

Rendement van mosselweek in de westelijke Waddenzee

J.W.M. Wijsman, T. Schellekens, M. van Stralen*,
J. Capelle en A.C. Smaal
Rapport C047/14



* Onderzoeksbureau MarinX, Elkerzee

IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgevers:

PO mosselcultuur
Postbus 116
4400 AC, Yerseke

Ministerie van Economische Zaken
Postbus 20401
2500 EX Den Haag

Publicatiedatum:

1 april 2014

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).

P.O. Box 68
1970 AB IJmuiden
Phone: +31 (0)317 48 09 00
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-V12.4

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	7
1.1 Achtergrond.....	7
1.2 Vraagstelling.....	9
1.3 Aanpak	9
1.4 Leeswijzer	9
1.5 Dankwoord	10
2 Rendement kweekpercelen.....	11
2.1 Conceptueel model	11
2.2 Resultaten model.....	15
2.2.1 Schatting oogst.....	15
2.2.2 Schatting bestands grootte	22
3 Dynamisch model perceelbestand	24
3.1 Groei en ontwikkeling.....	24
3.2 Populatie-dynamiek	26
3.3 Model simulatie	26
4 Vergelijk perceelbestanden met wilde banken	30
5 Groei en overleving op percelen en natuurlijke sublitorale banken.....	34
5.1 Inleiding.....	34
5.2 Methoden	34
5.2.1 Beschikbare data	34
5.2.2 Lengte-ontwikkeling.....	35
5.2.3 Verlies	36
5.3 Resultaten en discussie	36
5.4 Conclusie.....	41
6 Arealen met mosselen met en zonder mosselkweek	42
6.1 Areaal natuurlijke mosselbanken.....	42
6.2 Areaal op mosselpercelen	45
7 Discussie en conclusies.....	47
7.1 Ontwikkeling van het mosselbestand op de percelen in de Waddenzee.....	47
7.2 Kwaliteit, groei en overleving mosselen percelen versus wild.....	48
7.3 Factoren van invloed op het rendement van de mosselen	49

7.4	Potenties voor verhogen kweekrendement.....	49
7.5	Conclusies	50
	Kwaliteitsborging	52
	Referenties	53
	Verantwoording	55
	Bijlage A. Zaadvisselij	56
	Bijlage B. MZI oogst.....	58
	Bijlage C. Veilinggegevens	59
	Bijlage D. Groei en kwaliteit mosselen.....	62
	Bijlage E. Voedsel en temperatuur.....	66
	Bijlage F. Bestanden op percelen in de Waddenzee	69
	Bijlage G. Verlies	73
	Bijlage H. Groei en ontwikkeling van mosselen	74
	Bijlage I. Dynamic Energy Budget (DEB) model	75
	Bijlage J. Von Bertalanffy Groeifunctie	78

Samenvatting

Het verbeteren van het kweekrendement van mosselpercelen is in het belang van de sector en de natuur. Immers de opbrengst van de percelen verbetert voor de kweker omdat efficiënter met de beschikbare grondstof, het mosselzaad, kan worden omgegaan. Daarom is er binnen PRODUS onderzoek gedaan naar factoren die het kweekrendement beïnvloeden. Naast de invloed van natuurlijke factoren zoals het voedselaanbod en predatie zijn de wijze waarop de kwekers de percelen beheren en onderhouden onderwerpen van deze studie.

In het kader van het PRODUS 1A onderzoek zijn er metingen uitgevoerd op mosselpercelen om het totale bestand, de groei en overleving van de mosselen te kwantificeren. De resultaten van deze metingen zijn gebruikt om het rendement te kwantificeren en voor de ontwikkeling van diverse modellen waarmee kan worden doorgerekend wat de effecten zijn van maatregelen die het perceelrendement beïnvloeden.

Het gemiddelde bestand aan mosselen in de Waddenzee op de kweekpercelen in de periode 2004 tot en met 2012 was 36.3 Mkg (Stdev 12.2 Mkg). Het gemiddelde rendement van de mosselkweek, berekend uit de zaadvisserij en MZI oogst en de aanvoergegevens van de veiling, is 1.55 kg netto consumptiemosselen uit 1 kg bruto zaad. Dit relatief lage rendement in vergelijking tot hangcultuur systemen wordt voornamelijk bepaald door het verlies aan mosselen als gevolg predatie en wegspoeling door stormen. Een belangrijke sterftefactor van mosselkweek is het zaaiverlies dat kan leiden tot een sterfte van ongeveer 30% van de mosselen. Dit zaaiverlies wordt in de verdere kweekcyclus echter weer ruimschoots gecompenseerd doordat de overleving van mosselen op de kweekpercelen hoger is dan op de natuurlijke banken.

Door gerichte metingen op de kweekpercelen is groei en overleving in kaart gebracht. Uit het onderzoek komt naar voren dat de uitzaaidichtheid van het mosselzaad een belangrijke factor is die het rendement van mosselen bepaalt en waar de kwekers dus direct invloed op kunnen hebben. De uitzaaidichtheid blijkt bepalend te zijn voor de overleving van het mosselzaad. Zowel het zaaien in (te) lage als in hoge dichtheden leidt tot extra sterfte. Verder is de overleving van mosselen op percelen direct gekoppeld aan de ligging van de percelen en de predatie.

Een conceptueel model is ontwikkeld waarmee de totale productie van mosselen wordt berekend uit de gegevens van de zaadvisserij en schattingen van de kweekrendementen tussen de verschillende leeftijdsklassen. Hierbij is gebruik gemaakt van metingen aan groei en overleving op de percelen in de Waddenzee. Het model geeft een goede fit met de observaties, maar met het model is het niet mogelijk om jaarlijkse variatie in groei en overleving te voorspellen.

Om deze variatie wel mee te kunnen nemen is er een eerste aanzet gemaakt voor een populatie-dynamisch model van de perceelbestanden in de Waddenzee. Met dit model is het mogelijk om de dynamiek door het jaar heen en de variatie tussen de jaren te beschrijven. De prestaties van dit model in de zin van het voorspellen van de opbrengsten op de percelen zijn nog beperkt. Dit kan worden verbeterd door implementatie van betere meetgegevens van de overleving.

Een belangrijke onderzoeksvraag is in hoeverre mosselkweek positief of negatief bijdraagt aan de voedselbeschikbaarheid voor vogels. Door cultuurtechnische maatregelen streven de kwekers naar een maximaal rendement (groei en overleving). Onderdeel van de kweek is dat er ook mosselen uit de Waddenzee worden afgevoerd naar de kweekpercelen in de Oosterschelde en de veiling in Yerseke, waardoor de voedselbeschikbaarheid voor vogels in de Waddenzee afneemt. Op basis van inventarisaties van het mosselbestand op natuurlijke banken en kweekpercelen en gegevens van zaadvisserij, oogst en verplaatsing naar de Oosterschelde over de periode 2004 tot en met 2012 is berekend dat het netto resultaat (het product van groei en overleving) van mosselen op de natuurlijke banken van de

Waddenzee gemiddeld 7% van de standing stock bedraagt. Het netto resultaat van de kweekpercelen over dezelfde periode is 60%. Op basis hiervan is berekend dat de kweek van mosselen, inclusief het gebruik van MZI's gedurende de onderzoeksperiode gemiddeld heeft geleidt tot ongeveer 1.27 keer zoveel mosselen in de westelijke Waddenzee dan in een situatie zonder kweek, ondanks de oogst en afvoer van mosselen naar de Oosterschelde.

1 Inleiding

Het voorliggend rapport is de samenvattende eindrapportage van deelproject 1A: Rendement kweekpercelen van het project "PRODUS - Project onderzoek duurzame schelpdiercultuur". Andere onderwerpen die zijn onderzocht binnen het PRODUS onderzoek zijn "Deelproject 1B: Stabiliteit mosselzaadbanken" (Smaal e.a., 2014) en "Deelproject 3: Effecten op de natuur" (Smaal e.a., 2013; Van Stralen e.a., 2013b). In dit rapport worden de resultaten uit deelproject 1A, die reeds zijn gerapporteerd in onderliggende rapporten geïntegreerd met behulp van modellen.

1.1 Achtergrond

In Nederland worden mosselen gekweekt op bodempercelen in de Waddenzee en de Oosterschelde. De kweekcyclus start met het uitzaaïen van jonge mosselen, het mosselzaad, dat afkomstig is van natuurlijke mosselbanken die voornamelijk in de westelijke Waddenzee voorkomen. Sinds een aantal jaren wordt er ook mosselzaad voor de bodemcultuur ingevangen aan touwen en netten, de mosselzaad invang installaties (MZIs). In een periode van 1.5 – 4 jaar groeien de mosselen op tot consumptiemaat en worden ze geoogst. Tijdens het kweekproces worden mosselen door de kwekers veelal verplaatst tussen percelen wanneer men verwacht dat dit de opbrengst ten goede komt, bijvoorbeeld wanneer er op een bepaald moment risico is op predatie door zeesterren, of wanneer er door oogst betere percelen vrij komen. Ook worden halfwas mosselen vanuit de Waddenzee naar percelen in de Oosterschelde overgebracht om daar verder te worden opgekweekt. Het verplaatsen naar de Oosterschelde en het oogsten van mosselen uit de Waddenzee kan als mogelijk nadeel worden beschouwd voor de natuurwaarden van de Waddenzee, wanneer daardoor de voedselbeschikbaarheid voor vogels minder wordt dan er van nature zou zijn geweest. Dit is van belang omdat mosselcultuur plaats vindt in natuurgebieden die zijn aangewezen als Natura 2000 vanwege de aanwezige habitattypen als ook een aantal beschermde vogelsoorten (o.a. eider- en toppereendend) in het kader van de natuurbeschermingswet. Dit betekent dat de kweekactiviteiten alleen mogelijk zijn wanneer er geen nadelige effecten voor de natuurwaarden uit voortvloeien.

Uit eerder onderzoek (Bult e.a., 2004) is gebleken dat mosselkweek gemiddeld leidt tot een groter mosselbestand in de Waddenzee (+15%) dan zonder kweek. Deze conclusie is gebaseerd op een verkennende studie op basis van modelberekeningen van groei en overleving op wilde banken in vergelijking met kweekpercelen. De uitkomsten van deze studie konden toen niet worden gevalideerd, omdat aannames in deze studie met de informatie die toen beschikbaar was nog niet voldoende onderbouwd konden worden.

Onderhavige studie is opgezet om gegevens te verzamelen over de factoren groei en overleving die bepalend zijn voor het kweekrendement van mosselen op de kweekpercelen in de Waddenzee. Tevens zullen de gegevens worden vergeleken met de resultaten van PRODUS 3 dat gericht is op de ontwikkeling van mosselen op wilde banken. Het onderzoek is niet alleen gericht op een betere onderbouwing van de modelberekeningen van de omvang van het mosselbestand onder invloed van mosselcultuur, maar ook op de factoren die het rendement van de kweek op percelen beïnvloeden. Het rendement van de gangbare bodemmosselcultuur ligt rond 1.5 - 2, dat wil zeggen dat er per kg uitgangsmateriaal gemiddeld 1.5 - 2 kg eindproduct wordt geoogst. Om die reden is er een omvangrijke hoeveelheid uitgangsmateriaal (mosselzaad) nodig om een zekere oogst te verkrijgen.

In het kader van het mosselconvenant is afgesproken dat de visserij op bodemzaad stapsgewijs wordt vervangen door mosselzaad van invanginstallaties, zodat een deel van de wilde mosselbanken kan worden gespaard. Productie van MZI (Bijlage B) maakt het mosselzaad en daarmee de grondstof voor de mosselkweek wel aanzienlijk duurder. Dit leidt tot de vraag hoe er zo efficiënt mogelijk kan worden

gekweekt. Dit vraagstuk is niet nieuw want kwekers hebben per definitie belang bij een hoog rendement in relatie tot de inspanningen die daar voor nodig zijn, en men is dus al van oudsher bezig om dit te bewerkstelligen. De laatste decennia is het verkrijgen van voldoende mosselzaad geen vanzelfsprekendheid waardoor het verkrijgen van een goed rendement steeds belangrijker wordt. Daarbij moet in aanmerking worden genomen dat de extensieve manier van kweken slechts beperkte mogelijkheden biedt om tot een hoger rendement te komen. Uit een studie naar de bodemcultuur in Noord-Ierland blijkt dat het rendement, - APP average physical product (totale oogst / stocking biomassa) -, gemiddeld 2-3 bedraagt (Ferreira e.a., 2007). Het lage rendement in bodemkweek heeft te maken met de van nature hoge sterfte op de bodem door predatie, verslibbing en wegspoelen. In de mosselhangcultuur speelt dit een minder grote rol en is het rendement doorgaans hoger. Hangcultuur kent evenwel weer andere beperkingen zoals de beschikbaarheid van beschutte gebieden en de hogere arbeidsintensiteit.

Onder rendement van kweek wordt verstaan de hoeveelheid oogst (netto) van een bepaald perceel over een bepaalde periode ten opzichte van de bruto hoeveelheid uitgangsmateriaal die op het perceel is uitgezaaid. Omdat er bij het uitzaaien van mosselzaad of halfwassmosselen doorgaans geen tarra (de massa niet-mosselen zoals stenen, krabben, zeesterren, dode schelpen, e.t.c. in de lading) bepaling wordt gedaan, wordt er met bruto gewicht van het uitgangsmateriaal gerekend. Bij de oogst wordt er wel met netto gewicht gerekend. Het rendement wordt bepaald door groei van de individuele mosselen en de overleving. Groei is afhankelijk van het voedselaanbod op het perceel en dit wordt bepaald door de ligging, maar ook door de mosseldichtheid ter plaatse (voedselconcurrentie). De overleving is eveneens een functie van de ligging van het perceel (m.n. stroomgevoeligheid), de lokale dichtheid (dichtheidsafhankelijke sterfte) en de invloed van predatoren. Voor mosselen tot ca. 30 mm zijn strandkrabben de grootste vijand, en voor alle stadia op de percelen de zeesterren. Zeesterren kunnen meegroeien met de prooi en kunnen bij massale aanwezigheid mosselbiomassa in korte tijd (maand) decimeren. Zeesterren zijn vooral een probleem wanneer ze in hoge dichtheden voorkomen. Dit wordt door de kweker in de regel voorkomen door het verwijderen van de zeesterren. Krabben zijn echter altijd aanwezig en in de praktijk lastiger te elimineren. Predatie door krabben kan eveneens massaal optreden doch minder dan bij zeesterren omdat krabben territoriumgedrag kennen. Door Murray e.a. (2007) is voor bodemcultuur mosselen een sterfte berekend van 10% over de gehele kweekcyclus als gevolg van strandkrabben. In een studie aan litorale mosselpercelen in de Zandkreek (Oosterschelde) is voor mosselzaad een sterfte berekend van 27-45% ten gevolge van strandkrabben (Scheiberlich, 2013). Predatie door zee-eenden, met name Eidereenden, kan aanzienlijk zijn aangezien de Eidereend dagelijks zijn eigen gewicht aan mosselen kan consumeren. Predatie is lastig te bestrijden en niet toegestaan voor beschermde soorten zoals de Eidereend. De factoren in de overleving waar de kwekers invloed op uitoefenen betreffen derhalve de uitzaaidichtheid en predatie door zeesterren.

In het onderzoek is nagegaan wat de invloed is van de diverse factoren op het kweekrendement en welke middelen de kwekers in de praktijk toepassen om het rendement te verhogen. Daartoe zijn gegevens verzameld van de ontwikkeling van de mosselbiomassa en van groei en kwaliteit van mosselen op percelen en zijn deze afgezet tegen vergelijkbare gegevens van sublitorale en litorale wilde banken. De gegevens zijn geïntegreerd in een budgetmodel en in een populatie-dynamisch model. Data over de bestandsontwikkeling op (onbeviste) wilde banken zijn ontleend aan het PRODUS 3 project, waar een paarsgewijze vergelijking is gemaakt tussen een veertigtal beviste en onbeviste vakken in mosselbanken in de westelijke Waddenzee (Smaal e.a., 2013; Van Stralen e.a., 2013b).

1.2 Vraagstelling

De vraagstelling van dit onderzoek is als volgt geformuleerd:

1. Hoe ontwikkelt zich het bestand aan mosselen op de percelen?
2. Wat is de kwaliteit, groei en overleving van mosselen op percelen en in het wild?
3. Welke factoren zijn van invloed op het rendement van de mosselkweek?
4. Wat zijn de mogelijkheden om het kweekrendement te verhogen?

1.3 Aanpak

Het onderzoek ten behoeve van het deelproject 1A van PRODUS is uitgevoerd in de periode 2006-2013 en bestond uit de volgende onderdelen:

- Jaarlijkse bestandsopnamen op kweekpercelen in de Waddenzee (najaar), van 2005 tot en met 2011 (Wijsman en Jol, 2007b; Wijsman en Jol, 2007a; Wijsman en Jol, 2008; Wijsman en Jol, 2009; Wijsman e.a., 2010; De Mesel e.a., 2011; Wijsman en Jol, 2012). Het doel van deze inventarisaties is een beeld te krijgen van het bestand aan mosselen op de percelen, onderverdeeld in zaad, halfwas en consumptie-maat.
- Analyse van de bestandsopnamen van de kweekpercelen in de Oosterschelde (voorjaar 1992 tot en met 2009) (De Mesel en Wijsman, 2011).
- Vergelijking van de kwaliteit van mosselen op percelen met mosselen in het wild, zowel litoraal als sublitoraal. Hiertoe zijn er vanaf het voorjaar 2004 tot en met het najaar van 2006 ieder half jaar monsters genomen en de kwaliteit van de individuele mosselen is bepaald. Met de gegevens is een vergelijkend kwaliteitsonderzoek gedaan (Bijlage D).
- De groei van mosselen, zowel lengte als gewicht, is gevolgd gedurende twee jaar op verschillende percelen in de Waddenzee (De Mesel e.a., 2008).
- AIO studie naar de cultuurtechnische maatregelen van de kwekers en de effecten op overleving, groei en rendement (Capelle et al. in prep, Capelle en Wijsman, 2010).
- Ontwikkeling van een budget-model om de rendementen van mosselen op percelen in kaart te brengen. Daarbij wordt ingegaan op de verschillende factoren die van invloed zijn op het rendement van de mosselkweek (dit rapport).
- Ontwikkeling van een populatie-dynamisch model waarmee de kweekopbrengst per seizoen kan worden beschreven in relatie tot voedselbeschikbaarheid (dit rapport).

In dit rapport is gebruik gemaakt van de resultaten van onderliggende rapportages en aanvullende studies (bijlagen). Er zijn modellen ontwikkeld die de dynamiek van de bestanden op de percelen en de totale productie beschrijven.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een eerste inschatting gemaakt van het rendement op de kweekpercelen in de Waddenzee en worden de resultaten van een budget-model gepresenteerd dat de verwachte oogst van mosselen uit de Waddenzee beschrijft uit de gegevens van de zaadvisserij en de MZI oogst. Het model maakt gebruik van rendement schattingen over verschillende perioden van de kweekcyclus. Hoofdstuk 3 beschrijft het populatie-dynamisch model dat is ontwikkeld voor het bestand aan kweekmosselen in de Waddenzee. Invoer voor het model zijn waterkwaliteitsparameters (voedsel en watertemperatuur), zaaigegevens en oogstgegevens. Uitvoer van het model is de ontwikkeling van het totale perceelbestand door het jaar heen. In hoofdstuk 4 wordt een eerste vergelijk gemaakt van het netto effect van groei en

overleving op percelen en wilde banken in de Waddenzee. In hoofdstuk 5 wordt een deel van de resultaten van het promotieonderzoek van Jacob Capelle gepresenteerd dat is uitgevoerd in het kader van het PRODUS 1A project. De tekst is gebaseerd op twee wetenschappelijke artikelen in voorbereiding: Capelle *et al.*, in prep. "Biomass production in on-bottom mussel (*Mytilus edulis* L.) culture: which factors determine yield ?". Manuscript in progress en Capelle *et al.*, in prep. "Dynamics of natural and cultured subtidal mussel (*Mytilus edulis* L.) populations, differences and interactions in the western Wadden Sea". Manuscript in progress. Doel van dit hoofdstuk is de groei en overleving op de kweekpercelen te vergelijken met de groei en overleving op de wilde, sublitorale mossel banken. In hoofdstuk 6 wordt het effect van mosselkweek uitgedrukt in areaal mosselbanken. In hoofdstuk 7, conclusies en discussie, worden de bovenstaande vragen beantwoord en bediscussieerd. In de bijlagen worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd dat niet in onderliggende rapporten is gepubliceerd.

1.5 Dankwoord

Het Project Onderzoek Duurzame Schelpdiercultuur (PRODUS) is uitgevoerd in opdracht van de PO Mosselcultuur en het Ministerie van EZ. Het hier gerapporteerde onderdeel is door de PO mossel gefinancierd. Aan het onderzoek is bijgedragen door de bemanning van de Phoca en de Stormvogel, in het bijzonder de visserijkundig ambtenaar Nico Laros. Veldwerk en perceelbemonsteringen zijn uitgevoerd door Johan Jol, Jacob Capelle en Jeroen Wijsman (IMARES). Naast de auteurs hebben Ilse de Mesel, Josien Steenbergen en Jeroen Jansen (IMARES) bijgedragen aan het onderzoek. De gegevens die verzameld zijn voor de AIO studie van Jacob Capelle zijn verkregen door nauwe samenwerking met Jan en Joachim Schot, Albert Nieuwenhuize, Adrian, Jos en Johnny Steketee, Jos van Damme, Marinus Padmos, Cees Otte, Robbie, Peter, Leon en Sjaak Praet.

2 Rendement kweekpercelen

2.1 Conceptueel model

Het rendement van de mosselkweek is gedefinieerd als de ratio tussen de oogst aan mosselen en de hoeveelheid mosselzaad die is uitgezaaid.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Biomassa oogst}}{\text{Biomassa uitgezaaid}} \quad \text{eq. 1}$$

De meeste kwekers rekenen bij bezaaien van de percelen met bruto biomassa (inclusief de tarra). Er zijn ook kwekers die corrigeren voor het tarra percentage en rekenen met netto biomassa. De aanvoer van consumptiemosselen zoals geregistreerd bij de veiling in Yerseke is in netto hoeveelheden. In de periode 1992 tot en met 2012 is er bruto ruim 825 miljoen kg mosselzaad opgevist (inclusief ongeveer 50 milj kg MZI mosselen) in de Oosterschelde en Waddenzee. In dezelfde periode was de totale netto oogst uit deze gebieden 1279 miljoen kg. Op basis van deze gegevens kan het gemiddelde rendement van de mosselkweek over de periode 1992 tot en met 2012 worden geschat op 1.55:1 (1.55 kg netto consumptiemossel uit 1 kg bruto zaad). Eventuele zaadval op de percelen is hierbij niet meegenomen. Voor zaad wordt doorgaans een tarrapercentage van 40% gebruikt en voor MZI mosselen is het tarrapercentage ongeveer 10%. Voor halfwas mosselen uit de zaadvisserij is een tarra percentage van 25% gebruikt. Het gemiddelde tarrapercentage van de mosselen aan de veiling in de onderzochte periode was 17.5%. Met correctie voor de genoemde tarrapercentages kan het netto rendement worden geschat op 2.51:1 (2.51 kg netto consumptiemossel uit 1 kg netto zaad).

Het rendement kan ook worden berekend uit het product van de toename in gewicht van de individuele mosselen en het verlies aan mosselen tijdens de kweekcyclus.

$$\text{Rendement} = \text{Biomassa uitgezaaid} * \text{Groefactor} * \text{Overleving} \quad \text{eq. 2}$$

Waarbij Groefactor de gemiddelde relatieve toename is van een zaadmossel tot consumptiemossel.

$$\text{Groefactor} = \frac{\bar{W}_{\text{zaad}}}{\bar{W}_{\text{veiling}}} \quad \text{eq. 3}$$

Waarbij $\bar{W}_{\text{zaad}}$ het gemiddeld gewicht van mosselzaad (g) is en $\bar{W}_{\text{veiling}}$ het gemiddeld gewicht van de mosselen aan de veiling (g). Overleving is de fractie van het aantal individuele zaadmosselen dat uiteindelijk op de veiling terecht komt. De factoren groei en overleving worden beïnvloed door omgevingscondities en kweekmaatregelen. De groei wordt bepaald door de voedselbeschikbaarheid en de watertemperatuur.

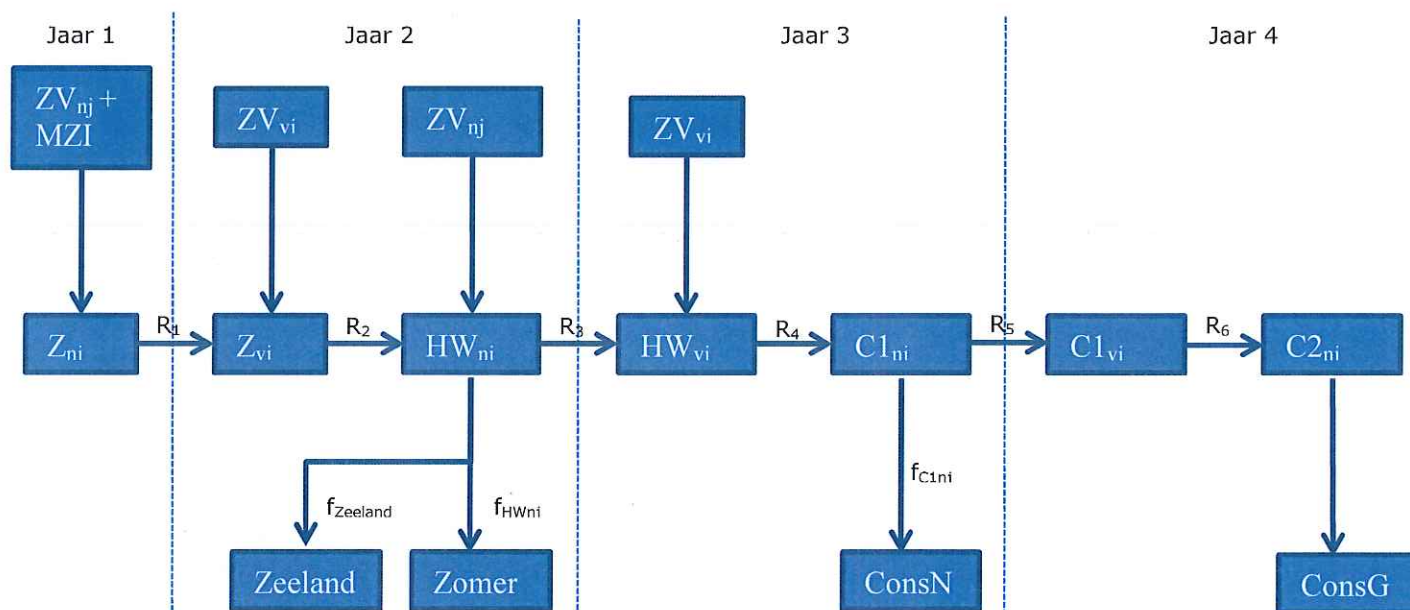
Wanneer wordt aangenomen dat de kans op verlies van een individuele mossel gedurende de kweekcyclus constant is, kan overleving (-) van de mosselen worden beschreven als een functie van de gemiddelde afname coëfficiënt (m , dag⁻¹) en de kweekduur (T , dagen):

$$\text{Overleving} = e^{-mT} \quad \text{eq. 4}$$

Door gerichte kweekactiviteiten proberen mosselkwekers het rendement te verhogen door groei en/of overleving te maximaliseren.

Gebaseerd op het VKA model (Vissen & MZI, Kweek en Afvoer) is een budget model gemaakt (Figuur 1) om het rendement van de mosselen op de percelen te berekenen. Het VKA-model is ontwikkeld ten

behoefte van de jaarlijks voor de visserij aan te vragen NB-wet vergunning (Van Stralen, 2013). Een overzicht van de toestandsvariabelen en de parameters in dit model is weergegeven in Tabel 1.



Figuur 1: Schematisch overzicht van het budget model voor het rendement van een jaarklasse mosselen op de kweekpercelen in de Waddenzee. Voor verklaring van de parameters zie Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de toestandsvariabelen en parameters in het budgetmodel (Figuur 1) voor het rendement van mosselen op de kweekpercelen in de Waddenzee.

	Beschrijving	Eenheid
ZV _{nj} +MZI	Zaadvisserij en MZI-oogst najaar Waddenzee	10 ⁶ kg bruto
ZV _{vi}	Zaadvisserij voorjaar Waddenzee	10 ⁶ kg bruto
MZI	MZI oogst Waddenzee	10 ⁶ kg bruto
Zeeland	Afvoer naar Zeeland	10 ⁶ kg netto
Zomer	Oogst van zommosselen	10 ⁶ kg netto
ConsN	Oogst van eerstejaars consumptie	10 ⁶ kg netto
ConsG	Oogst van tweedejaars consumptie	10 ⁶ kg netto
Z _{nj}	Zaad najaar	10 ⁶ kg netto
Z _{vi}	Zaad voorjaar	10 ⁶ kg netto
HW _{nj}	Halfwas najaar	10 ⁶ kg netto
HW _{vi}	Halfwas voorjaar	10 ⁶ kg netto
C1 _{nj}	Eerstejaars consumptie najaar	10 ⁶ kg netto
C1 _{vi}	Eerstejaars consumptie voorjaar	10 ⁶ kg netto
C2 _{nj}	Eerstejaars consumptie najaar	10 ⁶ kg netto
R ₁	Rendement zaad najaar – zaad voorjaar	-
R ₂	Rendement zaad voorjaar – halfwas najaar	-
R ₃	Rendement halfwas najaar –halfwas voorjaar	-
R ₄	Rendement halfwas voorjaar – C1 najaar	-
R ₅	Rendement C1 najaar C1 voorjaar	-
R ₆	Rendement C1 voorjaar – C2 najaar	-
f _{HWnj}	Fractie van HW _{nj} dat wordt geoogst als zommossel	-
f _{C1nj}	Fractie van C1 _{nj} dat wordt geoogst als ConsN	-
f _{Zeeland}	Fractie van HW _{nj} dat naar Zeeland wordt gebracht	-

De ontwikkeling van een cohort consumptiemosselen begint in jaar 1 (het jaar van de zaadval) met de najaarszaadvisserij (ZV_{nj}) in de Waddenzee en de oogst van de MZI's (MZI) (Bijlage B). Deze mosselen worden op de kweekpercelen in de Waddenzee gebracht en komen daarmee als mosselzaad (Z_{nj}) in het model terecht. Na de winter worden deze mosselen voorjaarszaad (Z_{vj}). In deze periode zal een deel van deze mosselen verdwijnen (sterfte/wegspoelen) en zullen de mosselen ook nog wat in gewicht toenemen. Het netto effect van dit verlies en de groei is het rendement van najaarszaad in het najaar naar voorjaarszaad ($R_1, -$).

In het voorjaar is er voorjaarsvisserij (ZV_{vj}) waarbij het mosselzaad dat in het najaar niet is opgevisst kan worden bevestigd en de vangst wordt uitgezaaid als mosselzaad op de percelen. Na de zaadvisserij in het voorjaar groeien mosselen uit tot halfwasmosselen (HW_{nj}). R_2 is het rendement van het voorjaarszaad naar najaarshalfwas. De snelle groeiers van dit cohort (fractie $f_{HW_{nj}}$) kunnen soms al worden geoogst als zomermosselen (Zomer). Ook zal een deel van deze halfwasmosselen (fractie $f_{Zeeland}$) naar de percelen in de Oosterschelde worden verplaatst (Zeeland). In de najaarszaadvisserij (ZV_{nj}) en het daarop volgende voorjaar wordt niet alleen zaad opgevisst, maar wordt ook een deel halfwasmosselen uit het vorige jaar opgevisst. Deze laatste groep komen op de percelen ten goede aan respectievelijk het bestand najaars- en voorjaarshalfwas.

Het bestand najaarshalfwas wordt in het volgende jaar (jaar 3) voorjaarshalfwas (HW_{vj}) met een rendement R_3 . Dit bestand wordt aangevuld met de halfwasmosselen die bij de zaadvisserij in het voorjaar worden opgevisst. Na visserij ontwikkelen deze mosselen zich tot eerstejaars consumptiemosselen in het najaar ($C1_{nj}$) met een rendementsfactor R_4 . Een deel van deze mosselen (fractie $f_{C1_{nj}}$) wordt geoogst als nieuwe consumptiemosselen (ConsN). Wat overblijft ($1-f_{C1_{nj}}$) wordt na de winter in het volgende jaar (jaar 4) $C1_{vj}$ met een rendementsfactor R_5 en vervolgens grote consumptiemosselen in het najaar ($C2_{nj}$) met een rendementsfactor R_6 . Er is aangenomen dat deze mosselen allemaal worden geoogst als grote consumptiemosselen (ConsG) en dat de mosselen op de percelen dus nooit ouder worden dan 3 jaar na de zaadval.

De totale oogst in een bepaald jaar ($Oogst_i$) bestaat dus uit Zomer(mosselen van ruim een jaar oud), ConsN (ruim 2 jaar oud) en ConsG mosselen van ruim 3 jaar oud en kan worden berekend middels:

$$Oogst_i = Zomer_{i-1} + ConsN_{i-2} + ConsG_{i-3} \quad \text{eq. 5}$$

Waarbij $Zomer_{i-1}$ de oogst aan zomermosselen van de jaarklasse $i-1$, $ConsN_{i-2}$ is de oogst van eerstejaars consumptiemosselen van jaarklasse $i-2$ en $ConsG_{i-3}$ is de oogst van tweedejaars consumptiemosselen uit jaarklasse $i-3$.

Het model is gevoed met gegevens over zaadvisserij waarbij er een opsplitsing is gemaakt in zaad en halfwas (Figuur 24) en de MZI oogst uit de Waddenzee (Figuur 25). In het model is er op basis van ervaring een tarrapercentage aangenomen voor de voorjaarsvisserij van 25% en voor de najaarsvisserij van 40% (Van Stralen, 2013). Voor het MZI zaad is een tarrapercentage van 10% aangenomen.

De parameters in het model zijn gefit met de gerealiseerde oogst waarbij het de som van de gekwadeerde residuele verschillen (SSE) is geminimaliseerd. $MSE = SSE/n$, hetgeen staat voor het gemiddelde gekwadeerde verschil tussen model en observaties.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Model_i - Obs_i)^2 \quad \text{eq. 6}$$

Waarbij $Model_i$ is de gemodelleerde oogst in jaar i (miljoen kg) en Obs_i is de geobserveerde oogst aan de veiling in jaar i (miljoen kg). De optimalisatie is uitgevoerd in Excel.

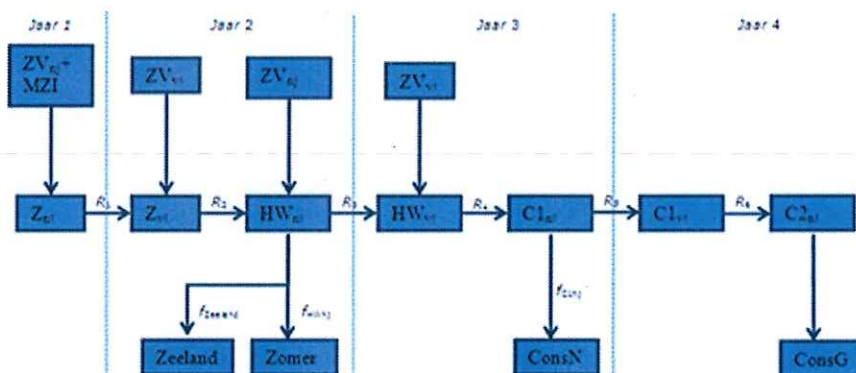
2.2 Resultaten model

2.2.1 Schatting oogst

Er zijn drie verschillende optimalisatie runs uitgevoerd met het model. In Run 1 zijn alle parameters vrijgelaten. De enige randvoorwaarde die is gehanteerd is dat deze niet negatief kunnen zijn. Als initiële waarden zijn alle rendementen op 1 gezet en de fracties (f_{HWnj} , f_{C1nj} en $f_{Zeeland}$) zijn op 0.5 gesteld.

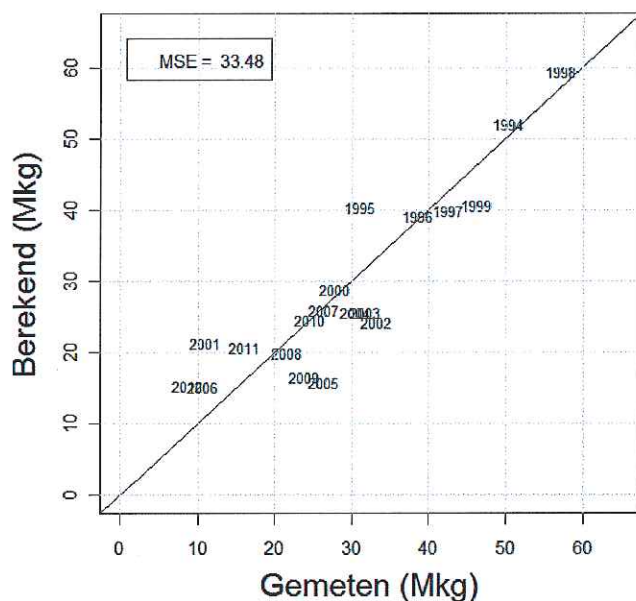
Tabel 2: Resultaten Run 1. Weergegeven zijn de initiële waarden en de gefitte waarden bij de optimalisatie van het model. Een kopie van Figuur 1 is nogmaals toegevoegd als toelichting.

Parameter	Initieel	Optimaal
R_1	1	7.200
R_2	1	1.322
f_{HWnj}	0.5	0.087
f_{C1nj}	0.5	0.718
$f_{Zeeland}$	0.5	0.744
R_3	1	0.413
R_4	1	1.773
R_5	1	1.016
R_6	1	1.016



Het gemiddelde residuele verschil ($MSE = SSE/n$) voor dit model is 33.48 kg².

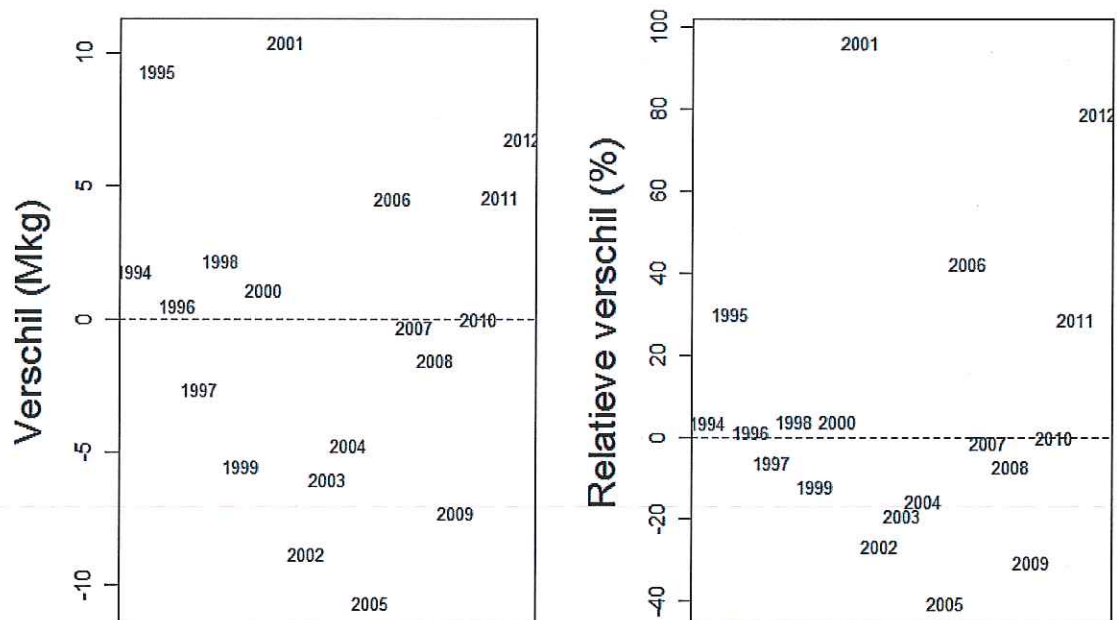
Opvallend in dit model is dat het rendement van zaad najaar naar zaad voorjaar (R_1) meer dan 5 is. Dit is een zeer grote waarde, die in de berekeningen gecompenseerd wordt door lagere rendementen gedurende de rest van de cyclus. De relatief hoge waarde voor R_1 lijkt een artefact van de gebruikte aanpak, gezien de empirische waarden zoals bepaald door o.a. Capelle e.a. (in prep). Het model is in dit model gekalibreerd op de totale oogst (Zomer + ConsN + ConsG). De hoeveelheid halfwas is een functie van het product van de parameters R_1 en R_2 . Een overschatting van R_1 kan worden gecompenseerd door een lagere waarde voor R_2 . De wortel van MSE (5.79 miljoen kg) is een maat voor het gemiddelde absolute verschil tussen modelvoorspelling en meting. Het is van belang te realiseren dat dit geen zuivere maat is voor het voorspellend vermogen van het model omdat alle data zijn gebruikt voor de parameterschatting. De beoordeling van de voorspellende waarde van het model, zeker als het gaat om extrapolaties (dus buiten het bereik van de gemeten aanvoerwaarden) dient te worden gedaan door validatie van het model met een onafhankelijke dataset.



Figuur 2: Relatie tussen de met run 1 van het model berekende oogst van mosselen uit de Waddenzee (Y-as) en de geregistreeerde oogst aan de veiling (X-as) voor de verschillende jaren. Het gemiddelde gekwadrateerde residuele verschil (MSE) van dit model is 33.48 milj kg^2 . De lijn geeft aan waar de berekende waarde van het model identiek is aan de gemeten waarde.

In Figuur 2 is de relatie tussen de berekende en gemeten oogst uit de Waddenzee voor de verschillende jaren is weergegeven. Over het algemeen komen gemeten en berekende waarden per jaar goed overeen. Gemiddeld is het absolute verschil tussen het model en de gemeten waarde 5.69 miljoen kg. Vooral in de jaren met veel aanvoer (1994, 1996-1999) lijkt het model de oogst goed te voorspellen. In de jaren 1995, 2001, 2006, 2011 en 2012 is er een overschatting door het model. In de jaren 2000, 2002, 2003, 2005 en 2009 is er een onderschatting door het model.

De absolute verschillen tussen het model en de waarnemingen zijn weergegeven in Figuur 3 en bedraagt maximaal 10 miljoen kg. In de jaren 1995 en 2001 is er een overschatting door het model met ongeveer 10 miljoen kg en in 2002 en 2005 is er een onderschatting door het model met ongeveer 10 miljoen kg. In de jaren met weinig mosselen aan de veiling (2001 en 2012) kan de relatieve overschatting door het model oplopen tot meer dan 80%.

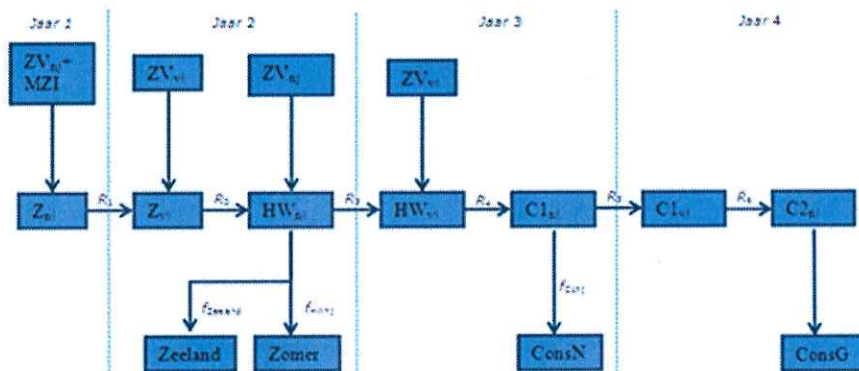


Figuur 3: Verschil (Model-Data, links) en relatieve verschil $((\text{Model-Data})/\text{Data} * 100\%)$, rechts) tussen de modelberekeningen en de geregistreerde oogst aan de veiling voor de verschillende jaren (Run 1)

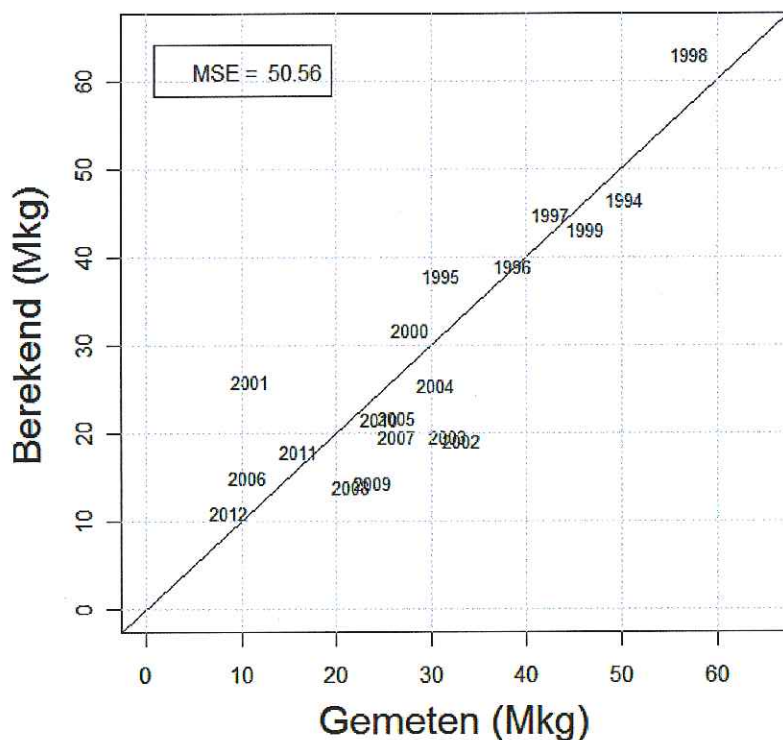
In de tweede optimalisatie (Run 2) is er voor $R_{1\pm}$ en R_2 gebruik gemaakt van de gemeten rendementen op de percelen (Capelle e.a., in prep). Dit onderzoek is gebaseerd op de jaren 2009 tot en met 2012. In deze optimalisatie zijn alleen de geoogste en halfwasmosselen naar Zeeland verplaatste fracties (f_{HWNj} , f_{C1nj} en f_{Zeeland}) geoptimaliseerd (Tabel 3). Met het meenemen van de veldwaarden in deze modelrun zijn de uitkomsten realistischer, ook al betreffen de veldwaarden waarnemingen op een beperkt aantal percelen welke niet aselekt zijn gekozen voor het onderzoek.

Tabel 3: Resultaten Run 2. Weergegeven zijn de initiële waarden en de resultaten van de optimalisatie. In deze run zijn de rendementen vast gehouden. De fracties zijn geoptimaliseerd. Een kopie van Figuur 1 is nogmaals toegevoegd als toelichting.

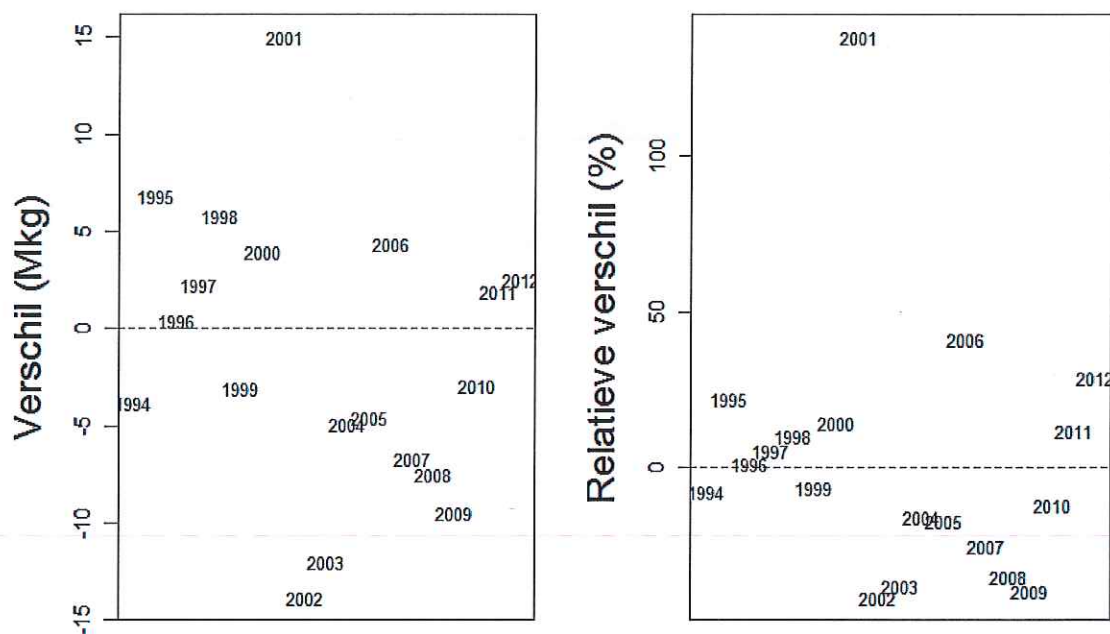
Parameter	Initieel	Optimaal
R_1	1.350	1.350
R_2	1.590	1.590
f_{HWnj}	0.5	0.240
f_{C1nj}	0.5	0.687
$f_{Zeeland}$	0.5	0.379
R_3	1.050	1.050
R_4	1.050	1.050
R_5	0.840	0.840
R_6	0.900	0.900



Het gemiddelde gekwadrateerde residuele verschil tussen model en observaties (MSE) is 50.56 milj kg².



Figuur 4: Relatie tussen berekende oogst van mosselen uit de Waddenzee (Y-as) en de geregistreerde oogst aan de veiling (X-as) voor de verschillende jaren. Het gemiddelde gekwadrateerde residuele verschil (MSE) van dit model is 50.56. De lijn geeft aan waar de berekende waarde van het model identiek is aan de gemeten waarde. (Run 2)



Figuur 5: *Verschil (Model-Data, links) en relatieve verschil $((Model-Data)/Data * 100\%$, rechts) tussen de modelberekeningen en de geregistreerde oogst aan de veiling voor de verschillende jaren (Run 2)*

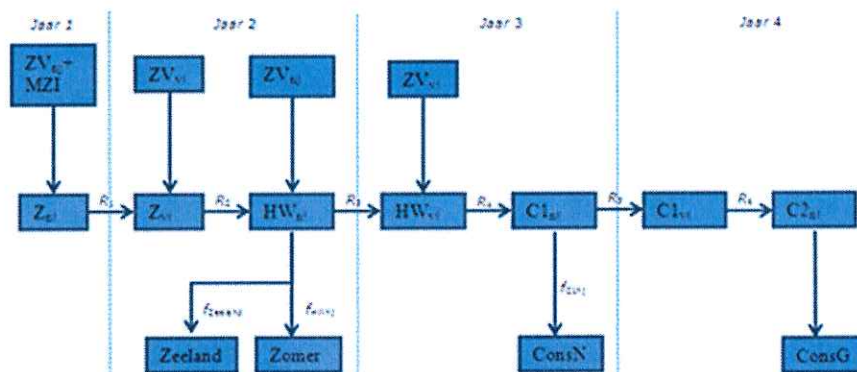
Uit de figuren blijkt dat het model in Run 2, met meer realistische parameterwaarden een minder goede fit geeft dan in Run 1. Dit was op voorhand ook te verwachten omdat minder variabelen konden worden geoptimaliseerd. Gemiddeld is het absolute verschil tussen het model en de metingen van 5.69 in Run 1 toegenomen naar 7.11 miljoen kg. In 2002 en 2003 is er een onderschatting door het model van meer dan 10 miljoen kg en in 2001 is er een overschatting door het model met ongeveer 15 miljoen kg. Doordat er slechts weinig mosselen uit de Waddenzee worden aangeleverd in dit laatste jaar is de relatieve overschatting meer dan 140%.

Het model in Run 2 geeft daarbij een betere fit dan Run 1 voor de jaren 1995, 2011 en 2012, maar doet het slechter voor de jaren 2001, 2002 en 2003 (Figuur 2 en Figuur 4). Het voordeel van de parameterschattingen van Run 2 ten opzichte van Run 1 is dat een deel van de parameterschattingen zijn gebaseerd op observaties in het veld. Hierdoor zal het voorspellend vermogen van de parameters uit Run 2 naar verwachting groter zijn dan de parameters uit Run 1.

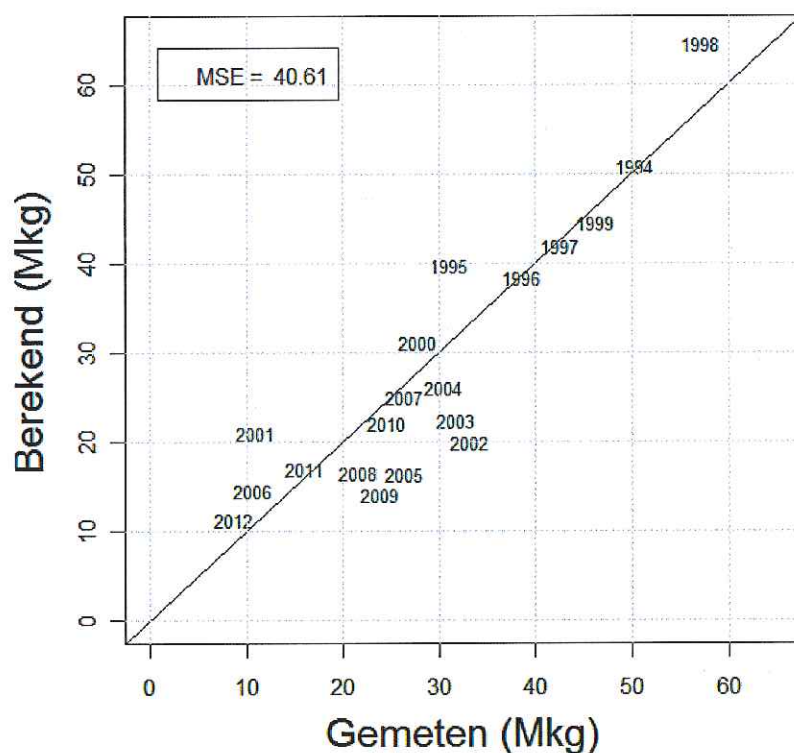
Zoals al gememoreerd zijn de metingen van het onderzoek van Capelle e.a. (in prep) uitgevoerd op een selecte keuze van de op dat moment bezaaide percelen in de Waddenzee. Ingeschat wordt dat het daarbij de betere percelen betreft en de waarden van de rendementen dus een overschatting geven wanneer deze worden gebruikt voor het gehele bestand aan percelen. Daarom is een derde run uitgevoerd waarbij de verhouding in rendementen R_1 t/m R_6 is vastgezet, conform de verhouding in de metingen van Capelle e.a. (in prep), maar waarbij de absolute waarden een voor alle rendementen een constante factor hoger of lager kan liggen dan in de metingen.

Tabel 4: Resultaten Run 3. Weergegeven zijn de initiële waarden en de resultaten van de optimalisatie. In deze run zijn de verhoudingen tussen de rendementen vast gehouden. Een kopie van Figuur 1 is nogmaals toegevoegd als toelichting.

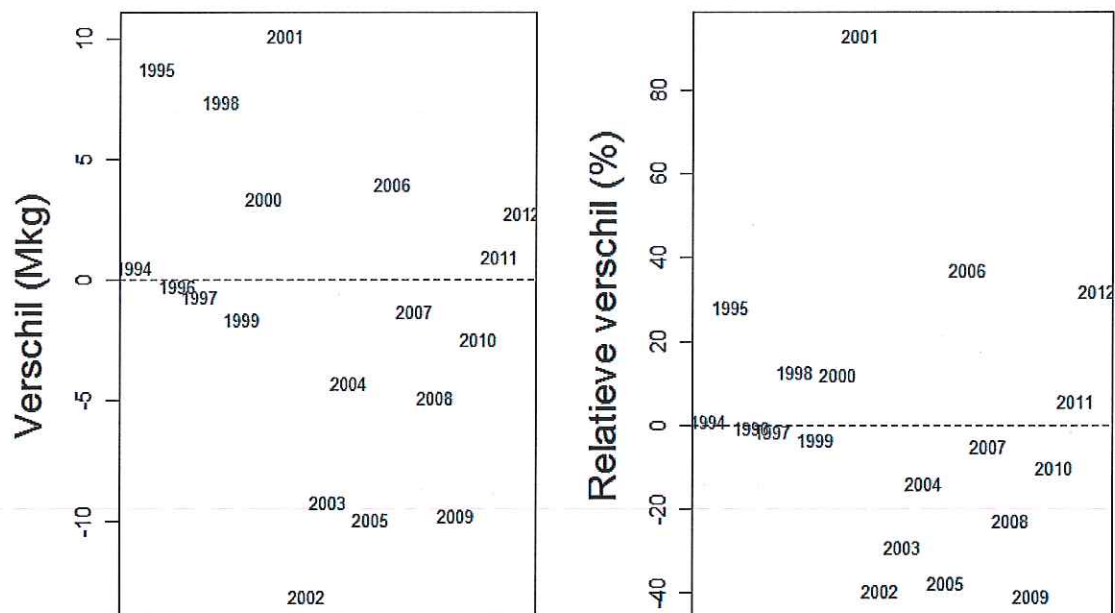
<i>Parameter</i>	<i>Initieel</i>	<i>Optimaal</i>
R_1	0.849	2.060
R_2	1.000	2.426
f_{HWnj}	0.500	0.127
f_{C1nj}	0.500	0.824
$f_{Zeeland}$	0.500	0.818
R_3	0.660	1.602
R_4	0.660	1.602
R_5	0.528	1.282
R_6	0.566	1.373



Het gemiddelde gekwadrateerde residuele verschil tussen model en observaties (MSE) is 40.61 milj kg².



Figuur 6: Relatie tussen berekende oogst van mosselen uit de Waddenzee (Y-as) en de geregistreerde oogst aan de veiling (X-as) voor de verschillende jaren. Het gemiddelde gekwadrateerde residuele verschil (MSE) van dit model is 40.61. De lijn geeft aan waar de berekende waarde van het model identiek is aan de gemeten waarde. (Run 3)



Figuur 7: *Verschil (Model-Data, links) en relatieve verschil $((\text{Model-Data})/\text{Data} * 100\%$, rechts) tussen de modelberekeningen en de geregistreerde oogst aan de veiling voor de verschillende jaren (Run 3)*

De resultaten van Run 3 geven een redelijk goede fit met de observaties. Gemiddeld is het absolute verschil tussen het model en meting 6.37 miljoen kg ten opzichte van 5.69 miljoen kg in Run 1 en 7.11 miljoen kg in Run 2. Het model doet het vooral goed in de jaren met veel aanvoer (1994, 1996, 1997 en 1999). Er is een overschatting in de jaren 1995, 1998 en 2001 van meer dan 7 miljoen kg. In de jaren 2002, 2003, 2005 en 2009 is er een onderschatting van 10 miljoen kg. De relatieve overschatting is het grootst (93%) in 2001.

Ten opzichte van Run 1 is er een verbetering in Run 3 voor de jaren 1997, 1999, 2011 en 2012. Daarentegen is er een aanzienlijke verslechtering in de jaren 1998, 2000, 2002 en 2003.

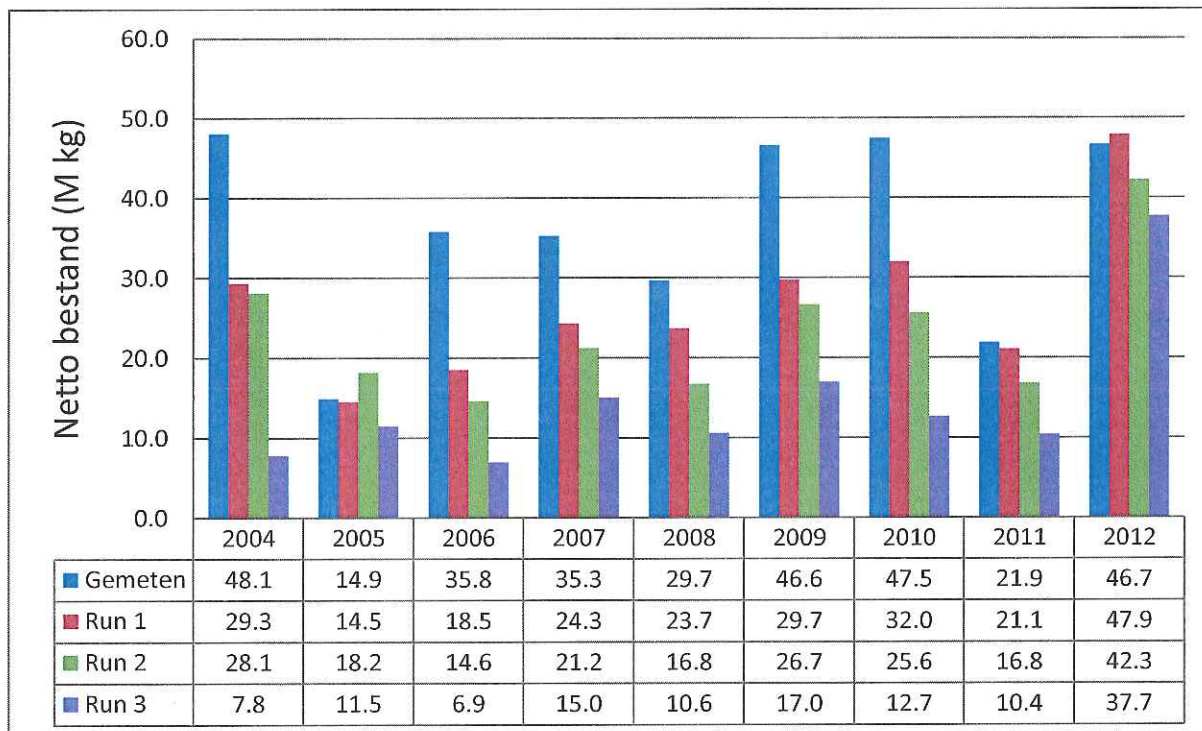
Het voordeel van de parameterschattingen van Run 3 ten opzichte van de schattingen in Run 1 is dat de verhoudingen zijn gebaseerd op observaties in het veld en dat de individuele waarden dus realistischer zijn. Hierdoor zal het voorspellend vermogen van de parameters uit Run 3 naar verwachting groter zijn dan de parameters uit Run 1. Ook dit zou met toekomstige metingen kunnen worden gevalideerd.

2.2.2 Schatting bestandsgrootte

De resultaten van het model kunnen worden gebruikt om het totale mosselbestand op het moment van de perceel inventarisatie in het najaar in te schatten door middel van de volgende berekening:

$$Bestand_i = Znj_i + Zvj_i - Zeeland_i - Zomer_i + C1nj_i - ConsN_i + C2nj_i - ConsG_i$$

Waarbij $Bestand_i$ is het netto bestand op de percelen in de Waddenzee in het jaar i (Figuur 8).



Figuur 8: Gemeten (blauw, 10^6 kg) netto mosselbestand op de percelen in de Waddenzee tijdens de perceel inventarisatie in het najaar. De overige balken geven de berekende bestanden van het budget model voor de drie model runs.

In vrijwel alle gevallen (met uitzondering van 2012 bij model Run 1 en 2005 bij model Run 2) wordt het perceelbestand onderschat door het budget model. De gemiddelde onderschatting van model Run 1 is 23.5 %. Run 2 onderschat het perceelbestand met 31.5 % en Run 3 met gemiddeld 57.5%. De onderschatting is het grootst in de jaren 2004, 2006, 2007, 2009 en 2010. Uit de figuur is duidelijk dat ook model Run 1 het netto bestand op de percelen het best voorspelt. Het is te overwegen om in een vervolgtraject de gegevens van de perceelbemonsteringen te betrekken in de calibratie procedure.

In het model zijn de rendementen van jaar tot jaar hetzelfde gehouden. In werkelijkheid variëren de rendementen van jaar tot jaar als gevolg van variërende omgevingscondities (voedsel, predatoren, stormen) en de activiteiten van de kwekers. Uit de resultaten blijkt dat zowel Run 2 als Run 3 het mosselbestand beter berekenen dan Run 1 voor de jaren 2011 en 2012. Dit zijn juist de jaren waarin de rendement schattingen in het veld zijn bepaald middels de gerichte metingen op de percelen (Capelle e.a., in prep). Dit is een indicatie dat de rendementen inderdaad van jaar tot jaar variëren en dat de metingen over meerdere jaren zouden dienen te worden uitgevoerd om een beter beeld te krijgen van de gemiddelde rendementen van de verschillende leeftijdsklassen.

In het model is er geen directe koppeling gelegd tussen de variërende omgevingscondities en de opgetreden rendementen. Daarvoor is een ander type model; een model waarin groei en sterfte wordt beschreven als functie van de omgevingscondities en rendementen dus dynamisch worden gemodelleerd. Een eerste aanzet voor zo'n model is ontwikkeld in het volgende hoofdstuk.

3 Dynamisch model perceelbestand

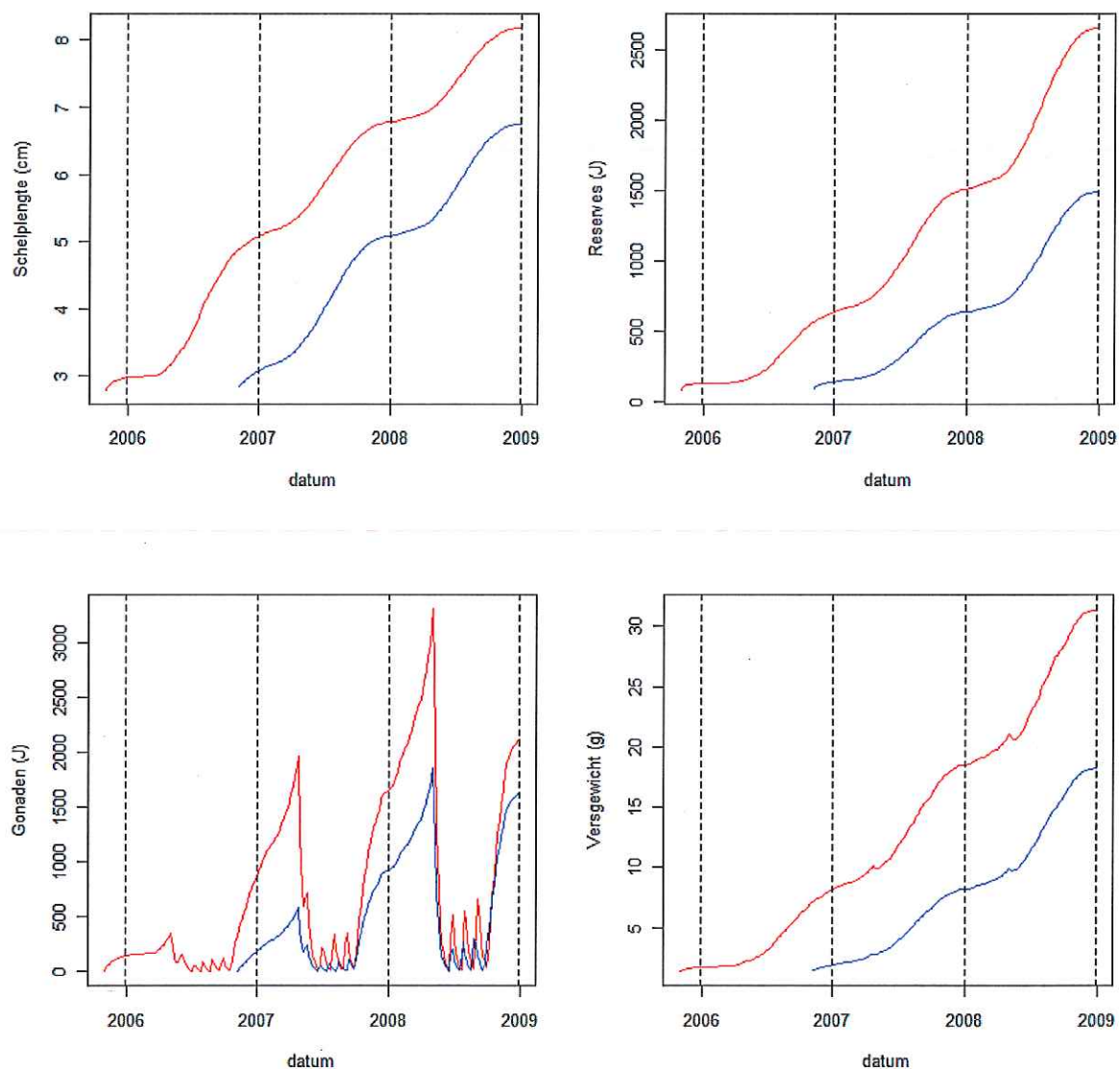
Het hiervoor beschreven budget model is een statisch model. Met het model is het mogelijk om de oogst te schatten in een bepaald jaar, afhankelijk van de opbrengst van de mosselzaadvisserij en MZI oogst in de voorgaande jaren. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van vaste rendementen tussen de verschillende stadia. In werkelijkheid kunnen de rendementen van jaar tot jaar verschillen als gevolg van omgevingscondities en keuzes van de kwekers. Zo kan de groei van jaar tot jaar variëren en is ook het verlies als gevolg van stormen en predatie niet ieder jaar hetzelfde en zullen in jaren met weinig grondstof vooral de betere percelen zijn benut.

Er is in het kader van het PRODUS onderzoek ook een dynamisch model voor het perceelbestand ontwikkeld dat het bestand aan mosselen op de percelen in de Waddenzee over de tijd beschrijft als een functie van omgevingscondities (voedsel en temperatuur) en de activiteiten van de mosselkwekers (visserij, oogst). Het model bestaat uit (A) een module waarin de groei en ontwikkeling van een cohort mosselen wordt beschreven en (B) een populatie-dynamische module waarin het verlies van de mosselen wordt gekwantificeerd.

3.1 Groei en ontwikkeling

In het dynamisch model zijn twee opties ingebouwd om de groei te beschrijven. Een Von Bertalanffy model met correctie voor seizoen-effecten (Somers, 1988) (Bijlage J) en een Dynamic Energy Budget (DEB) model (Kooijman, 2010) (Bijlage I). Het Von Bertalanffy model (VBGF) beschrijft de schelp lengte als functie van de leeftijd van de mosselen. In het model wordt deze lengteontwikkeling niet beïnvloed door omgevingsvariabelen (temperatuur en voedsel). Seizoen-variatie wordt opgelegd in de vorm van een sinusfunctie die voor ieder jaar hetzelfde is. Het DEB model wordt wel gestuurd door temperatuur en voedsel. Deze stuurvariabelen kunnen van jaar tot jaar maar ook tussen de verschillende locaties verschillen (Bijlage E). Met dit model komen de jaarlijkse verschillen in groeicondities (temperatuur en voedselbeschikbaarheid) tot uiting in de kwaliteit van de mosselen. Het DEB model beschrijft niet alleen de ontwikkeling in lengte, maar ook in gewicht en vleespercentage. Ook de opbouw van gonaden en paaien wordt gesimuleerd.

In Figuur 9 is de ontwikkeling van twee cohorten mosselen weergegeven. In rood het mosselzaad uit de zaadvisserij van november 2005 en in het blauw het mosselzaad uit de zaadvisserij van november 2006, waarbij dus is uitgegaan van de specifieke omgevingsomstandigheden in betreffende jaren. Er is een duidelijk seizoenpatroon te zien, waarbij de mosselen groeien in het voorjaar en de zomer, en vrijwel niet groeien tijdens de winter. Tijdens de groeiperiode in de zomer is ook te zien dat de reserves worden opgebouwd. Gonaden worden ook opgebouwd tijdens de winterperiode. Vlak voor de zomer van het tweede jaar en ook in het derde jaar vindt er paaiing plaats. De som van structurele biomassa, reserves, gonaden en schelp maakt het versgewicht van de mosselen. Drie jaar na de visserij zijn de mosselen ongeveer 8 cm en hebben een versgewicht van ongeveer 30 gram. In werkelijkheid zullen deze mosselen inmiddels zijn opgevisst door de kwekers.



Figuur 9: Gemodelleerde gemiddelde schelpenlengte (cm), reserves (J), Gonaden (J) en versgewicht (g) van het mosselzaad uit de zaadvisserij van november 2005 (rood) en november 2006 (blauw). Het zaagtand patroon bij de gonaden is het gevolg van spawnen tijdens de zomer.

Het is van belang te realiseren dat het DEB model de ontwikkeling van een individuele mossel beschrijft. In dit geval de gemiddelde mossel uit het cohort. In werkelijkheid is er aanzienlijke spreiding van de mosselen in het cohort. Er zullen snellere en langzamere groeiers zijn.

Voor het dynamisch perceelmodel is de totale mosselpopulatie op de percelen opgedeeld in cohorten. Een cohort is een partij mosselen met dezelfde oorsprong die wordt gekenmerkt door een bepaald aantal karakteristieken op het moment dat het in de populatie terecht komt: Schelpenlengte, leeftijd, biomassa. Een voorbeeld van een cohort zijn de mosselen uit de zaadvisserij in een bepaald jaar of de MZI-oogst, maar ook mosselen (zaad, halfwas en consumptie) die zijn aangetroffen tijdens de perceelbemonsteringen in het najaar (Bijlage F). Met het groeimodel wordt voor ieder cohort de gemiddelde groei (en ontwikkeling) beschreven door middel van het DEB model of het VBGF model

(alleen groei). In het VBGF model wordt de groei in gewicht afgeleid uit de groei in lengte door middel van een allometrische relatie (Bijlage D). In het DEB model wordt de gewichtsgroei berekend aan de hand van de gemeten watertemperatuur, voedselhoeveelheid (chlorofyl-a en detritus) en kwaliteit (sestongehalte).

In het populatie-dynamisch model worden mosselen van een cohort geclassificeerd in de klassen zaad, halfwas en consumptie. Zaad wordt halfwas op 1 juni in het jaar na de broedval. Halfwas mosselen worden consumptiemosselen als ze groter zijn dan 4.5 cm.

De resultaten van het DEB-groeimodel zijn input voor het populatie-dynamisch model.

3.2 Populatie-dynamiek

Het populatie-dynamisch model beschrijft het verloop van het aantal mosselen van de cohorten over de tijd. Het aantal mosselen neemt af als gevolg van diverse verliesposten.

In het verliesmodel wordt aan het begin van ieder cohort het aantal mosselen (N) berekend uit de totale biomassa en het individueel gewicht.

$$N = \frac{S}{\bar{w}} \quad \text{eq. 7}$$

Waarbij S is de totale stock (g netto) en $\bar{w}$ is het gemiddeld gewicht (g) van een individuele mossel in het cohort. Over de tijd neemt het aantal mosselen binnen het cohort af als gevolg van verlies en oogst. Het verlies is het gecombineerde effect van predatie, wegspoelen en natuurlijke sterfte en wordt beschreven door:

$$\frac{dN}{dt} = -r * N \quad \text{eq. 8}$$

Waarbij r is de specifieke verlies parameter (d^{-1}). Deze waarde van deze parameter verschilt tussen zaad, halfwas en consumptiemosselen.

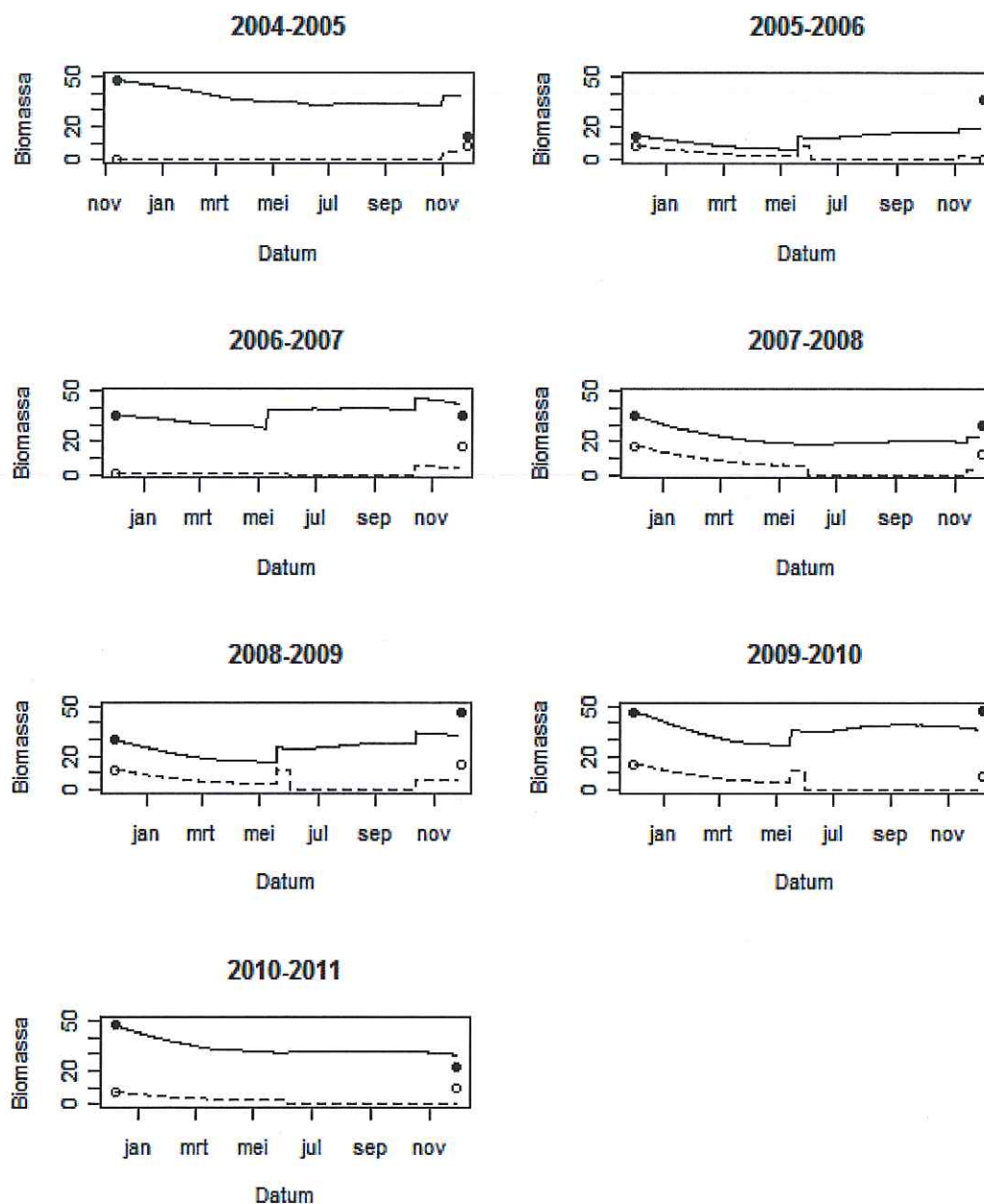
Een tweede verliesfractie van mosselen van de percelen is de oogst. De totale oogst wordt opgelegd uit de registraties van de veilinggegevens (Bijlage C). In het model worden alleen de consumptiemosselen geoogst. De totale oogst per dag wordt verdeeld over de verschillende cohorten consumptiemosselen naar rato van het aandeel van de mosselen in het cohort aan de totale biomassa consumptiemosselen.

3.3 Model simulatie

Het populatie-dynamisch model is gerund van 13 november 2004 tot en met 29 november 2011. Ieder jaar wordt de biomassa van het model gereset met de gegevens van de perceelbemonsteringen. Van ieder cohort wordt de gemiddelde lengte, individueel gewicht, totaal aantal en de totale biomassa berekend. Tevens wordt bijgehouden of de mosselen van het cohort zaad, halfwas of consumptie mosselen zijn. Uit de cohorten worden de totale biomassa zaad, halfwas- en consumptiemosselen berekend. De halfwas mosselen en consumptiemosselen worden samengevoegd tot meerjarige mosselen.

In Figuur 10 is het gemodelleerde verloop van het bestand aan mosselzaad (stippellijnen) en het totale bestand aan mosselen (doorgetrokken lijn) op de percelen in de Waddenzee weergegeven voor de periode van 13 november 2004 tot en met 29 november 2011. Ieder jaar, op het moment van de

perceelbemonstering in het najaar wordt het model opnieuw gestart met de resultaten van de perceelbemonstering (open bolletjes: zaad, gesloten bolletjes: totale biomassa mosselen).



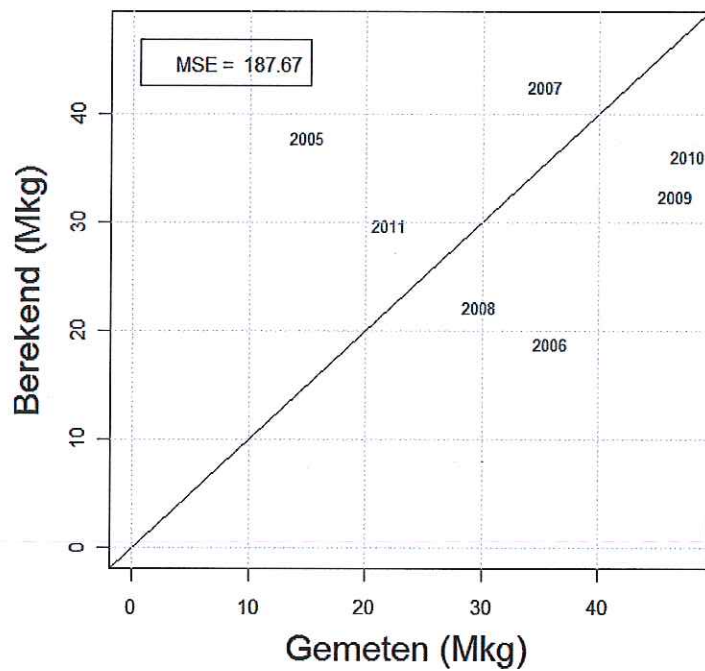
Figuur 10: Berekende ontwikkeling biomassa (Mkg) zaad (stippellijnen) en totale stock aan mosselen (doorgetrokken lijn) op de percelen in de Waddenzee van 13 november 2004 tot en met 29 november 2011. De bolletjes geven de gemeten hoeveelheid tijdens de perceelbemonstering weer (open bolletjes: biomassa zaad, zwarte bolletjes: totale biomassa Bijlage F). Let op: de simulaties starten in november/december van het voorgaande jaar.

Op 13 november 2004 liggen er vergeleken met daarop volgende jaren relatief veel mosselen op de percelen. Het aandeel zaadmosselen is echter beperkt. Gedurende het seizoen neemt het bestand af als gevolg van sterfte en oogst. In de herfst van 2005 is te zien dat het zaadbestand en daarmee het totale bestand wat toeneemt als gevolg van de zaadvisserij. Als het totale bestand aan het eind van het jaar

2005 wordt vergeleken met de resultaten van de perceelbemonstering is te zien dat het model het bestand sterk overschat. De schatting van de hoeveelheid mosselzaad is beter. Eind november 2005 is het model herstart met de resultaten van de perceelbemonsteringen 2005, resulterend in het tweede figuur (rechtsboven). De effecten van de zaadvisserij in mei 2006 zijn duidelijk te zien in een toename van het bestand. In de zomer van 2006 neemt het totale bestand toe door groei. Aan het eind van het jaar (november 2006) is te zien dat ondanks de groei het model het totale bestand nog onderschat. Eind 2006 is er relatief weinig mosselzaad aanwezig op de percelen. In mei 2007 en oktober 2007 (derde figuur) vindt er zaadvisserij plaats. De effecten hiervan zijn terug te vinden in een toename van het totale bestand. Het totale bestand in november 2007 wordt redelijk goed beschreven door het model. Echter het bestand aan zaadmosselen op de percelen wordt erg onderschat. Het is niet duidelijk hoe een zaadvisserij van 5.1 miljoen kg in oktober 2007 in december 2007 leidt tot een hoeveelheid mosselzaad op de percelen van 17.5 miljoen kg. De groei in deze periode is namelijk beperkt vanwege het geringe aanbod aan voedsel en het relatief koude water. Ook in 2008 zien we dit zelfde patroon voor het mosselzaad. Het totale mosselbestand op de percelen wordt hier ook redelijk goed beschreven door het model. In 2009 en 2010 zien we duidelijk dat na de zaadvisserij in mei, het opgeviste mosselzaad op 1 juni terecht komt in de groep meerjarige mosselen. In 2009, 2010 en 2011 wordt het totale bestand redelijk ingeschat. Echter, net als in 2007 en 2008 is het bestand aan zaadmosselen niet te rijmen met de hoeveelheid mosselzaad dat is opgevist tijdens de zaadvisserij.

In Figuur 11 is het berekende bestand in november vergeleken met de gemeten bestanden tijdens de perceelbemonstering. De correlatiecoëfficiënt tussen model en observaties is laag (0.007) en niet significant. Vooral in het jaar 2005 is er een sterke overschatting en in 2006 en 2009 is er een onderschatting van het model. De gemiddelde afwijking van het model met de observaties is 41%. Er zit echter ook een onzekerheid op de resultaten van de perceelschatting van ongeveer 13% (Wijsman e.a., 2010). Ook zijn niet alle processen die effect hebben op het bestand aan mosselen in het model meegenomen. Zo is er geen rekening gehouden met afvoer naar de kweekpercelen in Zeeland en eventuele zaadval op de percelen. Deze processen kunnen van jaar tot jaar variëren.

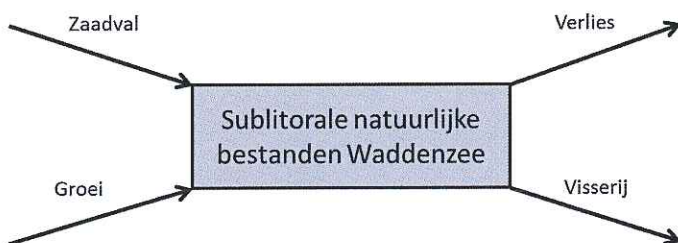
Het moet worden opgemerkt dat in tegenstelling tot het model in het vorige hoofdstuk het dynamisch productiemodel niet is gekalibreerd aan de observaties. De groei van de mosselen is beschreven met het standaard DEB model dat is gevoed met gemeten voedsel (Chl-a, Bijlage E) en temperatuur. De overleving is in het model over de jaren constant gehouden. Het is te verwachten dat de overleving in werkelijkheid van jaar tot jaar sterk zal variëren als gevolg van predatoren en abiotische omgevingscondities en dat het meenemen van deze variatie het model aanzienlijk zal verbeteren.



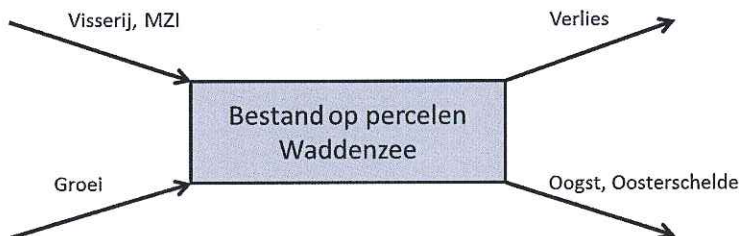
Figuur 11: Berekend totaal bestand aan mosselen op de percelen in het najaar (y-as) tegen de gemeten hoeveelheid tijdens de perceelbemonstering. Er is geen significante correlatie tussen model en observaties.

4 Vergelijk perceelbestanden met wilde banken

In Bult e.a. (2004) is berekend dat de kweek van mosselen in de Waddenzee leidt tot een netto toename van het totale mosselbestand met gemiddeld 15%, ondanks de oogst en de verplaatsingen naar de Oosterschelde. De reden hiervoor is dat de mosselkweek op kweekpercelen leidt tot een hoger rendement van het mosselzaad dan op de natuurlijke banken. Smaal e.a. (2010) heeft balans-modellen opgesteld voor de natuurlijke mosselbestanden (Figuur 12) en het totale bestand van de mosselen op de kweekpercelen (Figuur 13) in de Waddenzee voor de jaren 2004 tot en met 2008. In voorliggend rapport zijn de berekeningen uitgebreid tot en met 2012. Het natuurlijke bestand neemt toe als gevolg van zaadval en groei. Het bestand neemt af door visserij en natuurlijk verlies (sterfte, predatie en wegspoelen). Het perceelbestand neemt toe als gevolg van de zaadvisserij, MZI-oogst en groei. Het bestand neemt af door oogst, verplaatsing van mosselen naar de Oosterschelde en verlies (sterfte, predatie en wegspoelen).



Figuur 12: Balans model voor het natuurlijk mosselbestand in de Waddenzee .



Figuur 13: Balans model mosselbestand op de kweekpercelen in de Waddenzee .

De mosselzaadvisserij is gericht op de natuurlijke banken in het sublitoraal. In het voorjaar (maart) wordt het bestand aan natuurlijk mosselzaad geschat door middel van een kwantitatieve survey waarbij 450-600 stations worden bemonsterd met een zuigkor (Van Stralen e.a., 2013a). Het natuurlijke mosselbestand wordt opgedeeld in 3 grootte klassen (Tabel 5). De survey in augustus/september is een meer semi-kwantitatieve survey waarbij ongeveer 500-600 locaties worden bemonsterd met een mosselkor (Van Stralen, 2012a). De mosselen worden hierbij onderverdeeld in mosselzaad (broedval van dat jaar) en meerjarige mosselen (Tabel 6). In 2004 lijkt het erop dat er meer mosselen zijn opgevisst dan dat er op de wilde banken lagen. Dit kan komen door een onzekerheid in de metingen, maar ook doordat de mosselen in de tussentijd zijn gegroeid.

Tabel 5: Netto biomassa (Mkg) natuurlijke mosselbestanden in het voorjaar (maart), voorafgaand aan voorjaarsvisserij en de oogst van de voorjaarsvisserij (mei Mkg)

	Bestand Mkg				
Jaar	≤15 mm	15-45 mm	>45 mm	Totaal	Visserij VJ
2004	14.7	2.0	6.5	23.3	24.6
2005	0.3	2.3	6.5	9.1	0.0
2006	9.2	1.5	5.5	16.1	7.5
2007	2.7	25.8	6.7	35.2	11.5
2008	3.2	1.4	5.5	10.1	0.3
2009	8.8	5.0	3.1	16.9	9.0
2010	6.4	9.1	4.3	19.8	9.8
2011	0.4	7.8	5.3	13.5	0.0
2012	1.1	4.7	9.0	14.8	0.0
Gem.	5.2	6.6	5.8	17.6	7.0

Tabel 6: Netto biomassa (Mkg) natuurlijke mosselbestanden in najaar, voorafgaand aan najaarsvisserij en de oogst van de najaarsvisserij NJ (Mkg).

	Bestand Mkg			
Jaar	≤15 mm	>15 mm	Totaal	Visserij NJ
2004	0.9	4.5	5.4	0.2
2005	9.9	12.0	21.9	9.4
2006	0.9	25.1	26.0	3.5
2007	12.0	24.4	36.4	10.5
2008	15.0	3.8	18.8	4.7
2009	18.0	7.5	25.5	9.0
2010	0.1	7.8	7.9	0.0
2011	0.4	13.0	13.5	0.0
2012	32.1	9.8	41.9	24.7
Gem.	9.9	12.0	21.9	6.9

Voor het natuurlijke mosselbestand is de balans het verschil tussen het bestand in maart plus de nieuwe zaadval in september min de hoeveelheid aan mosselen die is weggevisst (Tabel 7). Gemiddeld is deze balans 13.7 miljoen kg. Het netto resultaat is berekend uit de Balans en het gemeten bestand in het najaar (Bestand T_1). Dit netto resultaat is dus de netto toename of afname als gevolg van groei en overleving. Het gemiddeld resultaat is 1.3 Mkg. Dit is ongeveer 10 % van het totale natuurlijke bestand in de westelijke Waddenzee. Het grote negatieve resultaat in 2008 is waarschijnlijk het gevolg van predatie door zeesterren in het najaar van 2007. Dit is ook te zien in het grote verschil tussen het bestand T_1 in 2007 (25.9 Mkg) en de T_0 van 2008 (10.1 Mkg).

Opvallend is dat in de laatste 5 jaar (2008 tot en met 2012), het bestand aan wilde mosselen op de percelen in de maand maart minder varieert dan in de periode ervoor. Tevens is het netto resultaat in deze jaren negatief. Dit kan mogelijk deels het gevolg zijn van de transitie in de mosselkweek waar er sprake is van een geleidelijke overgang van zaadvisserij op wilde banken naar de invang van mosselzaad

met behulp van MZI's (Meijer e.a., 2010). Als gevolg hiervan zou er meer mosselzaad op de wilde banken blijven liggen. De rendementen van deze mosselen zouden lager kunnen zijn omdat deze mosselen in relatief hoge dichtheden liggen en als gevolg hiervan met elkaar concurreren om het beschikbare voedsel. Deze hypothese dient echter nader onderzocht te worden om te kunnen bepalen of dit inderdaad een indirect gevolg is van de mosseltransitie. In het kader van de mosseltransitie zijn pas in 2009 gebieden gesloten voor zaadvisserij.

Tabel 7: Balans wilde mosselbestanden in de westelijke Waddenzee (Mkg). Het bestand T_0 is het gemeten bestand tijdens de voorjaarssurvey (mei), en T_1 gemeten bestand in najaar (september survey). Het Netto resultaat is de toename of afname van het bestand als gevolg van groei en verlies.

	Bestand T_0	In	Uit	Balans	Bestand T_1	Netto resultaat
Jaar	maart	Zaad aug	Visserij VJ + NJ	$T_0 + \text{In} - \text{Uit}$	NJ-Visserij NJ	$T_1 - (T_0 + \text{In} - \text{Uit})$
2004	23.3	0.9	24.8	-0.6	5.2	5.8
2005	9.1	9.9	9.4	9.6	12.5	2.9
2006	16.1	0.9	11.0	6.1	22.5	16.5
2007	35.2	12.0	22.0	25.2	25.9	0.7
2008	10.1	15.0	5.0	20.2	14.0	-6.1
2009	16.9	18.0	18.0	16.9	16.5	-0.4
2010	19.8	0.1	9.8	10.1	7.9	-2.3
2011	13.5	0.4	0.0	13.9	13.5	-0.4
2012	14.8	32.1	24.7	22.2	17.1	-5.1
Gem.	17.6	9.9	13.9	13.7	15.0	1.3

Het bestand op de kweekpercelen is bepaald tijdens de perceelbemonsteringen als onderdeel van dit PRODUS project. De verplaatsingen van halfwasmosselen naar de Oosterschelde worden niet consequent geregistreerd. In deze studie is daarom aangenomen dat de oogst van mosselen uit de Oosterschelde afkomstig is van halfwas mosselen die het jaar daarvoor zijn opgevisst uit de Waddenzee. Er is een correctie toegepast omdat de oogst uit de Oosterschelde ook is gebaseerd op mosselen van zaadvisserij uit de Delta en import mosselen uit het buitenland (Ierland, Verenigd Koninkrijk). Deze correctiefactor is op basis van expert judgement geschat op 0.75.

Tabel 8: Biomassa mosselen op de kweekpercelen (Mkg) en de totale oogst per jaar. In de laatste kolom staat een schatting voor de verplaatsing van mosselen naar de Oosterschelde.

Jaar	Zaad	Halfwas	Consumptie	Totaal	Oogst	Oosterschelde
2004	1.0	15.2	31.9	48.1	30.4	24.0
2005	8.9	0.9	5.2	14.9	26.4	14.6
2006	1.0	5.8	29.0	35.8	10.7	10.4
2007	17.5	2.5	15.3	35.3	26.3	11.4
2008	11.8	2.1	15.8	29.7	21.5	16.9
2009	15.4	2.8	28.3	46.5	23.9	24.1
2010	7.6	11.0	28.9	47.5	24.6	10.9
2011	8.9	1.3	11.8	22.0	16.0	19.8
2012	39.6	1.5	5.6	46.7	nb	nb
Gem.	12.4	4.8	19.1	36.3	22.5	16.5

Tabel 9: Balans mosselbestand op de kweekpercelen in Waddenzee (Mkg). Het bestand T_0 is het gemeten bestand tijdens de voorjaarssurvey (mei). Het Netto resultaat is de toename of afname van het bestand als gevolg van groei en verlies.

	Bestand T0	In	In	Uit	Balans	Bestand T1	Netto resultaat
Jaar	Januari	Visserij	MZI	Oogst + OS	$T_0 + \text{In} - \text{Uit}$	December	$T_1 - (T_0 + \text{In} - \text{Uit})$
2004	30.0	24.8	0.0	54.4	0.4	48.1	47.7
2005	48.1	9.4	0.0	41.0	16.5	14.9	-1.6
2006	14.9	11.0	0.0	21.1	4.8	35.8	31.1
2007	35.8	22.0	1.7	37.7	21.9	35.3	13.4
2008	35.3	5.0	3.1	38.4	4.9	29.7	24.8
2009	29.7	18.0	4.0	48.0	3.7	46.5	42.8
2010	46.5	9.8	6.8	35.4	27.6	47.5	19.9
2011	47.5	0.0	7.4	35.8	19.1	22.0	2.9
2012	22.0	24.7	11.5	nb	58.2	nb	nb
Gem.	34.4	13.9	3.8	39.0	17.5	35.0	22.6

De balans voor de mosselen op de kweekpercelen is het verschil tussen het bestand aan het begin van het jaar plus de zaadvissersrij en de MZI oogst min de oogst aan consumptiemosselen en de verplaatsing naar de Oosterschelde. Het netto resultaat (Tabel 9) is het effect van groei en overleving van mosselen op de percelen. Het gemiddeld netto resultaat van de mosselen op de percelen is ruim 22.6 Mkg. Dit is ongeveer 60% van het gemiddelde bestand op de kweekpercelen. Dit resultaat is aanzienlijk hoger dan het resultaat van de natuurlijke mosselbestanden (1.3 Mkg). Dit is 7.4% van het gemiddeld bestand (17.6 Mkg). De tabel laat ook zien dat het netto resultaat van groei en overleving varieert van jaar tot jaar. Dit is het gevolg van de jaarlijkse variatie in groei en overleving als gevolg van de veranderende omgevingscondities. Door de mosselkweek worden er mosselen van natuurlijke banken verplaatst naar de kweekpercelen. Het netto resultaat als gevolg van groei en overleving op de percelen is groter dan op de natuurlijke banken. Deze berekeningen ondersteunen de hypothese dat de kweek leidt tot meer mosselen in de Waddenzee, ondanks de afvoer naar Zeeland.

5 Groei en overleving op percelen en natuurlijke sublitorale banken

5.1 Inleiding

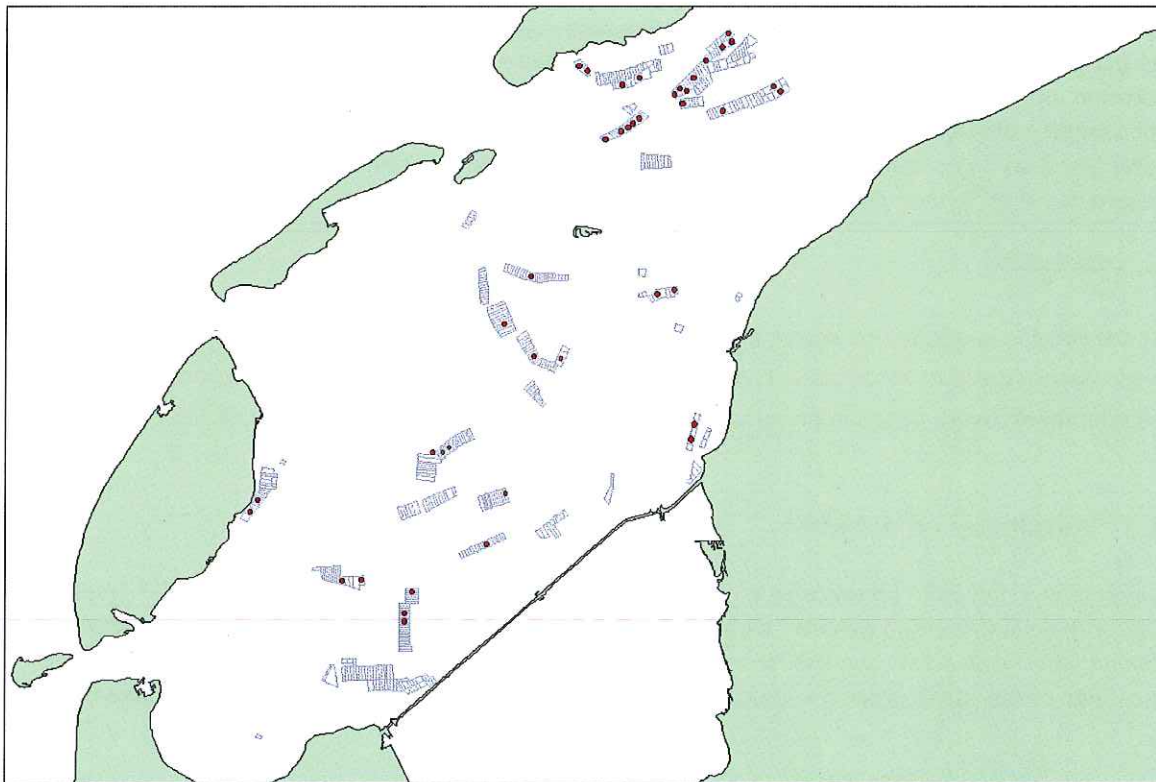
In het kader van het promotieonderzoek van Capelle zijn in nauwe samenwerking met de sector cohorten mosselen op percelen gevolgd van zaad tot aan de veiling. Dit heeft informatie opgeleverd over groei en overleving van mosselen op percelen. In het kader van PRODUS 3 zijn groei en overleving op 40 vakken, gelegen binnen een selectie van natuurlijke sublitorale mosselbanken (hierna: natuurlijke banken) gevolgd (Van Stralen e.a., 2013c). Met deze gegevens kan de biomassaontwikkeling van mosselen op percelen vergeleken worden met die op natuurlijke banken. Dit is relevant omdat het grootste deel van de mosselbiomassa op de percelen afkomstig is van de visserij op natuurlijke mosselbanken. Mosselvisserij heeft daarmee effect op de natuurlijke mosselbiomassa in de westelijke Waddenzee als ook de totale biomassa (=inclusief kweekpercelen).

5.2 Methoden

5.2.1 Beschikbare data

Schattingen voor groei en overleving van mosselen op natuurlijke mosselbanken zijn berekend uit het onderzoek op de PRODUS-3-vakken (Smaal e.a., 2013). De aanleg van deze vakken, de locatie en de bemonstering zijn in detail beschreven in Van Stralen e.a. (2013c). Van deze bemonstering zijn voor de hier volgende analyse de ontwikkeling van mosseldichtheid en het individuele gewicht per voor de visserij gesloten PRODUS-vak over de tijd gebruikt, om sterfte te berekenen en groei weer te geven.

Het onderzoek naar het rendement op de percelen is uitgevoerd van 2009 tot en met 2012. Hierin zijn mosselcohorten gevolgd vanaf (ver)zaaien tot oogst. Zaaigegevens (zaailocatie, gezaaide biomassa, grootte van de mosselen bij zaaien, oorsprong van de mosselen) zijn per moment dat gezaaid of verzaaid werd door aan dit project meewerkende mosselkwekers geregistreerd en doorgegeven. Vervolgens zijn de ingezaaide oppervlaktes op het perceel vier keer per jaar bemonsterd, met een bodemhapper, tot het moment dat de mosselen geoogst of opnieuw verzaaid werden. De bemonsteringen zijn uitgevoerd met een Van Veen happer (0.0552 m²), waarbij per monstername zeventig willekeurig over het perceel verspreide monsters zijn genomen. Details van deze bemonstering zijn in detail beschreven in Capelle e.a. (in prep). Alle percelen met mosselcohorten die in het kader van deze bemonstering gevolgd zijn, zijn weergegeven in Figuur 14. Van deze bemonstering zijn voor de hier volgende analyse de ontwikkeling van mosseldichtheid en het individuele gewicht van de mosselen gebruikt, deze mosselen waren voor een deel afkomstig van de visserij op natuurlijke banken (n=71), voor een deel van MZI's (n=55) en voor een deel verzaaid van andere percelen (n=35).



Figuur 14 Mosselpercelen in de Waddenzee, bemonsterde percelen in de periode 2009-2012 zijn aangegeven (rode stip).

5.2.2 Lengte-ontwikkeling

De lengtegroei van mosselen op percelen en natuurlijke banken zijn geplot over de tijd en gefit met een Von Bertalanffy groeifunctie met een sinusoïdecorrectie, vanwege het seizoenaal patroon in groei als gevolg van de variatie in temperatuur en voedsel.

$$\frac{dL}{dt} = K(L_{\infty} - L_t)(C \cos 2\pi(t - t_x) + 1) \quad \text{eq. 9}$$

Gewichtsgroei is gefit met

$$W_t = a \cdot L_t^b \quad \text{eq. 10}$$

waarbij alle Von Bertalanffy parameters gelijk gehouden zijn met uitzondering van de C-parameter (amplitude van de sinusfunctie) die apart is gefit op de individuele gewichten over tijd, omdat verwacht wordt dat gewicht meer seizoen fluctuaties vertoont dan schelpenlengte. Individuele gewichtsgroei is in eerste instantie door alle data (natuurlijke banken, MZI's en percelen) gefit (totaalmodel), waarna twee aanvullende fits zijn uitgevoerd voor de subset van de data van de percelen en de subset van de data van de natuurlijke mosselbanken (gereduceerde modellen). Met deze aanvullende fits zijn L_{∞} , K en C voor percelen en natuurlijke banken met elkaar vergeleken. Hierbij is de te testen parameter voor beide sub-populaties vastgezet op de gefitte waarden van het totaal model, terwijl de andere parameters gefit zijn op de data van beide sub-populaties. De gefitte modellen van beide subpopulaties zijn vervolgens vergeleken met een Likelihood ratio test (Kimura, 1980).

5.2.3 Verlies

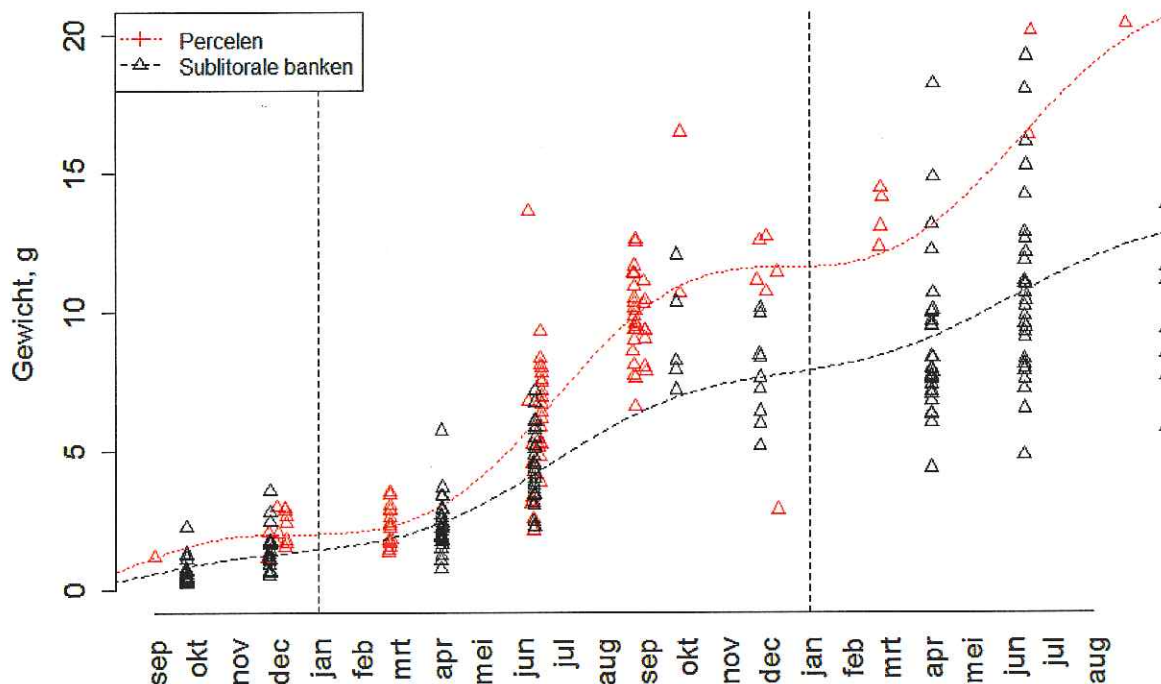
Op basis van de mossellengte zoals gemeten aan het begin van een meet periode, zijn mosselen op percelen en natuurlijke banken ingedeeld in drie cohorten: mosselzaad, halfwas mosselen en consumptiemosselen. Verlies van mosselen (r , dag⁻¹) is berekend aan de hand van de mosseldichtheid zoals gemeten bij de start van een cohort (N_{start} , # m⁻²) en de mosseldichtheid aan het einde van een cohort (N_2 , # m⁻²), over de duur van deze periode in dagen (t , d):

$$r = -\frac{\ln(N_2) - \ln(N_1)}{t} \quad \text{eq. 11}$$

De berekening is uitgevoerd voor mosselen op percelen en voor mosselen op natuurlijke mosselbanken (voor visserij gesloten PRODUS-vakken). De verliezen zijn log getransformeerd ter normalisering en het verschil ($\ln r$) tussen percelen en natuurlijke banken is statistisch getest met een Welch t-test.

5.3 Resultaten en discussie

De groei van mosselen op percelen en natuurlijke banken is weergegeven in Figuur 15. De groei op natuurlijke banken en op percelen loopt tot het eerste voorjaar na het zaaien min of meer parallel. Zaaïen vindt vaak plaats aan het einde van het groeiseizoen. Wanneer in het voorjaar rond april de mosselen harder gaan groeien is de groeisnelheid op de percelen hoger dan op de natuurlijke banken.



Figuur 15 Gemiddeld individueel mossel gewicht uit bemonsteringen van percelen (2009-2012) en natuurlijke mosselbanken (2004-2012), gefit met een Von Bertalanffy groei functie met sinusoïde correctie, voor seizoen oscillaties.

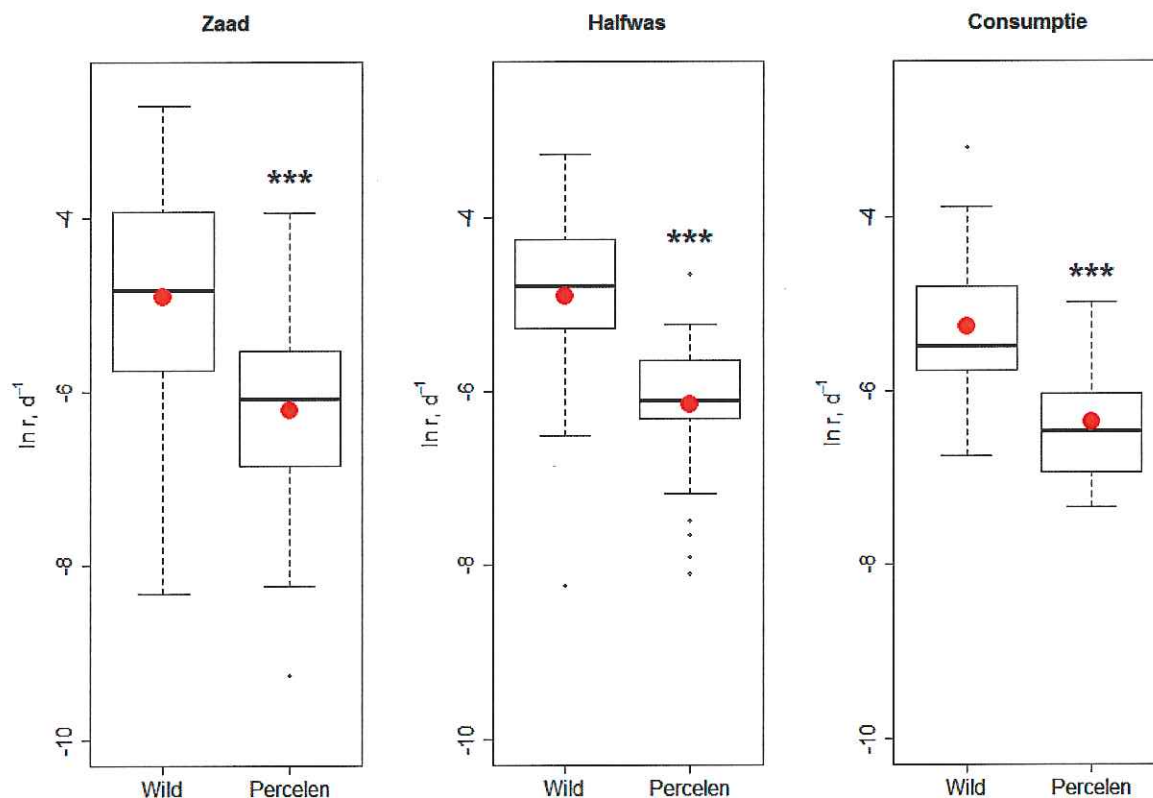
In Tabel 10, wordt een overzicht gegeven van de Von Bertalanffy groeiparameters voor percelen en natuurlijke banken. Tevens zijn er aanvullende modellen gefit door de twee datasets waarbij respectievelijk de parameters L_{∞} , K en C vast zijn gehouden.

Tabel 10 Vergelijk tussen Von Bertalanffy parameters (L_{∞} , K and C , t_0 and t_s) voor mosselen van percelen en mosselen van natuurlijke banken in de westelijke Waddenzee (A). B: Resultaat likelihood ratio tests waarin beide sub-populaties vergeleken zijn met H_0 , H_{01} R: $L_{\infty 1}=L_{\infty 2}$, H_{02} R: $K_1=K_2$, H_{03} R: $C_1=C_2$, H_{04} R: $L_{\infty 1}=L_{\infty 2}$, $K_1=K_2$ and $C_1=C_2$.

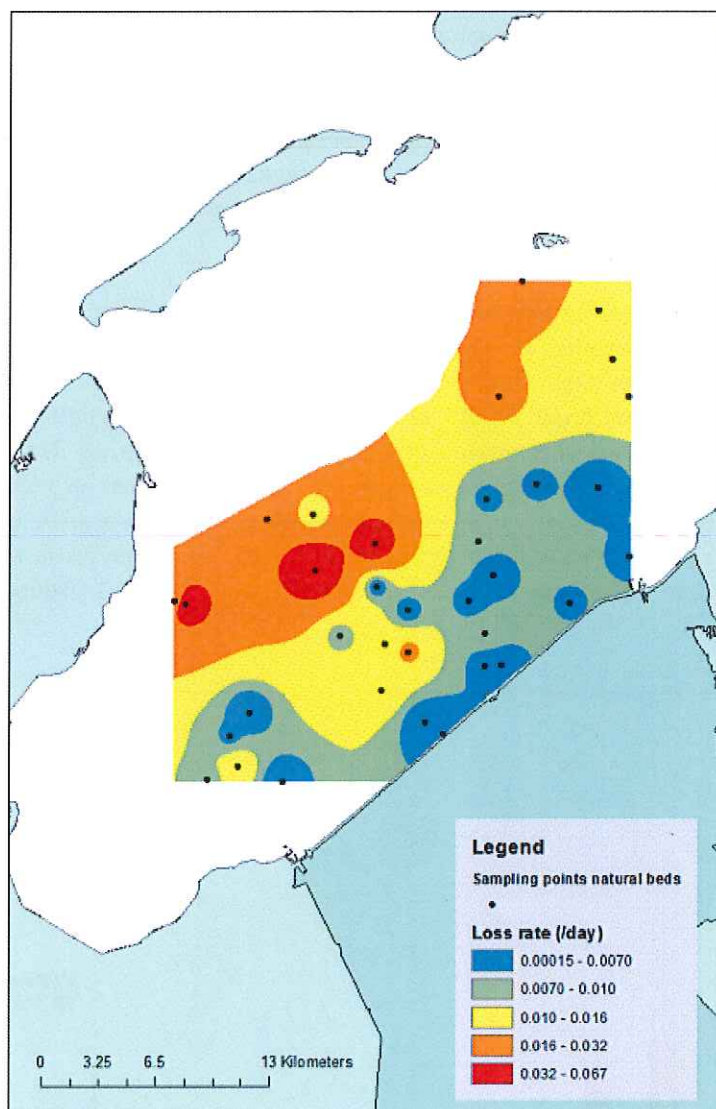
A.									
Parameter	Percelen		Sublitorale banken						
	Mean	SE	Mean	SE					
L _∞	73.27	4.68	60.18	2.28					
K	0.68	0.068	0.78	0.057					
C	0.99	0.17	0.63	0.11					
t ₀	0.27	0.023	0.27	0.023					
ts	0.22	0.016	0.22	0.016					
B.									
	$\tilde{L}_{\infty 1}$	$\tilde{L}_{\infty 2}$	$\tilde{K}_1$	$\tilde{K}_2$	$\tilde{C}_1$	$\tilde{C}_2$	RSS	X_r^2	$P[X_r^2 > X_r^2]$
H ₀₁	52.12	52.12	0.82	0.97	0.59	1.18	58.73	123	<0.001
H ₀₂	56.16	62.00	1.69	1.69	0.49	1.05	59.67	118	<0.001
H ₀₃	62.76	73.21	0.70	0.68	1.00	1.00	70.50	70	<0.001

Figuur 15 laat veel variatie in de gemeten individuele gewichten zien, zowel voor percelen als voor de natuurlijke banken. Deze variatie neemt toe met de leeftijd. Waarschijnlijk weerspiegelt deze variatie de ruimtelijke verschillen in groeiomstandigheden.

In Figuur 16 wordt het gemiddelde verlies van zaad, halfwas en consumptie mosselen op percelen vergeleken met natuurlijke mosselbanken. Voor alle grootteklassen geldt dat het gemiddeld verlies lager is op percelen. Op natuurlijke mosselbanken neemt het verlies af: van zaad, naar halfwas- en van halfwas- naar consumptiegrootte. Figuur 16 laat ook zien dat de variatie groter is voor natuurlijke mosselbanken. Verschillen in stabiliteit van natuurlijke mosselbanken is in meer detail beschreven in Van Stralen et al. (2013c). Ruimtelijke processen lijken hierin een grote rol te spelen, dit is ook te zien als het verlies voor de verschillende monsterpunten ruimtelijk weergegeven wordt (Figuur 17). De gemiddelde verliesfactor van zaad, halfwas en consumptiemosselen op wilde banken is respectievelijk 0.013, 0.011 en 0.007 d^{-1} . De gemiddelde verliesfactor van zaad, halfwas en consumptiemosselen op percelen is hoger, respectievelijk 0.003, 0.002 en 0.002 d^{-1} .



Figuur 16: Boxplots van mossel verliezen (log-getransformeerd, d^{-1}) voor 3 cohorten gebaseerd op schelp lengte: zaad (≤ 30 mm), halfwas (>30 mm en ≤ 45 mm) en consumptie (>45 mm), per cohort is het verlies weergegeven voor percelen ($n=191$) en natuurlijke banken, rode stippen geven het gemiddelde aan, alle verschillen zijn significant ($p < 0.001$ ***).

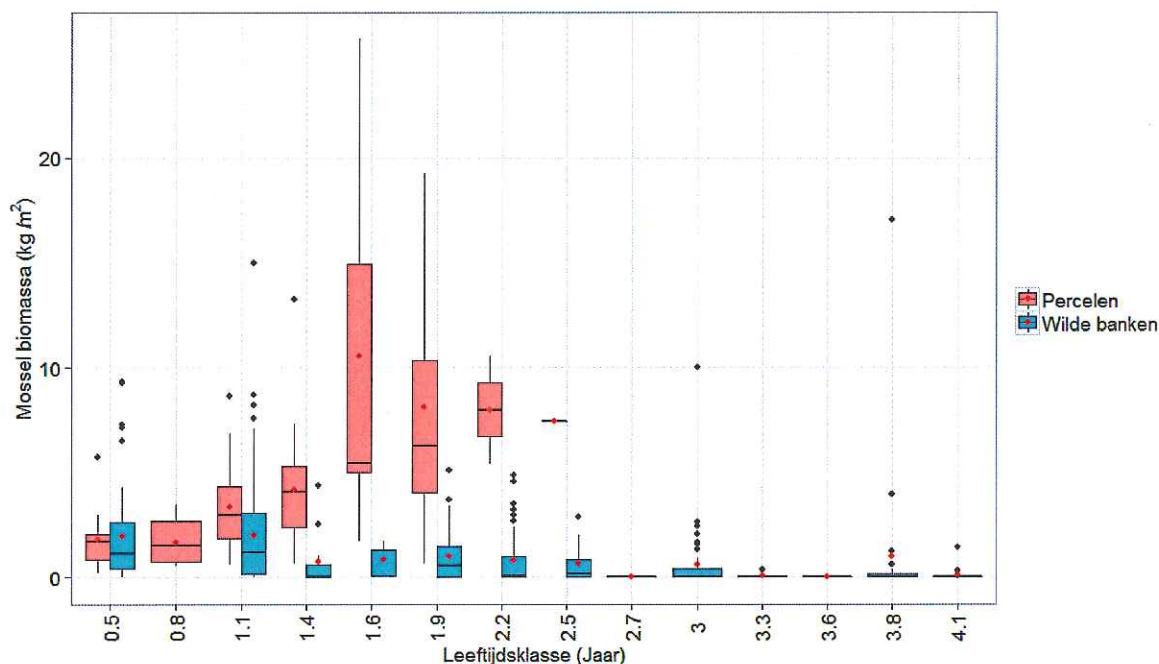


Figuur 17: Ruimtelijke patronen mossel verlies (dag^{-1}) op natuurlijke mossel banken (onbeviste PRODUS-vakken), interpolatie met Inverse Distance Weighting (IDW), waarbij de ruimtelijke projectie gebaseerd is op het gewogen gemiddelde per locatie, de zwarte punten geven de locaties van de bemonstering aan waarvoor het verlies berekend kon worden. In deze figuur zijn twee PRODUS-vakken niet meegenomen, WestMeep omdat daar slechts tijdens 1 bemonstering mosselen zijn waargenomen en Molenrak oost, omdat daar bij alle bemonsteringen zeer lage dichtheden (<27 individuen m^{-2}) zijn waargenomen. De overleving is berekend op basis van de veranderingen in dichtheden ($\# \text{m}^{-2}$).

Figuur 17 maakt duidelijk dat de overleving (aantal individuen) van natuurlijke sublitorale mosselbanken afneemt met de afstand tot de Afsluitdijk / spuispunten Kornwerd en Den Oever. Kansrijke natuurlijke banken worden daarmee vooral gevonden in gebieden met gemiddeld lage en hoog variabele zoutgehaltes en met als meest logische verklaring dat de predatiedruk van zeesterren onder deze omstandigheden lager zijn (Smaal e.a., 2014). Onder en mogelijk door deze condities is ook de groei van

mosselen in het algemeen minder dan in de meer zoute gedeelten van de Waddenzee. De percelen zijn veelal gelokaliseerd in de gebieden met een hoger zoutgehalte waar de groeicondities beter zijn. Kweek in deze gebieden is mogelijk omdat kwekers gericht de overleving van mosselen kunnen verhogen door het toepassen van kweekmaatregelen, zoals het wegvangen van zeesterren en aanpassingen in zaaidichtheid (Figuur 16). De groei van mosselen wordt in belangrijke mate bepaald door lokale voedselcondities maar kan ook geremd worden door voedselcompetitie bij hoge dichtheden. Ten aanzien van het algehele voedselaanbod is de locatiekeuze van de percelen bepalend, waarbij de praktijk leert dat de kweekpercelen in de gebieden nabij Terschelling de beste ligging hebben. Op het optreden van voedselcompetitie heeft de kweker wel invloed via de dichtheden waarin mosselen op percelen worden uitgezaaid.

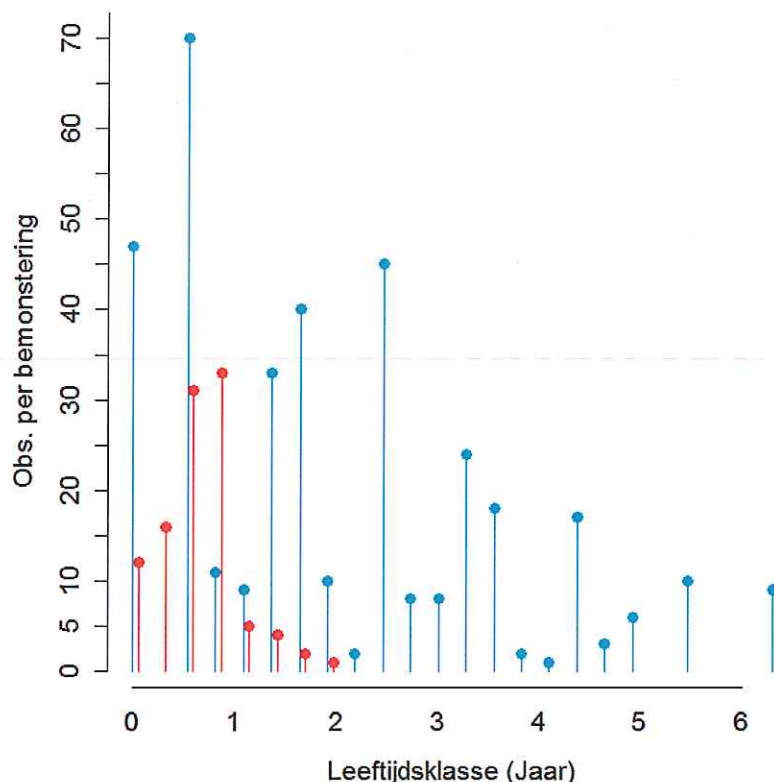
In Figuur 18 is de geobserveerde gemiddelde biomassaontwikkeling weergegeven voor percelen en natuurlijke banken in de bemonsterde maanden. De observaties laten zien dat de gemiddelde mosselbiomassa op percelen, vooral in het begin sterker toeneemt dan de gemiddelde mosselbiomassa op natuurlijke banken. De variatie is echter groot. Er zijn percelen met een zeer hoge biomassa (tot meer dan 20 kg m^{-2}) maar ook percelen met veel lagere biomassa's. Dit is ook het gevolg van de verschillen in dichtheden bij uitzaaien. Op de gevolgde kweekpercelen zijn de mosselen na 1-2 jaar verdwenen omdat ze worden geoogst of verplaatst naar andere percelen. Op de meeste wilde banken zijn de mosselen dan ook al verdwenen. Op een enkele van de PRODUS-vakken binnen op de wilde banken blijven de mosselen meer dan 3 jaar liggen en bereiken ze ook hoge biomassa's (Figuur 18) (Van Stralen e.a., 2013b).



Figuur 18: Box-and-whisker plots met geobserveerde mosselbiomassa als functie van de mosselleeftijd op natuurlijke banken (periode 2004-2012) en op percelen (periode 2009-2012). De leeftijdsklasse is in jaar na zaadval, waarbij is aangenomen dat het zaad in mei valt. Voor de percelen zijn alleen de percelen geselecteerd die zijn bezaaid met bodemzaad. Percelen bezaaid met MZI mosselen zijn dus niet in de figuur meegenomen..

In Figuur 19 zijn het aantal observaties per bemonstering weergegeven voor de wilde banken en de percelen. Deze figuur laat nog duidelijker zien dat de meeste mosselen slechts een jaar op de percelen liggen. Daarna worden ze geoogst of verplaatst naar andere percelen in de Waddenzee of de

Oosterschelde. De maximale duur dat de mosselen uit de bemonstering op de percelen hebben gelegen is 2 jaar. De mosselen op de wilde banken kunnen wel aanzienlijk langer blijven liggen, in de metingen op de PRODUS-vakken maximaal 6 jaar. Deze figuur laat duidelijk de invloed van de beslissingen van de kwekers zien. Op basis van de biomassaontwikkeling kunnen ze besluiten om de mosselen te verplaatsen dan wel te oogsten.



Figuur 19 Aantal monsters waarin mosselen zijn aangetroffen van de bepaalde leeftijdsklasse (x-as).

5.4 Conclusie

De analyse laat dus zien dat de groei en overleving van de mosselen op de percelen hoger is dan op de wilde banken, wat leidt tot een andere biomassa ontwikkeling op de percelen dan op de wilde banken. De ontwikkeling van de biomassa is zeer variabel. Op de percelen neemt de biomassa gemiddeld toe, terwijl op de wilde banken de biomassa gemiddeld afneemt. Het verplaatsen van mosselen van wilde banken naar percelen heeft hierdoor een positief effect heeft op het totale bestand aan mosselen in de Waddenzee. Daarin speelt mee dat het onttrekken/verplaatsen van biomassa door oogst plaatsvindt op een moment dat de mossel biomassa op natuurlijke banken al weer sterk is afgenomen door verlies.

6 Arealen met mosselen met en zonder mosselkweek

6.1 Areaal natuurlijke mosselbanken

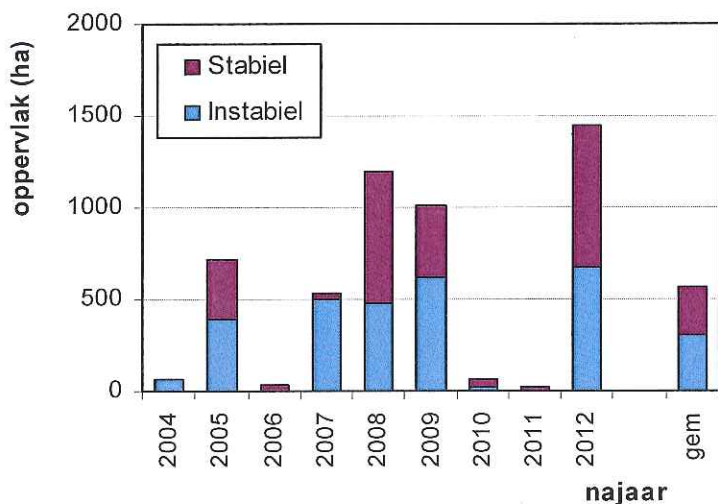
Het onderzoek op de PRODUS-vakken (voor visserij gesloten vakken t.b.v. PRODUS 3 onderzoek naar effecten mosselzaadvisserij) laat zien dat het oppervlak aan natuurlijke mosselbanken in een situatie met visserij sneller afneemt dan wanneer er niet wordt gevist (Smaal e.a., 2013; Van Stralen e.a., 2013b). De ontwikkeling van het areaal in Figuur 20 is doorgerekend voor verschillende grensdichtheden mosselen, nl boven 5 g m^{-2} (nog mosselen aanwezig), 150 g m^{-2} (grens nog lonende visserij), 500 g m^{-2} , 1 kg m^{-2} en $2 \text{ kg mosselen m}^{-2}$. Een score in de figuur van bijv. 80% betekent dat op dat moment nog op 80% van de PRODUS vakken de biomassa groter was dan betreffende grensdichtheid, oftewel dat op 20% van de vakken de dichtheden mosselen daar inmiddels onder liggen. Doorvertaald naar de banken waar de vakken onderdeel van uitmaken betekent dit dat ook daarvan naar schatting 20% als mosselbank zal zijn verdwenen. Voor de verdere achtergronden bij het figuur wordt verwezen naar Van Stralen e.a. (2013b).

Gegevens over het ontstaan van nieuwe zaadbanken zijn beschikbaar uit bestandsopnamen van mosselen die jaarlijks in het najaar (september) plaatsvinden (zie bijv. (e.g. Van Stralen, 2012a). De arealen mosselzaadbanken die vanaf 2004 zijn aangetroffen zijn weergegeven in Figuur 21. De arealen zijn opgesplitst in de zaadbanken die tijdens de inventarisaties als instabiel zijn beoordeeld en om reden daarvan nog hetzelfde najaar zijn opengesteld voor visserij, en de als meer stabiel beoordeelde zaadbanken, welke pas in het daaropvolgende voorjaar voor het eerst mochten worden bevist. Voor de jaren dat niet is gevist (najaar 2010 t/m voorjaar 2012, met als reden weinig/geen nieuwe zaadbanken) zijn de (toen dus geringe) arealen onderverdeeld aan de hand van de klassen waar zij in liggen op de stabiliteitskaart (Smaal e.a., 2014). Dit laatste geldt ook voor zaadbanken in de permanent gesloten gebieden (betreft in de praktijk alleen Malzwin – instabiel en de gesloten gebieden Vlieter en Breezanddijk – beide stabiel).

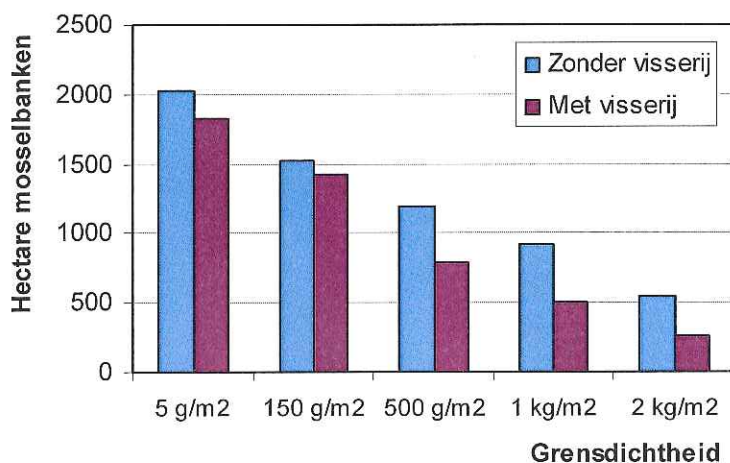
Uitgaande van Figuur 21 is jaarlijks gemiddeld 565 ha nieuwe zaadbanken ontstaan, waarvan gemiddeld 306 als instabiel en 259 ha als stabiel is beoordeeld.

Door combinatie van de gegevens uit Figuur 21 (jaarlijkse aanwas met gemiddeld 565 ha zaadbanken) en Figuur 20 (tempo waarin het areaal nieuw ontstane banken weer verdwijnt) kan worden doorgerekend hoe het areaal mosselen zich op lange termijn ontwikkelt in een situatie met en zonder visserij. Als peildatum in de berekeningen is gekozen voor 1 december, dus in het najaar en na de najaarvisserij. Redenen daarvoor zijn dat dan ook de bestandsopnamen op de percelen plaatsvinden en dit een logisch moment is in relatie tot het voedselaanbod voor vogels in de komende winter. Voor de als stabiel beoordeelde banken, waar de eerste metingen op de PRODUS-vakken pas in het eerstvolgende voorjaar na de zaadval hebben plaatsgevonden, is aangenomen dat de mosselbiomassa in het najaar direct na de zaadval (in figuur bij "no data") dezelfde was als bij de T_0 -metingen in april van het volgende voorjaar. Dit is dus een voorzichtige schatting en in werkelijkheid zal de mosselbiomassa dus hoger zijn geweest.

De uitkomsten van de berekeningen zijn weergegeven in Figuur 22 en Tabel 11 en laten zien dat bij een grenswaarde voor mosselbanken van resp. 150 g m^{-2} , 1 kg m^{-2} of 2 kg m^{-2} het areaal natuurlijke mosselbanken in de Waddenzee in de periode 2004 – 2012 respectievelijk gemiddeld 104 ha, 411 ha en 293 ha groter zou zijn geweest dan in de situatie dat er niet op mosselzaad zou zijn gevist.



Figuur 21 Areaal zaadbanken in september, opgesplitst naar arealen die als instabiel en stabiel zijn beoordeeld en zoals verder toegelicht in de tekst.

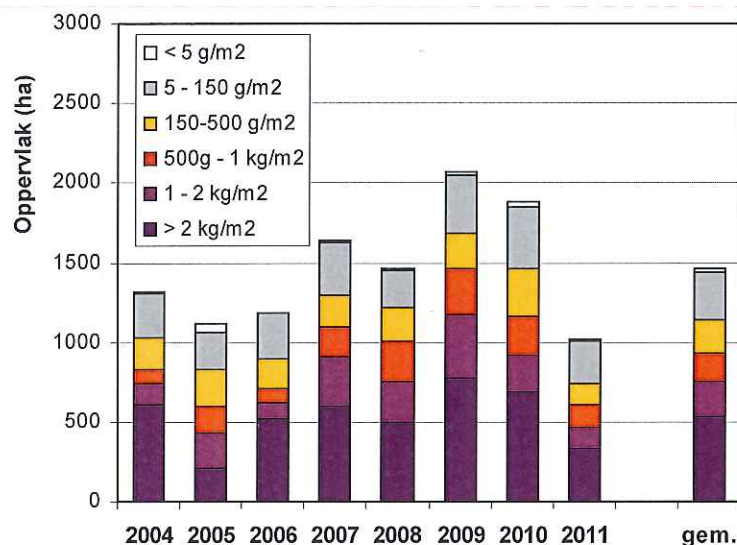


Figuur 22 Gemiddeld oppervlak aan mosselvoorkomens / mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in een situatie met en zonder mosselzaadvisserij bij een gemiddelde zaadval zoals die heeft plaatsgevonden in de periode 2004 – 2012. De grensdichtheden refereren aan de minimaal vereiste dichtheid om nog mee te tellen in de berekening van het aanwezige oppervlak. De onderliggende gegevens zijn opgenomen in Tabel 11.

6.2 Areaal op mosselpercelen

Het areaal mosselen op kweekpercelen bij de verschillende grensdichtheden is berekend op basis van de jaarlijkse bestandsopnamen op percelen zoals die sinds 2004 in het najaar worden uitgevoerd (Kamermans e.a., 2005; Wijsman en Jol, 2007b; Wijsman en Jol, 2007a; Wijsman en Jol, 2008; Wijsman en Jol, 2009; Wijsman e.a., 2010; Wijsman en Jol, 2012). Iedere monsterlocatie waar een bepaalde dichtheid aan mosselen is gemeten staat daarbij voor een bepaald perceeloppervlakte (8.214 ha of 4.107 ha, afhankelijk of het op een grof of fijn meetgrid is gemeten). De arealen bij de verschillende grensdichtheden zijn weergegeven in Figuur 23.

Het gemiddeld areaal bij grenswaarde van resp. 150 g m^{-2} , 1 kg m^{-2} en 2 kg m^{-2} bedraagt resp. 1145 ha, 752 ha en 528 ha. Dit houdt in dat gemiddeld 1145 ha in die periode een biomassa van meer dan 150 g m^{-2} had en 752 ha had in de periode een biomassa van meer dan 1 kg m^{-2} . Deze arealen zijn in alle gevallen aanzienlijk groter dan de afname van het areaal aan natuurlijke banken bij visserij (zie ook Tabel 11). Dit leidt tot de conclusie dat het areaal met mosselen in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee met visserij niet lager is dan in een situatie dat er niet wordt gevist en gekweekt (VKA).



Figuur 23 Areaal met mosselen in verschillende dichtheden op percelen in de Waddenzee. bron: Jaarlijkse bestandsopnamen (Kamermans e.a., 2005; Wijsman en Jol, 2007b; Wijsman en Jol, 2007a; Wijsman en Jol, 2008; Wijsman en Jol, 2009; Wijsman e.a., 2010; Wijsman en Jol, 2012).

Tabel 11 Arealen natuurlijke mosselbanken en op percelen in aan- en afwezigheid van mosselvisserij en kweek (VKA), bij een gemiddelde zaadval zoals die heeft plaatsgevonden in de periode 2004 - 2012, met in kolom: (1) Minimaal vereiste dichtheid om "mee te tellen als mosselbank (2) Gemiddeld oppervlak aan natuurlijke mosselbanken in een situatie zonder mosselzaadvisserij (3) Idem met mosselzaadvisserij (4) Verschil in ha met situatie zonder visserij – kolom 2-3 (5) In procenten ten opzichte van de situatie zonder visserij (6) Areaal met mosselen op de kweekpercelen (7) Totaal areaal met mosselen in situatie met VKA – kolom 3+6 (8) Verschil in ha met situatie zonder visserij – kolom 7-2 (9) in procenten ten opzichte van situatie zonder visserij.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grens- dichtheid	Zonder visserij ha	Met visserij ha	Effect visserij		Areaal percelen ha	Met VKA ha	Effect VKA	
			ha	%			ha	%
5 g m ⁻²	2032	1823	-209	-10%	1443	3266	+ 1234	+ 61%
150 g m ⁻²	1524	1420	-104	-7%	1145	2565	1041	68%
500 g m ⁻²	1198	797	-400	-33%	932	1729	532	44%
1 kg m ⁻²	921	510	-411	-45%	752	1262	341	37%
2 kg m ⁻²	546	253	-293	-54%	528	781	235	43%

7 Discussie en conclusies

7.1 Ontwikkeling van het mosselbestand op de percelen in de Waddenzee

De ontwikkeling van het mosselbestand op de percelen is afhankelijk van verschillende factoren. Een aantal van deze factoren wordt gestuurd door de kweker, zoals het uitzaaien van mosselen (waar, hoeveel) afkomstig uit de zaadvisserij of van de MZI-oogst, het tussentijds verplaatsen van mosselen binnen de Waddenzee of naar kweekpercelen in de Oosterschelde en het moment van opvissen van consumptiemosselen voor de veiling. Deze kweek activiteiten worden op zich weer beïnvloed door andere factoren zoals de beschikbaarheid van zaad, de beschikbaarheid aan ruimte en de vraag vanuit de markt. Op omgevingscondities (voedselbeschikbaarheid, aanwezigheid van predatoren) die effect hebben op groei en verlies van mosselen heeft de kweker minder of geen directe invloed. Door met deze omgevingscondities rekening te houden en waar mogelijk gerichte kweekmaatregelen te nemen kan de kweker wel inspelen op deze omgevingscondities. Door het kiezen van de optimale kweeklocaties en het bestrijden van predatoren (krabben, zeesterren) zal de kweker sturen op een zo goed mogelijk rendement (in kg's mosselen, maar vooral ook in termen van verdiensten). Het gemiddelde rendement van de mosselkweek in Nederland is 1.5 kg netto mosselen van 1 kg bruto zaad, overeenkomend met 2.5 kg netto mosselen van 1 kg netto zaad bij een tarrapercentage van 40% voor het mosselzaad.

In de periode van 2004 tot en met 2011 is in het kader van PRODUS 1A het mosselbestand op de kweekpercelen van de westelijke Waddenzee in het najaar geïnventariseerd. Dit is gedaan door middel van bemonsteringen in de periode november - december, na de najaarsvisserij en de belangrijkste verplaatsingen. Gemiddeld was het netto bestand op de percelen 36.3 miljoen kg (Stdev. 12.2 miljoen kg). De grootte van het bestand, maar ook de samenstelling (zaad, halfwas en consumptiemaat) daarvan kan van jaar tot jaar sterk verschillen en is sterk afhankelijk van het optreden van en de hoeveelheid zaadval.

Ook door het jaar heen varieert het bestand aan mosselen op de percelen. Deze seizoen fluctuatie wordt veroorzaakt door variatie in groei, verlies, zaadvisserij en oogst door het jaar heen. De groei van de mosselen is afhankelijk van voedselbeschikbaarheid en temperatuur. Hierdoor groeien de mosselen voornamelijk in het voorjaar en in de zomer. Ook is er een effect van de grootte van de mosselen. Mosselzaad en halfwas mosselen groeien relatief veel harder dan consumptiemosselen. Verlies van mosselen als gevolg van stormen treedt voornamelijk op in de winterperiode, terwijl de vraat door krabben in de zomer en het najaar het grootst is. Zaadvisserij vindt, indien er voldoende visbaar zaad is, twee maal per jaar plaats. In het voorjaar en in het najaar. De oogst van mosselen van de percelen van de Waddenzee start in de late zomer en loopt door tot en met de winter (1 april). De leveringen uit de Waddenzee zijn doorgaans iets later dan uit de Oosterschelde (Figuur 27).

Naast deze temporele variatie in mosselbestanden op de percelen is er ook variatie in de ruimtelijke verdeling van mosselen op de percelen binnen de westelijke Waddenzee (Figuur 39). De meeste mosselen worden gevonden op de kweekpercelen onder Terschelling (Oosterom). De opkweek van halfwas tot marktwaardige mosselen vindt met name hier plaats. Gebieden als Balgen en Scheurrak zijn belangrijke gebieden voor de opkweek van mosselzaad tot halfwas.

7.2 Kwaliteit, groei en overleving mosselen percelen versus wild

Het achterliggende idee van mosselcultuur is dat de kweek op mosselpercelen meer en betere mosselen oplevert dan wanneer de mosselen in het wild zouden blijven liggen. Met andere woorden 1 kg mosselzaad levert door de kweek meer en/of betere voor consumptie geschikte mosselen dan 1 kg mosselzaad dat op wilde banken blijft liggen.

Een belangrijke factor voor de mosselkweek is de groei van de mosselen. Hoe sneller mosselen groeien, hoe eerder deze naar de veiling kunnen worden gebracht en hoe minder lang ze het risico lopen te worden opgegeten door predatoren of weg te spoelen tijdens een storm. Tevens zorgen snel groeiende mosselen voor minder ruimtebeslag op de percelen, waardoor deze sneller weer gebruikt kunnen worden voor nieuwe mosselen.

De groei van de mosselen op de percelen vertoont een duidelijke seizoen variatie (De Mesel e.a., 2008). De ontwikkeling van het individuele mosselgewicht over de tijd laat zien dat de individuele mosselen op de kweekpercelen harder groeien dan de mosselen op de wilde banken (PRODUS-3-vakken, Figuur 15). Na de tweede zomer zijn de mosselen op de kweekpercelen ongeveer 50% zwaarder dan de mosselen op de wilde banken. Op de wilde banken (PRODUS-3-vakken) worden in vergelijking met de kweekpercelen wel oudere mosselen gevonden (Figuur 19), maar gemiddeld blijven deze mosselen kleiner dan de mosselen op de percelen.

Ook het verlies van mosselen is gemiddeld lager op de kweekpercelen dan op de wilde banken (Figuur 16). Wel treedt er als gevolg van het uitzaaien van de mosselen op de kweekpercelen en het verplaatsen van de mosselen tussen de kweekpercelen nog extra sterfte op. Na dit zaaiverlies is het gemiddelde verlies van de mosselen op de percelen lager dan op de wilde banken. Het verlies is bij mosselzaad het hoogst, gevolgd door halfwas en consumptie mosselen op de natuurlijke banken, op de percelen is er geen verschil in verlies tussen halfwas en consumptie. Op de wilde banken is het verlies het laagst in de buurt van de Afsluitdijk (Figuur 17). Dit is waarschijnlijk het gevolg van het lagere zoutgehalte dat ertoe leidt dat er minder zeesterren aanwezig zijn en/of dat het foerageren van de zeesterren geremd wordt (Smaal e.a., 2014)

Resumerend is het rendement van 1 kg mosselzaad op kweekpercelen hoger dan dat van 1 kg mosselzaad op wilde banken. Dit verschil wordt groter naarmate de mosselen langer op de percelen liggen omdat dan het relatief effect van het zaaiverlies kleiner wordt en omdat de mosselbiomassa op de percelen in de eerste periode toeneemt terwijl dit op de wilde banken juist afneemt. Een belangrijke factor die hierbij meespeelt is dat de dichtheid van de mosselen op wilde banken aanzienlijk hoger is (tot meer dan 10 keer zo hoog). Door de kweek van mosselen worden er ook mosselen onttrokken uit de Waddenzee doordat er mosselen naar de kweekpercelen in de Oosterschelde worden gebracht en doordat er mosselen worden geoogst. De processen visserij, kweek en afvoer (VKA) leiden in totaliteit niet tot een lager areaal met mosselen dan in een situatie zonder deze processen.

Omdat mosselen op de kweekpercelen gemiddeld beter groeien en het verlies lager is, leidt de mosselkweek tot een hogere mosselbiomassa dan in een situatie zonder kweek. Omdat de aanvangsdichtheid op de percelen in het algemeen lager is dan op de natuurlijke banken neemt ook het totale areaal met mosselen toe (Hoofdstuk 6). Het gebruik van MZI zaad door de mosselkwekers zal dit effect alleen nog maar versterken waarbij ook in jaren dat er geen mosselzaad valt op de bodem, er toch nieuwe mosselen in het systeem terecht komen.

Door Bult e.a. (2004) is berekend op basis van gegevens van 1992 tot 2002 wat het effect van mosselkweek is op het totale mosselbestand in de Waddenzee. Zij concluderen op basis van deze berekening dat na verzaaien naar de Oosterschelde, het bestand op percelen in de Waddenzee

gemiddeld $2.3 \cdot 0.5 = 1.15$ keer zo hoog is dan in een situatie zonder mosselkweek en dat de afvoer van mosselen van de Waddenzee naar de Oosterschelde niet leidt tot een mosselbestand in de Waddenzee dat lager is dan in een situatie zonder kweek.

De gegevens die zijn verzameld in het kader van het PRODUS 1A onderschrijven de conclusies van Bult e.a. (2004). Zowel de groei als de overleving van de mosselen op de kweekpercelen is hoger dan op de wilde banken. Het netto resultaat van groei en overleving op de kweekpercelen in de periode 2004 tot en met 2012 is geschat op 1.6 per jaar terwijl het netto resultaat op de wilde banken in dezelfde periode is geschat op 1.07. Bij een aanname dat 55 % van de mosselen in de Westelijke Waddenzee op percelen ligt leidt de kweek van mosselen in de onderzoeksperiode tot een mosselbestand in de Waddenzee dat gemiddeld ongeveer $1.27 ((0.55 \cdot 1.6 + 0.45 \cdot 1.07) / 1.07)$ keer zo hoog is dan in een situatie zonder kweek.

7.3 Factoren van invloed op het rendement van de mosselen

Het rendement van de mosselkweek is het resultaat van groei (Bijlage H) en verlies. Het verlies van mosselen is hierbij een belangrijke factor. Gedurende de kweekcyclus neemt het vergewicht van een individuele mossel met een factor 10 toe (vanaf de 1^{ste} oogst MZI zaad kan dit zelfs een factor 40 zijn). Het rendement van de mosselkweek is echter aanzienlijk lager dan 10. Dit wordt veroorzaakt door verlies van mosselen doordat zij wegspoelen van de percelen en sterfte (incl. predatie) ter plaatse. Een belangrijke verliesfactor is het verlies na verzaaien. In de eerste vier weken na het verzaaien kan dit verlies oplopen tot 75% (Capelle e.a., 2014). Er zijn diverse predatoren van belang op de kweekpercelen: zeesterren, krabben en eidereenden. De hoeveelheid predatoren is afhankelijk van de locatie. Kwekers hebben mogelijkheden om zeesterren weg te vangen en kunnen ze afdoden door ze in het ruim onder zoetwater te zetten. Krabben kunnen ook worden weggevisst, maar het is niet duidelijk hoe effectief dit is. Als gevolg van sterke stroming of golfwerking kunnen ook mosselen wegspoelen van de percelen. Door middel van byssus draden kunnen de mosselen zich verankeren aan de ondergrond en aan elkaar. Ten slotte kan er ook sterfte optreden als gevolg van een slechte waterkwaliteit (bijvoorbeeld zuurstofloosheid), te weinig voedsel en ziektes.

Om de effecten van de maatregelen door kwekers op het rendement van de mosselen te kunnen beschrijven is in deze studie een eerste aanzet gegeven tot een populatie-dynamisch model waarin groei en overleving wordt meegenomen als functie van de omgevingscondities evenals de activiteiten van de kwekers. Hiermee kan het kweekbestand dynamisch worden beschreven. De resultaten van het model kunnen vooral verbeterd worden door een betere beschrijving van de processen die effect hebben op de overleving. Overleving kan ruimtelijk en temporeel sterk variëren. In het huidige model is gekozen voor een constante (gemiddelde) waarde voor overleving van zaad, halfwas en consumptiemosselen. Verbetering van het model is vooral afhankelijk van meer gedetailleerde waarnemingen van overleving op de percelen.

7.4 Potenties voor verhogen kweekrendement

Rendement is het product van groei en overleving, en wordt voor het grootste gedeelte door de overleving bepaald. Er is een ruimtelijke variatie in groei en overleving van de mosselen op de kweekpercelen. Percelen zijn vaak langs of in een geul gelokaliseerd. Door waterbeweging in de geul wordt het voedsel naar de kweekpercelen getransporteerd. Echter te veel hydrodynamiek kan er ook toe leiden dat de mosselen van de kweekpercelen wegspoelen. Om het rendement te verhogen zal in de eerste instantie het verlies beperkt moeten worden. Dit is vooral van belang in de opkweek van zaad naar halfwas, in die periode is het verlies het grootst en zijn mosselen het meest kwetsbaar, bijvoorbeeld

voor predatie door krabben. In de opkweek van halfwas mosselen naar consumptie mosselen is het van belang te investeren in de groei, omdat: a) verlies onder halfwas mosselen in de regel lager is dan voor mosselzaad en b) het vleesgewicht en de lengte van consumptie mosselen een belangrijke factor is in de uiteindelijk geboden prijs op de veiling. Door mosselen te verplaatsen tussen percelen met verschillende eigenschappen passen mosselkwekers dit principe in de praktijk ook toe. Daarnaast nemen kwekers specifieke maatregelen om vraat door zeesterren zo veel mogelijk te beperken. Deze kweekmethodes resulteren in betere overleving, wat duidelijk blijkt uit de vergelijking met natuurlijke banken (hoofdstuk 5).

Een grote verliespost in de kweekcyclus is sterfte als gevolg van het verzaaien, het zogenaamde zaaiverlies. Dit wordt geïllustreerd in figuur 6, waar zonder zaaiverlies het maximale rendement niet 2.5 van 1 zou zijn, maar 5 van 1. Dit zaaiverlies is dichtheidsafhankelijk, dat wil zeggen dat het zaaiverlies toeneemt met de dichtheid van uitzaaien. Wel moet gerealiseerd worden dat dichtheid en grootte van mosselen bij zaaien een sterk negatief verband laten zien. Hoe kleiner het zaad, hoe meer mosselen er per m² worden uitgezaaid. Dit komt omdat zaaien in de regel op basis van biomassa gebeurt. Zaaiverlies neemt dus af met afnemende zaaidichtheid maar ook met grootte van mosselen bij het zaaien. In een experiment op een droogvallend perceel in de Oosterschelde verminderde het zaaiverlies sterk wanneer dezelfde hoeveelheid mosselen beter uitgespreid werden en dus in een lagere dichtheid per vierkante meter lagen (Capelle e.a., 2014). Naast dichtheidsafhankelijke processen speelt een hoge predatiedruk van strandkrabben in de periode direct na het zaaien een grote rol in het verlies. Een experiment heeft laten zien dat op een droogvallend mossel perceel in de Oosterschelde, krabben verantwoordelijk zijn voor 27%-45% van het verlies in een periode van 5 weken na het zaaien (Scheiberlich, 2013). Voor Menai Strait in Wales is dit verlies op basis van experimenten geschat op 10% over de hele kweekcyclus, van zaad naar consumptie (Murray e.a., 2007). Kweekmaatregelen die in deze eerste periode krabbenpredatie omlaag kunnen brengen kunnen daarom een positief effect hebben op het rendement. Vervolgonderzoek zal aan moeten tonen of het gericht wegvangen van krabben d.m.v. kubben of korven, hieraan bijdraagt. Data uit de Waddenzee geeft de suggestie dat door het wegvangen van krabben, het aantal krabben niet afneemt, maar de gemiddelde grootte wel, dit zal echter nog verder onderzocht moeten worden (Kamermans e.a., 2010; Capelle en Goudswaard, 2012). Ook het mee-zaaien van kokkelschelpen, wat vooral toegepast wordt om wegspoel verlies te voorkomen, kan een remmend effect hebben op krabben predatie, dit zal ook nog nader onderzocht moeten worden.

7.5 Conclusies

Op basis van het de resultaten van het voorliggende rapport kunnen de kennisvragen als volgt worden beantwoord:

Hoe ontwikkelt zich het bestand aan mosselen op de percelen?

Het bestand aan mosselen op percelen varieert sterk van jaar tot jaar samenhangend met de vangsthoeveelheden tijdens zaadvisserij, MZI invang en oogst in de vorm van consumptiemosselen voor de veiling en halfwas mosselen die worden verplaatst naar de Oosterschelde. Het gemiddelde bestand op de kweekpercelen in de Waddenzee in de periode 2004 tot en met 2011 is 35 Mkg. De hoogste bestanden zijn aangetroffen in de jaren 2004, 2009 en 2010 (46.5 – 48.1 Mkg). Het laagste bestand is aangetroffen in 2005 (14.9 Mkg). Er is geen duidelijke trend in het totaal bestand op de kweekpercelen in de Waddenzee.

Wat is de kwaliteit, groei en overleving van mosselen op percelen en in het wild?

De groei en ook de overleving van mosselen op de kweekpercelen in de Waddenzee is hoger dan op de natuurlijke banken. Dit leidt tot een netto resultaat (product van groei en overleving) van 1.6 per jaar voor mosselen op de kweekpercelen ten opzichte van 1.07 voor mosselen op de natuurlijke banken. In

de periode 2004 tot en met 2011 heeft de kweek van mosselen gemiddeld tot een bestand aan mosselen in de westelijke Waddenzee geleidt dat 1.27 keer zo hoog is dan in een situatie zonder kweek. Hoewel mosselen op de natuurlijke banken gemiddeld kleiner zijn dan mosselen op de kweekpercelen is het vleespercentage van mosselen op de kweekpercelen vergelijkbaar met het vleespercentage van mosselen op de natuurlijke banken.

Welke factoren zijn van invloed op het rendement van mosselen?

Groei en overleving bepalen het rendement van de mosselkweek. Groei wordt bepaald door voedselbeschikbaarheid en temperatuur en deze factoren zijn moeilijk door de kweker te beïnvloeden. Overleving is een belangrijke factor door specifieke kweekmaatregelen tot op zekere hoogte wel is te beïnvloeden. Uit dit onderzoek is gebleken dat tot 75% van de mosselen kan verdwijnen in de eerste 4 weken na verzaaien. In deze studie is een eerste aanzet gegeven tot een populatie-dynamisch model voor mosselen op de percelen. Het model is nog niet toereikend om de opbrengsten op de percelen te kunnen voorspellen, maar zal sterk verbeteren als er betere gegevens voorhanden zijn over ruimtelijke en temporele dynamiek in sterfte en voedselbeschikbaarheid.

Wat zijn de mogelijkheden om het kweekrendement te verhogen?

Het kweekrendement kan worden verhoogd door optimalisatie van zaaidichtheid, locatiekeuze van percelen en de bestrijding van predatoren. Door de mosselen geleidelijk en niet te dicht te zaaien kan het zaaiverlies worden beperkt. In de locatiekeuze van percelen zijn zowel de groeiomstandigheden als het risico op wegspoelen bepalend voor het kweekresultaat. De kweker heeft hierin weinig te kiezen aangezien de percelen worden toegewezen door de overheid en de huidige ligging historisch is bepaald. Door gericht aan predator bestrijding te doen (krabben en zeesterren verwijderen) kan de overleving worden verbeterd.

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaat nummer: 124296-2012-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 Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Referenties

- Bult, T. P., M. R. Van Stralen, E. Brummelhuis en D. Baars (2004) Mosselvisserij en - kweek in het sublitoraal van de Waddenzee. RIVO, Rapport.
- Capelle, J. J. en J. W. M. Wijsman (2010) Productiviteit van de mosselkweekcyclus in de Waddenzee. Introductie en verkenning data van mei 2009 tot februari 2010. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C084/10, 47 pagina's.
- Capelle, J. J. en P. C. Goudswaard (2012) Verslag over vangstefficiëntie en bijvangst van krabbenkorven op percelen met MZI zaad in de Waddenzee. IMARES, Rapport.
- Capelle, J. J., J. W. M. Wijsman, T. Schellekens, M. R. Van Stralen, P. M. J. Herman en A. C. Smaal (2014) Spatial organisation and biomass development after relaying of mussel seed. *Journal of Sea Research* 85: 395-403.
- Capelle, J. J., J. W. M. Wijsman en A. C. Smaal (in prep) Biomass production in on-bottom mussel (*Mytilus edulis* L.) culture: which factors determine yield ?
- De Mesel, I., J. W. M. Wijsman en A. Van Gool (2008) Onderzoeksproject Duurzame Schelpdiervisserij (PRODUS). Deelproject 1A. Groeimetingen op percelen in de westelijke Waddenzee. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C023/08, 29 pagina's.
- De Mesel, I., J. W. M. Wijsman en A. Van Gool (2009) Groeimetingen op percelen in de westelijke Waddenzee. Metingen jaargang 2. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C024/09, 21 pagina's.
- De Mesel, I. en J. W. M. Wijsman (2011) Bestandschatting mosselen op percelen in de Oosterschelde (1992 - 2009) en de Waddenzee (2004 - 2009). Wageningen IMARES, Rapport nummer: C076/11, 30 pagina's.
- De Mesel, I., J. W. M. Wijsman, J. Jol en J. Perdon (2011) Onderzoeksproject Duurzame Schelpdiervisserij (PRODUS). Deelproject 1A. Bepaling bestand op de mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2010. IMARES, Rapport nummer: C127/11, 35 pagina's.
- Ferreira, J. G., A. J. S. Hawkins en S. B. Bricker (2007) Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture - the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. *Aquaculture* 264: 160-174.
- Kamermans, P., D. Baars, J. Jol, J. J. Kesteloo en H. Van Der Mheen (2005) LNV bestek mosselen en eidereenden Deelproject 1: Bepaling bestand op mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2004. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV, Rapport nummer: C028/05, 24 pagina's.
- Kamermans, P., M. L. De Jong en M. Van Hoppe (2010) PRODUS 1D. Rendement MZI zaad op percelen: effect van wegvissen van krabben - perceelproef 2009. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C075/10, 25 pagina's.
- Kimura, D. K. (1980) Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fish. Bull.* 77: 765-776.
- Kooijman, S. A. L. M. (1986) Energy budgets can explain body size relations. *Journal of Theoretical Biology* 121: 269-282.
- Kooijman, S. A. L. M. (2000) *Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems*, Cambridge University Press, Great Britain.
- Kooijman, S. A. L. M. (2010) *Dynamic energy budget theory for metabolic organisation*. Cambridge, Cambridge university Press.
- Meijer, W., W. Alblas, D. Van Doorn, D. Van Essen, H. Van Geesbergen, L. Hofstee, H. Van Kersen, H. Oosterveld, N. Van Oostveen, H. J. W. Sas, J. P. Van Soest en F. Wouters (2010) Plan van Uitvoering Convenant transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee Transitie mosselsector, Rapport.
- Murray, L. G., R. Seed en T. Jones (2007) Predicting the impacts of *Carcinus maenas* predation on cultivated *Mytilus edulis* beds. *Journal of Shellfish Research* 26: 1089-1098.
- Saraiva, S., J. van der Meer, S. A. L. M. Kooijman en T. Sousa (2011) Modelling feeding processes in bivalves: A mechanistic approach. *Ecological Modelling* 222: 514-523.
- Scheiberlich, G. H. (2013) Effects of predation of the shore crab (*Carcinus maenas*) on young blue mussels (*Mytilus edulis*). IMARES, Rapport, 43 pagina's.
- Smaal, A. C., J. W. M. Wijsman en M. Van Stralen (2010) Mussel culture and subtidal mussel stock management in the western Wadden Sea: are exploitation and conservation compatible? *Wadden Sea Ecosystems* 26: 95-100.

- Smaal, A. C., J. Craeymeersch, J. Drent, J. M. Jansen, S. Glorius en M. R. Van Stralen (2013) Effecten van mosselzaadvissers op sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee: samenvattend eindrapport. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C006/13, 162 pagina's.
- Smaal, A. C., A. G. Brinkman, T. Schellekens, A. Agüera en M. R. Van Stralen (2014) Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, samenvattend eindrapport. IMARES, Rapport.
- Snijdelaar, M. en T. Greutink (2003) Beleidslijn inzake het verplaatsen van schelpdieren, 1997-2003. Expertisecentrum LNV, Rapport, 31 pagina's.
- Somers, I. F. (1988) On a seasonally oscillating growth function. *Fishbyte* 6: 8-11.
- Van Der Veer, H. W., J. F. M. F. Cardoso en J. R. Van Der Meer (2006) The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species. *Journal of Sea Research* 56: 107-124.
- Van Stralen, M. en H. J. W. Sas (2007) Passende beoordeling van de mosselzaadvissers in het sublitoraal van de Westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2007. MarinX, Rapport nummer: 2007.64, 31 pagina's.
- Van Stralen, M. (2012a) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het najaar van 2012. MarinX, Rapport nummer: 2012.124.2, 15 pagina's.
- Van Stralen, M. (2012b) Invang van mosselzaad in MZI's. Resultaten 2011. MarinX, Rapport nummer: 2012.117, 19 pagina's.
- Van Stralen, M. (2013) Bestandsopname van mosselen op mosselkweekpercelen in de Waddenzee in de winter van 2012-2013. MarinX, Rapport nummer: RAPPORT 2013.125, 10 pagina's.
- Van Stralen, M., D. Van den Ende en K. Troost (2013a) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2013. MarinX, Rapport nummer: 2013.127, 23 pagina's.
- Van Stralen, M. R. (2012c) Passende beoordeling voor de mosselzaadvissers in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het najaar van 2012. MarinX, Rapport nummer: 2012.121.
- Van Stralen, M. R., J. Craeymeersch, J. Drent, S. Glorius, J. M. Jansen en A. C. Smaal (2013b) Effecten van mosselzaadvissers op sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee. Het mosselbestand op de PRODUS-vakken en de effecten van de visserij daarop. MarinX, Rapport nummer: 2013.54.
- Van Stralen, M. R., J. Craeymeersch, J. Drent, S. Glorius, J. M. Jansen en A. C. Smaal (2013c) Het mosselbestand op de PRODUS-vakken en de effecten van de visserij daarop (Mussel stock on experimental PRODUS-plots and fishery effects thereon - in Dutch, with summary in English). MarinX, Rapport.
- Wijsman, J. W. M. en A. C. Smaal (2006) Risk analysis of mussels transfer. Wageningen Imares, Rapport nummer: C044/06, 103 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. en J. Jol (2007a) Onderzoeksproject Duurzame schelpdiervissers (PRODUS). Deelproject 1A: Bepaling bestand mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2006. IMARES, Rapport nummer: C080/07.
- Wijsman, J. W. M. en J. Jol (2007b) Onderzoeksproject Duurzame schelpdiervissers (PRODUS). Deelproject 1A: Bepaling bestand mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2005. IMARES, Rapport nummer: C004/07.
- Wijsman, J. W. M. en J. Jol (2008) Onderzoeksproject Duurzame Schelpdiervissers (PRODUS). Deelproject 1A. Bepaling bestand op de mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2007. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C022/08, 48 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. en J. Jol (2009) Bepaling bestand op de mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2008. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C075/09, 50 pagina's.
- Wijsman, J. W. M., J. Jol en J. Perdon (2010) Bepaling bestand op de mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2009. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C050/10, 50 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. (2011) Dynamic energy budget (DEB) parameters for *Ensis directus*. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C116/11, 39 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. en A. C. Smaal (2011) Growth of cockles (*Cerastoderma edule*) in the Oosterschelde described by a Dynamic Energy Budget model. *Journal of Sea Research* 66: 372-380.
- Wijsman, J. W. M., M. Dedert, T. Schellekens, L. Teal en Y. J. G. Van Kruchten (2012) Adaptive Monitoring Strategies in dredging; Case Study Mussels – Modeling the effect of dredging on filter-feeding bivalves. IMARES, Ecoshape, Rapport nummer: C123/12, 52 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. en J. Jol (2012) Bepaling bestand op de mosselpercelen in de Waddenzee najaar 2011. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C060/12, 36 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. en P. Kamermans (2012) Effecten uitbreiding 3 MZI locaties in Oosterschelde en Waddenzee op draagkracht. IMARES, Rapport nummer: C156/12, 20 pagina's.

Verantwoording

Rapport C047/14

Projectnummer: 4304105011

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: Dr. R.G. Jak
Senior onderzoeker afdeling Maritiem

Handtekening:



Datum: 1 april 2014

Akkoord: Dr. Ir. L.J.W van Hoof
Interim hoofd afdeling Delta

Handtekening:



Datum: 1 april 2014

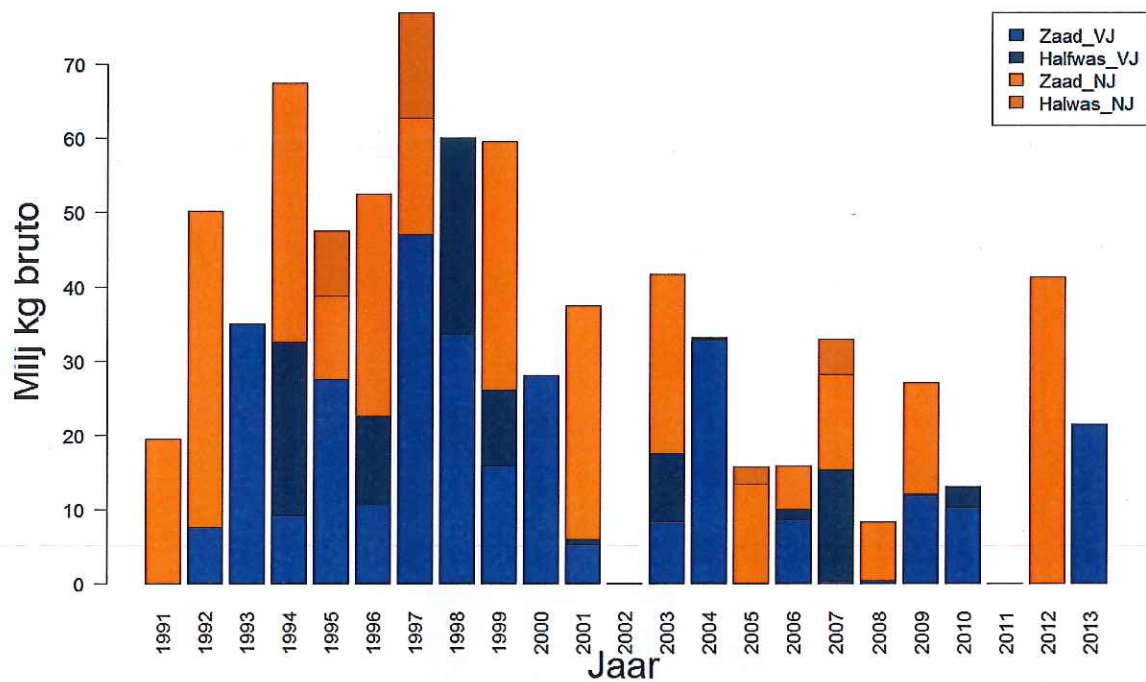
Bijlage A. Zaadvisserij

Visserij op mosselzaad vindt plaats om aan grondstof te komen dat kan worden uitgezaaid op de percelen. De visserij vindt voornamelijk plaats in de Waddenzee. In de Oosterschelde, Noordzeekustzone en Westerschelde kan incidenteel op mosselzaad worden gevestigd als daar zaadval heeft plaatsgevonden. Het zaad dat wordt opgevestigd buiten de Waddenzee mag zonder vergunning niet naar de Waddenzee worden verplaatst. Mogelijk probleem is hierbij het risico op de introductie van exoten (Snijdelaar en Greutink, 2003). De visserij in de Waddenzee vindt plaats in de open gebieden in het sublitoraal van de Westelijke Waddenzee in het voorjaar en in het najaar. In het verleden werd er ook gevestigd in de litorale gebieden in de Westelijke en Oostelijke Waddenzee.

De najaarsvisserij richt zich op het zaad en eventueel halfwas op de instabiele banken. Voorafgaande aan de visserij wordt er een survey uitgevoerd waarin de omvang (biomassa/oppervlakte), de samenstelling (zaad/halfwas) en de ligging van de mosselbanken wordt geïnventariseerd (e.g. Van Stralen, 2012a). Op basis van de resultaten wordt bepaald hoeveel bevestigbare ($> 0.15 \text{ kg m}^{-2}$) mosselen er in de instabiele gebieden liggen. Voor het opvissen van deze mosselen moet een vergunning worden verleend en is een passende beoordeling nodig (e.g. Van Stralen, 2012c). De visserij geschiedt volgens een vooraf opgesteld visplan

De voorjaarsvisserij richt zich op de zaad en halfwas mosselen die zijn blijven liggen na de najaarsvisserij en die de winter hebben overleefd en ook hier op de plaatsen waar visbare dichtheden mosselen ($> 0.15 \text{ kg m}^{-2}$) voorkomen. De sector moet via boekhouding aan kunnen tonen dat de totale mosselzaadvangst in het voorjaar niet leidt tot minder biomassa aan mosselen in de Waddenzee in vergelijking tot een situatie waarin geen voorjaarsvisserij plaatsvindt. Deze berekening wordt uitgevoerd met het zogenaamde VKA model (Vissen, Kweken, Afvoer) (Van Stralen en Sas, 2007). Ook voor de voorjaarsvisserij is een vergunning nodig en wordt gevestigd volgens een vooraf opgesteld visplan.

De visserij in de Waddenzee varieert sterk van jaar tot jaar (Figuur 24). In de periode van 1991 tot en met 2012 is er in het voorjaar iets meer opgevestigd dan in het najaar (gemiddeld respectievelijk 18.0 en 16.8 miljoen kg per jaar). Tot 2001 werd er vrijwel ieder jaar meer dan 20 miljoen kg opgevestigd, met een uitschieter in 1997 waar er in totaal ongeveer 77 miljoen kg is opgevestigd. Na 2001 is de opgevestigde hoeveelheid variabel, met goede jaren (2003, 2004, 2007, 2009 en 2012) maar ook met hele slechte jaren (2002, 2005, 2006, 2008, 2010 en 2011). De afgelopen 10 jaar (2002 tot en met 2012) is er gemiddeld 20.6 miljoen kg per jaar gevestigd.

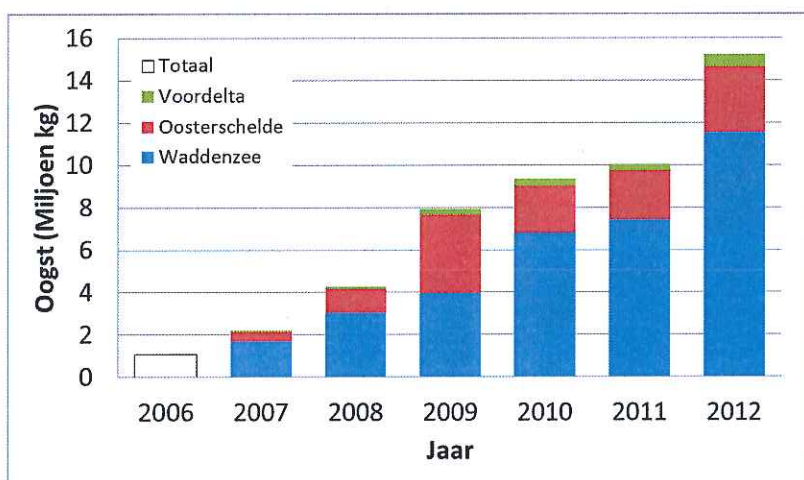


Figuur 24: Gegevens zaadvissers (miljoen kg bruto) in de Waddenzee vanaf 1991 tot en met voorjaar 2013. Op basis van de zaadinventarisatie is er een onderverdeling gemaakt tussen halfwasmosselen en zaad.

Bijlage B. MZI oogst

Naast de visserij op wilde banken in de Waddenzee wordt er de laatste jaren ook meer en meer mosselzaad ingewonnen met behulp van de Mosselzaad-invang systemen. Deze systemen liggen zowel in de Waddenzee als in de Oosterschelde en de Voordelta. De oogst van de MZI's vindt plaats aan het eind van de zomer. De MZI-oogst uit de Oosterschelde en de Voordelta mag vanwege het risico op de insleep van exoten niet naar de Waddenzee worden gebracht.

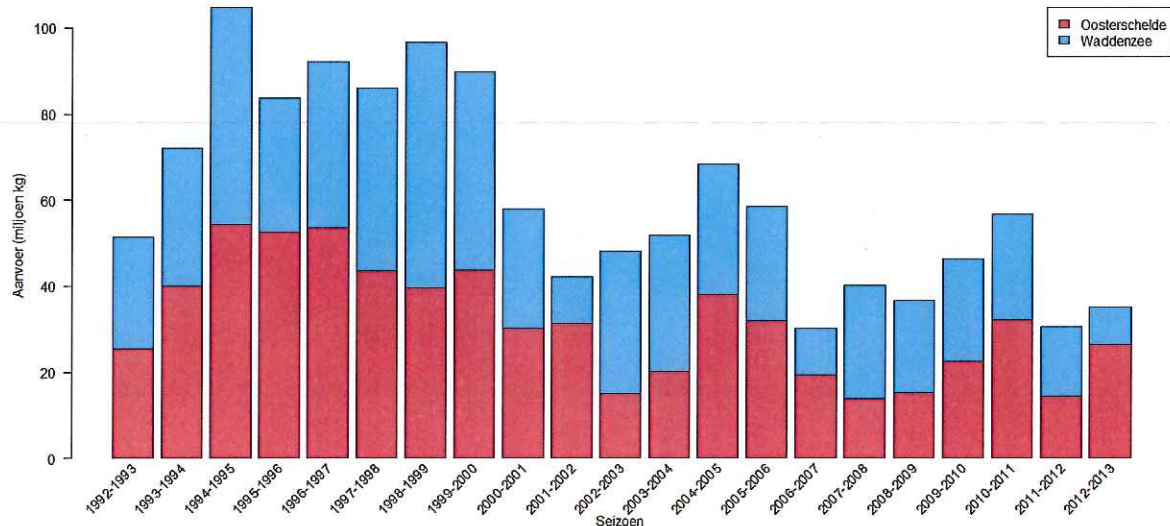
De totale oogst aan MZI mosselen is sterk toegenomen van ongeveer 1 miljoen kg in 2006 naar meer dan 15 miljoen kg in 2012. In de Waddenzee is de oogst toegenomen van 1.7 miljoen kg in 2007 naar 11.5 miljoen kg in 2012.



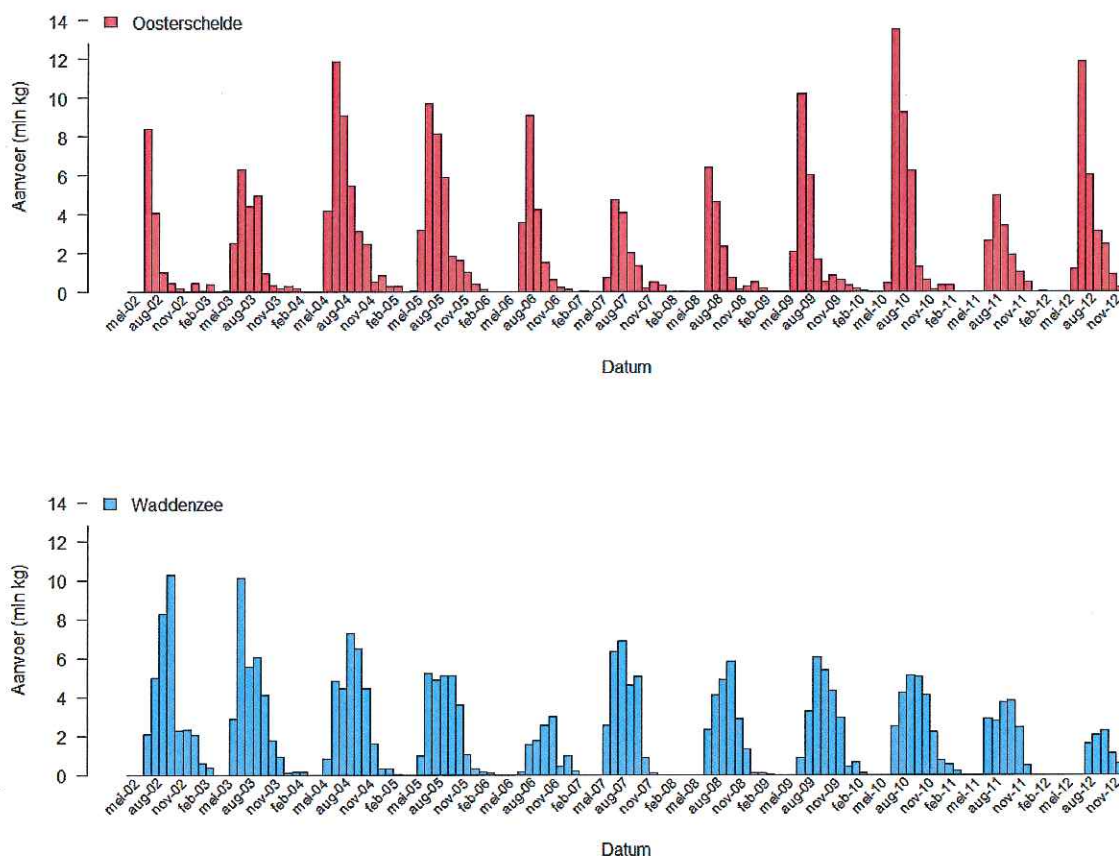
Figuur 25 Oogst van mosselzaad in MZI's vanaf 2006 (Van Stralen, 2012b; Wijsman en Kamermans, 2012).

Bijlage C. Veilinggegevens

De mosselen die worden geoogst van de percelen in de Waddenzee en de Oosterschelde worden verhandeld via de veiling in Yerseke. De totale levering aan de veiling varieert van jaar tot jaar (Figuur 26). In de figuur is een duidelijke omslag te zien na het seizoen 1992-1993. In de periode tot 2000 was de totale levering aan de veiling per seizoen doorgaans meer dan 80 miljoen kg (netto). In de periode daarna is de totale productie afgenomen naar gemiddeld 46.3 miljoen kg per seizoen. De levering uit de Oosterschelde na 2000 komt qua hoeveelheid overeen met die van de Waddenzee (respectievelijk 23.9 en 22.4 miljoen kg). Naast de Oosterschelde en de Waddenzee worden er aan de veiling ook mosselen verhandeld uit het buitenland (Duitsland, Ierland, Verenigd Koninkrijk) die als Zeeuwse mosselen worden verkocht (Wijsman en Smaal, 2006).



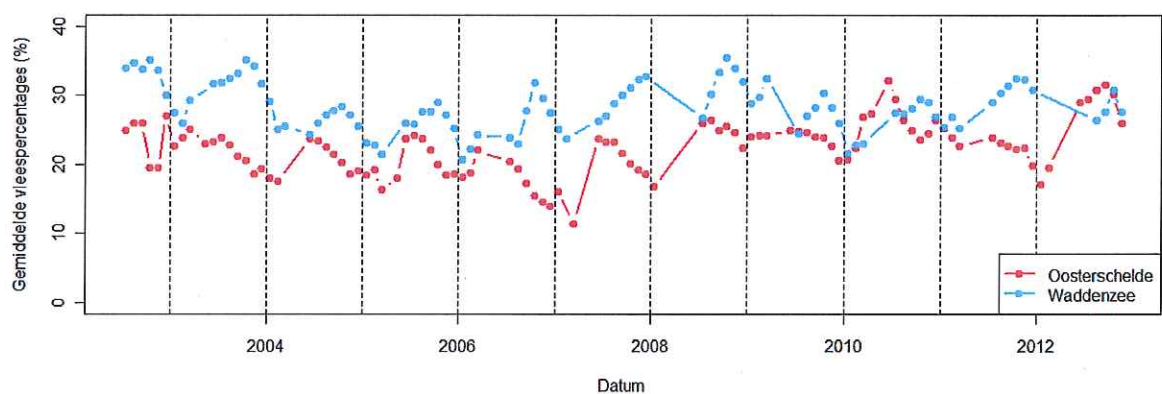
Figuur 26 Levering (Netto) van mosselen vanuit de Waddenzee en Oosterschelde van het seizoen 1992 -1993 tot en met het seizoen 2012-2013. Het seizoen loopt tot 1 mei.



Figuur 27 Maandgemiddelde levering (Netto) van mosselen vanuit de Waddenzee en Oosterschelde door het seizoen van 2002 tot en met december 2012.

Er is een opvallend verschil in de leveringen door het seizoen heen tussen de Oosterschelde en de Waddenzee. Uit de Oosterschelde begint de levering doorgaans vroeg (juni) en neemt daarna snel af en wordt geleidelijk overgenomen door leveringen uit de Waddenzee. In de late zomer en het najaar worden vooral mosselen uit de Waddenzee geleverd.

Dit patroon is deels te verklaren aan de hand van de vleesgewichten van de mosselen. Over het algemeen is het vleespercentage in de Waddenzee hoger dan in de Oosterschelde (Figuur 28). Opvallend zijn de lage vleespercentages in de Oosterschelde in de jaren 2006 en 2007. In de Oosterschelde neemt het vleespercentage door het seizoen doorgaans af terwijl het vleespercentage in de Waddenzee toeneemt. Dit is in overeenstemming met het gegeven dat de leveringen uit de Oosterschelde eerder in het seizoen op gang komt dan in de Waddenzee. Het jaar 2010, maar ook 2012 waren zeer goede jaren wat betreft vleespercentages in de Oosterschelde. In het begin van het seizoen van deze jaren was het gemiddelde vleespercentage in de Oosterschelde zelfs hoger dan in de Waddenzee.

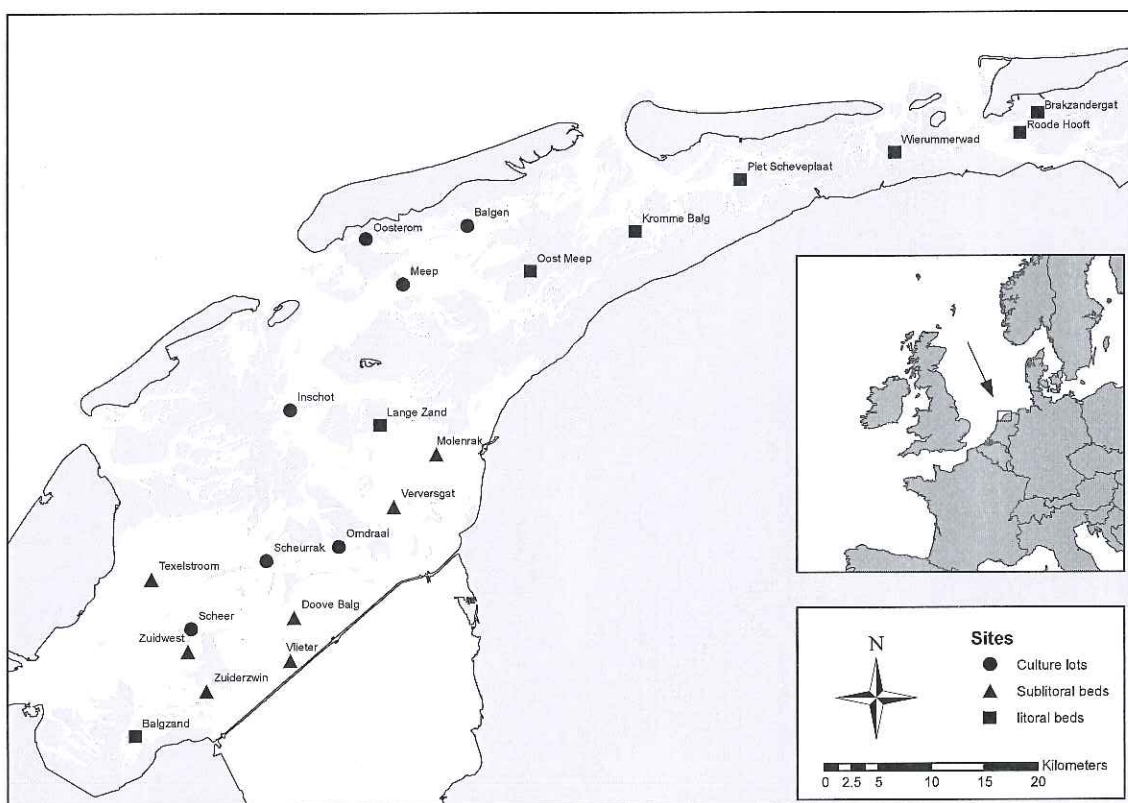


Figuur 28 Maandelijks gewogen gemiddelde vleespercentages van de leveringen uit de Oosterschelde en de Waddenzee.

Bijlage D. Groei en kwaliteit mosselen

De groei en de kwaliteit (vleespercentage) van de mosselen op de percelen wordt voor een belangrijk deel bepaald door de omgevingscondities. In deze bijlage is de kwaliteit van de mosselen op de percelen vergeleken met de kwaliteit van de mosselen op litorale en sublitorale natuurlijke banken in de Waddenzee. Het onderzoek is uitgevoerd van 2004 tot 2006 en laat voor deze jaren zien dat er in de opgemeten mosselen geen duidelijk verschil is tussen de mosselen op de kweekpercelen en natuurlijke banken als het gaat om het vleespercentage (maat voor de kwaliteit) van de mosselen. Wel zijn de mosselen die verzameld zijn op de percelen groter en dus zwaarder dan de mosselen op de natuurlijke banken. Verder valt op dat de mosselen op de litorale natuurlijke banken een stevigere schelp hebben dan de sublitorale mosselen. Deze mosselen groeien in het algemeen langzamer en zijn beter bestand tegen extremere natuurlijke condities.

Daarbij moet worden opgemerkt dat er een ruimtelijke variatie zit in de ligging van de kweekpercelen en de natuurlijke mosselbanken (Figuur 29). Drie van de zeven kweekpercelen die in de studie zijn onderzocht lagen onder Terschelling terwijl de natuurlijke sublitorale banken meer zuidelijk lagen, boven de Afsluitdijk. Natuurlijke litorale banken waren vooral meer naar het Oosten te vinden. Er zijn ruimtelijke verschillen in zoutgehalte en voedselbeschikbaarheid in de Waddenzee.



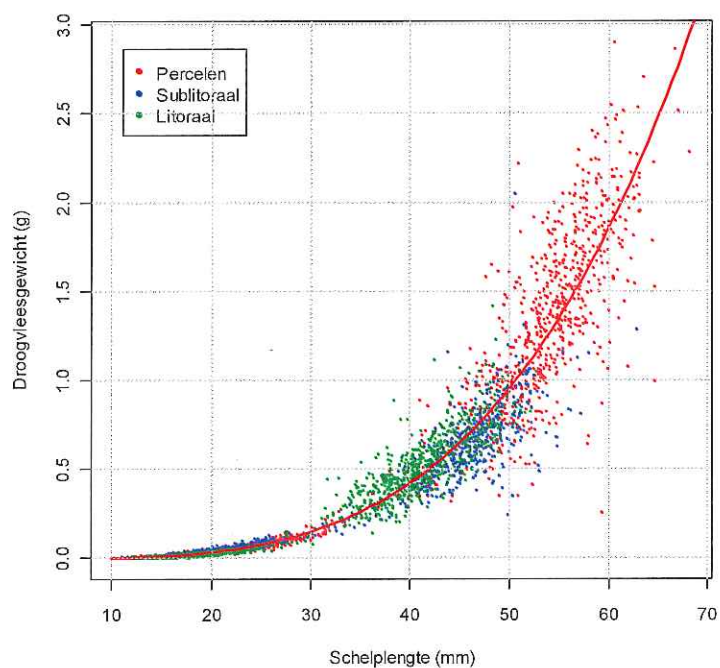
Figuur 29: Overzicht van monitoringslocaties op kweekpercelen (bolletjes), litorale banken (vierkantjes) en sublitorale banken (driehoekjes).

Van het najaar 2004 tot en met het voorjaar 2006 zijn er mosselen verzameld van mosselpercelen, litorale banken en sublitorale banken in de Waddenzee (Figuur 1). De mosselen zijn verzameld met een 1 meter kor. De mosselen zijn random verzameld uit het monster. De mosselen zijn verzameld in het

voorjaar (februari) en in het najaar (november). Van iedere individuele mossel is de schelp lengte (mm) bepaald, drooggewicht van het vlees en het drooggewicht van de schelp.

Tabel 12: Overzicht aantal mosselen geanalyseerd van percelen, litorale banken en sublitorale banken in het najaar 2004 tot en met voorjaar 2006

<i>Locatie</i>	<i>Type</i>	<i>Najaar 2004</i>	<i>Voorjaar 2005</i>	<i>Najaar 2005</i>	<i>Voorjaar 2006</i>
Balgen	Perceel	125	20	124	123
Balgzand	Litoraal	120	125		
Brakzandergat	Litoraal			125	50
Doovebalg	Sublitoraal	125	50		
Inschot	Perceel	123	50	123	125
Krommebalg	Litoraal	124	110		
Langezand	Litoraal	124	50		
Meep	Perceel	125	50		
Molenrak	Sublitoraal	124	125		
Omdraai	Perceel		50		
Oosterom	Perceel	123	78	124	124
Oostmeep	Litoraal	124			
P. scheveplaat	Litoraal	124	80		
Rode Hoofd	Litoraal			125	24
Scheer	Perceel	120	49	125	124
Scheurrak	Perceel	125		125	123
Texelstroom	Sublitoraal			224	245
Verversgat	Sublitoraal	123	124		
Vlieter	Sublitoraal	123	50		
Wierummerwad	Litoraal			119	50
Zuiderzwin	Sublitoraal			123	125
Zuidwest	Sublitoraal			250	243

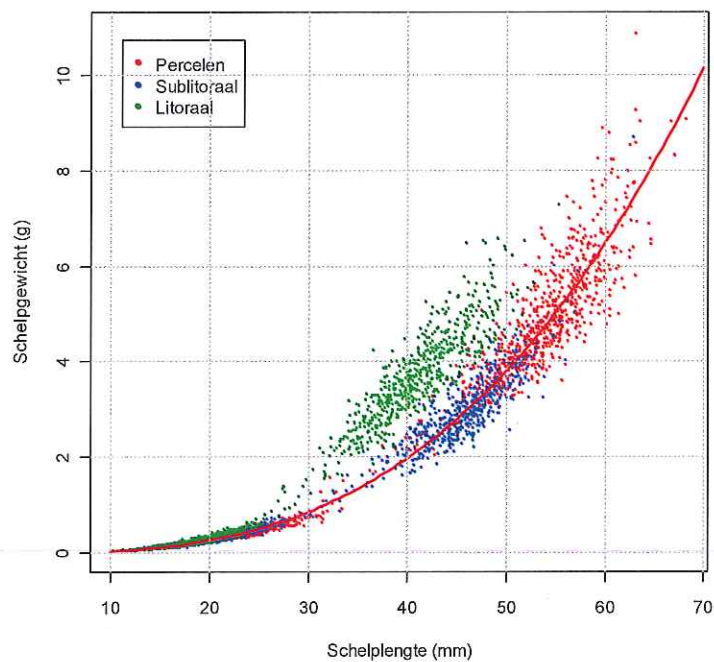


Figuur 30: Droogvleesgewicht als functie van schelplengte voor percelen (rood), sublitorale banken (blauw) en litorale banken (groen). De regressielijn is gebaseerd op de data afkomstig van de percelen

Het droogvleesgewicht (DW, g) is gerelateerd aan de schelplengte (mm) middels de allometrische relatie:

$$DW = 6.177 \times 10^{-7} \times L^{3.643} \quad (R^2=0.97)$$

eq. 12



Figuur 31: Schelpgewicht als functie van schelpenlengte voor percelen (rood), sublitorale banken (blauw) en litorale banken (groen). De regressielijn is gebaseerd op de data afkomstig van de percelen

In Figuur 3 is het schelpgewicht (g) uitgezet tegen de schelpenlengte. Opvallend hier is dat de mosselen uit het litoraal een relatief dikke schelp hebben in vergelijking met de mosselen in het sublitoraal. Het schelpgewicht (g) van de mosselen op de percelen is gerelateerd aan de schelpenlengte (mm) middels de allometrische relatie:

$$DW = 4.225 \times 10^{-5} \times L^{2.917} \quad (R^2=0.99) \quad \text{eq. 13}$$

Bijlage E. Voedsel en temperatuur

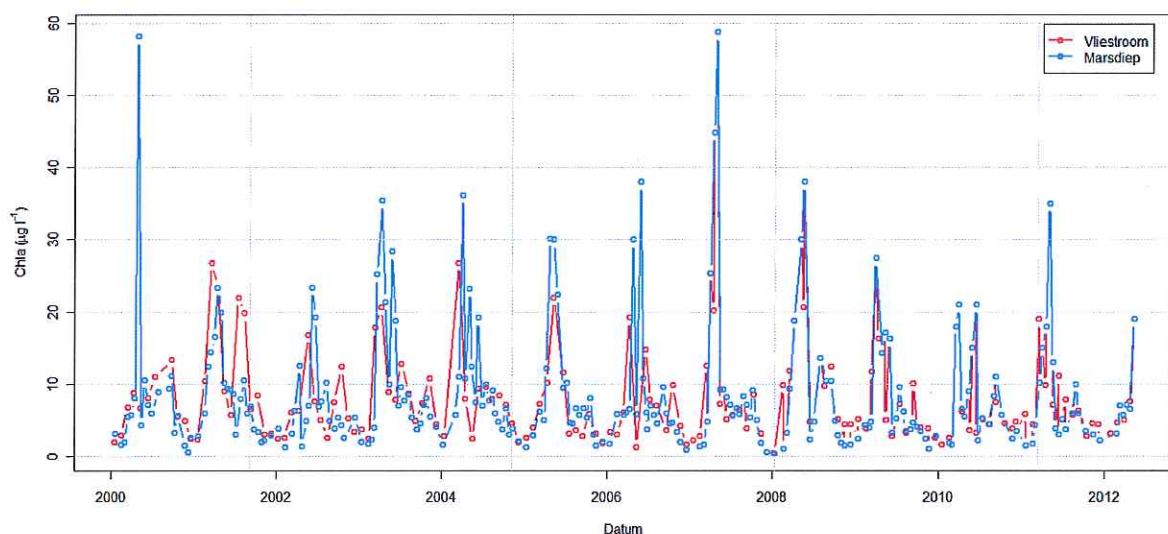
Groei van schelpdieren is in grote mate afhankelijk van het voedsel en de temperatuur. Het voedsel van schelpdieren bestaat voornamelijk uit algen. Detritus (dood organisch materiaal) kan ook worden gegeten. Mosselen filteren het voedsel uit de water kolom met hun kieuwen (e.g. Wijsman e.a., 2012). De hoeveelheid algen in de waterkolom wordt doorgaans uitgedrukt in concentratie chlorofyl-a ($\mu\text{g l}^{-1}$). Voor deze studie zijn de volgende gegevens gedownload van waterbase (live.waterbase.nl, Figuur 32)

- Chlorofyl-a (Chl-a, $\mu\text{g l}^{-1}$) voor de locaties Vliestroom en Marsdiep noord.
- Particulair Organisch Materiaal (POM mg l^{-1}) voor de locaties Vliestroom en Marsdiep noord.
- Totaal Particulair Materiaal (TPM mg l^{-1}) voor de locaties Vliestroom en Marsdiep noord.
- Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) voor de locaties Kornwerderzand buiten en Den Helder steiger



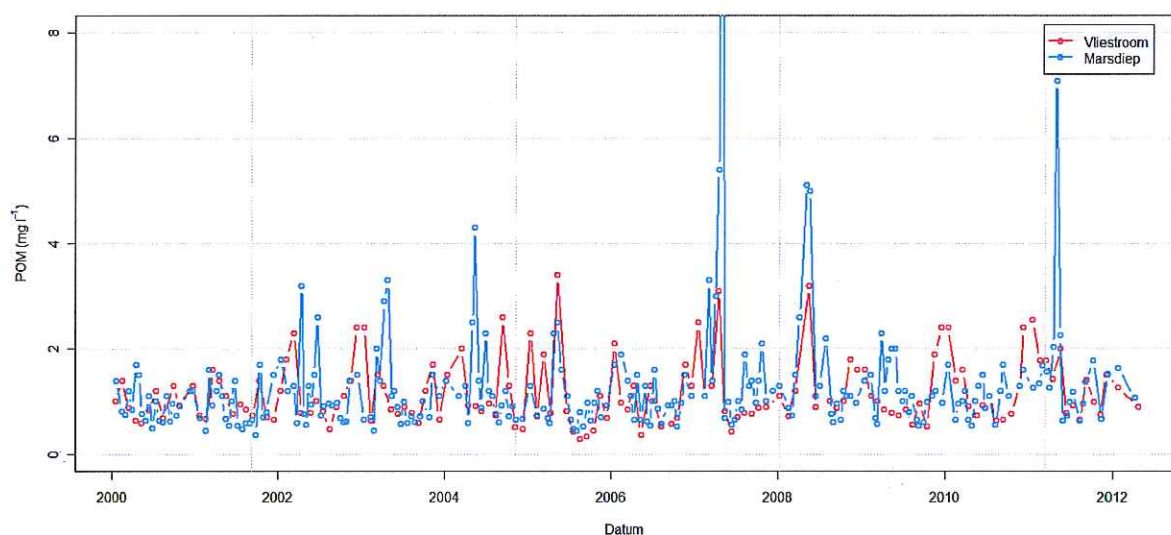
Figuur 32: Meetlocaties waterbase data (live.waterbase.nl) voor de westelijke Waddenzee die zijn gebruikt in deze studie. De rode locaties zijn gebruikt voor waterkwaliteit (Marsdiep noord en Vliestroom) en de blauwe locaties (Den Helder, veersteiger en Kornwerderzand buiten) zijn gebruikt voor water temperatuur.

De gemiddelde chlorofyl concentratie voor de locatie Marsdiep is $8.75 \mu\text{g l}^{-1}$ (stdev $9.07 \mu\text{g l}^{-1}$). Dit komt overeen met de concentraties op de locatie Vliestroom (gemiddeld $8.04 \mu\text{g l}^{-1}$, stdev $7.5 \mu\text{g l}^{-1}$). De concentratie piekt in het voorjaar. Na de zomer is er vaak nog een kleinere piek in chlorofyl concentratie. Er zijn weinig opvallende verschillen tussen de beide locaties.



Figuur 33: Chlorofyl-a concentratie in de waterkolom voor de locaties Vliestroom en Marsdiep. Gegevens zijn afkomstig van waterbase (live.waterbase.nl).

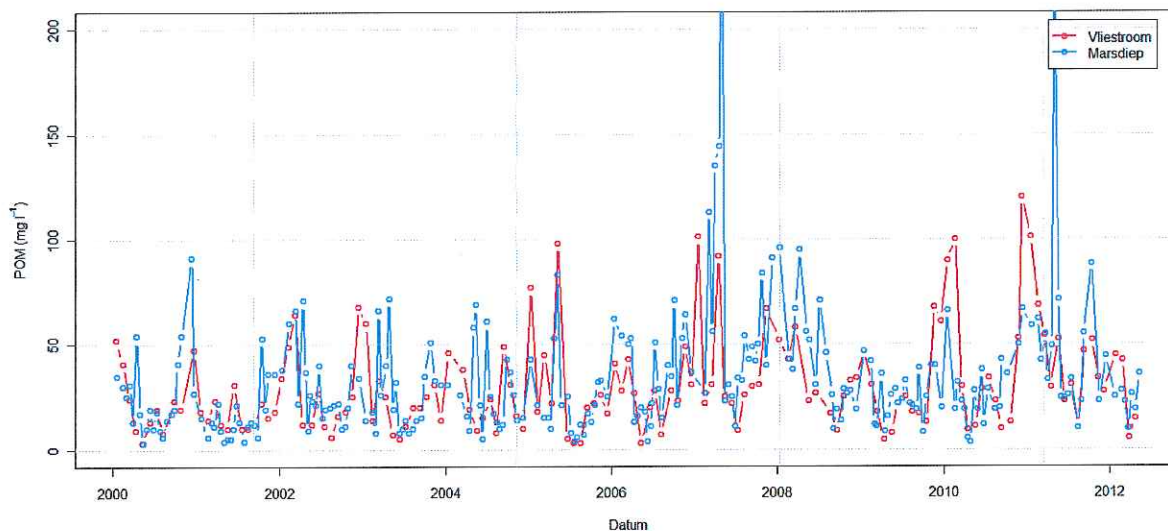
De POM concentratie vertoont geen duidelijke seizoensdynamiek (Figuur 34). Wel zijn er in 2007 en 2011 zeer hoge waarden waargenomen op de locatie Marsdiep. Deze pieken vallen samen met een zeer hoge concentratie in Totaal Particulair Materiaal (Figuur 35) en is mogelijk het resultaat van opwerveling van sediment bijvoorbeeld door storm. De gemiddelde concentratie op de locatie Vliestroom is 1.15 mg l^{-1} (Stdev = 0.61 mg l^{-1}). Op de locatie Marsdiep is de gemiddelde concentratie iets lager (1.28 mg l^{-1} stdev 1.31 mg l^{-1}).



Figuur 34: Particulair Organisch Materiaal (POM) concentratie (mg l^{-1}) in de waterkolom voor de locaties Vliestroom en Marsdiep. Gegevens zijn afkomstig van waterbase (live.waterbase.nl).

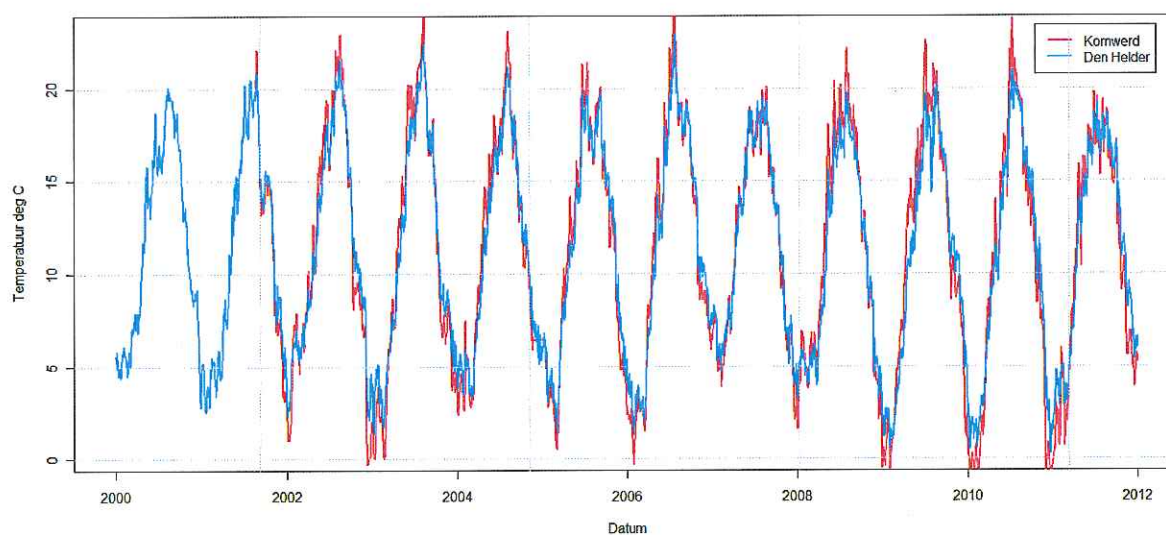
De concentratie aan Totaal Particulair Materiaal (TPM) wordt sterk beïnvloed door weersomstandigheden. In de herfst en de winter is de concentratie doorgaans hoger dan in de zomer (Figuur 35). Zeer hoge concentraties zijn waargenomen op de locatie Marsdiep in 2007 (298 mg l^{-1}) en 2011 (216 mg l^{-1}). Zowel

de gemiddelde concentratie als de variatie in TPM voor de locatie Marsdiep is iets hoger (32.88 mg l^{-1} , stdev. 30.75 mg l^{-1}) dan op de locatie Vliestroom (29.93 mg l^{-1} , stdev. 22.95 mg l^{-1})



Figuur 35: Totaal Particulair Materiaal (TPM) concentratie (mg l^{-1}) in de waterkolom voor de locaties Vliestroom en Marsdiep. Gegevens zijn afkomstig van waterbase (live.waterbase.nl).

Temperatuurgegevens waren niet in voldoende mate beschikbaar voor de locaties Vliestroom en Marsdiep. Er is daarom gebruik gemaakt van de temperatuurgegevens van de locaties Kornwerderzand buiten (bij de afsluitdijk) en Den Helder steiger (Figuur 32). Op locatie Kornwerderzand varieert de watertemperatuur van -2 tot $24.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Bij de locatie Den Helder steiger is de variatie in watertemperatuur iets minder (0.3 tot $23.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$).



Figuur 36: Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) in de waterkolom voor de locaties Kornwerderzand buiten en Den Helder steiger. Gegevens zijn afkomstig van waterbase (live.waterbase.nl).

In deze studie is gebruik gemaakt van de waterkwaliteit gegevens van de locatie Vliestroom en de temperatuurgegevens van de locatie Kornwerderzand buiten.

Bijlage F. Bestanden op percelen in de Waddenzee

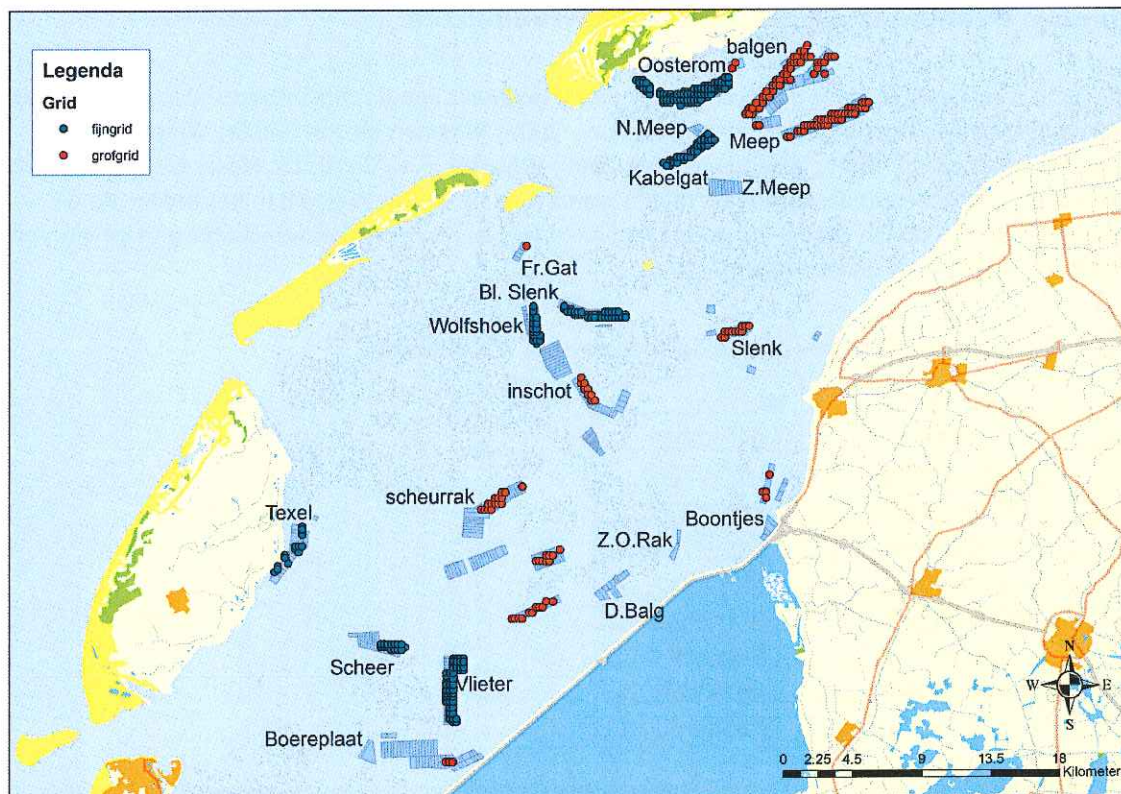
Sinds 2004 is er jaarlijks een kwantitatieve schatting gemaakt van de mosselbestanden op de percelen in de Waddenzee tijdens het najaar (Kamermans e.a., 2005; Wijsman en Jol, 2007a; Wijsman en Jol, 2007b; Wijsman en Jol, 2008; Wijsman en Jol, 2009; Wijsman e.a., 2010; De Mesel e.a., 2011; Wijsman en Jol, 2012). Deze bestandschattingen vinden plaats vlak na de zaadvisserij in het najaar en de belangrijke verplaatsingen (Tabel 2), en hebben als doel een representatieve schatting te geven van de mosselbestanden die de winter ingaan.

Tabel 13: Overzicht periodes perceelbemonsteringen Waddenzee

Jaar	Van	tot
2004	27 oktober	2 december
2005	14 november	15 december
2006	22 november	13 december
2007	26 november	11 december
2008	24 november	5 december
2009	23 november	8 december
2010	29 november	15 december
2011	23 november	6 december
2013	3 januari	10 januari

De ligging van de monsterpunten op de percelen zijn bepaald volgens een regelmatig grid. In de gebieden, Texel, Scheer, Vlieter, Wolfshoek, Blauwe Slenk, Kabelgat en Oosterom is met een twee keer zo fijn grid bemonsterd als in de overige gebieden (Figuur 37). In de gebieden waar door de visserijkundig ambtenaar (Nico Laros) is ingeschat dat er geen mosselen lagen is er niet bemonsterd. Ieder jaar zijn er gemiddeld 450 locaties bemonsterd. In 2004 en 2005 zijn er minder dan 400 locaties bemonsterd. Bij een aantal van 400 locaties kan het totale bestand op de percelen worden geschat met een onzekerheid van ongeveer 20% (Wijsman en Jol, 2009).

Voor de bemonstering in 2013 is een alternatieve methode gebruikt. Tijdens deze bemonstering zijn de monsters niet uitgezocht per monsterlocatie, maar zijn de happen gepooled tot een verzamelmonster per dag (Van Stralen, 2013).



Figuur 37: Overzicht perceelgebieden in de westelijke Waddenzee en het monstergrid voor het jaar 2011

Tabel 14: Overzicht locaties perceelbemonsteringen Waddenzee

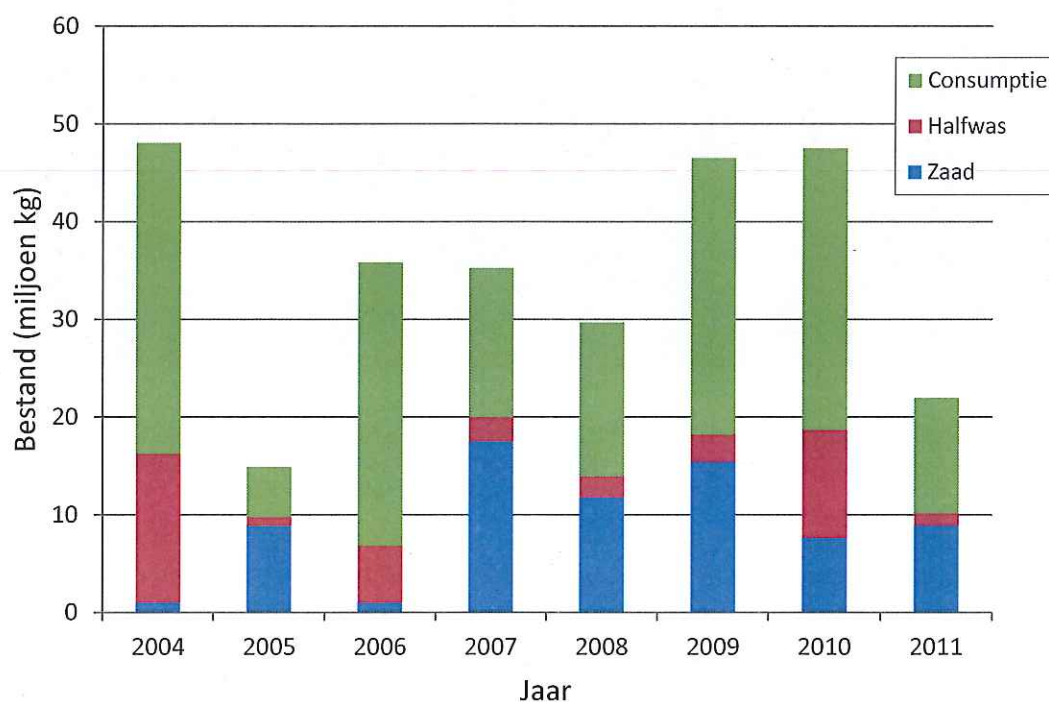
Jaar	Aantal locaties
2004	382
2005	385
2006	422
2007	507
2008	483
2009	486
2010	465
2011	469

Op ieder monsterpunt zijn met een Van Veen bodemhapper 5 monsters genomen met ieder een oppervlakte van 0.055 m². De happen zijn samengevoegd tot één mengmonster en gespoeld over een zeef met een maaswijdte van 2 mm. De mosselen zijn op basis van de schelpkleur en grootte onderverdeeld in zaad en meerjarige mosselen. Vervolgens is het zaad onderverdeeld in twee lengteklassen (groter en kleiner dan 1.5 cm) en de meerjarige mosselen zijn onderverdeeld in twee lengteklassen (kleiner dan 4.5 cm en groter dan 4.5 cm). De meerjarige mosselen kleiner dan 4.5 cm zijn gerekend tot halfwas mosselen en de meerjarige mosselen groter dan 4.5 cm zijn gerekend tot

consumptiemosselen. In totaal zijn er dus 4 klassen onderscheiden:

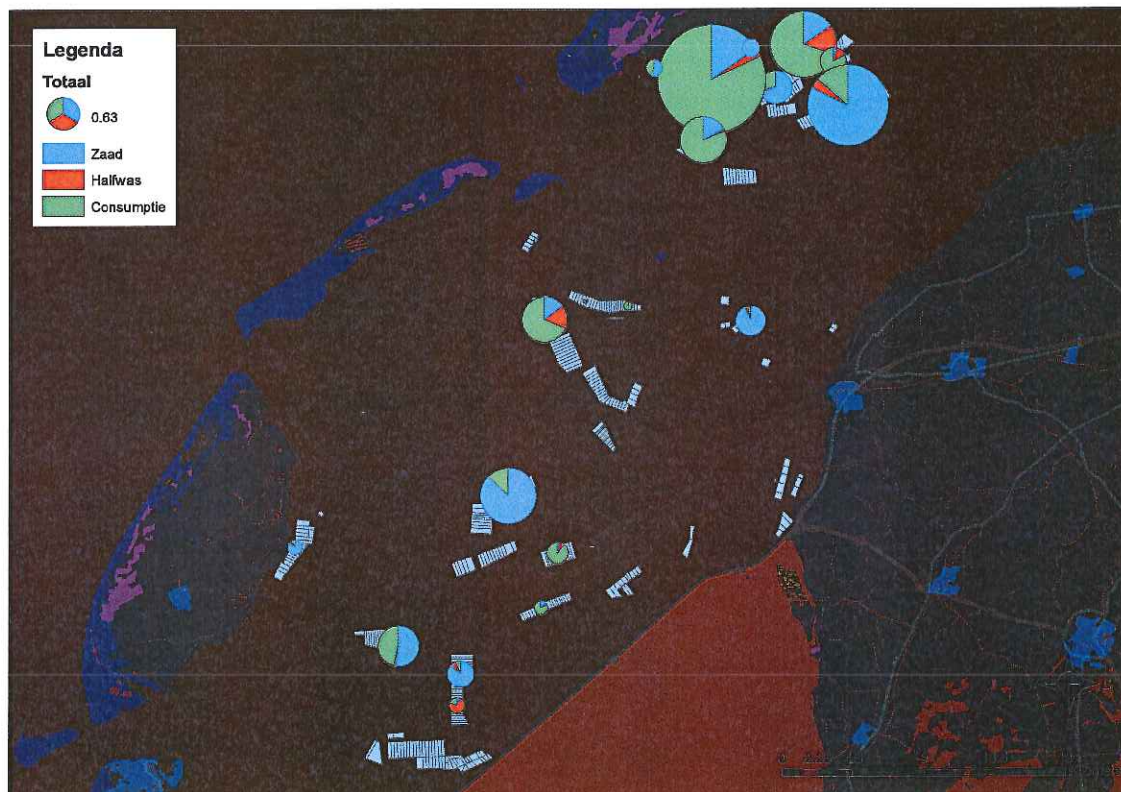
1. Zaad met schelp lengte ≤ 1.5 cm
2. Zaad met schelp lengte > 1.5 cm
3. Meerjarige mosselen met schelp lengte ≤ 4.5 cm (halfwas)
4. Meerjarige mosselen met schelp lengte > 4.5 cm (consumptie)

Het gemiddelde bestand aan mosselen in de Waddenzee in de periode 2004 – 2011 varieert van 14.89×10^6 kg tot 50.28×10^6 kg en bedraagt gemiddeld 35×10^6 kg. In 2012 is er een inventarisatie uitgevoerd door bureau Marinix. Het totale mosselbestand is voor dat jaar geschat op 46.7×10^6 kg (Van Stralen, 2013). Uit de beschikbare gegevens blijkt dat de variatie in de biomassa van de mosselbestanden op de percelen in de Waddenzee van jaar tot jaar varieert. De variatie coëfficiënt over de periode is 0.35. In 2005 en 2011 lagen erg relatief weinig mosselen. De verhouding tussen consumptiemosselen, halfwas en zaad kan sterk variëren van jaar tot jaar.



Figuur 38: Schatting van het totale bestanden zaad, halfwas en consumptiemosselen (miljoen kg vers) op de percelen in de westelijke Waddenzee tijdens het najaar (Wijsman en Jol, 2012).

Er is ook een ruimtelijke verdeling van de mosselen op de percelen. In 2011 bijvoorbeeld lagen de meeste mosselen in het noordelijke gebied, onder Terschelling. Balgen, Botslenk en Gat van Twaalf, waarbij de laatste voornamelijk is gebruikt voor zaad. Ook lag er relatief veel zaad in Westkom en Scheer.



Figuur 39: Ruimtelijke verdeling van de bestanden aan zaad, halfwas en consumptiemosselen over de verschillende perceelblokken in de Waddenzee in het najaar van 2011 (Wijsman en Jol, 2012).

Er is ook een verschil in kwaliteit (uitgedrukt in vleespercentage) van de mosselen in de verschillende gebieden. Goede kwaliteit consumptiemosselen waren in 2011 te vinden in Gat van twaalf (28.7%), Balgen Noord (29.4%) en Balgen Zuid (28.4%). In de Omdraai, Scheer en Wolfshoek hadden de consumptiemosselen de laagste vleespercentages (respectievelijk 21.6%, 24.1% en 24.1%).

In 2011 had het zaad een gemiddeld vleespercentage van 18.9 %, iets hoger dan het jaar ervoor (18.3 %). In 2011 was het gemiddelde vleesgewicht van de halfwasmosselen 17.8% en de consumptiemosselen 26.12 % terwijl in 2009 en 2010 de vleespercentages van de consumptiemosselen respectievelijk 20.5 en 21.1 % waren. Mogelijk is het goede vleespercentage van de consumptiemosselen in 2011 te verklaren door de beperkte hoeveelheid mosselen dat in dat jaar op de percelen lag waardoor er minder concurrentie was om het beschikbare voedsel.

Het gemiddeld versgewicht van het zaad op de percelen was ongeveer 2 gram. Het gemiddeld versgewicht van de halfwas was ongeveer 7 gram en de consumptiemosselen waren ongeveer 17 gram.

Bijlage G. Verlies

Onder verlies wordt verstaan het verdwijnen van mosselen van de percelen door predatie (krabben, vogels, zeesterren, etc.), natuurlijke sterfte en het wegspoelen van de mosselen van de percelen door de stroming en stormen. In dit onderzoek wordt het resultaat van al deze factoren mortaliteit genoemd.

Metingen op percelen in de Waddenzee in de periode van de zomer van 2009 tot en met de zomer van 2012 laten zien dat de gemiddelde mortaliteit van de mosselen ongeveer 0.0045 d^{-1} is. De mortaliteit in het voorjaar is het laagst (0.001 d^{-1}). In de herfst is de mortaliteit het hoogste (0.006 d^{-1}). Mortaliteit treedt voornamelijk op na het uitzaaien en neemt af met de grootte van de mosselen. In dit onderzoek is voor zaad een mortaliteit aangenomen van 0.01 d^{-1} . Voor halfwas is een mortaliteit van 0.0045 d^{-1} en voor consumptiemosselen van 0.003 d^{-1} gekozen.

Bijlage H. Groei en ontwikkeling van mosselen

De groei en ontwikkeling van mosselen wordt bepaald door omgevingscondities als voedselbeschikbaarheid, watertemperatuur en de grootte van de mossel. Het voedsel van de mossel bestaat uit micro-algen (fytoplankton) en dood organisch materiaal (detritus). De mossel filtert het voedsel uit het water met zijn kieuwen, waarbij de partikels groter dan 5 µm op de kieuwen achterblijven en naar de mond worden getransporteerd. Daar worden de eetbare partikels (fytoplankton en detritus) gescheiden van de niet-eetbare partikels (zand en slib) door middel van de palpen. Het niet eetbare deel wordt naar buiten gewerkt in de vorm van pseudofaeces. De eetbare delen worden in het maagdarmkanaal opgenomen, waarna ze kunnen worden verteerd.

Zowel kwaliteit als beschikbaarheid van voedsel zijn van belang voor de groei van de mosselen. De kwaliteit van het voedsel is afhankelijk van de soorten algen (de voedingswaarde per algensoort kan verschillen), de hoeveelheid detritus (detritus heeft in het algemeen een lagere voedingswaarde dan verse algen) en de hoeveelheid inorganisch materiaal (als er veel zand en/of slib in het water zit zal er meer pseudofaeces worden geproduceerd). De beschikbaarheid van het voedsel heeft te maken met de hoeveelheid en productie van de algen, de grootte van de voedselpartikels (deeltjes < 5 µm worden er niet uitgefilterd), waterbeweging om het voedsel naar de schelpdieren toe te transporteren en dichtheid van de mosselen (andere mosselen concurreren met elkaar om het aanwezige voedsel).

Om tot een zo goed mogelijke groei van de mosselen te komen zullen de kwekers hun percelen zo willen kiezen dat de kwaliteit en beschikbaarheid van het voedsel maximaal is. Deze keuze is voornamelijk gebaseerd op jarenlange ervaring. Door middel van zaaidichtheid heeft de kweker nog de mogelijkheid om de benutting van het beschikbare voedsel te optimaliseren.

Een andere factor die van belang is voor de groei van de mosselen is temperatuur. Mosselen zijn koudbloedig en vrijwel alle processen (zoals voedselopname, onderhoud) zijn afhankelijk van de watertemperatuur. Hoe hoger de watertemperatuur, hoe sneller deze processen. Als er voldoende voedsel is zullen de mosselen sneller groeien als het water warm is. Echter als er te weinig voedsel is zullen ze ook sneller interen als het water warm is. De watertemperatuur varieert aanzienlijk door het jaar heen, echter de ruimtelijke verschillen in watertemperatuur zijn beperkt. Een kweker heeft daarom geen speelruimte wat betreft water temperatuur.

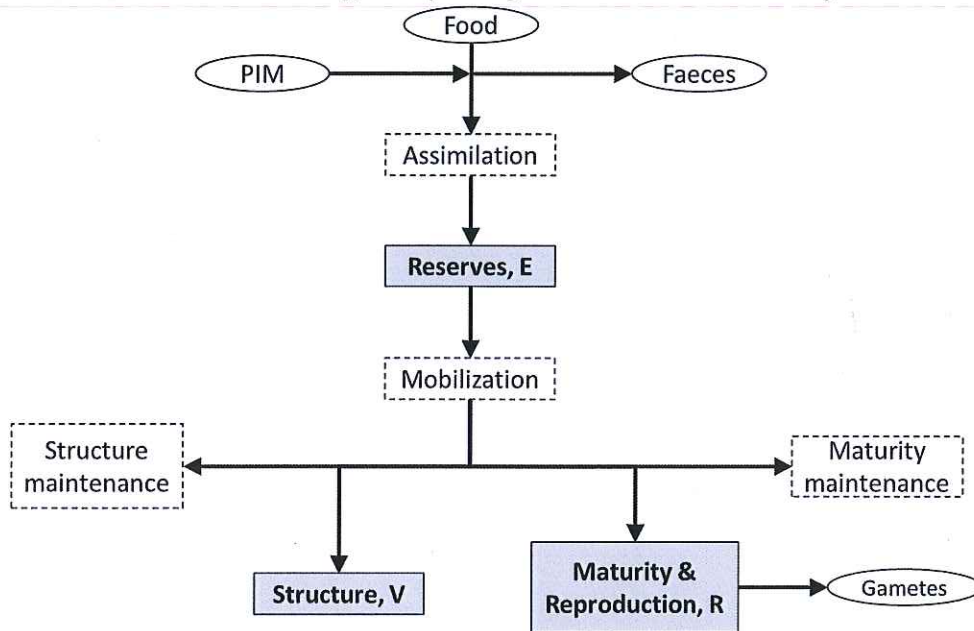
De groei en ontwikkeling is ook sterk afhankelijk van de grootte van de mossel. Kleine mosselen groeien veel harder dan consumptiemosselen. Dit heeft te maken met de oppervlakte inhoud verhouding. De oppervlakte van de kieuwen van consumptiemosselen is relatief klein ten opzichte van de lichaamsbiomassa. Grote mosselen besteden daarom relatief meer energie aan onderhoud van het lichaam terwijl kleine mosselen meer energie kunnen besteden aan groei.

De groei en ontwikkeling van een mossel als functie van de omgevingscondities kan worden beschreven met een Dynamic Energy Budget (DEB) model zie bijlage I. Een meer eenvoudige beschrijving van de groei van mosselen kan worden verkregen met een Von Bertalanffy groeifunctie waarbij is gecorrigeerd voor seizoen dynamiek (Bijlage J).

Bijlage I. Dynamic Energy Budget (DEB) model

De groei en ontwikkeling van de mosselen op de percelen is gemodelleerd met een Dynamic Energy Budget (DEB) model (Kooijman, 1986; Kooijman, 2010). Het model is gebaseerd op het model van de kokkel (Wijsman en Smaal, 2011) dat al eerder is opgesteld en later is aangepast voor mesheften (Wijsman, 2011) en mosselen (Saraiva e.a., 2011; Wijsman e.a., 2012). Het DEB model is een generiek model dat de groei en ontwikkeling van individuele organismen beschrijft als functie van de omgevingscondities voedsel en temperatuur.

In het DEB model wordt de individuele mossel beschreven door drie toestandsvariabelen: Structureel volume (V , cm^3), reserves (E , Joule) en gonaden (R , Joule) (Figuur 40). Filterfeeders zoals mosselen filteren particulier materiaal uit het water met behulp van hun kieuwen. Een deel van het gefilterde materiaal wordt geassimileerd en de rest wordt uitgestoten in de vorm van faeces en pseudo-faeces. De energie van het geassimileerde voedsel wordt opgeslagen als reserve, van waaruit het gebruikt kan worden voor onderhoud, groei, ontwikkeling en voortplanting. Een vaste fractie (κ) van de energie uit de reserves wordt gebruikt voor groei en onderhoud van het structureel volume. De rest ($1 - \kappa$) is beschikbaar voor ontwikkeling, voortplanting en het onderhoud van de gonaden.



Figuur 40: Schematisch overzicht van het DEB model voor mosselen. Toestandsvariabelen zijn structureel volume (V), reserves (E , Joule) en Gonaden (R , Joule).

De afhankelijkheid van de temperatuur is beschreven met een Arrhenius relatie met een boven- en ondergrens (Kooijman, 2000; Van Der Veer e.a., 2006).

$$k(T) = k_1 \cdot e^{\left(\frac{T_A - T_A}{T_1 - T}\right)} \cdot \frac{\left(1 + e^{\left(\frac{T_{AL} - T_{AL}}{T_1 - T_L}\right)} + e^{\left(\frac{T_{AH} - T_{AH}}{T_H - T_1}\right)}\right)}{\left(1 + e^{\left(\frac{T_{AL} - T_{AL}}{T - T_L}\right)} + e^{\left(\frac{T_{AH} - T_{AH}}{T_H - T}\right)}\right)}$$

eq. 14

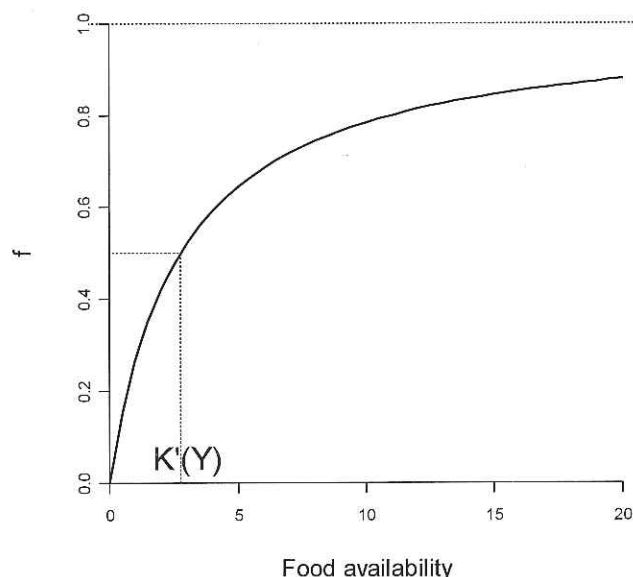
Het voedsel voor mosselen bestaat uit algen en detritus (dood organisch materiaal) dat in de waterkolom zweeft. Mosselen filtreren voedsel uit het water met behulp van hun kieuwen. Inorganisch slib dat ook in de waterkolom zweeft kan niet door mosselen worden verteerd en wordt uitgestoten in de vorm van faeces of pseudofaeces (Wijsman e.a., 2012). Hoge concentraties slib in de waterkolom werken hierdoor remmend op de voedselopname van mosselen. In het DEB model is de relatie tussen voedselopname en voedselbeschikbaarheid/kwaliteit beschreven door middel van een hyperbolische functionele respons f (Figuur 41).

$$f = \frac{X}{K'(Y) + X} \quad \text{eq. 15}$$

Waarbij

$$K'(Y) = X_k \left(1 + \frac{Y}{Y_k} \right) \quad \text{eq. 16}$$

X is de voedsel concentratie ($\mu\text{g Chl-a l}^{-1}$). X_k is de half-saturatie constante voor het voedsel ($\mu\text{g Chl-a l}^{-1}$). Y is de concentratie particulier inorganisch materiaal (TPM-POM) uitgedrukt in mg l^{-1} en Y_k (mg l^{-1}) is de half-saturatie constante voor het slib. Als de concentratie van het slib toeneemt, dan neemt de waarden van $K'(Y)$ toe en is er meer voedsel nodig om dezelfde voedselopname snelheid te bereiken.



Figuur 41: Functionele response (f) als functie van voedsel beschikbaarheid. Bij oneindig voedsel is de opname snelheid maximum ($f=1$). Als de voedselbeschikbaarheid gelijk is aan $K'(Y)$ dan is de opnamesnelheid de helft van het maximale

Het DEB model is een generiek model, echter de parameters voor het DEB model zijn soort specifiek. De parameters voor de mossel zijn verkregen uit de studie van Saraiva et al. (2011) en Wijsman et al. (2012).

Tabel 15: Overzicht primaire DEB parameters voor mossel gebruikt in deze studie

Parameter	Value	Unit	Description
z	4.6897	-	Zoom factor
δ_m	0.2942	-	Shape coefficient
$\{\dot{F}_m\}$	96	$l\ d^{-1}\ cm^{-2}$	Maximum surface-area-specific filtration rate
κ_X	0.53	-	Digestion efficiency
$\dot{U}$	0.0721	$cm\ d^{-1}$	Energy conductance
κ	0.8085	-	Allocation fraction to soma
κ_R	0.95	-	Reproduction efficiency
$[\dot{p}_M]$	13.74	$J\ d^{-1}\ cm^{-3}$	Volume-specific somatic maintenance
$\{\dot{p}_T\}$	0	$J\ d^{-1}\ cm^{-2}$	Surface-specific somatic maintenance
$\dot{k}_J$	2.873×10^{-3}	d^{-1}	Maturity maintenance rate coefficient
$[E_G]$	4783	$J\ cm^{-3}$	Specific cost for structure
E_H^b	2×10^{-5}	J	Maturity at birth
E_H^J	2×10^{-5}	J	Maturity at metamorphosis
E_H^P	44.8	J	Maturity at puberty
$\ddot{h}_a$	5.13×10^{-9}	d^{-2}	Weibull ageing acceleration
s_G	1×10^{-4}	-	Gompertz stress coefficient

Bijlage J. Von Bertalanffy Groeifunctie

In de periode van februari 2007 tot en met oktober 2008 zijn zes mosselpercelen (Oosterom 6, Meep 13, Scheurrak 44, Inschot 42, Balgen 27 en Scheer 21) in de Waddenzee maandelijks (met uitzondering van december 2007) bemonsterd met behulp van een mosselkor (De Mesel e.a., 2008; De Mesel e.a., 2009). Van de individuele mosselen is de schelpenlengte gemeten. Verder is per monster het versgewicht, kookgewicht, drooggewicht en asvrij drooggewicht bepaald.

Er is een Von Bertalanffy groeicurve gefit door de data met een sinusoïde correctie voor het seizoen gefit door de data (Somers, 1988).

De gemodificeerde Von Bertalanffy curve heeft de volgende vorm:

eq. 17

$$L_t = L_\infty \times \left(1 - e^{-[k \times (t - t_0) + S(t) - S(t_0)]} \right)$$

$$S(t) = \frac{C \times k}{2\pi} \times \sin(2\pi \times (t - t_s))$$

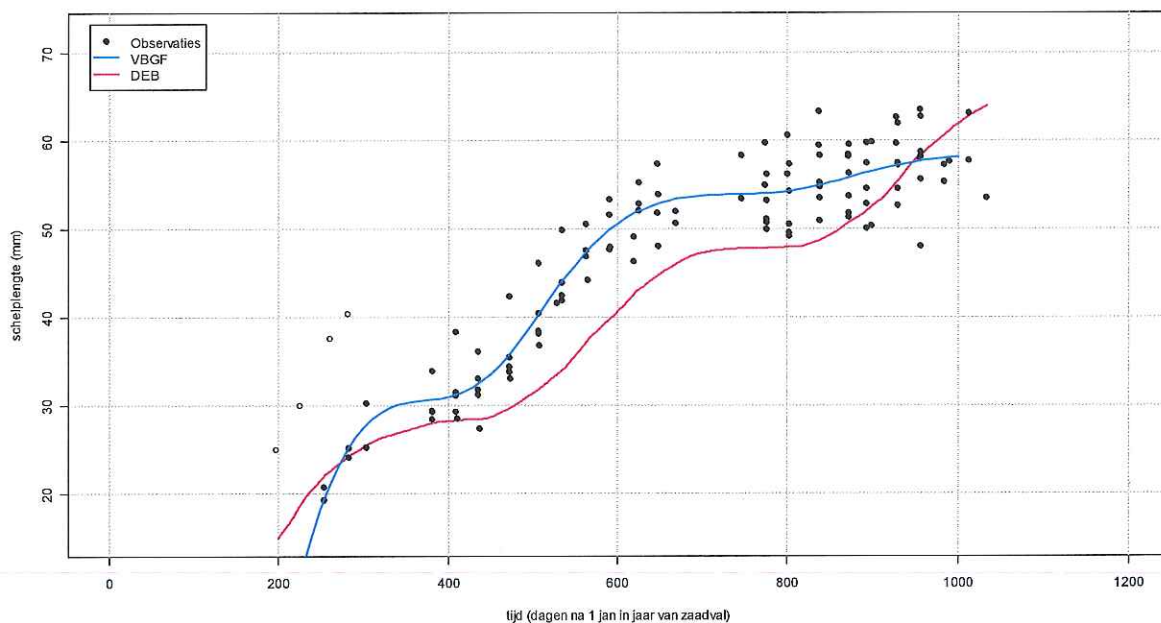
$$S(t_0) = \frac{C \times k}{2\pi} \times \sin(2\pi \times (t_0 - t_s))$$

eq. 18

Met:

Waarbij:

- L_t = lengte op tijdstip t (mm)
- t = tijd (d)
- L_∞ = maximale gemiddelde lengte: 59.5 (mm)
- k = relatieve groeisnelheid: 0.00485 (d^{-1})
- t_0 = relatief tijdstip waarbij theoretische lengte = 0 mm: 203.2 (d)
- C = amplitude in de groeiverschillen: 338 ($mm d^{-1}$)
- t_s = faseverschil: 192 (d)



Figuur 42: Lengte van de mosselen als functie van de tijd (dagen na 1 jan in het jaar van de zaadval). De blauwe lijn geeft de groei volgens het gekalibreerde Von Bertalanffy model weer en de rode lijn is het niet gekalibreerde DEB model.

