



---

# De rol van de mosselkweek in de populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee en is er in de huidige kweekpraktijk ruimte voor efficiëntieverbetering?

Helpdeskvraag 2a in het kader van mosseltransitie

Auteur(s): Jacob Capelle

Wageningen University &  
Research rapport C036/19

---

# De rol van de mosselkweek in de populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee en is er in de huidige kweekpraktijk ruimte voor efficiëntieverbetering?

Helpdeskvraag 2a in het kader van mosseltransitie

Auteur(s):           Jacob Capelle

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema "Natuurinclusieve visserij" (projectnummer BO-43-023.02-042).

Wageningen Marine Research  
Yerseke, april 2019

---

VERTROUWELIJK   Nee

Wageningen Marine Research rapport C036/19

---

Keywords: Mosselen, Populatie dynamiek, Waddenzee, Mossel convenant, Rendement

Opdrachtgever: Ministerie van LNV  
T.a.v.: Dhr. B. Streefland  
Bezuidenhoutseweg 73  
2594 AC Den Haag

BO-43-023.02-042

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/474610>.  
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  
vertegenwoordigt door Dr. M.C.Th.  
Scholten, Algemeen directeur

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  
gevolgschade, 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 V28 (2018)

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1 Aanleiding	5
1.2 Kennisvraag en Aanpak	5
<b>2 Populatie dynamiek van het sublitorale mosselbestand in de Waddenzee</b>	<b>7</b>
2.1 Achtergrond en data	7
2.2 Mosselgroei	8
2.3 Mosselverlies	9
2.4 Biomassaontwikkeling	11
2.5 Dynamiek van mosselbanken in het sublitoraal van de Waddenzee en de rol van mosselkweek	12
<b>3 Ruimte voor efficiëntieverbetering mosselkweek</b>	<b>13</b>
3.1 Kweekmethoden die van invloed kunnen zijn op de efficiëntie van de mosselkweek	13
3.2 Efficiëntieverbetering in huidige kweekpraktijk	14
<b>4 Synthese</b>	<b>15</b>
4.1 populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee en de rol van mosselkweek	15
4.2 is er in de huidige kweekpraktijk ruimte voor efficiëntieverbetering?	15
<b>Literatuur</b>	<b>17</b>
<b>Bijlage 1 Von Bertalanffy parameters</b>	<b>19</b>
<b>Verantwoording</b>	<b>20</b>

---

# Samenvatting

In het kader van de mosseltransitie is er een aantal kennisvragen geformuleerd gerelateerd aan (1) mosselzaadvisserij in relatie tot beschermde gebieden en (2) vragen gerelateerd aan de kweek van mosselen en de interacties tussen mosselkweek en de natuurwaarden van de Waddenzee. Deze vragen zijn via de Helpdesk LNV uitgezet.

De huidige memo beschrijft kennisvraag 2a: *Wat valt er te zeggen over de rol van de mosselkweek in de populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee en is er in de huidige kweekpraktijk ruimte voor efficiëntieverbetering?*

Mosselen worden in de Waddenzee aangetroffen op wilde mosselbanken in zowel het litoraal als het sublitoraal en op mosselkweekpercelen in het sublitoraal. De dynamiek van het totale mosselbestand in de westelijke Waddenzee wordt hierbij bepaald door de aanwas (recruitment) van mosselzaad, groei, overleving van de mosselen op de percelen en de wilde banken en de oogst van mosselen van de percelen en het transport naar Zeeland. Omdat de vraag hier uitgaat van de rol van mosselkweek en alle kweekactiviteiten uitsluitend plaats vindt in het sublitoraal beperkt deze memo zich tot de populatiedynamiek van mosselen in het sublitoraal, op zowel wilde banken als op percelen.

De efficiëntie van de mosselkweek op de percelen kan worden uitgedrukt in de hoeveelheid oogstbare mosselen per eenheid mosselzaad. De efficiëntie neemt dus toe als deze ratio toeneemt. In deze studie is er op basis van bestaande literatuur een overzicht gegeven van de meest recente inzichten op het gebied van efficiëntieverbetering in de mosselkweek. Tevens is er aangegeven welke perspectieven dit biedt voor de kweekpraktijk.

Mosselen op de percelen in de Waddenzee zijn (deels) afkomstig van de natuurlijke mosselbanken in het sublitoraal. Beide populaties zijn ruimtelijk grotendeels gescheiden van elkaar. Overleving van mosselen op natuurlijke banken is beter in de buurt van de afsluitdijk, waarde lage zoutgehalten leiden tot minder predatie door zeesterren. De natuurlijke mosselbanken met de beste overleving zijn daarom vooral gesitueerd in gebieden met een laag of sterk fluctuerend zoutgehalte. Mosselen overleven in die gebieden beter dan zeesterren, maar laten daar wel een verminderde groei zien. Mosselkweek heeft een groot effect op de dynamiek van de sublitorale mosselpopulatie in de Waddenzee. Door mosselen te verplaatsen naar percelen, neemt gemiddeld gezien de groei en overleving van mosselen sterk toe door de betere voedselkwaliteit op de mosselpercelen en door bestrijding van zeesterren. Dit leidt tot een hoger sublitoraal mosselbestand dan bij een situatie waarbij mosselen niet verplaatst zouden zijn van natuurlijke banken naar percelen.

Er is een beperkt aantal knoppen waar een mosselkweker aan kan draaien om invloed te hebben op de groei en overleving van mosselen op zijn percelen. Bij het zaaien lijkt de meeste ruimte aanwezig te zijn voor efficiëntieverbetering, want daar heeft een mosselkweker invloed op de verspreiding van de mosselen, en op de zaaidichtheid, evenals speelt daar het belang van locatiekeuze. Onderzoek heeft laten zien dat beter verspreiden van mosselen efficiëntie verhogend kan zijn, inzicht in ruimtelijke patronen zoals in voedselbeschikbaarheid en stroming kunnen helpen dichtheden te optimaliseren en timing van verplaatsing zo optimaal mogelijk te kiezen. Perceeloptimalisatie is een belangrijke stap in efficiëntieverbetering, zodat er ook voldoende ruimte van voldoende kwaliteit beschikbaar is om zaaien in verschillende dichtheden ook optimaal in te kunnen zetten. Inzicht in de dynamiek van predatoren kan meer handelingsperspectief bieden voor mosselkwekers. Ten slotte ervaren mosselen ook stress tijdens het opvissen en uitzaaien, wat zo veel mogelijk geminimaliseerd zal moeten worden.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Eind 2008 hebben de Producentenorganisatie Mosselcultuur, de natuurorganisaties rond de Waddenzee verenigd in de Coalitie Wadden Natuurlijk en het ministerie van LNV een convenant gesloten over de transitie van de mosselsector en natuurherstel in de Waddenzee. Het hoofddoel van de transitie is om de mosselbanken op de bodem van de Waddenzee de kans te geven zich ongestoord te laten ontwikkelen, terwijl de mosselsector duurzaam kan blijven produceren.

In het Plan van Uitvoering uit 2010 is afgesproken dat *«de visserij op natuurlijke mosselzaadbanken stapsgewijs verminderd en vervangen wordt door alternatieve manieren van zaadwinning, zodanig dat een rendabele mosselkweek mogelijk blijft»*. Op die manier kan de mosselsector in Nederland behouden blijven, terwijl de druk op de natuur afneemt. Het alternatief voor de visserij op de natuurlijke zaadbanken bestaat op dit moment uit mosselzaadinplantingen (MZI's).

Afgelopen jaren is via deze stapsgewijze aanpak een deel van de mosselzaadvisserij gesloten door middel van gebiedssluitingen. Momenteel is de derde stap in het transitieproces aanstaande waarbij nog eens een extra deel gesloten zal worden. Onderdeel van de derde stap in de transitie mosselvisserij is tevens de verbetering van de kwaliteit van het areaal mosselkweekpercelen in de Waddenzee. Deze verbetering is nodig om het meerdere aan MZI-zaad dat aan een derde stap is verbonden economisch rendabel te kunnen opkweken.

Om vervolgstappen in het convenant te identificeren en evalueren, is aanvullende informatie gewenst. De projectgroep Mosseltransitie heeft daartoe een aantal kennisvragen opgesteld, welke vervolgens via de LNV Helpdesk voorgelegd zijn aan WMR.

## 1.2 Kennisvraag en Aanpak

De specifieke kennisvragen omvatten vragen betreffende (1) mosselzaadvisserij in relatie tot beschermde gebieden en (2) vragen gerelateerd aan de kweek van mosselen en de interacties tussen mosselkweek en natuurwaarden:

1. Is uit eerdere onderzoeken bekend op welke termijn effecten van gebiedssluiting voor schelpdiervisserij op bodemdieren optreden, en welke effecten dit zijn?
2. Mosselkweek: nieuwe inzichten.
  - a. **Wat valt er te zeggen over de rol van de mosselkweek in de populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee en is er in de huidige kweekpraktijk ruimte voor efficiëntieverbetering?**
  - b. Zijn de gebieden waar nieuwe percelen komen te liggen, plekken waar van nature veel (rifvormende) schelpdieren voorkomen?
  - c. Zijn er nieuwe inzichten in het belang van mosselen als voedselbron voor andere soorten (bijvoorbeeld zeesterren, krabben, vissen en vogels).

De huidige rapportage richt zich op kennisvraag 2a. Dit zijn in feite twee vragen.

*Ten eerste* naar de populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee. Mosselen worden in de Waddenzee aangetroffen op wilde mosselbanken in zowel het litoraal als het sublitoraal en op mosselkweekpercelen in het sublitoraal. De dynamiek van het totale mosselbestand in de westelijke Waddenzee wordt hierbij bepaald door de aanwas (recruitment) van mosselzaad, groei, overleving van de mosselen op de percelen en de wilde baken en de oogst van mosselen van de percelen en het

---

transport naar Zeeland. Omdat de vraag hier uitgaat van de rol van mosselkweek en alle kweekactiviteiten uitsluitend plaats vindt in het sublitoraal beperkt deze memo zich tot de populatiedynamiek van mosselen in het sublitoraal, op zowel wilde banken als op percelen. Er wordt geen effect verwacht van mosselkweek op de aanwas van litorale mosselbanken, deze dynamiek is hoogst onvoorspelbaar (van der Meer et al., 2018). Mosselkweek vergroot het bestand aan (sublitorale) mosselen in de Waddenzee (Wijsman et al., 2014) dit kan een lokaal effect hebben op de draagkracht van het systeem en daarbij op het litorale (natuurlijke) mosselbestand. (Wijsman et al., 2014). Litorale mosselbanken zijn echter vooral gesitueerd in het oostelijke Wad en andere kombergingsgebieden, eventuele effecten zijn daarom ook hier niet te verwachten.

*Ten tweede* naar mogelijkheden voor efficiëntieverbeteringen in de kweekpraktijk. De efficiëntie van de mosselkweek op de percelen worden uitgedrukt in de hoeveelheid oogstbare mosselen per eenheid mosselzaad. De efficiëntie neemt dus toe als deze ratio toeneemt. In deze studie is op basis van bestaande literatuur een overzicht gegeven van de meest recente inzichten op het gebied van efficiëntieverbetering in de mosselkweek. Tevens is er aangegeven welke perspectieven dit biedt voor de kweekpraktijk.

Beide vragen zijn in dit rapport opgepakt met behulp van literatuurstudie. In *hoofdstuk 2* is de rol van mosselkweek in de populatiedynamiek beschreven, *hoofdstuk 3* gaat vervolgens in op de vraagstelling rondom de efficiëntieverbetering. *Hoofdstuk 4* sluit af met de synthese.

---

## 2 Populatie dynamiek van het sublitorale mosselbestand in de Waddenzee

Populatie dynamiek van mosselen in de westelijke Waddenzee en de rol van de mosselkweek hierin is recentelijk onderwerp geweest van een wetenschappelijke studie: (Capelle et al., 2017). In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit deze studie toegankelijk gemaakt en ook de figuren in dit hoofdstuk zijn uit deze studie afkomstig.

### 2.1 Achtergrond en data

Mosselen organiseren zich in zogenaamde mosselbanken. De meeste studies over mosselbanken gaan over de litorale zone. Deze droogvallende (litorale) mosselbanken zijn gemakkelijker te onderzoeken dan mosselbanken die altijd onder water staan (sublitorale mosselbanken). Litorale mosselbanken worden vaak ook jaren oud, waarbij nieuwe broedval de mosselbank over de tijd in stand houdt (Commito & Dankers, 2001). Sublitorale mosselbanken worden vaak beschreven als kort levend (weken tot maanden), ze verdwijnen vooral door storm of predatie (Nehls & Thiel, 1993 ; Reusch & Chapman, 1997).

In de westelijke Waddenzee bevinden zich natuurlijke sublitorale mosselbanken en ca. 7700 ha aan mosselkweekpercelen. Een deel van de natuurlijke mosselbanken wordt bevestigd om aan het uitgangsmateriaal voor de mosselkweek te geraken. Zoals in de inleiding al genoemd vindt er momenteel een transitie plaats, waarbij delen van de sublitorale banken geleidelijk worden gesloten voor visserij. Als compensatie voor het verlies aan te vissen zaad zetten mosselkwekers nu mosselzaadinvanginstallaties (MZIs) in.

De dynamiek van mosselen op natuurlijk mosselbanken wordt door de omgevingscondities bepaald en door de dynamiek tussen de mosselen onderling. Hetzelfde geldt voor mosselen op kweekpercelen, met het verschil dat de mosselkweker invloed uitoefent op de omgevingsdynamiek en op de dynamiek tussen de mosselen onderling. Op de percelen worden de mosselen opgekweekt voor consumptie en zullen daarom op een gegeven moment geoogst worden waardoor ze uit het systeem verdwijnen.

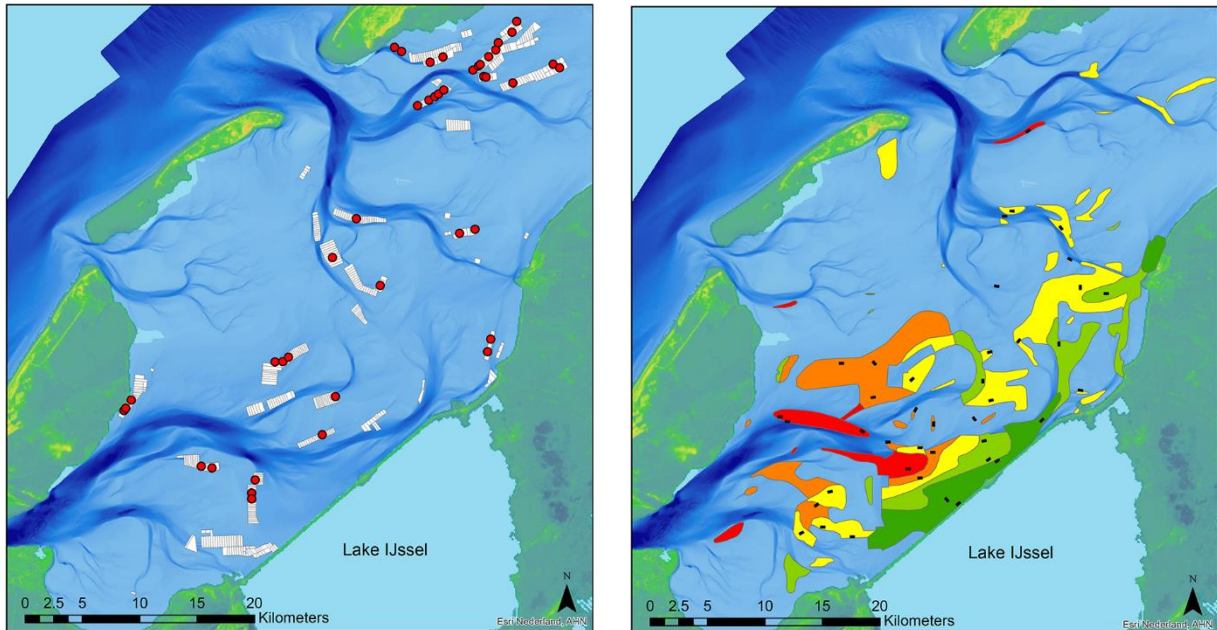
In deze analyse onderzoeken we de rol van mosselkweek als factor in de populatie dynamiek van het sublitorale mosselbestand. Hierbij zijn de gegevens met betrekking tot groei en overleving van de mosselen op percelen en natuurlijke banken met elkaar vergeleken.

In de periode 2006-2012 is de ontwikkeling van natuurlijke mosselbanken in het kader van PRODUS onderzocht, details van deze bemonstering zijn te vinden in Van Stralen et al. (2013). In het kort kwam het erop neer dat er in de periode van 2006 tot en met 2009 een 40-tal experimentele vakken (zg PRODUS vakken) zijn aangelegd in nieuw ontstane natuurlijke banken. De helft van een PRODUS vak was open voor visserij (4ha) en de andere helft (4ha) werd niet bevestigd. Tijdens het PRODUS onderzoek zijn deze plots bemonsterd totdat de mosselen verdwenen waren. De gesloten PRODUS-vakken geven dus een beeld van de ontwikkeling van de sublitorale mosselbank waarin deze vakken neergelegd zijn. Op deze vakken is de groei en overleving 1 á 2 maal per jaar gemonitord. Verder details m.b.t. bemonsteringsschema en methodiek is te vinden in (Van Stralen et al., 2013).

In de periode 2009-2012 is de ontwikkeling van mosselen op kweekpercelen eveneens binnen PRODUS onderzocht. Details hiervan zijn te vinden in (Capelle et al., 2016). In totaal zijn hierbij 66 unieke mosselcohorten gevolgd op 42 verschillende percelen. Hierbij is de groei en overleving van de mosselen vier maal per jaar in kaart gebracht.



In Figuur 1A zijn de mosselkweekpercelen weergegeven met de bemonsteringslocaties die in het kader van het PRODUS onderzoek zijn bemonsterd. In Figuur 1B staan gebieden ingetekend waar regelmatig natuurlijke mosselbanken aangetroffen zijn. De kleuren in Figuur 1B geven de stabiliteit van de mosselbanken aan. Voor meer details over deze stabiliteitsklassen zie: (Alterra, 2005). In Figuur 1B staan in zwart ook de PRODUS-vakken ingetekend.

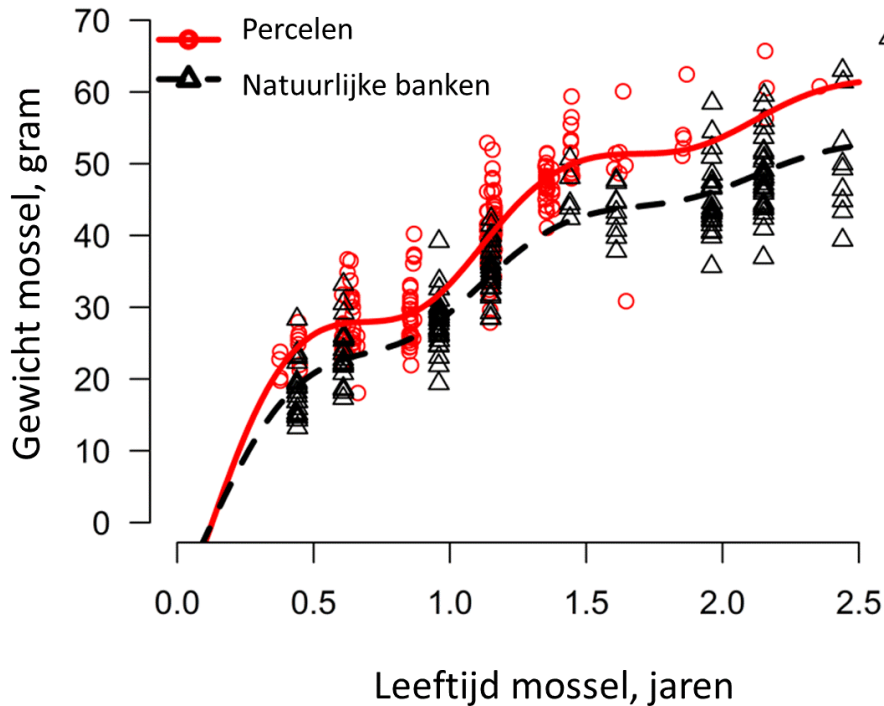


*Figuur 1 Arealen in de westelijke Waddenzee met A) mosselkweekpercelen (zwarte lijnen) en bemonsteringslocaties waar de groei en overleving van mosselen gemeten is in de periode 2009-2012 en B) een weergave van gebieden waar zich met regelmaat natuurlijke sublitorale banken vormen. De kleuren refereren aan de stabiliteit van deze banken (Alterra, 2005). De zwarte punten in de kaart zijn de PRODUS-vakken (8 ha).*

Groei op percelen en op wilde banken is met elkaar vergeleken door een Von Bertalanffy groeicurve te fitten. Verlies van mosselen is uitgedrukt in de 'specific loss rate ( $d^{-1}$ ). Biomassa ontwikkeling is dynamisch gemodelleerd door het gewicht van de mosselen (afhankelijk van de groei) te vermenigvuldigen met de dichtheid (afhankelijk van het verlies). Voor meer details zie: (Capelle et al., 2017).

## 2.2 Mosselgroei

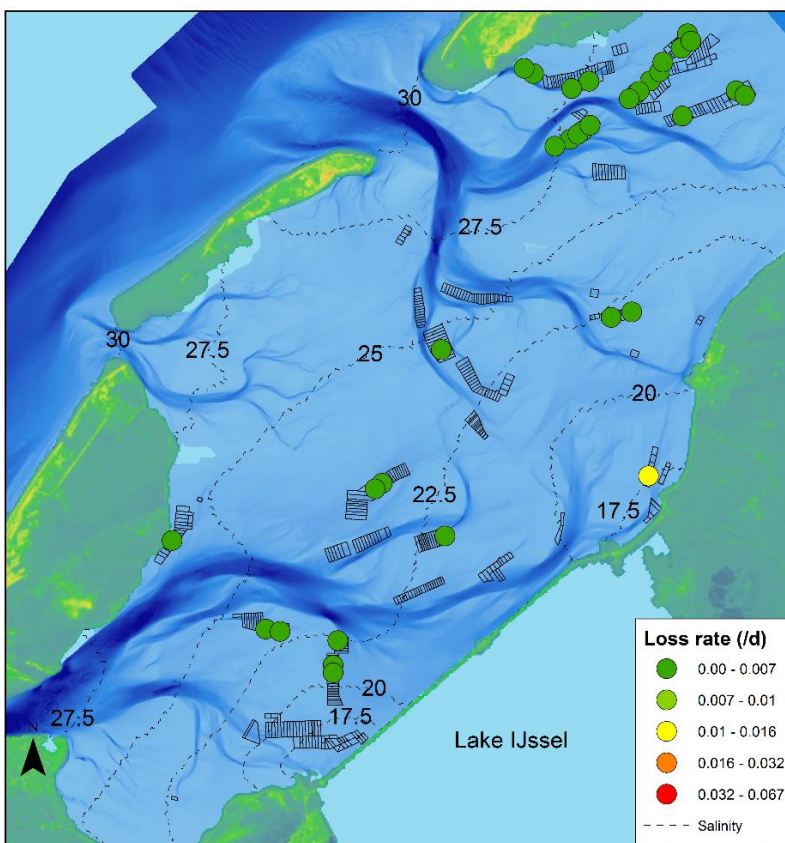
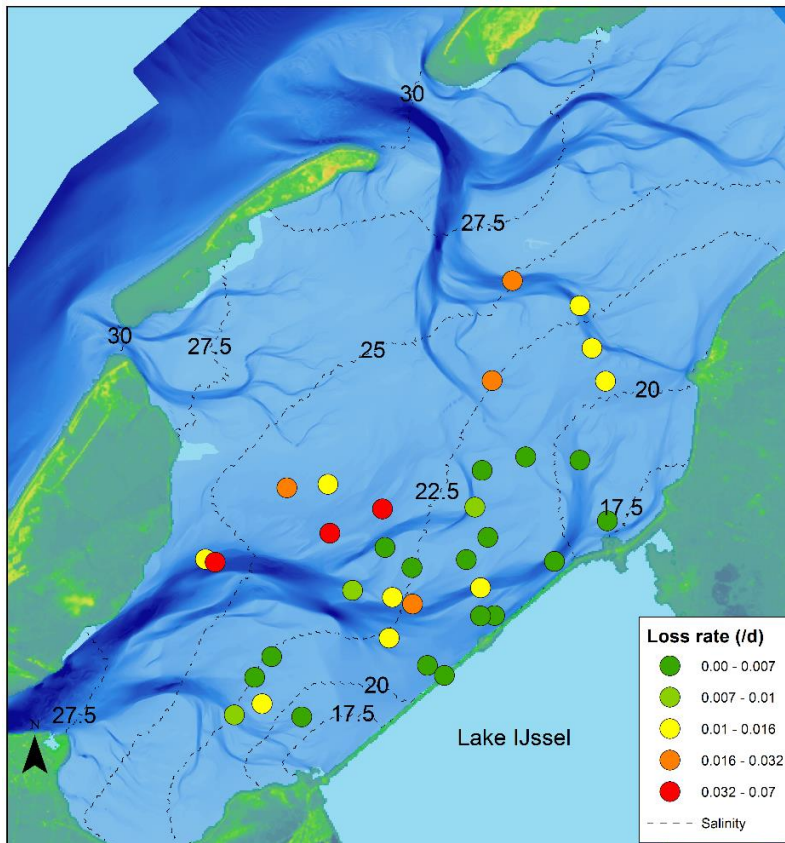
De mosselgroei is weergegeven in Figuur 2 voor mosselen op percelen en voor mosselen op natuurlijke banken. Wat opvalt is dat de groei op percelen hoger is dan op natuurlijke mosselbanken. Mosselen op percelen groeien niet alleen sneller maar de maximale lengte is ook (20-25%) groter dan van de mosselen op natuurlijke banken (Bijlage 1).



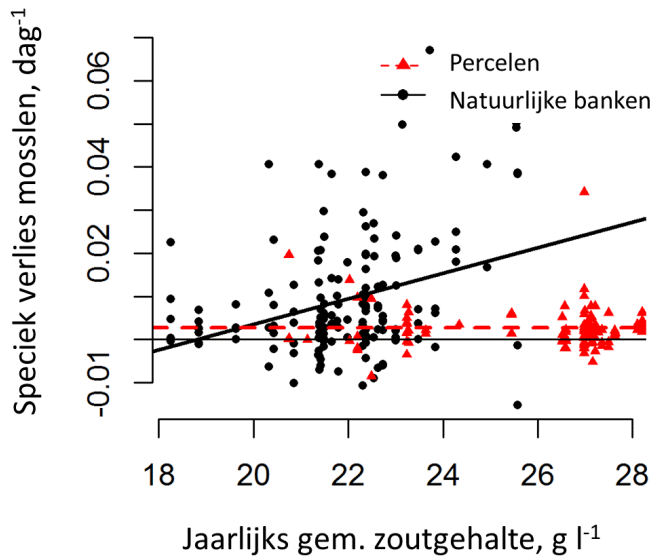
Figuur 2 Mosselgroei op percelen (rood) en op natuurlijke banken (zwart), de punten zijn monitoringsresultaten de lijnen zijn het resultaat van een op deze punten gefitte Von Bertalanffy functie (parameters in Bijlage 1).

### 2.3 Mosselverlies

De ruimtelijke variatie in mosselverlies is op eenzelfde schaal voor natuurlijke banken als voor percelen weergegeven in Figuur 3. Wat opvalt is dat de overleving van mosselen op percelen hoger is dan op het gros van de natuurlijke banken en dat de overleving op natuurlijke banken afneemt naarmate de mosselbanken verder verwijderd zijn van het IJsselmeer. Dit veronderstelt de aanwezigheid van een ruimtelijk effect op de overleving, in Figuur 3 is het zoutgehalte weergegeven. In figuur 4 is het effect van zoutgehalte op de overleving weergegeven, deze relatie is voor natuurlijke banken significant, voor percelen niet.



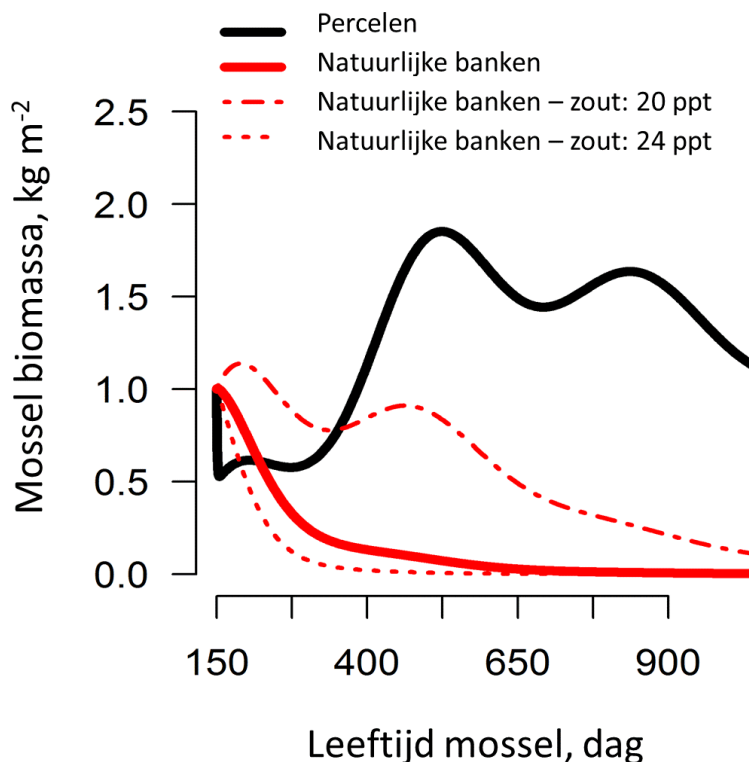
Figuur 3 Ruimtelijke patronen in mossel verlies (rood = overleving laag, groen = overleving hoog), zoals gemeten op A. de natuurlijke banken (PRODUS-vakken) en B. de percelen. De isoclinen geven het gemiddelde zoutgehalte weer.



*Figuur 4 Relatie tussen verlies mosselen en het zoutgehalte, regressie is significant voor natuurlijke mosselbanken, hier neemt de overleving af als het zoutgehalte toeneemt. Op de percelen is de regressie niet significant.*

## 2.4 Biomassa ontwikkeling

De combinatie van de groei en overleving, de ontwikkeling van de biomassa is weergegeven in Figuur 5. In deze simulatie wordt er niet geoogst van de percelen. Voor de natuurlijke banken zijn 3 simulaties uitgevoerd, een met de gemiddelde waarde (doorgetrokken lijn), een voor een mosselbank bij een relatief hoog zoutgehalte en een bij een mosselbank met een relatief laag zoutgehalte.



*Figuur 5 Biomassa ontwikkeling op percelen (zwart) en natuurlijke mosselbanken (rood). Stippellijnen geven range in biomassaontwikkeling weer voor verschillende zoutgehaltes.*

---

## 2.5 Dynamiek van mosselbanken in het sublitoraal van de Waddenzee en de rol van mosselkweek

Uit de hiervoor gepresenteerde resultaten valt op dat natuurlijke mosselbanken zich vooral bevinden in de minder zoute delen van de westelijke Waddenzee. Deze zijn voornamelijk gesitueerd in de buurt van de afsluitdijk, waar zoete water vanuit het IJsselmeer op de Waddenzee gespuid wordt. Mosselpercelen daarentegen liggen vooral op locaties dicht bij de Noordzee, het zoutgehalte is daar hoger en daar vindt geen, of nauwelijks natuurlijke broedval plaats. Wegspoeling door stroming of golven kan lokaal ook een belangrijke rol spelen maar het is niet aannemelijk dat dit het verschil verklaard.

Een directe verklaring kan gevonden worden in de aanwezigheid van zeesterren als 'keystone predator'. In de westelijke Waddenzee mijden deze mosseleeters de gebieden die onder verhoogde invloed staan van zoet water (Agüera et al., 2015). Dat zijn net de gebieden waar de natuurlijke mosselbanken kunnen overleven. Op de kweekpercelen, in de zoutere delen van de Waddenzee komt de zeester wel veelvuldig voor, hier vindt echter onderhoud plaats door de mosselkweker. Mosselkwekers verwijderen zeesterren van hun percelen als de dichtheden te groot worden. Overleving van grotere mosselen (~6 cm) is wel vergelijkbaar tussen percelen en natuurlijke banken, wellicht is de predatiedruk op grotere mosselen minder omdat de zeesterren deze minder makkelijk open krijgen (Sommer et al., 1999). Maar om tot die grootte te komen moet het mosselzaad op natuurlijke banken een aantal jaar overbruggen van intense predatiedruk, de kans hierop is ook in de zones met een lage saliniteit erg klein.

De verhoogde overleving van mosselen in gebieden met een verlaagd zoutgehalte concentreert de natuurlijke banken dus in gebieden waar de omstandigheden voor groei ook minder goed zijn. Dit is duidelijk te zien in de groeicurves in Figuur 4. Mosselen groeien slechter bij lage zoutgehaltenes (Bøhle, 1972), daarnaast is de voedselkwaliteit nabij de afsluitdijk ook slechter dan dicht bij de Noordzee (De Jonge & De Jong, 2002).

Figuur 5 suggereert dat mosselkweek leidt tot een verhoging van de mosselbiomassa in de westelijke Waddenzee. Dit wordt veroorzaakt door de hoge groei en overleving op kweekpercelen in relatie tot de natuurlijke banken. Een deel van de mosselen van de percelen wordt echter geoogst of afgevoerd naar Zeeland. Desalniettemin is het verschil in biomassaontwikkeling zo groot dat over de periode 2004-2012 de mosselkweek resulteerde in gemiddeld 1.27 maal zoveel mosselen in de Waddenzee als in een situatie waarbij geen kweek plaats zou vinden.

---

## 3 Ruimte voor efficiëntieverbetering mosselkweek

De efficiëntie of rendement bij de mosselkweek wordt uitgedrukt als kilogram oogstbaar product opzichte van 1 kg zaad. Efficiëntieverbetering wordt hier opgevat als methodes om dit rendement te verhogen. Het gemiddelde rendement in de mosselkweek is rond de 1,55 kg netto consumptiemosselen uit 1 kg bruto zaad (Wijsman et al., 2014).

### 3.1 Kweekmethoden die van invloed kunnen zijn op de efficiëntie van de mosselkweek

Een mosselkweker heeft een beperkt aantal knoppen waarmee hij het rendement van de mosselen kan beïnvloeden. Dit betreft: zaaien, verwijderen van predatoren, verplaatsingen en moment van oogst.

Na het vissen of de oogst van de MZIs wordt het mosselzaad over de percelen uitgezaaid. Dit gebeurt door de mosselen met waterdruk door een aantal gaten in de zijkant van het schip uit het ruim te spoelen. De mosselen komen hierbij zeer heterogeen, nl in banen, op het perceel terecht. Deze heterogeniteit in mosseldichtheid zorgt plaatselijk tot competitie in ruimte en het beschikbare voedsel (Capelle et al., 2014). Hierdoor zien we direct na het zaaien op de percelen een verlies van een deel van de uitgezaaide mosselen. De grootte van dit "zaaiverlies" is afhankelijk van de grootte of dichtheid van het zaad (Capelle et al., 2016). Zaaiverlies is een belangrijke verliesfactor een reductie van dit verlies kan leiden tot een aanzienlijke verhoging van het rendement (Capelle, 2017).

Recentelijk is er een toename van MZI-zaad., MZI-zaad heeft andere karakteristieken dan bodemzaad: het heeft een dunnere schelp en na plaatsing op de bodem aggregeert het meer dan bodemzaad (Kamermans et al., 2009 ; Christensen et al., 2015). Het MZI zaad is ook kleiner dan het bodemzaad bij oogst omdat de oogst van het MZI zaad eerder in het seizoen plaatsvindt dan de zaadvisserij. Dit verschil in grootte is een belangrijke factor in het rendement, kleinere mosselen hebben een groter potentieel rendement. Mosselgrootte blijkt ook de meest bepalende factor te zijn voor het rendement (Capelle et al., 2016).

De dichtheid waarin het zaad wordt uitgezaaid over de percelen is ook van belang. Bij hoge zaaidichtheden tredt dichtheidsafhankelijke sterfte op (Capelle et al., 2016 ; Newell, 2007). Bij te lage zaaidichtheden is er een verhoogd risico op verlies vanwege de 'safety in numbers' concept.

Het bestrijden van predatoren door kwekers richt zich vooral op zeesterren. Dat dit effectief is blijkt wel uit Hoofdstuk 2. Strandkrabben zorgen ook voor substantiële verliezen van mosselzaad. Het verwijderen van strandkrabben van percelen in de Waddenzee lijkt echter weinig effect te sorteren (Kamermans, 2010). Op droogvallende percelen zijn experimenten uitgevoerd waarbij delen van het perceel door middel van hekjes is afgezet voor krabben. Dit heeft geleid tot een substantiële rendementsverbetering, maar voor sublitorale percelen in de Waddenzee is dit geen realistische optie.

Verplaatsen van mosselen verhoogd de rendementen door mosselen over de winter (stormseizoen) op luwe percelen te houden, waardoor het wegspoelrisico beperkt wordt en de mosselen in het voorjaar naar percelen te verplaatsten waar de mosselen goed groeien.

De timing van oogst is een belangrijke factor in het rendement. Zoals te zien is in Figuur 5 fluctueert de mosselbiomassa over de tijd, om een maximaal rendement te behalen is het zaak op het juiste moment te oogsten. Uiteraard zijn er andere markttechnische factoren die het oogstmoment bepalen.

---

## 3.2 Efficiëntieverbetering in huidige kweekpraktijk

Uit paragraaf 3.1 blijkt dat binnen de kweekcyclus een mosselkweker relatief veel impact heeft op de groei en overleving rondom het zaaien. Het zaaiverlies wat na het zaaien optreedt is dichtheidsafhankelijk (Capelle et al., 2016). Niet zozeer op perceelschaal maar op de vierkante meterschaal, zaaiverlies kan dus verminderd worden door het zaad goed en regelmatig uit te spreiden over het perceel (Capelle, 2017). De heterogeniteit in de dichtheid van het zaad is sterk verbonden aan de gebruikte zaaitechniek, om dit te optimaliseren is onderzoek vereist naar gebruik van andere zaaitechnieken. Daarnaast is het ook zaak de dichtheden op perceelschaal zo optimaal mogelijk te houden. Hierbij zijn een aantal zaken relevant. Bijvoorbeeld de beschikbare kweekgrond en de kwaliteit hiervan. Groei en overleving worden sterk bepaald door de omgeving en dus van de locatie van het mosselperceel. Het aantal percelen van voldoende kwaliteit is hierbij beperkt, waardoor bij toenemende beschikbaarheid van zaad de dichtheid op de percelen toeneemt (Capelle & Wijsman, 2019). Dikker zaaien kan lokaal leiden tot meer verlies, maar zoals voorgerekend in Box 7.1 in (Capelle, 2017) leidt dit ook tot meer biomassa en daarbij kan het –afhankelijk van de prijs van het zaad en de prijs op de veiling, winstgevend zijn dikker te zaaien. In dezelfde simulatie is berekend dat als areaal van goede kwaliteit toeneemt het rendement en de winst ook toeneemt. Als de kostprijs van het zaad toeneemt (zoals bij een toename van het aandeel aan MZI zaad) zal het areaal daarom relatief snel bepekkend worden voor de winstgevendheid. Inzicht in optimale dichtheden op perceelschaal vereist verder inzicht in ruimtelijke en temporele dynamiek van de voedselbeschikbaarheid (Wijsman, 2019).

Mosselen hechten zich aan elkaar of aan substraat met hun byssusdraden. Hierdoor zijn mosselen beter bestand tegen wegspoeling. Bodemzaad zit daarom vaak vastgesponnen aan steentjes of lege schelpen. MZI zaad komt van touwen en netten. Op de touwen en netten hechten de mosselen zich vooral aan het touw en net en aan elkaar. Als MZI zaad uitgezaaid wordt zal het een substraat zoeken om zich aan te hechten, of het zal zich aan elkaar hechten. Sommige mosselkwekers zaaien lege (kokkel)schelpen mee met MZI zaad, deze schelpen dienen dan als substraat waar de mosselen zich aan kunnen hechten, De verwachting hierbij is dat de mosselen dan beter beschermd zijn tegen wegspoeling. Een recente studie heeft dit effect bevestigd (Capelle et al., 2019).

Zoals in hoofdstuk 2 al naar voren komt, is het bestrijden van predatoren op de mosselen vaak noodzakelijk om mosselkweek in bepaalde gebieden mogelijk te maken (zie Hoofdstuk 2). Hierbij gaat het vooral om de zeesterren. Efficiëntieverbetering zou er uit kunnen bestaan een beter inzicht in de dynamiek tussen mosselen en zeesterren, waarmee vastgesteld zou kunnen worden wat de meest efficiënte periode en methode is zeesterren van de percelen af te halen. Krabben verwijderen van zaad is effectief (Davies et al., 1980), maar in de praktijk heel lastig te realiseren in de Nederlandse situatie.

Ten slotte kan een mosselkweker de mosselen verplaatsen tussen percelen van verschillende kwaliteit (Capelle & Wijsman, 2019). Meer inzicht in de dynamiek van percelen kan helpen in de timing van verplaatsingen van mosselen tussen percelen. Bij verplaatsingen is het ook van belang dat mosselen niet te lang in het ruim van het schip liggen of onnodig aan mechanische stress worden blootgesteld, dit veroorzaakt extra stress wat de overleving negatief kan beïnvloeden (Calderwood et al., 2015).

---

## 4 Synthese

In voorliggende rapportage is de volgende kennisvraag behandeld:

*Wat valt er te zeggen over de rol van de mosselkweek in de populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee en is er in de huidige kweekpraktijk ruimte voor efficiëntieverbetering?*

Hiertoe zijn in voorgaande hoofdstukken op basis van de best beschikbare kennis een opsomming gegeven van de verschillende factoren die A. de dynamiek van het totale bestand aan mosselen in de Waddenzee bepalen en de rol van mosselkweek hierin en B. de relatie tussen kweekpraktijk en kwekefficiëntie bepalen.

### 4.1 populatiedynamiek van mosselen in de Waddenzee en de rol van mosselkweek

In de sublitorale (permanent onder water staande) delen van de Waddenzee bevinden zich mosselen op natuurlijke mosselbanken en op mosselkweekpercelen. Mosselen van percelen zijn afkomstig van de zaadvisserij op deze natuurlijke mosselbanken, of zijn ingevangen met behulp van MZIs. Beide populaties zijn ruimtelijk grotendeels van elkaar gescheiden. Overleving van mosselen op natuurlijke banken laat een ruimtelijk patroon zien, waarbij de overleving beter is in gebieden met lage zoutgehaltes. Dit suggereert dat de overleving sterk afhankelijk is van de aanwezigheid van zeesterren, die gebieden met lage zoutgehalte mijden. De natuurlijke mosselbanken met de beste overleving zijn daarom vooral gesitueerd gebieden met een laag of sterk fluctuerend zoutgehalte. De groei van de mosselen in de gebieden met een laag zoutgehalte laten wel een verminderde groei zien, mogelijk deels als gevolg van de lage voedselkwaliteit in deze gebieden.

Mosselkweek heeft een sterk effect op de sublitorale mossel populatie in de Waddenzee. Door mosselen te verplaatsen van de natuurlijke banken naar de kweekpercelen, neemt de groei en overleving van mosselen sterk toe door de betere voedselkwaliteit en de bestrijding van zeesterren op de percelen. Ondanks dat een deel van de mosselen wordt geoogst en verplaatst naar kweekpercelen in Zeeland, is de productie van mosselen op percelen hoger dan op natuurlijke banken, wat tot een hoger sublitoraal mosselbestand leidt dan in een situatie zonder mosselkweek..

### 4.2 is er in de huidige kweekpraktijk ruimte voor efficiëntieverbetering?

Bodemkweek van mosselen is een extensieve kweek en daarbij grotendeels afhankelijk van de natuur. Mosselkwekers zijn al decennia lang dagelijks bezig met het kweken in deze natuur, dat heeft ertoe geleid dat in vergelijking met natuurlijke mosselbanken, mosselen op percelen een betere groei en overleving laten zien. Er zijn daarbij een beperkt aantal knoppen waar een mosselkweker aan kan draaien om invloed te hebben op de groei en overleving van mosselen op zijn perceel. Een belangrijke knop is het zaaien van de mosselen. Daar is ruimte voor efficiëntieverbetering, want daar heeft een mosselkweker invloed op de verspreiding van de mosselen over zijn perceel, en op de dichtheid, evenals speelt daar het belang van locatiekeuze. Onderzoek heeft laten zien dat beter verspreiden van mosselen efficiëntie verhogend kan zijn. Inzicht in ruimtelijke patronen zoals in voedselbeschikbaarheid en stroming kunnen helpen dichtheden te optimaliseren en timing van verplaatsing zo optimaal mogelijk te kiezen. Percelen hebben statische grenzen in een hoog-dynamisch systeem die ervoor zorgt dat de kwaliteit van percelen continu veranderd. Dit heeft een grote invloed op het de efficiëntie. Perceeloptimalisatie is dus een belangrijke stap in



---

efficiëntieverbetering, zodat er ook voldoende ruimte van voldoende kwaliteit beschikbaar is om zaaien in verschillende dichtheden ook optimaal in te kunnen zetten.

Meer inzicht in de dynamiek van predatoren kan meer handelingsperspectief bieden voor mosselkwekers. Ten slotte ervaren mosselen ook stress, wat ook een effect heeft op de groei en overleving. Minimalisatie van de stress kan ook leiden tot rendementsverbetering.

---

# Literatuur

- Agüera A, Schellekens T, Jansen JM, Smaal AC (2015) Effects of osmotic stress on predation behaviour of *Asterias rubens* L. *Journal of Sea Research*, **99**, 9-16.
- Alterra (2005) Passende Beoordeling sublitorale mosselzaadvisserij in de westelijke Waddenzee [Assessment of subtidal mussel fisheries in the western Wadden Sea] , Alterra-Texel, RIVO-Yerseke.
- Bøhle B (1972) Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **10**, 41-47.
- Calderwood J, O'Connor NE, Roberts D (2015) The effects of transportation stress and barnacle fouling on predation rates of starfish (*Asterias rubens*) on mussels (*Mytilus edulis*). *Aquaculture*, **444**, 108-113.
- Capelle JJ (2017) Production efficiency of mussel bottom culture. Wageningen University, Wageningen, pp. 240.
- Capelle JJ, Leuchter L, de Wit M, Hartog E, Bouma TJ (2019) Creating a window of opportunity for establishing ecosystem engineers by adding substratum: a case study on mussels. *Ecosphere*, **10**, e02688.
- Capelle JJ, van Stralen MR, Wijsman JWM, Herman PMJ, Smaal AC (2017) Population dynamics of subtidal mussels (*Mytilus edulis*) and the impact of cultivation. *Aquaculture environment Interactions*, **9**, 155-168.
- Capelle JJ, Wijsman JWM (2019) Perceelgebruik en kweekrendement mosselkweek in de Waddenzee, Helpdeskvraag KD-2019-015, Wageningen University & Research rapport C035/19. Yerseke.
- Capelle JJ, Wijsman JWM, Schellekens T, van Stralen MR, Herman PMJ, Smaal AC (2014) Spatial organisation and biomass development after relaying of mussel seed. *Journal of Sea Research*, **85**, 395-403.
- Capelle JJ, Wijsman JWM, van Stralen MR, Herman PMJ, Smaal AC (2016) Effect of seeding density on biomass production in mussel bottom culture. *Journal of Sea Research*, **110**.
- Christensen HT, Dolmer P, Hansen BW, Holmer M, Kristensen LD, Poulsen LK, Stenberg C, Albertsen CM, Støttrup JG (2015) Aggregation and attachment responses of blue mussels, *Mytilus edulis*—impact of substrate composition, time scale and source of mussel seed. *Aquaculture*, **435**, 245-251.
- Commito JA, Dankers NMJA (2001) Dynamics of spatial and temporal complexity in European and North American soft-bottom mussel beds. In: *Ecological Comparisons of Sedimentary Shores* (ed by Reise K). Springer Berlin, Heidelberg, Germany, pp. Pages 39-59.
- Davies G, Dare PJ, Edwards DB (1980) *Fenced Enclosures for the Protection of Seed Mussels (Mytilus Edulis L.) from Predation by Shore-crabs (Carcinus Maenas (L))*. Fisheries Research Technical Report 56., Great Britain. Directorate of Fisheries Research, Lowestoft, UK.
- De Jonge VN, De Jong DJ (2002) 'Global change' impact of inter-annual variation in water discharge as a driving factor to dredging and spoil disposal in the River Rhine system and of turbidity in the Wadden Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **55**, 969-991.
- Kamermans P (2010) Rendement MZI zaad op percelen: effect van wegvissen van krabben - perceelproef 2009 [Productivity of SMC seed on culture plots: effects of crab removal - experiment on culture plots 2009]. Wageningen Imares, Yerseke.
- Kamermans P, Blankendaal M, Perdon J (2009) Predation of shore crabs (*Carcinus maenas* L.) and starfish (*Asterias rubens* L.) on blue mussel (*Mytilus edulis* L.) seed from wild sources and spat collectors. *Aquaculture*, **290**, 256-262.
- Nehls G, Thiel M (1993) Large-Scale distribution patterns of the mussel *Mytilus edulis* in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein: Do storms structure the ecosystem? *Netherlands Journal of Sea Research*, **31**, 181-187.
- Newell CR (2007) Case study 1 – Factors which influence mussel production on bottom leases. In: *SMILE - Sustainable Mariculture in northern Irish Lough Ecosystems - Assessment of Carrying Capacity for Environmental Sustainable Shellfish Culture in Carlingford Lough, Strangford Lough, Belfast Lough, Larne Lough and Lough Foyle*. IMAR - Institute of Marine Research, pp. 100.
- Reusch TBH, Chapman ARO (1997) Persistence and space occupancy by subtidal blue mussel patches. *Ecological Monographs*, **67**, 65-87.
- Somers IF (1988) On a seasonally oscillating growth function. *Fishbyte*, **6**, 8-11.
- Sommer U, Meusel B, Stielau C (1999) An experimental analysis of the importance of body-size in the seastar-mussel predator-prey relationship. *Acta Oecologica*, **20**, 81-86.

- 
- van der Meer J, Dankers N, Ens BJ, van Stralen M, Troost K, Waser AM (2018) The Birth, Growth and Death of Intertidal Soft-Sediment Bivalve Beds: No Need for Large-Scale Restoration Programs in the Dutch Wadden Sea. *Ecosystems*, 1-11.
- Van Stralen MR, Craeymeersch J, Drent J, Glorius S, Jansen JM, Smaal AC (2013) Het mosselbestand op de PRODUS vakken en de effecten van de visserij daarop. In: *Effecten van mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee*. Marinix, Scharendijke.
- Wijsman JWM (2019) Dynamic Energy Budget (DEB) modelBlue mussels (*Mytilus edulis*): technical report INNOPRO project, Wageningen Marine Research report; no. C009/19. Yerseke, pp. 39.
- Wijsman JWM, Schellekens T, Van Stralen M, Capelle JJ, Smaal AC (2014) Rendement van mosselkweek in de westelijke Waddenzee [Efficiency of mussel culture in the western Wadden Sea]. IMARES Wageningen UR, Yerseke, pp. 79.

---

# Bijlage 1 Von Bertalanffy parameters

Tijdseries met de lengtes ( $L$ , mm) van de mosselen op percelen en op natuurlijke banken zijn gefit met een Von Bertalanffy groei functie met sinusoïde correctie voor seizoenfluctuaties in temperatuur (Somers, 1988):

$$L_t = L_\infty \left( 1 - e^{-[K(t-t_0)+S(t)-S(t_0)]} \right), \text{ with } S(t) = \frac{CK}{2\pi} \sin(2\pi(t - t_s))$$

Hierbij is  $K$  de groei coëfficiënt ( $d^{-1}$ ),  $L_\infty$  de asymptotische lengte (mm),  $L_t$  de lengte (mm) op de leeftijd  $t$  (d),  $C$  een constante (-) m.b.t. de grootte van de oscillatie,  $t_s$  het tijdstip waarom de sinusgolf begint (met een golflengte van een jaar),  $t_0$  is de theoretische leeftijd waarop  $L_t = 0$  is. Details over de fitting procedure zijn te vinden in Capelle et al. (2017)

Tabel B1 Von Bertalanffy parameters voor de lengtegroei van mosselen op percelen en op natuurlijke mosselbanken.

<b>VBGF</b>	<b>Percelen</b>		<b>Natuurlijke mosselbanken</b>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Std. error</i>	<i>Estimate</i>	<i>Std. error</i>
$L_\infty$	69.86	2.28	60.20	1.59
$K$	0.82	0.072	0.82	0.072
$t_0$	0.13	0.029	0.13	0.029
$C$	0.95	0.11	0.68	0.096
$T_s$	0.19	0.018	0.19	0.018

---

# Verantwoording

Rapport C036/19

Projectnummer: 4318200074

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: Dr.Ir. J.W.M. Wijsman  
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 8 april 2019

Akkoord: Drs. J. Asjes  
Manager integratie

Handtekening:



Datum: 8 april 2019

---

Wageningen Marine Research  
T: +31 (0)317 48 09 00  
E: [marine-research@wur.nl](mailto:marine-research@wur.nl)  
[www.wur.nl/marine-research](http://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'