



Effecten van mosselhangculturen op biodiversiteit, bodemgesteldheid en waterkwaliteit

Een situatieschets van hangculturen in de Grevelingen

Auteur(s): Romy Lansbergen & Jacob Capelle

Wageningen University &
Research rapport C032/22

Effecten van mosselhangculturen op biodiversiteit, bodemgesteldheid en waterkwaliteit

Een situatieschets van hangculturen in de Grevelingen

Auteur(s): Romy Lansbergen & Jacob Capelle

Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research
Yerseke, juni 2022

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C032/22

Keywords: Ecosysteem effecten mosselhangcultuur, Grevelingen

Opdrachtgever: Staatsbosbeheer
T.a.v.: Christine Lammerts
Haven van Bommenede 1
4316 PC Zonnemaire

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/571640>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur
bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V32 (2021)

Inhoud

1	Samenvatting	4
2	Inleiding	6
	2.1 Doelstelling	6
3	Hangculturen en MZI's in de Nederlandse (Delta) wateren	7
	3.1 Hangcultuur	9
	3.2 MZI's	10
	3.3 Kweek procedure hangculturen	11
4	Effecten van hangcultuur/MZI op de bodem, onder en nabij de kweekstructuren	12
	4.1 Effecten op samenstelling bodem	12
	4.2 Productie van organisch materiaal	12
	4.3 Verspreiding van biodepositie	13
	4.4 Resuspensie	14
	4.5 Biologische afbreekbaarheid	15
5	Effecten van mosselhangcultuur op biodiversiteit	16
	5.1 Effecten op samenstelling en verandering bentische macrofauna, flora en microbiom	16
	5.2 Effecten structuren op biodiversiteit op en tussen het substraat, rekening houdend met effecten van het kweekproces	18
	5.3 Rol van hangculturen/MZI's als rustplek en voedsel voor zeezoogdieren en vogels	19
	5.4 Rol van hangculturen/MZI's op voorkomen en verspreiding van exoten	20
6	Effecten van hangcultuurkweek op de waterkwaliteit	21
	6.1 Verzuring	21
	6.2 De rol van mosselen in de nutriënten kringloop	21
	6.3 De rol van mosselen in de helderheid van de waterkolom	23
7	Discussie en conclusie	24
	Literatuur	27

1 Samenvatting

De Nederlandse delta is een uniek ecosysteem waarin natuur en menselijke activiteiten samenkomen. We hebben er veel aan veranderd in de afgelopen decennia er zijn dammen, dijken en sluizen gebouwd. Ook zijn er steeds meer activiteiten die plaats vinden in de delta. Schelpdieren hebben een groot effect op hun leef omgeving, het zijn biobouwers die riffen vormen en het water filteren. De combinatie van natuurlijke mosselbanken en mossel cultivatie kan voor merkbare effecten zorgen in het ecosysteem.

Het doel van deze studie is om aan de hand van literatuur analyse de effecten van hangcultuur mosselen in het Grevelingenmeer inzichtelijk te maken en kennislacunes te definiëren. Sinds de afdamming van het Grevelingenmeer in de jaren '70 door de bouw van de Grevelingendam en de Brouwersdam is de ecologie in het gebied zeer sterk veranderd. Het werd het grootste zoutwater meer van west Europa, echter ging het al vrij snel minder goed met de waterkwaliteit in het gebied, veel diersoorten verdwenen door de afsluiting, maar door de opening in de Brouwersluis in 1978 is er weer meer verversing van water in het gebied wat voor een verbetering in waterkwaliteit heeft gezorgd. Echter zijn er nog steeds veel dingen onduidelijk over de effecten van het menselijk handelen in het Grevelingenmeer. De Nederlandse mosselkweek vindt voor het grootste deel plaats op bodempercelen, echter is er onder andere in de Grevelingen ook een kleine hoeveelheid mosselhangcultuurkweek. Deze mosselen interacteren op een andere manier met het ecosysteem dan de mosselen op de bodempercelen. Vanwege het gebrek aan data in de Grevelingen gebruiken we hiervoor voornamelijk internationale bronnen en proberen we een vergelijking te maken met de resultaten uit eerder onderzoek om de bevindingen toe te passen op de huidige situatie in de Grevelingen. Ongeveer 3% van de Nederlandse mosselen komen van hangculturen. Doordat de hangcultuur mosselen de bodem niet raken hoeven ze niet verwaterd te worden en hebben ze minder last van bodem predatoren zoals krabben en zeesterren. De mosselen hangen in katoenen "sokken" in loops boven de bodem aan boeien. Zowel de bodem als de hangcultuur mossel kwekers zijn afhankelijk van mosselzaad voor productie. Dit word gedaan door Mosselzaadinvanginstallaties (MZI's), welke ook in de water kolom hangen, echter bevinden deze zich vaak in meer dynamische gebieden dan de hangculturen. Ondanks dat de mosselen de bodem niet fysiek aanraken hebben ze er wel een effect op. De (pseudo)feces van de mosselen komen via biodepositie wel degelijk op de bodem terecht en dat kan voor organische verrijking zorgen. Dit is afhankelijk van verschillende omstandigheden in het gebied, zoals stroming, en saliniteit maar ook van de biologische afbreekbaarheid van de biodepositie en de concentratie, ofwel de dichtheid van de mosselkweek. Naast de effecten op de bodem heeft het kweekproces ook effecten op de verdere biodiversiteit. Zo vormen het hangcultuur systeem een hardsubstraat voor andere organismen die zich kortstondig daar op kunnen vestigen, tot de hangcultuur geoogst wordt en schoon wordt gemaakt. Ook vallen er nog wel eens wat mosselen van de lijnen af welke voedsel kunnen opleveren voor bodemdieren, ook mag er rond om een hangcultuur perceel niet gevist worden wat betekent dat deze gebieden als een soort Marine Protected Area (MPA) kunnen fungeren. De productie van het organisch materiaal door mossel hangculturen kan lokale gevolgen hebben voor de nutriënt en zuurstof huishouding het gebied. Wanneer er een te grote toevoer van organisch materiaal op een plek is kan dit leiden tot eutrofiëring en lokale zuurstofloosheid. Wanneer er te weinig zuurstof op de bodem is veranderd het microbiom en de bacterie samenstelling. Anaerobe bacteriën kunnen sulfaat omzetten in waterstof sulfide wat een zeer giftige stof is voor organismen. Wanneer er een te grote hoeveelheid aan organisch materiaal zich ophoopt zal dit de biodiversiteit ernstig aantasten, dit gebeurt meestal in gebieden waar stratificatie optreedt in de zomer. In meer dynamische gebieden is dit risico minder. Doordat mosselen filterende organismen zijn hebben zij een effect op de basis van de voedselketen, ze filteren het water wat voor helderheid kan zorgen, wanneer het doorzicht van het water beter wordt kan er meer zonlicht in het water komen wat voor een hogere productie van fytoplankton kan zorgen. Echter kunnen mosselen de waterkwaliteit ook negatief beïnvloeden wanneer er te veel biodepositie is. Dit is afhankelijk van de hoeveelheid filterende organismen in een systeem. Zowel natuurlijke als kweekbestanden kunnen het systeem behoorlijk beïnvloeden. Ook de natuurlijke status van een systeem is van invloed en de effecten zijn ook afhankelijk van verschillende positieve als negatieve feedback mechanismen. Wat

duidelijk naar voren kwam in deze literatuurstudie is dat de mogelijke effecten (zowel positief als negatief) erg afhankelijk zijn van de omgeving en de abiotische factoren waarin de hangcultuur zich bevindt. In voorliggende studie worden ten slotte ook de voornaamste kennisleemtes voor dit onderwerp geïdentificeerd, dat betreft vooral het in kunnen schatten van effecten van biodepositie en filtratie. De hangcultuur mosselen in de Grevelingen beslaan een gebied van 10 hectare. In dit rapport komt naar voren dat een groot deel van de mogelijke effecten (zowel positief als negatief) van hangculturen op het ecosysteem te maken hebben met de lokale omgeving en abiotische factoren. Ook zijn er nog veel kennisleemtes als het gaat om de effecten van biodepositie en filtratie. Daarnaast moet er ook met het oog op de toekomst rekening worden gehouden dat deze omgevingsfactoren in de Grevelingen zullen gaan veranderen indien er een grotere doorlaat in de brouwersdam wordt gemaakt en hiermee de terugkeer van getij in de Grevelingen.

2 Inleiding

Ecosystemen, en daarmee natuurgebieden, zijn onmisbaar voor onze leefomgeving, omdat biodiversiteit deze in balans houdt (LNV, 2019). Beschermde Europese topnatuur zoals Natura 2000 gaat gemiddeld genomen achteruit (Adams, 2020). Staatsbosbeheer werkt aan het beschermen, herstellen en ontwikkelen van robuuste en veerkrachtige ecosystemen. Om dat te kunnen doen is een goede kennis van de werking van deze ecosystemen onontbeerlijk. Vanuit die achtergrond en vanwege hun beheerverantwoordelijkheden in het Grevelingenmeer en andere Deltawateren vindt Staatsbosbeheer het van belang om de invloed van schelpdierkweek en specifiek hangculturen op het ecosysteem beter te begrijpen. Omdat dit in Nederland niet de voornaamste methode van mosselkweek is, zijn over de effecten hiervan in Nederlandse wateren nog weinig bekend. Het gaat hierbij onder andere om effecten van schelpdierkweek op biodiversiteit, bodemgesteldheid en waterkwaliteit.

Schelpdieren kunnen een grote impact op hun omgeving hebben omdat het biobouwers zijn en het water filtreren. (Smaal, 2019). Het is daarom te verwachten dat de kweek van schelpdieren al snel leidt tot merkbare effecten op het omringende ecosysteem. Mosselkweek in de waterkolom met mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) en hangculturen (MHC's) kunnen zowel negatieve gevolgen (ecosysteem impacts) als positieve effecten (ecosysteemdiensten) hebben voor het ecosysteem functioneren. Een voorbeeld van een impact zijn deposities van (pseudo) feces onder de hangculturen, die kunnen leiden tot een grotere zuurstof vraag op de bodem. Voorbeelden van ecosysteemdiensten zijn het zorgen voor een hogere biodiversiteit en het verbeteren van de waterkwaliteit. Om tot een goed beheer van een gezond ecosysteem te komen is het van belang zowel de positieve als negatieve interacties goed in kaart te brengen.

In voorliggende literatuurstudie is een overzicht gemaakt van de bestaande kennis en kennislacunes over mosselhangculturen op biodiversiteit, bodemgesteldheid en waterkwaliteit. Het gros van de onderliggende gegevens zal, daar waar het relevante processen betreft uit internationale publicaties gehaald worden. De uitkomsten worden vervolgens gerelateerd aan het perspectief van de Zeeuwse Deltawateren met de focus op het Grevelingenmeer.

2.1 Doelstelling

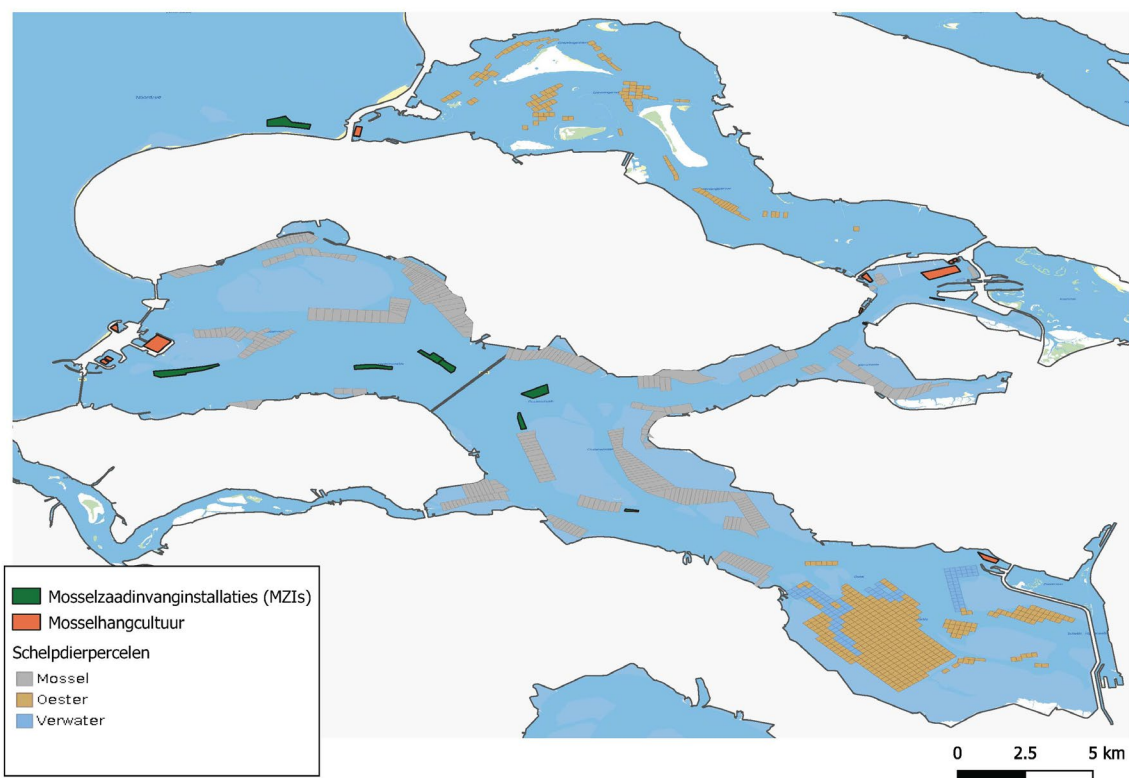
Het doel van deze literatuur studie is het inzichtelijk krijgen van de effecten van hangcultuur mosselkweek op de omgevingen in Nederlandse wateren waarbij vooral gekeken word naar:

- Bodem gesteldheid
- Biodiversiteit
- Waterkwaliteit

Daarnaast worden de kennis leemtes over het effect van hangculturen in Nederland in kaart gebracht. In het buitenland is er al meer onderzoek gedaan naar de effecten van hangcultuur mosselen op de omgeving echter zal deze kennis niet altijd overeen komen met de lokale situatie in de Nederlandse delta wateren. In dit rapport word hier meer inzicht in gegeven.

3 Hangculturen en MZI's in de Nederlandse (Delta) wateren

Wereldwijd is er een stijging in de vraag naar duurzaam geproduceerd voedsel. Een hogere productie van voedsel belast het milieu, maar duurzaam voedsel beschermt de ecologische systemen en voorziet in de voedingsbehoefte van mensen nu en in de toekomst (RIVM, 2017). Schelpdieren worden gezien als een relatief duurzame eiwitbron (Yaghubi et al., 2021), hierdoor is er sprake van een sterke mondiale stijging in aquacultuurproductie. Terwijl mondiaal de productie van schelpdieren al jaren sterk stijgt is er in Europa sprake van een stagnatie/afname van de schelpdierproductie (Avdelas et al., 2021). In Nederland is de productie van schelpdieren al een eeuwenoude traditie. De schelpdiervisserij en -kweek gebeurt in Nederland vooral in de zoute wateren van de Zuidwestelijke Delta (Figuur 1) en in de Waddenzee. Aangezien dit drukke gebieden zijn waar ook veel andere medegebruikers en functies zijn, denk aan toerisme, natuur en scheepvaart, is het belangrijk dat de effecten van schelpdiervisserij en -kweek worden gemonitord en in kaart worden gebracht. De beperkte hoeveelheid ruimte in Nederland en met name de claims op deze ruimte is overigens een van de redenen dat er sprake is van stagnatie in de productie over de afgelopen decennia (Avdelas et al. 2021).



Figuur 1. Schelpdierproductiegebieden in de Zuidwestelijke Delta

In Nederland is de mossel (*Mytilus edulis*) het meest gekweekte schelpdier. Ongeveer 50 bedrijven die praktisch allemaal opereren vanuit Zeeland houden zich bezig met het kweken van mosselen in Nederlandse wateren (FAO, 2007-2021). De mossel komt van nature in Nederland voor en wordt sinds de tweede helft van de 19^{de} eeuw gekweekt in de bodemcultuur op van de overheid gepachte percelen. Om conflicten tussen mosselvisserij op te lossen, werd er een systeem bedacht waarbij vissers percelen exclusief konden huren, hierdoor ontstond in 1870 de bodemcultuur voor schelpdieren in Nederland (Van Ginkel, 1991). De kweek op bodempercelen is sinds die tijd de meest gebruikte

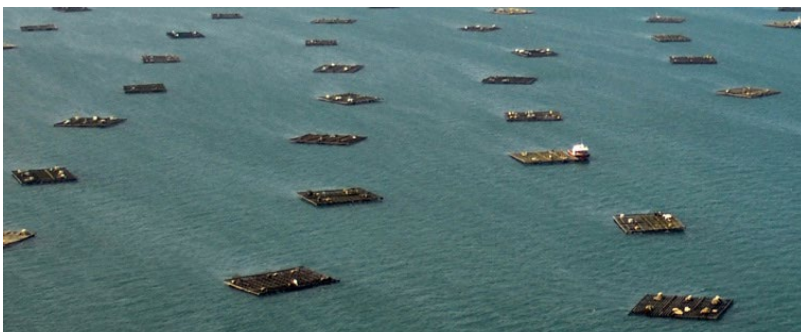
vorm van schelpdierkweek in Nederland (Figuur 2), anders dan in de rest van de EU waar het gros van de mosselkweek plaatsvindt in hangculturen, vlotcultuur en in bouchotcultuur, zie Figuren 2 t/m 5 (Avdelas et al., 2021). Van de jaarlijkse oogst van ongeveer 50.000 ton mosselen in Nederland is 700 ton afkomstig van hangculturen. Er wordt verwacht dat de hangcultuurkweek in Nederland de komende jaren zal toenemen (De Koning en Trul, 2020), vanwege de potenties in offshore windmolenparken en in de Voordelta. In windmolenparken geldt over het algemeen een visverbod, echter geldt dit niet voor passieve visserij. Daarom wordt er nu veel gekeken naar de mogelijkheden van meervoudig ruimtegebruik binnen de windmolenparken in de vorm van hangculturen, maar ook bijvoorbeeld in combinatie met zeewierteelt.



Figuur 2. Bodempercelen in Nederland (foto: Douwe van den Ende, Wageningen Marine Research)



Figuur 3. Hangcultuurmosselen worden in een "sok" opgehangen onder een drijvende lijn (Bakker 2021)



Figuur 4. Vlottenkweek in Galicia (Mejillón de Galicia, 2022)



Figuur 5. Bouchotmosselcultuur waarbij de mosselen op staande palen in een intergetijdengebied worden gecultiveerd, vooral gangbaar in Frankrijk (Grant et al., 2012)

3.1 Hangcultuur

Mosselkwekers die gebruik maken van hangcultuur zijn verenigd in de vereniging van hangcultuurkwekers. Op dit moment telt deze vereniging 15 leden, deze zijn samen verantwoordelijk voor ongeveer 3% van de in Nederland gekweekte mosselen. Er zijn 4 bedrijven die in de Grevelingen mosselen via hangcultuur telen, daarnaast zijn er 2 bedrijven in het Veerse Meer, 1 bij Neeltje Jans en ca. 10 in de Oosterschelde. Het kweken in hangcultuur heeft een aantal voordelen in vergelijking met de traditionele bodemcultuur. Allereerst, omdat de hangculturen de bodem niet raken is er relatief weinig predatie van bodemdieren zoals zeesterren en krabben. Dit heeft ook als voordeel dat de mosselen minder zand en slib binnen krijgen, de hangcultuurmosselen hoeven dan ook niet verwaterd te worden zoals de bodemcultuurmosselen om het zand en slib dat de mosselen daar binnen krijgen eruit te spoelen (Greutink, 2006). Katoenen sokken worden gebruikt om de mosselen in te sokken waardoor ze de mogelijkheid krijgen zich aan de touwen te hechten. Het sok materiaal is van katoen, dat is biologisch afbreekbaar en lost in een korte periode compleet op. Wel moeten de mosselen af en toe uitgedund worden zodat de mosselen ruimte krijgen om verder te groeien. Omdat hangcultuurmosselen hoger in de waterkolom meer licht en dus ook meer voedsel tot hun beschikking hebben, groeien ze sneller uit tot consumptiemosselen dan mosselen die op de bodempercelen worden gekweekt. Ondanks deze voordelen worden de hangculturen dus nog maar weinig gebruikt in de Nederlandse wateren. Dit komt vooral omdat er weinig geschikte ruimte is, traditionele hangculturen hebben diep en rustig water nodig (in vergelijking met bodemkweek zijn de stroomsnelheden veel hoger bij het wateroppervlak en dit kan leiden tot verlies van mosselen of schade aan de systemen). Ook hebben de hangcultuurmosselen een dunnere schelp. Dit zorgt ervoor dat de hangcultuurmosselen delicateser zijn, en er dus voorzichtiger mee omgegaan moet worden. Tijdens het productieproces worden de schelpen van de mosselen ontdaan van aangegroeide organismen zoals algen en zeepokken. Dit kan bij een dunnere schelp sneller tot beschadigingen leiden. Mosselen worden vers verhandeld en eventuele schelpbreuk heeft een negatieve impact op de houdbaarheid. De oogst kan daarnaast niet gedaan worden met een traditioneel mosselschip die ingericht is met mosselkorren, het is arbeidsintensiever en technisch duurder. Ook zijn de risico's in de hangcultuur hoger omdat de systemen vatbaar zijn voor storm- en stromingsschade (Geleinse, 2021).

3.2 MZI's

Voor zowel de bodem- als de hangcultuurkweek van mosselen is de sector afhankelijk van mosselzaad. Deze jonge mosselen worden opgevisst van wilde mosselzaadbanken of ingevangen in mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) waarna ze op de percelen uitgezaaid kunnen worden of "opgesokt" worden in de hangculturen om daar verder uit te groeien tot consumptiemosselen. Er zijn afspraken gemaakt tussen het ministerie van LNV, de mosselsector en natuurorganisaties om de visserij op mosselzaad in wilde mosselzaadbanken af te bouwen. Sinds 2009 is er daarom een transitie in gang gezet, waarbij arealen met wilde mosselzaadbanken stapsgewijs voor visserij gesloten worden. De derving aan mosselzaad voor de kweek wordt hierbij opgevangen door gebruik te maken van MZI's. MZI's bestaan uit drijvers (boeien of buizen) met daaraan touwen of netten als substraat (Figuur 6) waaraan mossellarven zich kunnen vestigen (Capelle, 2021). In totaal hebben we in Nederland dus drie vormen van mosselkweekactiviteiten: in de MZI's wordt het mosselzaad (kleine mosselen van 1-2 cm) verzameld die vervolgens in de hangcultuur of bodemcultuur verder opgekweekt worden tot consumptiemossel. Per type activiteit worden andere eisen gesteld aan de omgevingsfactoren zie hiervoor tabel 1.

Tabel 1. *Verschillende milieucondities in de 3 mosselkweekculturen in Nederland*

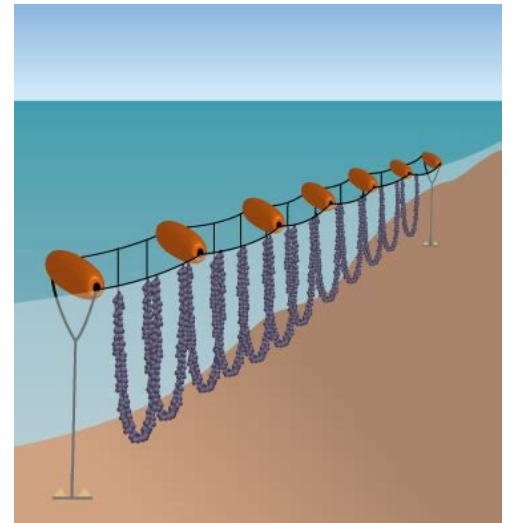
Parameter	Bodemcultuur	Hangcultuur	MZI
Stroming	Laag	Laag	Hoog
Bodem	Mosselen in direct contact met de bodem	Mosselen geen direct contact met bodem	Mosselen geen direct contact met bodem
Tijdsduur in het water	2-3 jaar	1-2 jaar	± 6 maanden
Predatoren	Zeesterren, krabben, eenden	Eenden	Zeesterren
Water diepte	1-20 m	± 8 m	> 7 m



Figuur 6. *Mosselzaadinvanginstallatie bestaande uit boeien met een dubbele hoofdlijn. Aan deze hoofdlijnen hangt het substraattouw waarop de mosselzaadjes ingevangen worden. Locatie Vuilbaard Oosterschelde (foto: Jacob Capelle, Wageningen Marine Research)*

3.3 Kweek procedure hangculturen

Kweek van mosselen op hangculturen is extensief, dit houdt in dat deze kweek sterk afhankelijk is van de natuur, de mosselen worden niet bijgevoerd of verplaatst. Ook is de dichtheid van hangculturen in Nederland laag zodat de mosselen niet te dicht op elkaar zitten om onderling voor voedselconcurrentie te zorgen (Geleinse, 2021). Daarnaast is de hangcultuursector in Nederland afhankelijk van de lokale broedval van mosselen of MZI's voor zijn uitgangsmateriaal. De kweekinstallatie bestaat uit een hoofdlijn die met boeien drijvende wordt gehouden. Deze hoofdlijn is aan twee zijdes verankerd en aan de hoofdlijn worden de touwen met mosselen vastgeknoopt. De touwen met mosselen kunnen hierbij doorgelust worden ('continuous longline') of kunnen enkele lijnen zijn van in de regel een 5-tal meters lang ('droppers'). De mossellarven worden in het voorjaar op het substraat (touw) van de hangculturen zelf opgevangen of het mosselzaad wordt op andere locaties met MZI's geoogst. Het mosselzaad wordt vervolgens in insok-machines met katoenen sokken rond het touw gefixeerd. Tijdens de verdere groeiperiode kan de mosselkweker beslissen de mosselen enigszins uit te dunnen zodat de mosselen meer ruimte hebben om te groeien. Na 1,5 of 2 jaar, als de mosselen volgroeid zijn, zal de mosselkweker iets vaker naar zijn installatie komen, om de kwaliteit van de mosselen te beproeven zodat het juiste oogstmoment bepaald kan worden. Voor de oogst van hangcultuurmosselen worden speciale oogstmachines gebruikt die op de mosselschepen staan en de mosselen van de touwen strippen. Vervolgens komen de mosselen in bakken terecht waarin ze naar land vervoerd worden voor verdere verwerking. Hangcultuurmosselen hoeven in de regel niet te worden verwaterd aangezien ze gekweekt worden in de slibarme waterkolom.



Figuur 7. Schematische tekening van een mosselhangcultuur

4 Effecten van hangcultuur/MZI op de bodem, onder en nabij de kweekstructuren

4.1 Effecten op samenstelling bodem

Hoewel hangcultuur plaatsvindt in de waterkolom en daarom bij definitie geen direct contact maakt met de bodem is er wel degelijk een interactie van de hangcultuurmosselen met de bodem, door het optreden van biodepositie (Kamermaans & De Mesel, 2010). De mosselen nemen voedsel tot zich door middel van waterfiltratie, echter wordt maar een deel van het hierbij opgenomen voedsel daadwerkelijk gebruikt voor groei, respiratie en reproductie. De rest wordt uitgescheiden als feces of als onverteerd organisch materiaal (pseudo-feces) (Robert et al., 2013). Dit organisch materiaal heeft een hogere dichtheid dan water waardoor het een zekere zinksnelheid heeft en op de bodem onder de hangculturen belandt. Samen worden de feces en de pseudo-feces biodepositie genoemd en kan op de bodem voor organische verrijking zorgen. Daarnaast zorgt de structuur van de hangculturen zelf ook voor een remming van de stroming wat de bezinking van organisch materiaal bevordert. Er zijn veel studies gedaan naar de fysiologische, chemische en biologische consequenties van biodeposities op de bodem en op de bentische gemeenschap die hier leeft. Lokale omgevingsfactoren hebben hierbij een grote invloed op de mogelijke gevolgen. Er zijn factoren van belang bij de bepaling in welke mate biodepositie accumuleert onder een mosselhangcultuur:

1. Ten eerste de hoeveelheid organisch materiaal dat geproduceerd wordt (afhankelijk van de mosselbiomassa),
2. ten tweede de initiële verspreiding van de biodepositie (afhankelijk van de hydrologische processen in de omgeving van de mosselcultuur),
3. ten derde de resuspensie van de biodepositie van de zeebodem terug in de waterkolom, deze is afhankelijk van onder andere saliniteit,
4. als laatste de biologische afbreekbaarheid van de biodepositie.

Hieronder worden deze vier factoren verder uitgediept.

4.2 Productie van organisch materiaal

De biodepositie van hangcultuurmosselen is onder andere afhankelijk van de mosselbiomassa en de hoeveelheid zwevende stof in het water. Een Canadees mesocosm experiment door Robert *et al.* (2013) liet zien dat het organisch materiaal van volwassen mosselen ($\pm 5-6$ cm lang) in het sediment onder de mosselcultuur kan oplopen tot 5,26% bij een mosseldichtheid van 1200 mosselen/m², dit was vergelijkbaar met wat andere veldstudies ook eerder al vonden (Robert et al., 2013). Daarnaast vonden ze dat de hoeveelheid biodepositie een non-lineaire relatie had met de effecten. Dat wil zeggen dat de hoeveelheid biodepositie niet 1:1 loopt met verandering in de macro fauna. Het omslagpunt van veranderingen in de sediment en gemeenschapsstructuren in het sediment kwam bij de biodepositiewaarde tussen de 200 en 400 mossels/m² of 4.4 en 8.8 gr biodepositie per m² per dag (Robert et al., 2013). Een studie in oost Canada liet zien dat er ook een grote seizoenale variatie is in de productie van organisch materiaal geproduceerd door mosselen. De biodepositieproductie was hoog van midden juni tot midden juli, totale hoeveelheid zwevende stof was tussen de 9.0- 27.4 mg/l in deze periode. Hierna daalde deze tot onder de 10.8 mg/l (Callier et al., 2006).

Verrijking met organisch materiaal kan tot lokale eutrofie leiden. Eutrofiering komt voor wanneer er een overmaat is aan nutriënten, deze overmaat kan vervolgens zorgen voor een algenbloei. Een

algenbloei is nadelig voor een ecosysteem wanneer er een te grote hoeveelheid aan algen in een gebied aanwezig is. Eutrofiëring kan worden gemeten door de hoeveelheid chlorofyl a in het water te monitoren. Wanneer bepaalde grenswaarden worden overschreden kan dit leiden tot anoxie, (het water wordt dan zuurstofarm of zuurstofloos). In een zuurstofloze omgeving zullen sulfaat reducerende bacteriën de overhand krijgen omdat deze aan anaerobe ademhalen doen, hierbij wordt organisch materiaal omgezet in waterstof sulfide. Een verrijking van waterstof sulfide in het sediment, is nadelig is voor veel bodemorganismen omdat het zeer giftig is. Dit verandert de macrofauna onder de mosselcultuur, zodat bijvoorbeeld soorten die meer tolerant zijn voor zuurstofarme concentraties een voordeel hebben.

Weise et al., hebben in 2008 een model aangepast die oorspronkelijk gemaakt was om de biodepositie van visaquacultuur te berekenen (DEPOMOD). Het aangepaste model is specifiek voor mosselhangculturen gemaakt en keek naar de volgende gebruikte resultaten uit verschillende literatuurstudies voor de parameter biodepositieproductie.

Tabel 2. De biodepositie parameters en de verschillende bronnen die gebruikt zijn voor het schelpdieren DEPOMOD model, aangepast van Weise et al 2009. In dit model gaat het over de productie van biodepositie. Deze productie wordt uitgedrukt in de hoeveelheid biodepositie (=feces en pseudo-feces) ten opzichte van de hoeveelheid mosselen (in drooggewicht [DW])

Parameter	Notitie	Bron
<i>Biodepositie productie</i>		
18 tot 114 mg DW g ⁻¹ vlees d ⁻¹	Veldmetingen <i>Mytilus edulis</i>	(Callier et al., 2006)
1 tot 50 kg farm ⁻¹ d ⁻¹	Toegepaste schatting van <i>M. edulis</i>	(Chamberlain, 2002)
<80 mg DW g ⁻¹ vlees d ⁻¹	Veld metingen van <i>M. edulis</i> geschat van afbeelding	(Cranford and Hill, 1999)
1 tot 16 mg DW g mossel ⁻¹ (incl. schelp) d ⁻¹	Veld metingen <i>M. edulis</i>	(Kautsky and Evans, 1987)
2 tot 20 mg AFDW g DW mossel ⁻¹ d ⁻¹	Lab metingen <i>M. edulis</i>	(Tenore and Dunstan, 1973)
13 tot 126 mg DW mossel ⁻¹ d ⁻¹	Veld metingen <i>M. edulis</i>	

Het model werd vervolgens geïnterpreteerd op 3 verschillende hangcultuurlocaties in Canada, waar biodepositie 2 tot 5 keer hoger was dan op de controle locaties. Het model kon op de eerste locatie de biodepositie goed voorspellen voor mosselen van +0 en +1 jaar. Op de tweede locatie lukte dit niet, waarschijnlijk door complexe hydrologische omstandigheden daar die voor resuspensie zorgden. En op de derde locatie maakte het model een goede trend voor de biodepositie echter bleek dit wel een onderschatting te zijn. Uit tabel 2 valt te zien dat er een groot verschil zit tussen de verschillende biodeposities, afhankelijk van veld- of lab experimenten maar ook de manier waarop het gemeten is. Dit laat zien dat biodepositie per locatie kan verschillen maar dat het ook van belang is welke meet methode wordt gebruikt.

4.3 Verspreiding van biodepositie

Het sediment onder de mosselhangculturen kan instabieler of fijner zijn door de hoge concentraties organisch materiaal (Chamberlain *et al.*, 2001). Echter vonden Jaramillo *et al.*, (1992) en Grand *et al.* (1995) geen grote macrobentische verschuivingen onder mosselhangculturen. Chamberlain *et al.* (2001) vergeleek twee grote mosselhangcultuur locaties met lage stroomsnelheden (~2-3 cm/s) in ondiepe gebieden (~12-15 m) in zuidwest Ierland. Deze locaties waren beide ca. 8 jaar in gebruik. Het voornaamste verschil tussen de locaties was een verschil in stromingspatroon. In de eerste locatie werd veel organisch materiaal onder de mosselcultuur gevonden ("*thick layers of mussel faeces under and around the farm, decreasing in thickness with distance from the farm*") en was de soortendiversiteit onder de mosselhangcultuur lager dan bij de controle locatie, ook werden er hoge concentraties van organisch koolstof in het sediment gemeten. Uit die studie blijkt dat de aanwezige effecten van biodepositie op de bodem lokaal het hoogste zijn en zich verspreidt zich tot maximaal 40 meter van de cultivatie locatie. Op de andere locatie in deze studie in zuidwest Ierland (minder dan 35 km van de eerste testlocatie) daarentegen werd geen effect van biodepositie gemeten, de bentische

gemeenschap was divers en vergelijkbaar met een controle locatie. Het verschil tussen de twee locaties wordt verklaard door een verschil in de bezinking van biodepositie door lokale stromingspatronen (Chamberlain *et al.*, 2001). De verspreiding van de biodepositie is onder andere afhankelijk van de omgevingsstromingsnelheden, waardoor het zo kan zijn dat de biodepositie van mosselhangculturen in gebieden met hoge stroomsnelheden verder verspreid worden. Voor MZI's is in het kader van het PRODUS-project onderzoek gedaan naar de biodepositie onder MZI's in de Waddenzee (5 locaties) en in de Oosterschelde (4 locaties). In deze studie zijn monsters genomen in een transect over de MZI-locaties heen (Kamermans and de Mesel, 2010). De verwachting hierbij was dat er een verhoging van het organisch koolstofhalte, een hogere C/N-ratio en een verschuiving van de stabiele-isotopensignaturen $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ richting mossel feces plaats zou vinden. Geen van deze effecten werd echter gevonden. Dit komt waarschijnlijk om de MZI's zich in behoorlijk dynamische gebieden bevinden. Een modelstudie door (Meesters *et al.*, 2007), gebaseerd op condities bij MZI locaties in Waddenzee laat zien dat effecten in zeer hoge mate bepaald worden door het stromings- en golfregime ter plaatse. Dit is ook conform de conclusies van het hierboven geciteerde onderzoek naar hangcultures. Omdat MZI's gesitueerd zijn in meer dynamische gebieden dan mosselhangcultuur, zullen mogelijke effecten van biodepositie op de bodem daar geringer zijn.

4.4 Resuspensie

Eenmaal op de bodem wordt het organisch materiaal met de stroom heen en weer bewogen en kan op die manier weer opnieuw in de waterkolom terug komen, dit heet resuspensie. De resuspensie van de biodepositie is afhankelijk van onder andere de grootte van de deeltjes, pseudo-feces zijn vaak groter dan feces omdat deze niet verteerd zijn voordat ze door de mossel weer werden uitgescheiden. Echter zijn er niet veel studies gedaan naar de zinksnelheden van mossel (pseudo-) feces, Chamberlain *et al.* (2002) heeft het over een sedimentatie snelheid van 0,006 m/s voor feces, en 0,01 m/s voor pseudo-feces voor mosselen van 4 cm groot (Chamberlain, 2002). In een onderzoek naar de impact van hangculturen op de koolstofcyclus in het sediment van Hatcher (1994), wordt ervan uitgegaan dat een groot deel van het organische organisch materiaal van mosselhangculturen snel in resuspensie wordt gebracht. Hij noemt dit de horizontale flux, en noemt dat dit een probleem is in het onderzoek omdat 'sedimenttraps' die gebuikt worden om het organisch materiaal op de bodem onder de hangculturen te meten, dit materiaal dus wel vangen waardoor er een overschatting van het organisch materiaal kan worden gemaakt. In de realiteit wordt dit organisch materiaal echter voor een groot deel in resuspensie gebracht is dus over een groter gebied verspreid (Hatcher *et al.*, 1994).

De resuspensie van organisch materiaal wordt verder beïnvloed door biostabiliteit, dit houdt in dat (bij een hoge biostabiliteit) een deeltje dat op de bodem komt niet zo snel meer in resuspensie gebracht wordt, omdat het microbioom (de bacteriën en diatomeeën) van de bodem de organische deeltjes aan de bodem kunnen binden. Ook de turbiditeit en de mate van poreusheid van de deeltjes zijn belangrijk voor het kwantificeren van de resuspensie. Organisch materiaal wat in resuspensie wordt gebracht is onderdeel van het sediment en is een belangrijk onderdeel van het in kaart brengen van sedimenterosie en -transport. Om sedimenttransport in kaart te kunnen brengen is het van belang om de invloeden hierop, resuspensie, biostabiliteit, turbiditeit en de mate van poreusheid van het organisch materiaal te kwantificeren, echter omdat dit gaat om een samenspel van zowel abiotische als biotische factoren is dit moeilijk te voorspellen en vereist een combinatie van model-, lab- en veldonderzoek (Walker *et al.*, 2014). Er zijn dan ook niet veel onderzoeken hiernaar gedaan in combinatie met mosselcultivatie. Of dit van invloed is in een systeem, is daarnaast ook afhankelijk van de autonome sedimenttransporten. In een systeem met van nature weinig sedimenttransport zal sneller een effect van de mosselhangculturen op kunnen treden dan in een systeem met veel sedimenttransport.

4.5 Biologische afbreekbaarheid

De (pseudo-)feces van mosselen hebben een hoog organisch gehalte en gaan daarom vaak gepaard met een hoge bacteriële activiteit wanneer deze op de bodem liggen. Hierdoor is er een toename aan organisch materiaal in het sediment. Bacteriën die dit organisch materiaal remineraliseren gebruiken hiervoor zuurstof waardoor er een afname is van zuurstof op en in de bodem. Het geremineraleerde organisch materiaal zorgt dan wel voor een toename van nieuwe nutriëntbeschikbaarheid, die in goed gemengde systemen (zoals de Deltawateren) snel beschikbaar zijn voor algengroei. Doordat in kustecosystemen er vaak een sterke koppeling is in de bentische en pelagische systemen kan een verandering in de sedimentnutriënt compositie door mosselkweek een significant effect hebben op de nutriëntdynamica in het verdere ecosysteem. Voor de Oosterschelde is inderdaad aangetoond dat de filtratieactiviteit van schelpdieren door het aanjagen van de nutriëntenkringloop de algengroei stimuleert en de primaire productie aanjaagt (Prins et al., 1997). In systemen waar stratificatie op kan treden (zoals bijvoorbeeld Limfjorden of Grevelingen) zijn de effecten lastiger te voorspellen. In hoog eutrofe gebieden (zoals het Limfjorden) hadden mosselen een positief effect op het voorkomen van zuurstofloosheid door het effectief verminderen van de eutrofiëring (Møller and Riisgård, 2007). Op het moment dat er echter stratificatie optreedt, zal een verhoogd organisch gehalte en een verhoogde bacteriële activiteit in de bodem zuurstofloosheid stimuleren (Altieri and Diaz, 2019).

5 Effecten van mosselhangcultuur op biodiversiteit

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar verschillende aspecten van het kweekproces en het effect ervan op de biodiversiteit van verschillende groepen organismen. De hangcultuurmosselen in de Nederlandse Deltawateren blijven tussen de één en twee jaar hangen voordat ze geoogst worden. De kweek van schelpdieren zorgt voor een vergroting (in biomassa en aantallen) van organismen in het systeem die voor hun voedselvoorziening het water filteren, naast bijvoorbeeld de van nature aanwezige wilde schelpdierbanken. Schelpdieren en kweekstructuren vormen daarbij ook substraat waar andere organismen zich op kunnen vestigen.

In hangculturen komen mosselen voor in hoge dichtheden, dit heeft een topdown-effect op de concentratie zwevende deeltjes in de waterkolom. Hierdoor kan er een afname ontstaan van primaire producenten (fytoplankton) (Alonso-Pérez et al., 2010). Zoals eerder al besproken wordt het organisch materiaal geconcentreerd in de mossel en vervolgens deels weer uitgescheiden. Onder hangculturen verzamelen zich naast fijn organisch materiaal afkomstig van (pseudo-) feces, ook de schelpen van dode mosselen, en levende mosselen die van de lijn afvallen. De hangcultuur zorgt voor een toename van (in)organisch materiaal in de bodem en een afname van (in)organisch materiaal in de waterkolom, op deze manier beïnvloeden de mosselen dus zowel de voedselbeschikbaarheid voor andere organismen en primaire productie in de waterkolom als op de bodem onder het kweekstelsel. Hangcultuurmosselen kunnen als vis aantrekkende structuren (Fish Attracting Devices -FAD's) dienen, ze trekken volgens onderzoek zowel bentische als pelagische vissoorten aan vanuit de omliggende omgeving (Morrisey et al., 2006). De mosselen die van de hangcultuur af vallen kunnen ook een voedselbron vormen voor bentische dieren zoals krabben en zeesterren die dan ook vaak te vinden zijn onder de hangculturen (Callier et al., 2018).

Naarmate de mosselen groeien aan de lijnen vindt er een proces plaats wat bekend staat als 'self-thinning' (Daigle et al., 2010; Guinez, 2005). Dit proces is afhankelijk van de dichtheid en de biomassa van mosselen aan het substraat. Het veronderstelt dat op een gegeven moment competitie op zal treden. Afhankelijk van dichtheid en biomassa betreft het competitie om plaats of competitie om ruimte (Fréchette and Lefavre, 1990). Als een consequentie van dit proces zullen er mosselen levend of dood van de lijnen afvallen en zich ophopen onder het hangcultuursysteem. Hoeveel mosselen dit zijn is dus voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid mosselen aan de touwen. Een kweker kan door uit te dunnen dit proces beïnvloeden.

Een Deense studie wees bijvoorbeeld uit dat zonder uitdunning er per jaar ongeveer een halve kilo aan mosselen per meter lijn van het kweekstelsel afvalt (Nielsen et al., 2016). Dit geeft een indicatie, hoewel onder andere omstandigheden dit getal af zal wijken, maar hierover is verder weinig gepubliceerd. Naast deze vis aantrekkende functie hebben de gebieden rondom de hangculturen ook een functie als MPA (Marine Protected Area) aangezien er niet gevestigd mag worden rond om de hangculturen (Šegvić et al., 2011).

5.1 Effecten op samenstelling en verandering bentische macrofauna, flora en microbiom

De samenstelling van micro-organismen (het microbiom) onder de hangculturen verandert door de toevoeging van organisch materiaal, hierdoor neemt bacteriële activiteit toe (Kaspar et al., 1985), wat leidt tot een daling in de zuurstofconcentratie, en een stijging in de sulfaatconcentratie, daarmee zal er ook een stijging zijn in de denitrificatie. Hoeveel effecten op verschillende niveaus kunnen optreden is afhankelijk van de omgevingsomstandigheden (vooral stroming en waterverversing). Wanneer de abiotische omstandigheden ervoor zorgen dat er grote hoeveelheden organisch materiaal onder de hangculturen blijven liggen, kan het voorkomen dat er hele bacteriematten worden aangetroffen, zoals

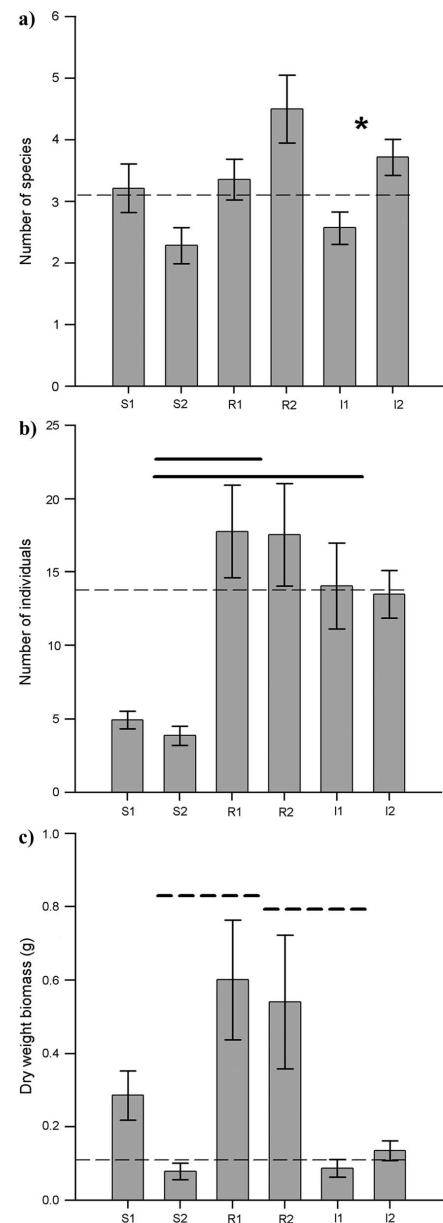
aangetoond in een Zweedse studie . Door het ontstaan van deze bacteriematten kan de zuurstofconcentratie lokaal erg dalen, in deze anaerobe omstandigheden kunnen zwavelreducerende bacteriën organisch materiaal omzetten in waterstofsulfide. Waterstofsulfide is een giftige stof die naar rotte eieren ruikt. Dahlback en Gunnarsson (1981) vonden op de bodem onder de hangculturen hoge concentraties sulfide. McKindsey et al. (2011) vond op basis van een review van reeds gepubliceerd onderzoek dat over het algemeen gesteld zou kunnen worden dat wanneer het organische materiaal op de bodem gelimiteerd is, de biomassa en soortenrijkdom rondom de hangculturen toe zal nemen. Echter zullen aantallen van eenzelfde opportunistische soort kunnen toenemen wanneer het organisch materiaal toeneemt. Dit effect zal vooral optreden in kustgebieden met weinig stroming en dynamiek, zoals de Grevelingen. Op het moment dat de waterkolom goed gemengd is zullen deze processen nauwelijks optreden, naarmate er meer stratificatie optreedt, neemt het risico op zuurstofloosheid toe (Alteiri en Diaz, 2019; Stevens et al. 2008).

5.2 Effecten structuren op biodiversiteit op en tussen het substraat, rekening houdend met effecten van het kweekproces

Het kweken van mosselen op hangcultuurlijnen creëert een driedimensionaal hard substraat in de waterkolom en op de bodem door het afzinken van ankers en gevallen schelpen van de lijnen. De interactie tussen de aantrekking of afstoting van soorten rondom een hangcultuursysteem wordt door Callier et al. (2018) in twee groepen ingedeeld. Allereerst de interactie tussen de mosselen zelf op het marine milieu, deze zijn beschreven in bovenstaande stukken. Het tweede interactie mechanisme is de interactie van marine flora en fauna op de fysieke structuren die worden toegevoegd aan het milieu om de mosselen te kweken, denk hierbij aan ankers, lijnen en de boeien die samen een substraat vormen voor allerlei marine flora en fauna die normaal gesproken niet in het gebied kunnen vestigen (Callier et al., 2018). Het toegevoegde substraat kan het vestigingsklimaat beïnvloeden van typische hardsubstraat soorten zoals, bryozoa, macroalgen, zakpijpen en andere schelpdieren (Willemsen, 2005). De combinatie van de mosselen en de aangegroeide organismen vormen samen een rifachtige structuur welke weer aantrekkelijk kan zijn voor vissen en invertebraten (Stickney and McVey, 2002). Vaak worden deze soorten aangetrokken tot de hangcultuurstructuren omdat ze zich hier kunnen verstoppen voor predatoren of juist omdat ze hier voedsel kunnen vinden. Ook de dichtheid van de mosselen zou kunnen bepalen hoeveel plaats er is voor aangroeiende organismen, een hoge dichtheid van mosselen op de lijn zorgt ervoor dat er geen plaats meer is voor andere organismen om zich te vestigen. Echter kon een studie naar effecten van dichtheid op de hoeveelheid polychaeten op de hangculturen in Prince Edward Island dit niet bevestigen (Lutz-Collins et al., 2009). De mosselen hinderen hiermee ook hun eigen groei, daarom worden de mosselen eens in de zoveel tijd uitgedund zodat er ruimte bestaat voor de mosselen om te groeien, echter geeft dit dan ook ruimte voor eventuele andere organismen.

In 2007 is in Maine USA een vergelijkende studie uitgevoerd naar biodiversiteit tussen mosselen op de bodem (subtidaal bodemcultuur als intertidale natuurlijke bank) en hangcultuurmosselen op touwsubstraat (Murray et al. 2007). De belangrijkste conclusie van deze studie was dat de aanwezigheid van mosselen per saldo altijd resulteerde in een hogere biodiversiteit, resultaten die ook naar voren komen in onderzoek naar mosselen in andere systemen (Drent en Dekker 2013, Norling en Kautsky 2008). Resultaten (Figuur 8) van deze studie laten zien dat de biomassa aan geassocieerde soorten hoger was op hangcultuurmosselen dan op mosselbanken (gekweekt en wild). Het aantal soorten wat aangetroffen werd was significant lager op subtidaal perceelen dan op intertidale wilde banken en op hangculturen (waarbij de laatste 2 niet verschillen van elkaar). Met betrekking tot het type soorten bleek het vooral een shift te zijn in type wormen die aangetroffen is: op hangcultuur vooral sessiele polychaeten ten opzichte van mobile polychaeten op percelen en wilde banken.

De organismen die zich op de kweekstructuren vestigen kunnen daar echter niet heel lang blijven, de mossellijnen worden een aantal keer per jaar uitgedund en tijdens de oogst zullen de lijnen helemaal schoon gemaakt worden, de ankerlijnen en boeien zullen echter wel voor langere tijd in het water blijven hangen. Vermoedelijk zullen sommige organismen hun levenscyclus wel kunnen doormaken in



Figuur 8. Grafiek waarin te zien is hoeveel soorten a), individuen b), en biomassa c), er op verschillende soorten mossel habitats te vinden zijn
S = subtidaal perceel, R = hangcultuur, I = intertidale wilde bank (Murray et al. 2007)

de tijd die beschikbaar is op de kweekstructuren, anderen waarschijnlijk niet. Echter is er maar weinig informatie bekend over het effect op het ecosysteem dat de verwijdering van de fouling organismen (d.w.z. alle andere aanwezige organismen dan mosselen op de kweekstructuren) veroorzaakt (Craeymeersch and Jansen, 2019).

5.3 Rol van hangculturen/MZI's als rustplek en voedsel voor zeezoogdieren en vogels

In het eerder genoemde werk van Callier et al. (2018), wordt ook de interactie van de schelpdierkweek met vogels en zeezoogdieren beschreven. Verschillende vogels soorten zoals aalscholvers en duikende vogelsoorten zoals eidereenden zijn vaak te vinden rondom de mosselkwekerijen. Omdat ze hier makkelijk aan hun voedsel kunnen komen. De mosselen zelf kunnen een directe voedselbron vormen maar ook de aangegroeide biomassa of de vissen rondom de hangculturen kunnen dienen als voedselbron voor de vogels. In een recente studie in Italië met betrekking tot de vogelsoorten rondom verschillende hangcultuur locaties, bevestigde de studie dat vogelgemeenschappen veel gebruik maken van hangcultuurlocaties als MPA's (Marine Protected Area) waar ze kunnen rusten en er genoeg voedsel aanwezig is. Vijftien verschillende vogelsoorten uit vijf verschillende families werden hier aangetroffen. Echter wordt er in deze studie wel benadrukt dat het type systeem en de gebruikte materialen ervoor kan zorgen dat er minder of meer vogels aangetrokken worden, , zo bleek het type boei en de configuratie van de hoofdlijn effect te hebben op het voorkomen van rustende vogels (Scridel et al., 2020). Van de vogelsoorten die foerageren op hangcultuurmosselen springt vooral de eidereend (*Somateria mollissima*) eruit. Deze eenden hebben een voorkeur hebben voor gecultiveerde mosselen en prefereren deze over de wilde mosselen. In veel noordelijke landen hebben ze veel last van eidereenden en worden de mosselen dan beschermd met netten .

In zuidwest Ierland is een studie gedaan naar de verschillende soorten vogels en zeezoogdieren die in een gebied voorkomen waar veel hangcultuurmosselen worden gekweekt. Deze data werd vergeleken met controlegebieden in dezelfde baai. Er bleek geen significant verschil te zitten in aantallen soorten vogels die voorkomen op de twee plekken, wel is er een verschil in de hoeveelheden. De soortgroepen aalscholvers (*Phalacrocoracidae*), alken (*Alcidae*) en meeuwen (*Laridae*) kwamen in hoeveelheden - veel vaker voor in gebieden waar de mosselen werden gekweekt. Voor de vogelgroep duikers (*Gaviidae*) werd er geen significant verschil gevonden, die geldt ook voor gewone zeehond (*Phoca vitulina*) die in het gebied voorkomt. Eén van de redenen dat vogels zoveel voorkomen rondom de mosselpercelen is niet alleen voedsel, maar ook de structuren zoals boeien die als rustplaatsen kunnen dienen. Hier kunnen vogels rusten en natuurlijk gedrag vertonen zonder bang te hoeven zijn voor landpredatoren en menselijke verstoringen (zie bijvoorbeeld Figuur 9).

Hoewel er geen significant verschil was aan te duiden in hoeveelheid van soorten, bleken er wel soorten bij de mosselpercelen voor te komen die niet bij de controlegebieden gezien werden, het gaat hier dan vaak om meer land- en kustvogels zoals de scholekster (*Haematopus ostralegus*) en de bontbekplevier (*Charadrius hiaticula*), die op de drijvende structuren van de mosselpercelen zijn waargenomen (Roycroft et al., 2004).



Figuur 9. Een steenloper rust uit op een boei van een MZI in het Brouwershavense gat in de Voordelta (foto: Jacob Capelle, Wageningen Marine Research)

5.4 Rol van hangculturen/MZI's op voorkomen en verspreiding van exoten

Bij het kweken van mosselen komt het nog wel eens voor dat mosselzaad van een andere locatie of zelfs een ander land wordt ingevoerd. Wanneer dit gebeurt is er een kans dat er ook andere organismen zich naar onze wateren verplaatsen en zich hier vestigen, dit worden exoten genoemd. Het risico van exoten is dat wanneer ze zich vestigen ze concurrentie om voedsel vormen voor inheemse organismen, ook kunnen ze inheemse soorten overgroeien of verdringen. Andere effecten van exoten zijn predatie op inheemse soorten, het meebrengen van uitheemse ziektes en in sommige gevallen kunnen ze zelfs het habitat veranderen. Een aantal bekende in Nederland voorkomende exoten zijn onder andere, muiltjes (1924), Japanse oesters (1964) en Amerikaanse zwaardschedes (1981). In Nederland is het risico op het invoeren van nieuwe exoten bij hangcultuurmosselen echter vrij klein. Zoals eerder beschreven in hoofdstuk 2, wordt mosselzaad in Nederland vooral opgevangen door de hangcultuurlijnen zelf of verkregen van MZI's uit eigen land. Op deze manier is de kans dus erg klein dat er nieuwe exoten binnen komen bij het kweken van hangcultuurmosselen.

Bij uitwisseling tussen verschillende wateren binnen Nederland is er risico op het verspreiden van exoten. Dit is vooral een risico bij het verplaatsen van mosselzaad van de Zuidwestelijke Delta naar de Waddenzee. Dit transport is daarom alleen toegestaan onder strikte voorwaarden, zo moet er voor transport een soorteninventarisatie uitgevoerd worden zoals bijvoorbeeld door GiMaRIS (Gittenberger, 2020) en moet de partij mosselen tijdens transport voor geruime tijd onder zoet water gezet worden.

Een andere manier waarop exoten binnen kunnen komen is wanneer de gekweekte doelsoort zelf een exoot is die wordt ingevoerd om te telen (McKindsey et al., 2009). Echter wordt er in Nederland alleen *Mytilus edulis*, de gewone mossel in hangculturen gekweekt en deze komt van oorsprong in Nederland voor. Wat echter wel voorkomt is het importeren van mosselzaad voor de bodempercelen, en het verwateren van consumptie mosselen uit het buitenland in de Oosterschelde. Op deze manier zijn er in het verleden al een aantal exoten meegelift en hebben zich in Nederland gevestigd. De hangculturen en MZI's in de Oosterschelde en Grevelingen hebben hierbij dus geen directe link met het invoeren van de exoten maar zouden wel kunnen bijdragen aan de verdere verspreiding van deze soorten doordat ze een geschikt habitat vormen waarop deze exoten zich kunnen vestigen. Uit onderzoek blijkt dat zich op hangculturen en MZI's niet minder maar wel andere uitheemse soorten vestigen. Zo zien we bij bodemcultuurmosselen vaak Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) en de krab *Hemigrapsus penicillatus*, terwijl er op de MZI's en hangculturen juist vaak soorten zoals de zeewier wakame (*Undaria pinnatifida*), en de knotszakpijp (*Styela clava*) voorkomt. Uit onderzoek uit 2009 naar het aantal soorten dat voorkomt op de verschillende soorten mosselcultuurkwekerijen in de Oosterschelde, kwam naar voren dat op hangculturen 55 soorten werden aangetroffen waarvan 7 exoten, en op de MZI's 49 soorten waarvan ook 7 exoten (Wijsman, 2010).

6 Effecten van hangcultuurkweek op de waterkwaliteit

Aangezien mosselen filter feeders zijn worden mosselen vaak gelinkt aan verschillende ecosysteemdiensten, die te maken hebben met waterkwaliteit. Mosselen gekweekt aan hangculturen worden gelinkt aan het opnemen van nutriënten, op deze wijze kunnen ze de negatieve effecten van eutrofiëring tegengaan, maar kunnen op deze manier ook de draagkracht van een gebied beïnvloeden. Daarnaast filteren ze ook kleine zwevende deeltjes uit het water wat de turbiditeit van het water vermindert. Hierdoor wordt het water helderder en kan zonlicht tot dieper in het water doordringen. Eutrofiëring wordt vaak als een van de graadmeters genomen als het gaat om waterkwaliteit, een andere is de helderheid (turbiditeit) van het water. De indicatoren die gebruikt worden om deze twee waterkwaliteit graadmeters te kunnen meten zijn stikstof (nitraat/nitriet) en fosfor voor de eutrofiëring en chlorofyl a metingen of secchi diepte metingen voor de helderheid van het water.

6.1 Verzuring

Oceanen hebben een belangrijke bufferende werking op de CO₂ concentratie in de atmosfeer en slaan daarbij ook CO₂ op. De basis hieronder is dat CO₂ reageert met water en er zo bicarbonaat (HCO₃⁻) gevormd wordt (naast kleine hoeveelheden carbonaat en diwaterstofcarbonaat). Deze processen lijken eenvoudig maar zijn in wezen erg complex door het groot aantal evenwichtssituaties die op kunnen treden (Middelburg et al., 2020). Ondanks de bufferende werking zal een toename in atmosferische CO₂ leiden tot verzuring van het zeewater. Deze wordt geschat op 0.002 – 0.004 per jaar (Sarmiento, 2013). De pH van het zeewater in de Noord-Atlantische zee is overigens niet constant, het fluctueert over het jaar met ca. 0.1 pH per jaar op open zee tot ca. 1 pH rondom riviermondingen. Mosselen kunnen vrij goed omgaan met verzuring, de larven zijn echter gevoeliger, omdat ze kalk nodig hebben om een schelpje aan te maken (Mackenzie et al., 2014). Desalniettemin zijn de niveaus van verzuring waarbij eventuele schadelijke effecten op kunnen treden tijdens de larvale ontwikkeling dermate dat op middellange termijn er geen effect verwacht wordt (Ventura et al., 2016). Mosselen leggen CO₂ vast in de schelp, maar stoten ook CO₂ uit bij calcificatie en door respiratie, de netto uitstoot of vastlegging is afhankelijk van de omgeving, er is bijvoorbeeld sprake van meer uitstoot bij lagere temperaturen en bij lagere zoutgehalten (Martini et al., 2022). Deze processen kunnen dus het beste lokaal in beeld gebracht worden om inzicht te krijgen in de vastlegging c.q. uitstoot van mosselaquacultuur.

6.2 De rol van mosselen in de nutriënten kringloop

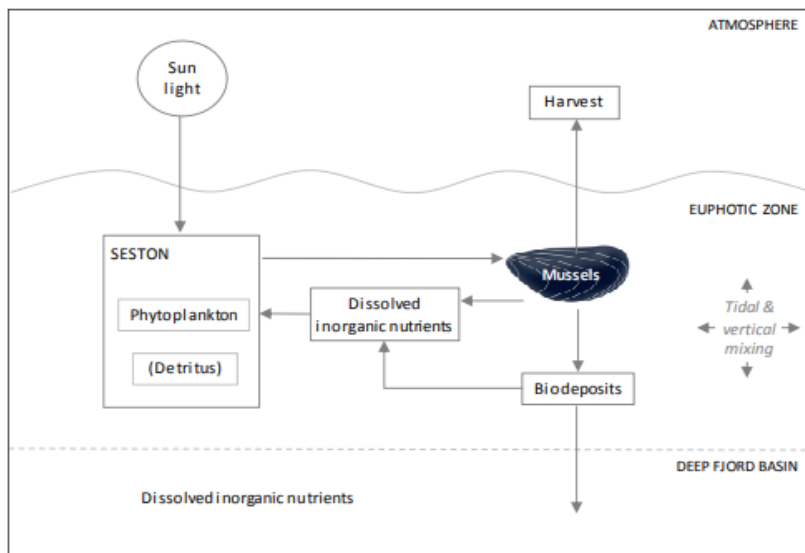
Mosselen maken gebruik van vier eco-fysiologische paden waarop ze de nutriëntenkringloop beïnvloeden. Als eerste is er de filtratie van in deeltjes vastgelegde nutriënten uit de waterkolom, ten tweede is er de opslag van de nutriënten in het vlees en voor groei van de mossel (assimilatie), ten derde de uitscheiding van nutriënten in de waterkolom en biodepositie richting de bodem wat in eerdere hoofdstukken al aan bod is gekomen, en als laatste de productie en mineralisatie in de vorm van schelpmateriaal (Jansen et al., 2019). Het effect van mosselen op de nutriëntenkringloop gaat gepaard met verschillende cycli en feedbackmechanismen, zoals te zien is in afbeelding 10. Graasactiviteit van mosselen (en andere schelpdieren) kunnen direct impact hebben op de chlorofyl a, de primaire productie en andere zwevende deeltjes door het filteren van de waterkolom.

Tabel 3. Schelpdierkweek impact op verschilde systemen met potentiële diensten en impacts afhankelijk van nutriëntbeschikbaarheid in het systeem, aangepast van (Jansen et al. 2019)

		Systeem nutriënt status	
		Rijk in nutriënten	Nutriënt arm/gelimiteerd
Ecosysteem dienst	Eutrofiëring wordt gecontroleerd door nutriënten verwijdering door filtratie en oogst van mosselen	Stimulatie van PP door regeneratie (kan ook leiden tot hogere draagkracht voor meer schelpdier kweek)	
Ecosysteem impact	Mogelijke benthische degradatie door biodepositie accumulatie	Competitie met natuurlijk voorkomende filter feeders en daarmee overschrijding van de draagkracht.	

Indirect hebben ze ook effect op de nutriënten, door het eten van fytoplankton welke de anorganische nutriënten hebben opgenomen, op deze manier slaan de mosselen de nutriënten ook voor een deel op om zelf van te groeien, en wanneer deze mosselen geoogst worden, worden de nutriënten dus uit het systeem gehaald, dit is een negatieve feedback (filtratie intensiteit). Maar onderzoek heeft ook aangetoond dat de mosselen een ecosysteemdienst uitvoeren door een positieve feedback loop (regeneratie van nutriënten), aangezien ze een deel van de nutriënten weer terug in het water brengen vooral door hun (pseudo-)feces, welke dan weer beschikbaar zijn voor de groei van fytoplankton (Jansen et al., 2019). Mosselen zijn dus in staat een deel van de nutriënten kringloop te reguleren, echter is

dit voor een deel afhankelijk van de natuurlijke nutriëntendynamiek in een systeem. De feedback loops zijn complexe en dynamische processen. In figuur 8 is te zien hoe mosselen interacteren met de verschillende onderdelen van het ecosysteem. In tabel 3 is te zien hoe de nutriëntrijkheid van het systeem invloed heeft op de regulerende werking van mosselen v.w.b. nutriënten.



Uit onderzoek bleek wel dat in ondiepe nutriëntrijke wateren, de negatieve feedback een sterker effect kan hebben, zeker in gebieden waar al veel intensive aquacultuur bedreven wordt (Jansen et al., 2019). De meeste mosselen worden gekweekt in kustgebieden waar nutriëntgehalten hoog zijn (vaak door de afvoer van rivieren) hierdoor kunnen ze gebruik maken van de hoge concentratie fytoplankton dat aanwezig is door de nutriënten. Echter, een groot deel van de Zuidwestelijke Delta,

Figuur 10. Diagram van de mossel-ecosysteem interacties met de focus op de nutriëntenkringloop (Jansen, 2012)

waaronder de Grevelingen en de Oosterschelde, kennen die aanvoer van nutriëntrijk rivierwater niet tot nauwelijks meer. Onderzoek uit Denemarken laat zien dat de kweek van mosselen op hangculturen gebruikt kan worden als mitigatie maatregel in eutrofe gebieden (Petersen et al., 2014). Een ander onderzoek waarbij hangcultuurmosselen werden ingezet in een eutroof gebied in Zweden liet zien dat er een reductie van 20% aan stikstof in het water zat (zowel opgelost als vastgelegd) (Lindahl et al., 2005). In het zoete Volkerak-Zoommeer heeft de toename van de Quagga mossel (een invasieve exoot) geleid tot een forse verbetering van de waterkwaliteit (sinds 2005) door het schoon filteren van water met blauwalg .

Echter zijn ook plaatsen waar mosselen gekweekt worden in oligotrofe gebieden, zoals in Noorwegen (Aure et al., 2007), hier kan de filtratie capaciteit van de mosselen de lokale draagkracht overschrijden en kan wat in eutrofe gebieden een ecosysteemdienst is, een ecosysteem impact worden (zie tabel 3). Echter kan de regeneratie van nutriënten er ook voor zorgen dat er juist weer

meer primaire productie mogelijk is (positieve feedback) waardoor er juist meer schelpdieren gekweekt zouden kunnen worden.

De draagkracht van het systeem voor schelpdieren wordt gekwantificeerd door twee indices, de "clearance ratio" en de "grazing ratio". Deze twee componenten kunnen worden gebruikt om de ecologische draagkracht van een gebied te bepalen. De clearance ratio is gebaseerd op de hoeveelheid voedsel die er van buiten het lokale systeem komt, door te kijken naar de verblijftijd van het water en aan de hand van de verhouding tussen de tijd die de schelpdieren er in theorie over doen om het voedsel uit het totale watervolume van het ecosysteem te filteren. Terwijl de grazing ratio kijkt naar de hoeveelheid voedsel binnen het systeem. Hier wordt gekeken naar de snelheid van de filtratie van het water door de schelpdieren ten opzichte van de snelheid van de primaire productie in het systeem. Belangrijk bij deze berekening is om zowel de gekweekte schelpdieren als de in het wild voorkomende populatie mee te nemen. Dit is een soms lastig in te schatten variabele. Schelpdieren zijn niet de enige filterfeeders in het systeem wat mogelijk een onderschatting oplevert. Bovendien is er behoefte aan verificatie van de primaire productie waarde die nu via een waterkwaliteitsmodel is ingeschat (Deltares). De Aquaculture Stewardship Council (ASC), die een label afgeeft voor duurzaam verantwoorde aquacultuur, houdt een drempel voor de grazing ratio aan van > 3 voor een duurzame kweek (Smaal, 2017). In de Grevelingen ligt deze grazing ratio momenteel met 2,88 net onder die norm, wat op basis van hierboven geformuleerde randvoorwaardes als een grove schatting geduid moet worden (Mulder et al., 2021).

6.3 De rol van mosselen in de helderheid van de waterkolom

De dynamiek van primaire productie in kustgebieden wordt in verband gebracht met de filter activiteiten van schelpdieren. De schelpdieren zijn van groot ecologisch belang voor hun eigen voedsel. De helderheid van het water is van groot belang bij de productie van fytoplankton die immers groeien door fotosynthese, waar zonlicht voor nodig is. Door de filterende activiteit van de schelpdieren dragen ze direct bij aan de groeipotentie van het fytoplankton. In eutrofe gebieden waar er een teveel aan fytoplankton is kunnen mosselen een top-down regulerende werking hebben op de hoeveelheid fytoplankton en daarmee ook op de helderheid van het water (Cranford, 2019). Dit heeft een positieve impact op het bodemleven dat niet verstikt raakt door zuurstoftekorten bij een exces aan algen, en reduceert de kans op toxische algen en sommige bacteriële pathogenen (Pietrak et al., 2012). De meeste onderzoeken naar filtratiecapaciteit van mosselen is gedaan op individueel niveau, filtratie op mosselgemeenschappen is moeilijker. Jansen et al (2019) merkt op dat de filtratiecapaciteit van een individuele mossel veel hoger lijkt te zijn dan die van gemeenschappen. Dit zou kunnen door de refiltratie, waardoor lokaal het voedsel decimeert en die vooral plaats vindt wanneer er een hoge dichtheid van mosselen is (Cranford et al., 2011). Ook kan de hoge dichtheid van mosselen de waterverversing beïnvloeden, maar dit vergt nog verder onderzoek.

7 Discussie en conclusie

Mosselhangculturen vormen op dit moment maar een kleine fractie van de schelpdierproductie in Nederland, een deel van deze kweek vindt op dit moment plaats in de Grevelingen. Het gaat hier dan om 10 hectare bij de Brouwersdam dat experimenteel gebruikt mag worden voor hangculturen. Vier bedrijven maken van deze ruimte gebruik (Boerstra, 2021). In dit grote zoutwatermeer in de Nederlandse Delta is nog weinig onderzoek gedaan naar de directe effecten die de hangculturen hebben op de ecologie van het gebied. Het doel van dit rapport is om inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van de mossel hangcultuur v.w.b. bodem gesteldheid, biodiversiteit en water kwaliteit. Verder zijn in het rapport de kennis leemtes besproken die hangculturen kunnen hebben op hun nabije omgeving. Echter wat duidelijk naar voren kwam in deze literatuurstudie is dat de mogelijke effecten (zowel positief als negatief) erg afhankelijk zijn van de omgeving en de abiotische factoren waarin de hangcultuur zich bevindt. Ook zijn er nog veel kennisleemtes als het gaat om de effecten van met name de biodepositie en filtratie. In het overzicht hieronder staat van elk van de besproken thema's rondom de effecten van hangcultuurmosselen hoe deze in verband staan met de huidige situatie van de Grevelingen. Echter moet er wel rekening gehouden worden dat de effecten van hangculturen kunnen veranderen wanneer de abiotische invloeden veranderen. Met het oog op de toekomst en de mogelijke veranderingen in het Grevelingenmeer, indien er een grotere doorlaat in de Brouwersdam wordt gemaakt en hiermee het terugkeren van getijde, kan de bijdrage van de verschillende effecten van hangculturen op het ecosysteem van de Grevelingen ook veranderen.

Mogelijke effecten mosselhangcultuur

Huidige situatie Grevelingen

Effecten op samenstelling bodem	Effecten van hangculturen op de bodemsamenstelling zijn afhankelijk van de hydrologische processen in het gebied. Aangezien de Grevelingen <i>anno</i> 2022 een meer is zonder getijdewerking, is er weinig stroming, wat er voor zorgt dat er weinig initiële verspreiding van organisch materiaal optreedt. Ditzelfde geldt voor de resuspensie. Hierdoor is het de verwachting dat de bodemsamenstelling onder de mosselhangcultures van andere aard zal zijn dan wanneer er geen mosselhangcultuur zou liggen. Als laatste wordt de biologische afbreekbaarheid van de biodepositie genoemd. Hiervoor is zuurstof nodig, en er zijn meerdere rapporten waarin gesproken wordt over zuurstofloosheid in bepaalde gebieden van de Grevelingen (Aken, 2011; J.W.M. Wijsman, 2016; W. Lengkeek, 2007). In hoeverre mosselkweek hier een effect op heeft en wanneer dit effect optreedt is niet bekend en vereist verder onderzoek.
Productie van organisch materiaal	Een overmaat van organisch materiaal kan voor eutrofe omstandigheden zorgen, echter is dit afhankelijk van de productiedichtheden. Deze zijn vrij laag voor het totaal van de Grevelingen. Echter zal een verhoogd organisch gehalte en een verhoogde bacteriële activiteit in de bodem zuurstofloosheid stimuleren (Altieri and Diaz, 2019), wat in de Grevelingen op sommige locaties door stratificatie al aan de hand is. Dergelijke effecten kunnen verwacht worden onder mosselhangcultures, al zullen deze effecten (vanwege de lage stroming) vrij lokaal zijn. Hiertoe is verder onderzoek vereist.
Verspreiding van de biodepositie	De stroomsnelheid heeft veel invloed op de verspreiding van de biodepositie, deze is in de Grevelingen laag doordat er weinig wateruitwisseling en er geen getijde is. Effecten van biodepositie zijn daarom hoogstwaarschijnlijk erg lokaal en de verspreiding zal ca. maximaal 40 meter van de hangcultuur locatie zijn.
Resuspensie	Er zijn weinig onderzoeken gedaan naar de zinksnelheden van (pseudo-) feces van mosselen, dit is een van de factoren die deel uitmaken van de mate van resuspensie, daarnaast zijn ook turbiditeit en de lokale biostabiliteit van belang. Ook hiernaar is in combinatie met mosselkweek nog weinig onderzoek gedaan.
Biologische afbreekbaarheid	De biologische afbreekbaarheid van de biodepositie van mosselen is vrij hoog omdat het uit zeer fijn organisch materiaal bestaat. Dit zorgt ervoor de bacteriën dit snel kunnen afbreken. Zoals al eerder beschreven is zuurstofloosheid lokaal een groot probleem in de Grevelingen en de toevoeging van additioneel organisch materiaal, bijvoorbeeld door mosselhangculturen zorgt voor extra zuurstof consumptie.
Effecten op samenstelling en verandering bentische macrofauna, flora en microbiom	Volgens een studie van McKindsey (2011) is de mate van effect op de faunagemeenschappen een functie van de biodepositiesnelheid en -hoeveelheid. Echter zijn er nog geen studies uitgevoerd die deze twee factoren tegelijkertijd meten. Wel weten we zoals boven genoemd dat de biodepositie effect zal hebben op de bacteriegemeenschap. Ook zullen er mosselen van de lijn afvallen en op de bodem terecht

komen, hoewel de hoeveelheid hiervan erg afhangt van de omstandigheden, zoals het soort lijn dat gebruikt wordt, of en hoeveel de lijn wordt uitgedund maar ook bijvoorbeeld door stormschade. Doordat de stroomsnelheid in de Grevelingen laag is, zal biodepositie zich sterk beperken tot onder de mosselhangcultuur, tot maximaal 40 meter van de mosselhangcultuurlocatie. Hierdoor zal de samenstelling van de bentische macrofauna, flora en microbiom naar verwachting anders zijn dan buiten de mosselhangcultuurlocatie.

Effecten structuren op biodiversiteit op en tussen het substraat, rekening houdend met effecten van het kweekproces

Op dit moment wordt er een onderzoek gedaan door de Hogeschool Zeeland naar de effecten van zeewiergroei op de hangcultuurlijnen van mosselen, daar zijn echter nog geen resultaten van. Veel van de aangegroeide organismen wordt van de lijn verwijderd tijdens het oogsten. Het effect dat dit op het ecosysteem heeft is nog onbekend maar een studie naar de levenscycli van deze soorten zou meer inzicht in kunnen geven of en voor welke soorten een mosselhangcultuur als sink of source werkt. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

Rol van hangculturen/MZIs als rustplek en voedsel voor zeezoogdieren en vogels

Een aantal van de in de Grevelingen voorkomende vogelsoorten zouden de boeien als rustplek kunnen gebruiken, ook zal het voor sommige soorten een foerageermogelijkheid creëren. Effecten op zeehonden is niet bekend, wellicht dat er rondom de hangculturen meer vis voorkomt. Zie bijvoorbeeld deze onderzoeksresultaten uit Engeland die dergelijke ecosysteemdiensten van mosselhangcultures hebben aangetoond: <https://www.youtube.com/watch?v=YX1HL8O2pnw>. Voor de Voordelta is een dergelijke studie (effect hangcultures op vis) in voorbereiding. Dergelijk onderzoek gericht op de Grevelingen zou ook een interessante case zijn.

Rol van hangculturen/MZIs op voorkomen en verspreiding van exoten

De MZI's en hangculturen in de Grevelingen zullen geen tot zeer weinig kansen hebben in het verspreiden van exoten omdat de 4 mosselkwekers die hangculturen in de Grevelingen hebben hun mosselzaad of uit de Grevelingen zelf zullen halen en zo niet dan hoogstwaarschijnlijk uit de Oosterschelde. De kans dat dit leidt tot invoering van nieuwe exoten is afhankelijk van waar het uitgangsmateriaal vandaan komt. Bij lokale invang is deze kans nihil, bij import uit de Oosterschelde is deze kans groter. Waarschijnlijk biedt de kweekstructuur wel substraat waar exoten gebruik van maken, in hoeverre dit de expansie bevordert, is op basis van de huidige kennis niet in te schatten.

De rol van mosselen in de nutriënten kringloop

Na de afsluiting van de Grevelingen is de nutriënten huishouding in het gebied sterk veranderd. De concentraties fosfor en stikstof zijn sterk gedaald, maar lijken de laatste decennia weer langzaam toe te nemen (Deltares, 2020). Echter ligt de chlorofyl a waarde nog wel onder de drempel waarde van de KRW. Mosselen kunnen een positief effect hebben in een nutriënt arm gebied door de stimulering van regeneratie van nutriënten, echter hangt dit wel af van de draagkracht van het gebied, wanneer er een te veel aan filterende organismen is kan de draagkracht overschreden worden. Wat kan leiden tot een tekort aan fytoplankton in het ecosysteem.

De rol van mosselen in de helderheid van de water kolom

Door filtratie van het water maken mosselen het water helderder, echter is het effect hiervan voor de Grevelingen lastig in te schatten.

Literatuur

- Adams, A., Bijlsma, R., Bos, G., S. Clerkx, J. Janssen, A. van Kleunen, W. Remmelts, N. van Rooijen, J. Schaminée, A. Schmidt, C. van Swaay, S. Wijnhoven 2020 Vogel- en Habitatrichtlijnrapportage 2019. Martin Woestenburg, M.v.A. (ed), WUR.
- Aken, T.H.D.E.G.F.P.M.B.H.v. 2011 Impact van de Brouwersdam op zuurstofcondities in de Grevelingen; reconstructies uit natuurlijke sediment archieven TNO.
- Alonso-Pérez, F., Ysebaert, T. and Castro, C.G. 2010. Effects of suspended mussel culture on benthic-pelagic coupling in a coastal upwelling system (Ría de Vigo, NW Iberian Peninsula). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 382(2), 96-107.
- Altieri, A. and Diaz, R. (2019), pp. 453-473.
- Aure, J., Strohmeier, T. and Strand, Ø. 2007. Modelling current speed and carrying capacity in long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farms. *Aquaculture research* 38(3), 304-312.
- Avdelas, L., Avdic-Mravljic, E., Borges Marques, A.C., Cano, S., Capelle, J.J., Carvalho, N., Cozzolino, M., Dennis, J., Ellis, T., Fernández Polanco, J.M., Guillen, J., Lasner, T., Le Bihan, V., Llorente, I., Mol, A., Nicheva, S., Nielsen, R., van Oostenbrugge, H., Villasante, S., Visnic, S., Zhelev, K. and Asche, F. 2021. The decline of mussel aquaculture in the European Union: causes, economic impacts and opportunities. *Reviews in Aquaculture* 13(1), 91-118.
- Boerstra, D. 2021 Visserij en schelpdierkweek op de Grevelingen. Een overzicht van de sector en kansen en bedreigingen voor duurzame visserij bij gedempt getij, Wageningen University & Research.
- Callier, M.D., Byron, C.J., Bengtson, D.A., Cranford, P.J., Cross, S.F., Focken, U., Jansen, H.M., Kamermans, P., Kiessling, A., Landry, T., O'Beirn, F., Petersson, E., Rheault, R.B., Strand, Ø., Sundell, K., Svåsand, T., Wikfors, G.H. and McKindsey, C.W. 2018. Attraction and repulsion of mobile wild organisms to finfish and shellfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture* 10(4), 924-949.
- Callier, M.D., Weise, A.M., McKindsey, C.W. and Desrosiers, G. 2006. Sedimentation rates in a suspended mussel farm (Great-Entry Lagoon, Canada): biodeposit production and dispersion. *Marine Ecology Progress Series* 322, 129-141.
- Capelle, J. 2021 Invang van mosselzaad in MZI's, Wageningen Marine Research, Yerseke.
- Chamberlain, J. (2002) Modelling the environmental impacts of suspended mussel (*Mytilus edulis* L.) farming, Edinburgh Napier University.
- Craeymeersch, J.A. and Jansen, H.M. (2019) Goods and Services of Marine Bivalves. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. and Strand, Ø. (eds), pp. 275-294, Springer International Publishing, Cham.
- Cranford, P. and Hill, P. 1999. Seasonal variation in food utilization by the suspension-feeding bivalve molluscs *Mytilus edulis* and *Placopecten magellanicus*. *Marine Ecology-Progress Series* 190, 223-239.
- Cranford, P., Ward, J. and Shumway, S. (2011), pp. 81-124.
- Cranford, P.J. (2019) Goods and Services of Marine Bivalves. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. and Strand, Ø. (eds), pp. 119-141, Springer International Publishing, Cham.
- Daigle, G., Fréchette, M. and Lachance-Bernard, M. 2010. Body Size, Population Density and Factors Regulating Suspension-Cultured Blue Mussel. *Aquatic Living Resources* 23, 247-254.
- Deltares, R., Staatsbosbeheer, Wageningen Marine Research 2020 Grevelingen Systeemrapportage, Deltares, Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer, Wageningen Marine Research.
- FAO 2007-2021. National Aquaculture Sector Overview Netherlands. FAO 2021.
- Fréchette, M. and Lefavre, D. 1990. Discriminating between food and space limitation in benthic suspension feeders using self-thinning relationships. *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER* 65, 15-23.
- Geleijnse, J. 2021. Lansbergen, R. (ed).
- Gittenberger, A., Rensing, M. & A. Hont, 2020 Inventarisatie van de soortendiversiteit tussen mosselen die vanuit de Oosterschelde zijn uitgezaaid in de Waddenzee, 2020. i.o.v. Producentenorganisatie van de Nederlandse Mosselcultuur., p. 6, GiMaRIS.
- Grant, C., Archambault, P., Olivier, F. and McKindsey, C. 2012. 41- Influence of 'bouchot' mussel culture on the benthic environment in a dynamic intertidal system. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 117-131.
- Greutink, T., Snijdelaar, M., Brandwijk, T., Kunst, M 2006 Analyse van de schelpdierketen in Nederland, Ministerie van LNV.
- Guinez, R. 2005. A review on self-thinning in mussels. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40, 1-6.

-
- Hatcher, A., Grant, J. and Schofield, B. 1994. Effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a coastal bay. *Oceanographic Literature Review* 6, 500.
- J.W.M. Wijsman, A.G.M.E.e.A.v.d.B. 2010 Flora en fauna geassocieerd met mosselpopulaties in de Oosterschelde en Voordelta in 2009 Wageningen Marine Research, Yerseke.
- J.W.M. Wijsman, E.B., A.C.M. Van Gool 2016 Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis Resultaten T0 bemonstering 2016, Wageningen Marine Research, Yerseke.
- Jansen, H.M. (2012) Bivalve nutrient cycling, PhD thesis Wageningen University.
- Jansen, H.M., Strand, Ø., van Broekhoven, W., Strohmeier, T., Verdegem, M.C. and Smaal, A.C. (2019) Goods and Services of Marine Bivalves. Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K. and Strand, Ø. (eds), pp. 143-177, Springer International Publishing, Cham.
- Jaramillo, E., Bertran, C. and Bravo, A. 1992. Mussel biodeposition in an estuary in southern Chile. *Marine ecology progress series*. Oldendorf 82(1), 85-94.
- Kamermans, P. and de Mesel, I. 2010 Meerjarige effectmetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee en Oosterschelde, Deelproject 2: Depositie van organisch materiaal van MZI-mosselen op de bodem in Waddenzee en Oosterschelde 2009, IMARES.
- Kaspar, H., Gillespie, P., Boyer, I. and MacKenzie, A. 1985. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. *Marine biology* 85(2), 127-136.
- Kautsky, N. and Evans, S. 1987. Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in a Baltic coastal system. *Marine Ecology Progress Series* 38.
- Lindahl, O., Hart, R., Hernroth, B., Kollberg, S., Loo, L.-O., Olrog, L., Rehnstam-Holm, A.-S., Svensson, J., Svensson, S. and Syversen, U. 2005. Improving Marine Water Quality by Mussel Farming: A Profitable Solution for Swedish Society. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34(2), 131-138, 138.
- LNV, P. 2019 Nederland Natuurpositief, Ambitiedocument voor een gezamenlijke aanpak in natuurbeleid
- Lutz-Collins, V., Quijon, P. and Davidson, J. 2009. Blue mussel fouling communities: polychaete composition in relation to mussel stocking density and seasonality of mussel deployment and sampling. *Aquaculture Research* 40(15), 1789-1792.
- Mackenzie, C.L., Lynch, S.A., Culloty, S.C. and Malham, S.K. 2014. Future oceanic warming and acidification alter immune response and disease status in a commercial shellfish species, *Mytilus edulis* L. *PLOS ONE* 9(6), e99712-e99712.
- Martini, A., Cali, M., Capoccioni, F., Martinoli, M., Pulcini, D., Buttazoni, L., Moranduzzo, T. and Pirlo, G. 2022. Environmental performance and shell formation-related carbon flows for mussel farming systems. *Science of The Total Environment* 831, 154891.
- McKindsey, C., Landry, T., O'Beirn, F.X. and Davies, I. 2009. Bivalve aquaculture and exotic species: A review of ecological considerations and management issues. *Journal of Shellfish Research* 26, 281-294.
- Meesters, H., Brinkman, A., Meijboom, A., Fey-Hofstede, F., de Jong, M., van Leeuwen, P., Niemeijer, C., Verdaat, J. and Lewis, W. 2007 Beïnvloeding bodemfauna en organisch koolstof door mosselzaadinvanginstallaties en transport van slib, IMARES.
- Mejillón de Galicia 2022 The rias, Mussels from Galicia.
- Middelburg, J.J., Soetaert, K. and Hagens, M. 2020. Ocean Alkalinity, Buffering and Biogeochemical Processes. *Reviews of Geophysics* 58(3), e2019RG000681.
- Møller, L. and Riisgård, H.U. 2007. Impact of jellyfish and mussels on algal blooms caused by seasonal oxygen depletion and nutrient release from the sediment in a Danish fjord. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 351, 92-105.
- Morrisey, D.J., Cole, R.G., Davey, N.K., Handley, S.J., Bradley, A., Brown, S.N. and Madarasz, A.L. 2006. Abundance and diversity of fish on mussel farms in New Zealand. *Aquaculture* 252(2), 277-288.
- Mulder, I., Wijsman, J. and Tangelder, M. 2021 Een quickscan naar ecologische draagkracht voor filter feeders nu en bij gedempt getij, Wageningen Marine Research.
- Nielsen, P., Cranford, P.J., Maar, M. and Petersen, J.K. 2016. Magnitude, spatial scale and optimization of ecosystem services from a nutrient extraction mussel farm in the eutrophic Skive Fjord, Denmark. *Aquaculture Environment Interactions* 8, 311-329.
- Petersen, J.K., Hasler, B., Timmermann, K., Nielsen, P., Tørring, D.B., Larsen, M.M. and Holmer, M. 2014. Mussels as a tool for mitigation of nutrients in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 82(1), 137-143.
- Pietrak, M.R., Molloy, S.D., Bouchard, D.A., Singer, J.T. and Bricknell, I. 2012. Potential role of *Mytilus edulis* in modulating the infectious pressure of *Vibrio anguillarum* O2β on an integrated multi-trophic aquaculture farm. *Aquaculture* 326, 36-39.
- Prins, T., Smaal, A.C. and Dame, R. 1997. A review of the feedbacks between grazing and ecosystem processes. *Aquatic Ecology* 31.

RIVM 2017 Duurzaam voedsel.

- Robert, P., McKindsey, C.W., Chaillou, G. and Archambault, P. 2013. Dose-dependent response of a benthic system to biodeposition from suspended blue mussel (*Mytilus edulis*) culture. *Mar Pollut Bull* 66(1-2), 92-104.
- Roycroft, D., Kelly, T.C. and Lewis, L.J. 2004. Birds, seals and the suspension culture of mussels in Bantry Bay, a non-seaduck area in Southwest Ireland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61(4), 703-712.
- Sarmiento, J.L. (2013) *Ocean Biogeochemical Dynamics*, Princeton University Press.
- Scridel, D., Utmar, P., Franzosini, C., Segarich, M., Menon, S., Burca, M., Diviacco, P., Ciriaco, S., Del Negro, P. and Spoto, M. 2020. Sink or swim? Modernization of mussel farming methods may negatively impact established seabird communities. *Biological Conservation* 243.
- Šegvić, T., Grubišić, L., Karaman, N., Tičina, V., Jelavić, K. and Katavic, I. 2011. Damages on mussel farms potentially caused by fish predation—Self service on the ropes? *Aquaculture* 319, 497–504.
- Smaal, A. 2017 *Draagkracht voor schelpdieren : definities, indices en case studie*, Wageningen Marine Research, Yerseke.
- Smaal, A.C., Ferreira, J.G., Grant, J., Petersen, J.K., Strand, Ø (2019) *Goods and services of marine bivalves*, Springer Nature.
- Stickney, R.R. and McVey, J.P. (2002) *Responsible marine aquaculture*, Cabi.
- Tenore, K.R. and Dunstan, W.M. 1973. Comparison of rates of feeding and biodeposition of the American oyster, *Crassostrea virginica* Gmelin, fed different species of phytoplankton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 12(1), 19-26.
- Van Ginkel, R. (1991) *La recherche scientifique face à la pêche artisanale = Research and small-scale fisheries*. Durand, J.-R., Lemoalle, J. and Weber, J. (eds), pp. 491-499, ORSTOM, Paris.
- Ventura, A., Schulz, S. and Dupont, S. 2016. Maintained larval growth in mussel larvae exposed to acidified under-saturated seawater. *Scientific Reports* 6(1), 23728.
- W. Lengkeek, S.B., H. W. Waardenburg 2007 *Het effect van zuurstofdeficiëntie op het bodemleven in het Grevelingenmeer, Een blik onderwater*, Bureau Waardenburg bv.
- Walker, T.R., Grant, J., Weise, A.M., McKindsey, C.W., Callier, M.D. and Richard, M. 2014. Influence of suspended mussel lines on sediment erosion and resuspension in Lagune de la Grande Entree, Iles-de-la-Madeleine, Quebec, Canada. *Aquaculture* 433, 450-457.
- Willemsen, P. 2005. Biofouling in European aquaculture: is there an easy solution. *European Aquaculture Society Special Publ* 35, 82-87.
- Yaghubi, E., Carboni, S., Snipe, R., Shaw, C., Fyfe, J., Smith, C., Kaur, G., Tan, S.-Y. and Hamilton, D. 2021. Farmed Mussels: A Nutritive Protein Source, Rich in Omega-3 Fatty Acids, with a Low Environmental Footprint. *Nutrients* 13, 1124.

Verantwoording

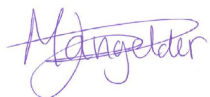
Rapport C032/22

Projectnummer: 4313200017-03

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: M Tangelder
DLO Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 16 juni 2022

Akkoord: drs. J. Asjes
Manager Integratie

Handtekening:



Datum: 16 juni 2022

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'