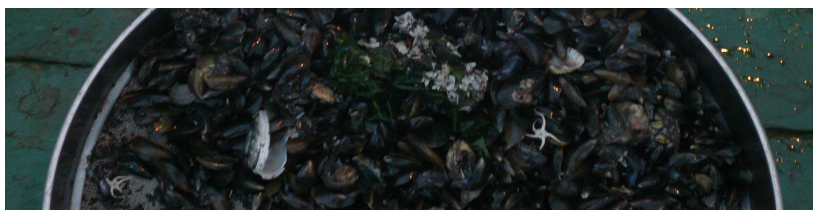


# PRODUS 1d: Rendement MZI zaad op percelen 2005-2008

Pauline Kamermans, Jeroen Jansen, Carola van Zweeden,  
Arnold Bakker, Liesbeth van der Vlies

Rapport C070/10



## IMARES Wageningen UR

(IMARES - institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Producentenorganisatie van de Nederlandse Mosselcultuur  
Postbus 116  
4400 AC Yerseke

Publicatiedatum:

Juni 2010



**IMARES** is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

© 2010 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO,  
geregistreerd in het Handelsregister  
nr. 09098104,  
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A\_4\_3\_1-V9.3

# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave .....	3
Samenvatting .....	5
1. Inleiding.....	7
2. Kennisvragen.....	8
3. Predatie proeven in kooien 2003 en 2005* .....	9
4. Veldmeting op percelen 2005* .....	10
4.1. Inleiding .....	10
4.2. Methode .....	10
4.3. Resultaten.....	10
4.4. Discussie .....	13
5. Perceel experiment Waddenzee 2006* .....	14
5.1. Inleiding .....	14
5.2. Methode .....	14
5.3. Resultaten.....	15
5.4. Discussie .....	17
6. Perceel experiment Oosterschelde 2007 .....	18
6.1. Inleiding .....	18
6.2. Methode .....	18
6.3. Resultaten.....	19
6.3.1. Mosselzaad .....	19
6.3.2. Predatie .....	20
6.3.3. Sedimentatie en stroomsnelheid.....	20
6.4. Discussie .....	22
7. Verspreiding van krabben en zeesterren op mosselpercelen.....	23
7.1. Inleiding .....	23
7.2. Methode .....	23
7.3. Resultaten en discussie .....	24

8.	Perceel experiment Waddenzee 2008 .....	29
8.1.	Inleiding .....	29
8.2.	Methode .....	29
8.3.	Resultaten .....	32
8.4.	Discussie .....	38
9.	Conclusies en aanbevelingen.....	39
9.1.	Conclusies .....	39
9.1.1	Groei van MZI zaad in vergelijking tot bodemzaad op percelen.....	39
9.1.2	Overleving van MZI zaad in vergelijking tot bodemzaad op percelen .....	39
9.2.	Aanbevelingen .....	40
	Kwaliteitsborging .....	41
	Dankwoord.....	41
	Referenties .....	42
	Verantwoording .....	43
	Bijlage 1. Aquaculture publicatie .....	45

# Samenvatting

Fluctuaties in aanbod van mosselzaad en druk op de visserij hebben er toe geleid dat de sector mosselzaadinvangsystemen (MZI's) is gaan ontwikkelen. Door de extra kosten aan arbeid en materiaal is MZI zaad duurder dan traditioneel gevist zaad, daarom is een hoog rendement van het mosselzaad tijdens doorkweek op de percelen van belang. Dit is het onderwerp van studie van PRODUS deelproject 1d. Het rendement wordt bepaald door groei en overleving van het zaad. Het onderzoek heeft zich gericht op factoren die de groei en overleving van MZI zaad kunnen beïnvloeden. Het huidige rapport geeft een samenvatting van het onderzoek dat is uitgevoerd in de periode 2005-2008.

## Groei en conditie van MZI zaad

MZI zaad vertoont een goede groei op een bodemperceel. Er zijn geen aanwijzingen voor verminderde groeipotentie van MZI zaad. Ook de ontwikkeling van de conditie van het MZI zaad is vergelijkbaar met bodemzaad. De beste groei van MZI zaad is gevonden op zandige bodem en bij een lage zaaidichtheid. Schelpen zaaien had geen effect op de groei, schelpdikte of conditie van het zaad. Krabben wegvangen had geen effect op de groei, schelpdikte of conditie van het zaad. Bij bescherming van het zaad met een net was de schelpdikte van MZI en bodemzaad toegenomen gedurende het experiment. Er was een grotere toename voor onbeschermd zaad.

## Overleving van MZI zaad

Bij uitzaaiing op een perceel spoelde veel mosselzaad weg door hechting aan zeesla. Daarnaast heeft het invangen van zeesla tot verstikking van de mossel geleid. Bodemzaad liet minder grote verliezen zien dan MZI zaad. Dit was gerelateerd aan de mate van getrostheid. Bodemzaad was sterk getrost en MZI zaad matig. Getroste mossels hebben veel minder de neiging om zich aan nieuw substraat te hechten. Het mee zaaien van schelpen kan vertrossing mogelijk bevorderen.

De predatie proeven in kooien lieten geen verschil zien in overleving tussen MZI en bodemzaad bij blootstelling aan predatoren. De meeste overleving vond plaats bij zaad van groter dan 20 mm. Dit betekent dat selectie op grootte voorafgaand aan uitzaaien de overleving van het zaad kan vergroten. Bij bescherming van het zaad met een net op een perceel was de overleving van MZI en bodemzaad vergelijkbaar en hoger dan onbeschermd zaad. Bescherming van het zaad tegen predatoren liet zien dat de overleving van het bodemzaad significant beter was dan van MZI zaad. Hierbij was niet duidelijk of het verdwijnen van het mosselzaad werd veroorzaakt door predatie of door wegspoelen. Het aanbrengen van bescherming kan een optie zijn om de overleving van MZI zaad te vergroten. Dit dient wel economisch rendabel en ecologisch inpasbaar te zijn. Gebruik van afbreekbaar materiaal is mogelijk een optie. Dan kan de bescherming langzaam verdwijnen terwijl het zaad uitgroeit tot een formaat dat minder vatbaar is voor predatie door krabben

en zeesterren. Er werd geen eenduidig effect van het wegvangen van krabben op het rendement van MZI zaad gevonden.

# 1. Inleiding

Voor de Nederlandse bodemcultuur oogsten kwekers jonge mosselen (zaad) van wilde banken en kweken deze in 1-3 jaar verder op tot consumptieformaat op percelen. De aanwas van zaad vertoont sterke fluctuaties van jaar tot jaar. Daarnaast is de visserij onder druk komen te staan doordat er zorgen zijn omtrent de effecten van zaadvisserij op het ecosysteem. De fluctuaties in aanbod en druk op de visserij hebben er toe geleid dat de sector is gaan zoeken naar alternatieve bronnen van jonge mosselen. Op 21 oktober 2008 sloten Min. LNV, mosselsector en natuurorganisaties het convenant 'Transitie mosselsector en natuurherstel in de Waddenzee', waarin de partijen overeenkomen dat zij gezamenlijk toewerken naar een mosselsector die onafhankelijk is van de bodemzaadvisserij in 2020. Sinds 2000 wordt gewerkt aan het ontwikkelen van mosselzaadinvanginstallaties (MZI's). Mosselzaadinvanginstallaties maken gebruik van de levenscyclus van mosselen. Substraten zoals touwen en netten worden in het voorjaar in het water geplaatst, op het moment dat er veel larven aanwezig zijn in het water. De larven vestigen zich op deze substraten (broedval) en groeien in een aantal weken uit tot zaad. Dit zaad kan van de netten en touwen worden geoogst en vervolgens op percelen worden uitgezaaid.

Voor het optimaliseren van het gebruik van MZI's is het van belang dat de meest geschikte locaties en periodes voor zaadinvang worden geïdentificeerd. Ook is i.v.m. het naleven van de Vogel- en Habitatrichtlijn informatie nodig over effecten van MZI's op bodemfauna en bodemstructuur, vogels en zeehonden. Deze onderdelen zijn behandeld in PRODUS deelproject 1c (Kamermans et al, 2008). Daarnaast is informatie nodig over de overlevingskansen van MZI-zaad t.o.v. gevist bodemzaad teneinde de effectiviteit van de MZI's te kunnen vaststellen. Door de extra kosten aan arbeid en materiaal is MZI zaad duurder dan traditioneel gevist zaad, daarom is een hoog rendement van het mosselzaad tijdens doorkweek op de percelen van belang. Dit is het onderwerp van studie van PRODUS deelproject 1d. Het huidige rapport geeft een samenvatting van het onderzoek dat is uitgevoerd in de periode 2005-2008. Het onderzoek uit 2009 is apart gerapporteerd (Kamermans et al, 2010).

## 2. Kennisvragen

1. Wat is het verschil in overleving tussen MZI zaad en gevist bodemzaad bij blootstelling aan predatoren?
2. Bij welke grootte vindt de meeste overleving plaats?
3. Wat is het verschil in groei en overleving tussen MZI zaad en bodemzaad bij uitzaaing op percelen?
4. Kan de overleving worden verbeterd door het nemen van maatregelen zoals
  - a. bescherming van het zaad tegen predatoren
  - b. het wegvangen van predatoren
  - c. het meezaaien van schelpen
  - d. het selecteren van een bepaald type bodem,
  - e. het aanpassen van de zaai dichtheid?

Aan de hand van bovenstaande vragen is een aantal onderzoeken uitgevoerd. In eerste instantie is informatie verkregen over de predatie door krabben en zeesterren op verschillende typen zaad. Hierbij is gebruik gemaakt van kooiproeven waarbij MZI zaad en gevist zaad van verschillende groottes en in verschillende dichtheden is getest. De resultaten worden samengevat in hoofdstuk 3 van dit rapport en zijn gebaseerd op het rapport Verbetering Broedval Mosselen (hoofdstuk 8 in Kamermans et al, 2004) en de technisch onderliggende PRODUS rapportage van Blankendaal et al. (2006). De resultaten zijn ook gepubliceerd in het internationale tijdschrift *Aquaculture*. Deze publicatie is opgenomen in bijlage 1 van het huidige rapport. Naast deze gecontroleerde experimenten is ook informatie in het veld verzameld. Veldmetingen op percelen van MZI zaadafnemers worden weergegeven in hoofdstuk 4 en zijn al eerder gepresenteerd als memo (Kamermans, 2006). Hoofdstuk 5 geeft de resultaten weer van een kleinschalige proef met MZI en wild zaad op een perceel in de Waddenzee. Hierbij is zaad beschermd tegen predatie. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de technisch onderliggende PRODUS rapportage Kamermans et al (2007). Hoofdstuk 6 rapporteert over een perceelproef in de Oosterschelde waar het effect van oorsprong van het zaad (bodem of MZI) is getest. Hoofdstuk 7 toont de verspreiding van krabben en zeesterren op percelen tijdens de jaarlijkse bestandsopnamen. Hoofdstuk 8 gaat over een grootschalige perceelproef in de Waddenzee waar het effect van type zaad, zaai dichtheid, type bodem, schelpen zaaien en krabben wegvangen op de groei en het rendement van het zaad zijn onderzocht. De resultaten uit deze laatste drie hoofdstukken zijn nog niet eerder beschreven.



### 3. Predatie proeven in kooien 2003 en 2005\*

Pauline Kamermans, Monique Blankendaal & Jack Perdon

\* Gebaseerd op het rapport Verbetering Broedval Mosselen (hoofdstuk 8 uit Kamermans et al, 2004) en de technisch onderliggende PRODUS rapportage van Blankendaal et al. (2006).

In 2003 en 2005 zijn kooiexperimenten uitgevoerd waarbij het effect van het type zaad (wild of collector), de grootte van het zaad en de dichtheid van het zaad op de overleving van het zaad is getest. Het zaad werd blootgesteld aan predatie door krabben of zeesterren en de overleving gevolgd. De samenvatting is gebaseerd op hoofdstuk 8 uit het rapport Verbetering Broedval Mosselen (Kamermans et al, 2004) en de technisch onderliggende PRODUS rapportage van Blankendaal et al. (2006). Dit werk is ook gepubliceerd in het tijdschrift Aquaculture. De volledige tekst van de publicatie is opgenomen als bijlage 1.

Mosselzaad van verschillende oorsprong (wilde litorale en sublitorale banken en collectoren) werd aangeboden aan krabben (*Carcinus maenas*) en zeesterren (*Asterias rubens*) en de overleving van het zaad werd gevolgd. Daarnaast is het effect van dichtheid en grootte van het zaad op de predatie bestudeerd. Ronde kooien met predatoren en mosselzaad werden in een bassin met stromend zeewater geplaatst, of opgehangen aan een steiger in een haven. Twee grootte klassen predatoren en drie grootte klassen zaad werden gebruikt. Overleving werd gemonitord. Er werd minder zaad door zeesterren gegeten dan door krabben. De maximum consumptiesnelheden waren 23 zaadjes per dag per krab en 1 zaadje per dag per zeester. Consumptiesnelheden namen significant toe met afname in zaad grootte. Zaad dat groter was dan 20 mm werd significant minder snel gegeten. Zaad dichtheid had geen effect op de overleving. Collector zaad werd niet sneller geconsumeerd dan wild litoraal of sublitoraal zaad. De conclusie is dat collector zaad een veel belovende extra bron van mosselzaad kan zijn voor de bodemcultuur van mosselen in Nederland.

## 4. Veldmeting op percelen 2005\*

Pauline Kamermans

\* Al eerder gepresenteerd als memo (Kamermans, 2006).

### 4.1. Inleiding

Alle mosselkwekers die in 2004 en 2005 MZI zaad hebben afgenomen zijn door het RIVO benaderd met het verzoek om monsters beschikbaar te stellen voor het volgen van de ontwikkeling van het zaad op bodempercelen.

### 4.2. Methode

De opzet van de bemonstering betrof het volgen van de groei van MZI zaad in de tijd zodat deze gegevens naast de ontwikkeling van gevist zaad gelegd konden worden. Van de aangeleverde monsters zijn van 100 mosselen de gemiddelde, maximale en minimale lengte van de mosselen bepaald met een digitale schuifmaat. Het busstukstal is bepaald door te tellen hoeveel mosselen zonder water in een volume van 880 ml passen. Daarnaast is ook het vleesgehalte bepaald door de mosselen 2 minuten in de magnetron te plaatsen op 100W vermogen.

### 4.3. Resultaten

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de bemonsterde partijen. Hieruit blijkt dat in 2004 vier partijen MZI zaad zijn geogst voor uitzaaien op een bodemperceel in de Waddenzee en twee partijen in de Oosterschelde. In 2005 zijn vijf partijen MZI zaad geogst voor uitzaaien op een bodemperceel in de Waddenzee en vier partijen in de Oosterschelde. Van deze partijen zijn zes monsters doorgemeten. De andere partijen waren vermengd met bodemzaad en in één geval is het zaad bij bemonstering niet terug gevonden op het perceel. Er is ook 1 monster gevist zaad doorgemeten.

In de figuren 4.1-4.4 zijn de resultaten van de metingen weergegeven. Gegevens van verschillende locaties zijn hier samen gevoegd in 1 figuur. Figuur 4.1 en 4.2 laten zien dat de grootte van het zaad toeneemt in de loop van de tijd. Opvallend is dat het in het wild geviste zaad kleiner is dan het MZI zaad. Het MZI zaad vertoont echter grotere verschillen in lengte (zie figuur 4.3). Het vleespercentage van het MZI zaad is hoger dan dat van het geviste zaad (zie figuur 4.4).

Tabel 4.1. Overzicht van MZI projecten, geoogst zaad en bemonstering van MZI zaad op bodempercelen.

MZI zaad op perceel						
jaar	gebied	invangproject	invang locatie	geoogst voor bodemcultuur	bemonstering op perceel	opmerkingen
2004	Waddenzee	West 6	Malzwin	ja	nee	Vermengd met bodemzaad
			Malzwin	ja	ja	
		PD	Malzwin	ja	nee	TNO bemonstering
	Oosterschelde	Landa	Malzwin	ja	nee	TNO bemonstering
			Krammer	ja	ja	
				ja	ja	
2005	Waddenzee	West 6	Malzwin	ja	nee	Vermengd met bodemzaad
			Malzwin	ja	ja	
		PD	Malzwin	ja	nee	Vermengd met andere partijen
	Waddenzee	WIETEX	Malzwin	ja	nee	Vermengd met bodemzaad
			Oergat	ja	nee	Vermengd met bodemzaad
			Texelstroom	ja	nee	Vermengd met bodemzaad
			Malzwin	ja	ja	
			Oergat	nee	nee	Mosselen verdwenen
			Texelstroom	nee	nee	Mosselen verdwenen
			IMOZA	Doove Balg	nee	nee
	Noordzee	Mosselweek op Open Zee	Malzwin	nee	nee	Installaties te laat te water
			Vlieter	nee	nee	Installaties te laat te water
			Stompe	nee	nee	Installaties te laat te water
			Verversgat	nee	nee	Installaties te laat te water
			Steile Hoek	nee	nee	Installatie te diep onder water
	Oosterschelde	Neeltje Jans	Brouwershavense Gat	nee	nee	Is versleept naar hangcultuur Neeltje Jans
			Marinecultuur Oosterschelde	Krammer	ja	nee
Oosterschelde		Neeltje Jans	Krammer	ja	ja	
			Krammer	ja	nee	Vermengd met bodemzaad
			Mastgat	ja	nee	Vermengd met bodemzaad
			Vuilbaard	nee	nee	Is versleept naar hangcultuur Neeltje Jans
			veerhaven Kruijningen	nee	nee	Is versleept naar hangcultuur Neeltje Jans

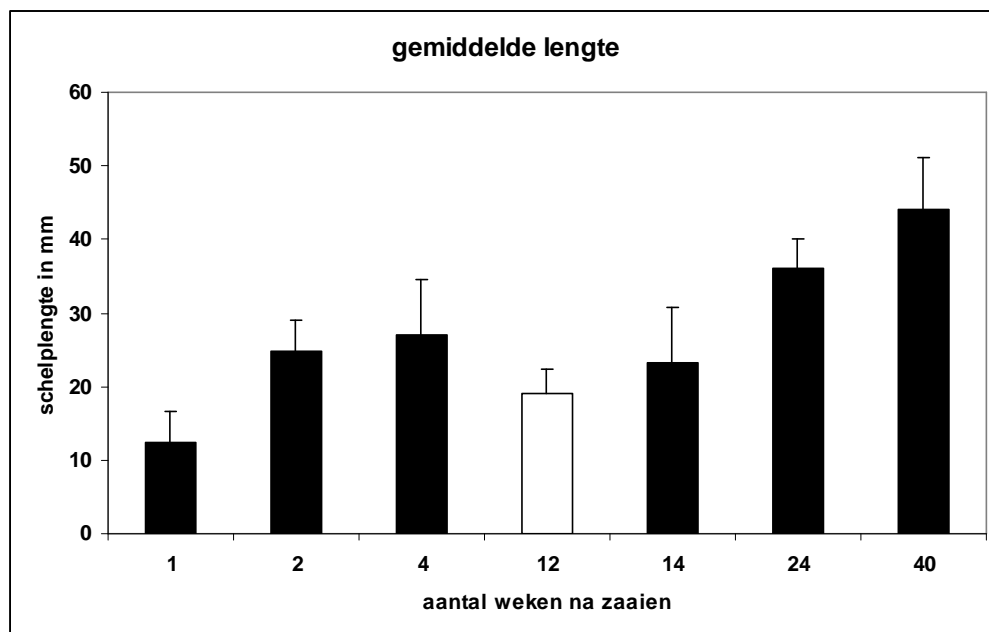


Fig. 4.1. Gemiddelde lengte (met sd) van MZI zaad (zwart) en gevist zaad (wit) in relatie tot aantal weken na uitzaaien op perceel.

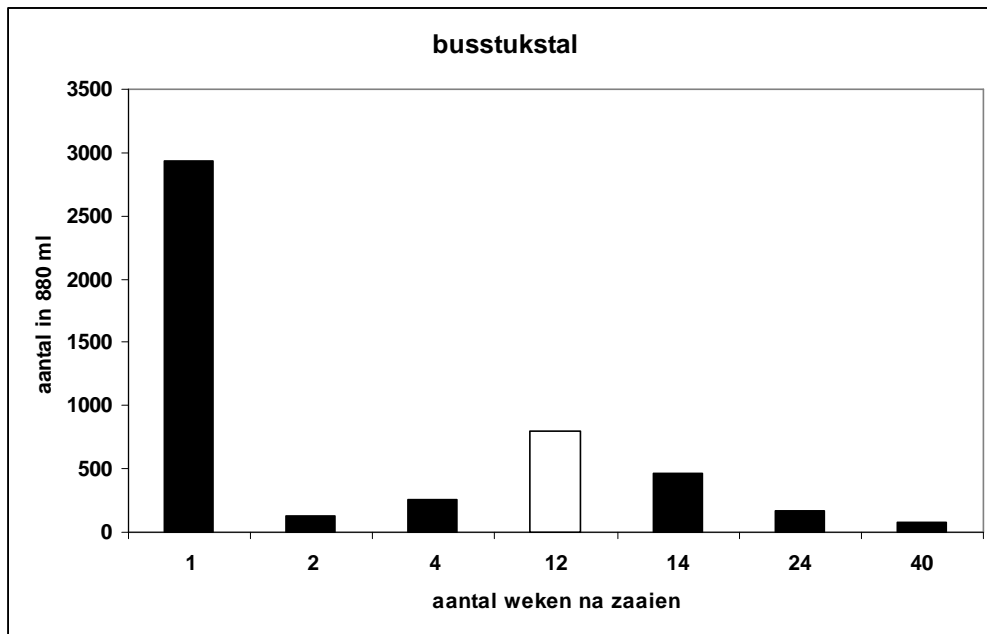


Fig. 4.2. Busstukstal van MZI zaad (zwart) en gevist zaad (wit) in relatie tot aantal weken na uitzaaien op perceel.

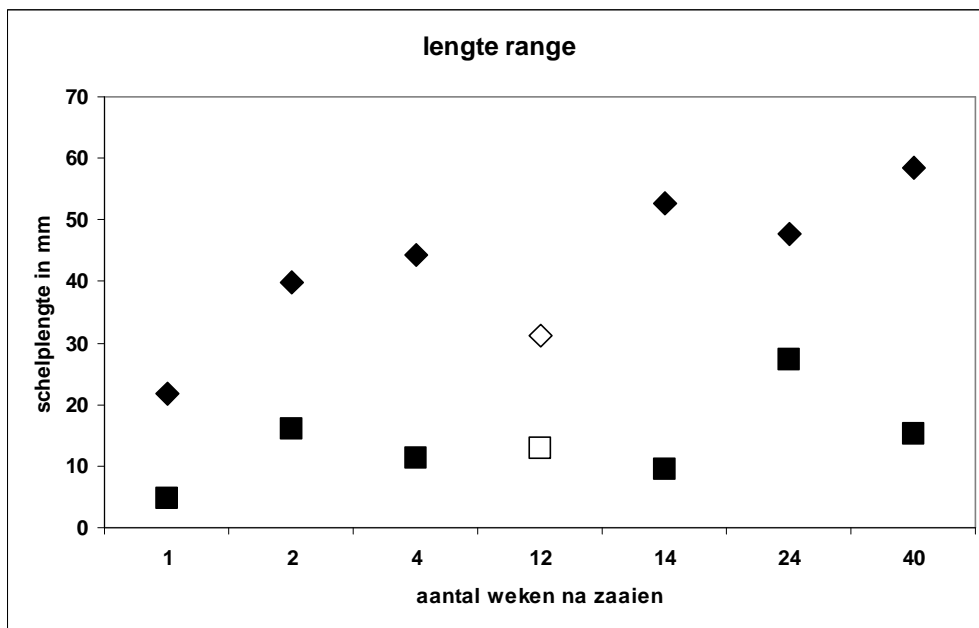


Fig. 4.3. Lengte range (minimum en maximum) van MZI zaad (zwart) en gevist zaad (wit) in relatie tot aantal weken na uitzaaien op perceel.

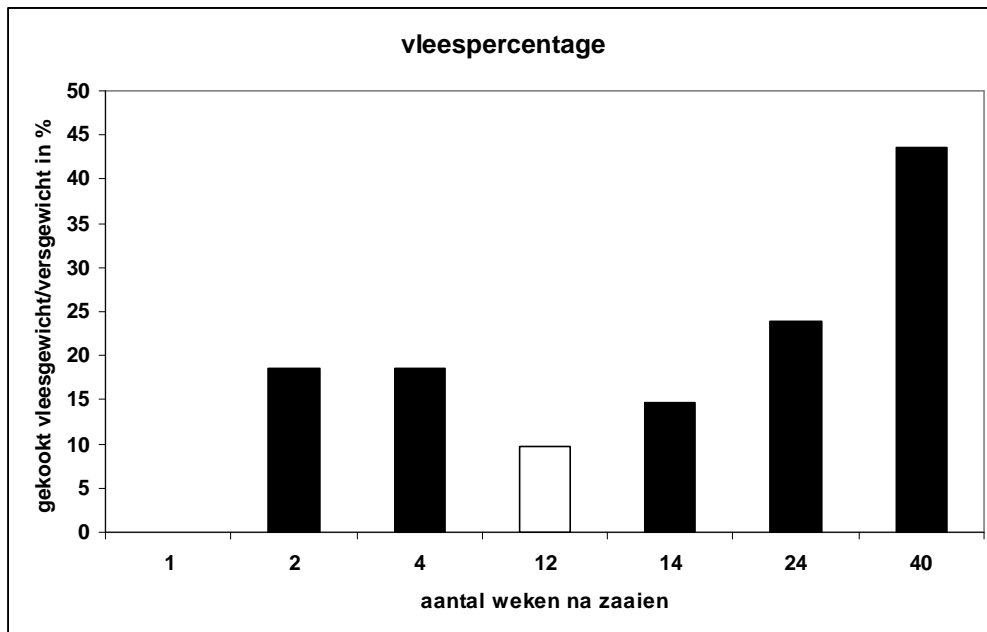


Fig. 4.4. Vleespercentage van MZI zaad (zwart) en gevist zaad (wit) in relatie tot aantal weken na uitzaaien op perceel.

#### 4.4. Discussie

Op basis van de gepresenteerde gegevens kan worden geconcludeerd dat het MZI zaad een goede groei vertoont op een bodemperceel. Ook de ontwikkeling van het vleespercentage van het MZI zaad is goed. Het MZI zaad is niet uniform van afmeting, maar laat een grote range in lengten zien.

Een complicerende factor bij dit onderdeel van het project is het feit dat het MZI zaad vaak werd vermengd met bodem zaad, waardoor verder volgen van de partij niet meer zinvol was. Daarnaast zijn voor de vergelijking met gevist zaad locaties nodig waar collectorzaad naast gevist zaad is uitgezaaid. MZI zaad wordt meestal niet gelijktijdig met, en op dezelfde locatie als, gevist bodem zaad uitgezaaid. Dit is wel een vereiste voor een goede vergelijking met gevist zaad. In 2001/2002 is een dergelijk experiment uitgevoerd in het kader van het project Verbetering Broedval Mosselen (Kamermans et al., 2004). Er werd verschil in schelpgewicht of vleesgewicht aangetroffen. De toename is hoeveelheid zaad (optelsom van groei en overleving) was iets sterker voor het wilde zaad dan voor het collector zaad. Dit was een gevolg van de lagere sterfte van het wilde zaad.

## 5. Perceel experiment Waddenzee 2006\*

Pauline Kamermans, Arnold Bakker, Arno Dekker, Klaas Kaag en Jack Perdon

\* Gebaseerd op de technisch onderliggende PRODUS rapportage Kamermans et al (2007)

### 5.1. Inleiding

In 2005 zijn een tweetal proeven uitgevoerd om beter inzicht te verkrijgen in het rendement van MZI zaad. Partijen MZI zaad zijn na oogst gevolgd op percelen van ondernemers. Een probleem hierbij was dat het zaad meestal niet gelijktijdig met, en op dezelfde locatie als, gevist bodem zaad werd uitgezaaid. Dit is wel een vereiste voor een goede vergelijking met gevist zaad. Daarnaast werd het zaad soms vermengd met bodem zaad, waardoor verder volgen van de partij niet meer zinvol was. Naast deze veldmetingen zijn ook predatie proeven in kooien uitgevoerd. Deze proeven geven inzicht in predatie snelheden van krabben en zeesterren voor bodem- en MZI zaad. Een volgende stap is echter de doorvertaling van deze meetresultaten naar een veldsituatie. Het huidige hoofdstuk geeft een samenvatting van een experiment uit 2006 waarbij de groei, overleving en rendement op van zaad van verschillende herkomst (collector of sublitoraal bodem) en het effect van bescherming op overleving op een perceel in de Waddenzee zijn getest. Over dit onderzoek is in 2007 gerapporteerd (Kamermans et al, 2007). Mosselzaad van verschillende herkomst is met en zonder bescherming geplaatst op een perceel. Twee typen zaad (MZI en sublitoraal bodem) zijn getest. De vraagstelling bij het onderzoek was of bescherming de overleving van het mosselzaad verhoogt. Daarnaast werd ook een effect verwacht op de schelpdikte. Onderzoek van Frandsen & Dolmer (2002) heeft laten zien dat mosselen die werden blootgesteld aan predatie door krabben een dikkere schelp ontwikkelden. Door de schelpdikte van mosselen voorafgaand aan het experiment en na afloop van het experiment te meten kon worden bepaald of dit effect ook hier optrad. En tenslotte werd de conditie van de mosselen bepaald om te zien of het bedekken met gaas geen negatief effect had op de voedselopname.

### 5.2. Methode

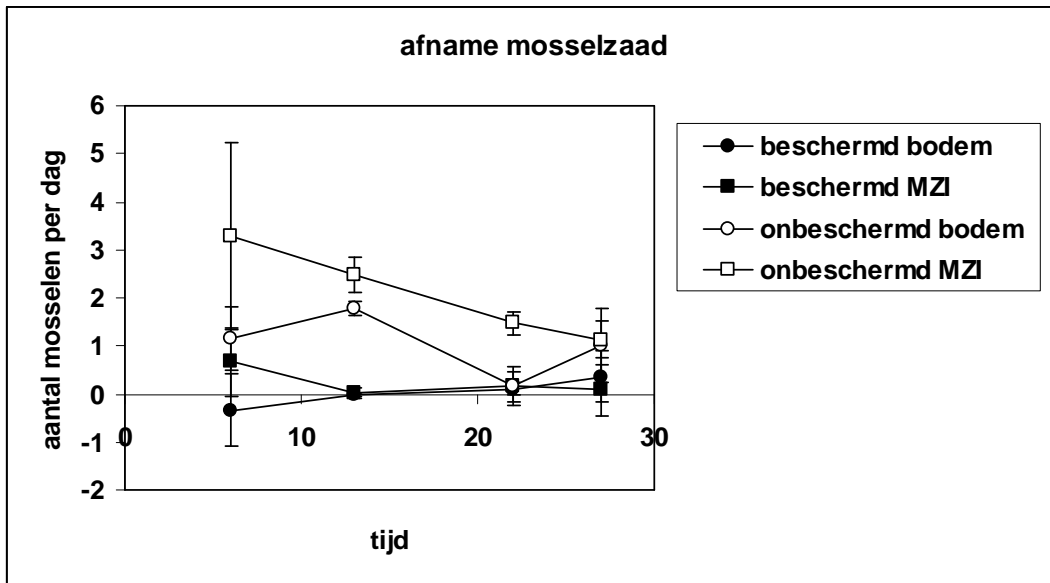
De proef is uitgevoerd op het perceel Vlieter 85 van Prins & Dingemanse in de Waddenzee. Het MZI zaad was afkomstig van de MZI van Prins & Dingemanse in het Malzwin en het sublitorale bodemzaad was verzameld op een wilde bank in de Vlieter. Alleen mosselen in de range 10 – 23 mm werd gebruikt. Deze mosselen werden verdeeld in groepjes van 50 mosselen die zich konden hechten op tableaux van beton. De helft van de mosselen werd blootgesteld aan predatoren en de andere helft niet door bedekking met gaas (zie figuur 5.1). Vier tableaux zijn uitgezet op 13 oktober. Op 18, 25 oktober en 3 en 8 november werd steeds één tableau opgehaald (zie figuur 5.1). Bij iedere ophaaldag is het aantal mosselen per vakje geteld. Aan het begin en einde van het experiment is de schelpdikte en conditie van het zaad bepaald.



*Figuur 5.1. Betonnen tableaus met door gaas bedekt en onbedekt MZI en bodemzaad.*

### 5.3. Resultaten

De overleving van mosselzaad was significant hoger in de beschermde vakken dan in de onbeschermden vakken (figuur 5.2). Dit gold zowel voor bodem zaad als voor MZI zaad. In de beschermde vakken werd geen significant verschil in overleving gevonden tussen bodem en MZI zaad, maar in de onbeschermden vakken was de overleving van het bodemzaad significant beter. Het beschermde zaad vertoonde nauwelijks afname. Aan het einde van het experiment vertoonde de conditie index van het mosselzaad geen verschil tussen het onbeschermd zaad of het beschermde zaad of tussen verschillende typen zaad. De schelpdikte van het mosselzaad was toegenomen gedurende de periode van het experiment (figuur 5.3). Er was een significant grotere toename voor onbeschermd zaad. Er werd geen effect van type zaad gevonden.



Figuur 5.2. Gemiddelde dagelijkse afname van mosselzaad van bodem en van MZI in beschermde en onbeschermde vakken op vier tijdstippen ( $n=3$  met sd).



Figuur 5.3. Gemiddelde schelpdikte van mosselzaad van bodem en van MZI in beschermde en onbeschermde vakken bij inzet van het experiment en na 26 dagen ( $n=3$  met sd).



## 5.4. Discussie

Er werd minder mosselzaad aangetroffen in de onbeschermden vakken. Dit wijst op verlies door predatie of wegspoelen. In de onbeschermden vakken was de overleving van het bodemzaad significant beter. Een verklaring voor dit verschil is niet eenduidig. Er werden niet meer predatoren aangetroffen bij het MZI zaad dan bij het bodemzaad, maar de predatoren kunnen bij het ophalen van het plateau verdwenen zijn. De schelpdikte van het mosselzaad was toegenomen gedurende de periode van het experiment. Dit komt overeen met de resultaten gevonden door Frandsen & Dolmer (2002). Zij noemen dat dit mogelijk een reactie is van de mosselen op chemische stoffen die worden afgescheiden door de predatoren of een reactie op bewegingen van de predatoren. Een andere verklaring die ze noemen kan zijn dat de mosselen met de dunste schelp het eerst worden opgegeten en dat dus de dieren met een dikkere schelp overblijven. In onze experimenten werd de toename in schelpdikte echter ook bij mosselen in de beschermden vakken gevonden. Het bodemzaad en MZI zaad lieten aan het eind van de proef geen verschil zien in schelpdikte of conditie. De sterkte van de sluitspier kan mogelijk wel verschillen, maar dat is niet bepaald.

## 6. Perceel experiment Oosterschelde 2007

Pauline Kamermans & Jeroen Jansen

### 6.1. Inleiding

Doel van het experiment was het volgen van het rendement van mosselzaad van verschillende oorsprong (MZI of bodem) op een perceel in de Oosterschelde. In dit experiment is een perceel in de Oosterschelde geselecteerd. Op gemarkeerde perceel-delen werd mosselzaad verzaait dat afkomstig is uit het wild (de Waddenzee) en van MZI's. Van het verzaaide zaad werd de overleving en groei gevolgd in de tijd. Daarnaast is een aantal factoren gemonitord die deze groei en overleving naar verwachting beïnvloeden. Deze studie kwam tot stand in samenwerking met het bedrijf Roem van Yerseke.

### 6.2. Methode

Voor het experiment is perceel 37a van de Roem van Yerseke geselecteerd op basis van een beschutte ligging (Fig. 6.1). Mosselzaad is verzameld van wilde zaadbanken in de Waddenzee (32kg) en de MZI's van de Roem van Yerseke op de Voordelta (23kg). Zaad werd op woensdag 12 september bij zeer rustig weer uitgezaaid in het litoraal, op de LWL en in het sublitoraal, -1m t.o.v. de LWL.



*Figuur 6.1. Perceel 37a van de Roem van Yerseke. De staken geven het zaaigebied aan. Te zien is dat er veel zeesla aanwezig was op het moment van uitzaaien van het zaad.*

Het zaad was van verschillende oorsprong: MZI en wild bodemzaad. Het bodemzaad was getrost, en het MZI zaad was een klein beetje getrost. Onder het MZI zaad was sterfte, waarschijnlijk door het oogsten en

het transport. Het uitzaaien vond plaats in porties van 3kg op een cirkel met een diameter van 125cm. In het litoraal zijn in totaal 15 plots uitgezaaid en in het sublitoraal 11. Daarnaast is er nog 15kg MZI zaad uitgezaaid over een oppervlakte van 3x3m en 2x 7kg wild bodemzaad op twee plots van 2x2m. Zie tabel 6.1.

Tabel 6.1. Overzicht van gezaaide hoeveelheden

Litoraal	Bodem (3 kg)	MZI (3 kg)	MZI (1kg)
Aantal Plots	3	3	3
Additioneel	2 x 4 m <sup>2</sup> a 7 kg	1 x 9 m <sup>2</sup> a 15 kg	2 x 4 m <sup>2</sup> a 7 kg
Litoraal			
Sublitoraal	Bodem (3 kg)	MZI (3 kg)	MZI (1 kg)
Aantal plots	3	3	3
Totaal	Bodem	MZI	
Totaal (kg)	32	23	

T0 was op 12 september                      0 weken  
T1 was op 18 september                      1 weken  
T2 was op 9 oktober                            4 weken

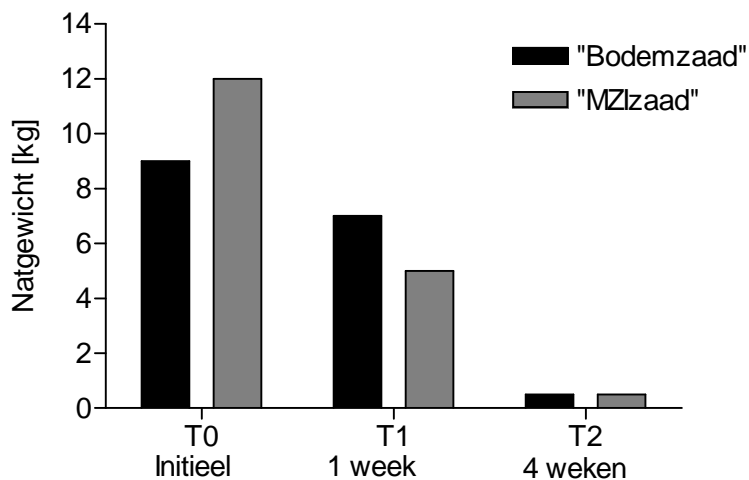
De sedimentatiesnelheid en stroomsnelheid zijn gemeten en gerelateerd aan de groeisnelheid en overleving van het zaad. Om de sedimentatiesnelheid te bepalen zijn zogenaamde sediment-catchers geplaatst. Ingevangen sediment is gedroogd en gewogen. Voor het bepalen van de maximale stroomsnelheid werd gebruik gemaakt van imitatie-mossels met verschillende dichtheden. Het al dan niet verplaatsen van de imitatie-mossels door stroming hangt af van de stroomsnelheid.

## 6.3.Resultaten

### 6.3.1. Mosselzaad

Na één week was, ondanks het rustige weer erg veel mosselzaad van de plots verdwenen (Fig. 6.2). Het bodemzaad laat de minste verliezen zien. Van het grote plot (15kg) MZI zaad was een patch over van ongeveer 3kg. Van de grote plots bodemzaad (7 kg) was één plot nog aardig vol zaad (5kg). De andere was dood door bedekking met zeesla (*Ulva* spp.). Ditzelfde zagen we in het sublitoraal, waar het merendeel van de plots verdwenen was. Van de overige plots was >95% bedekt met zeesla. Alleen van het bodemzaad was ook in het sublitoraal nog wat terug te vinden. De ruim ingezaaide plots waren veranderd in kleine

patches van dicht samengepakte mosselen. De mosselen hadden veel materiaal (schelpen, etc.) uit hun omgeving in de mosselbank(jes) verwerkt. Op T1 zijn geen monsters genomen omdat de verliezen reeds groot waren. Na vier weken waren alleen nog kleine hoeveelheden bodemzaad en MZI zaad terug te vinden. Het MZI zaad dat in het experiment is gebruikt had een bredere grootteklasse verdeling en was gemiddeld groter dan het bodemzaad (Fig. 6.3). Op T2 is het resterende mosselzaad bemonsterd. De grootteklasse verdeling van het resterende bodem- en MZI zaad had een gemiddelde lengte van 18mm. Voor het bodemzaad is er geen verschil met de T0, voor het MZI zaad is duidelijk dat alle grotere klassen waren verdwenen. Op T0 was de conditie van het MZI zaad significant hoger dan dat van het bodemzaad (Fig. 6.4). Op T2 was de conditie van het zaad significant (One Way ANOVA) toegenomen t.o.v. de initiële monsters. Bodemzaad en MZI zaad verschilden niet meer van elkaar.



*Figuur 6.2. Vergewicht van totale hoeveelheid mosselzaad van verschillende oorsprong op experimentele plots in het litoraal, na 0, 1 en 4 weken.*

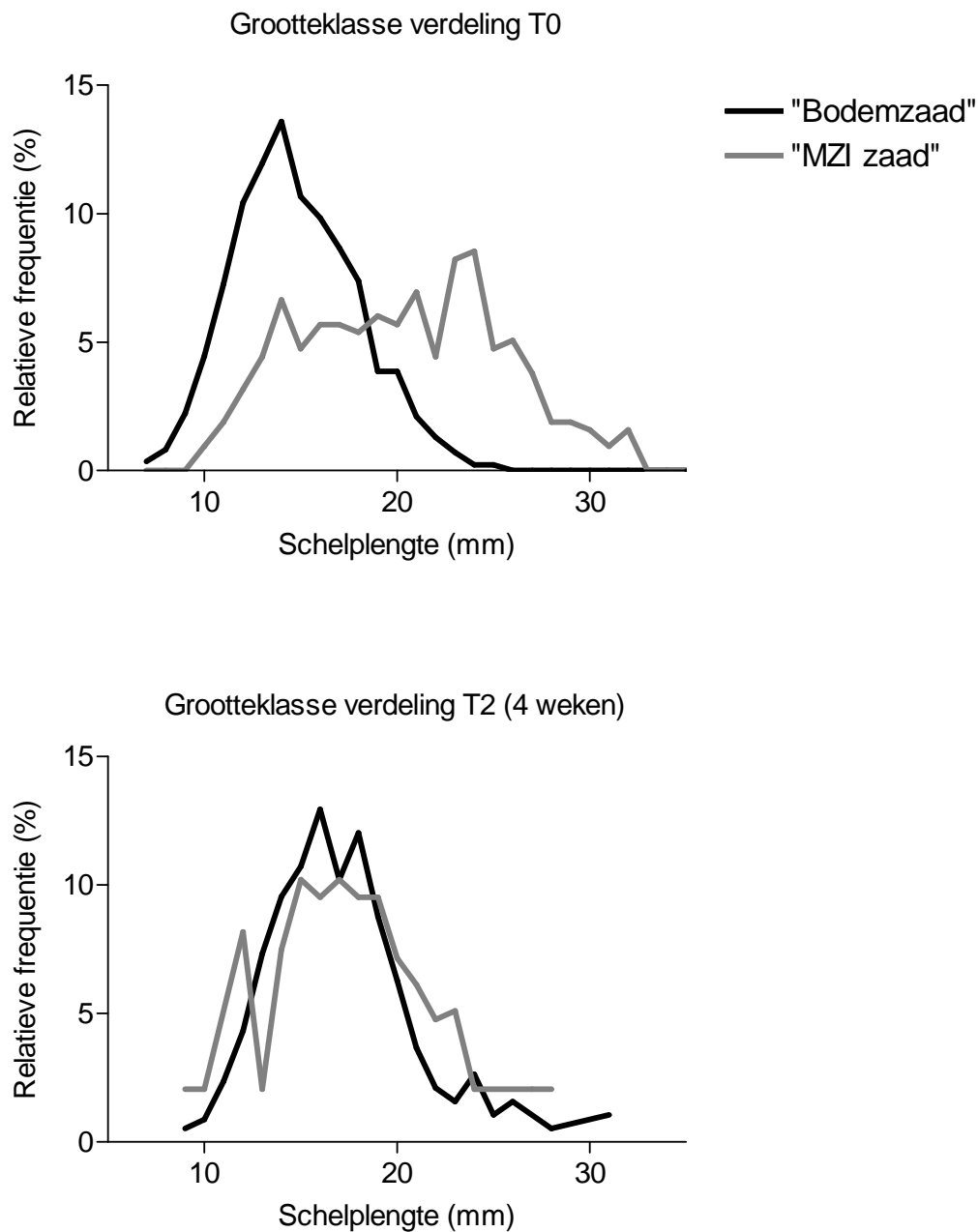
### 6.3.2. Predatie

Na drie weken waren er in het litoraal geen tekenen van predatie. In het sublitoraal daarentegen zijn duidelijk sporen van activiteit van grote krabben gevonden. Tijdens de T1 zijn geen zeesterren aangetroffen.

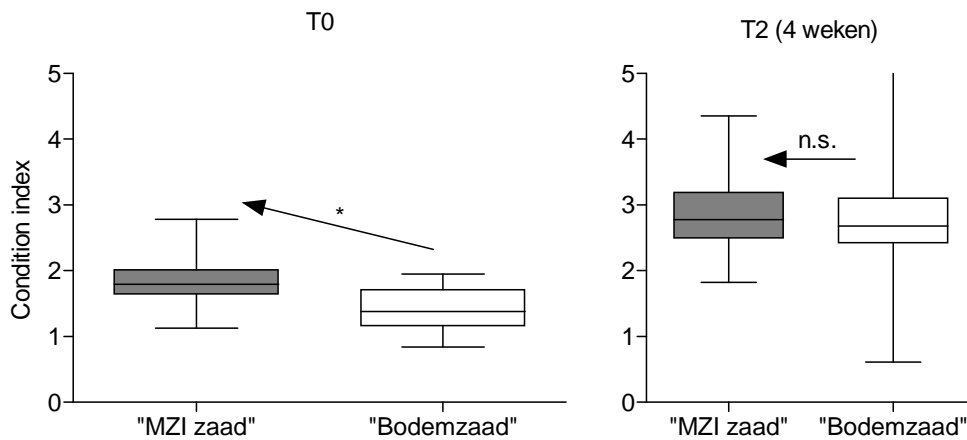
### 6.3.3. Sedimentatie en stroomsnelheid

Op T1 was er geen sprake van sedimentatie in de sedimentcatchers. Om de mate van turbulentie te schatten zijn op T0 schijven van verschillende dichtheid in het veld geplaatst. Op T0 waren alle schijven nog in hun oorspronkelijke positie, i.e. de stroming was zeer beperkt. Op T2 lagen alleen de schijven met de

hoogste dichtheid nog op hun plaats, hetgeen indicatief was voor de aanwezigheid van stroming (niet nader gekwantificeerd).



Figuur 6.3. Grootteklasse verdeling van bodemzaad en MZI zaad; initiële monsters (boven) en op T2 (onder).



*Figuur 6.4. De conditie index van het mosselzaad (drooggewicht / lengte tot de derde macht) van de verschillende zaadtypen op T0 (rechts) en de conditie index van het mosselzaad van de resterende zaadtypen op T2 (links).*

#### 6.4. Discussie

Het experiment was bedoeld om een aantal maanden te duren. Het feit dat het na 4 weken is afgerond geeft aan dat het niet verliep zoals gehoopt was. De grote verliezen waren niet veroorzaakt door de stroming, golfslag of predatie. Het was heel duidelijk dat het invangen van zeesla tot verstikking van de mossel leidde. Bovendien spoelde veel mosselzaad weg juist doordat het aan grote stukken zeesla hechtte. Dit proces was tijdens de T0 duidelijk waarneembaar. Tijdens de T1 werd duidelijk dat de accumulatie van zeesla en andere wieren leidde tot verstikking, i.e. zuurstofloosheid en sulfaatreductie. Bodemzaad liet in eerste instantie minder grote verliezen zien dan MZI zaad Dit was gerelateerd aan de mate van getrostheid. Bodemzaad was sterk getrost en MZI zaad matig. Getroste mossels hebben veel minder de neiging om zich aan nieuw substraat te hechten (in dit geval zeesla). De mate van getrostheid bepaalde dus in sterke mate hoeveel zeesla er accumuleerde. Bovendien spoelen kleine trossen en individuele mosselen sneller weg dan grote trossen. De sterk toegenomen conditie van het mosselzaad gedurende vier weken suggereert dat de waterkwaliteit (voedselaanbod) niet de oorzaak was van grote verliezen.

# 7. Verspreiding van krabben en zeesterren op mosselpercelen

Pauline Kamermans & Carola van Zweeden

## 7.1. Inleiding

Jaarlijks worden door IMARES bemonsteringen uitgevoerd op mosselpercelen in de Oosterschelde (sinds 1992 in juni) en de Waddenzee (sinds 2004 in november). Doel van de bemonstering in de Oosterschelde is een bepaling van gebruik en kwaliteit van Oosterscheldepercelen in het voorjaar (Kater & Kesteloo, 2003). De bestandsopname in de Waddenzee is van belang in verband met de voedselsituatie voor eidereenden in de winterperiode (Kamermans et al, 2005; Wijsman & Jol, 2007a,b). Tijdens deze bemonsteringen wordt naast het aantal en de grootte van de mosselen ook de aanwezigheid van krabben en zeesterren genoteerd. Deze informatie kan behulpzaam zijn bij studies naar het effect van predatie op de overleving van mosselen. Aan de hand van het voorkomen van krabben en zeesterren kunnen percelen met veel en weinig predatoren worden geselecteerd.

## 7.2. Methode

De bemonstering vindt plaats volgens een raster dat samenvalt met de coördinaten op de nautische kaarten. Het raster is noord-zuid en oost-west georiënteerd. In de Oosterschelde liggen de punten in oost-west richting 0.2 geografische minuut uit elkaar en 0.1 geografische minuut in noord-zuid richting. Vanwege het grotere gebied is voor de Waddenzee een ander monstergrid gekozen dan in de Oosterschelde. Zowel in oost-west richting als in noord-zuid richting in liggen de raaien 0.2 geografische minuut uit elkaar. Er zijn alleen monsters genomen op de delen van de percelen waar mosselen werden verwacht. Deze verwachting wordt gebaseerd op informatie van de Visserijkundig Ambtenaren van LNV.

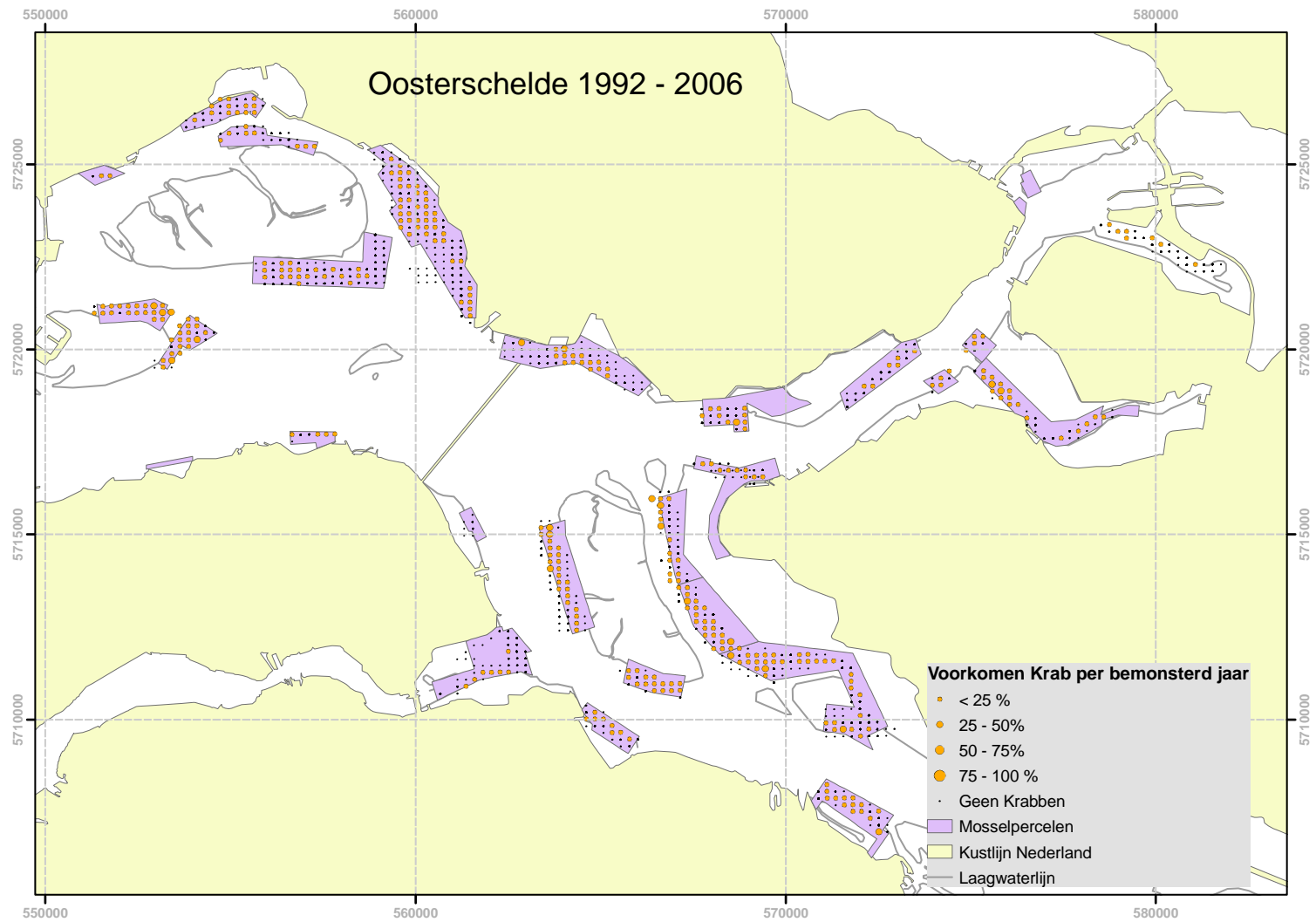
Op een monsterpunt werden met een Van Veen bodemhapper 5 monsters genomen met ieder een oppervlakte van 550 cm<sup>2</sup>. Het geheel werd samengevoegd tot een mengmonster en gespoeld in een zeef met een maaswijdte van 1 mm. In totaal werd dus per punt een oppervlakte van 0.275 m<sup>2</sup> bemonsterd. De mosselen zijn opgedeeld in zaad (schelplengte < 1.5 cm), halfwas (schelplengte > 1.5 cm en < 4.5 cm) en consumptie (schelplengte > 4.5 cm). Vertrossing & aangroei van pokken zijn genoteerd. Per monsterpunt worden de mossels geteld, van pokken ontdaan en in een genummerde zak verzameld en later binnen in het schip op de bovenweger gewogen. Eventuele aanwezigheid van zeesterren, krabben, zaggers of schelpdieren anders dan mosselen werden genoteerd.

De gegevens tot en met 2006 zijn samengevoegd en voor ieder monsterpunt is aangegeven hoeveel jaar daar krabben of zeesterren waren aangetroffen. Dit aantal is vervolgens uitgedrukt als percentage van het totaal aantal jaren dat er gemonsterd is.

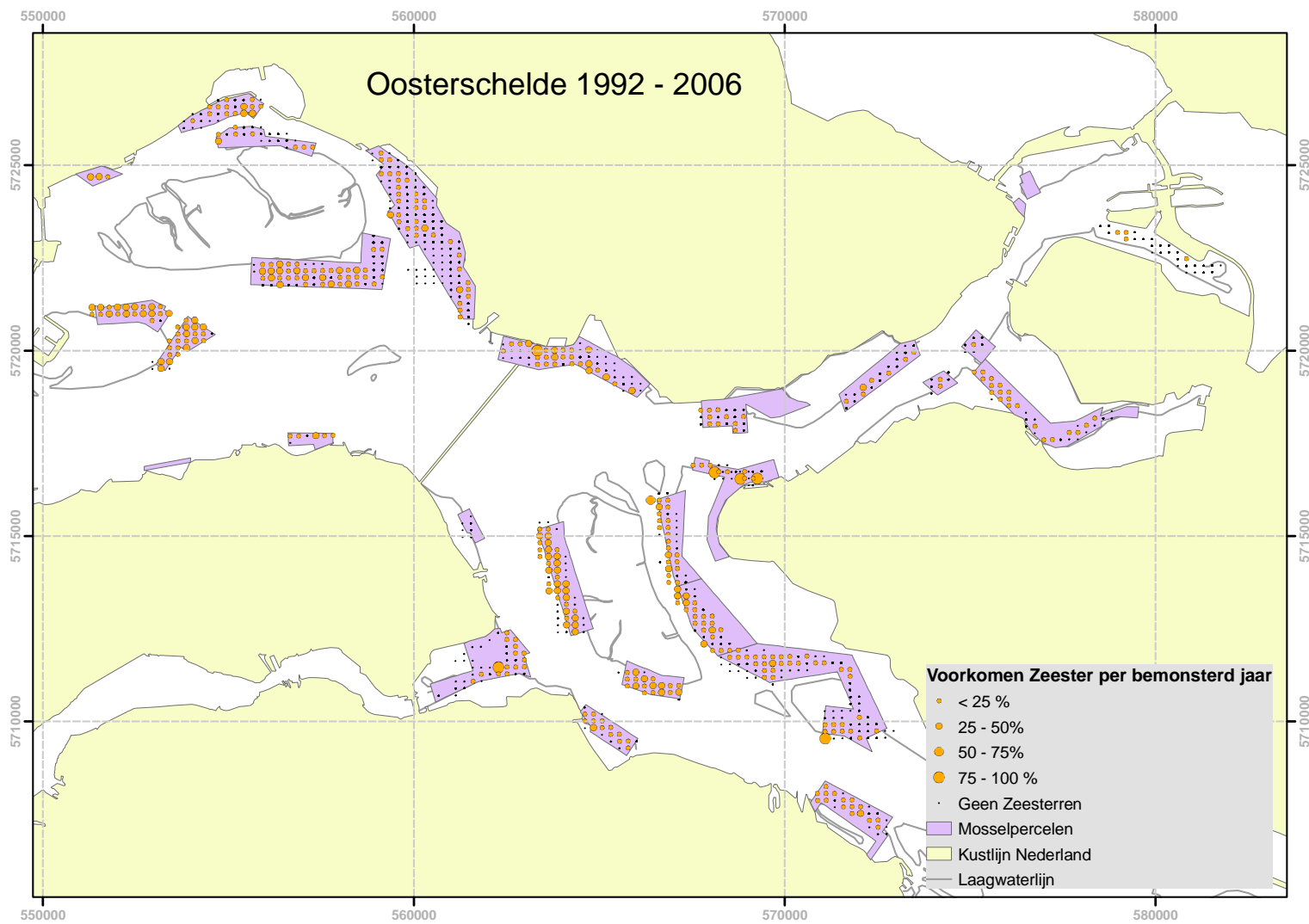
### 7.3. Resultaten en discussie

Figuur 7.1 tot en met 7.4 tonen de verspreiding van krabben en zeesterren in de Oosterschelde (1992-2006) en Waddenzee (2004-2006). Uit het overzicht blijkt dat er gebieden zijn waar nooit krabben of zeesterren zijn aangetroffen en andere gebieden waar juist vrijwel ieder jaar krabben en zeesterren worden gevonden. De aanwezigheid van mosselen is een van de factoren die de aanwezigheid van de predatoren bepaalt. Maar daarnaast kunnen sommige gebieden geschikter zijn voor krabben en zeesterren dan andere. Een uitgebreidere analyse, waarbij ook teeltgegevens van individuele percelen (zaaihoeveelheid en oogsthoeveelheid) betrokken worden kan hier meer duidelijkheid over verschaffen. Dit wordt opgepakt in het AIO project gericht op de rol van predatie voor de overleving van mosselen.

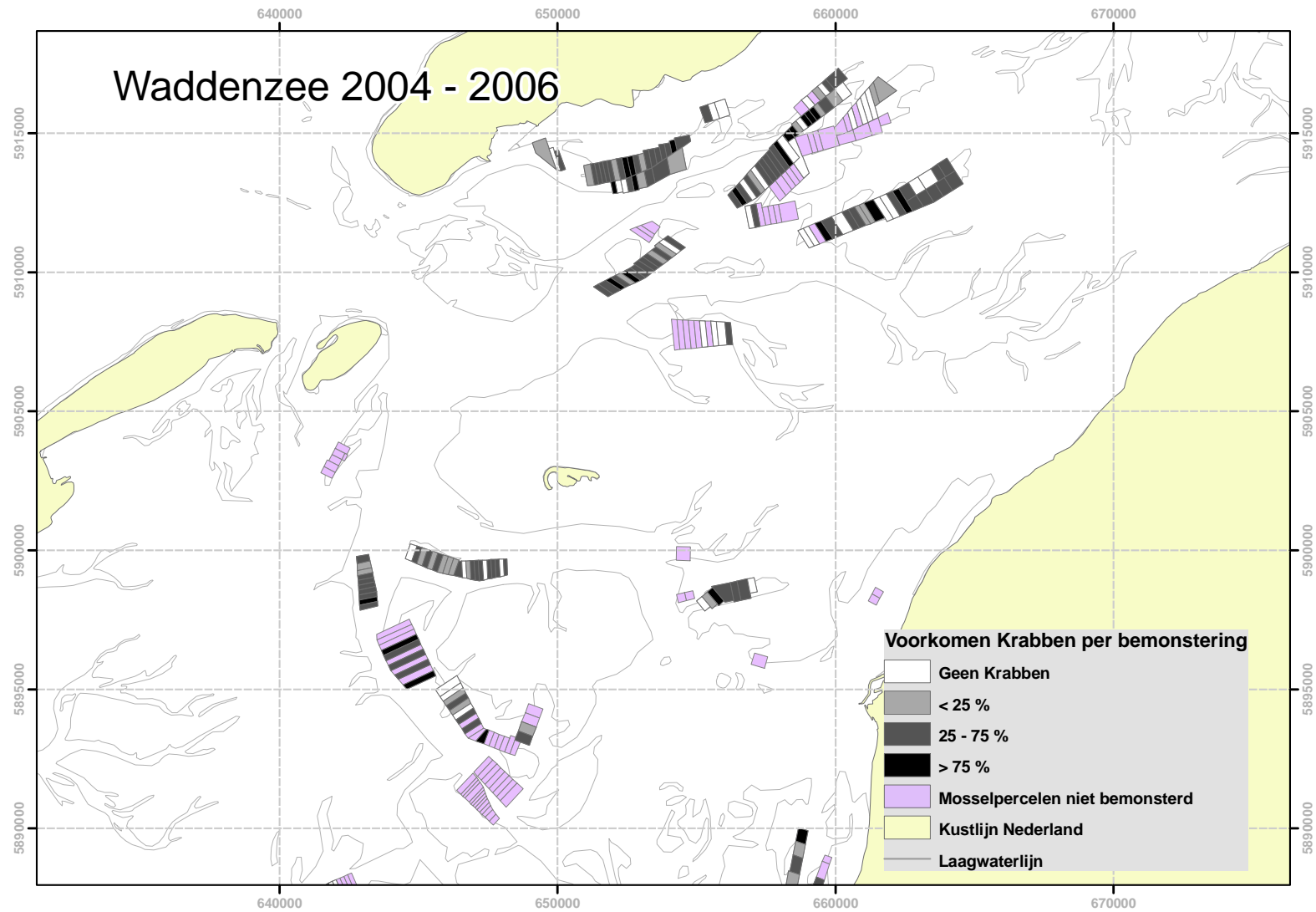




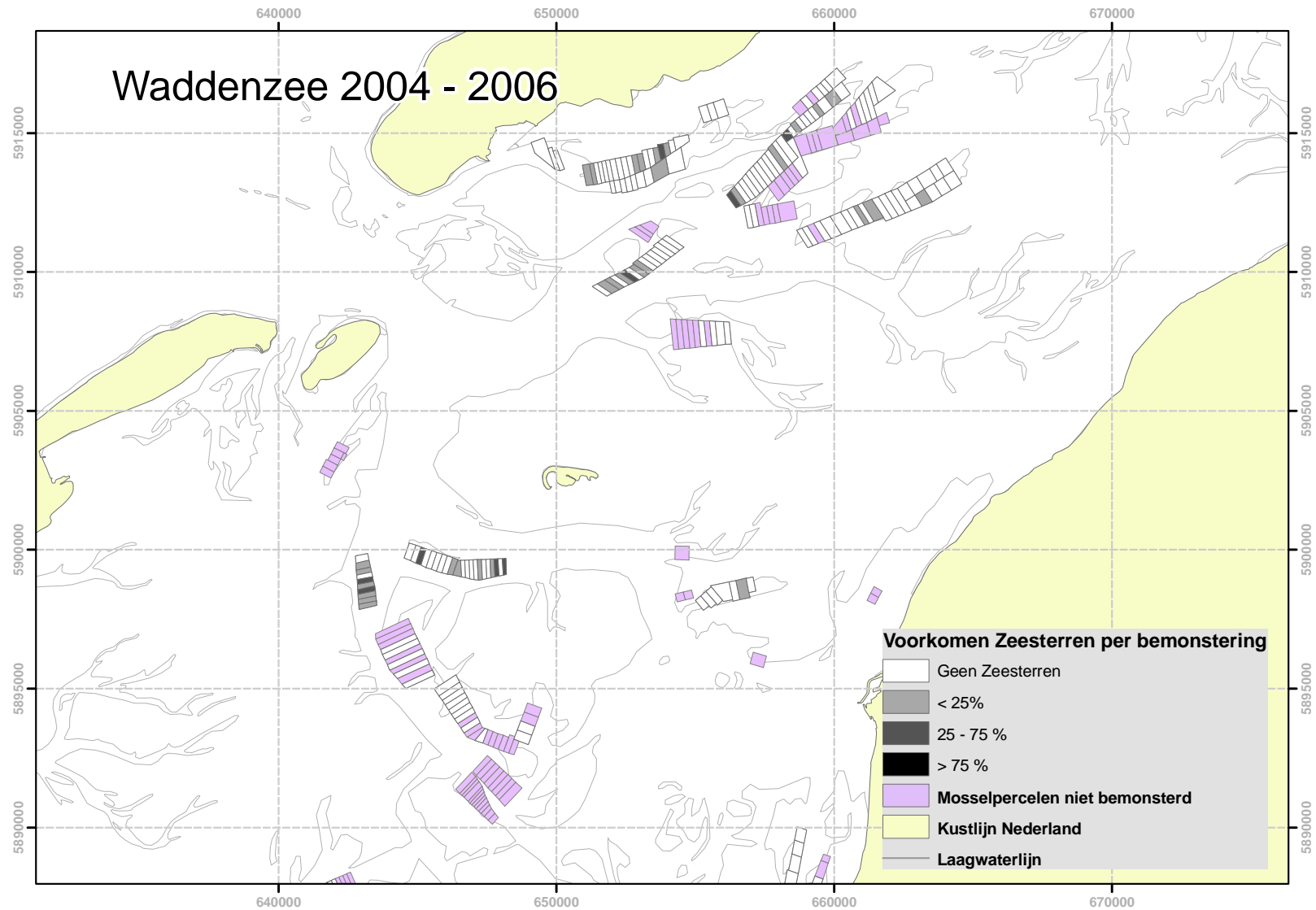
Figuur 7.1. Verspreiding van krabben in de Oosterschelde in de periode 1992-2006.



Figuur 7.2. Verspreiding van zeesterren in de Oosterschelde in de periode 1992-2006.



*Figuur 7.3. Verspreiding van krabben in de Waddenzee in de periode 2004-2006.*



*Figuur 7.4. Verspreiding van zeesterren in de Waddenzee in de periode 2004-2006.*

# 8. Perceel experiment Waddenzee 2008

Pauline Kamermans, Arnold Bakker, Liesbeth van der Vlies

## 8.1. Inleiding

In 2006 en 2007 zijn twee kleinschalige proeven uitgevoerd waarbij mosselzaad van verschillende herkomst (MZI en sublitoraal bodem) met en zonder bescherming geplaatst op een perceel. Daaruit is gebleken dat zowel bodemzaad als MZI zaad goed overleefde en dat beschermd mosselzaad een twee maal hogere overleving vertoonde dan onbeschermd zaad. In onbeschermd gevallen was het verlies groot. Dit is mogelijk veroorzaakt door de kleine gebieden die zijn ingezaaid. Voor de reproduceerbaarheid van deze eerste resultaten en onderzoek naar de verdere mogelijkheden van verbetering van het rendement van MZI zaad is een grootschaliger experiment uitgevoerd in 2008.

## 8.2. Methode

In 2008 is een grootschalige perceelproef uitgevoerd in de Waddenzee. De groei en overleving van mosselen van de MZI van Prins en Dingemanse zijn na uitzaaiing gevolgd op vijf percelen van Prins en Dingemanse in de Waddenzee. Tabel 8.1 geeft een overzicht van de percelen. De percelen verschillen in bodemstructuur. Drie percelen zijn opgedeeld in vakken. De zaaidichtheid is gevarieerd. Om de vertrouwing te stimuleren zijn op sommige perceelvakken schelpen mee gezaaid. Prins en Dingemanse heeft een vergunning voor het wegvangen van krabben bij percelen waar zij geoogst MZI zaad op uitzaaien. Om de effectiviteit hiervan op de overleving van zaad te testen is de groei en het rendement van MZI zaad op perceelvakken waar krabben zijn weggevangen vergeleken met de groei en het rendement van MZI zaad op perceelvakken waar geen krabben zijn weggevangen. Ook is het aantal gevangen krabben gemonitord. Het effect van onderstaande parameters op de groei en het rendement van het zaad is onderzocht.

- type bodem: zand, slik of zand/slik
- zaai dichtheid: laag, midden of hoog
- schelpen zaaien: ja of nee
- krabben wegvangen: ja of nee

Omdat per behandeling maar 1 perceelvak aanwezig was, dus geen replica's, was een statistische analyse van de resultaten niet mogelijk.

Tabel 8.1. Overzicht van gebruikte percelen en behandelingen.

Locatie	Bodem	Code	Oppervlakte (m <sup>2</sup> )	Zaai dichtheid (kg/m <sup>2</sup> )	Schelpen zaaien	Krabben wegvangen
Wieringen 85	zand	W 85 1	56250	laag (1.60)	ja	ja
		W 85 2	41250	laag (0.97)	ja	nee
		W 85 3	15000	laag (0.67)	nee	nee
Wieringen 110	slik	W 110 1	27000	middel (2.02)	ja	ja
		W 110 2	27000	middel (2.02)	ja	nee
		W 110 3	5400	middel (2.02)	nee	nee
Wieringen 104	zand/slik	W 104	35000	laag (1.29)	ja	nee
Wieringen 105	zand/slik	W 105	35000	middel (2.43)	ja	nee
Scheurrak 9	zand/slik	S1	22500	hoog (5.44)	nee	ja
		S2	22500	hoog (5.44)	nee	nee

### Groei van MZI zaad

Aan het begin (juli) en einde (oktober) van het experiment is van 100 mosselen per perceelvak de lengte bepaald voor de verdeling van de mosselen over de verschillende lengteklassen. Daarnaast is van de 10 grootste mosselen per perceelvak de schelpafmetingen en het as-vrij drooggewicht van het vlees bepaald. Hieruit is de schelpdikte, groeisnelheid en conditie van het MZI zaad bepaald.

Voor bepaling van de schelpdikte is schelpenlengte (l), schelphoogte (h) en schelpbreedte (b) in mm bepaald en het schelpgewicht (w) in mg opgemeten van 10 individuen per perceelvak. Vervolgens werd gebruik gemaakt van de formules uit Frandsen & Dolmer (2002). Eerst werd het oppervlak (A) van de schelp uitgerekend met formule 1.

$$(1) A = l * \sqrt{(h^2 + b^2)} * \pi/2$$

Daarna werd de schelpdikte (D) uitgerekend met formule 2.

$$(2) D = w / A$$

De schelpdikte kan informatie geven over de predatiedruk. Bij blootstelling aan krabben neemt de schelpdikte toe (Leonard et al, 1999).

Voor bepaling van de groeisnelheid is het as-vrij drooggewicht (AFDW) van het vlees in  $\mu\text{g}$  bepaald. Dat hield in dat de mosselen werden geopend en het vlees 72 uur werden gedroogd bij 60 °C, gewogen en vervolgens 2,5 uur verast bij 560 °C en opnieuw gewogen. De specifieke groeisnelheid (SGR) werd berekend met formule (2) uit Clausen and Riisgard (1996):

$$\text{SGR} = \ln \left( \frac{W_{\text{eind}}}{W_{\text{begin}}} \right) * t^{-1}$$

Hierin is  $W_{\text{begin}}$  het gemiddelde begingewicht (in gram as-vrij drooggewicht) van 10 individuen en  $W_{\text{eind}}$  het gemiddelde eindgewicht van 10 individuen en t de tijd (in dagen). In deze berekening zijn geen individuen gevolgd, omdat de dieren aan het begin werden verast. Daarom is het gemiddelde van 10 individuen gebruikt zonder spreiding.

Met behulp van de gemiddelde waarde voor AFDW en de gemiddelde schelplengte (l), schelphoogte (h) en schelpbreedte (b) kon de conditie-index worden berekend in  $\mu\text{g per mm}^3$  zoals weergegeven in formule 3 en ook toegepast door Frandsen & Dolmer (2002).

$$(3) CI = AFDW / (l * b * h)$$

De conditie-index zegt iets over de voedselomstandigheden voor het zaad. Een hoge index wijst op goede groeiomstandigheden.

#### Krabben vangen op MZI percelen

Op drie perceelvakken zijn krabben weggevangen (W 85 1, W 110 1 en S9 1). Op 8 tijdstippen zijn de krabben korven op verschillende perceelvakken geplaatst (Tabel 8.2). Er zijn steeds 10 krabben korven op een perceelvak geplaatst. Niet altijd zijn alle 10 korven teruggevonden (Tabel 8.2). Het aantal krabben per korf is gescheiden in mannetjes en vrouwtjes en daarna geteld. Daarnaast is de carapax-breedte opgemeten.

*Tabel 8.2. Data, locaties en vangstduur van krabben korven op de verschillende perceelvakken.*

datum	perceelvak	periode	aantal korven
2-Jul	W 85 1	6 uur	10
8-Jul	W 85 1	5 dagen	10
22-Jul	W 85 1	14 dagen	9
14-Aug	W 110 1	8 dagen	9
26-Aug	W 110 1	12 dagen	10
4-Aug	S 1	3 dagen	10
27-Aug	S 1	23 dagen	10
23-Sep	S 1	27 dagen	8

#### Rendement van MZI zaad

Het rendement van MZI zaad is de resultante van groei en overleving. Voor het bepalen van de overleving is het nodig om de dichtheid aan mosselzaad (aantallen of biomassa per oppervlakte) te kennen. IMARES is bezig een camera te ontwikkelen die in de troebele Waddenzee opnames kan maken. Hiertoe is een de behuizing van een onderwatercamera uitgebreid met een waterlens die gevuld wordt met schoon zoet water. Gedurende de perceelbemonsteringen zijn test opnames gemaakt. De camera was nog niet voorzien van een slee waardoor nog geen vast oppervlak werd gefilmd. Daardoor zijn geen dichtheidsbepalingen gedaan en kon de overleving niet worden berekend. Voor het rendement is daarom uitgegaan van de opgave door Prins en Dingemanse over de hoeveelheid die is gezaaid (Z in mosseltonnen) en geoogst (O in mosseltonnen) per perceelvak. Hiermee kon het rendement (R) worden bepaald:  $R = O / Z$ .

### 8.3. Resultaten

#### Groei van MZI zaad

De grootte verdeling van het MZI zaad vlak na uitzaaien in juli en kort voor opvissen in oktober wordt weergegeven in figuur 8.1. Er is een grote range aan schelpengtes aangetroffen. De gemiddelde grootte neemt in alle perceelvakken toe in de periode van juli tot oktober. In oktober zijn de meeste grote mosselen (33-39 mm) aangetroffen in vak W 85 vak 1 en 2 en de meeste kleine mosseltjes (9-14 mm) in vak W 110 1 en W 104. De hoogste groeisnelheid is gevonden op W 85, gevolgd door W110 en W105 (Fig. 8.2). De mosselen op perceel W 104 vertoonden geen groei (Fig. 8.2). De hoogste groeisnelheid werd gevonden op perceelvakken W 85 1-3 met zandige bodem, lage zaaidichtheid, zowel met als zonder meegezaaide schelpen en met en zonder krabben wegvangen. De laagste groeisnelheid werd gevonden op perceel W 104 met een zand/slik bodem, zaaidichtheid middel, geen schelpen zaaien en zonder krabben vangen. Deze resultaten suggereren dat de beste groei wordt gevonden op zandige bodem en bij een lage dichtheid. Schelpen zaaien of krabben wegvangen heeft geen effect op groei.

De schelpdikte nam toe in de periode van juli tot oktober in alle perceelvakken (Fig. 8.3a). Dit houdt verband met het toenemen van het formaat van de mosselen (Fig. 8.3b). Er is geen effect van de verschillende behandelingen op schelpdikte geobserveerd.

De conditie-index van het MZI zaad nam af in de periode van juli tot oktober in alle perceelvakken (Fig. 8.4). Er is geen effect van de verschillende behandelingen op conditie-index geobserveerd.

#### Krabben vangen op MZI percelen

De vangstgegevens van de krabben zijn weergegeven in figuur 8.5. Het aantal krabben varieerde van gemiddeld 15 tot 110 per korf (Fig. 8.5a). De intensiteit van het krabben vangen was laag. Opvallend is dat er altijd meer mannetjes dan vrouwtjes in de korven werden aangetroffen. De breedte van het carapax varieerde van 33 mm tot 76 mm (Fig. 8.5b).

#### Rendement van MZI zaad

Er zijn drie vergelijkingen uitgevoerd van het effect van krabben vangen op het rendement van MZI zaad. Op perceel W 85 met zandige bodem bij lage zaaidichtheid en met schelpen meezaaien, op perceel W 110 op slijkige bodem bij zaaidichtheid middel en met schelpen meezaaien en op perceel S9 bij op zand/slik bodem bij hoge zaaidichtheid en zonder schelpen meezaaien. Op perceel W 110 heeft krabben vangen het rendement 2x verhoogd en op perceel S 9, was het rendement 1.3x hoger bij het wegvangen van krabben, maar op perceel W 85 werd een 0.8x lager rendement gevonden bij krabben wegvangen (Fig. 8.6). Het hoogste rendement is aangetroffen in het perceelvak met zandige bodem bij lage zaaidichtheid en met schelpen meezaaien, maar zonder krabben wegvangen. Dit is ook het rendement dat is gebaseerd op de kortste groeiperiode (tabel 8.3).



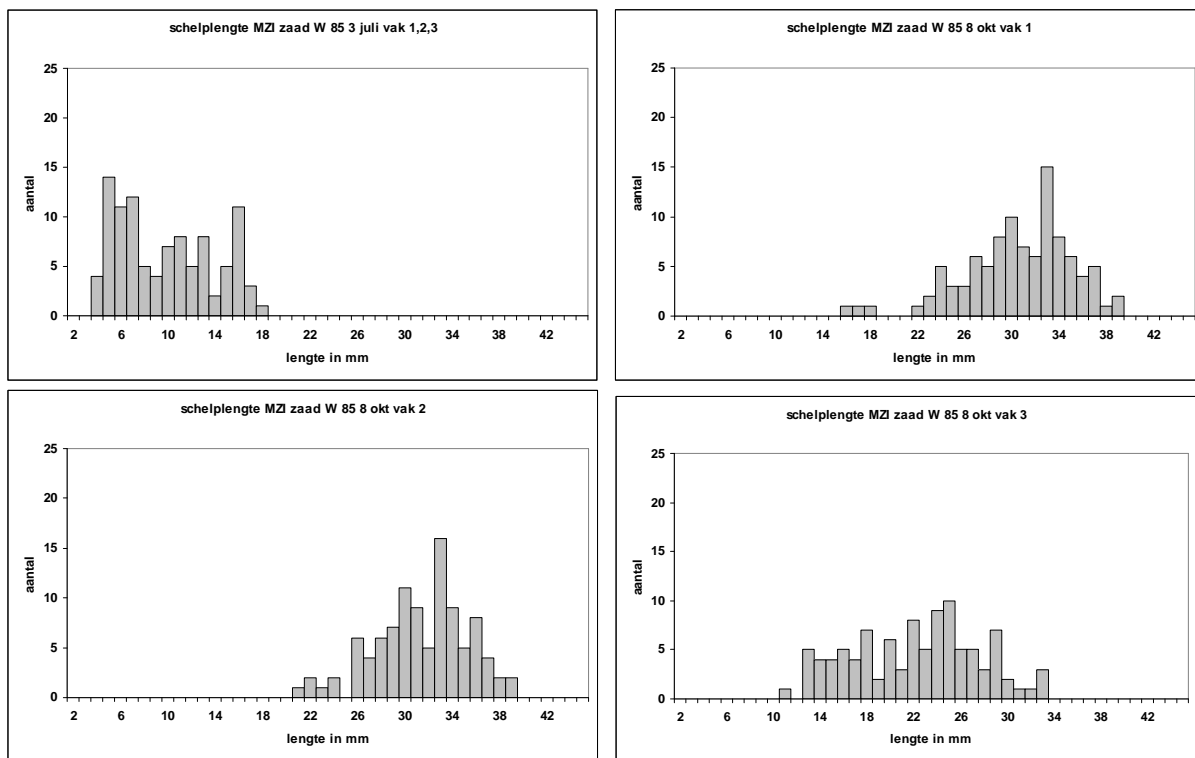


Fig. 8.1a. Grootte verdeling MZI zaad in perceelvakken van W 85 in juli en oktober,  $n=100$  mosselen.

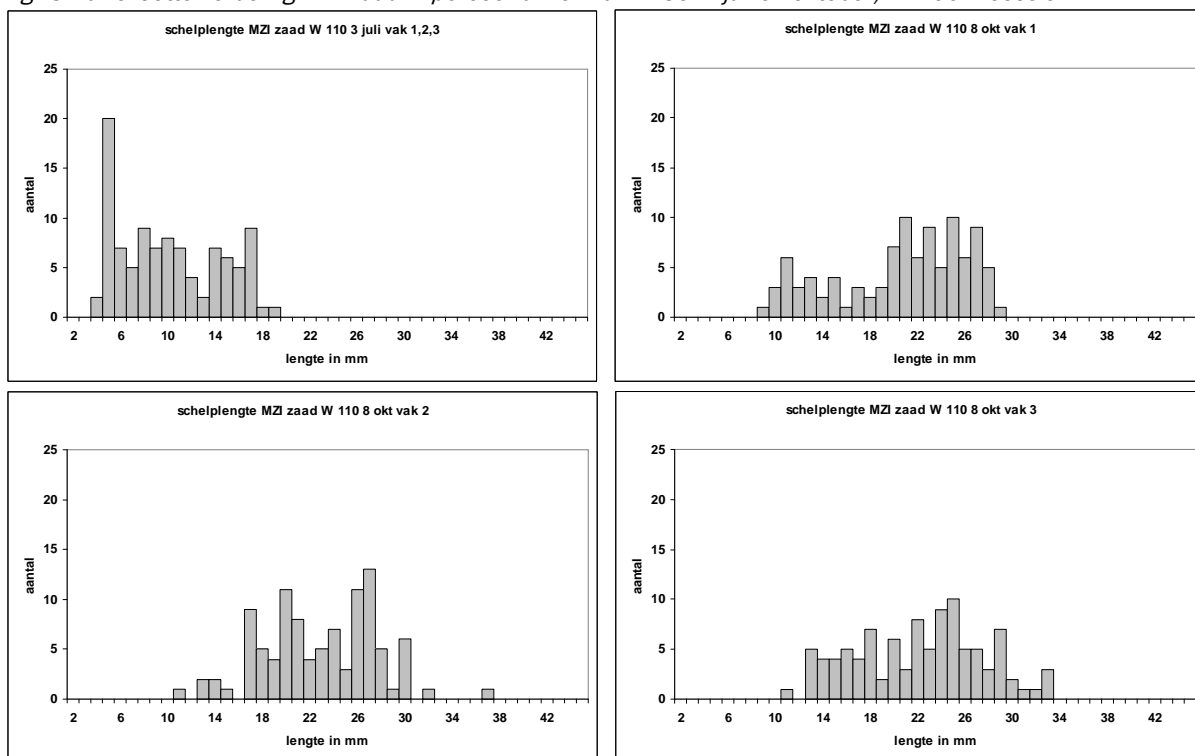


Fig. 8.1b. Grootte verdeling MZI zaad in perceelvakken van W 110 in juli en oktober,  $n=100$  mosselen.

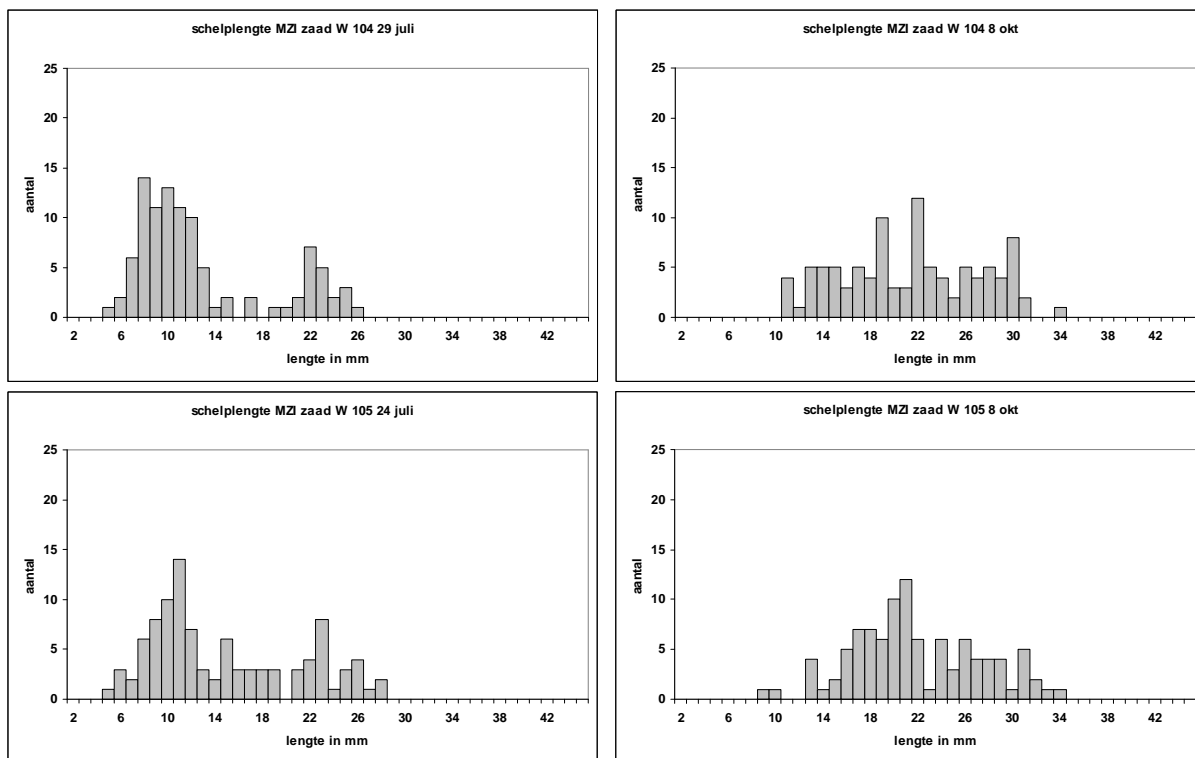


Fig. 8.1c. Grootte verdeling MZI zaad in perceelvakken van W 104 en W 105 in juli en oktober,  $n=100$  mosselen.

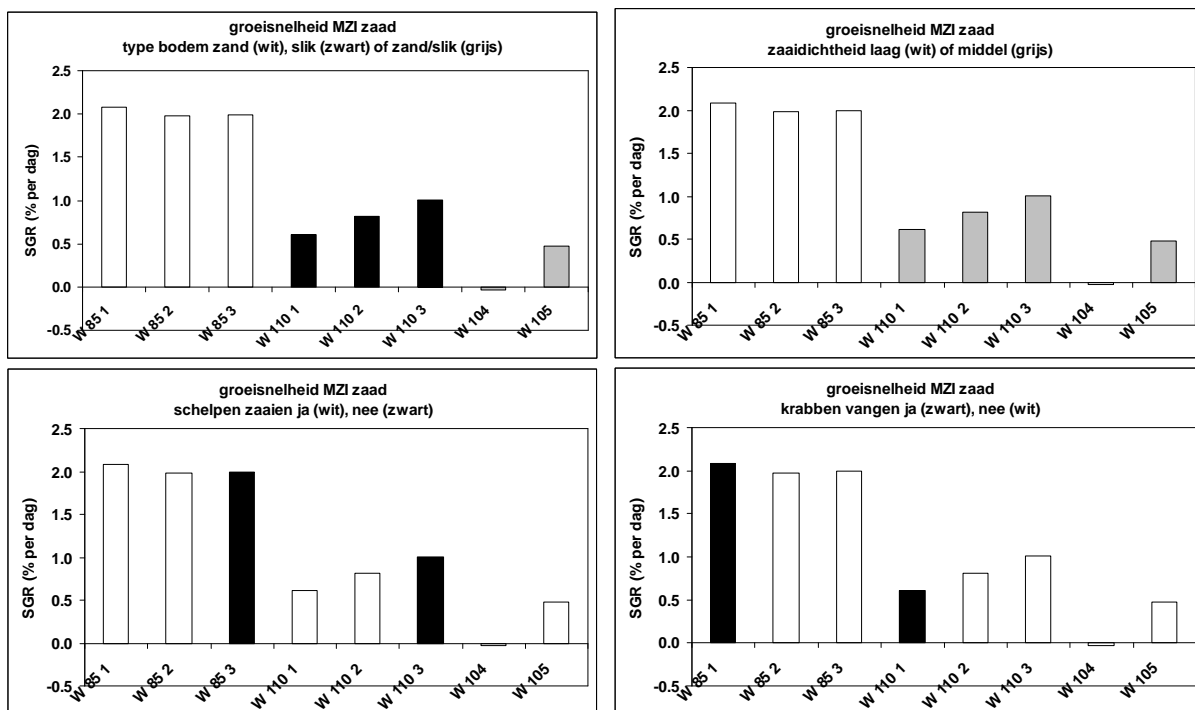


Fig. 8.2. Groeiselheid (gebaseerd op gewicht) van MZI zaad in perceelvakken van W 85, W 110, W 104 en W 105, gemiddelden van 10 mosselen.

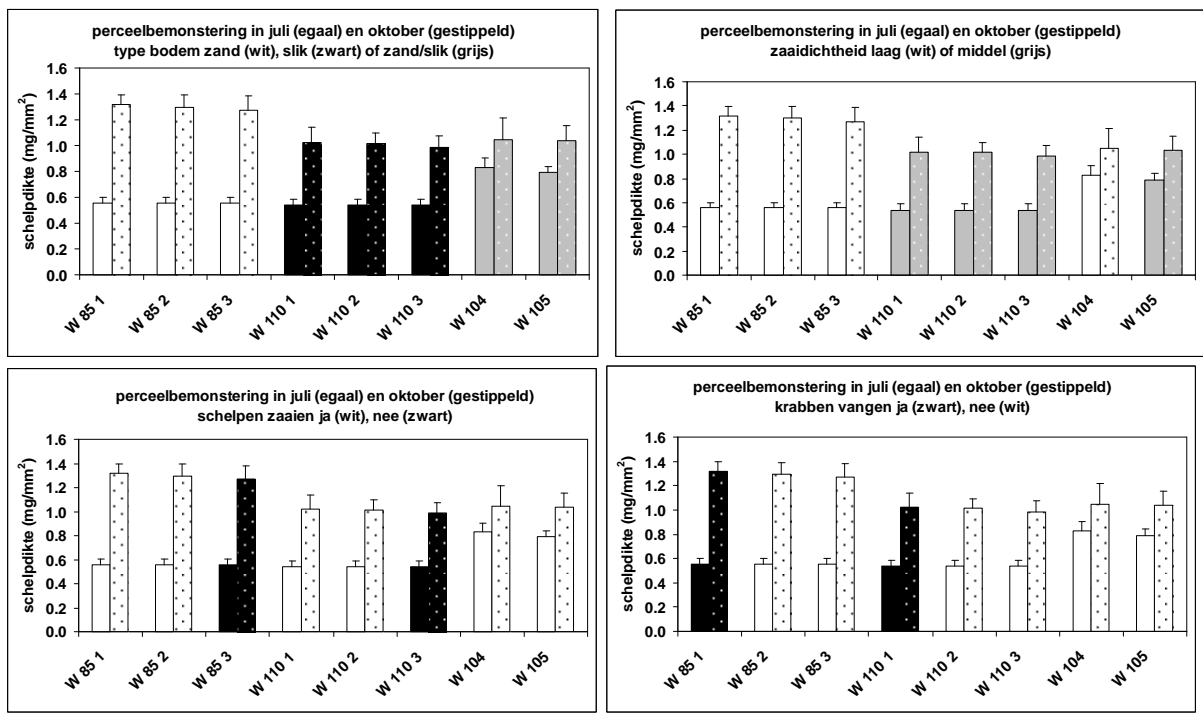


Fig. 8.3a. Schelpdikte van MZI zaad in perceelvakken van W 85, W 110, W 104 en W 105 in juli en oktober, gemiddelden van 10 mosselen.

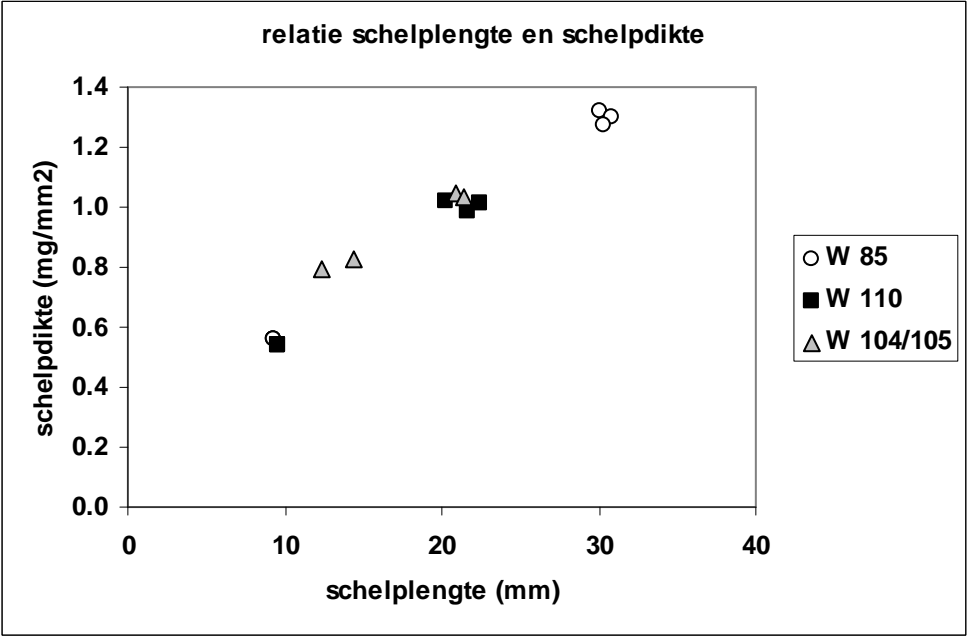


Fig. 8.3b. Relatie tussen schelpdikte en schelpenlgte van MZI zaad in perceelvakken van W 85, W 110, W 104 en W 105 in juli en oktober, gemiddelden van 10 mosselen.

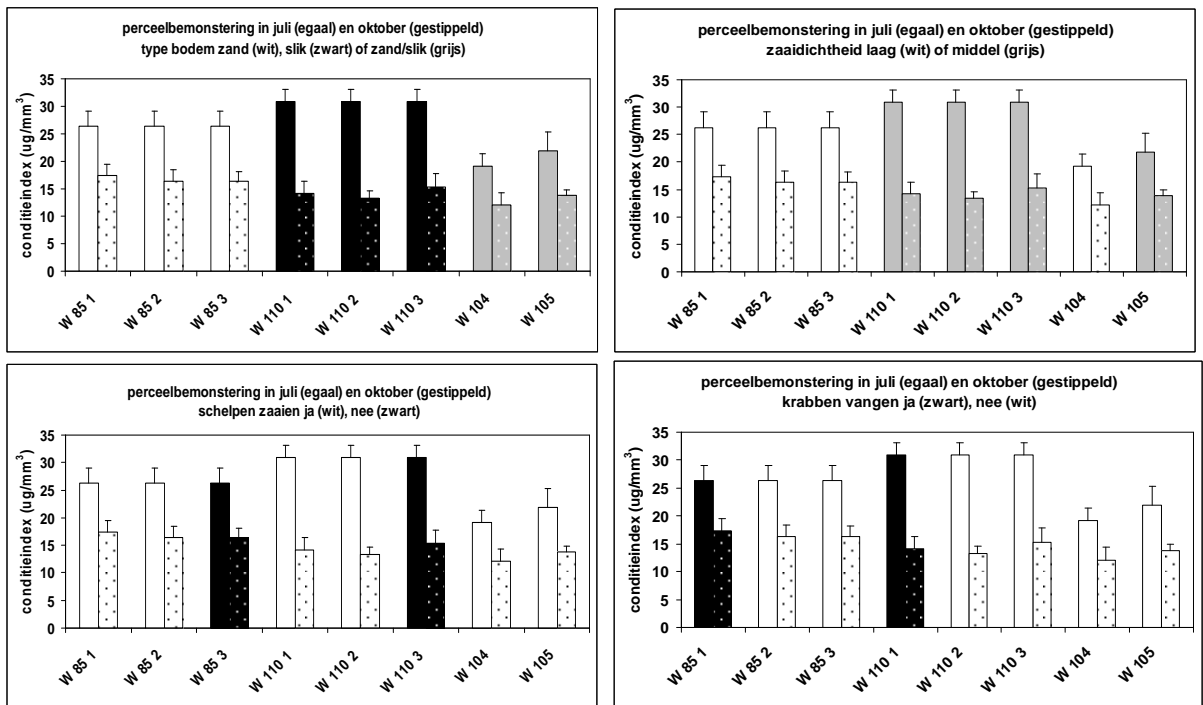


Fig. 8.4. Conditie-index van MZI zaad in perceelvakken van W 85, W 110, W 104 en W 105 in juli en oktober, gemiddelden van 10 mosselen.

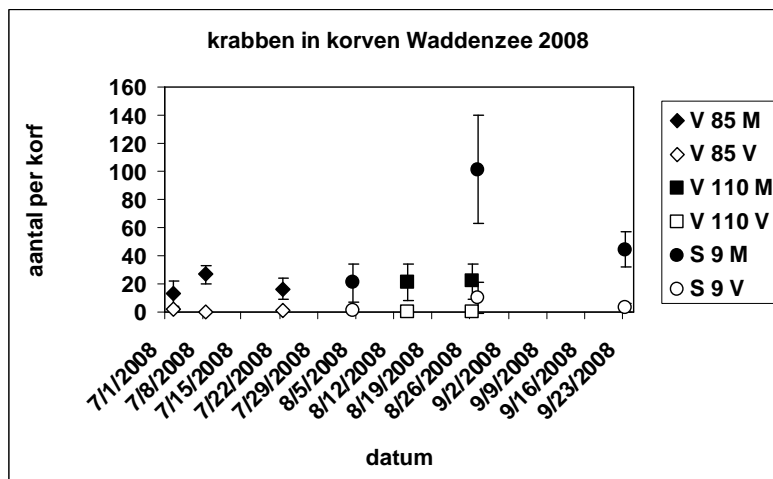


Fig. 8.5a. Aantal mannetjes (M) en vrouwtjes (V) krabben per korf op de verschillende perceelvakken (V 85 1, V 110 1 en S 1).

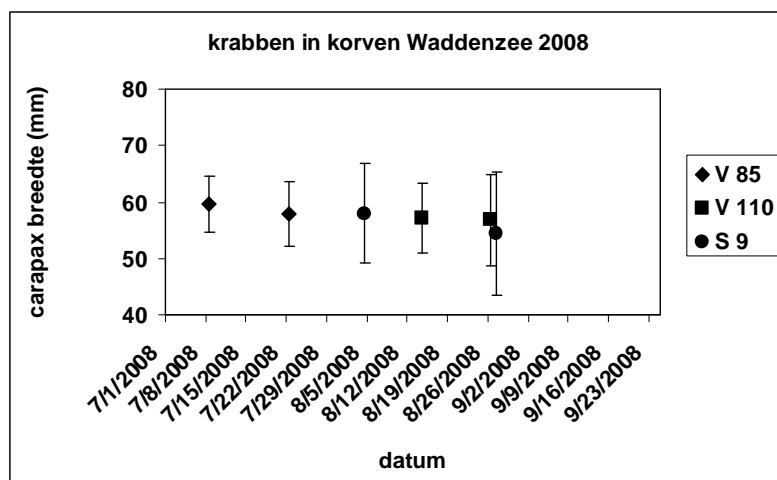


Fig. 8.5b. Gemiddelde carapax breedte van gevangen krabben op de verschillende perceelvakken (V 85 1 n= 30 en 34; V 110 1 n= 38 en 35; en S 1 n= 51 en 34).

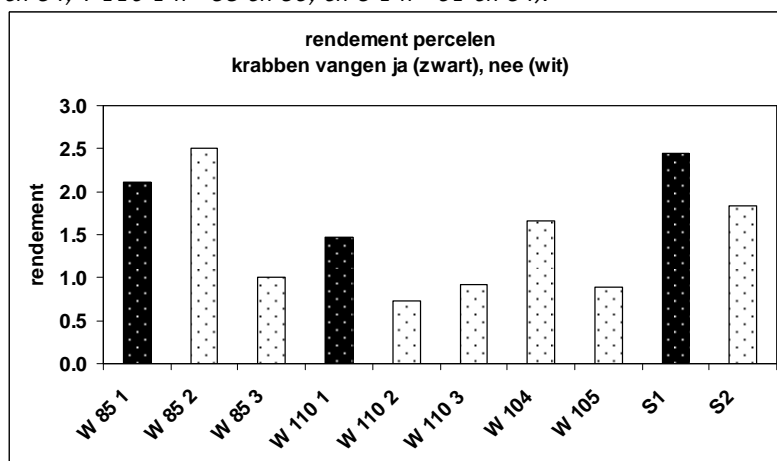


Fig. 8.6. Rendement van MZI zaad in perceelvakken van W 85, W 110, W 104, W 105 en S.

Tabel 8.3. Periode waar rendement van MZI zaad uit figuur 8.6 op is gebaseerd.

	zaai datum	oogst datum	periode (weken)
W 85 1	30 juni, 1 juli	28, 29 juli, 11, 19 en 25 aug, 8 okt	15
W 85 2	3 juli	11, 19 en 25 aug, 8 okt	14
W 85 3	3 juli	11, 19 en 25 aug, 8 okt	14
W 110 1	2, 3 juli	11 en 26 aug, 21 nov	20
W 110 2	2, 3 juli	11 en 26 aug, 21 nov	20
W 110 3	2, 3 juli	11 en 26 aug, 21 nov	20
W 104	9, 14 juli	21 nov, 30 nov	20
W 105	9, 14, 15 juli	21 nov, 30 nov	20
S1	24, 25, 28, 29, 30, 31 juli	21 nov	17
S2	24, 25, 28, 29, 30, 31 juli	21 nov	17

## 8.4. Discussie

Deze resultaten suggereren dat de beste groei wordt gevonden op zandige bodem en bij een lage dichtheid. Door de gekozen proefopzet zonder replica's kon dit echter niet statistisch worden onderbouwd. Schelpen zaaien of krabben wegvangen heeft geen effect op groei of schelpdikte van het zaad. De groeisnelheid is iets lager dan de 2.5% die Frandsen & Dolmer (2002) vonden in een 30 dagen durend experiment met mosselen van 20 mm in de Limfjord in Denemarken. De mosselen in de hier gepresenteerde proef zijn gemiddeld groter. De groeisnelheid neemt af met een toename in grootte. Dit kan de lagere groeisnelheid verklaren. Daarnaast is de groei niet aan dezelfde individuen gemeten, dus kan grootte-afhankelijke sterfte de resultaten beïnvloeden.

Hoewel de intensiteit van het krabben vangen laag was heeft het op twee van de drie percelen geleid tot een verhoging van het rendement. Uit een kooiexperiment bleek dat krabben met een carapax breedte van 50 mm per dag tot 20 mosseltjes van 15 mm kunnen consumeren (Kamermans et al, 2009 = bijlage 1). De grootste krabben vangst vond plaats op 27 augustus op perceel Scheurrak 9 vak S1. Er werden 1112 krabben gevangen in 10 korven die 23 dagen op het perceel hadden gestaan. Deze krabben kunnen in theorie 511.520 mosselen, ofwel 767 kg consumeren in 23 dagen. Op Scheurrak 9 werd na 119 dagen 7500 kg meer mosselzaad aangetroffen in vak S1 (krabben wegvissen) dan in vak S2 (geen krabben wegvissen). Bij extrapolatie van de gegevens voor 23 dagen naar 119 dagen wordt een maximale toename van 3968 kg verwacht. Dit geeft aan dat het verschil in opbrengst tussen vak S1 en vak S2 niet is toe te schrijven aan het wegvangen van krabben. Waarschijnlijk spelen andere factoren een belangrijker rol.

## 9. Conclusies en aanbevelingen

### 9.1. Conclusies

#### 9.1.1 Groei van MZI zaad in vergelijking tot bodemzaad op percelen

Op basis van de gepresenteerde veldmetingen op percelen in 2005 kan worden geconcludeerd dat het MZI zaad een goede groei vertoont op een bodemperceel. Ook de ontwikkeling van het vleespercentage van het MZI zaad is goed. Het MZI zaad is niet uniform van afmeting, maar laat een grote range in lengten zien. Tijdens de perceelproef uit 2006 in de Waddenzee lieten het bodemzaad en MZI zaad aan het eind van de proef geen verschil zien in conditie. MZI en bodemzaad van het perceelexperiment uit 2007 in de Oosterschelde lieten beiden na vier weken sterk toegenomen conditie zien. Er zijn dus geen aanwijzingen voor verminderde groeipotentie van MZI zaad.

#### 9.1.2. Overleving van MZI zaad in vergelijking tot bodemzaad op percelen

De predatie proeven in kooien 2003 en 2005 lieten geen verschil zien in overleving tussen MZI en bodemzaad bij blootstelling aan predatoren. Klein zaad werd sneller geconsumeerd dan groot zaad. De meeste overleving vond plaats bij zaad van 21-40 mm. Uit de perceelproef uit 2006 in de Waddenzee bleek dat de overleving van het bodemzaad significant beter was dat van MZI zaad. Bij bescherming van het zaad met een net was de overleving van beide typen zaad vergelijkbaar en hoger dan onbeschermd. De schelpdikte van beide typen mosselzaad was toegenomen gedurende het experiment. Er was een grotere toename voor onbeschermd zaad. Resultaten van het perceel experiment uit 2007 in de Oosterschelde geeft het belang aan van de hechting van het zaad op het moment van uitzaaien. Door hechting aan zeesla spoelde veel mosselzaad weg. Daarnaast heeft het invangen van zeesla tot verstikking van de mossel geleid. Bodemzaad liet minder grote verliezen zien dan MZI zaad. Dit was gerelateerd aan de mate van getrostheid. Bodemzaad was sterk getrost en MZI zaad matig. Getroste mossels hebben veel minder de neiging om zich aan nieuw substraat te hechten (in dit geval zeesla). De mate van getrostheid bepaalde dus in sterke mate hoeveel zeesla er accumuleerde. Bovendien spoelen kleine trossen en individuele mosselen sneller weg dan grote trossen. Uit de grootschalige perceelproef van 2008 blijkt dat de beste groei en conditie van MZI zaad is gevonden op zandige bodem en bij een lage dichtheid. Schelpen zaaien of krabben wegvangen heeft geen effect op de groei. Er werd geen eenduidig effect van het wegvangen van krabben op het rendement van MZI zaad gevonden.

## 9.2. Aanbevelingen

- Uit de predatieproeven in kooien blijkt dat de meeste overleving plaats vond bij zaad groter dan 20 mm. Dit betekent dat selectie op grootte voorafgaand aan uitzaaien de overleving van het zaad kan vergroten.
- Bij de hier gepresenteerde perceelproeven was soms niet duidelijk of het verdwijnen van het mosselzaad werd veroorzaakt door predatie of door wegspoelen. Vervolg onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van onderwatercamera's is aan te bevelen.
- Uit de perceelbemonsteringen blijkt dat er gebieden zijn waar nooit krabben of zeesterren zijn aangetroffen en andere gebieden waar juist vrijwel ieder jaar krabben en zeesterren worden gevonden. Deze informatie kan behulpzaam zijn bij het selecteren van percelen met veel en weinig predatoren voor studies naar het effect van predatie op de overleving van mosselen. Een uitgebreidere analyse, waarbij ook teeltgegevens van individuele percelen (zaaihoeveelheid en oogsthoeveelheid) betrokken worden kan meer duidelijkheid over verschaffen over de achterliggende reden van de verspreiding van krabben en zeesterren.
- Uit de proeven blijkt dat de bescherming het rendement van het zaad substantieel verhoogd. Het aanbrengen en verwijderen van bescherming dient dan wel economisch rendabel en ecologisch inpasbaar te zijn. Gebruik van afbreekbaar materiaal is mogelijk een optie. Hierbij kan de bescherming langzaam verdwijnen terwijl het zaad uitgroeit tot een formaat dat minder vatbaar is voor predatie door krabben en zeesterren.
- Het effect van krabben vangen op het rendement van MZI zaad is nog onvoldoende in kaart gebracht. Dit kan worden verbeterd door monitoring van het rendement van het MZI zaad en de aanwezigheid van krabben op percelen waar MZI zaad wordt uitgezaaid en waarbij krabben worden gevangen in vergelijking met nabij gelegen percelen waar MZI zaad wordt uitgezaaid en geen krabben worden weggevangen.



## Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2000 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 08602-2004-AQ-ROT-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Het laatste controlebezoek vond plaats op 22-24 april 2009. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

## Dankwoord

Graag bedanken wij de bedrijven Prins & Dingemanse en Roem van Yerseke en de bemanning van het LNV schip de Phoca voor hun bijdrage aan het onderzoek.

## Referenties

- Blankendaal, V.G. (2006). PRODUS 1c Alternatieve zaadwinning: Predatie-experiment met krabben en zeesterren. TNO Rapport 2006-DH-R0193/B.
- Clausen I., Riisgård H.U., (1996). Growth, filtration and respiration in the mussel *Mytilus edulis*: no regulation of the filter-pump to nutritional needs. Mar Ecol Prog Ser 141: 37–45
- Frandsen, R.P. & P. Dolmer (2002). Effects of substrate type on growth and mortality of blue mussels (*Mytilus edulis*) exposed to the predator *Carcinus maenas* Marine Biology 141: 253–262.
- Kamermans, P., E. Brummelhuis, J. Perdon, A. van Gool & J. Poelman (2004). Verbetering broedval mosselen. RIVO Rapport C013/04.
- Kamermans, P., D. Baars, J. Jol, J. Kesteloo, H. van der Mheen (2005). LNV bestek mosselen en eidereenden Deelproject 1: Bepaling bestand op mosselpercelen in Waddenzee najaar 2004. RIVO Rapport C028/05.
- Kamermans, P. (2006). Resultaten PRODUS Rendement MZI zaad, veldmetingen op percelen. MEMO juni 2006.
- Kamermans, P., A. Bakker, A. Dekker, K. Kaag en J. Perdon (2007). PRODUS 1d: Overleving van MZI zaad en sublitoraal bodemzaad op een perceel in de Waddenzee 2006. Rapport C079/07.
- Kamermans, P., M. Blankendaal & J. Perdon (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, 209: 256-262.
- Kamermans, P., M. Poelman, E. Meesters, I. De Mesel, C. Smit, S. Brasseur (2008) Onderzoek naar Duurzame Schelpdiervisserij (PRODUS) Eindrapport deelproject 1c Rapport C075/08.
- Kater, B. & J. Kesteloo, 2003. Mosselbestanden in de Oosterschelde 1992-2002. RIVO rapport C002/03.
- Leonard GH, Bertness MD, Yund PO (1999) Crab predation, waterborne cues, and inducible defences in the blue mussel, *Mytilus edulis*. Ecology 80:1–14.
- Wijsman, J.W.M.; Jol, J.G. (2007a) Onderzoeksproject duurzame schelpdiervisserij (PRODUS). Deelproject 1A: Bepaling bestand mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2005 Den Helder : IMARES, (Rapport C004/07) - p. 18.
- Wijsman, J.W.M.; Jol, J.G. (2007b) Onderzoeksproject Duurzame schelpdiervisserij (PRODUS). deelproject 1A : bepaling bestand op de mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2006 Yerseke : IMARES, (Rapport C080/07) - p. 30.

# Verantwoording

Rapport CONCEPT  
Projectnummer: 4394102904

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van Wageningen IMARES.

Akkoord: Prof. Dr. A.C. Smaal  
senior onderzoeker

Handtekening: 

Datum: mei 2010

Akkoord: Ir. H. van der Mheen  
afdelingshoofd Aquacultuur

Handtekening: 

Datum: mei 2010

Aantal exemplaren: 35  
Aantal pagina's: 45  
Aantal tabellen: 5  
Aantal figuren: 21  
Aantal bijlagen: 1



## Bijlage 1. Aquaculture publicatie

Kamermans, P., M. Blankendaal & J. Perdon (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*, 209: 256-262.



# 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

Pauline Kamermans<sup>a,\*</sup>, Monique Blankendaal<sup>b</sup>, Jack Perdon<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Wageningen IMARES (Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies), P.O. Box 77, 4400 AB Yerseke, The Netherlands

<sup>b</sup> TNO IMARES (Institute for Marine Resources and Ecosystem studies), P.O. Box 57, 1780 AB Den Helder, The Netherlands

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 16 August 2007

Received in revised form 17 February 2009

Accepted 18 February 2009

### Keywords:

Predation  
Mussel seed  
Crab  
Starfish

## ABSTRACT

In The Netherlands, several pilot projects are carried out on the use of spat collectors as an additional supply of seed for bottom culture of mussels (*Mytilus edulis*). The method proves to be successful in yielding substantial amounts of seed. One of the conditions for successful application of collector seed on bottom plots is a good yield of the seed on bottom plots. Mussel seed of different origin (from wild littoral and sublittoral beds or from collectors) was offered to predators (crabs *Carcinus maenas* and starfish *Asterias rubens*) and seed survival was monitored. In addition, the effect of density and size of collector seed on predation was studied. Circular cages containing predators and seed were placed in a basin with running seawater, or suspended from a jetty in a harbour. Two size classes of predators and three size classes of seed were used. Survival was monitored. Consumption of mussel seed by starfish was much lower than by crabs. Maximum observed consumption rates were 23 seed/day/crab and 1 seed/day/starfish. Consumption rates increased significantly with decreasing seed size. Seed larger than 20 mm were consumed at a significantly lower rate. Seed density did not affect survival. Collector seed was not consumed at higher rates than wild littoral or sublittoral seed. In conclusion, collector seed can be a promising additional source of seed for bottom culture of mussels in The Netherlands.

© 2009 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

The Netherlands is one of the largest producers of blue mussels *Mytilus edulis* L. in Europe (Smaal, 2002). Annual mussel production can be as high as  $100 \times 10^6$  kg. Growers depend on seed, which they fish from wild beds. These beds are primarily found in the Wadden Sea (Fig. 1). As a result of government policy, mussels on Wadden Sea tidal flats are reserved as food for shellfish eating birds to an area of 2000 ha. In practice, fishing for seed is limited to stocks in the deeper parts of the Wadden Sea. Seed fishing takes place twice a year in the most western part of the Wadden Sea. Seed mussels are approximately 10–30 mm in length. A small proportion of seed is collected from poles used for protection of the coast. Based on their experience, farmers consider littoral seed, such as the seed collected from poles, as better seed than seed from sublittoral wild beds. The seed mussels are transported to bottom culture plots where they are left to grow. The plots, which are leased from the government, are located in the Wadden Sea in the north of the country and the Oosterschelde estuary in the southwest of the Netherlands (Fig. 1). Depending on the environmental conditions, market size (>45 mm) is reached in 1 to 3 years (Dijkema, 1997).

For bottom culture of mussels in the Netherlands, a catch of  $65 \times 10^6$  kg seed mussels is needed to sustain a yearly production of  $100 \times 10^6$  kg mussels. This relatively low conversion is caused by considerable mortality as a result of predation by crabs, birds and starfish, and losses due to storms. Ducks (e.g. *Somateria millisima* (L.)) prefer mussels of over 20 mm in length (Nehls, 1995; Hamilton et al., 1999), but starfish (*Asterias rubens* L.) and shore crabs (*Carcinus maenas* (L.)) also attack smaller mussel seed (Davies et al., 1980; Dolmer, 1998). For an optimal balance between costs of opening the mussel and benefits of the meat consumed, starfish with an arm length of 10–80 mm prefer mussels of 14–22 mm (Sommer et al., 1999). Crabs (50 mm carapace width) preferably feed on mussels in the size range of 15–25 mm, when prey availability is unrestricted (Elner and Hughes, 1978). Davies et al. (1980) showed that crabs can destroy plots with 2.5–5.0 kg of seed mussels of 20 mm/m<sup>2</sup> within 7 days. Protection of the plots with fences increased the yield by a factor of 4–5×.

Mussel seed catches show large annual fluctuations that reflect the natural variability in spat production (Kamermans et al., 2002). Thus, the mussel seed target is not always reached and farmers are looking for additional sources of seed supply. Each spring, the spawning of mussels is initiated by an increase in water temperature. Mussel larvae are then formed in the water column. Three to 6 weeks later, the larvae are about 0.3 mm. Depending on the local hydrodynamic conditions they will settle on hard substrates that are located in the water or

\* Corresponding author. Tel.: +31 317 487032; fax: +31 317 487359.  
E-mail address: [pauline.kamermans@wur.nl](mailto:pauline.kamermans@wur.nl) (P. Kamermans).

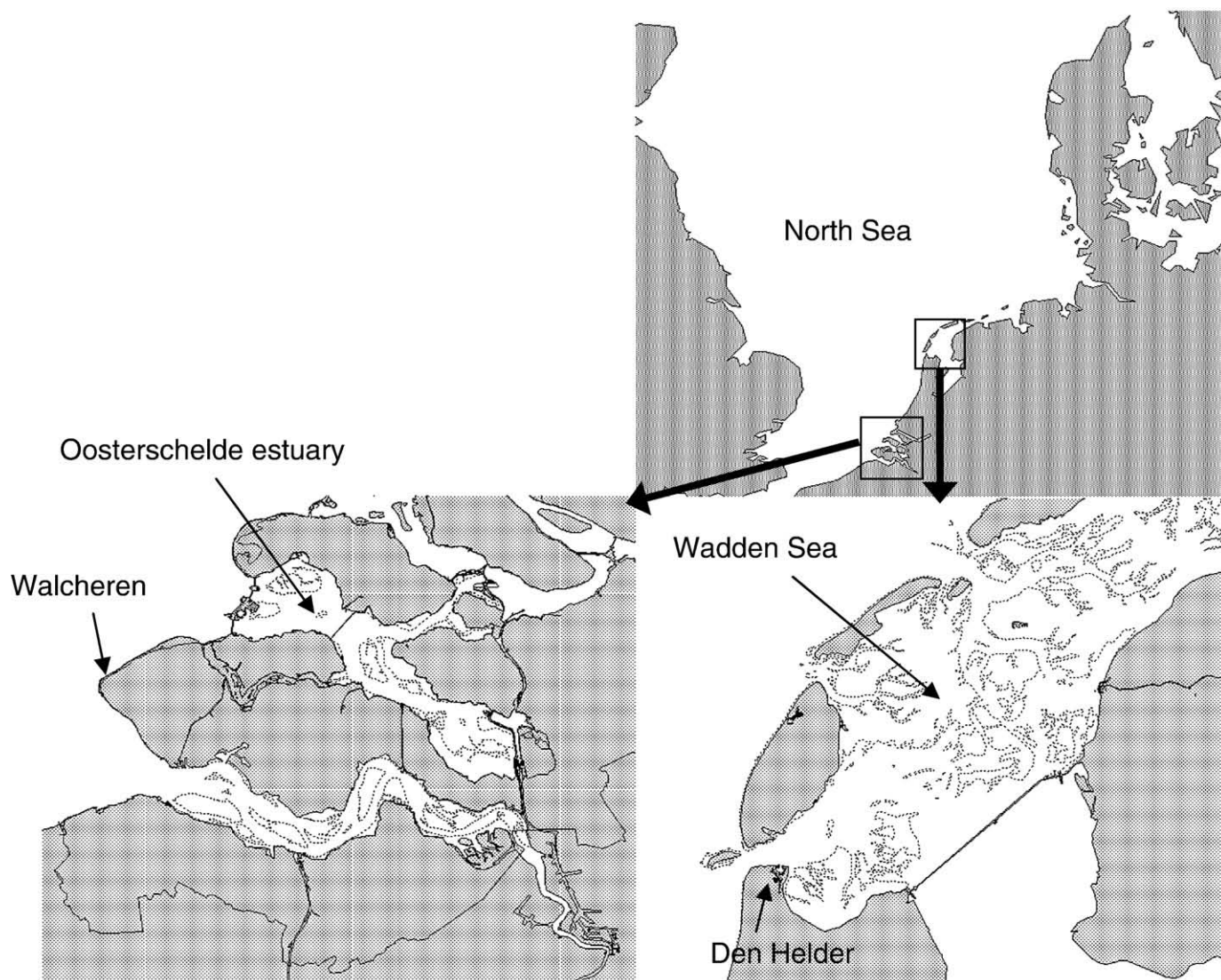


Fig. 1. Map of The Netherlands showing the Wadden Sea in the North and the Oosterschelde estuary in the South.

on the bottom. This process is called spat fall. The number of larvae produced, and the mortality during the larval phase determine the number of larvae that can participate in spat fall. Mortality caused by predation on both larvae and spat is very high. The use of collector substrates may enhance the survival of spat. Collecting spat with ropes is a method that is used in suspended rope culture of mussels (Fuentes et al., 1998). After settlement and growth up to a certain size, the seed mussels are removed from the ropes, thinned, placed in socks and allowed to attach themselves to ropes again. The bouchot culture in France also makes use of collector ropes (Boromthanasarat and Deslous-Paoli, 1988). Spat is collected on ropes after which these ropes are wound around large vertical poles (bouchots).

Since 2000, several pilot projects have started in The Netherlands to study the use of spat collectors as an additional supply of seed for bottom culture of mussels. The method proves to be successful in yielding substantial amounts of seed (Kamermans et al., 2002). One of the conditions for successful application of collector seed on bottom plots is a good yield of the seed on bottom plots. Observations of farmers suggest that mortality is higher for collector seed than for seed from wild beds. A possible explanation could be that the shell of collector seed is less resistant to predation. When still attached to the suspended collector, better food availability causes mussels to grow faster than on the bottom (Frechette and Bourget, 1985). However,

faster growth affects shell thickness, because the calcium carbonate deposition in mollusks is a rate limiting process (Palmer, 1981). This makes collector seed more vulnerable to predation (Leonard et al., 1999). Another factor that can affect the susceptibility of mussel seed to predation is an increase in shell thickness or adductor muscle weight in reaction to water borne cues from predator presence. Prey handling time increases as a result of these changes. Frandsen and Dolmer (2002) found both increased shell thickness and heavier adductor muscles in combined field and laboratory experiments with *Mytilus edulis*, *Asterias rubens* and *Carcinus maenas*. Kamermans et al. (2007) also observed this phenomenon in a field experiment and showed that the increase in shell thickness was present, but lower for mussel seed that was excluded from predation by protective netting than for unprotected seed. In addition, Freeman (2007) showed that shell thickness of *Mytilus edulis* increased in the presence of *Carcinus maenas*, while the weight of the adductor muscle increased in the presence of *Asterias rubens*. Collector seed grows in the water column where predator abundance might be lower and could thus have lower shell thickness and adductor muscle weight.

Several studies were carried out in Spain to determine the effect of seed origin (littoral rocky shore or sublittoral spat collectors) on growth and mortality of seed for raft culture (Fuentes et al., 1998; Babarro et al., 2000, 2003). Seed from spat-collecting ropes either



**Table 1**  
Experimental set-up of the density and size experiment.

Density	Small collector seed			Medium collector seed			Large collector seed			Medium wild sublittoral seed		
	10	20	40	10	20	40	10	20	40	10	20	40
Small crab	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Large crab	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Small starfish	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Large starfish	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
No predator			x			x			x		x	x

Each cage (indicated with x) contained three compartments with indicated number of seed per cage and one predator. In total 54 cages were used.

grew at a similar rate (Fuentes et al., 1998), or faster (Babarro et al., 2000, 2003) than rocky shore seed. Fuentes et al. (1998) also studied mortality as a result of dislodgement or parasites, and did not find differences between the two types of seed. The use of collector seed for culture of mussels on bottom plots is a new development. Up to now, quantitative data on resistance to predation by bottom dwelling animals such as crabs and starfish are not available for collector seed. This paper presents results of two experiments in which mussel seed of different origin (from wild beds or from collectors) was offered to predators (crabs and starfish) and seed survival was monitored. In the first experiment (selection experiment), the three types of seed (wild littoral, wild sublittoral and collector) were provided to the same individual predator, while in the second experiment (density and size experiment), the effect of density and size of two types of seed (collector and sublittoral wild) on predation was studied.

## 2. Material and methods

### 2.1. Selection experiment

#### 2.1.1. Mussel seed

At the beginning of September 2003, three types of mussel seed were collected. Wild seed originated from two locations: (1) sublittoral seed from a bottom plot in the Oosterschelde estuary (Fig. 1) and (2) littoral seed from poles used for protection of the coast of Walcheren (Fig. 1). Collector seed originated from a rope culture in the Oosterschelde estuary. At the beginning of the experiment, shell length was measured along the longest axis with electronic callipers to the nearest 0.01 mm. Subsequently, the mussel seed was immersed in boiling water until the shell opened, and the soft body parts were separated from the shell. Shell weight and ash-free dry weight of the soft body parts were determined. To this end, the soft body part was dried for 48 h at 70 °C in a well-ventilated stove, weighed, placed in a furnace at 520 °C for 2 h and weighed again. The weight of the whole group was determined and then divided by the number of individuals to get individual weights.

#### 2.1.2. Predators

Crabs and starfish were collected in the Oosterschelde estuary (Fig. 1) at the beginning of September 2003. Fresh weight of individual predators was determined. In addition, carapace width of crabs and arm length of starfish was measured to the nearest mm.

**Table 2**  
Initial individual weights and sizes of mussel seed used in the selection experiment.

Seed type	n	Average shell length (mm) ± sd	Shell weight (g)	Ash-free dry weight of meat (g)
Wild sublittoral	31	23.19 mm ± 3.08	0.42	0.04
Wild littoral	32	19.62 ± 2.69	0.30	0.02
Collector	47	23.90 ± 5.98	0.44	0.08

**Table 3**  
Initial weights and sizes of predators and weights of mussel seed used in cages of the selection experiment.

Cage number	Predator	Fresh weight predator (gram)	Carapace width (mm) or arm length (mm) predator	Fresh weight 20 wild sublittoral seed (gram)	Fresh weight 20 wild littoral seed (gram)	Fresh weight 20 collector seed (gram)
1	1 crab	72	63	35	42	46
2	1 crab	42	52	38	40	46
3	1 crab	48	55	38	43	49
4	2 crabs	29, 22	49, 48	39	38	51
5	2 crabs	29, 22	50, 47	40	33	47
6	2 crabs	20, 21	44, 45	39	44	42
7	1 starfish	86	61	36	35	45
8	1 starfish	53	57	33	42	53
9	1 starfish	81	70	36	45	47
10	none	–	–	35	45	46

### 2.1.3. Experimental set-up

The experiment was carried out in a basin of 16.95 m long, 5 m wide and 1.7 m depth with running seawater. Ten circular cages of 40 cm diameter and 8 cm height with a mesh size of 7–10 mm were placed on a 50-cm high metal frame. Individual predators were placed in these cages and left without food for 4 days prior to the start of the experiment to standardize hunger level. At the start of the experiment on 22 September 2003, 20 mussel seed of each seed type were placed in each cage. Fresh weight of the seed was determined. Littoral wild seed was marked by carving a circle in the shell, collector seed was marked by carving a cross in the shell and sublittoral wild seed was left unmarked. In addition to the seed, three cages were given one crab, three cages were given one starfish and three cages were given two crabs. Only one cage without predators was used as a control to check that the conditions in the basin were favourable for survival of mussel seed. The number of survivors was counted per type. Percentage survival was calculated according to  $(N_t/N_0) \times 100$  in which  $N_0$  is the initial number of seed and  $N_t$  the number of seed after  $t$  days. The experiment lasted 1 day for the crabs and 7 days for the starfish.

### 2.2. Density and size experiment

#### 2.2.1. Mussel seed

Collector seed was collected on 17 October 2005 from a mussel seed collection installation (Fig. 1). It was split into three size categories: small (5–10 mm), medium (11–20 mm) and large (21–40 mm). Sublittoral wild seed was collected on a bottom plot in the Wadden Sea (Fig. 1). It was of the size category medium (11–20 mm). Shell weight and ash-free dry

**Table 4**  
Percentage of mussel seed surviving in cages without predators of the selection, density and size experiments.

Seed type	Seed density (# per cage)	Date		
		Day 1	Day 3	Day 7
Collector seed in selection experiment	20	100		100
Sublittoral wild seed in selection experiment	20	100		100
Littoral seed in selection experiment	20	100		100
Small collector seed in density and size experiment	40	100	98	
Medium collector seed in density and size experiment	40	100	100	
Large collector seed in density and size experiment	40	100	98	
Medium wild seed in density and size experiment	10	100	100	
	20	100	100	
	40	100	100	



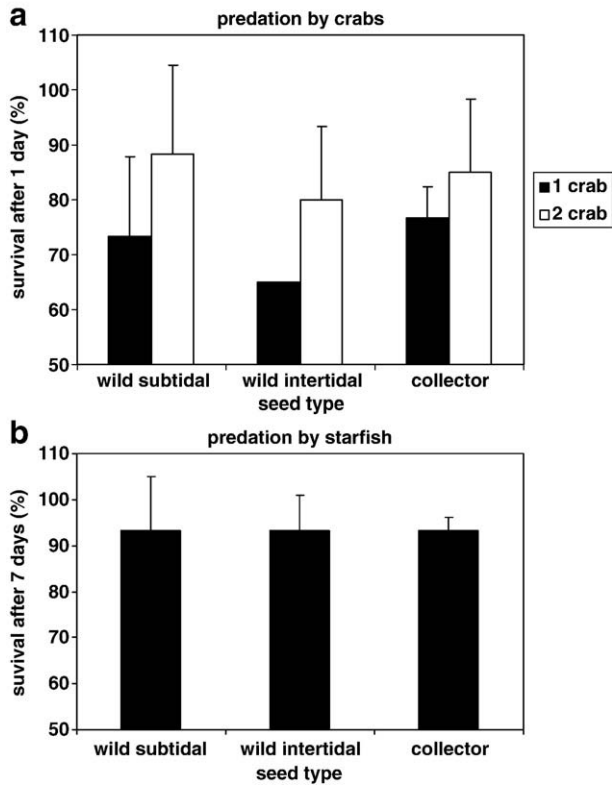


Fig. 2. Average survival of mussel seed ( $n = 3 \pm \text{sd}$ ) in cages with one or two crabs after 1 day (a) or one starfish after 7 days (b) in the selection experiment.

weight of the soft body parts of 20 individuals of each seed type and size category were determined as in 2003.

2.2.2. Predators

Crabs were collected with crab pots in the Wadden Sea (Fig. 1). Small starfish were collected near the harbour of Den Helder (Fig. 1). Large starfish were collected from buoys in the North Sea (Fig. 1). Fresh weight of individual predators was determined. In addition, carapace width of crabs and arm length of starfish was measured to the nearest mm. The crabs and starfish were divided into two size classes (large and small) based on carapace width or arm length.

2.2.3. Experimental set-up

All predators were starved for 5 days before starting the experiment to standardize hunger level. The same circular cages as in 2003 were used. This time, each cage was divided in three compartments. Each compartment contained mussel seed of a certain type and density and one predator of a certain size class (Table 1). This resulted in 48 treatments. For six of these treatments cages with three compartments

Table 5

Results of a one-way(b) or two-way(a) ANOVA of the selection experiment with one or two crabs (a), and one starfish(b).

Source	df	MS	P
<i>(a) Crabs</i>			
Seed type	2	138.889	ns
Predator	1	734.722	*
Seed type × predator	2	22.222	ns
Error	12	141.667	
<i>(b) Starfish</i>			
Seed type	2	0.000	ns
Error	6	66.667	

Values are degrees of freedom (df), mean square (MS) and probability (P), ns not significant, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ .

Table 6

Initial weights and sizes of mussel seed in cages of the density and size experiment.

Seed type	Average shell length (mm) ± sd	Shell weight (gram)	Ash-free dry weight of meat (gram)
Small collector	8.4 ± 1.5	0.08	0.005
Medium collector	15.3 ± 3.2	0.29	0.025
Large collector	31.4 ± 4.6	1.35	0.177
Medium sublittoral wild	17.4 ± 1.6	0.23	0.014

Mean of 20 seed is presented.

containing mussel seed only were installed as controls (Table 1). Nine cages were stacked together and a total of six stacks were suspended from a jetty in the harbour of Den Helder (Fig. 1). The number of remaining mussel seed were counted per type after 1 day for the crab experiments and 3 days for the starfish experiment. Percentage survival was calculated according to  $(N_t/N_0) \times 100$  in which  $N_0$  is the initial number of seed and  $N_t$  the number of seed after  $t$  days. The crab experiment started 19 October 2005 and the starfish experiments started 8 November 2005 (small starfish) and 2 December 2005 (large starfish).

2.2.4. Statistical analysis

A two-way Analysis of Variance (ANOVA) was used to determine if the predators favoured one type of seed over the other in the selection experiment. A three-way ANOVA was used to test the effect of predation by crabs and starfish on collector and wild sublittoral seed in the density and size experiment. The effect of predator size was tested as well. In addition, the effect of size class and density of the seed was tested. All data were tested with an  $F_{\text{max}}$ -test to ensure homogeneity of variance (Sokal and Rohlf, 1995). Assumption of normal distribution of the residuals was examined using Q–Q plots. A significance level of 5% was used in all tests. The statistical analyses were conducted using the SPSS 12.0.1 analysis system.

3. Results

3.1. Selection experiment

Initial sizes and weights of mussel seed and predators used in the selection experiment are presented in Tables 2 and 3. The cage without predators did not show any mortality of mussel seed during the experimental period (Table 4).

3.1.1. Predation by crabs

Significant lower survival of mussel seed was observed in the cages with one crab than with two crabs (Fig. 2a; Table 5). Mussel seed was consumed at an average rate of 6 seed/day/crab. This rate decreased to 3 seed/day/crab when two crabs were placed together in one cage. Significant differences in survival of wild littoral seed, wild sublittoral seed and collector seed were not observed (Table 5).

3.1.2. Predation by starfish

Consumption rate of mussel seed by starfish was much lower than by crabs (Fig. 2b). The mean daily rate was 1 seed/starfish in 7 days. Again, there were no significant differences in survival of wild littoral seed, wild sublittoral seed and collector seed (Table 5).

Table 7

Initial weights and sizes of predators in cages of the density and size experiment.

Predator	Fresh weight predator (g) ± sd	Carapace width (mm) or arm length (mm) predator ± sd
Small crab	13.4 ± 3.8	38 ± 3.9
Large crab	51.1 ± 13.2	58 ± 4.4
Small starfish	12.8 ± 4.2	42 ± 5.9
Large starfish	21.8 ± 6.7	54 ± 5.6

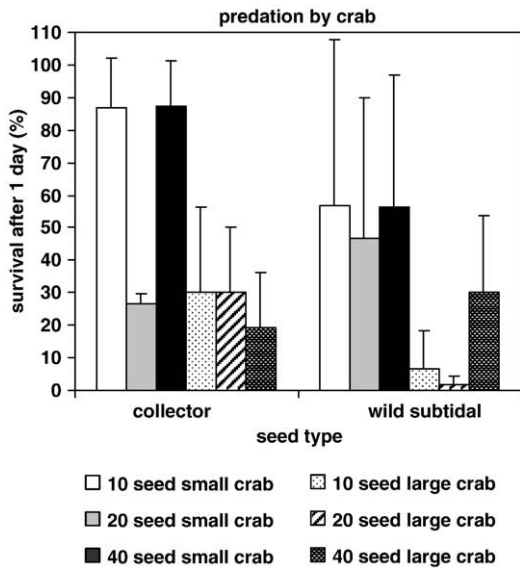


Fig. 3. Average survival of collector seed and wild sublittoral seed ( $n = 3 \pm sd$ ) in cages with different densities of seed and one small crab or one large crab after 1 day in the density experiment.

3.2. Density and size experiment

The initial sizes and weights of mussel seed and predators used in the density and size experiment are presented in Tables 6 and 7. Table 4 shows survival of mussel seed in the cages without predators during the density and size experiment with crabs. Wild seed did not show any mortality, but small and large collector seed showed 2% mortality at the high density treatment. However, these mortalities were much lower than the observed loss due to predation.

3.2.1. Predation by crabs

Seed density declined in all cages (Fig. 3). Small crabs consumed collector seed at an average rate of 7 seed/day and wild sublittoral seed at rate of 9 seed/day and large crabs consumed both collector seed and wild seed at a rate of 19 seed/day. Survival of seed was significantly higher when exposed to small crabs than to large crabs (Fig. 3; Table 8). There was no significant difference in survival between seed types (Fig. 3; Table 8). Density had a significant effect on consumption rate (Table 8). However, a post hoc test did not show significant differences between the densities.

Both small crabs and large crabs consumed collector seed of different sizes (Fig. 4). Small sized seed was consumed fastest (average rate for small crabs 20 seed/day and for large crabs 23 seed/day). Medium sized seed was consumed at an average rate of 5 seed/day for small crabs and 19 seed/day for large crabs. Large sized seed was consumed at an average rate of 1 seed/day for small crabs and 5 seed/day for large crabs. Both seed size and predator size had a significant effect on survival (Table 9). Seed density had no effect on survival.

Table 8 Results of a three-way ANOVA of the density experiment with small crab or large crab.

Source	df	MS	P
Seed type	1	975.375	ns
Density	2	2452.604	*
Predator	1	16380.375	***
Seed type × density	2	752.444	ns
Seed type × predator	1	84.375	ns
Density × predator	2	437.540	ns
Seed type × density × predator	2	918.790	ns
Error	23	683.650	

Values are degrees of freedom (df), mean square (MS) and probability (P), ns not significant, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ .

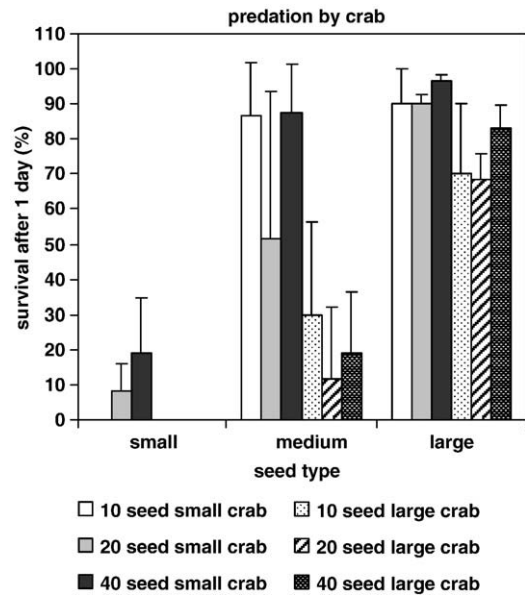


Fig. 4. Average survival of small-sized, medium-sized, and large-sized collector seed ( $n = 3 \pm sd$ ) in cages with different densities of seed and one small crab or one large crab after 1 day in the size experiment.

3.2.2. Predation by starfish

Similar to the selection experiment, consumption of seed by starfish was much lower compared to consumption by crabs (Fig. 5). Small starfish consumed collector seed and wild sublittoral seed at an average rate of 1 seed/3 days. Large starfish consumed collector seed at a rate of 5 seed/3 days and wild sublittoral seed at rate of 6 seed/3 days. The difference in seed survival between starfish sizes was significant (Table 10). For the large starfish survival of collector seed significantly increased with increasing seed density. Survival at the lowest density differed significantly from the medium and high density, but survival at the medium and high density did not differ from each other (Table 10 and post hoc test). There was no significant difference in survival between seed types (Fig. 5; Table 10).

Seed size significantly affected consumption rate of both small and large starfish (Fig. 6, Table 11 and post hoc tests). Small seed was consumed at an average rate of 3 seed/3 days for small starfish and 7 seed/3 days for large starfish. Medium sized seed was consumed at an average rate of 1 seed/3 days for small starfish and 5 seed/3 days for large starfish. Large sized seed was consumed at an average rate of 0 seed/3 days for small starfish and 1 seed/3 days for large starfish. The difference in seed survival between starfish sizes was significant (Table 11). Survival was not affected by seed density (Fig. 6, Table 11).

Occasionally, the statistical test of the density and size experiment showed significant interactions between seed size and predator (Table 9), seed density and predator (Table 10), seed size and density (Tables 10 and 11) and seed type, predator and density (Tables 10 and 11). This is caused by differences in survival as a result of both

Table 9 Results of a three-way ANOVA of the size experiment with small crab or large crab.

Source	df	MS	P
Seed size	2	28570.255	***
Density	2	602.894	ns
Predator	1	10766.782	***
Seed size × density	4	451.852	ns
Seed size × predator	2	2562.616	***
Density × predator	2	97.338	ns
Seed type × density × predator	4	215.046	ns
Error	36	249.074	

Values are degrees of freedom (df), mean square (MS) and probability (P), ns not significant, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ .

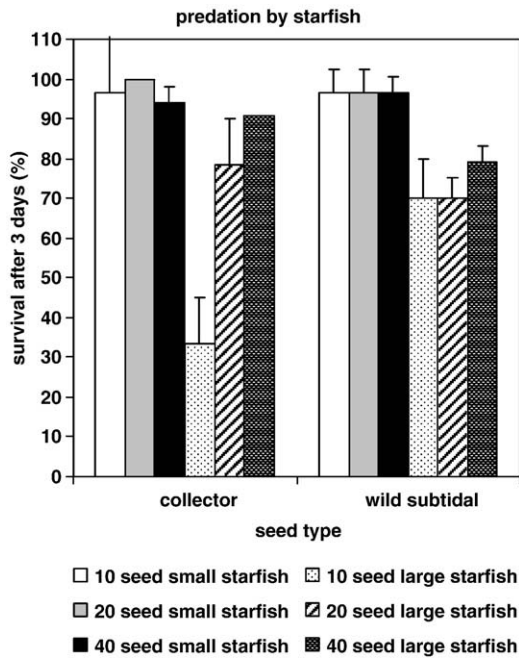


Fig. 5. Average survival of collector seed and wild sublittoral seed ( $n = 3 \pm sd$ ) in cages with different densities of seed and one small starfish or one large starfish after 3 days in the density experiment.

factors combined: e.g. large predators can consume more mussels than small predators.

#### 4. Discussion

##### 4.1. Seed type

Both experiments show that collector seed was not consumed at higher rates than wild seed. The expected better performance of littoral seed compared to sublittoral seed was not observed in the selection experiment. The results even suggest a higher susceptibility of littoral seed to predation than the other two types of seed, perhaps caused by the slightly smaller size of littoral seed (19.6 mm vs 23.1 mm). However, the difference was not significant.

##### 4.2. Seed density and size

Seed density did not affect survival of seed except for the treatment with large starfish and collector seed where survival at the lowest density was significantly lower than at medium and high densities. This was not observed with wild seed. Seed size had a strong effect on consumption rates. Rheinallt (1986) observed size selective consumption in the velvet swimming crab *Liocarcinus puber* (L.) and

Table 10 Results of a three-way ANOVA of the density experiment with small starfish or large starfish.

Source	df	MS	P
Seed type	1	62.674	ns
Density	2	838.021	**
Predator	1	6333.507	***
Seed type × density	2	555.382	*
Seed type × predator	1	76.562	ns
Predator × density	2	909.549	**
Seed type × predator × density	2	550.521	*
Error	24	100.000	

Values are degrees of freedom (df), mean square (MS) and probability (P), ns not significant, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ .

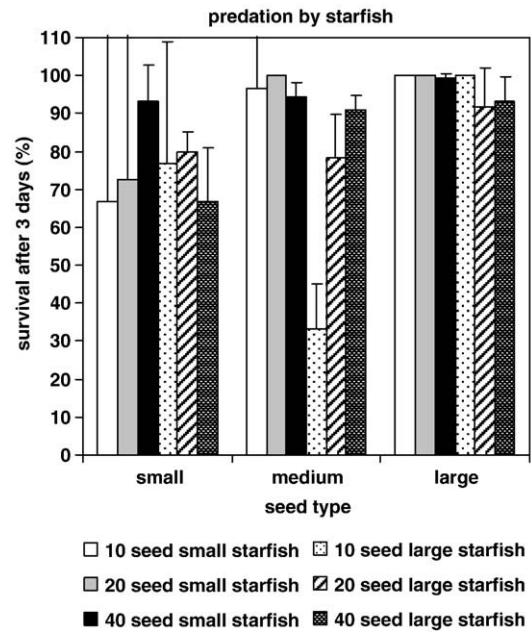


Fig. 6. Average survival of small-sized, medium-sized, and large-sized collector seed ( $n = 3 \pm sd$ ) in cages with different densities of seed and one small starfish or one large starfish after 3 days in the size experiment.

demonstrated that the ability to handle the prey determines the most profitable size.

##### 4.2.1. Predation by crabs

The presented results show that mussel seed of 20 mm was consumed at a rate of up to 6 seed/day/crab (44–63 mm carapace width). Mascaro and Seed (2001) observed similar consumption rates of 7 seed (9–12 mm)/day for a crab with carapace width of 25–35 mm. In our experiments small seed (<11 mm) disappeared significantly faster than the other size classes. This was also observed by Mascaro and Seed (2001). Although larger and more profitable mussels can be crushed, Smallegange and van der Meer (2003) suggest that crabs select small crushable mussels to prevent claw wear and tear. Our experiments showed that large crabs consumed seed significantly faster than small crabs. Smallegange and van der Meer (2003) found a significant effect of crab size on handling time; large crabs needed less time than small crabs. Handling time ranged from 3 min for 6 mm seed and 50–55 mm crabs to 8 h for 24 mm seed and 32 mm crabs. Frandsen and Dolmer (2002) tested the protection of different substrates with mussels (19 mm) against crab (50 mm carapace width) predation and observed a consumption rate of 1.4 mussels/day. This is considerably lower than the rates found in our experiments, which is possibly due to the fact that the mussels in our experiment were dislodged when introduced into the cages. In an extra cage mussels were not dislodged and they were not consumed the first 18 days of the experiment (own observation). The rate at which 20 mm mussel

Table 11 Results of a three-way ANOVA of the size experiment with small starfish or large starfish.

Source	df	MS	P
Seed size	2	1605.874	*
Density	2	420.814	ns
Predator	1	3016.591	**
Seed size × density	4	572.156	*
Seed size × predator	2	509.301	ns
Predator × density	2	360.316	ns
Seed type × predator × density	4	887.400	*
Error	32	211.686	

Values are degrees of freedom (df), mean square (MS) and probability (P) ns not significant, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ .

seed was consumed decreased from 6 seed/day/crab (44–63 mm carapace width) to 3 seed/day/crab when two crabs were placed together in one cage. This suggests interference between crabs.

#### 4.2.2. Predation by starfish

The average daily consumption rate was 0.5 seed/starfish with an arm length of 42–70 mm on seed of 21–40 mm, 1.5 seed/day on 11–20 mm seed and 2 seed/day on seed <11 mm. These values are comparable to the results of an experiment by Dolmer (1998) who observed a rate of 1 mussel of 39 mm/day for a starfish with an arm length of 75 mm. Norberg and Tedengren (1995) studied the susceptibility to predation by starfish in North Sea and Baltic mussels. The time needed by a starfish with arm length of 50 mm to open a 30 mm mussel varied from 2.4 min for mussels from the Baltic habitat without starfish to 3.15 h for mussels from the North Sea habitat with starfish. These opening rates are higher than the consumption rates observed in our experiments. Although the temperature was not mentioned in Norberg and Tedengren (1995) it is possible that our experiments, carried out in October and December, were conducted at a lower temperature, which reduced the activity of the predator. Sommer et al. (1999) determined consumption rates of starfish and mussels of different sizes in the laboratory at 10 °C. A starfish with an arm length of around 50 mm consumed 0.2 to 3 mussels/day depending on the order in which the mussels were offered (decreasing or increasing in size from 7–63 mm).

In conclusion, the hypothesis that collector seed is less resistant to predation by crabs and starfish than wild seed is not confirmed by the presented experiments. Small seed was consumed significantly faster than large seed. Seed larger than 20 mm showed the best survival. This indicates that selection of the seed size before seeding can be profitable. In conclusion, collector seed can be a promising additional source of seed for bottom culture of mussels in the Netherlands. This may eventually result in a more regular supply of Dutch mussels to the market.

#### Acknowledgements

We thank the mussel farmers Wim Schot for providing wild seed, and Bart Landa for providing collector seed in 2003. The crews of MS Valk, Kokhaan and Schollebaar are thanked for transporting mussel seed and collecting crabs and starfish in 2003. The mussel company Prins & Dingemanse is thanked for providing wild and collector seed and crabs and the shipping route marking vessel of the Ministry of Transport and Waterworks for providing large starfish in 2005. Arnold Bakker, Henk van het Groenewoud, Siem Hoornsman and Liesbeth van der Vlies assisted in the experiment in 2005. Aad Smaal and Jeroen Jansen are thanked for critically reading a draft of the manuscript. The manuscript greatly benefited from the comments of three anonymous reviewers. The experiment carried out in 2003 was part of the project “Enhancement of spat fall in mussels” funded by the Dutch Fish Board and the experiment carried out in 2005 was part of the project

“Research for sustainable shellfish culture (PRODUS)” funded by the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality and the “Dutch Mussel Producers Organisation”.

#### References

- Babarro, J.M., Fernandez-Reiriz, M.J., Labarta, U., 2000. Growth of seed mussel (*Mytilus galloprovincialis* LMK): effects of environmental parameters and seed origin. *J. Shellfish Res.* 19, 187–193.
- Babarro, J.M.E., Labarta, U., Fernandez-Reiriz, M.J., 2003. Growth patterns in biomass and size structure of *Mytilus galloprovincialis* cultivated in the Ria de Arousa (north-west Spain). *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 83, 151–158.
- Boromthananat, S., Deslous-Paoli, J.M., 1988. Production of *Mytilus edulis* L. reared on bouchots in the Bay of Marennes–Orléon: comparison between two methods of culture. *Aquaculture* 72, 255–263.
- Davies, G., Dare, P.J., Edwards, D.B., 1980. Fenced enclosures for the protection of seed mussels (*Mytilus edulis* L.) from predation by shore-crabs (*Carcinus maenas* (L.)). Fisheries Research Technical Report, vol. 56. Lowestoft.
- Dolmer, P., 1998. The interaction between bed structure of *Mytilus edulis* L. and the predator *Asterias rubens* L. *Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 228, 137–150.
- Dijkema, R., 1997. Molluscan fisheries and culture in The Netherlands. NOAA Technical report NMFS 129, pp. 115–136.
- Elnor, R.W., Hughes, R.N., 1978. Energy maximization in the diet of the shore crab, *Carcinus maenas*. *J. Anim. Ecol.* 47, 103–116.
- Fuentes, J., Molares, J., Villalba, A., 1998. Growth, mortality and parasitization of mussels cultivated in the Ria de Arousa (NW Spain) from two sources of seed: intertidal rocky shore vs. collector ropes. *Aquaculture* 162, 231–240.
- Frandsen, R.F., Dolmer, P., 2002. Effects of substrate type on growth and mortality of blue mussels (*Mytilus edulis*) exposed to the predator *Carcinus maenas*. *Mar. Biol.* 141, 253–262.
- Frechette, M., Bourget, E., 1985. Food-limited growth of *Mytilus edulis* L. in relation to the benthic boundary layer. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 1166–1170.
- Freeman, A.S., 2007. Specificity of induced defenses in *Mytilus edulis* and asymmetrical predator deterrence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 334, 145–153.
- Hamilton, D.J., Nudds, T.D., Neate, J., 1999. Size-selective predation of blue mussels (*Mytilus edulis*) by common eiders (*Somateria mollissima*) under controlled field conditions. *Auk* 116, 403–416.
- Kamermans, P., Bakker, A., Dekker, A., Kaag, K., Perdon, J., 2007. PRODUS 1d: Overleving van MZI zaad en sublitoraal bodemzaad op een perceel in de Waddenzee 2006. IMARES Report C079/07.
- Kamermans, P., Brummelhuis, E., Smaal, A., 2002. Use of spat collectors to enhance supply of seed for bottom culture of blue mussels (*Mytilus edulis*) in the Netherlands. *World Aquac.* 33, 12–15.
- Leonard, G.H., Bertness, M.D., Yund, P.O., 1999. Crab predation, waterborne cues, and inducible defenses in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Ecology* 80, 1–14.
- Mascaro, M., Seed, R., 2001. Foraging behaviour of juvenile *Carcinus maenas* (L.) and *Cancer pagurus* L. *Mar. Biol.* 139, 1135–1145.
- Nehls, G., 1995. Strategien der Ernährung und ihre Bedeutung für Energiehaushalt und Ökologie der Eiderente (*Somateria mollissima* (L., 1758)). PhD thesis, Christian-Albrechts Universität, Kiel, 173 pp.
- Norberg, J., Tedengren, M., 1995. Attack behaviour and predatory success of *Asterias rubens* L. related to differences in size and morphology of the prey mussel *Mytilus edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 186, 207–220.
- Palmer, A.R., 1981. Do carbonate skeletons limit the rate of body growth? *Nature* 292, 150–152.
- Rheinallt, T., 1986. Size selection by the crab *Liocarcinus puber* feeding on mussels *Mytilus edulis* and on shore crabs *Carcinus maenas*: the importance of mechanical factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 29, 45–53.
- Smaal, A.C., 2002. European mussel cultivation along the Atlantic coast: production, status, problems and perspectives. *Hydrobiologia* 484, 89–98.
- Smallegange, I.M., van der Meer, J., 2003. Why do shore crabs not prefer the most profitable mussels? *J. Anim. Ecol.* 72, 599–607.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1995. Biometry, Third edition. WH Freeman and company, 887 pp.
- Sommer, U., Meusel, B., Stielau, C., 1999. An experimental analysis of the importance of body-size in the seastar-mussel predator–prey relationship. *Acta Oecol.* 20, 81–86.