

Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, *samenvattend eindrapport*

A.C. Smaal, A.G. Brinkman, T. Schellekens, J. Jansen,
A. Agüera & M.R. van Stralen
Rapport C066.14



IMARES Wageningen UR

Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

Opdrachtgever:

Producenten Organisatie van de Nederlandse
Mosselcultuur; Ministerie van Economische
Zaken

Publicatiedatum:

17 april 2014

IMARES is:

- een onafhankelijk instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken.

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

E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 77
4400 AB Yerseke
Phone: +31 (0)317 48
09 00

E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 57
1780 AB Den Helder
Phone: +31 (0)317 48
09 00

E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

© 2014 IMARES Wageningen UR
IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

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.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	4
1. Inleiding.....	6
2. Stabiliteitsfactoren zoals gebruikt in het habitatmodel	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 Opzet habitatmodel.....	8
2.3 Abiotische factoren	8
2.4 Veldgegevens over mosselvoorkomens	12
2.5 Koppeling met het habitatmodel.....	14
3. Rol predatie en andere sterfte factoren	15
3.1 Predatie	15
3.2 Wintersterfte van mosselen.....	17
4. Ruimtelijke verspreiding mosselbanken	18
5. Integratie van gegevens in een habitatmodel	22
6. Discussie en conclusies.....	26
7. Referenties	28
Verantwoording	29
Bijlage I. Mosselbiomassa in na- en voorjaar.....	30

Samenvatting

Dit rapport is een verslag over onderzoek naar factoren die van belang zijn voor de stabiliteit van wilde sublitorale mosselbanken. Stabiliteit is gedefinieerd als de kans die eenmaal gevestigde wilde mosselbanken hebben om meerdere winters te overleven. In 2005 is op basis van ervaring een stabiliteitskaart opgesteld voor mosselbanken in de westelijke Waddenzee.

In voorliggend onderzoek is aan de hand van nieuwe gegevens over de ruimtelijke verspreiding en de kans op voorkomen van mosselen, de rol van zeesterren, en een habitatmodel, nagegaan welke factoren het meest bepalend zijn voor het voorkomen van mosselbanken. Het habitatmodel is gericht op het verband tussen het voorkomen van (wilde) mosselen en de abiotische omstandigheden zoals zoutgehalte, diepte, stroming en slibgehalte van de bodem op de locaties waar mosselen werden aangetroffen. Een factor die moeilijk voorspelbaar is, maar die in de praktijk van groot belang kan zijn, is het wegspoelen van mosselen tijdens stormen. Uit de stormfrequentie gegevens blijkt dat er in de periode vóór 2000 vaker zware stormen voorkwamen dan in de periode 2000 - 2012. Substantieel verlies van mosselen door wegstormen is tijdens onderhavig onderzoek, dat de periode na 2000 besloeg, niet waargenomen.

Op basis van het model is bepaald welke locaties potentieel geschikt zijn voor de overleving mosselbanken. Uit vergelijking van de modelvoorspellingen en surveygegevens blijkt dat er volgens het model locaties geschikt zijn waar in de praktijk geen mosselbanken tot ontwikkeling zijn gekomen. Predatie door zeesterren lijkt daarin een doorslaggevende rol te spelen.

Het rapport leidt tot de volgende conclusies:

- De ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken verschilt tussen deelgebieden en houdt verband met het zoutgehalte en de daaraan gerelateerde kans op predatie door zeesterren. In gebieden met lager zoutgehalte is er minder predatie door zeesterren en een betere overleving. Hier worden ook het vaakst meerjarige mosselen aangetroffen en deze gebieden worden daarom aangeduid als relatief stabiel
- Op basis van een habitatmodel, waarbij abiotische factoren die van belang zijn voor vestiging en overleving van mosselbanken zijn geïntegreerd, is er een kaart met de relatieve geschiktheid van gebieden voor mosselbanken geconstrueerd. Deze kansenkaart komt goed overeen met de verspreiding van mosselen maar er zijn ook duidelijke verschillen. De verschillen kunnen worden toegeschreven aan predatie door onder meer zeesterren.
- De vestiging en overleving van mosselen op een bepaalde locatie is afhankelijk van een samenloop van omstandigheden, waarbij zoutgehalte en daaraan gerelateerde predatie een belangrijke rol spelen, maar ook bodemeigenschappen, diepte en oriëntatie ten opzichte van windrichting – welke bepalend zijn voor de kans dat mosselen wegstromen tijdens stormen - en mogelijke andere factoren. Het huidige habitatmodel geeft aan waar de kans op vestiging en overleven het grootst is (en waar het kleinst). Het is een glijdende schaal, en het is niet gezegd dat in gebieden waar de kansen door het model laag worden ingeschat ook werkelijk geen zaadval zal plaatsvinden c.q. mosselen overleven of omgekeerd dat in kansrijke gebieden ook daadwerkelijk mosselbanken ontstaan en blijven liggen.

De kennisvragen worden op basis van onderhavig onderzoek als volgt beantwoord:

1 - Hoe stabiel zijn de verschillende mosselzaadbanken en wat bepaalt deze stabiliteit ?

Mosselzaadbanken verschillen in stabiliteit en dit kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan de rol van predatie, met name door zeesterren. Mosselbanken onder invloed van zoetwaterspui zijn stabielere dan andere gebieden omdat er minder zeesterren voorkomen in de brakke zones. Hierbij moet worden vastgesteld dat het onderzoek heeft plaatsgevonden over een periode zonder zware winterstormen. De effecten van winterstormen op de ontwikkeling van mosselbanken zijn in het rapport waarschijnlijk onderschat.

2 - Is de stabiliteit van een mosselzaadbank voorspelbaar ?

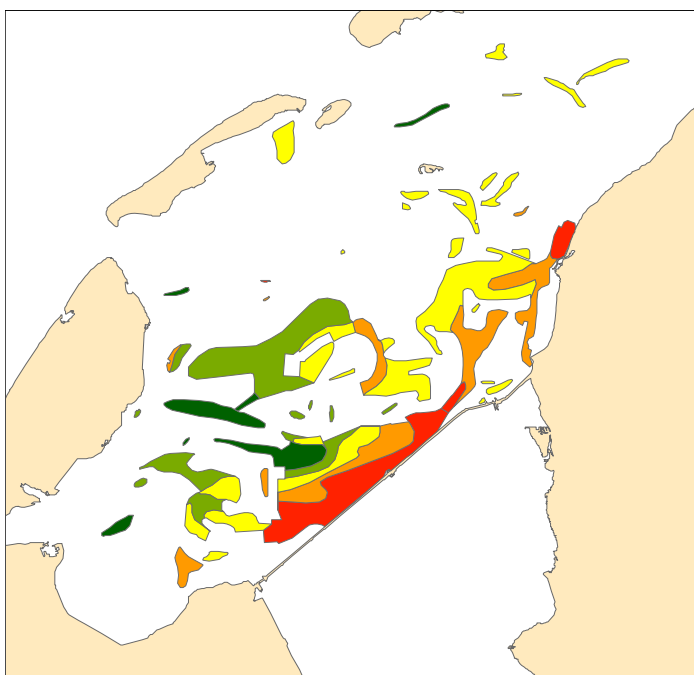
Het antwoord op deze vraag hangt af van de ruimtelijke schaal. Op het schaalniveau van de westelijke Waddenzee kan een duidelijke zonering in relatieve stabiliteit worden aangegeven, waarbij het zoutgehalte een belangrijke rol speelt. Op meer gedetailleerd niveau spelen diverse lokale factoren in onderlinge samenhang een rol, zoals beschutting e.d. Deze factoren zijn onderdeel van het habitatmodel en zijn ook vervat in de ervaringskaart. Naarmate de ruimtelijke schaal kleiner is en er dus ruimtelijk gedetailleerdere gegevens nodig zijn, neemt de voorspellende waarde van het model af en is de stabiliteit ter plaatse dus moeilijker te duiden.

3 - In welke gebieden in de Waddenzee liggen stabiele en in welke gebieden instabiele mosselzaadbanken?

Uit de gepresenteerde habitatkaarten kan worden afgelezen wat de relatieve geschiktheid is van de westelijke Waddenzee voor de vestiging en ontwikkeling van mosselbanken, dus welke gebieden relatief stabiel respectievelijk instabiel zijn. De geaggregeerde kaartbeelden van de bestandsopnamen geven hetzelfde beeld en zijn eveneens een basis om de relatieve geschiktheid van een bestaande locatie te duiden. De habitatkaarten zijn als kanskaarten van belang bij de beoordeling van de kans op vestiging en overleving van mosselbanken op plaatsen waar tot dan toe nog geen mosselbanken zijn aangetroffen.

1. Inleiding

De mosselcultuur in Nederland maakt gebruik van bodemkweekpercelen in sublitorale gebieden in de Waddenzee en de Oosterschelde. Op deze percelen wordt mosselzaad uitgezaaid dat afkomstig is van wilde zaadbanken die in principe jaarlijks ontstaan door natuurlijke broedval, voornamelijk in de westelijke Waddenzee. Sinds een aantal jaren wordt mosselzaad ook ingevangen met behulp van touwen en netten in de waterkolom, de mosselzaadinvanginstallaties (MZI's). Dit materiaal wordt eveneens op de kweekpercelen uitgezaaid. Het merendeel van het mosselzaad komt tot op heden van de bodem. Op basis van de uitkomsten van de jaarlijkse bestandsopnamen in het najaar en voorjaar en de ervaring van onderzoekers, vissers en visserijkundig ambtenaren is er een onderscheid aangebracht in de relatieve stabiliteit van gebieden waar in het verleden (ca 30 jaar) mosselbanken zijn aangetroffen in de westelijke Waddenzee. Het betreft hier informatie uit de bestandsopnamen zoals die sinds 1992 jaarlijks plaatsvinden en de ervaringskennis van mosselkwekers en visserijkundig ambtenaren uit de jaren daarvoor. Deze gegevens zijn vertaald in een kaart met een index op een schaal van 1 tot 5, waarbij categorie 1 het minst stabiel is en categorie 5 het meest stabiel. De stabiliteitskaart wordt sinds 2005 gebruikt voor het opstellen van de visplannen voor de mosselzaadvisserij (Alterra, 2005). In het najaar wordt gevist op nieuw gevormde mosselzaadbanken in gebieden die als relatief instabiel zijn beoordeeld, terwijl in het daarop volgende voorjaar ook mag worden gevist op de alle overige banken, behoudens gebieden die in het kader van het mosselconvenant resp. Ruimte voor een zilte oogst (LNV, 2004) zijn gesloten voor de mosselvisserij.



Figuur 1.1 Stabiliteitskaart op basis van ervaring en expert judgement. Groen = klasse 1 = relatief instabiel, lichtgroen = klasse 2, geel = klasse 3, oranje = klasse 4, rood = klasse 5 = relatief stabiel.

Sinds de kaart in 2005 is opgesteld is nieuwe kennis beschikbaar gekomen uit de onder meer de jaarlijkse mossel surveys na 2005 (van Stralen, 2012), en uit het PRODUS 3 onderzoek naar de effecten van mosselzaadvisserij op natuurwaarden (Smaal et al, 2013). Uitgaande van deze gegevens is een habitatmodel ontwikkeld, waarbij het voorkomen van mosselbanken is gekoppeld aan een aantal abiotische factoren waarvan gegevens beschikbaar zijn. Dit betreft het wegspoelrisico ten gevolge van golfwerking in relatie tot diepte, stroomsnelheid, en zoutgehalte in relatie tot predatie. Onderhavig rapport gaat nader in op de factoren die van belang zijn voor de stabiliteit van natuurlijke mosselzaadbanken.

Mosselzaadbanken ontstaan door natuurlijke vestiging van larven op een geschikte ondergrond. Het vestigingssucces, dat wil zeggen de overleving direct na vestiging, is afhankelijk van diverse factoren, waarvan predatie door garnalen, krabben en zeesterren waarschijnlijk het meest belangrijk is (Beukema et al., 1998, 2005). Na een strenge winter ontstaat er doorgaans meer mosselzaad dan na een zachte winter. Dit wordt toegeschreven aan een mismatch tussen predator (kreeftachtigen) en prooi bij lage watertemperatuur: de predatoren komen later tot ontwikkeling waardoor het mosselzaad aan predatie ontsnapt (Beukema et al, 1998). Na vestiging van het mosselzaad op de bodem kunnen zeesterren een grote invloed uitoefenen op de overleving van de nieuw ontstane banken doordat ze zich massaal kunnen ontwikkelen en meegroeien met de grootte van hun prooi. De predatiedruk is het hoogst in het eerste jaar na vestiging en speelt daarom een belangrijke rol bij de stabiliteit van de banken (Navarrete & Menge 1996). Intensieve predatie is beschreven voor de Waddenzee, waar grote opeenhopingen van zeesterren zich gedurende het najaar voeden op bedden met nieuw mosselzaad (Saier 2001). De rol van zeesterren is onderwerp van een promotieonderzoek naar de rol van predatie door zeesterren, dat eind 2014 zal worden afgerond (Agüera et al, 2012).

In dit rapport worden de resultaten samengevat van het onderzoek naar predatie door zeesterren, de analyses en uitkomsten van het habitatmodel en de onderliggende gegevens daarvan, en wat deze uitkomsten betekenen voor de ontwikkeling en stabiliteit van eenmaal ontstane mosselbanken in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee. De gestelde kennisvragen die aan dit project ten grondslag liggen zijn als volgt geformuleerd:

- 1 - Hoe stabiel zijn de verschillende mosselzaadbanken en wat bepaalt deze stabiliteit ?
- 2 - Is de stabiliteit van een mosselzaadbank voorspelbaar ?
- 3 - In welke gebieden in de Waddenzee liggen stabiele en in welke gebieden instabiele mosselzaadbanken?

De opbouw van het rapport is als volgt:

In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de gevolgde aanpak m.b.t. het habitatmodel: dit model is gebaseerd op de abiotische factoren die van belang geacht worden voor de stabiliteit van mosselbanken, ontleend aan empirische verbanden tussen het voorkomen van mosselen en de aldaar heersende abiotische condities. In H 3 worden andere factoren behandeld die van belang zijn voor de overleving van mosselbanken, met name predatie door zeesterren. In H 4 wordt ingegaan op de ruimtelijke verspreiding van mosselbanken en de frequentie van voorkomen, op basis van de mosselsurveys. In H 5 worden de gegevens geïntegreerd in het habitatmodel en vergeleken met de veldgegevens over mosselbanken en de verspreiding van zeesterren. H 6 betreft de discussie en de conclusies.

Dankwoord

Aan het onderzoek is bijgedragen door collega's binnen en buiten Imares. Bemonsteringen zijn uitgevoerd met medewerking van de bemanningen van de YE 42 en de Wadden unit van het Ministerie van EZ. Het rapport is gereviewed door dr R.G Jak. Het onderzoek is gefinancierd door de PO Mossel en begeleid door Mr H. van Geesbergen door de Probus begeleidingscommissie van LNV, o.l.v. W. Schermer Voest. De auteurs zijn genoemde personen erkentelijk voor hun bijdragen.

2. Stabiliteitsfactoren zoals gebruikt in het habitatmodel

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de biotische en abiotische factoren die van belang zijn voor de stabiliteit van mosselbanken. Het begrip *stabiliteit* is daarbij gedefinieerd als *de kans die eenmaal gevestigde mosselbanken hebben om één of meerdere winters te overleven*.

Door het voorkomen van mosselen te relateren aan de lokale abiotische factoren zijn de eisen die mosselen stellen aan hun omgeving in beeld gebracht. Deze gegevens zijn in een habitatmodel bijeengebracht zodat een gebied-dekkend overzicht kan worden gegeven van de kans dat ergens mosselen kunnen worden verwacht.

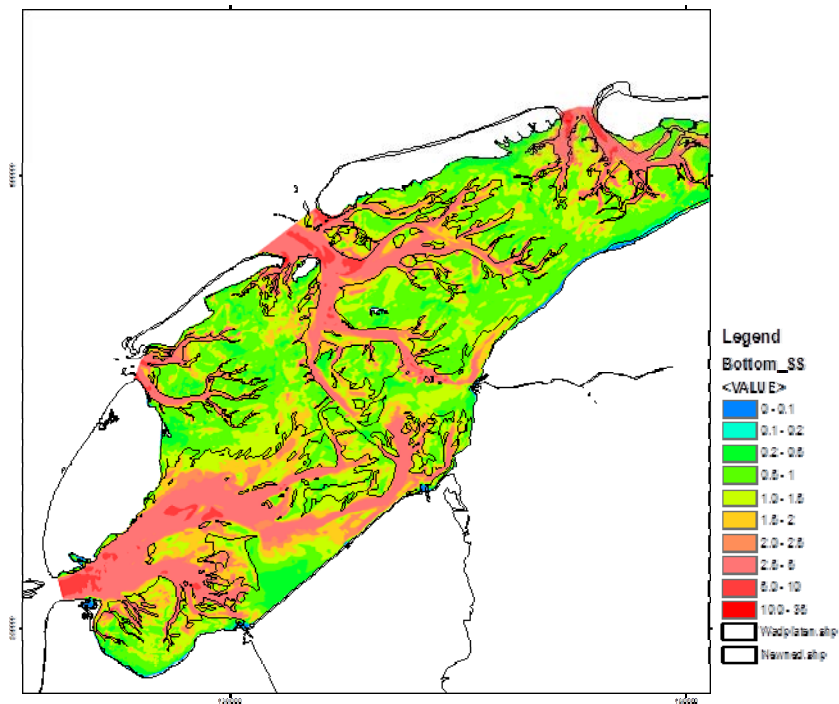
2.2 Opzet habitatmodel

De abiotische gegevens (diepte, mediane korrelgrootte, golfwerking, stroomsnelheden en bodemschuifspanning, gemiddelde saliniteit en stormfrequenties) zijn ontleend aan bestaande modellen en datasets, waarbij moet worden opgemerkt dat deze in verschillende mate van ruimtelijk detail beschikbaar zijn zoals hierna verder besproken. Wat betreft de mosselvoorkomens is gebruik gemaakt van de voorjaarssurveys op sublitorale mosselbanken (Van Stralen, 2002, 2012). De gemiddelde dichtheid van verschillende jaarklassen mosselen is gecorreleerd aan de genoemde abiotische kenmerken; hierbij zijn verschillende statistische modellen toegepast. Vanwege de beschikbaarheid van abiotische gegevens zijn de correlaties gebaseerd op data uit de periode 2000 – 2012. Vervolgens zijn de gevonden verbanden (correlaties) samen met gebiedsdekkende gegevens over de abiotische factoren doorgerekend naar een gebiedsdekkende kaart voor mosselen en hun kans op voorkomen in de verschillende leeftijdsklassen. Voor een meer uitgebreide toelichting op het opstellen van de habitatkaart en daarbij gebruikte methodieken, wordt verder verwezen naar Brinkman et al (2002) en Brinkman (2013).

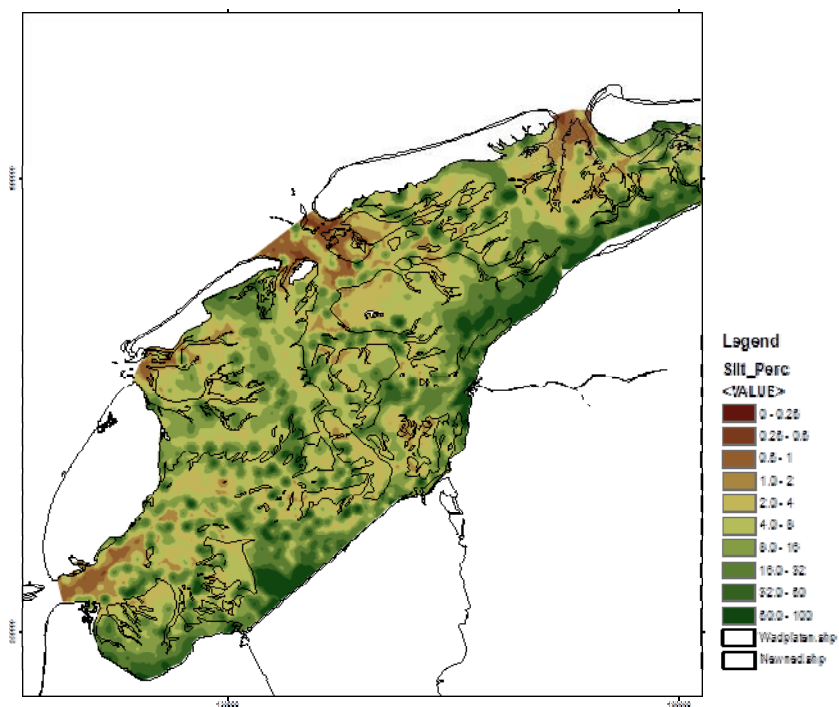
2.3 Abiotische factoren

Diepte. Dieptemetingen zijn in principe per vijf jaar uitgevoerd door Rijkswaterstaat (<http://www.rijkswaterstaat.nl>). In gebieden van infrastructureel belang (bv. vaarwegen en aangrenzende gebieden) zijn vaker metingen gedaan met meer meetpunten per oppervlak. De data zijn geïnterpoleerd, wat soms leidt tot lokale fouten in de berekende diepte. Voor de analyse zijn de dieptemetingen van 1997-2002 gebruikt.

Stroomsnelheden en bodemschuifspanning. De minimum, de gemiddelde en de maximum stroomsnelheden en stroomsnelheid-gerelateerde bodemschuifspanning zijn door Alkyon (<http://www.arcadis.nl>) berekend met het model "Delft-3D" (Deltares, <http://www.deltares.nl>) op een 100*100m schaal. Deze data zijn vervolgen herschaald naar de gewenste 50*50 m resolutie. Voor de analyse zijn de data van 1997-2002 gebruikt (Figuur 2.1). De maximale bodemschuifspanning als gevolg van stroming is hoog in de geulen en laag op de platen.



Figuur 2.1 Maximale bodemschuifspanning (N/m^2) agv van stroming.

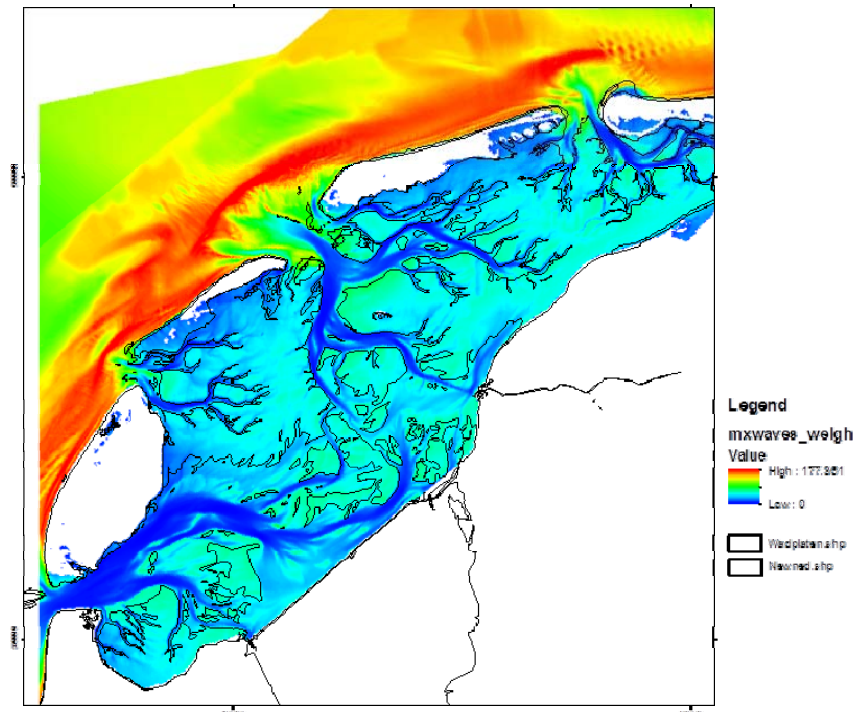


Figuur 2.2 Slibgehalte in het sediment, data in gewichts-%. Data naar Sedimentatlas RIKZ

Korrelgrootte van het sediment. In de periode 1989–1997, heeft Rijkswaterstaat meer dan 7000 sedimentmonsters genomen, de hele Nederlandse Wadden Zee bestrijkend (RIKZ, 1998), waarbij gebruik gemaakt is van een "Van Veen happer". De bovenste 10 cm werd gemixt, en een nat monster daarvan werd geanalyseerd met een Malvern 2600L laser particlesizer (GeoSea Consulting, UK). De monsters werden niet behandeld vóór de analyse, zodat noch carbonaten noch organische deeltjes zijn verwijderd. Dit resulteert in een onnauwkeurigheid in de schatting van de proportie fijne sedimentdeeltjes. In aanleg moet deze handelwijze tot een onderschatting van het slibgehalte leiden, maar Zwarts (2004) heeft aangetoond dat de slibgehalten zoals vermeld in de RIKZ-sedimentatlas een overschatting inhouden van dat slibgehalte. Voor de huidige analyse is dit vermoedelijk niet van overwegend belang zolang bij de analyse én bij de voorspellende berekeningen van dezelfde dataset gebruik wordt gemaakt. De bemonsteringsdichtheid was 1 km², oplopend tot 2 per km² op locaties waar meer variabiliteit in samenstelling verwacht werd. De gegevens zijn vervolgens geïnterpoleerd tot een grid van 50*50 m.

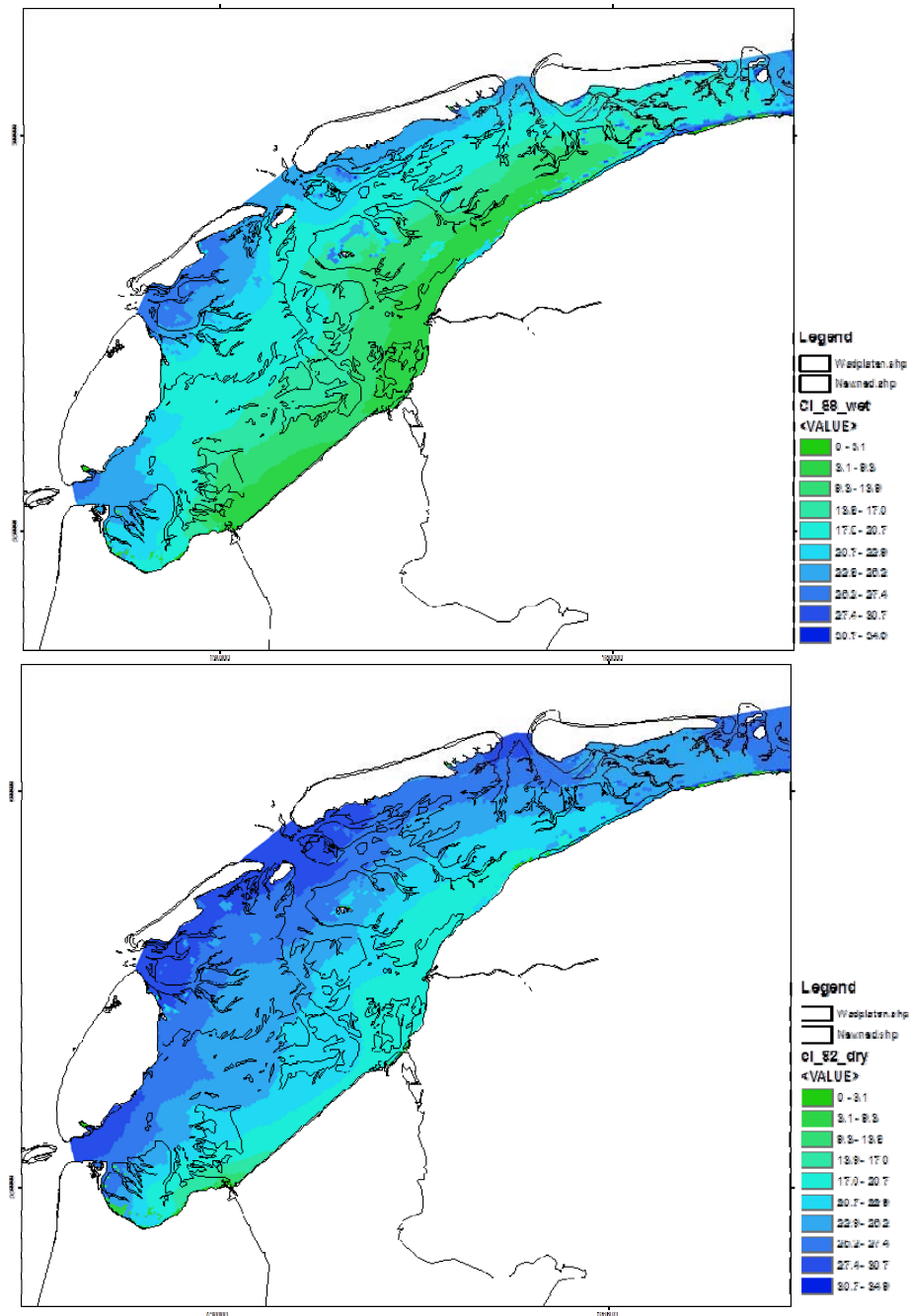
Voor de analyse is de mediane korrelgrootte van alle deeltjes groter dan 16 µm (M16, µm) en het slibgehalte (silt-%, aandeel van deeltjes <63 µm t.o.v. de totale massa, zie Figuur 2.2) gebruikt.

Golfdata. Deze data, afkomstig van Rijkswaterstaat in een 100*100 m schaal, berekend door Alkyon met het model SWAN (Holthuijsen et al, 2000) zijn herschaald naar een 50*50 m resolutie. Deze data omvatten maximale orbitaalsnelheden (m s⁻¹) en bodemschuifspanning (N m⁻²) voor vier windrichtingen (NO, NW, WO and ZW) bij 8 verschillende waterniveaus (-1.5 tot +2 m NAP, in stappen van 0.5 m). Van deze waarden zijn twee datasets geconstrueerd: het maximum van deze waarden, en het maximum gewogen naar voorkomen van windrichtingen (het effect van W- en ZW-winden worden hierdoor belangrijker). Uit Figuur 2.3 blijkt dat de golfdynamiek in de Waddenzee laag is ten opzichte van de Noordzee kustzone. Binnen de Waddenzee is de golfdynamiek relatief laag in de geulen en hoog op de platen en daarmee tegengesteld aan de bodemschuifspanning als gevolg van stroming (zie Figuur 2.1).



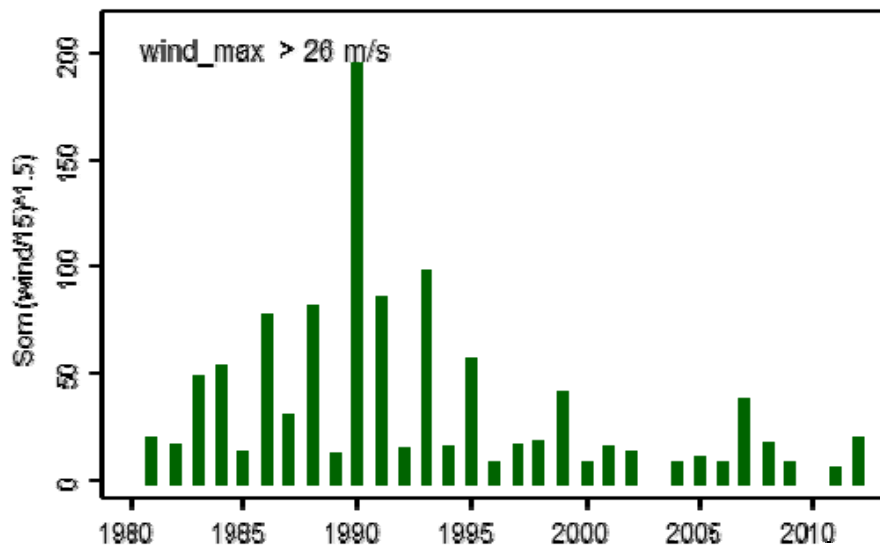
Figuur 2.3 Windsnelheid-gewogen maximale orbitaalsnelheid (golferking). Maximale orbitaalsnelheden zijn bekend voor vier windrichtingen (NO, NW, W, ZW). Deze zijn gewogen naar de voorkomende windsnelheden als som(windsnelheid^{1.5} *max.orbitaalsnelheid), waarbij alleen de windsnelheden >9.0 m/s zijn meegenomen.

Saliniteit. De distributie van zoet water uit het IJsselmeer in de Waddenzee is door Alkyon (<http://www.arcadis.nl>) berekend voor een 'nat' jaar (1988) en een 'droog' jaar (1992). De data gebruikt zijn de jaargemiddelde saliniteit (PSU) voor beide jaren; dynamische effecten zijn dus niet meegenomen (Figuur 2.4)



Figuur 2.4 Berekende saliniteit in een jaar met veel IJsselmeerspui ('nat' jaar, boven) en in een jaar met weinig IJsselmeerspui ('droog' jaar, onder). Data in PSU.

Stormfrequenties. De effecten van stormen zijn in het habitatmodel geformuleerd in termen van ruimtelijke differentiatie in golfwerking en stroming, uitgemiddeld op basis van gedefinieerde modelsimulaties. In Figuur 2.5 is het optreden van stormen in de afgelopen 30 jaar weergegeven, waaruit blijkt dat er grote verschillen tussen jaren en perioden bestaan. De PRODUS onderzoeksperiode 2006 – 2012 kenmerkt zich door de afwezigheid van zware stormen in het winterseizoen, dit in tegenstelling tot de periode 1985 – 1995. Het is bekend dat in die periode veel schade is opgetreden aan mosselzaadvoorraden door zware stormen (Ens et al, 2004).



Figuur 2.5 Stormfrequenties westelijke Waddenzee 1980-2012 op basis van gegevens van vliegveld de Kooy Den Helder; overschrijding van windsnelheid 26 m/s (≥ 10 bft), gemiddeld per dag, per winterperiode (nov t/m maart), uitgedrukt als som van (etmaalgemiddelde) wind/ $15^{1.5}$

2.4 Veldgegevens over mosselvoorkomens

Sublitorale mosselvoorkomens worden gemonitord in voor- en najaar, gericht op het in kaart brengen van de banken en het maken van biomassaschattingen met het oog op de navolgende zaadvisserij. De surveys in het voorjaar hebben jaarlijks plaatsgevonden, dus ook in jaren dat er niet is gevist, en worden uitgevoerd sinds 1992. In Figuur 2.6 zijn de verschillende gebieden in de westelijke Waddenzee waar mosselzaad wordt aangetroffen, aangeduid.

De bestandsopnamen in het voorjaar vinden plaats met een aangepaste zuigkor waarmee bodemonsters worden verzameld. De monsternamen gebeuren volgens een gestratificeerd monsternamen grid. De indeling van de monsterpunten is gebaseerd op informatie uit eerdere surveys en vanuit andere bronnen, er toe leidend dat in gebieden waar er naar verwachting veel mosselen voorkomen worden er meer, dichter bij elkaar gelegen, stations bemonsterd (Van Stralen, 2012).

De najaarssurvey heeft een semi-kwantitatieve opzet, gericht op het detecteren van nieuwe mosselzaadbanken (zaadval uit voorgaande zomer). Dit gebeurt vanaf een mosselvaartuig waarbij gevist wordt met een mosselkor en vindt plaats in september, voorafgaand aan de najaarvisserij. In de periode 2005 – 2009 zijn er ook kwantitatieve surveys uitgevoerd na afloop van de najaarvisserij op mosselzaad. Deze zijn in combinatie met de (uitgebreidere) voorjaarsurvey in het voorjaar erna zijn herhaald met als doel de overleving tijdens de winter te bepalen (bijlage I).

Tijdens de surveys wordt onderscheid gemaakt tussen zaad, halfwas en consumptie mosselen.

In de surveys wordt elk monster representatief geacht voor een bepaald gebied rond de monster locatie; de som van de dichtheden keer het oppervlak van het representatieve gebied resulteert uiteindelijk in een schatting van de biomassa in het hele systeem.



Figuur 2.6 Westelijke Waddenzee met de laagwaterlijn en de namen van de gebieden waar sublitorale mosselen worden aangetroffen.

2.5 Koppeling met het habitatmodel

Voor het habitatmodel wordt het voorkomen van mosselen gekoppeld aan de lokale abiotische factoren. Vanwege de verschillende schaal van de gebruikte gegevens zijn alle gegevens, voor zover nodig, via interpolaties vertaald naar een datasets met een grootte van de gridcellen van 50*50m. Uitgaande van deze datasets is met een univariate analyse gezocht naar verbanden. Er zijn meerdere modellen toegepast voor de analyses: een 'GeneralizedLinear Model' (GLM), een 'Generalized Additive Model' (GAM) en een 'Zero Inflated Negative Binomial Model' (ZINB). De resultaten in dit verslag betreffen uitsluitend de laatste benadering; de voornaamste reden is dat die toepassing het best geschikt is voor een situatie waarin er een overmaat aan nul-waarden aanwezig is in het databestand.

De uitkomsten worden uitgedrukt als relatieve kans op voorkomen van mosselen c.q. mosselen van een bepaalde categorie. De locaties waar de kans op voorkomen van mosselen bij de heersende abiotische condities het grootst is, wordt aangeduid als klasse 1. Klasse 1 geeft het 1% deel van het gebied (cellen) met de hoogste trefkans op mosselen. De verdere indeling van de klassen en bijbehorende gebiedspercentages staat in tabel 2.1.

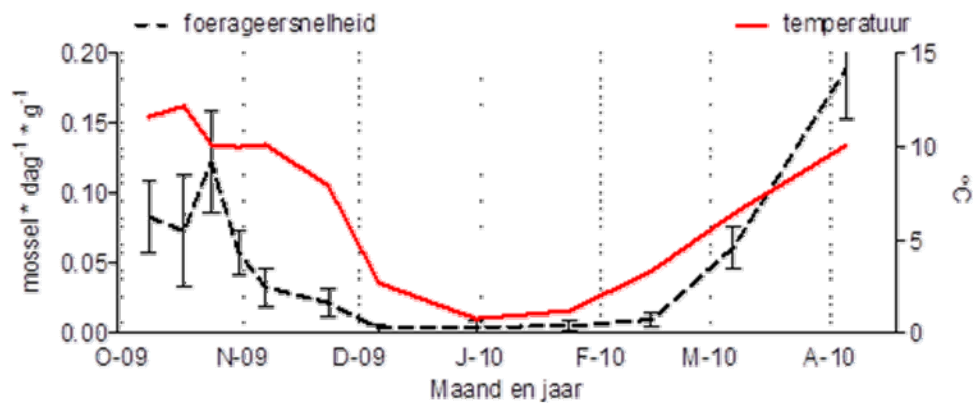
Tabel 2.1 Model resultaten onderverdeeld in habitat-geschiktheidsklassen

Class	%-range	Class	%-range
1	0-1	7	20-25
2	1-2	8	25-30
3	2-5	9	30-40
4	5-10	10	40-50
5	10-15	11	50-70
6	15-20	12	70-100

3. Rol predatie en andere sterfte factoren

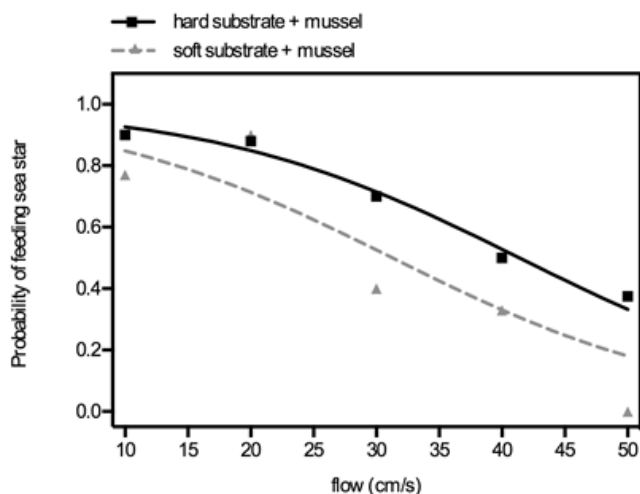
3.1 Predatie

In het promotie-onderzoek van A. Agüera (Agüera et al, 2012; submitted; Agüera, in prep) naar de invloed van predatie door zeesterren op de stabiliteit van mosselzaadbanken is ingegaan op factoren als temperatuur, stroming en zoutgehalte op overleving en activiteit van de zeesterren. Duidelijk is dat de foerageeractiviteit van zeesterren in de winter afneemt tot nagenoeg nul bij temperaturen onder 4 °C (Figuur 3.1). De activiteiten van de zeesterren blijken verder afhankelijk van veranderingen in lichtintensiteit, waarbij een interactie is gevonden met de temperatuur. Bij lage temperaturen stopten de dieren in de schaduw niet met foerageren, terwijl dit bij de meeste zeesterren in de lichte opstelling wel het geval was.

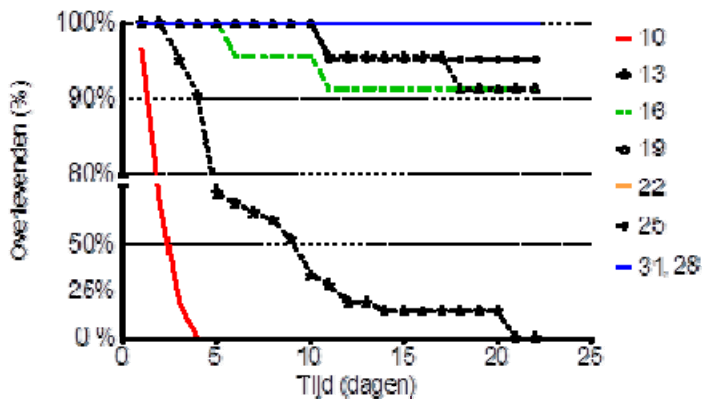


Figuur 3.1 Voedselopname in mossel per dag per gram zeester gedurende de winter.

Verder zijn metingen verricht in een stroomgoot met verschillende sedimenten. Op een zachte bodem neemt bij toename van de stroomsnelheid het percentage foeragerende zeesterren sneller af dan op hard substraat (Figuur 3.2). Bij stroomsnelheden boven 30 cm/s bleek het percentage foeragerende zeesterren ongeveer te zijn gehalveerd (Figuur 3.2).

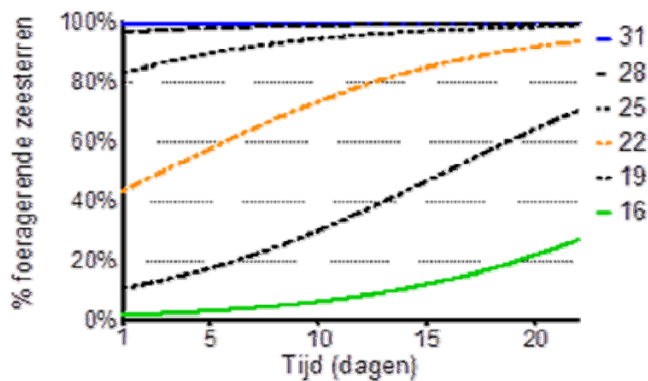


Figuur 3.2 Foerageeractiviteit als functie van stroomsnelheid op zacht en hard substraat (Agüera et al, in prep)

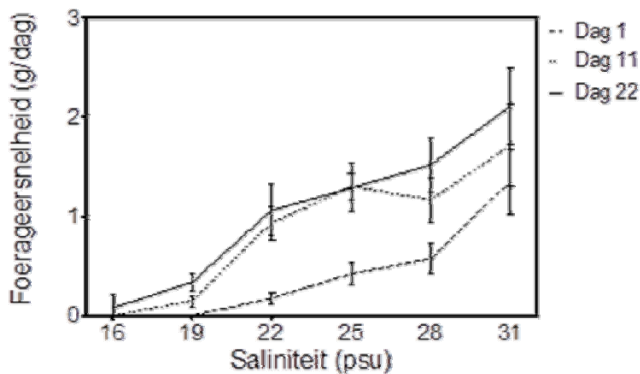


Figuur 3.3 Overlevingspercentage van de gewone zeester, gedurende drie weken, blootgesteld aan verschillende zoutgehaltenes (10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31 PSU). Zeesterren zijn verzameld in de Oosterschelde (30 ppt zoutgehalte); de proeven zijn uitgevoerd bij een temperatuur van 13°C (Agüera et al, submitted).

Uit Figuur 3.3 blijkt dat zeesterren bij zoutgehaltenes van 10 en 13 ppt sterven, terwijl er bij zoutgehaltenes vanaf 16 ppt wel een goede overleving is (>90%). De foerageeractiviteit blijft bij de lagere zoutgehaltenes wel achter zoals blijkt uit Figuur 3.4. Zeesterren kunnen zich aan de heersende saliniteit aanpassen: naarmate de tijd vordert neemt de foerageeractiviteit weer toe (Figuur 3.5).



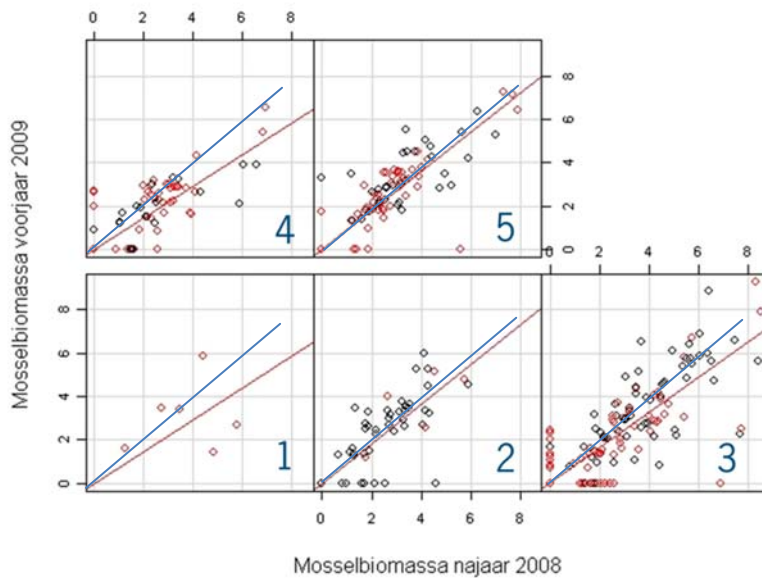
Figuur 3.4 Foerageeractiviteit als functie van het zoutgehalte, over een periode van 22 dagen



Figuur 3.5 Verandering in foerageeractiviteit in de tijd als functie van het zoutgehalte

3.2 Wintersterfte van mosselen

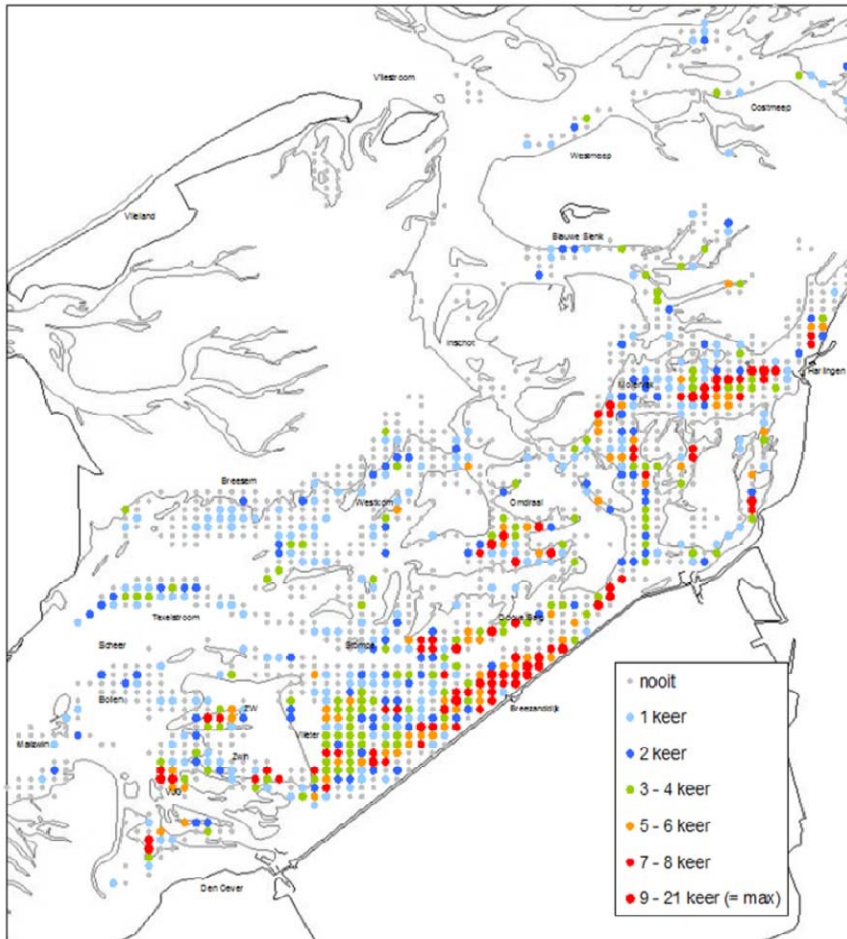
De wintersterfte in de periode 2005/2006 – 2008/2009 is bepaald door de dichtheden van de mosselen op wilde banken in de westelijke Waddenzee in het voorjaar te vergelijken met die in het voorafgaande najaar. Dit is voor de winter van 2008/2009 weergegeven in Figuur 3.6. Daaruit blijkt dat er nauwelijks wintersterfte is opgetreden. In bijlage I zijn de resultaten voor de andere meetjaren weergegeven, en die laten evenmin een duidelijk verschil zien tussen voor- en najaar voor de meeste jaren. Er zijn ook geen duidelijke verschillen zichtbaar in overleving tussen de stabiliteitsklassen (Figuur 1.1). Uit Figuur 2.5 blijkt dat er in deze periode sprake is van een relatief lage frequentie in winterstormen, hetgeen zal hebben bijgedragen aan de lage wintersterfte.



Figuur 3.6 Overleving winter 2008 / 2009 per stabiliteitsklasse: biomassa voorjaar 2009 is uitgezet tegen biomassa najaar 2008. Indien de lijn onder de $x=y$ lijn ligt is er netto afname. De verschillen zijn niet significant. Er is dus geen aantoonbare wintersterfte, en er is ook geen verschil tussen de stabiliteitsklassen. Zie voor meerdere jaren: bijlage I.

4. Ruimtelijke verspreiding mosselbanken

De resultaten van alle surveys over de periode 1992 – 2013 zijn samengevat in Figuur 4.1a t/m -c. Weergegeven is de frequentie waarmee mosselen op de monsterlocaties zijn waargenomen. Opgemerkt wordt dat niet elk jaar alle stations zijn bemonsterd, aangezien de survey gericht is op plaatsen waar mosselen worden verwacht en dat verschilt van jaar tot jaar.

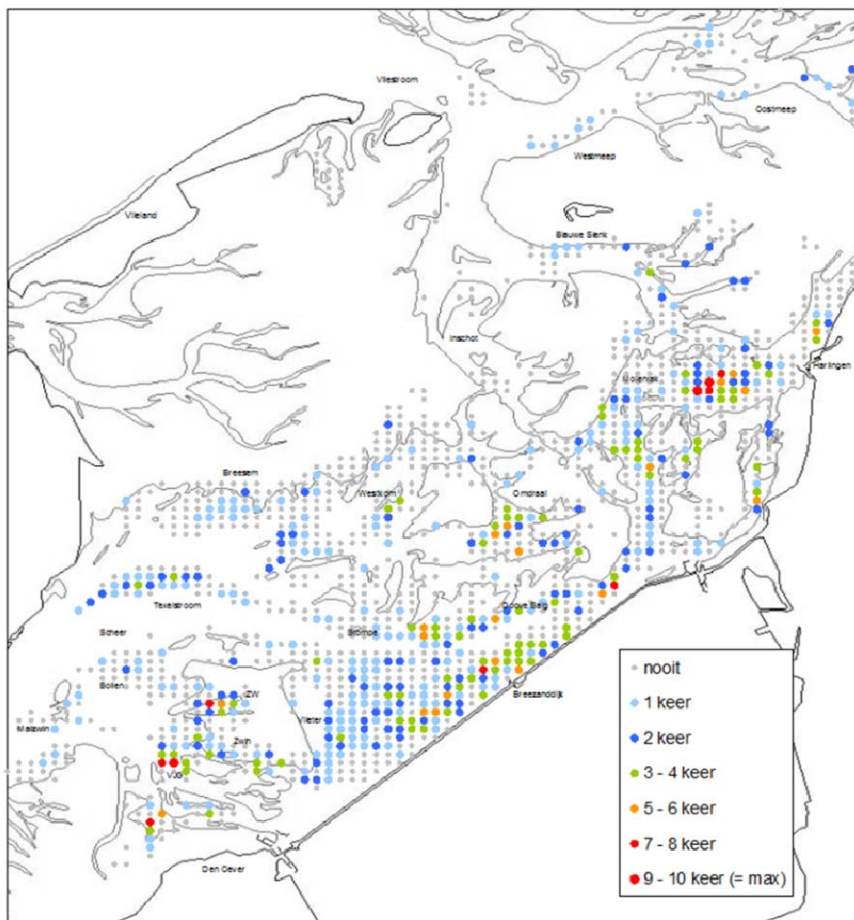


Figuur 4.1a Frequentie van voorkomen **mosselen (alle grootteklassen)** in de periode 1992 - 2013

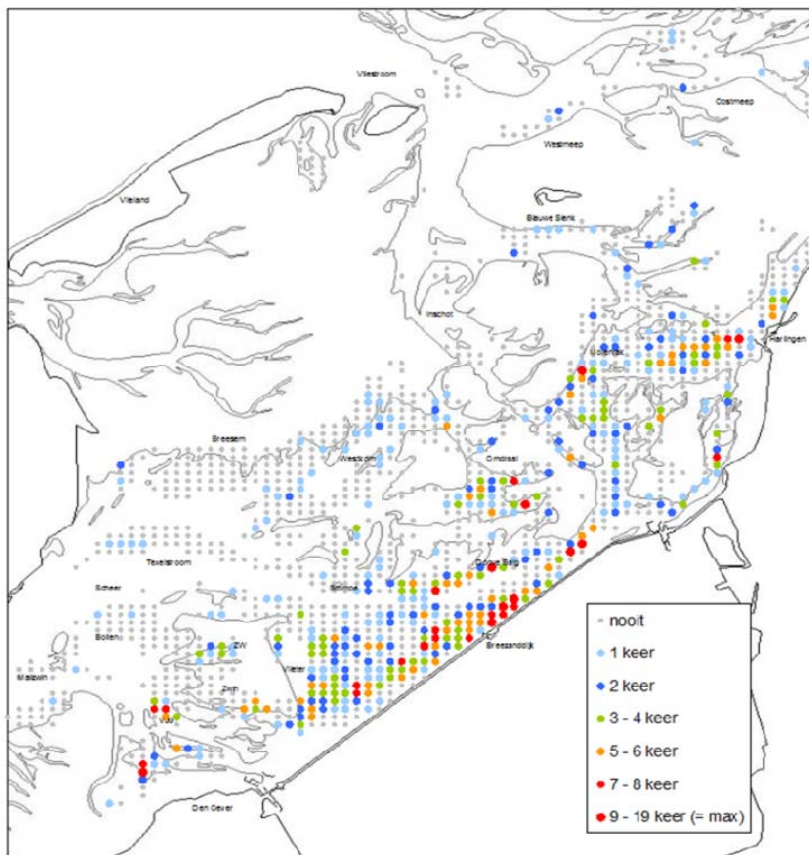
In Figuur 4.1a is over alle jaren dat er is geïnventariseerd (1992-2013) weergegeven hoe vaak op een locatie mosselen in het sublitoraal zijn aangetroffen, ongeacht hun grootte.

Figuur 4.1b geeft aan hoe vaak op een locatie in het voorjaar mosselzaad is aangetroffen.

Figuur 4.1c geeft aan waar meerjarige mosselen voorkomen. Dit zijn mosselen die minimaal twee winters hebben overleefd. Deze laatste kaart geeft daarmee een beeld van de overlevingskansen voor mosselen in de verschillende delen van de Waddenzee, voor zover daar ook zaadval heeft plaatsgevonden (Figuur 4.1b) en er dus banken zijn ontstaan en deze niet zijn weggevist. De kaart geeft dus een onderschatting van de mogelijkheid tot het ontstaan van meerjarige mosselbanken, want er kunnen ook banken zijn weggevist.



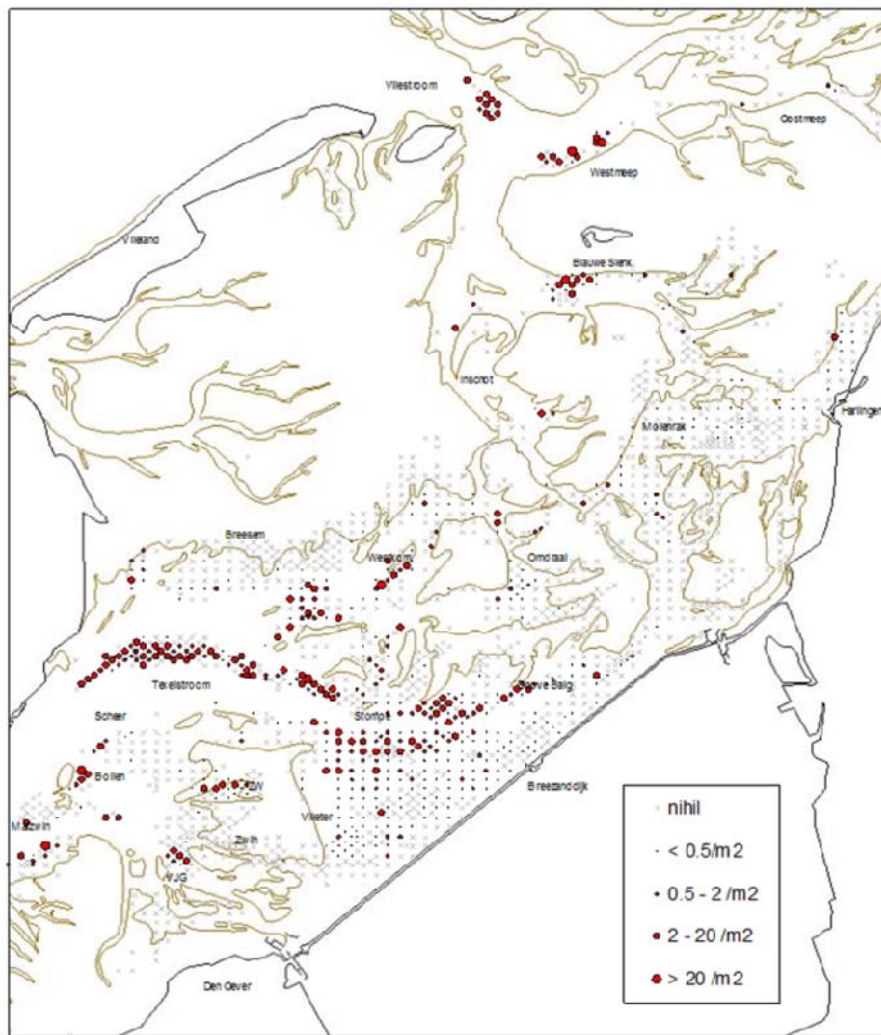
Figuur 4.1b Frequentie van voorkomen van *mosselzaad* in de periode 1992 - 2013



Figuur 4.1c Frequentie van voorkomen mosselen ouder dan twee jaar (twee winters overleefd) in de periode 1992 - 2013

Volwassen mosselen (Figuur 4.1c) worden het meest frequent aangetroffen bij de Afsluitdijk, in het Molenrak en in het Zwingebied. Met name bij de Afsluitdijk worden vrijwel altijd volwassen mosselen aangetroffen, en dat terwijl zaad daar in relatief lage frequenties is waargenomen (Figuur 4.1b).

In Figuur 4.2 zijn de gemiddelde dichtheden zeesterren weergegeven zoals aangetroffen tijdens de voorjaars-surveys tussen 1992 en 2013.



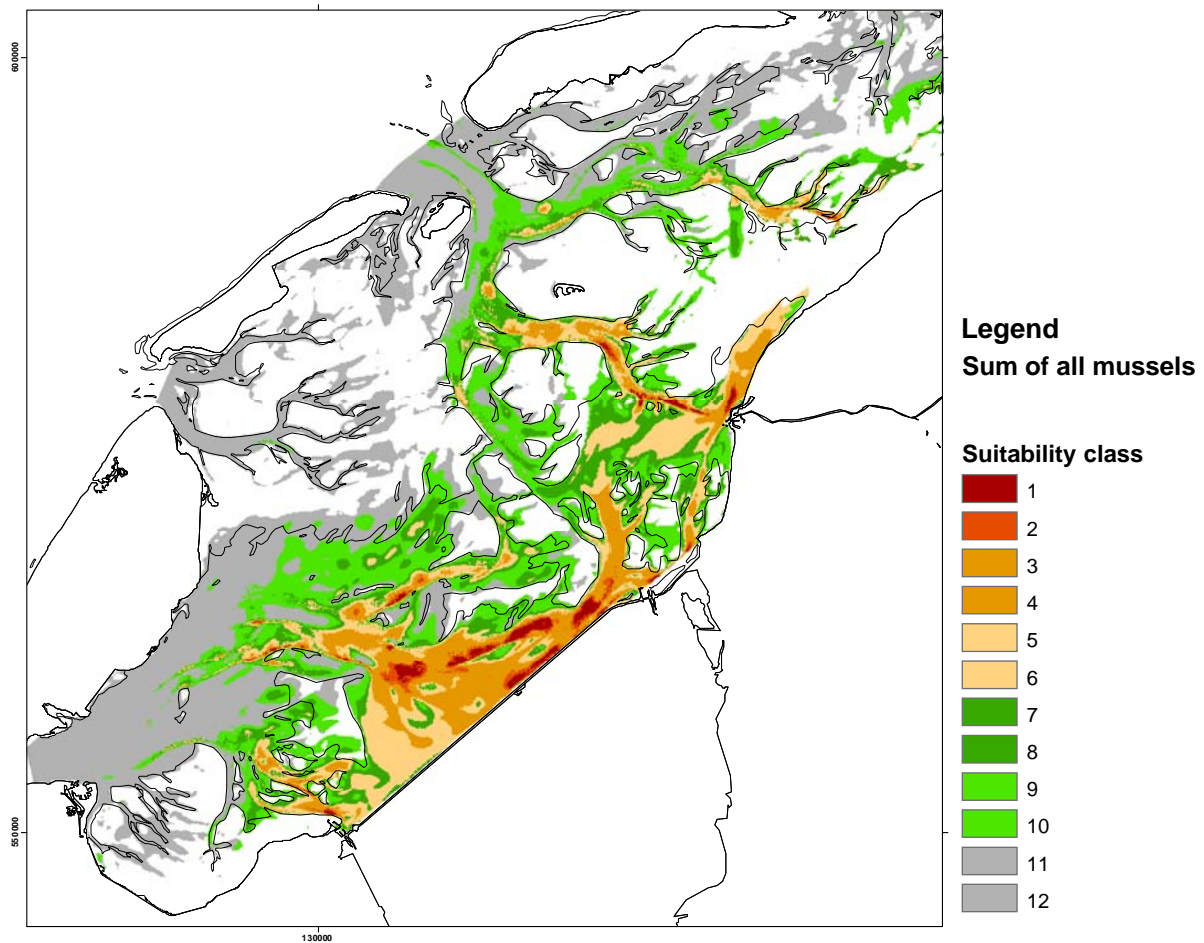
Figuur 4.2 Gemiddeld aantal zeesterren per m² over de periode 1992 – 2013 zoals aangetroffen tijdens de voorjaars mossel surveys.

In de gebieden waar vrijwel geen zeesterren zijn aangetroffen (Figuur 4.2) is de kans op het aantreffen van meerjarige mosselen (Figuur 4.1c) duidelijk hoger dan in gebieden met zeesterren. Dit valt ook wel te verwachten gezien de rol van zeesterren als predator. De verspreiding van de zeesterren correspondeert met gebieden met hogere zoutgehalten. Zoetwaterspui heeft een negatief effect op de zeesterren en daardoor een positief effect op de overleving van mosselen.

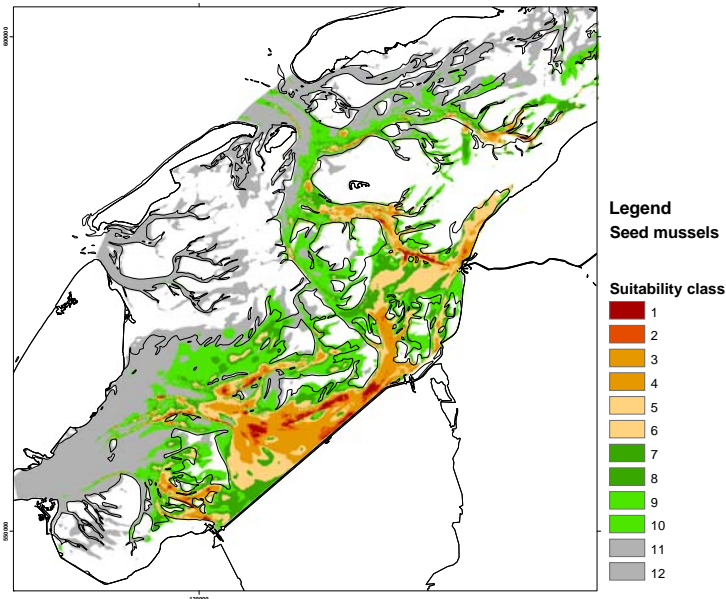
5. Integratie van gegevens in een habitatmodel

Op basis van een statistische analyse zijn de relaties vastgesteld tussen de abiotische karakteristieken en de mosseldichtheden. Op basis van deze relaties en gebied dekkende informatie over de abiotiek zijn de potentiële mosseldichtheden voor het gehele sublitoraal van de Waddenzee berekend. Dit is weergegeven in kaarten, geassocieerd naar dichtheden in 12 klassen. Klasse 1 daarin omvat de 'beste' 1% gebieden, en klasse 12 het minst goede deel van de Waddenzee (zie ook tabel 2.1 en toelichting daarbij, Brinkman 2013).

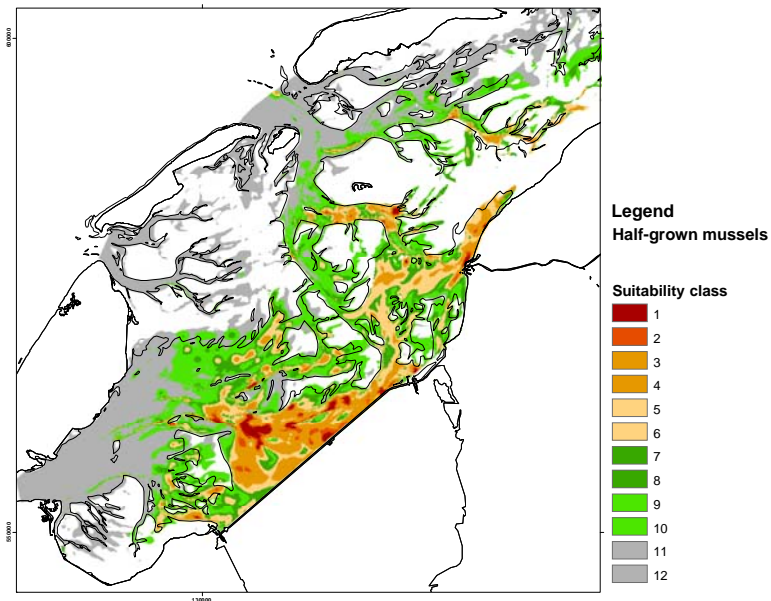
Er is een 4-tal kaarten opgenomen, voor zaad-, halfwas-, consumptiemosselen en het totaal aan mosselen.



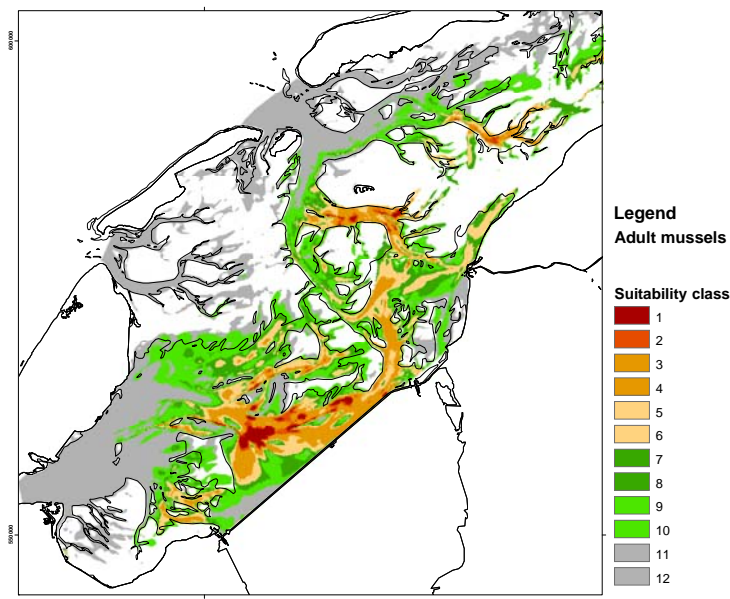
Figuur 5.1 Kansenkaart voor de totale sublitorale mosselvoorkomens in de Waddenzee. Klasse-indeling 1-12 zoals aangegeven in tabel 1. Data betreffen de gemiddelde dichtheid van de som van alle mosselen vanaf het jaar 2000, uitgedrukt in geschiktheidsklassen.



Figuur 5.2 Kanskaart voor sublitorale **zaad**mosselvoorkomens in de Waddenzee. Klasse-indeling 1-12 zoals aangegeven in tabel 1. Data betreffen de gemiddelde dichtheid van zaadmosselen vanaf het jaar 2000.



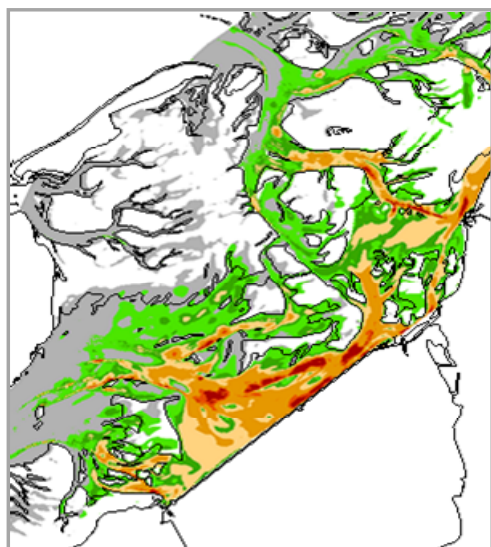
Figuur 5.3 Kanskaart voor de totale sublitorale **halfwas**-mosselvoorkomens in de Waddenzee. Klasse-indeling 1-12 zoals aangegeven in tabel 1. Data betreffen de gemiddelde dichtheid van halfwas mosselen van 2000 tot 2012.



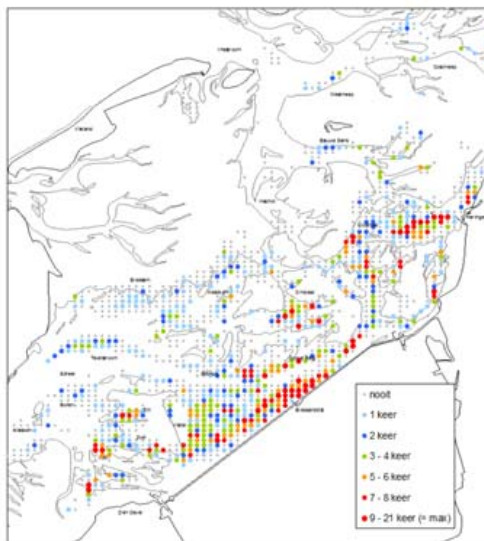
*Figuur 5.4 Kansenkaart voor de totale sublitorale **meerjarige** mosselvoorkomens in de Waddenzee. Klasse indeling 1-12 zoals aangegeven in tabel 2.1. Data betreffen de gemiddelde dichtheid van meerjarige mosselen vanaf het jaar 2000.*

De habitatkaarten geven de geschiktheid weer van de sublitorale westelijke Waddenzee voor de overleving van mosselen, uitgaande van alleen abiotische variabelen in relatie tot de waargenomen verspreiding van mosselen. Er is dus geen rekening gehouden met biotische factoren zoals de verspreiding van zeesterren en met de factor visserij.

Uit de vergelijking van de habitatkaart (Figuur 5.1) met de frequentie van voorkomen van mosselen (Figuur 4.1a) blijkt dat er duidelijke overeenkomsten zijn in de kaarten. In de geschikte gebieden (rood-oranje-geel) worden mosselen inderdaad het meest frequent aangetroffen. Dat is ook niet zo verrassend aangezien bij het opstellen van de habitatkaart gebruik is gemaakt van de bestandsgegevens in Figuur 4.1a



Figuur 5.1 Habitatkaart mosselgebieden

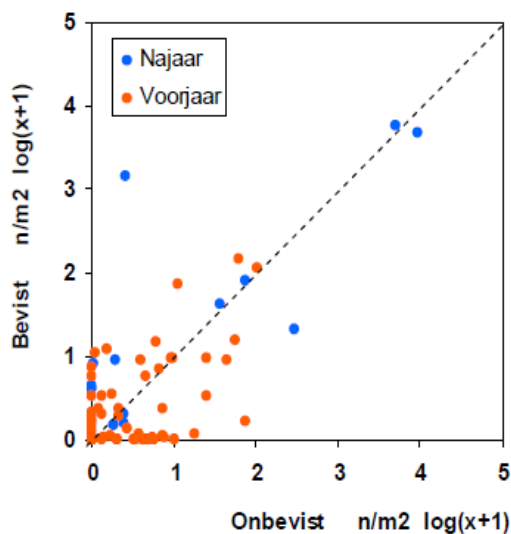


Figuur 1a Aangetroffen mosselbestanden

Er zijn echter ook belangrijke verschillen tussen de habitatkaart en bestandskaart. Op een aantal locaties (Zuidwest, Lutjewaard, Figuur 2.6) zijn de omstandigheden volgens het model geschikt, terwijl er in de praktijk nauwelijks meerjarige mosselen worden aangetroffen. Dit is onder meer zichtbaar bij de pijl in Figuur 5.1.

Het model is gebaseerd op de abiotische omstandigheden, terwijl zoals al genoemd er ook andere factoren van belang zijn, zoals predatie door zeesterren, of effecten van visserij.

Uit Figuur 4.2 blijkt dat de verschillen tussen de kaarten vaak gebieden betreffen waar zeesterren in hoge dichtheden voorkomen. Aangezien de zeesterren niet in het habitatmodel zijn opgenomen, kan dit een verklaring zijn voor de lage frequentie van meerjarige mosselen in gebieden die op de habitatkaart als kansrijk zijn aangegeven.



Figuur 5.6 Dichtheid mosselzaad in september (najaarslocaties) en april (voorjaarslocaties) als indicator voor de zaadval op de onbeviste en beviste PRODUS-vakken. Het betreft gegevens over de zaadval na aanleg van de locaties (uit Van Stralen et al, 2013).

Op de mogelijke effecten van visserij op de overleving van mosselzaadbanken is in het PRODUS-3 onderzoek nader ingegaan (Smaal et al, 2013). Uit de vergelijking tussen vakken die open dan wel gesloten waren voor mosselzaad visserij komt naar voren dat er tussen de vakken geen verschil in zaadval kon worden aangetoond: Figuur 5.6. Daaruit is geconcludeerd dat een negatief effect van mosselzaadvisserij op nieuwe broedval niet waarschijnlijk is (Smaal et al, 2013). De afwezigheid van mosselzaad in enkele gebieden die volgens de habitatkaart kansrijk zijn, wordt daarom niet toegeschreven aan de effecten van zaadvisserij. Dit kan ook gelden voor gebieden waar meerjarige mosselen niet zijn aangetroffen terwijl de gebieden wel als kansrijk zijn aangeduid. Uit het Produs 3 onderzoek is nl gebleken dat de mosselzaadvisserij een uitdunnend effect heeft op zowel zaad als meerjarige mosselen; er blijft altijd een meetbaar bestand over (Smaal et al, 2013; van Stralen et al, 2013).

6. Discussie en conclusies

De stabiliteit van sublitorale mosselbanken is gedefinieerd als de kans die eenmaal gevestigde wilde mosselbanken hebben om één of meerdere winters te overleven. De overlevingskans is afhankelijk van abiotische, biotische en antropogene factoren.

Met behulp van een habitatmodel is nagegaan wat het verband is tussen het voorkomen van (wilde) mosselen en de **abiotische omstandigheden** zoals zoutgehalte, diepte, stroming en slibgehalte van de bodem op de locaties waar mosselen werden aangetroffen. Op basis van het model is een inschatting gemaakt welke locaties potentieel geschikt zijn voor mosselen.

Een abiotische factor die moeilijk voorspelbaar is maar die in de praktijk van groot belang kan zijn, is het wegspoelen van mosselen tijdens stormen. Uit de stormfrequentie gegevens blijkt dat er in de periode vóór 2000 veel vaker zware stormen voorkwamen dan daarna. Substantieel verlies van mosselen door wegstormen is tijdens onderhavig onderzoek, dat de periode 2000 - 2012 besloeg, nagenoeg uitgebleven.

Wat betreft **biotische factoren** lijkt vooral de predatie van belang voor de stabiliteit. Uit de verspreiding en de rol van zeesterren valt op te maken dat er op grond van abiotische factoren potentieel geschikte gebieden zijn waar mosselbanken niet tot ontwikkeling komen, en dat dit samenvalt met locaties met hoge zeester dichtheden. Uiteraard is er ook predatie door vogels, maar de verspreiding daarvan vormt een ruimtelijk minder gedifferentieerd patroon. Predatie door krabben is ook aan de orde maar daarover ontbreken gegevens over verspreiding en dichtheid. Door de beperkte tolerantie van zeesterren voor een laag zoutgehalte is predatie op mosselen door zeesterren in de brakkere zones relatief laag. Dit verklaart waarom stabiliteit van sublitorale mosselbanken in de wat brakkere delen van de Waddenzee relatief hoog is en suggereert dat de predatie door zeesterren de overlevingskansen van mosselbanken elders substantieel kan verlagen.

Wat betreft **antropogene factoren** geldt de visserij op mosselzaad als de belangrijkste factor die de levensduur of beter de verblijftijd van mosselen op wilde banken beïnvloedt. Uit het PRODUS 3 onderzoek komt naar voren dat visserij wel invloed heeft op de dichtheid van het mosselbestand, maar dat banken als geheel niet verdwijnen, en dat nieuwe broedval leidt tot terugkeer van verdwenen banken (van Stralen et al, 2013).

Dit leidt tot de volgende conclusies:

= De ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken verschilt tussen deelgebieden en houdt verband met het zoutgehalte en de daaraan gerelateerde kans op predatie door zeesterren. In gebieden met lager zoutgehalte is er minder predatie door zeesterren en een betere overleving. Hier worden ook het vaakst meerjarige mosselen aangetroffen en deze gebieden worden daarom aangeduid als relatief stabiel

= Op basis van een habitatmodel, waarbij abiotische factoren die van belang zijn voor vestiging en overleving van mosselbanken zijn geïntegreerd, is er een kaart met de relatieve geschiktheid van gebieden voor mosselbanken geconstrueerd. Deze kanskaart komt goed overeen met de verspreiding van mosselen maar er zijn ook duidelijke verschillen. De verschillen kunnen worden toegeschreven aan predatie door onder meer zeesterren, die niet in het habitatmodel is verdisconteerd.

= De vestiging en overleving van mosselen op een bepaalde locatie is afhankelijk van een samenloop van omstandigheden, waarbij zoutgehalte en daaraan gerelateerde predatie een belangrijke rol spelen, maar ook bodemeigenschappen, diepte en oriëntatie ten opzichte van windrichting – welke bepalend zijn voor de kans dat mosselen wegstromen tijdens stormen - en mogelijke andere factoren. Het huidige habitatmodel geeft aan waar de kans op vestiging en overleven het grootst is (en waar het kleinst). Het is een glijdende schaal, en het is niet gezegd dat in gebieden waar de kans door het model laag worden ingeschat ook werkelijk geen zaadval of overleving zal plaatsvinden. Het model is niet geschikt om op gedetailleerd niveau voorspellingen te doen over vestiging en overleving van mosselbanken op een bepaalde locaties.

Op grond van het voorgaande kunnen de kennisvragen als volgt worden beantwoord:

1 - Hoe stabiel zijn de verschillende mosselzaadbanken en wat bepaalt deze stabiliteit ?

Mosselzaadbanken verschillen in stabiliteit en dit kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan de rol van predatie, met name door zeesterren. Gebieden onder invloed van zoetwaterspui zijn stabiel dan andere gebieden omdat de zeesterren afwezigheid zijn in de brakke zones. Hierbij moet worden vastgesteld dat het onderzoek heeft plaatsgevonden over een periode zonder zware winterstormen. De effecten van winterstormen zijn in het rapport waarschijnlijk onderschat.

2 - Is de stabiliteit van een mosselzaadbank voorspelbaar ?

Het antwoord op deze vraag hangt af van de ruimtelijke schaal. Op het schaalniveau van de westelijke Waddenzee kan een duidelijke zonering in relatieve stabiliteit worden aangegeven, waarbij het zoutgehalte een belangrijke rol speelt. Op meer gedetailleerd niveau spelen diverse lokale factoren in onderlinge samenhang een rol, zoals beschutting e.d. Deze factoren zijn onderdeel van het habitatmodel en zijn ook vervat in de ervaringskaart. Echter, naarmate de ruimtelijke schaal kleiner is en er dus ruimtelijk gedetailleerdere gegevens nodig zijn, neemt de voorspellende waarde van het model af en is de lokale stabiliteit dus moeilijker te duiden.

3 - In welke gebieden in de Waddenzee liggen stabiele en in welke gebieden instabiele mosselzaadbanken?

Uit de gepresenteerde habitatkaarten kan worden afgelezen wat de relatieve geschiktheid is van de westelijke Waddenzee voor de vestiging en ontwikkeling van mosselbanken, dus welke gebieden relatief stabiel respectievelijk instabiel zijn. De geaggregeerde kaartbeelden van de bestandsopnamen geven hetzelfde beeld en zijn eveneens een basis om de relatieve geschiktheid van bestaande locatie te duiden. De habitatkaarten zijn als kanskaarten met name zinvol bij de beoordeling van de kans op vestiging en overleving van mosselbanken op plaatsen waar tot dan toe nog geen mosselbanken zijn aangetroffen.

7. Referenties

- Agüera, A., M. Trommelen, F. Burrows, J.M. Jansen, T. Schellekens and A.C.Smaal (2012). Winterfeeding activity of the common starfish (*Asterias rubens* L.): The role of temperature and shading. *Journal of Sea Research* 72, p. 106-112.
- Agüera, A., T. Schellekens J.M. Jansen and A.C.Smaal (submitted). Effects of osmotic stress on performance and predation behavior of *Asterias rubens* L.
- Agüera, A., (2014). Thesis, in prep.
- ALTERRA, 2005. Passende Beoordeling sublitorale mosselzaadvisserij in de westelijke Waddenzee, najaar 2005. *Alterra- Texel, RIVO-Yerseke*.
- Beukema, J.J. P. J. C. Honkoop & R. Dekker, 1998. Recruitment in *Macomabalthica* after mild and cold winters and its possible control by egg production and shrimp predation. *Hydrobiologia* 375-376: 23-34
- Beukema, J. J. & Dekker, R. (2005) Decline of recruitment success of cockles and other bivalves in the Dutch Wadden Sea: possible role of climate change, predation on postlarvae and fisheries. *Marine Ecology Progress Series*, 287, 149-167.
- Brinkman AG, N. Dankers & MR van Stralen, 2002. An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgoland Marine Res* 56:59-75
- Brinkman AG 2013 (in prep). A new mussel bed habitat suitability map for the Dutch Wadden Sea.
- Ens, B.J., Smaal, A. C., & de Vlas, J. (2004) The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde. Final report on the second phase of the scientific evaluation of the Dutch shellfish fishery policy (EVA II). *Alterra-rapport 1011; RIVO-rapport C056/04; RIKZ-rapport RKZ/2004.031*. Alterra, Wageningen
- Gallagher, T., C.A. Richardson, R. Seed and T. Jones (2008). The Seasonal movement and abundance of the starfish *Asterias rubens* in relation to mussel farming practice: a case study from the Menai Strait, UK. *Journal of Shellfish Research* 27: 1209–1215.
- Jansen, J, M van Stralen, P. Kamermans & H. Sas, 2012. Mosseltransitie in de Waddenzee, *De Levende natuur* 113, 3, 113-115.
- LNV, 2004. Ruimte voor een zilte oogst. Naar een omslag in de Nederlandse schelpdiercultuur. Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005A2020. Ministerie LNV, Den Haag
- Navarrete, S.A. & B.A. Menge (1996). Keystone Predation and Interaction Strength: Interactive Effects of Predators on Their Main Prey. *Ecological Monographs* 66(4): 409-429.
- Saier B (2001) Direct and indirect effects of seastars *Asterias rubens* on mussel beds (*Mytilus edulis*) in the Wadden Sea. *J Sea Res* 46:29-42
- Smaal A.C., J. Craeymeersch, J. Drent, J.M. Jansen, S. Glorius & M.R. van Stralen, 2013. Effecten van mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee: samenvattend eindrapport PRODUS 3. *Imares C 006-13*.
- Smit, CJ, A.G. Brinkman, B.J. Ens & R. Riegman, 2011. Voedselkeuzes en draagkracht: de mogelijke consequenties van veranderingen in de draagkracht van Nederlandse kustwateren op het voedsel van schelpdieretende wad- en watervogels. *Imares rapport C155/11*
- Stralen, M.R. van, 2002. De ontwikkeling van mosselbestanden op droogvallende platen en in het sublitoraal van de Waddenzee vanaf 1955, een reconstructie op basis van gegevens uit de mosselzaadvisserij. *Marinx-rapport 2001.10*, Scharendijke
- Stralen, M. R. van en K. Troost, 2011. Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2011. *Marinx-rapp., 2011.104*. Scharendijke.
- Stralen, M. van (2012) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het najaar van 2012. *MarinX, Rapport nummer: 2012.124.2*, 15 pagina's.
- Stralen, MR van, JMJ Jansen, AC Smaal, 2013. Het mosselbestand op de PRODUS-vakken en de effecten van de visserij daarop. *MarinX/PRODUS rapport PR 6*
- Uthicke, S., B. Schaffelke & M. Byrne (2009). A boom-bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms. *Ecological Monographs* 79(1): 3-24.

Verantwoording

Rapportnummer : C066.14
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
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 16 april 2014

Akkoord: Dr. ir. L.J.W. van Hoof
Waarnemend hoofd afdeling Delta

Handtekening:



Datum: 16 april 2014

Bijlage I. Mosselbiomassa in na- en voorjaar

Onderstaande figuren geven de verhouding weer tussen mosselbiomassa in najaar (x-as) en volgend voorjaar (y-as) in de periode 2005 – 2009 voor de verschillende stabiliteitsklassen in de westelijke Waddenzee. Bij $x=y$ is er geen wintersterfte aantoonbaar, wanneer de data onder de $x=y$ lijn liggen is er wel sterfte opgetreden.

