhaven. In het Veerse Meer varieert de gemiddelde RGR (Relative Growth Rate) van 2,00-3,15 %/dag en in de Mattenhaven varieert de gemiddelde RGR van 4,18-6,18 %/dag. De gemiddelde RGR's van lijn 1A en 11 zijn ~6,00 %/dag, de gemiddelde RGR's van de referentielijn en lijn 6 en 7 zijn ~4,00 %/dag (figuur 4.2).



Figuur 4.2: De gemiddelde (n=10 planten) RGR (Relative Growth Rate) van het oppervlakte (%/dag) van S. latissima *van december 2022 tot januari 2023 op de verschillende lijnen in productielocaties het Veerse Meer (West en Oost) en de Mattenhaven (Referentie, 1A, 6, 7 en 11).*

De bezetting van het uitgangsmateriaal in de Mattenhaven was bij de T0 laag. Bij de T1 was het zeewier zichtbaar gegroeid (figuur 4.3).

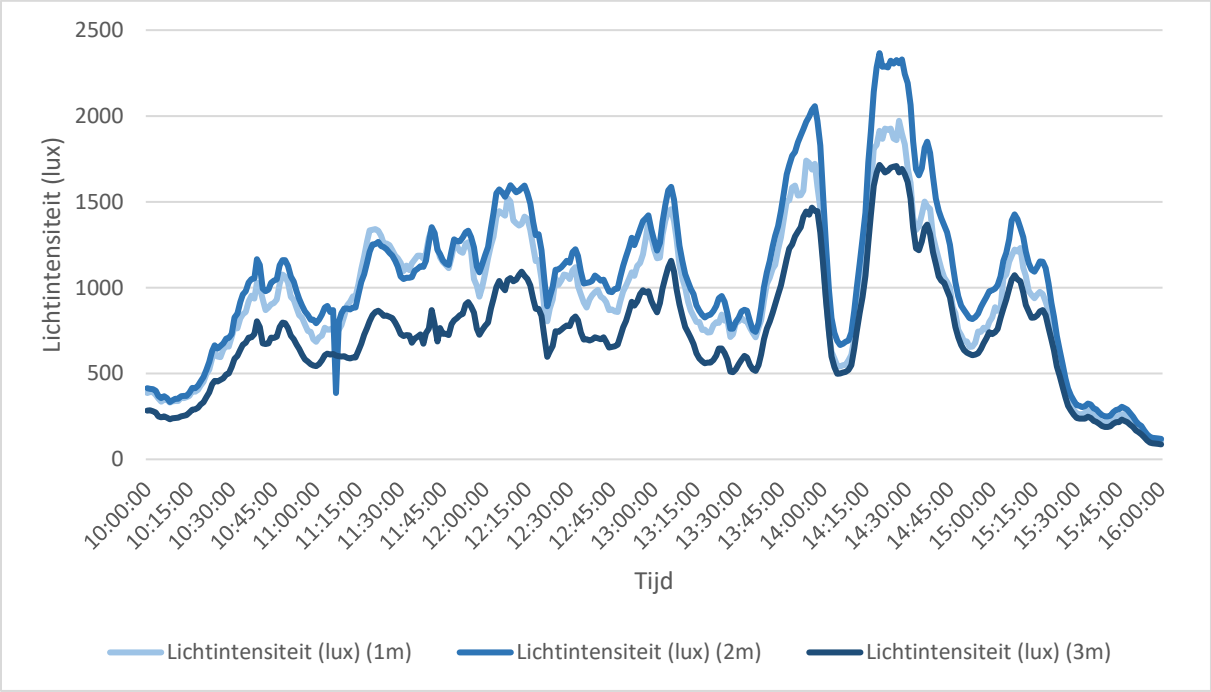
Figuur 4.3: De bezetting S. latissima *op de lijnen in de Mattenhaven tijdens T0 (december 2022, links) en T1 (januari 2023, rechts).*

4.2. Licht

De lichtintensiteit resultaten van de meetcampagne van projectjaar 1 van 26 november 2020 zijn voor dit rapport geanalyseerd. De resultaten zijn per locatie binnen de Mattenhaven en per diepte vergeleken (figuur 3.5).

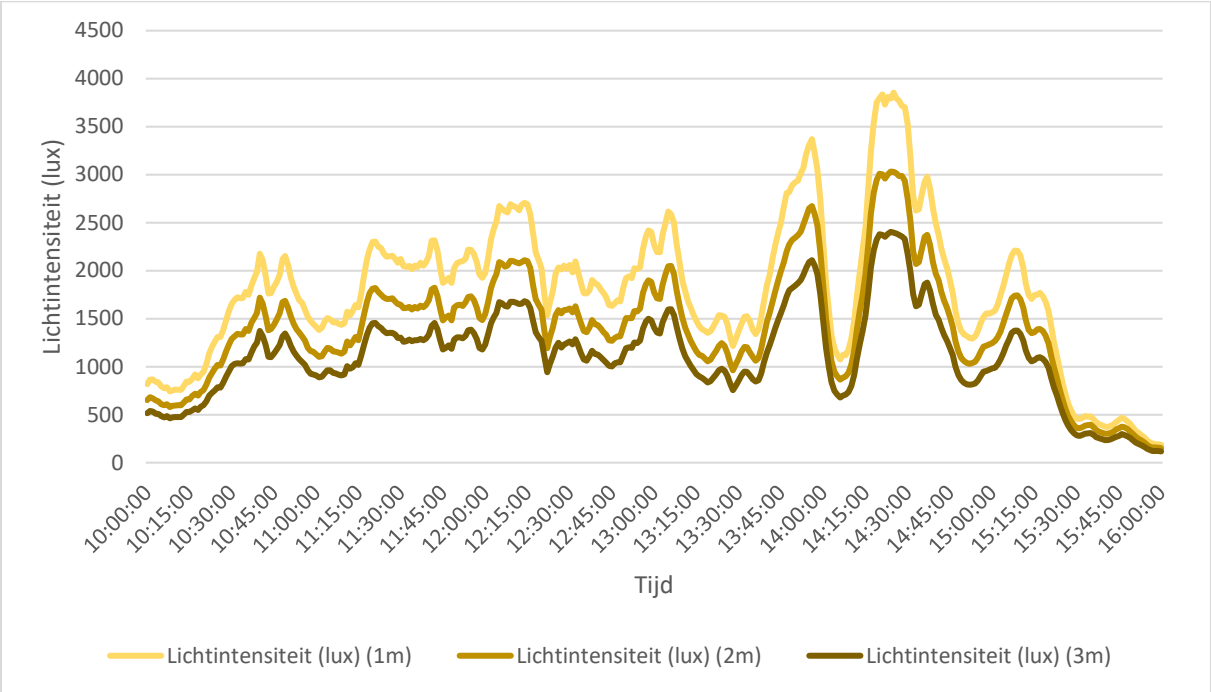
4.2.1. Lichtintensiteit per locatie binnen de Mattenhaven

“Voor” de mosselcultuur zijn de metingen van de lichtintensiteit het hoogst op 2 meter diep en het laagst op 3 meter diep. De resultaten laten hetzelfde patroon zien op alle drie de dieptes. Tussen 14:15 uur en 14:30 uur is de lichtintensiteit op alle drie de dieptes het hoogst (1715-2366 lux) (figuur 4.4).



Figuur 4.4: Lichtintensiteit “voor” mosselhangcultuur in Mattenhaven op 1, 2 en 3 meter diep (26 november 2020).

“In” de mosselhangcultuur is de lichtintensiteit het hoogst op 1 meter diep en het laagst op 3 meter diep. Net als “voor” de mosselhangcultuur vormen de resultaten hetzelfde patroon op alle drie de dieptes. Tussen 14:20 uur en 14:30 uur is de lichtintensiteit het hoogst (1674-3318 lux) (figuur 4.5).

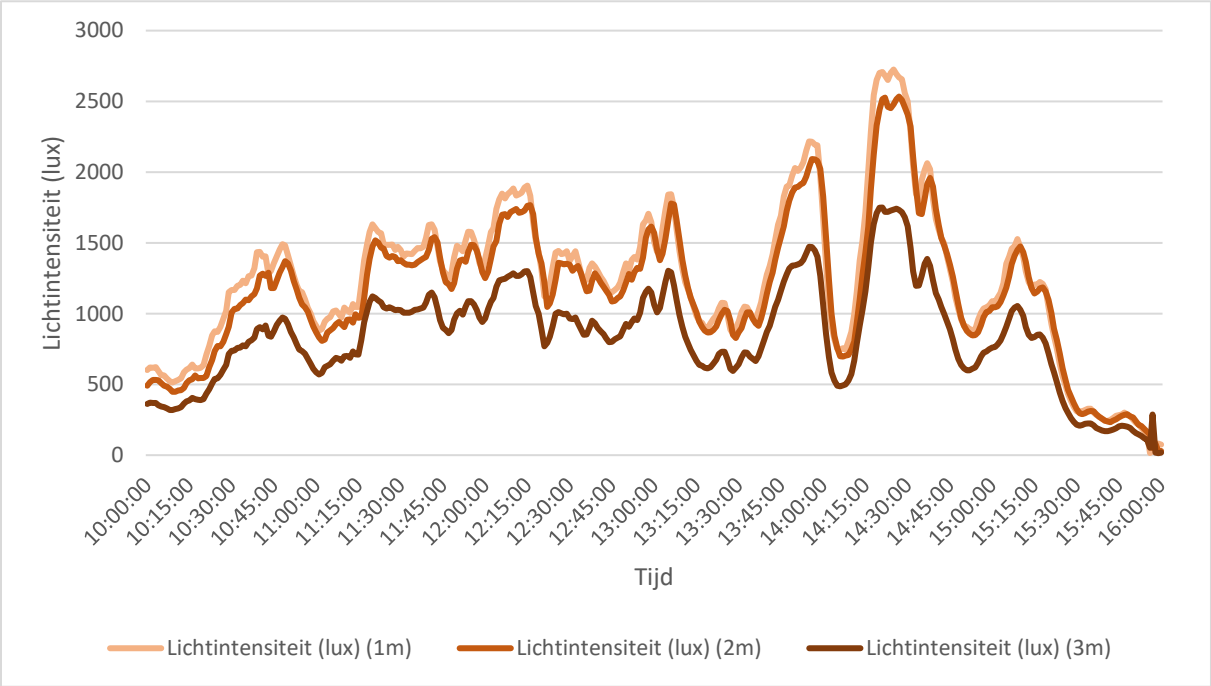


Figuur 4.5: Lichtintensiteit “in” mosselhangcultuur in Mattenhaven op 1, 2 en 3 meter diep (26 november 2020).

“Na” de mosselhangcultuur zijn de resultaten van de lichtintensiteit het hoogst op 1 meter diep en het laagst op 3 meter diep. Bij deze meting ontbreken de resultaten op 2 meter diep. De lichtintensiteit op 1 meter diep vormt hetzelfde patroon als op 3 meter diep. Tussen 14:20 uur en 14:30 uur is de lichtintensiteit het hoogst (1674-3318 lux) (figuur 4.6).

Figuur 4.6: Lichtintensiteit “na” mosselhangcultuur in Mattenhaven op 1 en 3 meter diep (26 november 2020).

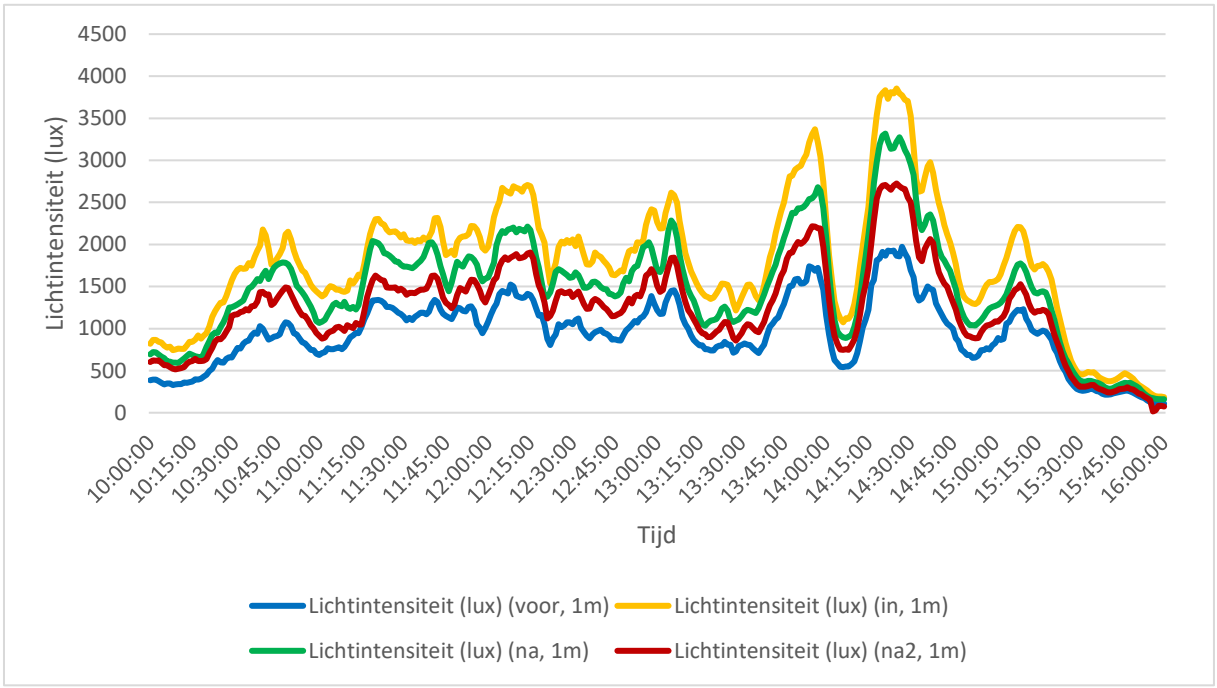
Bij de metingen zijn twee locaties achter (=na) de mosselhangcultuur gebruikt, waardoor we een locatie “na2” hebben genoemd. “Na2” de mosselhangcultuur is de lichtintensiteit het hoogst op 1 meter diep en het laagst op 3 meter diep. Ook op deze locatie vormt de lichtintensiteit hetzelfde patroon op alle drie de dieptes en is de lichtintensiteit het hoogst tussen 14:20 uur en 14:30 uur (1750-2725 lux) (figuur 4.7).



Figuur 4.7: Lichtintensiteit na2 mosselhangcultuur in Mattenhaven op 1, 2 en 3 meter diep (26 november 2020).

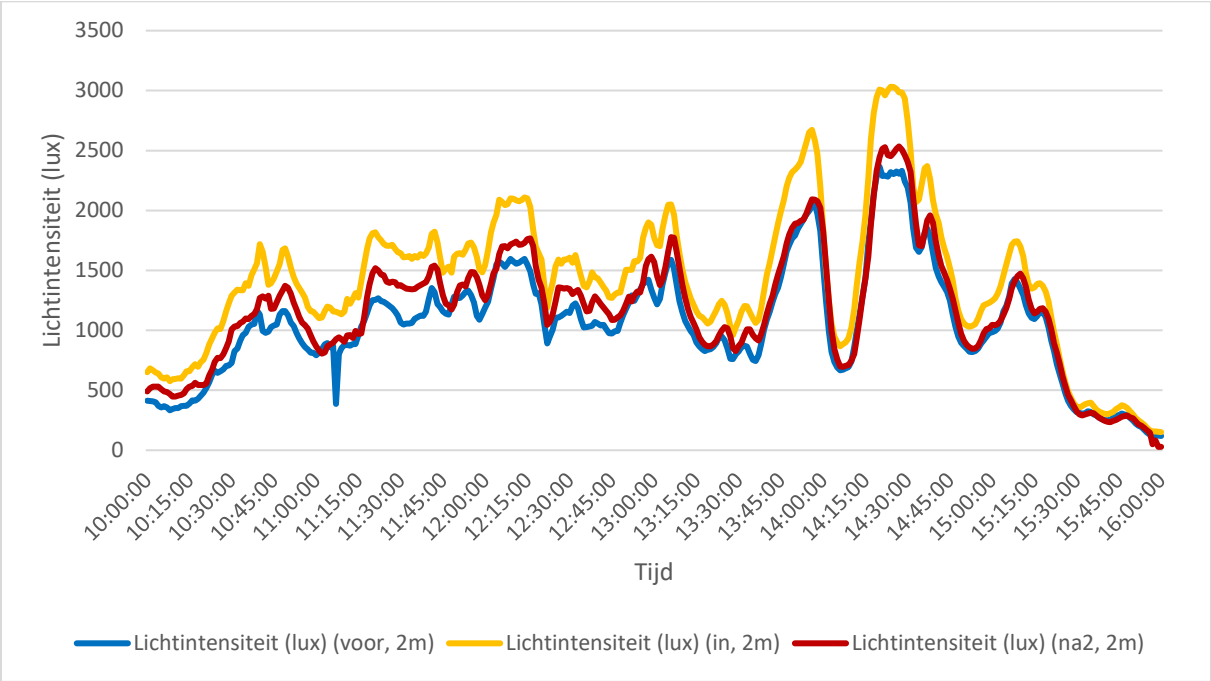
4.2.2. Lichtintensiteit tussen de vier locaties in de Mattenhaven per diepte

Op 1 meter diep is de lichtintensiteit “in” de mosselhangcultuur het hoogst, gevolgd door “na” en “na2”. De lichtintensiteit is het laagst “voor” de mosselhangcultuur (figuur 4.8). “In” de mosselhangcultuur verschilt de lichtintensiteit significant van “na” ($p<0,001$), “na2” ($p<0,001$) en “voor” ($p<0,001$) de mosselhangcultuur.



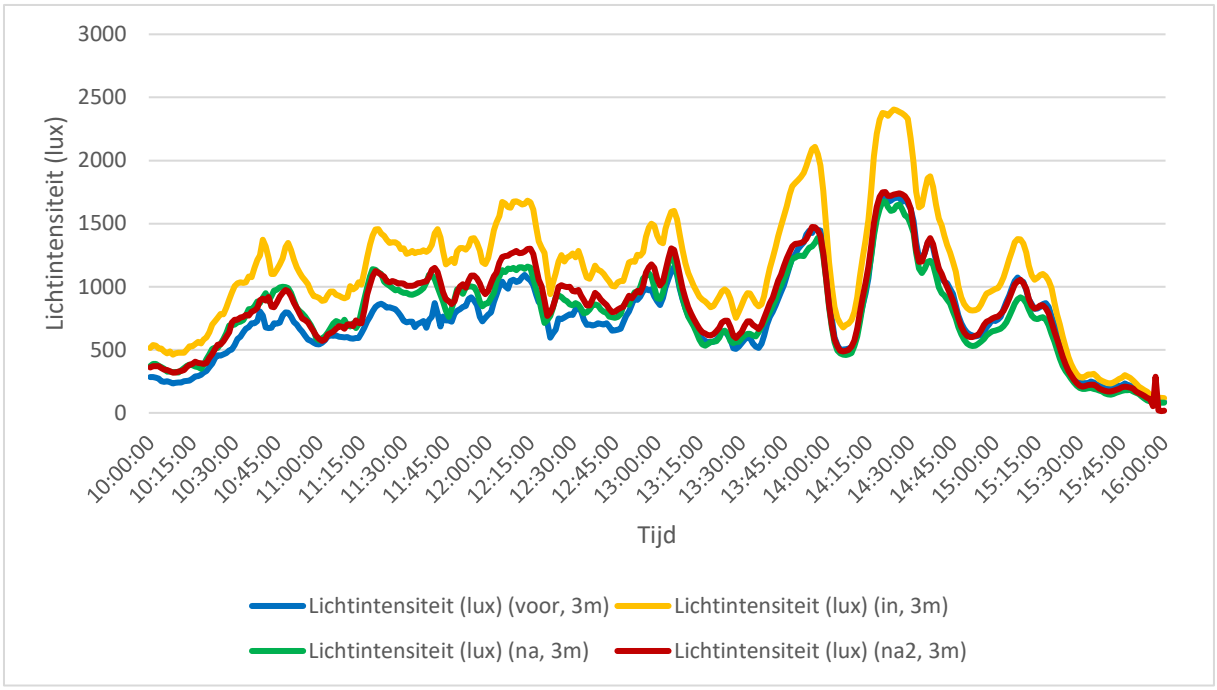
Figuur 4.8: Lichtintensiteit op 1 meter diep in de waterkolom in Mattenhaven “voor”, “in”, “na” en “na2” de mosselhangcultuur (26 november 2020).

Ook op 2 meter diep is “in” de lichtintensiteit het hoogst, gevolgd door “na2” (p<0,001) en “voor” (p<0,001) de mosselhangcultuur (figuur 4.9). De lichtintensiteit is op 1 meter diep significant hoger dan op 2 meter diep (p<0,001) (bijlage 4).



Figuur 4.9: Lichtintensiteit op 2 meter diep in de waterkolom in Mattenhaven “voor”, “in” en “na2” de mosselhangcultuur (26 november 2020).

Op 3 meter diep is de lichtintensiteit ook het hoogst “in” de mosselhangcultuur en het laagst “voor” de mosselhangcultuur (p<0,001) (figuur 4.10). De lichtintensiteit is op 1 meter diep significant hoger dan op 3 meter diep (p<0,001) (bijlage 4).



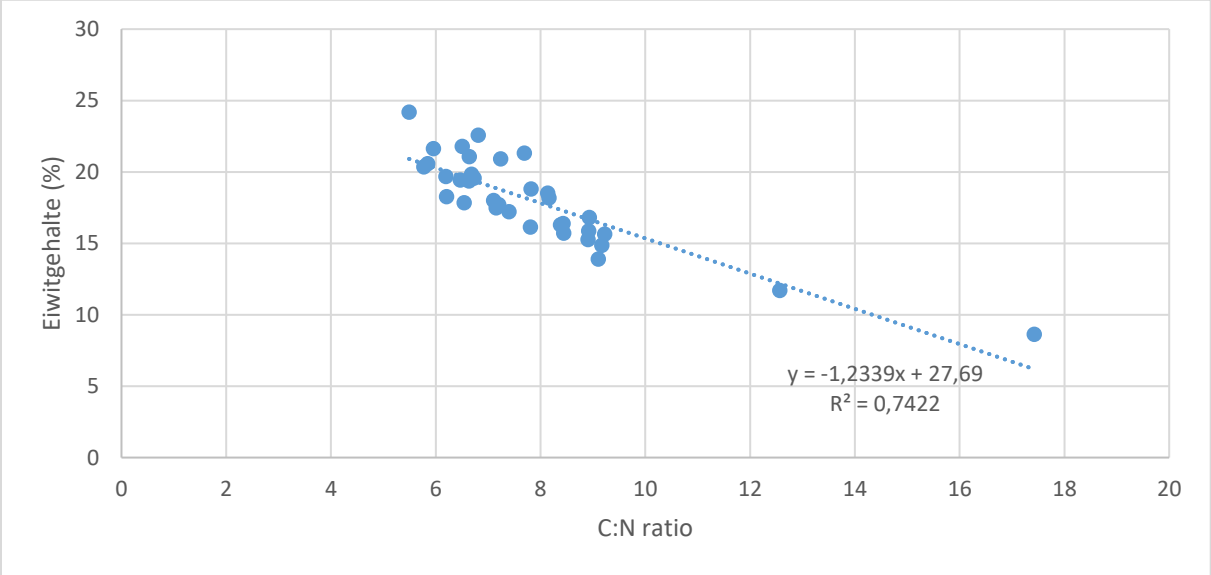
Figuur 4.10: Lichtintensiteit op 3 meter diep in de waterkolom in Mattenhaven “voor”, “in”, “na” en “na2” de mosselhangcultuur (26 november 2020).

4.3. Stikstof

De C:N ratio's en eiwitgehaltes van bladmonsters van *S. latissima* van eind 2021 en begin 2022 zijn in dit onderzoek met elkaar vergeleken. Naast zeewiermonsters zijn begin 2022 ook watermonsters genomen waarmee de Total Inorganic Nitrogen (TIN) is bepaald. De TIN resultaten van projectjaar 2 (2021-2022) zijn in dit onderzoek vergeleken met de bijbehorende C:N ratio's.

4.3.1. Stikstofgehalte in het zeewier

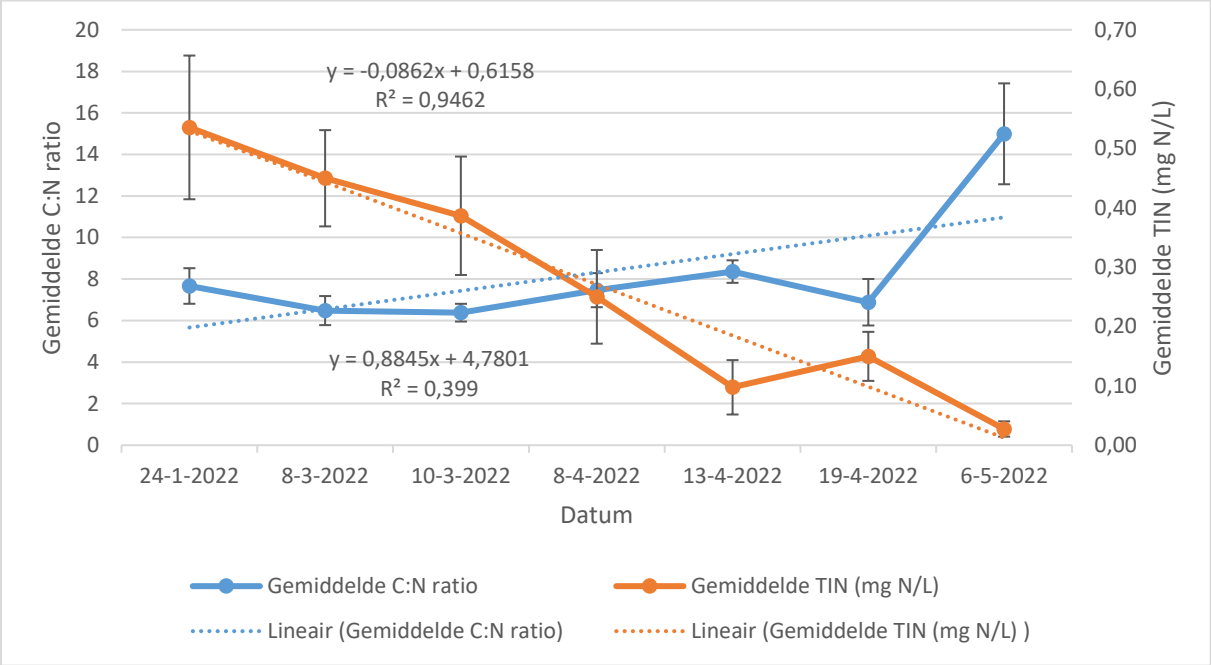
Het gemeten C:N ratio varieert van 5,49 tot 17,42 en het gemeten eiwitgehalte van *S. latissima* varieert van 8,64% tot 24,18% (figuur 4.11). Uit de regressie analyse bleek dat er een significant verband is tussen C:N ratio en eiwitgehalte ($p<0,01$). De R^2 van de regressielijn geeft aan hoeveel eiwitgehalte afhankelijk is van C:N ratio en is in dit geval 0,7422.



Figuur 4.11: Het verband tussen C:N ratio en eiwitgehalte (%) in blad van S. latissima. *Metingen van eind 2021 en begin 2022 in de Mattenhaven en het Veerse Meer.*

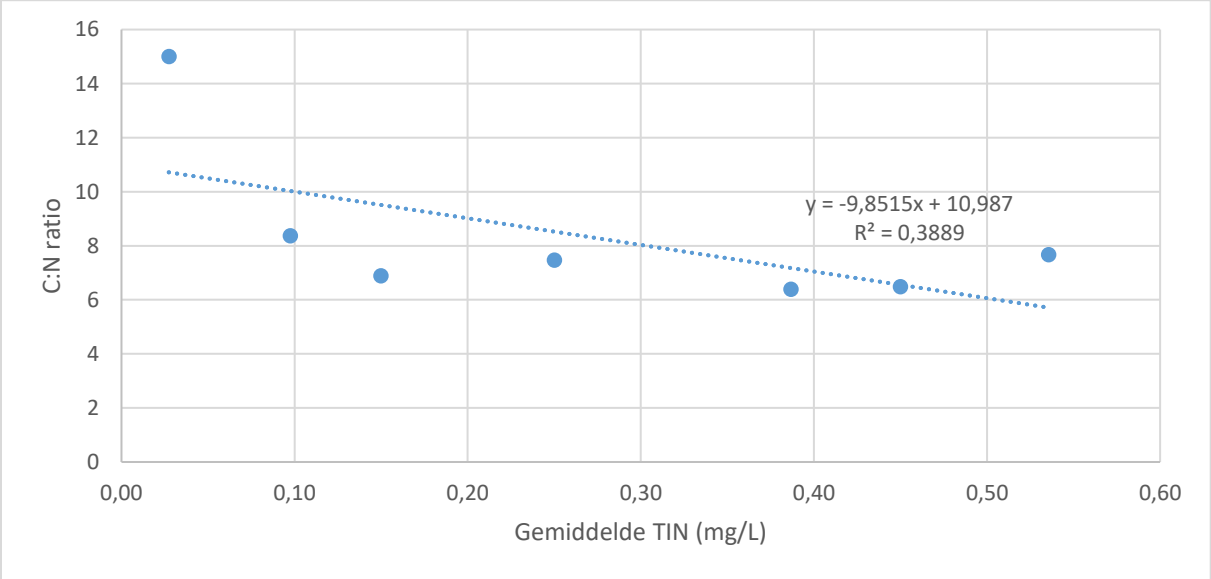
4.3.1. Stikstofgehalte in de waterkolom

De gemiddelde TIN concentratie in de waterkolom neemt af richting de zomer (van 0,54 naar 0,03 mg N/L) met een R^2 van 0,9462 terwijl het gemiddelde C:N ratio toeneemt richting de zomer (van 6,38 naar 14,99) met een R^2 van 0,399 (figuur 4.12).



Figuur 4.12: Tijdsdiagram van C:N ratio in blad van S. latissima *en Total Inorganic Nitrogen (TIN) gehalte (mg N/L) van het water. Metingen van begin 2022 in de Mattenhaven en het Veerse Meer.*

De correlatiediagram met C:N ratio en TIN geeft een R^2 van 0,3889 (figuur 4.13). Er is geen significant verband tussen C:N ratio en TIN ($p>0,05$).



Figuur 4.13: Het verband tussen C:N ratio in blad van S. latissima *en Total Inorganic Nitrogen (TIN) gehalte (mg N/L) van het water met de metingen van begin 2022 in de Mattenhaven en het Veerse Meer.*

4.4. Vergelijken met soortgelijke onderzoeken

Tijdens dit onderzoek zijn de resultaten van twee soortgelijke onderzoeken met de resultaten van projectjaar 1 en 2 (2020-2022) van ZEEMOS vergeleken (tabel 4.1). De gemeten C:N ratio's bij Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) zijn met 17,9 en 18,6 hoger dan het gemiddelde C:N ratio van 8,3 van ZEEMOS. Daarnaast variëren de lichtintensiteit resultaten sterk tussen de drie onderzoeken. De groeiresultaten komen op de groeisnelheid in maart na vrijwel overeen. In maart is de groeisnelheid van *S. latissima* bij Jiang et al. (2022) 9% per dag terwijl dit bij ZEEMOS 1,75% per dag is.

Tabel 4.1: De resultaten van vergelijkbare onderzoeken met S. latissima *van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) vergeleken met de resultaten van projectjaar 1 en 2 (2020-2022) van ZEEMOS. Wanneer gegevens missen, wordt dit aangegeven met n.b. (niet bekend).*

Onderdeel	Jiang et al. (2022)	Hargrave et al. (2022)	ZEEMOS (2020-2022)
Temperatuur (*C) range (nov-mei)	(-)2 tot 15	0 tot 13	7 tot 14
Temperatuur (*C) maart	5	n.b.	7
DIN/TIN (mg/L) range (nov-mei)	0,06 tot 0,62	n.b.	0,03 tot 0,54
DIN/TIN (mg/L) maart	0,35	n.b.	0,42
Lichtintensiteit (lux) range (nov-maart) 12:00 uur 's middags	5400 tot 18360	n.b.	29 tot 1974
Lichtintensiteit (lux) maart 12:00 uur 's middags	18360	n.b.	32
Lichtintensiteit (lux) maart SOM hele dag (op 3m diep)	n.b.	310	6347
Bladlengte (cm) eind	n.b.	85,5	93,0 ±20,6
Bladoppervlak (cm2) eind	747	n.b.	700
Groeisnelheid (%/dag) maart	9	n.b.	1,75
Drooggewicht (kg/m lijn) eind	n.b.	0,33	0,7 ±0,05
Drooggewicht (g/plant) eind	9	n.b.	3,3 ±14,9
C:N ratio	17,9	18,6	8,3 ±2,8

5. Discussie en Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek is of zeewiergroei wordt beïnvloed door licht en/of stikstof in de aanwezigheid van mosselen. De hypothese is dat mosselen zorgen voor verbeterde lichtomstandigheden en verhoogde stikstofconcentraties in de waterkolom, wat resulteert in een verhoogde biomassa van *S. latissima*. Tijdens dit onderzoek zijn de eerste twee groeimonitoringen van *S. latissima* binnen en buiten de mosselhangcultuur uitgevoerd. Verder zijn de lichtmetingen van projectjaar 1 (2020-2021) en de stikstofmetingen van projectjaar 2 (2021-2022) geanalyseerd en vergeleken met de resultaten van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022). De resultaten worden verder in dit hoofdstuk bediscussieerd, gevolgd door een conclusie en aanbevelingen.

5.1. Zeewiergroei

De groei van *S. latissima* is volgens Visch et al. (2020) hoger in beschutte locaties dan locaties blootgesteld aan stroming, dus in theorie zou de mosselhangcultuur door beschutting zorgen voor een hogere groei van *S. latissima*. In de Mattenhaven is het gemiddelde bladoppervlak hoger dan in het Veerse Meer, vooral bij lijn 1A. Volgens de resultaten zou *S. latissima* beter groeien aan de rand van een mosselhangcultuur dan middenin of in afwezigheid van een mosselhangcultuur. Daarnaast zou de groeisnelheid van *S. latissima* even hoog zijn middenin een mosselhangcultuur als in afwezigheid van een mosselhangcultuur. Echter is de standaarddeviatie zodanig groot en zijn er met T0 en T1 te weinig gegevens om de significantie te bepalen en deze conclusie te bevestigen. De grote standaarddeviatie kan verklaard worden door de kwaliteit van het uitgangsmateriaal, wat ook zichtbaar is aan de lage bezetting van het uitgangsmateriaal (figuur 4.3). Om conclusies uit deze resultaten te kunnen trekken, is de volledige groeimonitoring met T2 en Teind erbij nodig.

5.2. Licht

Bij “in”, “na” en “na2” de mosselhangcultuur is de lichtintensiteit het hoogst op 1 meter diep en het laagst op 3 meter diep. Echter is “voor” de mosselhangcultuur de lichtintensiteit het hoogst op 2 meter diep en het laagst op 3 meter diep. Daarentegen is het niet mogelijk dat de lichtintensiteit op 2 meter diep hoger is dan op 1 meter diep, aangezien licht reageert met moleculen in het water en zich verspreid waardoor de lichtintensiteit afzwakt met diepte (Weiskerger et al., 2018). Mogelijk is de HOBO sensor op 1 meter diep geblokkeerd door biofouling of zeewierblad, waardoor de meter minder lichtintensiteit kon waarnemen. Biofouling komt meer voor in beschutte locaties dan locaties blootgesteld aan stroming, dus in de buurt van de mosselhangcultuur kan meer biofouling voor de HOBO sensoren voorkomen (Visch et al., 2020). Een andere waarschijnlijke verklaring is dat de gegevens van 1 meter en 2 meter diep zijn verwisseld.

De fluctuaties van lichtintensiteit kunnen te maken hebben met de weersomstandigheden. Zodra de zon geblokkeerd wordt, is de lichtintensiteit lager dan wanneer de zon direct op het oppervlak schijnt (Bharathwaj et al., 2011).

Dat de lichtintensiteit het hoogst is “in” de cultuur, komt overeen het de hypothese dat de lichtintensiteit hoger is in aanwezigheid van mosselen. Mosselen zoals *M. edulis* zijn filterfeeders die onder andere fytoplankton uit de waterkolom filteren, waardoor de troebelheid van het water daalt (Osterling et al., 2007). Uit onderzoek bleek dat de Aziatische korfmossel (*Corbicula fluminea*) door filterfeeding zorgt voor een verlaagde hoeveelheid fytoplankton in de waterkolom en daarmee voor een hogere lichtintensiteit in de omgeving (Rong et al., 2021). Dit betekent dat filterfeeding van mosselen de troebelheid in het water verlaagd en daarmee de lichtintensiteit verhoogd. Dit verklaart waarom de lichtintensiteit in de mosselhangcultuur hoger is dan op de andere locaties buiten de mosselhangcultuur.

5.3. Stikstof

Hoe hoger het C:N ratio in de plant, hoe lager het eiwitgehalte (Durmaz & Sani, 2001), aangezien het stikstofgehalte in de plant hoog is bij een lage C:N ratio en stikstof gebruikt wordt om eiwitten in een plant te produceren (Mortensen, 2017). Stikstof is dan ook over het algemeen het limiterende nutriënt bij zeewiergroei (Roleda & Hurd, 2019). Verder is C:N ratio ook afhankelijk van koolstof. Koolstoffixatie zorgt ook voor zeewiergroei en hiervoor is anorganisch koolstof uit de waterkolom van belang, wat in een hoger C:N ratio resulteert (Lubsch & Lansbergen, 2020). Koolstofopname is wel afhankelijk van de aanwezigheid van stikstof. Resultaten van Xu et al. (2021) bevestigen dat het C:N ratio significant daalt als stikstofgehaltes stijgen in de waterkolom, maar dat voor koolstofopname wel (lage) concentraties stikstof in de waterkolom nodig zijn. Echter bestaat TIN uit nitriet, nitraat en ammonium, en zeewier maakt enkel gebruik van nitraat en ammonium (Bracken & Stachowicz, 2006). Dit betekent dat het C:N ratio in *S. latissima* niet afhankelijk is van het nitrietgehalte van TIN en dit kan verklaren waarom TIN en C:N ratio niet significant zijn.

5.4. Vergelijken met soortgelijke onderzoeken

De lichtintensiteit resultaten verschillen sterk tussen de drie onderzoeken. Dit kan te maken hebben met de weersomstandigheden van de meetmomenten. Zo kan bewolking zorgen voor een lagere lichtintensiteit dan op zonnige dagen (Bharathwaj et al., 2011). De lichtintensiteit die in maart voor project ZEEMOS is gemeten is relatief laag (<100 lux), wat ook verklaard kan worden door het gegroeide zeewier wat lichtinval bij de HOBO sensoren blokkeert.

De groeisnelheid (%) van project ZEEMOS in maart is lager dan bij Jiang et al. (2022). Daarnaast was het drooggewicht bij Jiang et al. (2022) hoger dan bij project ZEEMOS. Bij Avezedo et al. (2019) was de groeisnelheid van *S. latissima* 3,3%-4,5% per dag. Dit is hoger dan 1,75% van project ZEEMOS, maar ligt verder van 9% van Jiang et al. (2022).

Het gemiddelde drooggewicht van ZEEMOS per *S. latissima* plant (3,3 g) is lager dan het gemiddelde drooggewicht van Jiang et al. (2022) per plant (9 g). Volgens Augyte et al. (2017) is het gemiddelde drooggewicht per plant 3,3-5,2 g, wat betekent dat bij ZEEMOS een gemiddeld drooggewicht werd waargenomen. Jiang et al. (2022) had een hoger drooggewicht dan het gemiddelde drooggewicht van *S. latissima*. Daarnaast is volgens Augyte et al. (2017) de productie in drooggewicht per meter lijn 1,33-1,7 kg, maar volgens Umanzor et al. (2021) het drooggewicht van *S. latissima* gemiddeld 0,25 kg/lijn. Het gemiddelde drooggewicht per meter lijn van ZEEMOS (0,7 kg) is hoger dan het gemiddelde drooggewicht per meter lijn van het Zweedse onderzoek van Hargrave et al. (2022) (0,33 kg), maar beide liggen tussen de gemiddelde drooggewichten van Augyte et al. (2017) en Umanzor et al. (2021) in. *S. latissima* groeit optimaal bij een watertemperatuur van 10-15 ^{o}C (Fortes & Lüning, 1980). De hoogste watertemperatuur van november tot mei varieert in Nederland van 7,6-14,2 ^{o}C (Sea Temperature, 2023a) en in Zweden van 1,8-10,6 ^{o}C (Sea Temperature, 2023b), wat betekent dat *S. latissima* mogelijk minder goed groeit in Zweden door de lagere watertemperatuur dan in Nederland.

Het gemiddelde C:N ratio van *S. latissima* is 9 volgens Van Duren et al. (2019). Het C:N ratio van 8,3 van project ZEEMOS komt hiermee overeen, maar de resultaten van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) zijn hoger met 17,9 en 18,6. Echter is volgens onderzoek van Grebe et al. (2021) het C:N ratio van *S. latissima* in maart het laagst met 9,4 en in mei en juni het hoogst met 23,4. Dit kan betekenen dat de C:N ratio's van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) op een ander moment in jaar zijn genomen dan bij ZEEMOS.

5.5. Algemene discussie en conclusie

Vanwege de sterk variërende standaarddeviaties en de beperkte metingen van dit onderzoek van begin projectjaar 3 (september 2022 tot januari 2023), is het niet mogelijk om een conclusie vast te stellen. De groeimetingen van projectjaar 2 (2021-2022) zijn daarentegen wel afgerond en in dit rapport vergeleken met de resultaten van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022). Met Avezedo et al. (2019) als referentie is de waargenomen groeisnelheid in maart bij ZEEMOS relatief laag en bij Jiang et al. (2022) relatief hoog. Vergeleken met Augyte et al. (2017) is het drooggewicht per plant bij ZEEMOS gemiddeld en bij Jiang et al. (2022) relatief hoog, maar het drooggewicht per meter lijn is volgens Augyte et al. (2017) bij ZEEMOS relatief laag. Echter is vergeleken met Umanzor et al. (2021) en Hargrave et al. (2022) de opbrengst drooggewicht per meter lijn van ZEEMOS relatief hoog. Aangezien het drooggewicht van ZEEMOS vergeleken met Augyte et al. (2017) per plant gemiddeld is, maar het drooggewicht per meter lijn relatief laag is, is het aannemelijk dat de bezetting op de lijnen in projectjaar 2 (2021-2022) relatief laag was. *S. latissima* groeide naar verwachting, maar op het uitgangsmateriaal waren weinig individuele planten aanwezig.

Verder zijn de lichtresultaten van ZEEMOS projectjaar 1 in maart (2021) relatief laag vergeleken met Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022). Mogelijk heeft bewolking gezorgd voor lagere lichtintensiteit op de dag van de meetcampagne in projectjaar 2 (2021-2022) (Bharathwaj et al., 2011) of werden de sensoren geblokkeerd door het gegroeide zeewier. In november van projectjaar 1 (2020) waren de lichtintensiteit metingen van ZEEMOS aanzienlijk hoger dan bij de meetcampagne in maart. Bij deze resultaten is de lichtintensiteit het hoogst in de mosselhangcultuur en het laagst voor de mosselhangcultuur. Hiermee kan geconcludeerd worden dat de aanwezigheid van mosselen zorgt voor een verhoogde lichtintensiteit.

Als laatste zijn de C:N ratio's van ZEEMOS projectjaar 2 (2021-2022), Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) vergeleken, waarbij de C:N ratio's van Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) twee maal zo hoog waren als het gemiddelde C:N ratio van ZEEMOS. Volgens Grebe et al. (2021) is die variatie mogelijk doordat het C:N ratio van *S. latissima* per maand kan verschillen, wat betekent dat de C:N ratio's bij Jiang et al. (2022) en Hargrave et al. (2022) mogelijk in andere periodes zijn waargenomen dan de C:N ratio's van ZEEMOS. Daarnaast bleek uit de analyses in dit onderzoek dat het C:N ratio significant is aan eiwitgehalte, maar niet significant is aan TIN, wat mogelijk komt doordat TIN ook nitriet bevat maar C:N ratio niet. Theoretisch is stikstof het limiterende nutriënt voor zeewiergroei (Roleda & Hurd, 2019), maar dat is in dit onderzoek niet direct bevestigd, aangezien TIN en C:N ratio geen significant verband vertonen. Volgens Visch et al. (2020) zijn C:N ratio's in *S. latissima* lager in beschutte locaties dan aan stroming blootgestelde locaties. Dit zou betekenen dat stikstofgehaltes hoger zijn in *S. latissima* in de beschutte mosselhangcultuur dan daarbuiten, maar dat is nog niet aangetoond in het onderzoek.

Hangcultuurmosselen zorgen dus voor een hogere lichtintensiteit in de waterkolom. Het is nog niet bevestigd of betere lichtomstandigheden resulteren in een hogere biomassa van *S. latissima*, hiervoor wordt aangeraden de resultaten van T2 en Teind tegemoet te zien. Uit de resultaten komt niet naar voren of hangcultuurmosselen zorgen voor een hogere TIN in de waterkolom of dat hogere TIN resulteert in hogere biomassa van *S. latissima*. Hogere TIN concentraties zijn verder niet significant met lagere C:N ratio's. De hoofdvraag van dit onderzoek was in hoeverre zeewiergroei wordt beïnvloed door licht en/of stikstof in aanwezigheid van mosselen. Aangezien TIN niet significant is aan C:N ratio van *S. latissima*, wordt zeewiergroei volgens deze resultaten niet bepaald door de aanwezigheid van stikstof. Lichtomstandigheden lijken verbeterd in de aanwezigheid van mosselen, maar het is niet bevestigd of zeewiergroei hierdoor ook verbeterd. Het wordt geadviseerd om de resultaten van de tweede helft van projectjaar 3 (2023) van ZEEMOS af te wachten en in de

tweede helft te focussen op het verband tussen zeewiergroei, licht en stikstof, maar ook het verband tussen aan- en afwezigheid van mosselen en stikstof in de waterkolom. Verder is volgens het onderzoek van Visch et al. (2020) stroming in belangrijke factor in groei en kwaliteit van *S. latissima* in combinatie met beschutting, licht en stikstof, dus wordt aangeraden het verband tussen mosselen en *S. latissima* aan stroming te koppelen.

Literatuurlijst

Augyte, S., Yarish, C., Redmond, S. & Kim, J. K. (2017). Cultivation of a morphologically distinct strain of the sugar kelp, *Saccharina latissima* forma angustissima, from coastal Maine, USA, with implications for ecosystem services. *Journal of Applied Phycology, 29*(4), 1967–1976. https://doi.org/10.1007/s10811-017-1102-x

ApogeeInstruments. (2023). Conversion - PPFD to Lux. Geraadpleegd op 4 februari 2023, van https://www.apogeeinstruments.com/conversion-ppfd-to-lux/

Azevedo, I. C., Duarte, P. M., Marinho, G. S., Neumann, F. & Sousa-Pinto, I. (2019). Growth of *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae) cultivated offshore under exposed conditions. *Phycologia, 58*(5), 504–515. https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1625610

Bharathwaj, A. N., Mishra, A. & Srinivasan, B. (2011). A flexible rugged testbed for passive solar collector development. *Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XV*. https://doi.org/10.1117/12.876206

Blain, C. & Shears, N. (2020). Differential response of forest-forming seaweeds to elevated turbidity may facilitate ecosystem shifts on temperate reefs. *Marine Ecology Progress Series, 641,* 63–77. https://doi.org/10.3354/meps13308

Bolton, J. J. & Lüning, K. (1982). Optimal growth and maximal survival temperatures of Atlantic Laminaria species (Phaeophyta) in culture. *Marine Biology, 66*(1), 89–94. https://doi.org/10.1007/bf00397259

Bracken, M. E. S. & Stachowicz, J. J. (2006). Seaweed diversity enhances nitrogen uptake via complementary use of nitrate and ammonium. *Ecology, 87*(9), 2397–2403. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87

Broch, O. J. & Slagstad, D. (2011). Modelling seasonal growth and composition of the kelp *Saccharina latissima*. *Journal of Applied Phycology*, *24*, 759–776. https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-011-9695-y#Sec32

Bruhn, A., Nielsen, M. M., Rasmussen, M. B., Pedersen, M. F., Schmedes, P. S. & Boderskov, T. (2016). The effect of light and nutrient availability on growth, nitrogen, and pigment contents of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) grown in outdoor tanks, under natural variation of sunlight and temperature, during autumn and early winter in Denmark. *Journal of Applied Phycology, 28*(2), 1153–1165. https://findit.dtu.dk/en/catalog/56e5572ce50bde4157002c83

Buchholz, C. M., Lebreton, B., Bartsch, I. & Wiencke, C. (2019). Variation of isotope composition in kelps from Kongsfjorden (Svalbard). *Marine Biology*, *166*(6). https://doi.org/10.1007/s00227-019-3513-5

Buisman, K. (2019). Onderzoek naar combinatie zeewier en mosselcultuur. *Aquacultuur*, *34*, 35–38. https://edepot.wur.nl/498703

Captein, M. (2019). Het groene goud: eten we later elke dag zeewier?: Wordt zeewier het voedsel van de toekomst? Ondanks de belofte van dit groene goud, ligt het bij nog maar weinig Nederlanders op het bord. *National Geographic*. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://www.nationalgeographic.nl/milieu/2019/05/het-groene-goud-eten-we-later-elke-dag-zeewier

Chapman, A. R. O., Markham, J. W. & Lüning, K. (1978). EFFECTS OF NITRATE CONCENTRATION ON THE GROWTH AND PHYSIOLOGY OF *LAMINARIA SACCHARINA* (PHAEOPHYTA) IN CULTURE. *Journal of Phycology, 14*(2), 195–198. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1978.tb02448.x

De Jong, D. L. C., Timmermans, K. R., De Winter, J. M. & Derksen, G. C. H. (2021). Effects of nutrient availability and light intensity on the sterol content of *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae). *Journal of Applied Phycology, 33(2),* 1101–1113. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02359-y

Delta Expertise. (2023). VM Fluctuaties van het zoutgehalte. Geraadpleegd op 27 januari 2023, van https://www.deltaexpertise.nl/wiki/index.php/VM_Fluctuaties_van_het_zoutgehalte

Durmaz, B. & Sani, F. (2001). Effect of carbon to nitrogen ratio on the composition of microbial extracellular polymers in activated sludge. *Water Science and Technology, 44*(10), 221–229. https://doi.org/10.2166/wst.2001.0626

Druehl, L. D. (1967). DISTRIBUTION OF TWO SPECIES OF LAMINARIA AS RELATED TO SOME ENVIRONMENTAL FACTORS. *Journal of Phycology, 3*(2), 103–108. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1967.tb04641.x

Forbord, S., Steinhovden, K. B., Rød, K. K., Handå, A. & Skjermo, J. (2018). Cultivation protocol for *Saccharina latissima*. *Protocols for Macroalgae Research*, 37–59. https://doi.org/10.1201/b21460-2

Forbord, S., Steinhovden, K. B., Solvang, T., Handå, A. & Skjermo, J. (2019). Effect of seeding methods and hatchery periods on sea cultivation of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae): a Norwegian case study. *Journal of Applied Phycology, 32*(4), 2201–2212. https://doi.org/10.1007/s10811-019-01936-0

Forbord, S., Matsson, S., Brodahl, G. E., Bluhm, B. A., Broch, O. J., Handå, A., Metaxas, A., Skjermo, J., Steinhovden, K. B. & Olsen, Y. (2020). Latitudinal, seasonal and depth-dependent variation in growth, chemical composition and biofouling of cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) along the Norwegian coast. *Journal of Applied Phycology, 32*(4), 2215–2232. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02038-y

Fortes, M. D. & Lüning, K. (1980). Growth rates of North Sea macroalgae in relation to temperature, irradiance and photoperiod. *Helgoländer Meeresuntersuchungen, 34*(1), 15–29. https://doi.org/10.1007/bf01983538

Grebe, G. S., Byron, C. J., Brady, D. C., Geisser, A. H. & Brennan, K. D. (2021). The nitrogen bioextraction potential of nearshore Saccharina latissima cultivation and harvest in the Western Gulf of Maine. *Journal of Applied Phycology, 33*(3), 1741–1757. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02367-6

Hangcultuur Mosselen. (2016). Kweek. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://www.hangcultuurmosselen.nl/kweek

Hanisak, M. D. (1983). THE NITROGEN RELATIONSHIPS OF MARINE MACROALGAE. *Nitrogen in the Marine Environment*, 699–730. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-160280-2.50027-4

Hargrave, M. S., Nylund, G. M., Enge, S. & Pavia, H. (2022). Co-cultivation with blue mussels increases yield and biomass quality of kelp. *Aquaculture*, *550*, 737832. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737832

Harris, A. (2018). Sun Intensity vs. Angle. *Sciencing*. https://sciencing.com/sun-intensity-vs-angle-23529.html

Harrison, P. J. & Hurd, C. L. (2001). Nutrient physiology of seaweeds: Application of concepts to aquaculture. *Cahiers de Biologie Marine*, *42*, 71–82. https://kipdf.com/nutrient-physiology-of-seaweeds-application-of-concepts-to-aquaculture_5ab3f86d1723dd339c80dac1.html

Jiang, L., Jansen, H. M., Broch, O. J., Timmermans, K. R. & Soetaert, K. (2022). Modelling spatial variability of cultivated Saccharina latissima in a Dutch coastal bay shows benefits of co-cultivation with shellfish. *ICES Journal of Marine Science, 79*(8), 2324–2335. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac176

Living Lab Schouwen-Duiveland. (2022). Zeemos. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://livinglabschouwen-duiveland.nl/projecten/zeemos

Lubsch, A. & Lansbergen, R. A. (2020). Seaweed Factsheet: Carbon carring capacity in seaweed cultivation. *Proseaweed,* 1-3, Wageningen Marine Research.

Lubsch, A. & Timmermans, K. R. (2019). Uptake kinetics and storage capacity of dissolved inorganic phosphorus and corresponding dissolved inorganic nitrate uptake in *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* (Phaeophyceae). *Journal of Phycology, 55(3),* 637–650. https://doi.org/10.1111/jpy.12844

Matsson, S., Metaxas, A., Forbord, S., Kristiansen, S., Handå, A. & Bluhm, B. A. (2021). Effects of outplanting time on growth, shedding and quality of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) in its northern distribution range. *Journal of Applied Phycology, 33*(4), 2415–2431. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02441-z

Mol, A., Heringa, J. & Niemeijer, L. (2021). ZEEMOS Jaar II - Protocol kwantificeren zeewiergroei. *Hogeschool Zeeland.*

Monteiro, C., Li, H., Diehl, N., Collén, J., Heinrich, S., Bischof, K. & Bartsch, I. (2020). Modulation of physiological performance by temperature and salinity in the sugar kelp *Saccharina latissima*. *Phycological Research, 69*(1), 48–57. https://doi.org/10.1111/pre.12443

Mortensen, L. M. (2017). Remediation of nutrient-rich, brackish fjord water through production of protein-rich kelp *S. latissima* and *L. digitata*. *Journal of Applied Phycology, 29*(6), 3089–3096. https://doi.org/10.1007/s10811-017-1184-5

Mosselen. Zo uit Zeeland. (2017). Kweekgebieden. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://www.mosselen.nl/nl/mosselinfo/kweekgebieden/

Mosselen. Zo uit Zeeland. (2021). Seizoen Zeeuwse hangcultuurmosselen geopend. Geraadpleegd op 13 oktober 2022, van https://www.mosselen.nl/nl/seizoen-zeeuwse-hangcultuurmosselen-geopend/

Natura 2000. (2023a). Oosterschelde. Geraadpleegd op 27 januari 2023, van https://www.natura2000.nl/gebieden/zeeland/oosterschelde

Natura 2000. (2023b). Veerse Meer. Geraadpleegd op 27 januari 2023, van https://www.natura2000.nl/gebieden/zeeland/veerse-meer

Nauta, R.W., Lansbergen, R., Poelman, M., Tonk, L. & Jansen, H.M. (2021). Een eerste verkenning van indices voor het bepalen van ecologische draagkracht t.b.v. zeewierkweek. *Wageningen Marine Research* (rapport C067/21). https://edepot.wur.nl/553613

Nielsen, M. M., Krause-Jensen, D., Olesen, B., Thinggaard, R., Christensen, P. B. & Bruhn, A. (2014). Growth dynamics of *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae) in Aarhus Bay, Denmark, and along the species' distribution range. *Marine Biology, 161(9),* 2011–2022. https://doi.org/10.1007/s00227-014-2482-y

Osterling, E. M., Bergman, E., Greenberg, L. A., Baldwin, B. S. & Mills, E. L. (2007). Turbidity-mediated interactions between invasive filter-feeding mussels and native bioturbating mayflies. *Freshwater Biology, 52*(8), 1602–1610. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01791.x

Roleda, M. Y. & Hurd, C. L. (2019). Seaweed nutrient physiology: application of concepts to aquaculture and bioremediation. *Phycologia*, *58*(5), 552–562. https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1622920

Rootlieb, J. (2020). Interactions in Combined Blue Mussel and Sugar Kelp Cultures (onderzoeksrapport). *Hogeschool Zeeland.*

Rong, Y., Tang, Y., Ren, L., Taylor, W. D., Razlutskij, V., Naselli-Flores, L., Liu, Z. & Zhang, X. (2021). Effects of the Filter-Feeding Benthic Bivalve Corbicula fluminea on Plankton Community and Water Quality in Aquatic Ecosystems: A Mesocosm Study. Water, 13(13), 1827. https://doi.org/10.3390/w13131827

Sea Temperature. (2023a). Amsterdam Sea Temperature. Geraadpleegd op 5 februari 2023, van https://www.seatemperature.org/europe/netherlands/amsterdam.htm

Sea Temperature. (2023b). Stockholm Sea Temperature. Geraadpleegd op 5 februari 2023, van https://www.seatemperature.org/europe/sweden/stockholm.htm

TKI Delta Technologie. (2022). ZEEMOS – Combinatie ZEEwierenteelt – hangcultuurMOSselen. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://tkideltatechnologie.nl/project/zeemos-combinatie-zeewierenteelt-hangcultuurmosselen/

Umanzor, S., Li, Y., Bailey, D., Augyte, S., Huang, M., Marty-Rivera, M., Jannink, J., Yarish, C. & Lindell, S. (2021). Comparative analysis of morphometric traits of farmed sugar kelp and skinny kelp, *Saccharina spp*., strains from the Northwest Atlantic. *Journal of the World Aquaculture Society, 52*(5), 1059–1068. https://doi.org/10.1111/jwas.12783

Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L. & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, *2*, 494–501. https://www.nature.com/articles/s43016-021-00322-9

Van Duren, L., Poelman, M., Jansen, H. & Timmermans, K. (2019). Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee. *Wageningen University & Research* (BO-43-023.03-005).

Visch, W., Nylund, G. M. & Pavia, H. (2020). Growth and biofouling in kelp aquaculture (Saccharina latissima): the effect of location and wave exposure. *Journal of Applied Phycology, 32*(5), 3199–3209. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02201-5

Vleet. (2020). Mosselteelt. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://www.vleet.be/nl/mosselteelt

Wageningen University & Research. (2022). Zeewier. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://www.wur.nl/nl/dossiers/dossier/dossier-zeewier.htm

WeerStationUithoorn. (2022). Zonnestand. Geraadpleegd op 26 januari 2023, van http://www.weerstationuithoorn.nl/weer/zonnestand.htm

Weiskerger, C. J., Rowe, M. D., Stow, C. A., Stuart, D. & Johengen, T. (2018). Application of the Beer–Lambert Model to Attenuation of Photosynthetically Active Radiation in a Shallow, Eutrophic Lake. *Water Resources Research, 54*(11), 8952–8962. https://doi.org/10.1029/2018wr023024

Xu, N., Wang, W., Xu, Y., Ji, D., Chen, C., Xie, C. & Xu, K. (2021). Effects of Nutrient Availability on the Release of Dissolved and Particulate Organic Carbon by *Pyropia haitanensis* and Its Implications. *Frontiers in Marine Science, 8*. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.696938

Bijlage 1

ZEEMOS JAAR 3 (2022-2023)

JAARPLAN

Abstract

De aanpak van jaar 3 van project ZEEMOS, waarbij de focus ligt op de invloed van licht en stikstof op zeewiergroei in de aanwezigheid van mosselhangcultuur.

Veerle van Merwijk

Inhoud

Introductie 1
Productielocatie Mattenhaven 2
Groeimetingen 4
Continu metingen 5
Meetcampagnes 5
Productielocatie Veerse Meer 6
Productielocatie Schelphoek 7
Bronnenlijst 8
Bijlagen 10
Bijlage 1: Protocol A, markeren specifieke wieren 10
Bijlage 2: Protocol B, startmeting (T0) 11
Bijlage 3: Protocol C, meetcampagnes 12
Bijlage 4: Protocol D, verlies plant 13

Introductie

In september 2020 is het driejarige onderzoek naar co-cultivatie met blauwe mossel (*Mytilus edulis*) en suikerwier (*Saccharina latissima*) opgericht door netwerkorganisatie het Living Lab Schouwen-Duiveland: Project ZEEMOS (Living Lab Schouwen-Duiveland, 2022; TKI Delta Technologie, 2022). Het project bestaat uit twee fases waarbij in fase 1 (jaar 1) de productielocaties worden gekarakteriseerd in termen van relevantie voor zeewier- en mosselkweek en in fase 2 (jaar 2 en 3) de focus op de interactie tussen mosselen en zeewier ligt. In het derde jaar van project ZEEMOS wordt specifiek gefocust op lichtintensiteit en stikstofbeschikbaarheid. Hierbij is de hoofdvraag:

In hoeverre wordt zeewiergroei beïnvloed door licht en/of stikstof in aanwezigheid van mosselen?

Voor het beantwoorden van de hoofdvraag zijn meerdere deelvragen opgesteld die met verschillende metingen beantwoord worden (tabel 1 & tabel 2). Deze meetmethodes worden in de komende hoofdstukken toegelicht.

Tabel 1: Deelvragen met bijbehorende metingen en sensoren. In tabel 2 staan de afkortingen toegelicht.

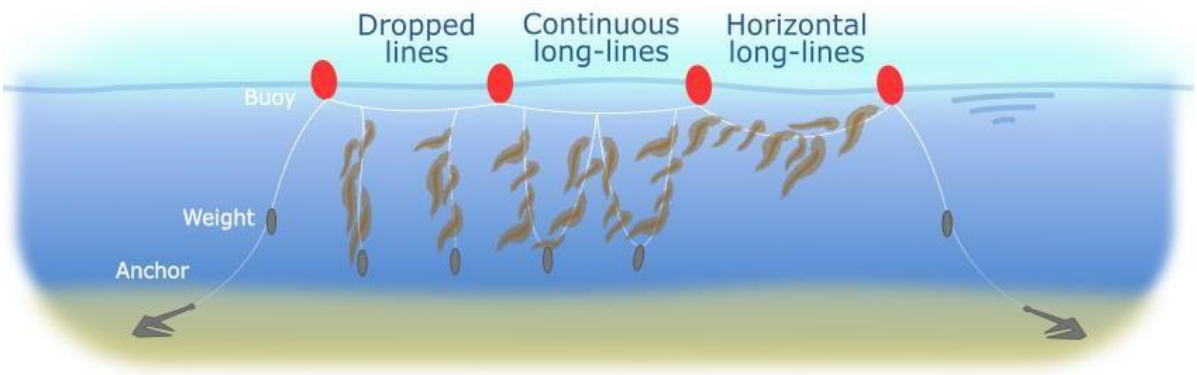
Metingen	Sensoren	Deelvragen
CM + MC	JFE + HOBO	Zorgen hangcultuurmosselen voor een lagere troebelheid en een hogere lichtintensiteit in de waterkolom?
WM	WM (in lab)	Wat is de samenstelling van het zwevend stof en hoe bepaalt dit de troebelheid?
CM + MC +GM	JFE + HOBO + Groei	Resulteren betere lichtomstandigheden in een betere groei en/of hogere productie van *Saccharina latissima*?
WM	WM (in lab)	Zorgen hangcultuurmosselen voor een hogere Total Inorganic Nitrogen concentratie in de waterkolom?
GM + WM	WM (in lab) + Groei	Resulteren hogere Total Inorganic Nitrogen concentraties in een betere groei en/of hogere productie van *Saccharina latissima*?
WM + BM	WM (in lab) + BM (in lab)	Resulteren hogere Total Inorganic Nitrogen concentraties in een lagere C:N ratio/hogere protein content van *Saccharina latissima*?
Alles	Alles	Heeft lichtintensiteit of Total Inorganic Nitrogen meer invloed op de groei en productie van *Saccharina latissima*?

Tabel 2: Afkortingen met betekenissen van tabel 1.

Metingen afkortingen	Metingen	Sensoren afkortingen	Sensoren
CM	Continu metingen	WM (in lab)	Watermonsters in laboratorium
MC	Meetcampagnes	BM (in lab)	Bladmonsters in laboratorium
GM	Groeimetingen	JFE	JFE meter (Chl-a & troebelheid)
WM	Watermonsters	HOBO	HOBO meter (lichtintensiteit & watertemperatuur)
BM	Bladmonsters	Groei	Groeimetingen zeewier (RGR)

Productielocatie Mattenhaven

Eind oktober/begin november is het uitgangsmateriaal in de vorm van touwen met daaromheen gewikkeld dunne touwen met *S. latissima* op 0,8-1,2 meter diep in de waterkolom uitgehangen. De lijnen variëren in lengte van 16,6 tot 22 meter (tabel 3) en zijn opgehangen in de vorm van "horizontal long-lines" (figuur 1). De lijnen zijn opgehangen tussen de zuidelijke mosselhangcultuur in de Mattenhaven (figuur 2). Eind november/begin december kan de T0 worden uitgevoerd. Hierbij worden ook de HOBO en JFE sensoren voor de continu metingen uitgehangen.



Figuur 1: Zeewierkweek schematisch "dropped lines", "continuous long-lines" en "horizontal long-lines" (Rootlieb, 2020).

Figuur 2: De Mattenhaven mosselhangcultuur. Blauw zijn de lijnen met M. edulis *en oranje zijn de lijnen met* S. latissima*. Bij lijn 7 en de referentielijn worden bij de zeewierlijn een JFE en een HOBO meter uitgehangen voor continu metingen.*

Aan de zuidkant van de Mattenhaven wordt bij de groeimetingen gekeken naar lijn 1, 6, 7 en 11a. Lijn 6 is later uitgehangen dan de andere lijnen zodat de groeiresultaten met verschillende uithangdata vergeleken kunnen worden tussen lijn 6 en 7 (tabel 3).

Op te merken is dat bij de lijn 10 oost zeewier (Glacilaria) van een andere partij (Onderwaterboeren) hangt en lijn 4 oost en beide lijnen bij 12a hangen te diep om *S. latissima* aan te hangen, dus deze lijnen zijn niet bezet met *S. latissima* voor het onderzoek. Verder is de westelijke lijn 6 verplaatst naar de ingang van de Mattenhaven als referentielijn van 16,6 meter lang (figuur 2).

Tabel 3: Gegevens van het uithangen van S. latissima *op de referentielocatie en tussen de zuidwestelijke mosselhangcultuur in de Mattenhaven.*

Zuid-West lijncodes	Lijn Lengte WEST (m)	Lijn Lengte OOST (m)	Kweek/Zaai Techniek	Uithangdatum	Geplande oogstdatum	Kweek Periode (dagen)
1	20	18	Twine	31-10-2022	30-4-2023	181
1a	17	20	Twine	28-10-2022	30-4-2023	184
2	20	20	Twine	28-10-2022	30-4-2023	184
3	16,6	16,6	Twine	14-11-2022	30-4-2023	167
4	20	Mossels te diep	Twine	31-10-2022	30-4-2023	181
5	20	18	Twine	31-10-2022	30-4-2023	181
6	(**referentie**) 16,6	16,6	Twine	14-11-2022	30-4-2023	167
7	16,6	20	Twine	28-10-2022	30-4-2023	184
8	22	20	Twine	28-10-2022	30-4-2023	184
9	21	21	Twine	28-10-2022	30-4-2023	184
10	21	Bezet	Twine	28-10-2022	30-4-2023	184
11	16,6	16,6	Twine	14-11-2022	30-4-2023	167
11a	20,5	20,5	Twine	14-11-2022	30-4-2023	167
12a	Mossels te diep	Mossels te diep	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Groeimetingen

In totaal worden vier groeimetingen uitgevoerd. In de tweede week van januari wordt tijdens de eerste tussenmeting van de groeimetingen (T1) de eerste meetcampagne met HOBO sensoren uitgevoerd. Bij de eindmeting van de groeimetingen (Teind) wordt de tweede meetcampagne met HOBO sensoren uitgevoerd (tabel 4).
Bij de startmeting (T0) en de eindmeting (Teind) worden op alle lijnen het aantal zeewierplanten binnen één meter geteld om een schatting van de mortaliteit van de planten over het groeiseizoen te maken. Daarnaast wordt bij de eindmeting een schatting van de totale productie per lijn gedaan door van iedere lijn alle planten binnen één meter te verzamelen en te wegen.

Tabel 4: Groeimetingen zonder (groen) en met (geel) meetcampagnes met HOBO sensoren.

Eind november/Begin december	Half januari	Begin maart	Eind april/Begin mei
T0	T1	T2	Teind

De groeiresultaten van alle geselecteerde lijnen binnen de Mattenhaven worden onderling vergeleken (figuur 2). Hierbij worden ook de resultaten van de continu metingen en meetcampagnes vergeleken.

Bij de groeimetingen wordt het bladoppervlak berekend. Na twee oppervlaktemetingen kan ook de Relative Growth Rate (RGR) bepaald worden. Voor de groeimetingen worden verschillende protocollen gebruikt die zijn overgenomen van het voorgaande onderzoek Mol et al. (2021):

- Protocol A: markeren specifieke wieren (bijlage 1)
- Protocol B: startmeting (T0) (bijlage 2)
- Protocol C: groeimonitoring (bijlage 3)
- Protocol D: verlies plant (bijlage 4)

Voor de groeimetingen worden op het midden van de geselecteerde lijnen binnen één meter tien zeewierplanten gekozen. De gekozen individuen worden gemarkeerd volgens protocol A: markeren specifieke wieren (bijlage 1), om bij ieder meetmoment dezelfde planten te kunnen meten. Na het merken van de wieren wordt de startmeting (T0) uitgevoerd volgens protocol B: startmeting (T0) (bijlage 2). De startmeting is de eerste meting voor de groei van het zeewier, waarbij voor het eerst verschillende lengtes en breedtes worden gemeten. In de meetcampagnes die volgen worden de lengtes en breedtes gemeten volgens protocol C: groeimonitoring (bijlage 3), waarmee het bladoppervlak wordt bepaald.
Het kan voorkomen dat door golven, stromingen of andere oorzaken een geselecteerde plant verloren gaat. Wanneer dit gebeurt, wordt een nieuwe plant geselecteerd om de monstergrootte op te vullen met behulp van Protocol D: verlies plant (bijlage 4).
Met de oppervlaktemethode wordt het totale bladoppervlak berekend. Hiervoor wordt ieder individu gemerkt en opgemeten in de totale lengte en in de breedte per 10 cm lengte van het blad. Bij de T0 zal vanwege de beperkte lengte de breedte per 5 cm lengte van het blad gemeten worden. Door de gemiddelde breedte te vermenigvuldigen met de totale lengte wordt het uiteindelijke bladoppervlakte berekend (Nielsen et al., 2014).

Tijdens de groeimetingen worden op dezelfde locaties ook watermonsters (voor de bepaling van vrije nutriënten en de samenstelling troebelheid met de gloeiverliesmethode) en bladmonsters op de lijnen waar we groeimetingen uitvoeren (voor de bepaling van eiwitgehalte en nutriëntensamenstelling) genomen. Ook wordt een watermonster voor vrije nutriënten bij de haveningang van de Mattenhaven genomen. De monsters worden door een andere partij (NIOZ) geanalyseerd op opgeloste nutriënten (N en P) .

Continu metingen

Bij lijn 7 en de referentielijn worden een HOBO meter en een JFE meter uitgehangen voor continu metingen (figuur 2). Dit wordt gedaan bij de nulmeting van de groeimetingen (T0). De HOBO sensoren voor de continu metingen hangen 0,5 meter diep en de JFE sensoren hangen 1,5 meter diep. Deze meterresultaten worden onderling vergeleken, waarbij rekening gehouden moet worden met lagere lichtopbrengsten vanwege mogelijke biofouling op de HOBO meter.

Meetcampagnes

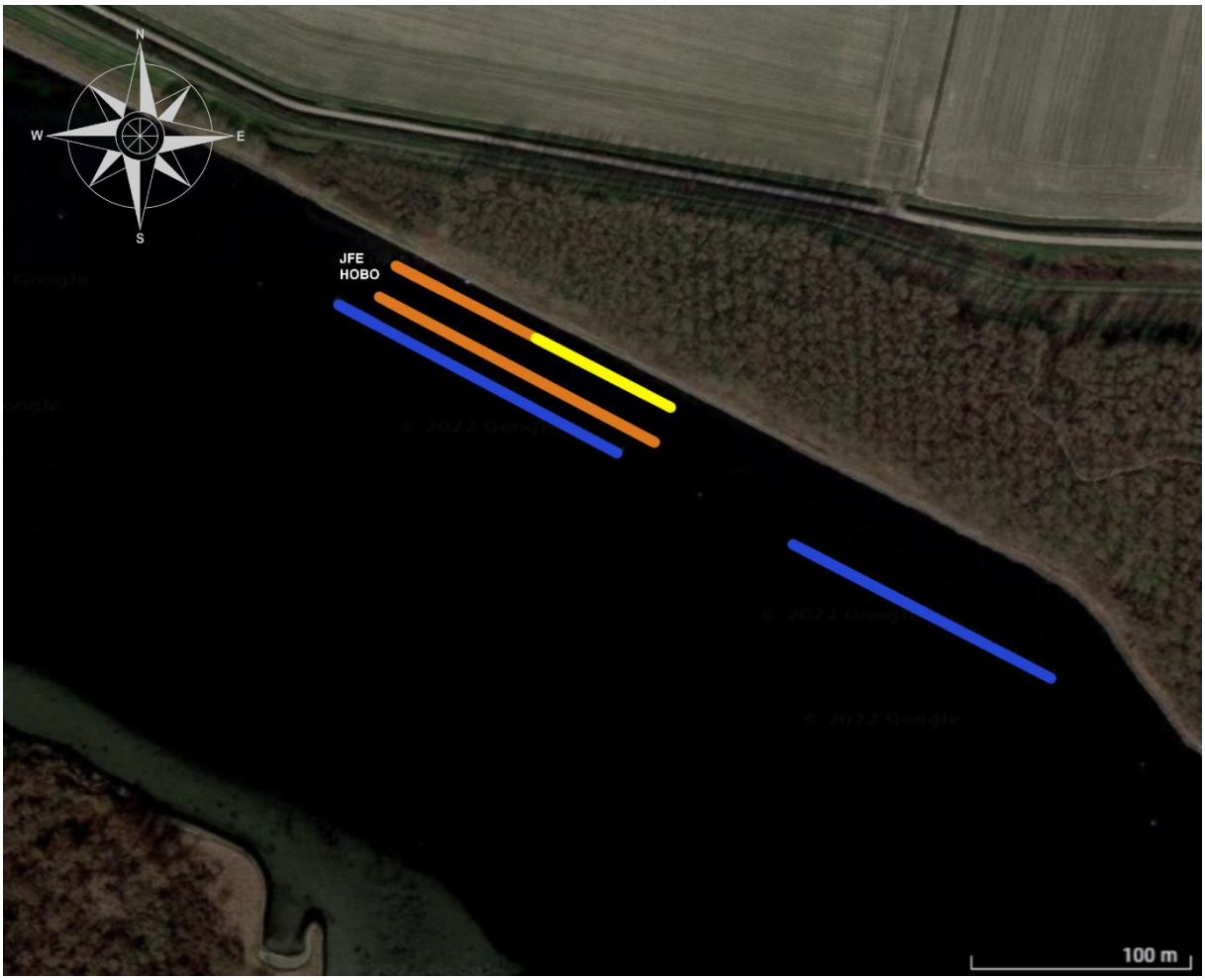
Meetcampagnes zijn belangrijk, omdat ze nauwkeurigere gegevens geven over een kortere periode dan continu metingen. Zo kunnen bij continu metingen de HOBO sensoren beslaan met algen en onnauwkeurigere metingen geven. Continu metingen zijn daarentegen van belang om een globaal overzicht te krijgen van de gegevens over een langere tijdsperiode.
Bij de meetcampagnes met de HOBO sensoren staat de volgende vraag centraal:

Beïnvloeden mosselen de lichtintensiteit in de waterkolom?

Om deze vraag te beantwoorden, worden HOBO sensoren binnen de Mattenhaven bij de referentielijn, lijn 7 en lijn 11a opgehangen (figuur 2).
Uit het onderzoek van Andersen (2013) bleek dat de lichtintensiteit significant verschilt tussen verschillende dieptes in de waterkolom en bij Visch et al. (2020) bleek er een verschil in nutriëntenprofielen tussen 2 en 5 meter diep in mei. Daarnaast zal bij een toename in diepte de biomassa van *S. latissima* afnemen (Bernard et al., 2019). Zowel een afname in diepte als co-cultivatie met mosselen resulteren in een toename in biomassa van *S. latissima* volgens Hargrave et al. (2022). Uit de resultaten van Stekoll et al. (2021) bleek de optimale diepte voor initiële groei van *S. latissima* zich vlak onder de wateroppervlak te bevinden en later in het seizoen groeiden dieper hangende *S. latissima* planten beter vanwege de lagere temperatuur in diepere wateren in de zomer. Ofwel de diepte beïnvloedt de lichtintensiteit en biomassa van *S. latissima*, dus in dit onderzoek worden HOBO sensoren bij de meetcampagnes op alle locaties op 0,5 en 1,5 meter gehangen. De temperatuur en lichtintensiteit worden iedere 10 minuten gelogd.

Productielocatie Veerse Meer

5 en 6 november is het uitgangsmateriaal in de vorm van touwen met daaromheen gewikkeld dunne touwen met *S. latissima* op 0,8-1,2 meter diep in de waterkolom uitgehangen op de productielocatie. Begin december wordt hier de T0 uitgevoerd. Wanneer de T0 wordt uitgevoerd, worden een HOBO meter en een JFE meter bij de lijn geplaatst (figuur 3). De HOBO meter hangt 0,5 meter diep en de JFE hangt 1,5 meter diep.



Figuur 3: Het Veerse Meer mosselhangcultuur. Blauw zijn de lijnen met M. edulis*, oranje zijn de lijnen met* S. latissima *en geel is wat leeg hangt en waar in december ander zeewier voor een ander onderzoek komt. Bij de lijnen met* S. latissima *worden een JFE en HOBO meter uitgehangen voor continu metingen.*

De methode voor de groeimetingen is gelijk aan die in de Mattenhaven. Ook hier worden op het midden van de lijnen met *S. latissima* binnen één meter tien zeewierplanten gekozen. Als het mogelijk is, worden de groeimetingen ongeveer rond dezelfde tijd als de groeimetingen in de Mattenhaven gedaan, zodat deze onderling vergeleken kunnen worden. Tijdens de groeimetingen worden net als in de Mattenhaven watermonsters (voor de bepaling van vrije nutriënten en de samenstelling troebelheid met de gloeiverliesmethode) en bladmonsters (voor de bepaling van eiwitgehalte en nutriëntensamenstelling genomen. De monsters worden door een andere partij (NIOZ) geanalyseerd.

Productielocatie Schelphoek

Eind oktober/begin november is het uitgangsmateriaal wat bestaat uit wakame (*Undaria pinnatifida*) uitgehangen. In de Schelphoek worden alleen continu metingen gedaan. Hiervoor wordt op 21 november zowel aan de noord- als zuidkant van de kweekopstelling een NORTEK stromingsmeter geplaatst. Aan de zuidkant van de opstelling wordt begin december een JFE meter geplaatst, wanneer de stromingssensoren worden opgehaald (figuur 4).

*Figuur 4: De Schelphoek zeewierkwekerij met in het rood wakame (*U. pinnatifida*). Aan de noord- en zuidkant van de opstelling worden NORTEK stromingssensoren uitgehangen en aan de zuidkant wordt een JFE meter uitgehangen.*

Bronnenlijst

Andersen, G. S. (2013). Growth, survival and reproduction in the kelp *Saccharina latissima* Seasonal patterns and the impact of epibionts. *Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo* (ISSN 1501-7710).

Bernard, M. S., Jansen, H., Werf, A., Van der Meer, I. & Van der Tonk, L. (2020). Development of offshore seaweed farming: ecology & cultivation. *Wageningen Marine Research, Wageningen University & Research* (C054/20). https://www.wur.nl/nl/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-353638303938

Hargrave, M. S., Nylund, G. M., Enge, S. & Pavia, H. (2022). Co-cultivation with blue mussels increases yield and biomass quality of kelp. *Aquaculture*, *Volume 550*.

Living Lab Schouwen-Duiveland. (2022). *Zeemos*. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://livinglabschouwen-duiveland.nl/projecten/zeemos

Mol, A., Heringa, J. & Niemeijer, L. (2021). *ZEEMOS Jaar II - Protocol kwantificeren zeewiergroei*. Onderzoeksprotocol, Hogeschool Zeeland.

Nielsen, M. M., Krause-Jensen, D., Olesen, B., Thinggaard, R., Christensen, P. B. & Bruhn, A. (2014). Growth dynamics of Saccharina latissima (Laminariales, Phaeophyceae) in Aarhus Bay, Denmark, and along the species' distribution range. *Marine Biology, 161(9),* 2011–2022. https://doi.org/10.1007/s00227-014-2482-y

Rootlieb, J. (2020). *Interactions in Combined Blue Mussel and Sugar Kelp Cultures*. Bachelor Thesis, Hogeschool Zeeland.

Stekoll, M. S., Peeples, T. N. & Raymond, A. E. T. (2021). Mariculture research of *Macrocystis pyrifera* and *Saccharina latissima* in Southeast Alaska. *Journal of the World Aquaculture Society*, *52*(5), 1031–1046. https://doi.org/10.1111/jwas.12765

TKI Delta Technologie. (2022). *ZEEMOS – Combinatie ZEEwierenteelt – hangcultuurMOSselen*. Geraadpleegd op 22 september 2022, van https://tkideltatechnologie.nl/project/zeemos-combinatie-zeewierenteelt-hangcultuurmosselen/

Visch, W., Kononets, M., Hall, P. O., Nylund, G. M. & Pavia, H. (2020). Environmental impact of kelp (*Saccharina latissima*) aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*, *155*, 110962. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110962

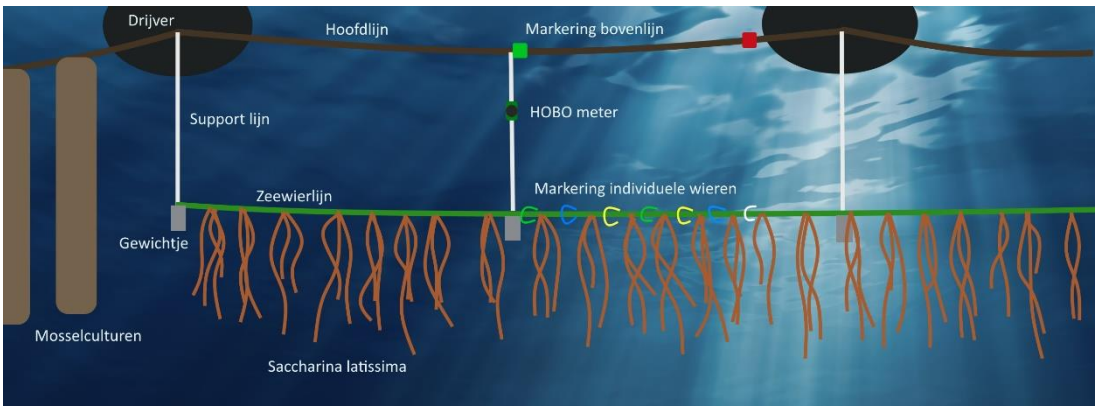
Bijlagen

Bijlage 1: Protocol A, markeren specifieke wieren

Het zeewier groeit aan lijnen. Dit groeiseizoen, oktober 2022 tot mei 2023, is het doel om bij individuele planten de groei te monitoren. Daarom moeten bij de meetcampagnes telkens dezelfde wieren gemeten worden en de gekozen wieren gemerkt moeten worden. Op de lijnen groeien de zeewierplanten in clusters van 20-50 wieren bij elkaar, waarna een stuk lijn zonder zeewiergroei zichtbaar is. Dit patroon herhaalt zich op heel de lijn.

1. Neem alle benodigdheden voor de metingen mee in de boot.
2. Vaar naar de testlocatie. Begin bij een van de uitgehangen zeewierlijnen.
3. Markeer de hoofdlijn bij een wit support touwtje (figuur 6) met een groene tie wrap. Dit zal de start van de te meten wieren aanduiden.
4. Haal de zeewierlijn bij dit wit support touwtje naar het oppervlak.
5. Nummer de tie wraps naar het aantal planten van je monstergrootte.
6. Selecteer op deze lijn, dicht bij dit touwtje, een cluster wieren.
7. Markeer deze individuele clusters wieren door aan de voorzijde van deze cluster wieren een tie wrap met tag te binden (figuur 5). Deze wieren zullen het seizoen (oktober 2022 tot mei 2023) gemeten worden.
8. Noteer van iedere cluster wieren het identiteitsnummer en de kleur tie wrap in de datasheet.
9. Herhaal dit protocol vanaf stap 6 per lijn vijf tot tien keer.
10. Als de van tevoren bepaalde monstergrootte is gemarkeerd, kunnen de wieren weer in het water worden gehangen.
11. Markeer als laatste de hoofdlijn met een rode tie wrap. Dit geeft het eindpunt van de gemarkeerde wieren aan.

Figuur 5: Voorbeeld individuele markering zeewier plant.

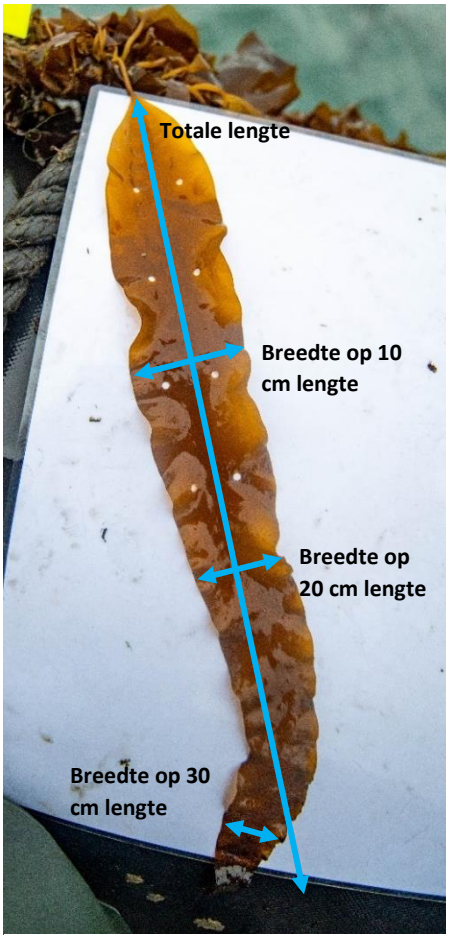


Figuur 6: Schematische weergave van het ophangsysteem van het zeewier in de Mattenhaven.

Bijlage 2: Protocol B, startmeting (T0)

Dit protocol alleen uitvoeren aan het begin van het onderzoek. Deze metingen gelden als T0 meting.

1. Begin nu met de startmetingen. Ieder gemarkeerde cluster wieren ondergaat de volgende stappen van het protocol.
2. Kies een blad uit het cluster geselecteerde wieren.
3. Meet en noteer de lengte van het blad, exclusief de steel.
4. Meet en noteer de breedte op iedere 10 cm van het blad, exclusief de steel, zoals in figuur 7 afgebeeld.
5. Herhaal dit protocol vanaf stap 2 voor alle vijf tot tien bladeren per te onderzoeken lijn.
6. Herhaal dit voor iedere zeewierlijn.



Figuur 7: Overzicht oppervlakte methode.

Bijlage 3: Protocol C, groeimonitoring

Dit is het protocol voor iedere groeimonitoring die volgt na de startmeting tot het eind van het onderzoek.

1. Neem alle benodigdheden mee in de boot.
2. Vaar met de boot naar de testlocatie.
3. Begin bij een van de te meten zeewierlijnen.
4. Zoek het groene label aan de hoofdlijn. Dit label is het startpunt waar de gemarkeerde wieren te vinden zijn.
5. Zoek de te meten bladeren op en controleer of alle bladeren nog aanwezig zijn.
    - Ja, start dan met stap 6 uit dit protocol.
    - Nee, start dan met stap 6 uit dit protocol en ga daarna door met Protocol D; verlies plant.
6. Meet en noteer de lengte van het blad, exclusief de steel, zoals in figuur 7 afgebeeld.
7. Meet en noteer de breedte op iedere 10 cm van het blad, exclusief de steel, zoals in figuur 7 afgebeeld. Meet bij een bladlengte van <10 cm op twee punten de lengte.
8. Herhaal dit protocol vanaf stap 6 voor alle vijf tot tien bladeren per te onderzoeken lijn.
9. Herhaal dit voor iedere zeewierlijn.

Bijlage 4: Protocol D, verlies plant

Dit protocol is voor als een plant van de meetlocatie verloren is gegaan. Dit kan plaatsvinden door golven, stroming of andere onbekende oorzaken. Om dit gat in de monstergrootte op te vullen, zal een nieuwe plant gemerkt moeten worden. Het is hierbij van belang dat deze gelijkwaardig is aan de verloren plant.

1. Verwijder de markering waar het verloren blad zat.
2. Selecteer een nieuwe cluster met zeewieren, aansluitend op de laatst gemarkeerde cluster op die zeewierlijn.
3. Schrijf een identificatienummer op de tag van de tie wrap en noteer dit nummer en de kleur van de tie wrap in de datasheet bij plant X.
4. Markeer dit cluster wieren door middel van een genummerde tie wrap zoals in figuur 5 afgebeeld.
5. Selecteer een individueel blad, gelijkwaardig in lengte en breedte aan de verloren plant.
6. Meet en noteer de lengte van het blad, exclusief de steel, zoals in figuur 7 afgebeeld.
7. Meet en noteer de breedte op iedere 10 cm van het blad, exclusief de steel, zoals in figuur 7 afgebeeld.
8. Herhaal dit protocol naar het aantal verloren wieren op de zeewierlijn.
9. Neem een foto ter documentatie.
10. Hierna wordt deze plant mee opgenomen in de meetcampagnes en wordt protocol Deel C: Protocol meetcampagnes gevolgd.

Bijlage 2

Protocol zwevend stof en POM bepaling

Totaal zwevend stof (drooggewicht) en POM:

- Weeg een Whatman GF/C filter (voorgeast in asoven, 2u op 400°C) voor in een aluminium schaaltje op een analytische balans. (W_0)
- Het filter altijd met een pincet behandelen: nooit met je handen!
- Filtreer een bekend volume algensuspensie (V) over het filter m.b.v. een vacuümpomp. Monster eerst homogeniseren!
    - Zorg dat je niet teveel tegelijk filtreert, het filter moet niet verstoppen.
    - Tegelijkertijd moet er wel een duidelijk zichtbare kleur op het filter zitten.
- Spoel het filter na met gedemineraliseerd water
- Plaats het filter vervolgens 24 uur in de droogstoof op 80°C
- Weeg het schaaltje met filter na afkoeling op de analytische balans (W_z)

Zwevend stof in g/l = $\frac{W_z - W_{0eentj}}{V}$

Waarbij:

W_z = *gewicht van bakje + filter + algen na drogen in droogstoof (in g)*

W_0 = *gewicht van bakje + leeg filter in mg*

V = *volume van de gefiltreerde algensuspensie in L*

- Vouw het aluminium bakje met het droge filter dicht (W_z)
- Plaats het gedurende 1 uur in de voorverwarmde asoven op 400°C
- Weeg na afkoeling het bakje + filter op de analytische balans (W_a)

$$AFDW = \frac{(W_z - W_0) - (W_a - W_0)}{V}$$

Waarbij:

AFDW = *asvrijdrooggewicht of POM in g/l*

W_a = *gewicht bakje + filter + algen na verassing in oven (in g)*

Bijlage 3

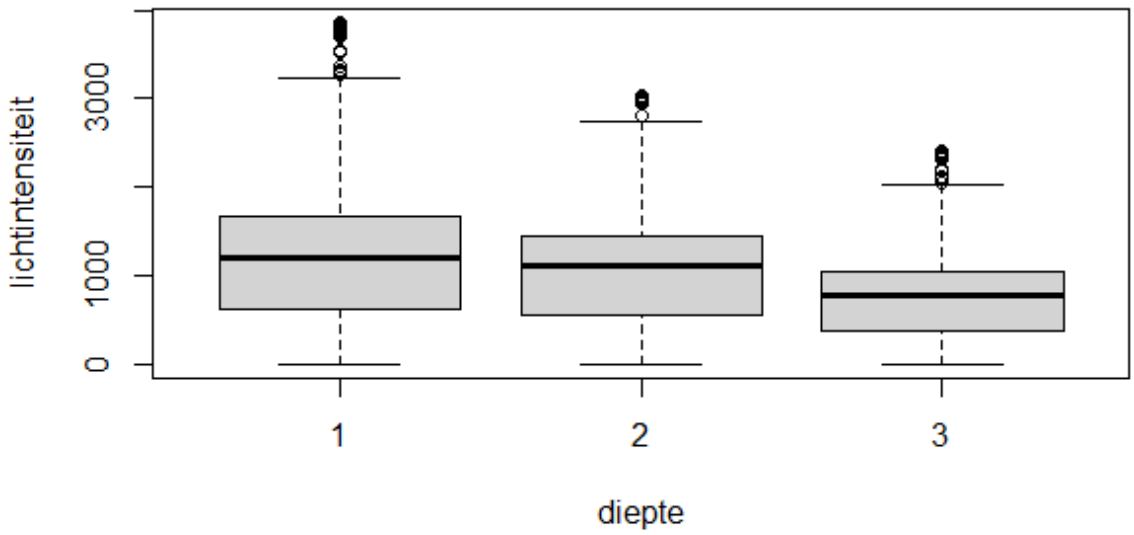
In deze bijlage staat de tabel met de groeimetingen van *S. latissima* van december 2022 en januari 2023 (tabel b3.1).

Tabel b3.1: Gemiddelde lengte- en breedtemetingen en de bijbehorende oppervlakte van T0 (december 2022) en T1 (januari 2023) en de RGR (Relative Growth Rate) lengte en oppervlakte van S. latissima *op de lijnen binnen de productielocaties het Veerse Meer (VM) en de Mattenhaven (MH).*

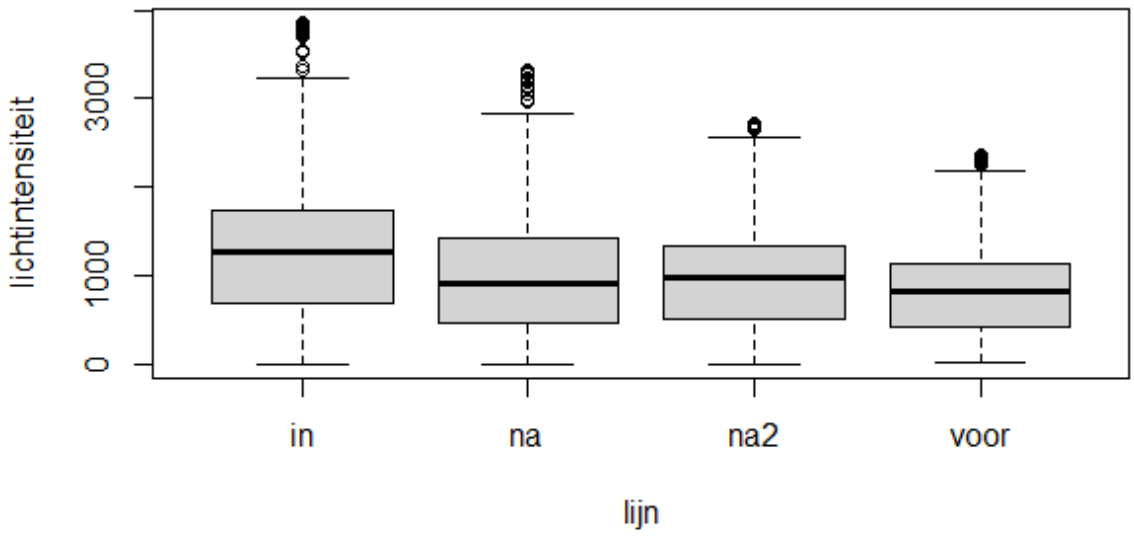
Locatie	Lijn	Gemiddelde lengte (cm) T0	Gemiddelde breedte (cm) T0	Gemiddelde oppervlakte (cm^2) T0	Gemiddelde lengte (cm) T1	Gemiddelde breedte (cm) T1	Gemiddelde oppervlakte (cm^2) T1	Gemiddelde RGR length (% day−1) T0-T1	Gemiddelde RGR Opp (% day−1) T0-T1
VM	West	5,79	1,62	10,31	11,19	2,45	27,96	1,98	3,15
VM	Oost	11,60	2,09	26,63	14,65	3,09	47,97	0,81	2,00
MH	Ref.	8,53	2,23	20,81	16,74	3,22	55,60	2,75	4,18
MH	1A	12,62	2,17	33,85	24,74	3,79	99,83	3,00	5,82
MH	6	7,06	2,06	16,81	16,68	3,22	58,94	2,75	4,19
MH	7	10,18	2,39	25,80	20,40	3,76	82,86	2,77	4,53
MH	11	8,32	1,48	12,24	16,22	3,54	60,39	2,49	6,18

Bijlage 4

In deze bijlage staan de boxplots uit Rstudio van de lichtresultaten van november 2020 (figuur b4.1; figuur b4.2).



Figuur b4.1: Boxplot van de gemeten lichtintensiteit per diepte in de waterkolom.



Figuur b4.2: Boxplot van de gemeten lichtintensiteit per locatie ten opzichte van de mosselhangcultuur in de Mattenhaven.