

Technisch rapport: Productiemetingen aan mosselzaad-invang-installaties (MZI): 2012

H.M. Jansen, W. v. Broekhoven, E. Brummelhuis & E. Hartog

Rapport C031/13



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Ministerie van EZ
Directie Agro Kennis
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

BAS code: BO-11-011.04-007

Publicatiedatum:

22 mei 2013

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).

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het programma Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in het kader van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie - Programma's onder BAS code BO-11-011.04-007

P.O. Box 68
1970 AB IJmuiden
Phone: +31 (0)317 480900
Fax: +31 (0)317 48 73 26
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 77
4400 AB Yerseke
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 59
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 57
1780 AB Den Helder
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)223 63 06 87
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 167
1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

© 2012 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK 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-V12.3

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Algemene inleiding	6
2. Aangroei en ontwikkelingen op mosseltouwen	7
Inleiding	7
Kennisvraag	7
Methoden	7
Resultaten & Discussie.....	9
Conclusies	14
3. Management MZI: tussentijds afborstelen	16
Inleiding	16
Kennisvraag	16
Methoden	16
Resultaten & discussie	17
Conclusies	18
4. Verschillen in bentische en pelagische groeisnelheden mosselzaad	19
Inleiding	19
Kennisvraag	19
Methoden	19
Resultaten	21
Discussie & Conclusies	22
5. Nutriënten regeneratie door MZI mosselen	24
Inleiding	24
Kennisvraag	24
Methoden	24
Resultaten	26
Discussie & Conclusies	28
6. Dankwoord	29
7. Kwaliteitsborging	29
Referenties	30
Bijlage A. Lengte-frequentie diagrammen 2010 & 2011	32
Bijlage B. Voedselconcentraties in de Zandkreek.....	34

Samenvatting

Dit rapport beschrijft welke gegevens zijn verzameld ter onderbouwing van de bepaling van effecten van mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) op het ecosysteem. Ook geeft dit rapport een eerste overzicht van de resultaten welke vervolgens door de modelleers gebruikt worden in de draagkrachtmodellen. Er zijn vier aparte vraagstellingen, en deze worden elk in een aparte sectie behandeld (H2-H5).

H2. Hoe ontwikkelen de mosselaantallen en mosselgroei zich op commerciële MZI's?

Op de MZI-locatie 'Galgenplaat' zijn experimentele touwen opgehangen om de aangroei en ontwikkeling van MZI-mosselen in detail te kunnen volgen gedurende het seizoen (begin mei tot medio augustus). Er waren gedurende de gehele bemonsteringsperiode mosselen kleiner dan 1mm (<1mm fractie) aanwezig op de touwen, wat er op duidt dat er continue broedval van nieuw mosselzaad heeft plaats gevonden. De totale dichtheid mosselzaad was maximaal (~ 55 duizend mosselen m⁻¹) in week 28 (medio juli). Deze dichtheid was hoger dan in voorgaande jaren, wat voornamelijk toegeschreven kan worden aan de hoge aantallen kleine mosseltjes (<1mm). De schelpenlengte nam van 2.1 mm in juni toe tot 9.0 mm in augustus, wat neer komt op een gemiddelde groei van 0.9mm per week. De gemiddelde groei op basis van de ruwe meetgegevens wordt echter onderschat door de complicerende factor van aanhoudende nieuwe aanwas waardoor gemiddelde lengtes negatief worden beïnvloed. Ook wordt de sterfte op basis van ruwe meetgegevens onderschat indien de aanwas niet op een juiste manier wordt meegenomen. Het meetprogramma in 2012 was er op gericht een hoge resolutie van gegevens op te leveren die gebruikt kunnen worden in cohortanalyse. Op basis van cohortanalyse is het in theorie mogelijk om nauwkeurigere schattingen te genereren voor aanwas, groei en sterfte. Ondanks de grote aantallen mosselen die individueel gemeten zijn, blijkt het desalniettemin lastig cohorten te onderscheiden in deze dataset. Dit geeft aan dat broedval van het mosselzaad continue is en hierin geen separate periodes te onderscheiden zijn, óf dat de individuele groei van mosselbroed zoveel variatie vertoont dat dit de initiële cohorten uitvlakt waardoor deze niet meer als zodanig te onderscheiden zijn. Cohort analyse lijkt daarom ook niet te resulteren in betrouwbare schattingen voor aanwas en sterfte van het mosselzaad op de MZI-touwen. Het bepalen van betrouwbare sterfte schattingen van de MZI-mosselen is dan ook nog steeds een onbekende factor, en de netto aanwas (broedval minus sterfte) zal door validatie en kalibratie van de huidige modellen tot stand moeten komen.

H3. Wat zijn de effecten van tussentijds afborstelen op de dichtheid en lengte-frequentieverdelingen van mosselzaad op de netten?

De totale biomassa aanwezig in het systeem wordt beïnvloed door managementactiviteiten zoals het moment van oogsten, als ook het tussentijds oogsten. Effecten van het tussentijds oogsten -ook wel afborstelen genoemd- op de biomassa en lengteverdelingen van de mosselen die achterblijven op het net zijn niet bekend. Deze zijn daarom in samenwerking met MZI-ondernemers bepaald, waarbij monsters verzameld zijn tijdens het tussentijdsoogsten van twee MZI-locaties (Roggeplaat & Slaak). De resultaten lieten zien dat de dichtheid op de netten met 50-70% afname en de gemiddelde schelpenlengte ongeveer 20% kleiner was als gevolg van het tussentijds oogsten (afborstelen). Deze managementactiviteit heeft dus een wezenlijk effect op de mosselbiomassa aanwezig op de MZI's. Hiermee is een eerste stap gemaakt in het kwantificeren van de effecten van afborstelen op de dichtheden en lengteverdeling van mosselzaad op de MZI's. De volgende stap is om de momenten van afborstelen en het aantal geborstelde systemen in kaart te brengen om zodoende voor ieder moment een opschaling naar de totale biomassa mosselzaad op de MZI's te kunnen schatten.

H4. Wat zijn de verschillen in voedselaanbod en groeisnelheden van mosselzaad tussen bentische (percelen) en pelagische (MZI) omstandigheden?

Met de introductie van MZI's (en hangcultures) in de pelagische lagen van de waterkolom is er behoefte beter inzicht te krijgen in de groeirespons van mosselen in deze waterlaag, en meer specifiek voor de groeiverschillen tussen mosselen gekweekt in MZI's (pelagisch) en op bodempercelen (bentisch). Dit mogelijke verschil in groeirespons is getest in een experimentele proef waarbij mosselen afkomstig uit één populatie en met eenzelfde schelpenlengte bij aanvang van de proef, op de bodem dan wel in de pelagische waterkolom gehouden werden over een periode van één maand (juli – aug). Schelpenlengte is vier keer bepaald tijdens de experimentele periode. De mosselen waren allemaal individueel gemerkt om zodoende meer inzicht te krijgen in individuele groeirespons. Echter, ondanks een succesvolle pilot bleek meer dan 90% van de merkjes los te laten en kunnen er dus alleen conclusies getrokken worden over de groei van de gehele groep (n=50 mosselen voor beide groepen). Resultaten van deze studie laten zien dat de groei van mosselen ongeveer 10% hoger is in de pelagische waterlaag dan op de bodem. De voedselcondities lijken een tegengesteld beeld te laten zien aangezien zowel de zwevende stof als de chlorofyl a concentraties hoger waren voor de watermonsters genomen net boven de bodem. Echter, de kwaliteit van het voedsel (uitgedrukt als hoeveelheid organisch materiaal en concentratie chlorofyl) leek hoger voor de pelagische waterlaag. Deze resultaten (zowel schelpdiergroei als voedselcondities) zijn in overeenstemming met andere studies en geven aan dat groeimodellen voor mosselen, die bepaald zijn aan de hand van gegevens, verzameld op mosselpercelen niet zonder aanpassingen gebruikt kunnen worden voor groei op MZI-of hangcultuursystemen.

H5. Nutriëntenregeneratie

Het is van belang voor een juiste modellering van draagkrachteffecten om naast consumptie van algen en ander materiaal ook de teruglevering van nutriënten in kaart te brengen. Nutriënten die van de MZI vrijkomen werden gemeten met behulp van graaskamers. Regeneratiesnelheden per eenheid MZI namen toe gedurende het seizoen, en regeneratiesnelheden per eenheid mosselgewicht namen af gedurende het seizoen. Dit is overeenkomstig de verwachtingen. De bepaalde nutriëntenregeneratiesnelheden kunnen in de draagkrachtmodellen worden toegepast.

1. Algemene inleiding

Ter onderbouwing van de beschrijving van de effecten van de MZI's op het systeem in termen van beslag op draagkracht en effecten op de bodem op de diverse locaties zijn gegevens nodig van groei, sterfte en totale biomassa van MZI-mosselen gedurende het seizoen. Deze gegevens zijn tevens nodig als input voor, en validatie van, modelberekeningen. Dit rapport beschrijft vooral welke gegevens zijn verzameld, en op welke manier, en geeft een eerste overzicht van de resultaten welke vervolgens door de modelleers gebruikt worden in de draagkrachtmodellen.

Het huidige rapport is een vervolg op de productiemetingen in 2009, 2010 en 2011 zoals beschreven door Troost et al. (2011). In tegenstelling tot de eerdere metingen is er dit jaar gekozen om groei en productie te volgen op één specifieke locatie waar experimentele touwen opgehangen werden om de aangroei en ontwikkeling van MZI-mosselen in meer detail te kunnen volgen gedurende het seizoen. Om de modellen en empirische dataverzameling zo goed mogelijk op elkaar aan te laten sluiten is er daarnaast tijdens een workshop voorafgaand aan het meetseizoen bepaald waar data/kennis lacunes liggen welke ingevuld kunnen worden met verzameling van empirische meetgegevens. Hieruit is naar voren gekomen dat er behoefte is in meer inzicht in managementactiviteiten (tussentijds afborstelen), en verschillen in voedselaanbod en mosselgroei tussen bodempercelen en hangcultures (MZI's). Aanvullend op de productiemetingen zijn daarom dit jaar in samenwerking met MZI-ondernemers monsters verzameld tijdens het tussentijdsoogsten van twee MZI-locaties (netten), en is er een experiment opgezet om de verschillen in groei tussen bodempercelen en MZI's te bepalen.

Gezien de verschillen in aard van dataverzameling en weergave van resultaten, is het huidige rapport opgedeeld in drie secties gecentreerd rondom de volgende vraagstellingen:

- H2 Hoe ontwikkelen de mosselaantallen en mosselgroei zich op commerciële MZI's? Is er door middel van cohortanalyse een betrouwbare schatting van aanwas, groei en sterfte te maken?
- H3 Wat zijn de effecten van tussentijds afborstelen op de dichtheid en lengte-frequentie verdelingen van mosselzaad op de netten?
- H4 Wat zijn de verschillen in voedselaanbod en groeisnelheden van mosselzaad tussen bentische (percelen) en pelagische (MZI) omstandigheden?

Omdat schelpdieren een sleutelrol kunnen vervullen in de circulatie van nutriënten in aquatische ecosystemen, wordt er binnen de huidige studie ook gekeken naar de nutriëntenregeneratie door MZI-mosselen (o.a. promotieonderzoek W. van Broekhoven). Resultaten van enkele van deze experimenten worden beschreven in H5. Hierbij richten we ons op de vraagstelling:

- H5 Wat zijn nutriëntenregeneratiesnelheden van MZI's, en hoe ontwikkelen deze zich gedurende het seizoen?

2. Aangroei en ontwikkelingen op mosseltouwen

Inleiding

In 2009-2011 zijn de aangroei en ontwikkelingen van mosselzaad op de MZI's bepaald middels treksterktebepalingen, het verzamelen van mosselmonsters van commerciële MZI-systemen, en onderwatervideo's (Troost et al. 2011). Hierbij golden echter enkele praktische belemmeringen: treksterktemetingen waren praktisch moeilijk uitvoerbaar, mosselmonsters konden alleen uit de bovenste 50 cm van de touwen en netten genomen worden, en onderwatervideo's leveren slechts een kwalitatief beeld op. Hierdoor was op basis van de huidige dataset geen gedetailleerde analyse van de aanwas, groei en sterfte te maken. Het verloop van zaaddichtheden in de grote klasse (> 1 mm) zou een beeld van de sterfte kunnen geven, ware het niet dat voortdurende aanwas vanuit de kleine klasse naar de grote klasse plaatsvond. Om een betere inschatting van sterfte te kunnen maken, zullen de toepassingsmogelijkheden voor cohortenanalyse onderzocht worden.

De grote variatie in lengtes aanwezig op de MZI's kan veroorzaakt worden door cohorten die op verschillende momenten settelen op de MZI's, en/of door grote variatie in individuele groei. Aan netten en touwen zijn niet alle mosselen even goed in staat het water te filtreren; de mosselen aan de binnenzijde van de tros zullen minder kunnen filtreren dan aan de buitenzijde. Jansen (2012) heeft onlangs laten zien dat de voedselopnamesnelheden van mosselen in hangcultures veel kleiner zijn dan wat resulteert uit metingen aan individuele mosselen in het laboratorium. Dit heeft gevolgen voor de beschrijving van de individuele groei van mosselen op MZI-touwen en -netten. Aan de hand van gerichte metingen aan MZI-mosseltouwen is het meetprogramma in 2012 er op gericht om de individuele variatie in groei verder in kaart te brengen (zie ook hoofdstuk 4).

Kennisvraag

Ter onderbouwing van de beschrijving van de effecten van de MZI's op het systeem zijn gegevens nodig van groei, sterfte en totale biomassa van MZI-mosselen gedurende het seizoen. Deze gegevens zijn tevens nodig als input voor, en validatie van, modelberekeningen. De huidige studie is er op gericht een betrouwbare schatting van aanwas, groei en sterfte te maken.

Methoden

Op de MZI-locatie 'Galgenplaat' (Figuur 1) zijn experimentele touwen opgehangen om de aangroei en ontwikkeling van MZI-mosselen in meer detail te kunnen volgen gedurende het seizoen. Omdat bij bemonsteringen hele touwen verwijderd worden, welke vervolgens in het laboratorium verwerkt worden, kunnen we aantallen per touwlengte nauwkeuriger bepalen en kan tevens de gehele diepte range bemonsterd worden. Hiermee wordt de berekening van aanwas, groei en sterfte nauwkeuriger.

Begin mei 2012 zijn er in totaal 50 touwen met ieder een lengte van 6 meter uitgehangen. De uiteinden van de touwen werden bevestigd aan de pezen die gespannen zijn tussen 2 vloten (zie ook Figuur 1). De maximale diepte van de touwen is daarmee 3 meter. Tussen mei en augustus zijn er vervolgens iedere twee weken vier touwen ($n=4$) verwijderd en mee genomen naar het lab voor verdere analyse. Van ieder van de touwen is op 1, 2 en 3 m diepte een stukje touw van 20 cm verwijderd, wat gebruikt is voor analyse van mosseldichtheden en -lengte. Voor alle monsterpunten zijn de 2 m-stukken geanalyseerd, en voor de juni en juli bemonsteringen zijn tevens de 3 m-stukken geanalyseerd om te bepalen of er een significant verschil is tussen groei en aanwas op 2 m of 3 m. Door het grote aantal mosselen dat gemeten is ten behoeve van de cohortanalyse was er geen tijd om de 1m-secties te meten.



Figuur 1 Linker paneel: Bemonsterde MZI-locatie 'Galgenplaat'. Rechter paneel: Vloten (netten) systeem zoals in gebruik op de Galgenplaat. Experimentele touwen waren aan de pezen tussen de vloten bevestigd.

De door IMARES verzamelde (sub)monsters zijn in het lab verwerkt. Per monster is het aantal mosselzaadjes bepaald, en voor de groeibepalingen zijn lengtes in individuele schelpen gemeten. De individuele lengtes zijn alleen gemeten van mosselen groter dan 1 mm. Hieruit is per bemonsteringsdatum de gemiddelde dichtheid en lengte met standaarddeviatie berekend. Tijdens de verwerking zijn de monsters in 3 verschillende fracties verdeeld: (i) zaad >1 mm, dit zijn de zaadjes die op een 1 mm zeef blijven liggen, (ii) zaad <1 mm, dit zijn de zaadjes die door de 1 mm zeef gaan maar achter blijven op de 0,5 mm zeef, (iii) wier, hierin alles wat niet uitgespoeld kon worden. Door het monster meerdere keren te wassen en af te gieten kon een grove scheiding worden gemaakt tussen wier (en andere aangroei) en relatief schone mosselzaadjes. Afhankelijk van de hoeveelheid werden deze fracties helemaal geteld of er werd weer een deelmonster genomen. De gehele fractie, of een deelmonster hiervan, werd uitgespreid in een petrischaaltje of fotobak en de mosseltjes werden geteld. Een voorwaarde voor de cohortanalyse is dat er lengtegegevens van enkele honderden mosselen per monsterpunt beschikbaar moeten zijn voor een betrouwbare analyse. Er zijn daarom van meer dan 600 mosselen (indien zoveel aanwezig in het submonster) lengtebepalingen verricht middels een digitale foto met behulp van een image-analyseprogramma (Leica QWIN). Voor grote individuen is een digitale schuifmaat gebruikt.

Cohortanalyse

Op basis van de empirische data kunnen schattingen gemaakt worden voor de groei en aanwas van MZI-mosselen. Deze schatting van de groei is echter ruw vanwege de complicerende factor van aanhoudende nieuwe aanwas waardoor gemiddelde lengtes negatief worden beïnvloed. Ook wordt de schatting van de aanwas beïnvloed door de sterfte, en omgekeerd. Door puur naar de toename in aantallen te kijken zou de aanwas onderschat worden. Hetzelfde geldt voor een inschatting van de sterfte. Afname van de dichtheden wordt veroorzaakt door sterfte en het afvallen van mosselen (wat waarschijnlijk ook neerkomt op sterfte). Voorafgaand aan maximale dichtheden treedt natuurlijk ook sterfte op onder mosselen >1 mm op, maar dit is in de data niet zichtbaar door voortdurende aanwas van mosselbroed. Door enkel naar de afname in aantallen te kijken wordt de sterfte onderschat.

Het meetprogramma in 2012 (zie beschrijving in voorgaande paragraaf) was er op gericht een hoge resolutie van gegevens op te leveren die gebruikt kunnen worden in cohortanalyse. De gemeten lengtes van individuele mosselen zijn vervolgens gebruikt om lengte-frequentie verdelingen te construeren. Deze zijn daarna gebruikt om de cohorten (leeftijden) te schatten op basis van een methode zoals beschreven door Bhattacharya (1967). De Bhattacharya (1967)-methode wordt vaak gebruikt om de leeftijdsstructuur van vispopulaties in kaart te brengen, en Walles et al. (in prep.) heeft deze methode

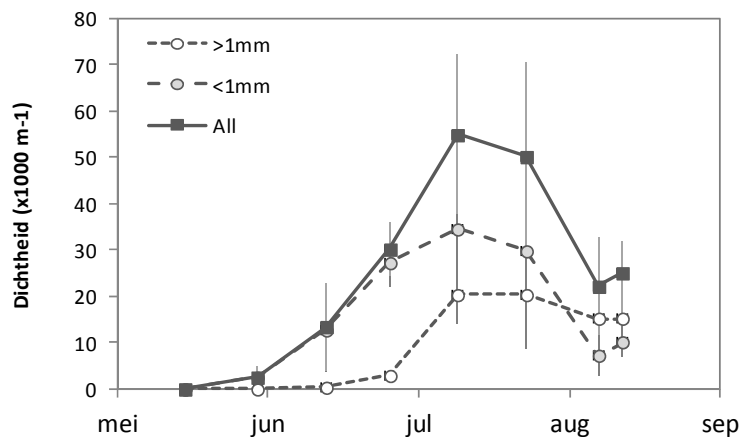
gebruikt voor identificatie van jaarklassen en bepaling van sterfte van oesters in natuurlijke en kunstmatige riffen. Eenzelfde methode is gebruikt door Bayne & Warral (1980) om de leeftijdsstructuur van mosselpopulaties *Mytilus edulis* in kaart te brengen. Bij de methode zoals beschreven in Bhattacharya (1967) worden de lengte-verdelingen omgezet naar meerdere Gaussiaanse-verdelingen waarvan aangenomen wordt dat deze normaal verdeeld zijn en overeenkomen met de verschillende cohorten (leeftijdsklassen). Om de afzonderlijke cohorten te identificeren moeten er 'modes' (gemiddelde schelp lengtes van ieder cohort) bepaald worden. Een eenvoudige wijze om een 'mode' te bepalen is door LOG-getransformeerde frequentieverdelingen grafisch uit te zetten tegen de lengte. Deze grafiek toont een aantal punten waar lijnen met een negatieve helling doorheen getrokken kunnen worden. Het punt waar de lijnen met de x-as kruisen ($y=0$) komt overeen met een 'mode' van de afzonderlijke cohorten. In navolging op Walles et al. (in prep) is er in deze studie gekozen om verschillende aggregatie-intervallen toe te passen (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1 en 2 mm) omdat de uitkomsten van de methode gevoelig zijn voor het gekozen aggregatieniveau. De beste schatting van de "modes" van de cohorten wordt dan verkregen door de schattingen van de verschillende aggregatieniveaus te middelen. Deze procedure is voor ieder van de afzonderlijke bemonsteringspunten herhaald. Vervolgens kan voor ieder cohort het aantal mosselen berekend worden (dichtheid). De dichtheidsontwikkeling van elk cohort kan dan gevolgd worden in de tijd. Een afname van dichtheid in een cohort duidt op sterfte, terwijl een positieve waarde duidt op aanwas.

Resultaten & Discussie

Ontwikkeling dichtheden

Bij het eerste bezoek aan de MZI op 15 mei 2012 (wk 20) bleek reeds zaadval te hebben plaatsgevonden. De zaadjes waren met het blote oog moeilijk waarneembaar, maar bij onderzoek met binoculair bleek zaad kleiner dan 1 mm reeds aanwezig te zijn (Figuur 2). De totale aantallen mosselzaad op de touwen waren in mei echter nog laag. In juni nam het aantal mosselen kleiner dan <1mm gestaag toe en tussen 24 juni (wk 25) en 10 juli (wk 28) was er een sterke toename in mosselbroedjes groter dan 1mm aanwezig op de touwen, en werden maximale dichtheden waargenomen (~55 duizend per meter mosseltouw). In augustus nam de totale dichtheid significant af (Tukey HSD post hoc, $p < 0.05$), wat vooral het gevolg was van de afname in mosselen <1 mm. Ook de dichtheid mosselen groter dan 1mm leek iets af te nemen, al zijn de dichtheden (>1 mm) gemeten in juli en augustus niet significant verschillend van elkaar (Tukey HSD post hoc, $p < 0.05$). De variatie in dichtheden tussen de replica's ($n=4$) was echter groot, maar er was geen significant verschil tussen de dichtheden van de stukken touw verzameld op 2m diepte en op 3m diepte.

In vergelijking met resultaten verkregen in 2011 op de Roggeplaat (Oosterschelde, touwen systemen, zie Troost et al. 2011), lijkt het aandeel klein zaad (<1 mm) in 2012 gedurende een langere periode aanwezig te zijn op de touwen. In 2011 was er vrijwel geen klein zaad meer aanwezig op de touwen vanaf medio juli, terwijl in 2012 ondanks een afname de dichtheid in augustus nog 8000 m^{-1} betrof. Het verloop in dichtheden van klein zaad geeft een indicatie van de mate van nieuwe aanwas en dus reproductie gedurende de bemonsteringsperiode. Gezien het koude voorjaar en matige zomer in 2012 is een min of meer continue paaiperiode, uitgespreid over een langere periode, niet verrassend. In 2011 was met name het voorjaar erg warm waardoor de paai waarschijnlijk meer batch-gewijs en eerder in het seizoen heeft plaats gevonden. De totale dichtheden mosselzaad waren in 2012 aan MZI-touwen op de Galgenplaat (max ~55 duizend m^{-1}) hoger dan touwen op locatie de Roggeplaat in 2011 (max ~25 duizend m^{-1}). Het aantal mosselen >1 mm in augustus (begin oogstperiode) was daarentegen wel van dezelfde grootte als in de jaren er voor (10-15 duizend m^{-1}).



Figuur 2 Ontwikkeling van de aantallen mosselzaad op de MZI-touwen (gemiddelde $\pm$ sd)

Ontwikkeling biomassa

Tabel 1 geeft de ontwikkeling van biomassa weer. De bemonsteringen in mei zijn daarbij buiten beschouwing gelaten omdat tijdens deze bemonsteringen de mosselbiomassa zeer klein was, waardoor kwantificering niet representatief geacht werd. De biomassa nam van medio juni tot medio augustus toe van 0.7 tot 3.3 kg per meter mosseltouw. Het is niet bekend waar de relatief hoge waarden voor het natgewicht op 26 juni door verklaard kunnen worden. Deze waarden zijn vergelijkbaar met de metingen aan de touwen op de Roggeplaat in 2011 (Troost et al. 2011).



Figuur 3 Ontwikkeling van mosselzaad aanwas en groei op de MZI-touwen. Linker foto: 10 juli 2012; Rechter foto: 8 augustus 2012.

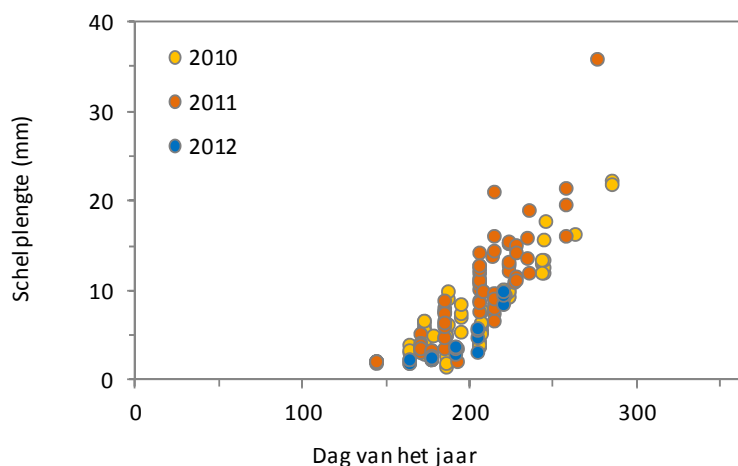
Tabel 1 Ontwikkeling van mosselzaad op de touwen uitgedrukt als totaal natgewicht per meter touw en lengte van de individuele mosselen. Verschillende letters geven een significant verschil aan (Turkey HSD post hoc, $p < 0.05$)

Datum	Gemiddeld natgewicht (kg m^{-1})	Gemiddelde mossellengte (>1mm)
13 juni	0.7 ± 0.0^a	$2.1 \pm 0.1 \text{ mm}^a$
26 juni	2.6 ± 0.1^a	$2.5 \pm 0.1 \text{ mm}^a$
10 juli	1.1 ± 0.2^{ab}	$3.6 \pm 0.4 \text{ mm}^{ab}$
24 juli	1.7 ± 0.4^b	$4.9 \pm 1.2 \text{ mm}^b$
8 aug	2.9 ± 0.5^c	$9.0 \pm 0.8 \text{ mm}^c$
13 aug	3.3 ± 0.8^c	$8.8 \pm 1.7 \text{ mm}^c$

Ontwikkeling lengte

Voor een inschatting van de gemiddelde lengte zijn enkel de gegevens van de groep mosselen >1mm meegenomen in de berekeningen, omdat er van de groep <1mm geen absolute lengtegegevens beschikbaar zijn. De waarden gepresenteerd in Tabel 1 geven daarom een overschatting van de werkelijke gemiddelde lengte van het mosselzaad. De schelp lengte nam van 2.1 mm in juni toe tot 9.0 mm in augustus, wat neerkomt op een gemiddelde groei van 0.9 mm per week.

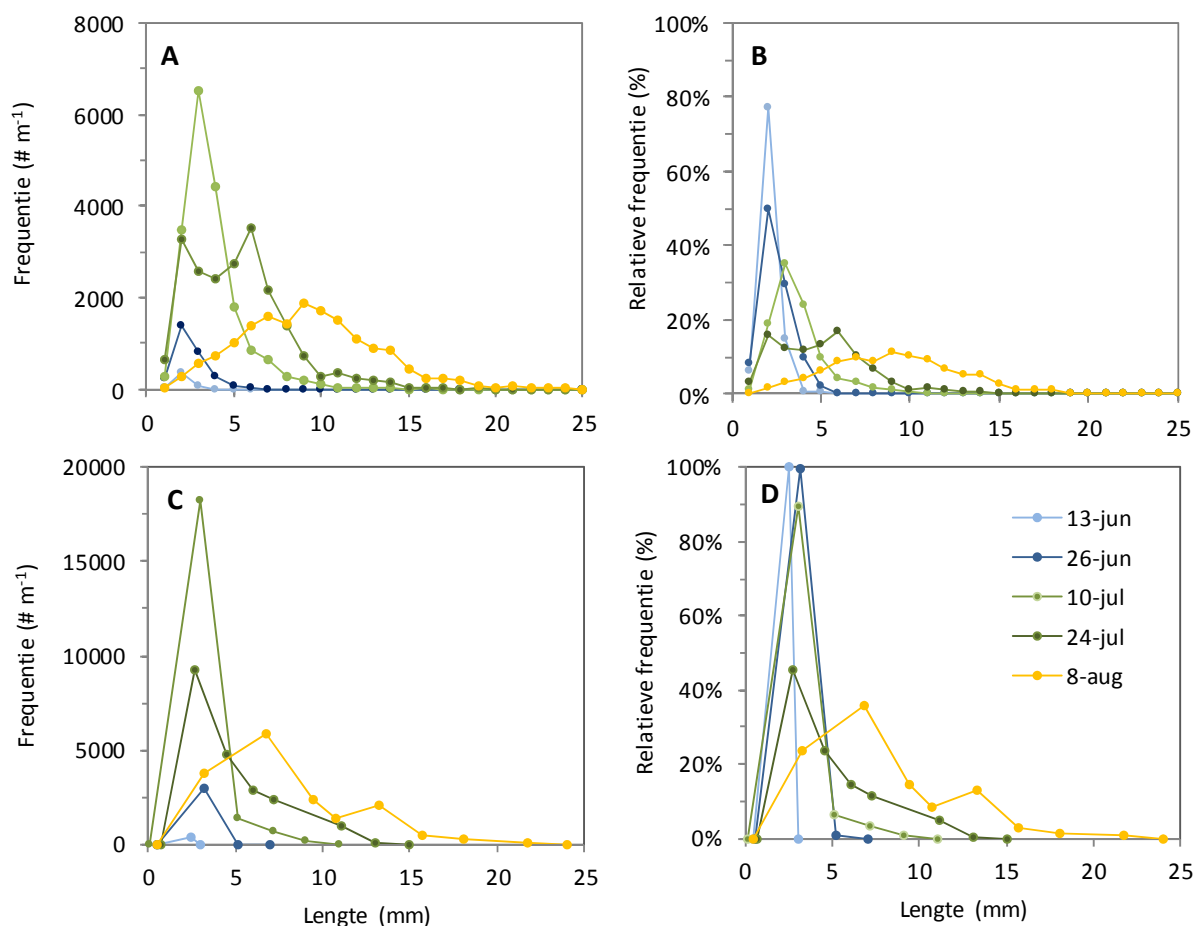
Figuur 4 laat zien dat dat de groei van MZI-mosselen op de Galgenplaat het afgelopen jaar (2012) aan de lage kant lag in vergelijking met groei gegevens uit de voorgaande twee jaar (geaggregeerde data over verschillende kweeklocaties in de Oosterschelde). De data uit 2010 en 2011 zijn ook gebaseerd op de mosselfractie >1 mm.



Figuur 4 Schelp lengte van MZI-mosselzaad gedurende het jaar voor 2010 en 2011 (geel-oranje stippen), en 2012 (blauwe stippen). Data over de jaren 2010 en 2011 zijn gebaseerd op Troost et al. 2011, waarbij alleen de data uit de Oosterschelde zijn meegenomen.

Lengte-frequentieverdelingen

Voor het opzetten van een cohortanalyse kan er in eerste instantie gekeken worden of er cohorten onderscheiden kunnen worden. Een eenvoudige scan hiertoe kan uitgevoerd worden op basis van lengte-frequentie verdelingen. Figuren 5a en 5b geven de lengte-frequentieverdelingen weer voor de bemonstering uitgevoerd in 2012 (zie ook Figuur 2), tevens worden er in annex A enkele lengte-frequentieverdelingen op basis van de 2010-2011 data gepresenteerd. Figuren 5a, 5b en Tabel 1 laten zien dat in juni vrijwel alleen mosselen kleiner dan 3 mm aanwezig waren op de netten, en op 10 juli waren de meeste mosselen tussen de 3-5 mm. Op 24 juli kunnen twee cohorten onderscheiden worden (Figuur 5, donker groene lijn); het eerste cohort bestaat uit mosselen tussen de 2-4 mm en het tweede cohort uit mosselen tussen 6-8 mm, wat indiceert dat er ná 10 juli nog broedval van mosselzaad op de touwen heeft plaats gevonden. Dit sluit aan bij de resultaten gepresenteerd in Figuur 2 die laten zien dat er ook in juli en augustus klein mosselzaad (<1 mm) aanwezig is op de touwen. Het onderscheid in cohorten zien we echter niet meer terug op 8 augustus. Dit betekent dat de mosselen uit één cohort dood zijn gegaan, ofwel een wezenlijke variatie in individuele groei heeft plaats gevonden waardoor de cohorten niet meer als zodanig te onderscheiden zijn.



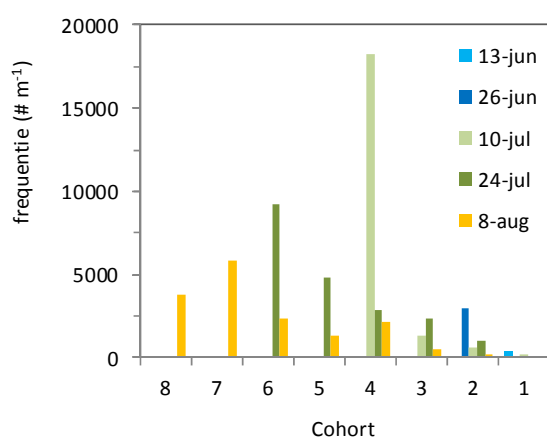
Figuur 5 Lengte-frequentieverdelingen van de mosselen op de touwen gedurende de bemonsteringsperiode. Boven (A & B) gegevens op basis van empirische data en onder (C & D) schattingen op basis van de cohortanalyse. Linker panelen (A & C) zijn uitgedrukt in absolute aantallen per meter mosseltouw, en de rechter panelen (B & D) zijn uitgedrukt als relatieve aanwezigheid (de som van alle punten voor elk cohort = 100%). Alleen de mosselfractie > 1 mm is meegenomen in de analyse.

Cohort analyse

Op basis van de cohortanalyse bleek dat er minimaal één cohort (13 juni) en maximaal acht cohorten (8 augustus) onderscheiden konden worden (Figuur 6). De lengte-frequentieverdelingen op basis van de resultaten voorkomend uit de cohortanalyse zijn weergegeven in Figuur 5c en 5d. Deze volgen min of meer de patronen zoals weergegeven aan de hand van de meetgegevens (Figuur 5a en 5b), zij het dat de twee cohorten op 24 juli niet onderscheiden worden in de cohortanalyse. Tabel 2 geeft de sterfte van de mosselen in ieder cohort weer. Een negatieve waarde indiceert dat er geen sterfte maar juist een toename van het aantal individuen heeft plaats gevonden, wat in principe niet mogelijk is. Dit laat zien dat er mobiliteit tussen de cohorten optreedt en houdt in dat er geen distincte cohorten onderscheiden kunnen worden. Eenzelfde analyse is ook uitgevoerd voor de data van de Roggeplaat in 2011. De resultaten hiervan worden niet weergegeven in de huidige rapportage, de conclusies zijn echter gelijk: ook voor deze dataset resulteert de cohortanalyse niet in goede en betrouwbare parameter schattingen voor sterfte van MZI-broed op de touwen.

Deze analyse laat dus zien dat er eerder sprake is van gedifferentieerde groei van één cohort al dan niet aangevuld met continue broedval en doorgroei van nieuwe individuen, dan van distincte cohorten die eenzelfde groei laten zien en de grote variatie in schelpenlengte later in het seizoen (juli-aug) kunnen verklaren. Bij de analyses volgens Bhattacharya (1967), Bayne & Warral (180) en Wallas et al (in prep) zijn de afzonderlijke cohorten echter gerelateerd aan jaarklassen. In de huidige studie is getracht om binnen één jaarklasse verschillende cohorten te onderscheiden. Dit is echter lastig gebleken en de algemene conclusie is dan ook dat de cohortanalyse niet geschikt is voor het bepalen van sterfte van mosselbroed op MZI-installaties.

Figuur 6 Cohort analyse. Aantal mosselen per verondersteld cohort voor ieder van de meetpunten



Tabel 2 Sterfte per cohort (in % per dag) op basis van de cohortanalyse. Dit laat zien dat deze methode *niet* resulteert in betrouwbare schattingen voor sterfte van MZI-mosselen

cohort	13 juni	26 juni	10 juli	24 juli
	26 juni	10 juli	24 juli	8 aug
8				
7				0%
6				10%
5			0%	8%
4			6%	2%
3			-5%	5%
2		6%	-4%	5%
1	7%	7%	-3%	-4%

Conclusies

Ontwikkelingen in aanwas, dichtheden en groei

- In 2012 waren er gedurende de gehele bemonsteringsperiode (mei-aug) mosselen kleiner dan 1 mm (<1 mm fractie) aanwezig op de touwen, wat er op duidt dat er continu broedval van nieuw mosselzaad heeft plaats gevonden. De aantallen klein mosselzaad waren in 2012 langer in hogere dichtheden aanwezig op de touwen dan in 2011.
- De aantallen van zowel <1 mm en >1 mm waren maximaal in week 28 (medio juli) (totale dichtheid: ~ 55 duizend mosselen m⁻¹).
- Ondanks de hoge dichtheden mosselzaad in 2012 in vergelijking met de voorgaande 2 jaar, was de biomassa (natgewicht) van ongeveer gelijke grootte. Dit is toe te schrijven aan de hoge aantallen mosselen <1 mm, die slechts zeer beperkt bijdragen aan de biomassa.
- De schelpenlengte nam van 2.1 mm in juni toe tot 9.0 mm in augustus, wat neer komt op een gemiddelde groei van 0.9 mm per week. Vergelijking met voorgaande jaren liet zien dat de gemiddelde schelpenlengte als functie van de tijd in 2012 achterliep. De gemiddelde groei op basis van de ruwe meetgegevens wordt echter onderschat door de complicerende factor van aanhoudende nieuwe aanwas waardoor gemiddelde lengtes worden verkleind. Onderschatting van de groei op basis van totale populatie (incl. nieuwe aanwas) blijkt ook uit de groeigegevens van individueel gemerkte mosselen (zie hoofdstuk 4).
- De verkregen ruwe data zijn aangeleverd aan de modelleurs binnen het project, om te gebruiken als input voor de modellen en voor kalibratie dan wel validatie.

Sterfte

- Het verloop van zaaddichtheden in de grote klasse (> 1 mm) zou een schatting van sterfte van het mosselzaad op de MZI-touwen kunnen geven. Echter, in de huidige meetserie is geen significante afname van de dichtheden in de fractie >1mm waar te nemen, wat zou duiden dat er geen sterfte op is getreden. In de dataset met empirische meetgegevens zijn de aanwas en sterfte echter moeilijk van elkaar te onderscheiden. Door puur naar de toename in aantallen te kijken zou zowel de aanwas, groei als de sterfte onderschat worden. Het meetprogramma in 2012 was daarom zo ingericht dat er grote aantallen mossels gemeten werden om meer inzicht te krijgen in individuele groei van mosselzaad op basis van lengte-frequentie verdelingen.
- Ondanks de grote aantallen mosselen die individueel gemeten zijn gedurende de bemonsteringsperiode in 2012 (méér dan 15.000 lengte metingen), blijkt het desalniettemin lastig cohorten te onderscheiden op basis van de lengte-frequentieverdelingen. Eenzelfde conclusie kan getrokken worden voor de data uit 2010 en 2011. Dit geeft aan dat broedval van het mosselzaad continue is en hierin geen separate periodes te onderscheiden zijn, óf dat de individuele groei van mosselbroed zoveel variatie vertoont dat dit de initiële cohorten uitvlakt waardoor deze niet meer als zodanig te onderscheiden zijn.
- Cohortanalyse op basis van de Bhattacharya (1967)-methode lijkt daarom ook niet te resulteren in betrouwbare schattingen voor aanwas en sterfte van het mosselzaad op de MZI-touwen. Echter, gezien de afwezigheid van distincte cohorten, continue broedval en grote individuele groei verschillen (zie ook hoofdstuk 4) is het twijfelachtig of dit tot juiste sterfteschattingen zal leiden. Het bepalen van betrouwbare sterfteschattingen van de MZI-mosselen is dan ook nog steeds een onbekende factor, en de netto aanwas (broedval minus sterfte) zal door validatie en kalibratie van de huidige modellen tot stand moeten komen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een numerieke methode waarbij de aanwas per dag bepaald wordt, en groei en sterfte als functie van de individuele massa beschreven worden met een spreiding in de groeicoëfficiënt. Deze (modelmatige) aanpak dient echter nog nader uitgewerkt te worden om te bepalen of dit tot goede sterfte, aanwas en groei schattingen kan leiden.

- Momenteel maken de draagkrachtmodellen geen onderscheid tussen verschillende cohorten binnen één jaarklasse. De resultaten van de cohortanalyse laten zien dat er geen duidelijke cohorten te onderscheiden zijn, en de grote variatie in schelp lengte kan dan ook niet beschreven worden aan de hand van cohorten. De huidige modelaanpak gebaseerd op één cohort MZI-mosselen per jaar lijkt dan ook correct.

3. Management MZI: tussentijds afborstelen

Inleiding

Ter onderbouwing van de beschrijving van de effecten van de MZI's op het ecosysteem zijn naast gegevens over groei, aanwas en sterfte (zie hoofdstuk 2) ook gegevens nodig over de totale biomassa van MZI-mosselen gedurende het seizoen. De totale biomassa aanwezig in het systeem wordt beïnvloed door managementactiviteiten zoals het moment van oogsten, inclusief de tussentijdse oogsten. Gegevens over de totale oogst worden gerapporteerd door MarinX (MarinX 2010, 2011). Tijdens het tussentijds oogsten -ook wel afborstelen genoemd- wordt de buitenste laag mosselen verwijderd van de netten. Aan de buitenzijde groeien over het algemeen de grootste mosselen, wat mogelijk een gevolg is van een betere voedselconcurrentiepositie aan de buitenzijde van de touwen. Daarnaast zullen de mosselen aan de binnenzijde van het net meer in de verdrukking zitten wat een tweede mogelijke verklaring is voor de gereduceerde groei (Jansen 2012, Cranford et al. 2012). Door het afborstelen wordt dus een deel van de totale biomassa geoogst, maar wordt ook de lengteverdeling van de populatie mosselen die achterblijft op de MZI's beïnvloed. Deze managementactiviteit wordt momenteel slechts beperkt meegenomen in bestaande modellen omdat hier weinig informatie over beschikbaar is.

Kennisvraag

Wat zijn de effecten van tussentijds afborstelen op de dichtheid en lengte-frequentieverdelingen van mosselzaad op de netten?

Methoden

Voor een kwantitatieve inventarisatie van de effecten van afborstelen heeft er een bemonstering plaats gevonden tijdens de tussentijdse oogst op commerciële kweeksystemen. Hierbij zijn voor en na het afborstelen van de netten monsters genomen die een indicatie van de dichtheidsverandering als gevolg van het borstelen weergeven. Deze bemonstering heeft plaats gevonden bij 2 easy-farmsystemen;

- 1) locatie Roggeplaat, MZI-systeem van Praet en Zonen B.V. geborsteld door BRU36/40 B.V., op 14 aug
- 2) locatie Slaak, MZI-systeem van Slaak B.V., op 3 sept



Figuur 7 Afborstelmachine op een Easyfarm systeem op de BRU40

De bemonsteringen zijn uitgevoerd tijdens de werkzaamheden van de kwekers. De borstelmachine werd op de buis gezet en was zo afgesteld dat ongeveer 80% van de mosselen geoogst werd. Dit wordt gedaan door het instellen van de snelheid waarmee de borstels draaien en de afstand tussen de borstels en het net. Hoe ruimer de afstand tussen borstels en net, des te minder mossels er afgeborsteld worden. Halverwege het net werd het afborstelen tijdelijk onderbroken en werd het net ongeveer een meter uit het water gehaald om de monsters te kunnen nemen. Vanuit een bijboot werden vervolgens monsters genomen aan beide zijdes van de borstelmachine; één zijde van het net die reeds afgeborsteld was en één zijde die nog afgeborsteld moest worden. De monsters werden genomen op een hoogte van ongeveer 50-75 cm vanaf waterlijn waar een, op het oog, gemiddelde bedekking was. Hierbij werden voorzichtig alle mosselen verwijderd van een gestandaardiseerd oppervlak (4 maasjes van 5 bij 5 cm, totaal 0.01 m²). Aan beide zijdes van het net (voor en na afborstelen) zijn 3 monsters verzameld (triplo). Op de locatie Roggeplaat zijn drie verschillende netten bemonsterd (totaal 18 monsters), en op locatie Slaak zijn twee netten bemonsterd (totaal 12 monsters).

De door IMARES verzamelde (sub)monsters zijn in het lab verwerkt. Per monster is het totaal aantal mosselen bepaald, en voor de lengte-frequentie verdelingen zijn lengtes van minimaal 50 individuele schelpen (random sub-monster) gemeten met behulp van een digitale schuifmaat. Hierbij zijn de mosselen <5mm alleen geteld en mosselen >5 mm zijn ook meegenomen in de berekeningen voor gemiddelde lengtes.

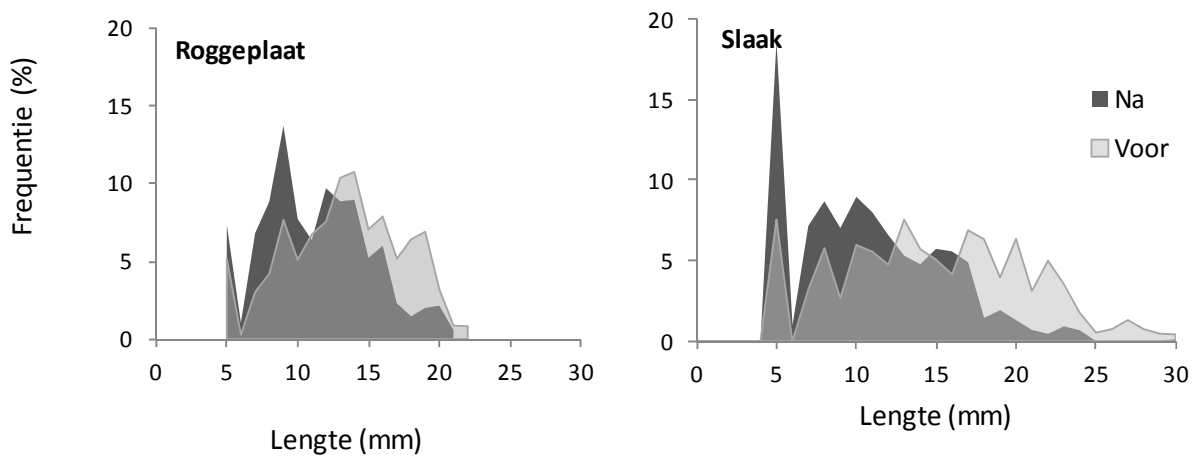
Resultaten & discussie

Er was een significant verschil waar te nemen in de gemiddelde lengtes (ANOVA; Roggeplaat $p < 0.0001$; Slaak $p < 0.0001$) en dichtheid (ANOVA; Roggeplaat $p < 0.0001$; Slaak $p = 0.0214$) van de mosselen aanwezig op de netten vóór en ná het afborstelen. De gemiddelde dichtheid van de mosselen op de netten liet zien dat er op de locatie Roggeplaat 70%, en in Slaak 50% van de mosselen verwijderd werden gedurende het afborstelproces (Tabel 3).

De gemiddelde lengte van de mosselpopulatie aanwezig op de MZI-netten ná het afborstelen was gemiddeld 20% kleiner dan van de mosselen aanwezig op de netten vóór het afborstelen voor zowel de locatie Roggeplaat als Slaak (Tabel 3). Dit betekent dat bij het tussentijdse oogstproces voornamelijk de grotere mosselen eraf geborsteld worden en de kleinere blijven zitten. Ook de lengte-frequentieverdelingen (Figuur 8) laten zien dat de grotere mosselen verwijderd worden van de MZI-netten tijdens de tussentijdse oogst. Met name op de netten in Slaak werd dit gevonden: vóór het afborstelen bestond ongeveer 20% van de mosselpopulatie uit mosselen in de lengtecategorie 18-30mm terwijl deze fractie vrijwel afwezig was ná het afborstelen.

Tabel 3 Gemiddelde ($\pm$ sd) dichtheid en lengte van de mosselen op de bemonsterde MZI-netten vóór en ná het commercieel afborstelen

	Roggeplaat		Slaak	
	Vóór afborstelen	Ná afborstelen	Vóór afborstelen	Ná afborstelen
Dichtheid (x1000 m ⁻²)	73.9 $\pm$ 26.7	20.7 $\pm$ 9.8	112.5 $\pm$ 39.8	57.2 $\pm$ 29.7
Lengte (5-30mm)	13.9 $\pm$ 0.4	11.3 $\pm$ 1.0	15.8 $\pm$ 2.0	12.6 $\pm$ 2.3



Figuur 8 Relatieve lengte-frequentieverdelingen van de mosselen vóór en ná het commercieel afborstelen van MZI-netten. De fractie weergegeven voor 5mm geeft in werkelijkheid de som van individuen van 1 t/m 5 mm weer.

Het uitdunnen van de mosselpopulatie op de MZI-netten, waarbij vooral de grotere individuen verwijderd worden, is gunstig omdat de grotere mosselen uitgezaaid worden op de percelen om daar uit te groeien tot consumptieformaat en de kleinere mosseltjes nog wat tijd krijgen om te door te groeien voordat deze ook uitgezaaid worden op de percelen. Daarnaast biedt het uitdunnen van de systemen kans voor broedval van nieuw mosselzaad. Het is bekend dat in sommige jaren aan het einde van het seizoen nog een tweede zaadval plaats kan vinden (McGrath et al. 1988), welke door het creëren van meer ruimte door te borstelen, weer de gelegenheid krijgt zich te vestigen op het net.

Conclusies

De resultaten van deze studie lieten zien dat de dichtheid met 50-70% en de gemiddelde schelpenlengte met 20% afnam als gevolg van het tussentijds oogsten (afborstelen). Deze managementactiviteit heeft dus een wezenlijk effect op de mosselbiomassa aanwezig op de MZI's.

Of de MZI's al dan niet tussentijds geoogst worden is afhankelijk van het systeem (alleen netten-systemen kunnen afgeborsteld worden) en van de individuele managementbeslissingen van de kweker. Zoals er grote verschillen zijn in het moment van oogsten afhankelijk van de locatie, systeem en individuele beslissingen van de kwekers, varieert ook het moment van afborstelen tussen bedrijven en locaties. Via de hierboven beschreven studie is een eerste stap gemaakt in het kwantificeren van de effecten van afborstelen op de dichtheden en lengteverdeling van mosselzaad op de MZI's. Om de dichtheid van mosselen aanwezig op de MZI in kaart te brengen is het naast bovenstaande informatie van belang om de momenten van afborstelen en het aantal geborstelde systemen te bepalen om zodoende voor ieder moment een opschaling naar de totale biomassa mosselzaad op de MZI's te kunnen schatten.

4. Verschillen in bentische en pelagische groeisnelheden mosselzaad

Inleiding

Mossels vergaren hun voedsel door seston (slib, detritus en levende cellen zoals bijv. fytoplankton) uit het water te filteren. De sestonconcentratie in de waterkolom is afhankelijk van verschillende factoren zoals o.a. primaire productie, opwoelen van de bodem (re-suspensie), menging van de waterkolom, en/of sedimentatie. Afhankelijk van deze factoren kan er dan ook een dieptegradiënt optreden waardoor de voedselcondities in de bentische en pelagische waterlagen kunnen verschillen. Re-suspensie van sediment (slib) kan bijvoorbeeld de voedselcondities in de waterkolom dichtbij de bodem sterk beïnvloeden omdat daardoor de verhouding eetbare bestanddelen / anorganisch slib (veel) kleiner wordt. Smaal & Haas (1997) lieten zien dat de sestonconcentraties in de Oosterschelde net boven de bodem hoger zijn dan in het oppervlakte water (pelagisch). Het voedselaanbod rond de bodem was echter van lagere kwaliteit vanwege het geringere aandeel organisch materiaal (%POM) en aandeel fytoplankton (%PhytoPOM). De gestandaardiseerde monitoring uitgevoerd door het NIOZ geeft ook inzicht in de voedselcondities langs een dieptegradiënt. Bijlage B geeft een overzicht van de voedselcondities in de Zandkreek (monitoringsstation dichtbij de MZI-locatie 'Galgenplaat') gedurende verschillende jaren (2004-2008) en seizoenen. Hieruit komt echter geen eenduidig beeld naar voren. Wel zijn er in 2007, en met name in 2008 indicaties dat de voedselconcentraties toenemen met de diepte (met name troebelheid wat een indicator kan zijn voor SPM concentraties; SPM= suspended particulate matter).

Voedselcondities hebben effect op de groei van schelpdieren. Fréchette & Grant (1991) lieten zien dat mosselen gekweekt op 1m boven de bodem een betere groei vertoonden dan mosselen in een mosselbed. De afgelopen jaren is er relatief veel informatie vergaard over de groei van mosselen op percelen in de Oosterschelde en de Waddenzee. Met de introductie van MZI's (en hangcultures) in de pelagische lagen van de waterkolom is er echter behoefte beter inzicht te krijgen in de groeirespons van mosselen in de deze waterlaag, en meer specifiek: voor de groeiverschillen tussen mosselen gekweekt in hangcultures (MZI) en op bodempercelen.

Kennisvraag

Ter onderbouwing van de beschrijving van de effecten van de MZI's op het systeem zijn gegevens nodig over de verschillen in voedselaanbod en groeisnelheden van mosselzaad tussen bentische (percelen) en pelagische (MZI) omstandigheden.

Methoden

Op de MZI-locatie 'Galgenplaat' (zie ook Figuur 1) zijn op 12 juli 4 sets met individueel gemerkte mosselzaadjes uitgezet. Elke set bestond uit een deel dat 2 meter onder het oppervlak is opgehangen (pelagisch) en een deel dat zich op de bodem (bentisch) bevond. Twee sets zijn binnen de MZI uitgehangen en twee sets op ruim 100 meter buiten de MZI. De mosseltjes gebruikt in dit experiment waren afkomstig van de zelfde MZI als waar ze uitgehangen zijn (Galgenplaat) en zijn verzameld tijdens de bemonstering op 10 juli (zie ook hoofdstuk 2). De mosseltjes zijn individueel gemerkt met bijenmerkjes. De minimum lengte voor het aanbrengen van de merkjes bleek 5-10mm schelp lengte, waardoor alleen de grotere individuen meegenomen konden worden in deze merkproef en de gemerkte groep daarom geen random sub-monster van de gehele populatie weergaf. Na drogen en schoonmaken van de schelp zijn de merkjes aangebracht met secundelijm (cyaanacrylaat). De mosseltjes zijn vervolgens in bakken geplaatst welke een continue doorstroom van Oosterscheldewater kregen, en de



Figuur 9 Linker foto: één set met 2 ringenkorven. Rechter foto: gemerkte mosselzadjes in gazen zakje.

volgende dag is gekeken of de mosseltjes filtratie-activiteit vertoonden. Diegene die niet actief filterden zijn uitgesloten van het experiment. Per locatie (binnen vs buiten de MZI) en diepte (pelagisch vs bentisch) zijn 25 mosseltjes in duplo uitgezet, wat resulteert in een totaal aantal van 200 mosseltjes. Elke set van 25 mosseltjes is verdeeld over 2 zakjes van gaas (1 mm maaswijdte). De 2 zakjes zijn in een geperforeerde korf (20 mm maaswijdte) geplaatst. De bodemkorf had 2 extra lege korven aan de onderzijde om te voorkomen dat de zakjes met mosseltjes onder het slik zouden raken.

Op 24 juli en 8 augustus zijn de korven boven gehaald en schoongemaakt. De mosseltjes zijn samen met een meetlat als referentie gefotografeerd en later op het lab met een imageanalyseprogramma gemeten (Leica Qwin; nauwkeurigheid ± 0.1 mm). Tijdens de metingen zijn op iedere locatie en diepte ook watermonsters genomen. De watermonsters zijn genomen tijdens de kentering van het tij. Hiervan is het zwevende stof gehalte (SPM) met het percentage organisch materiaal en de chlorofyl-a-concentratie bepaald (Tabel 4). De meting is 13 augustus beëindigd omdat op dat moment begonnen werd met het oogsten van de MZI-systemen op de Galgenplaat. Er zijn op die dag geen watermonsters meer genomen, maar de schelp lengte is wel bepaald.

Tabel 4 Aantal watermonsters per datum, variabele en locatie

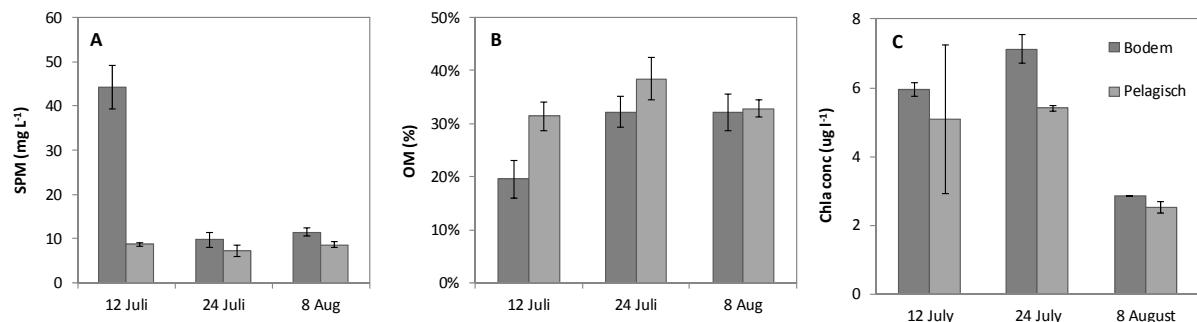
Datum	Variabele	Binnen MZI		Buiten MZI	
		Bodem	Pelagisch	Bodem	Pelagisch
12.07.12	Chl a	2	2	-	-
	SPM	2	2	-	-
24.07.12	Chl a	2	2	2	2
	SPM	3	3	3	3
8.8.12	Chl a	2	2	2	2
	SPM	3	3	3	3

Resultaten

Eén van de sets met individueel gemerkte mosselen die buiten de MZI geplaatst was is op drift geraakt terwijl de tweede verstrikt is geraakt met een boei waardoor hij niet meer gelicht kon worden. Daarom worden alleen de resultaten van de locatie 'binnen de MZI' gepresenteerd.

Waterkwaliteit

De hoeveelheid zwevende stof vlak bij de bodem (bentisch) is groter dan bij het oppervlak terwijl het organische deel hiervan juist aan het oppervlak (pelagisch) hoger is (Figuur 10ab). De concentratie zwevend stof op 12 juli net boven de bodem genomen geeft zeer hoge waarden weer. Het is dan ook aannemelijk dat dit eerder veroorzaakt wordt door een fout in de monsternamen (bijv. opwoelen bodemmateriaal) dan dat dit daadwerkelijk de juiste waarde weergeeft. De concentratie chlorofyl-a is vlak bij de bodem ook hoger dan aan het oppervlak voor alle drie de meetmomenten (Figuur 10c).



Figuur 10 Voedselcondities voor de bentische en pelagische water column (gemiddelde $\pm$ sd).

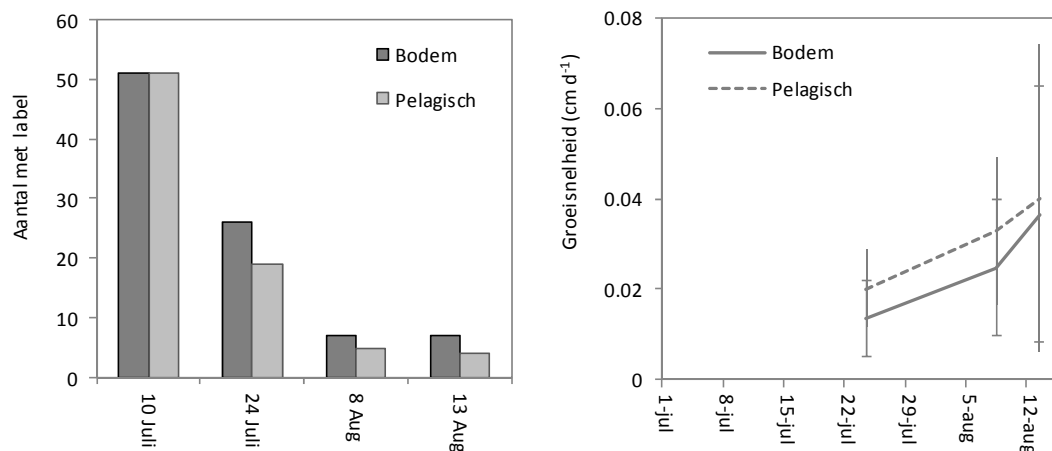
A: Zwevend stof (SPM, mg l⁻¹), B: Organisch materiaal (%OM), C: Chlorofyl a concentraties (Chl a, µg l⁻¹).

Groei van schelpdieren

Ondanks een succesvolle pilot waarbij gemerkte mosselen in tanks gehouden werden, bleken veel (~90%) merkjes los te laten zodat maar een klein aantal mosseltjes individueel gevolgd kon worden (Figuur 11, linker paneel). Deze mosseltjes zijn gebruikt om de individuele groei te bepalen. In de meetperiode (12 juli- 13 aug) was de groei van de gemerkte individuen in het oppervlakte water gemiddeld 2.3 ± 1.2 mm per week en bij de bodem 1.7 ± 1.2 mm per week (Figuur 11, rechter paneel). De groei van alle individuen (ook niet gemerkte individuen) in het oppervlaktewater was 1.7 mm per week en bij de bodem 1.4 mm per week (gebaseerd op Figuur 12A), wat neerkomt op een 25% snellere groei van de pelagische mosseltjes.

De lengte van de mosseltjes bij aanvang van de start van de proef was gelijk voor de bentische en pelagische groep (ANOVA, $F = 2.23$, $p = 0.1389$), maar verschilde significant toen de proef beëindigd werd medio augustus (ANOVA, $F = 9.94$, $p = 0.0022$). De gemiddelde lengte was respectievelijk 1.89 ± 0.31 cm en 1.69 ± 0.31 cm voor de pelagische en bentische groepen, wat laat zien dat de pelagische mosseltjes ongeveer 10% groter waren na een periode van één maand.

Het gemiddelde eindgewicht voor de pelagische mosseltjes was 0.052 ± 0.022 gram en voor de bodemmosselen 0.037 ± 0.016 gram (Figuur 12B), daarmee waren de pelagische mosselen significant zwaarder dan de bodemmosselen (ANOVA, $F = 16.19$, $p < 0.0001$). De conditie (gewicht t.o.v. lengte, zie Figuur 12C) is voor de oppervlaktmosseltjes dan ook iets beter dan voor de mosselen op de bodem (ANOVA, $F = 18.12$, $p < 0.0001$).



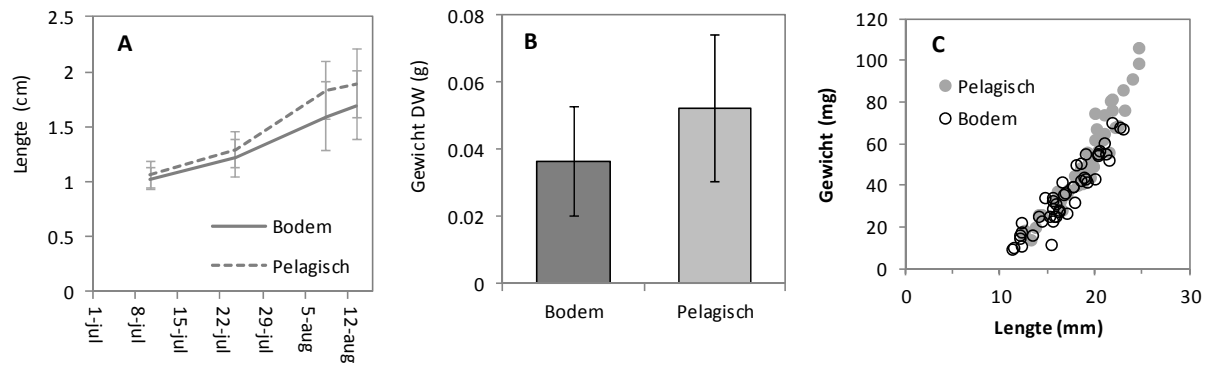
Figuur 11 Linker paneel: Aantal mosselen individueel herkenbaar aan een label. Rechter paneel: Groeisnelheid van individuele mosselen bepaald aan de hand van lengtemetingen van gemerkte individuen (Gemiddelde $\pm$ sd). Groeisnelheid is bepaald als het verschil in schelpenlengte tussen twee opeenvolgende bemonsteringspunten gedeeld door het aantal dagen tussen deze punten.

Discussie & Conclusies

Resultaten van deze studie laten zien dat de groei van mosselen groter is in de pelagische waterlaag dan op de bodem. Ook de conditie (gewicht vs lengte) is iets beter voor de mosselen in de pelagische waterkolom. De pelagische korven waren, in tegenstelling tot die op de bodem, iedere keer sterk aangegroeid, wat de waterdoorstroming en dus voedseltoevoer afgeremd kan hebben. Ondanks deze aangroei was de schelpdiergroei hier groter. In theorie had de groei dus wellicht nog iets groter kunnen zijn met een nog wat groter verschil tussen groei van pelagische en bentische gekweekte mosselen.

De resultaten van de schelpdiergroei lijken niet direct in overeenstemming met de resultaten van de voedselcondities. Voedselcondities laten namelijk zien dat zowel zwevend stof als de chlorofyl *a* concentraties hoger zijn in de bentische water laag. Echter, de kwaliteit van het voedsel lijkt hoger voor de pelagische laag aangezien de fractie organisch materiaal hoger is. Deze resultaten zijn wel in overeenstemming met Smaal & Haas (1997) voor de Oosterschelde. Gezien de betere schelpdiergroei in de pelagische waterlaag, lijkt de kwaliteit van het voedsel een belangrijke rol te spelen.

De groei van pelagische mosselen, zowel individueel gemeten en als de gehele groep (2.3 en 1.7 mm per week respectievelijk), zijn hoger dan gemeten op MZI-touwen (0.9 mm per week - hoofdstuk 2). Dit laat zien dat de groei waarschijnlijk onderschat wordt op basis van totale aantallen door de continue aanwas van nieuw mosselzaad en/of door gereduceerde groei als gevolg van de hoge dichtheden op de touwen. Hierbij moet echter de kanttekening gemaakt worden dat in deze merkproef alleen de grotere individuen meegenomen zijn. Wanneer we de groei op touwen berekenen op basis van de 100 grootste individuen (data gepresenteerd in hoofdstuk 2; dit zijn waarschijnlijk de mosseltjes die aan de buitenkant van de touwen leven) komt de groei neer op 1.6 mm per week. Dit komt in de richting van de groei zoals gemeten voor de pelagische mosselen in de merkproef.



Figuur 12 Ontwikkeling in groei van alle mosselen (zowel de gemerkte en als diegene waarvan het merkje losgelaten was; n=50 per groep). A: Gemiddelde ($\pm$ sd) lengte tijdens alle bemonsteringen, B: Gemiddeld ($\pm$ sd) gewicht aan het einde van de experimentele periode (13 aug) C: Lengte – gewichtcorrelaties aan het einde van de experimentele periode

5. Nutriëntenregeneratie door MZI-mosselen

Inleiding

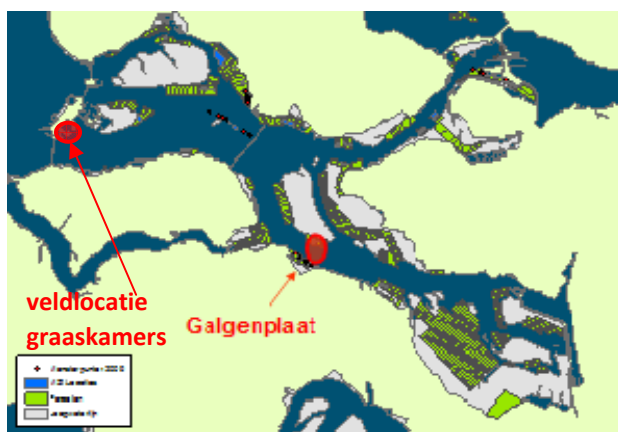
Schelpdieren kunnen een sleutelrol vervullen in de circulatie van nutriënten in aquatische ecosystemen (Kautsky & Evans, 1987). Nutriënten die opgeslagen zitten in biomassa van plankton worden door de mossel uit het water gefilterd, en een goed deel wordt ook weer uitgestoten. Eenmaal opgelost in het water kunnen de nutriënten weer worden gebruikt voor primaire productie, waardoor mosselen in feite hun voedselbron kunnen bemesten en primaire productie stimuleren (Newell 2004). Het is van belang voor een juiste modellering van draagkrachteffecten om naast consumptie van algen en ander materiaal ook de teruglevering van nutriënten in kaart te brengen. Nutriëntenfluxen van MZI's kunnen worden gemeten door een stuk van een MZI af te sluiten van de omgeving en opname en uitstoot te meten. De graaskamer methode die in 2011 is getest (van Broekhoven, ongepubliceerde data 2011) is hier in 2012 voor ingezet. De resultaten van deze metingen worden hier beschreven.

Kennisvraag

Wat zijn nutriëntenregeneratiesnelheden van MZI's, en hoe ontwikkelen deze zich gedurende het seizoen?

Methoden

De meetmethode met graaskamers die in 2011 getest werd (van Broekhoven, ongepubliceerde data 2011) is in het MZI-seizoen van 2012 toegepast. Er is in 2012 op zeven data gemeten, lopende van 27 juni tot en met 22 augustus. De veldlocatie was de steiger van de MS Hammen op Neeltje Jans. Deze locatie werd gekozen vanwege het goed toegankelijke platform en de goede waterverversing. De MZI-touwen voor deze metingen waren afkomstig van de MZI bij de Galgeplaat zoals beschreven in hoofdstuk 2. Ze zijn de dag voor elke meting van de MZI afgehaald en bij de veldlocatie uitgehangen om een nacht te acclimatiseren.



Figuur 13 Locaties van de veldlocatie voor de graaskamermetingen en de MZI bij de Galgenplaat.

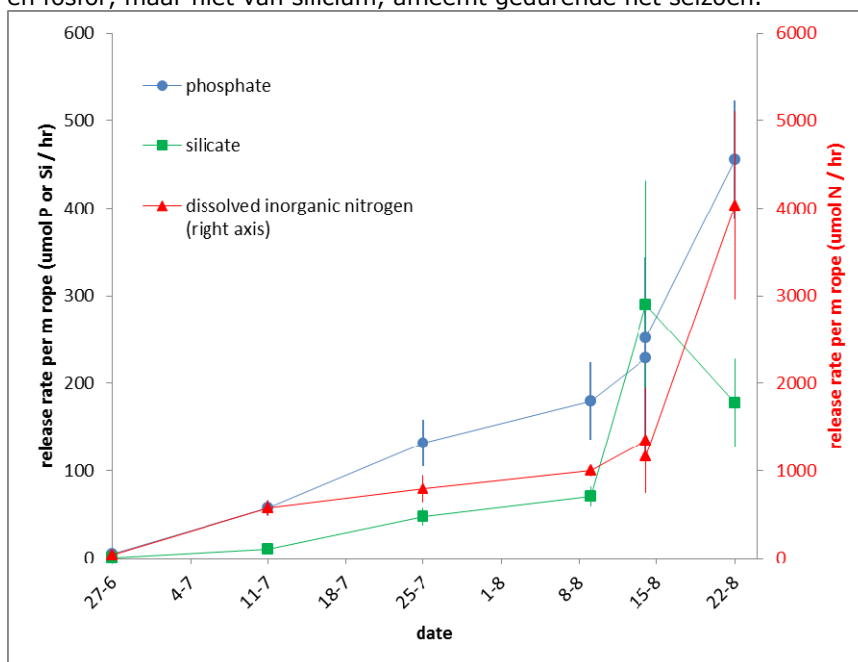
De gebruikte graaskamers (Figuur 14) waren drijvende bakken van 86 l. Hiermee kan onder veldomstandigheden worden gemeten wat een intact stuk MZI opneemt en uitstoot. De bakken werden bedekt met verduisterde kappen. Door de kappen en door de wanden van de graaskamers kwam nog slechts ongeveer 10% van het licht heen. De kamers zijn verduisterd om primaire productie sterk te reduceren, maar de verduistering is bewust onvolledig gehouden om het risico te vermijden dat het gedrag van de mosselen zou kunnen worden beïnvloed. De kamers werden aan het begin van een meting gevuld met het water waar ze in drevén. Dan werden er mosseltouwen (5 graaskamers) of niets (2 controlegraaskamers) in geplaatst, en begon de meting. De benodigde lengte MZI-touw per kamer werd geschat op basis van eerdere testmetingen om te zorgen dat er een praktisch meetbare activiteit in de kamers zou zijn. Zuurstof werd continu gemeten in zes van de zeven kamers met optische probes (Hach-Lange LXV416.99.00001). De meting werd beëindigd na ongeveer 1.5 uur, of wanneer één van de kamers de 20% zuurstofreductie bereikte. Dit werd gedaan omdat bij verdere zuurstofreductie de mosselen mogelijk hun metabolisme zouden kunnen vertragen, wat zou leiden tot een onderschatting van de activiteit. In één van de kamers werd continu fluorescentie van chlorofyl-a gemeten door middel van een veldfluorometer (Turner Designs Cyclops C7 sensor) als maat voor de consumptie van algen door de mosselen. Deze metingen werden gekalibreerd middels watermonsters aan het begin, midden en eind van de metingen. Hiervoor werd per monster 1 l water gefilterd over een Whatman GF/F filter. De filters werden bewaard bij -80 °C en binnen 2 maanden geanalyseerd. Na extractie met 90 % aceton (-3 °C) in combinatie met 30 seconden sonicatie met glaspereels, werd het debris verwijderd d.m.v. centrifugeren. In de vloeistofrest werd chlorofyl-a bepaald m.b.v. een fluorimeter, waarbij HPLC gezuiverd chlorofyl-a van een spinazie-extract (Sigma) werd gebruikt als standaard. Correctie voor feofytine vond plaats d.m.v. aanzuren met 1N HCl. Deeltjesconcentraties verdeeld in 32 grootteklassen over het bereik van 1 tot 100 µm werden gedurende de eerste veertig minuten elke tien minuten gemeten (Pamas GO S4031). Tenslotte werden watermonsters genomen bij de start en aan het eind van de metingen, waarin vervolgens in het laboratorium opgeloste anorganische nutriënten werden gemeten (Skalar San++ autoanalyser): ammoniak, nitraat, nitriet (deze eerste drie vormen samengenomen "opgelost anorganisch stikstof"), fosfaat, en silicaat. De gebruikte touwen werden alle meegenomen naar het laboratorium voor analyse van mosseldichtheid en lengteverdeling, mosselgewicht, -drooggewicht en -asvrij-drooggewicht, overig (niet zijnde mossel of touw) organisch materiaal > 1 mm, en overig organisch materiaal < 1 mm.



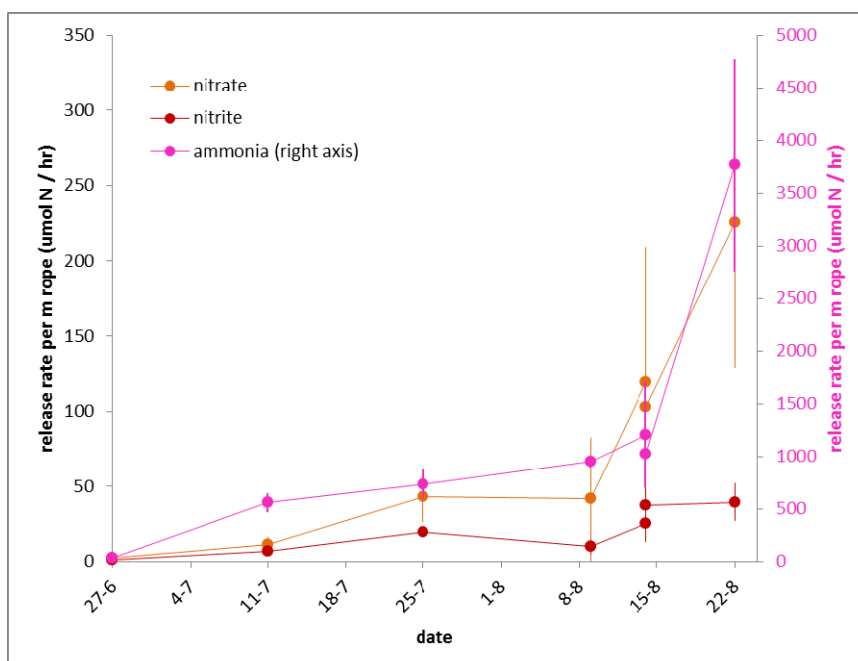
Figuur 14 Links: schematische dwarsdoorsnede van een graaskamer, zonder kap. Midden: graaskamers in gebruik in het veld; hier zijn de kappen zichtbaar. Rechts: bovenaanzicht in een graaskamer met van links naar rechts zichtbaar propeller, MZI-touw en zuurstofprobe.

Resultaten

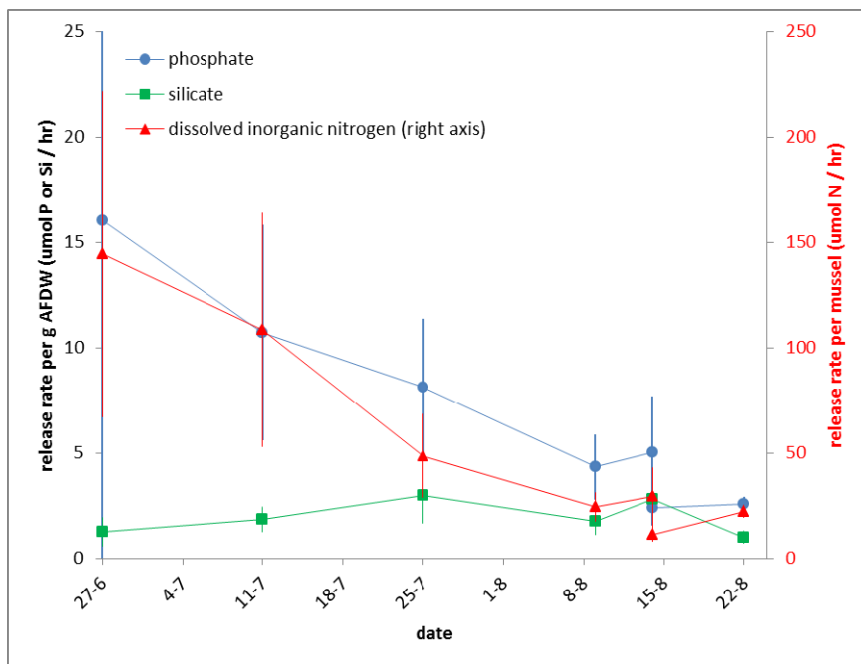
Nutriëntenregeneratiesnelheden per eenheid MZI namen toe gedurende het MZI-seizoen (Figuur 15). Hierbij was stikstof qua hoeveelheid de belangrijkste nutriënt. De belangrijkste stikstofvorm was ammonia (Figuur 16). De getallen kunnen ook worden uitgedrukt per eenheid mossel, bijvoorbeeld per gram asvrij-drooggewicht (Figuur 17). Daarbij is te zien dat de relatieve regeneratiesnelheid van stikstof en fosfor, maar niet van silicium, afneemt gedurende het seizoen.



Figuur 15 Nutriëntenregeneratiesnelheden gemeten in de graaskamers. Let op de weergave van opgelost anorganisch stikstof op de rechter-as, waarvan de schaal verschilt van de linker-as.

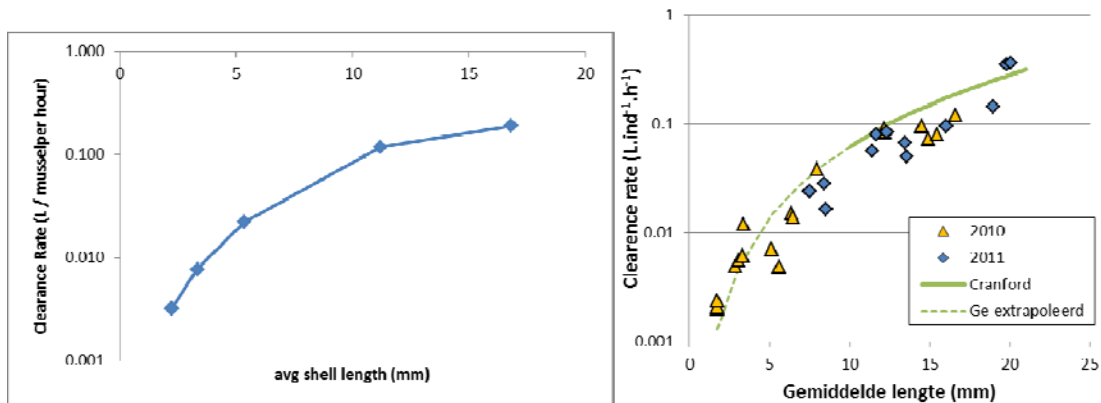


Figuur 16 Nutriëntenregeneratiesnelheden van de verschillende stikstofvormen gemeten in de graaskamers. Let op de weergave van ammonia op de rechter-as, waarvan de schaal verschilt van de linker-as.



Figuur 17 Nutriëntenregeneratiesnelheden gemeten in de graaskamers, uitgedrukt per eenheid asvrij-drooggewicht van MZI-mosselen. Let op de weergave van opgelost anorganisch stikstof op de rechter-as, waarvan de schaal verschilt van de linker-as.

Berekening van Clearance Rates (volume water waaruit alle deeltjes worden weggefilterd per eenheid tijd) op basis van de Chlorofyl-a gegevens laat zien dat de orde van grootte overeen komt (Figuur 18) met eerder uitgevoerde metingen op Texel in het kader van dit project (Jak et al., in prep).



Figuur 18 Clearance rate gebaseerd op gemeten gehalten chlorofyl-a uitgezet tegen gemiddelde schelpenlengte. Hier zijn alleen de mosselen > 0.5 mm meegenomen om de vergelijking met eerder voltooide metingen in de Waddenzee te kunnen maken. Links: 2012 Oosterschelde; Rechts: 2010 en 2011 Waddenzee (Jak et al., in prep), met daarbij ter vergelijking data van Cranford et al (2012).

Discussie & Conclusies

Zoals verwacht nemen de nutriëntenregeneratiesnelheden per eenheid mosselgewicht gedurende het seizoen af, wat duidt op een hoger metabolisme per eenheid van massa van de kleinste mosselen. Vanwege de snel toenemende biomassa echter nemen de regeneratiesnelheden per eenheid MZI gedurende het seizoen toe. Dit komt ook overeen met de verwachtingen. Door de nutriëntenregeneratiesnelheden die met deze studie zijn bepaald in de draagkrachtmodellen te gebruiken kan het directe bemestingseffect van MZI's worden gekwantificeerd. Daarnaast zullen de nutriëntenregeneratiesnelheden in het promotieonderzoek van Wouter van Broekhoven worden gebruikt om voor stikstof en fosfor de invloed van MZI's op de nutriëntenkringloop (de nettostromen) voor de Oosterschelde op te stellen.

6. Dankwoord

Ten eerste bedanken we de MZI-ondernemers waarmee we hebben samengewerkt en die ons van veel nuttige informatie hebben voorzien. We bedanken de studenten die deze zomer meegeholpen hebben bij de monsternamen in het veld, en Loes Steller voor het verwerken van een groot deel van de mosselmonsters in het lab.

7. Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. 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.

Referenties

- Bayne BL & Worrall CM, 1980. Growth and production of mussels *Mytilus edulis* from two populations. *Marine Ecology Progress Series* 3:317-328
- Bhattacharya, 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics* March: 115-135
- Cranford, P., Ward, J.E., Shumway, S.E., 2012. Bivalve filter feeding: variability and limits of the aquaculture biofilter. In: Shumway, S.E. (Ed.), Shellfish aquaculture and the environment.
- Frechette M & Grant J, 1991. An *in situ* estimation of the effect of wind-driven resuspension on the growth of the mussel *Mytilus edulis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 148(2): 201-213
- McGrath D, King PA & Gosling EM, 1988. Evidence for the direct settlement of *Mytilus edulis* larvae on adult mussel beds. *Marine Ecology Progress Series* 47: 103-106
- Jak Robbert, Roel Riegman, Pascalle Jacobs (in prep). Meerjarige effectmetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee en Oosterschelde Tussentijdse rapportage Deelproject 1: Effect MZI op Draagkracht 2010-2011 Taak 1.3 Nieuwe data en taak 1.4 Indicatoren
- Jansen H, 2012. Bivalve nutrient cycling – Nutrient turnover by suspended mussel communities in oligotrophic fjords. PhD thesis, juni 2012, Wageningen University.
- Newell, R. I. E. (2004). "Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: A review." *Journal of Shellfish Research* 23(1): 51-61.
- Smaal AC & Haas HA, 1997. Seston dynamics and food availability on mussel and cockle beds. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 45(2):247-259
- Troost K, Brummelhuis E & Hartog E, 2011. Productiemetingen aan mosselzaad-invang-installaties (MZI's) 2009, 2010, 2011. Technisch Rapport project Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta. *IMARES rapport*
- Walles B, et al, in preparation. Biogenic carbonate production by oysters (*Crassostrea gigas*) in the Oosterschelde (The Netherlands) and a comparison with oysters (*Crassostrea virginica*) from the Chesapeake Bay (USA).

Verantwoording

Rapport C031/13

Projectnummer: 4308301013

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

Akkoord:

Karin Troost
Onderzoeker

Bert Brinkman
Onderzoeker

Handtekening:



Datum:

22-05-2013

Akkoord:

Birgit Dauwe
Afdelingshoofd Delta

Handtekening:



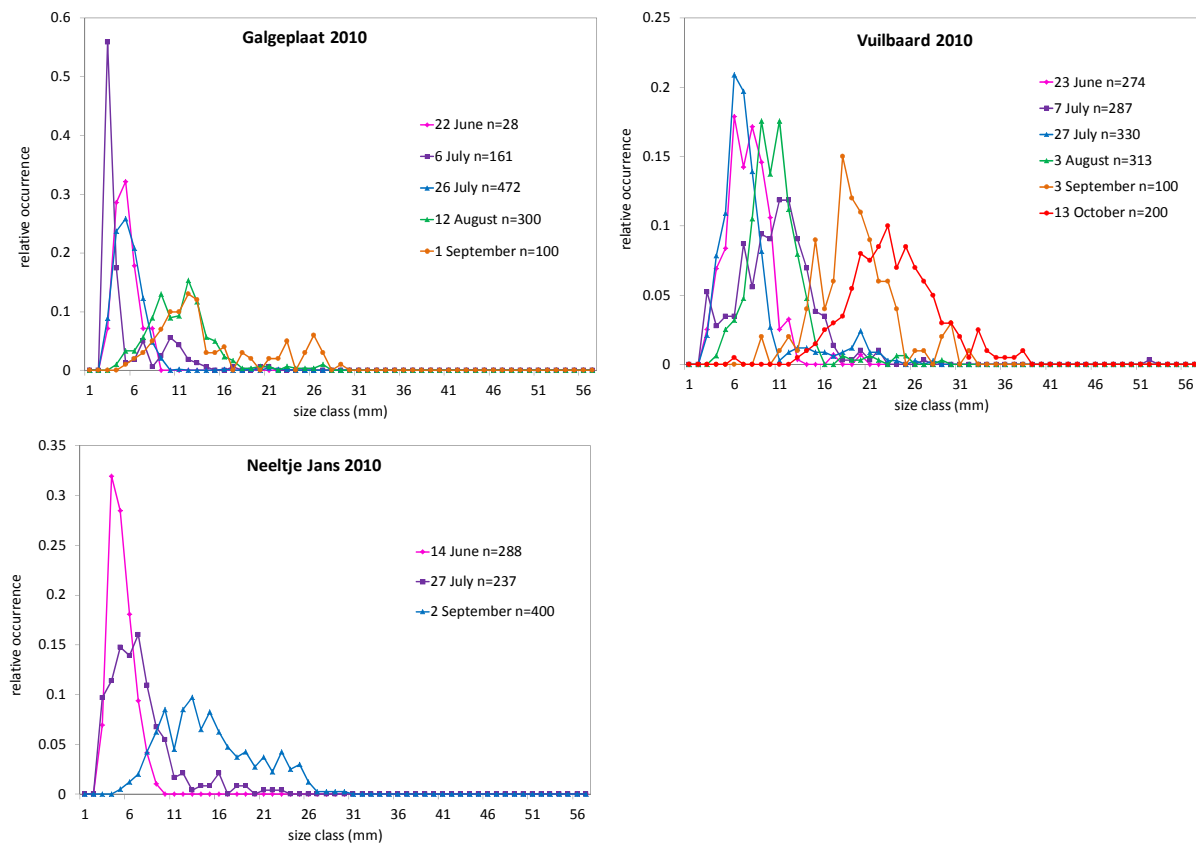
Datum:

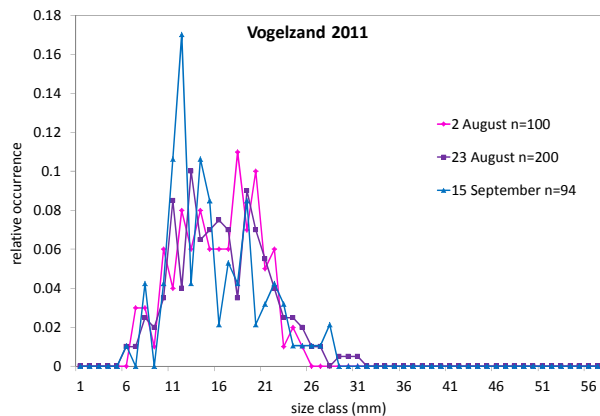
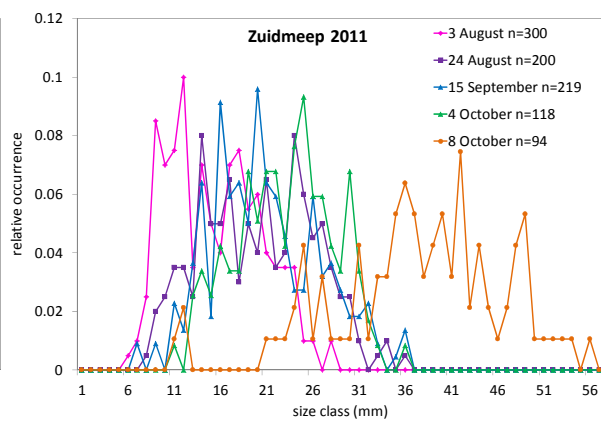
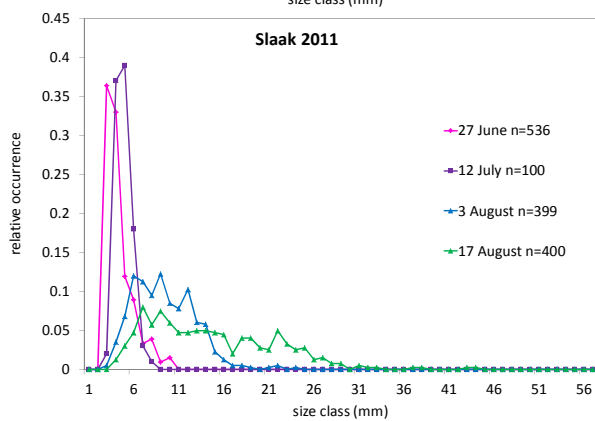
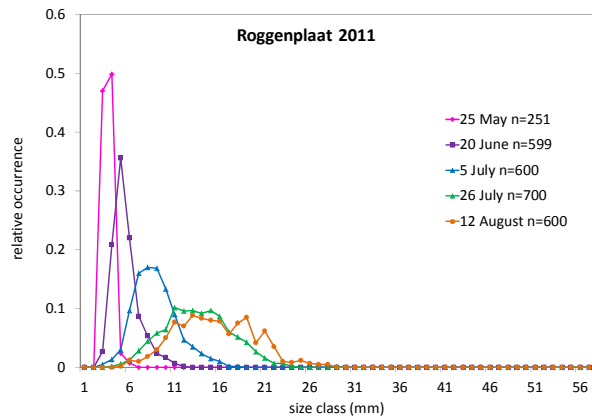
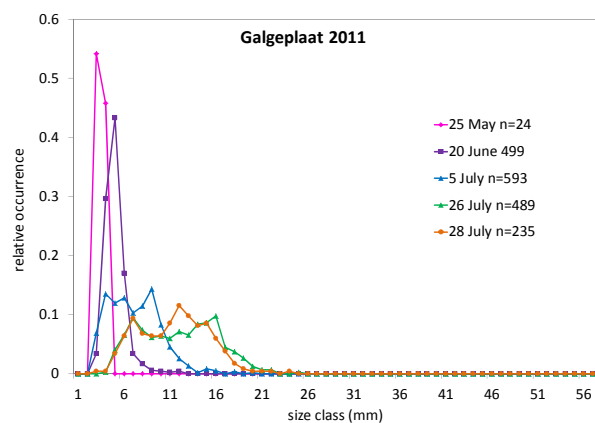
14 juni 2013

Bijlage A. Lengte-frequentiediagrammen 2010 & 2011

Hieronder worden, op basis van data gerapporteerd in Troost et al. (2011) en gegevens verzameld in het kader van het promotieonderzoek van Wouter van Broekhoven, lengte-frequentie verdelingen gepresenteerd voor mosselzaad bemonsterd op verschillende locaties in de Oosterschelde (2010) en Oosterschelde en Waddenzee (2011), gedurende het MZI-seizoen. De frequentie is uitgedrukt als relatief voorkomen, wat aangeeft dat er gecorrigeerd is voor de dichtheid van mosselen die op dat moment aanwezig zijn op de MZI's (dit verschilt per meetpunt).

Deze figuren laten zien dat er een grote variatie is in de schelpenlengte is aan het einde van het MZI-seizoen, maar dat er, bij een interval van 1 mm, geen duidelijke cohorten te onderscheiden zijn. Deze grafieken laten tevens zien dat voor het opstellen van goede lengte-frequentiediagrammen een groot aantal mosselen gemeten moet worden: zie bijvoorbeeld de verschillen tussen Roggeplaat 2011 ($n > 600$) en Zuidmeep 2011 ($n < 300$).





Bijlage B. Voedselconcentraties in de Zandkreek

Onderstaande figuur geeft de concentraties van chlorofyl a en troebelheid weer voor de locatie Zandkreek (OS 3) als functie van de diepte (x-as). Gegevens zijn gebaseerd op de monitoring (CTD) uitgevoerd door het NIOZ. De verschillende kleuren lijnen geven verschillende meetmomenten weer (maandelijks).

