

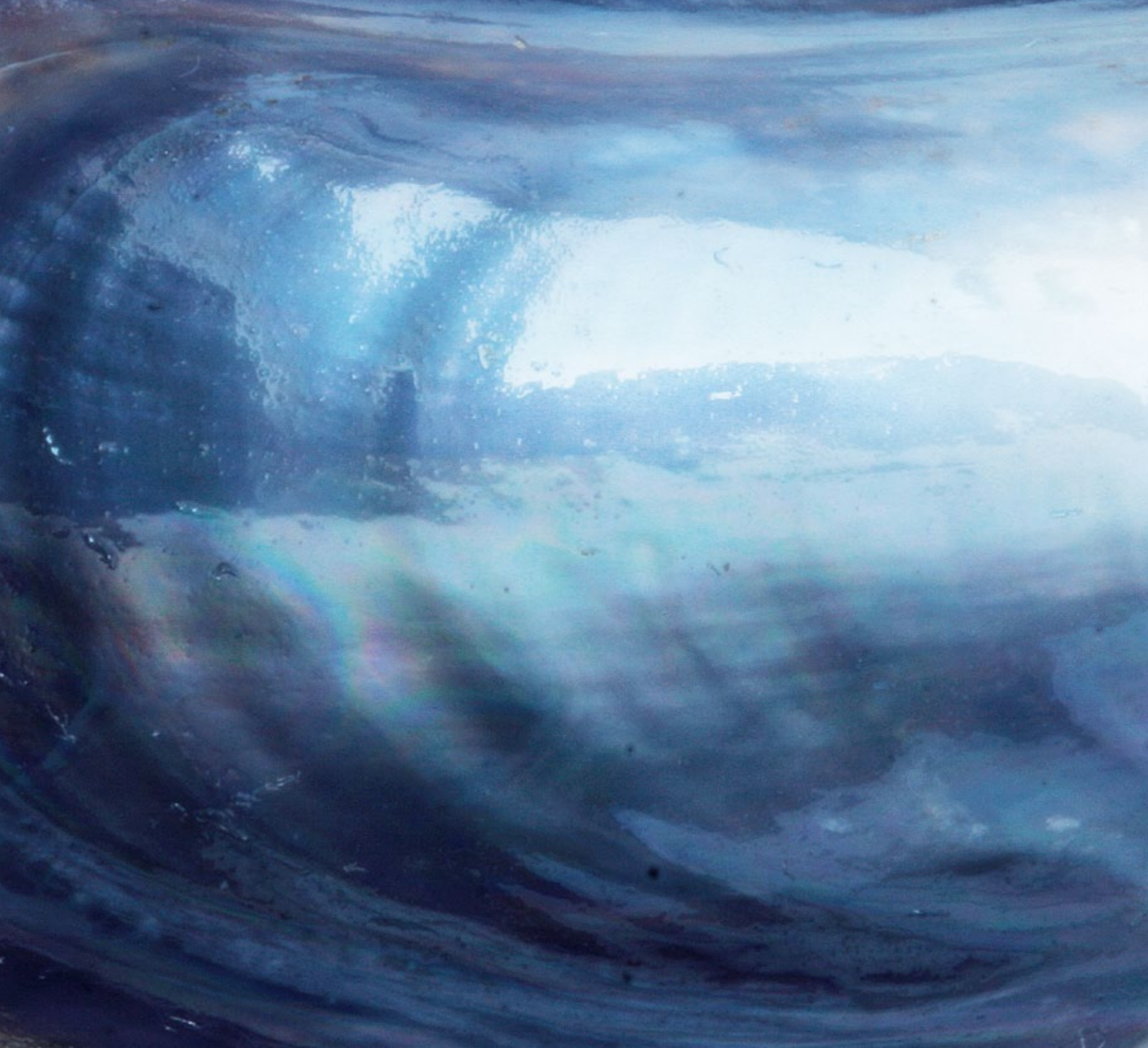


Een zee van Mosselen

Handboek ecologie, bescherming, beleid
en beheer van mosselbanken in de Waddenzee



Norbert Dankers
Frouke Fey-Hofstede





Colofon

Met bijdragen van

Projectgroep Mosselwad Jaap van der Meer, Bruno Ens, Piet Hoekstra, Johan van de Koppel, Joos Versfelt, Jakkus van der Salm, Erik van Dijk, Jeroen Jansen en Cor Smit

AIO's en andere onderzoekers Jasper Donker, Arno Kangeri, Andreas Waser, Anja Cervenci, Antonio Agüera Garcia, Anneke Rippen, Sander Glorius, Karin Troost, Marc van Roomen en Bert Brinkman

Redactie Oscar Bos, Floor Driessen (Stichting ANEMOON) en Adriaan Gmelig Meyling (Stichting ANEMOON)

Fotografie Antonio Agüera (AA), Bert Brinkman (BB), Bram Fey (BF), Carl Zuhorn (CZ), Foto Fitis (FF), Frans Klinge (FK), Freek Jan van der Wal (FJvdW), Frouke Fey-Hofstede (FFH), Günther Hetweck (GH), Harald Asmus (HA), Henk Markies (HM), IMARES, Jaap de Vlas (JdV), Jan van de Kam (JvdK), Jan Johan ter Poorten (JJtP), Jasper Donkers (JD), Jessica Bergsma (JB), Johan van de Koppel (JvdK), Joos Versfelt (JV), Henk Postma (HP), Kees Kersting (KKe), Klaas Kreuijter (KK), Maarten Ruth (MR), Marcel van Maarseveen (MvM), Martin Baptist (MB), Martin de Jong (MdJ), Michel Trommelen (MT), Mick Otten (MO), Norbert Dankers (ND), Oscar Bos (OGB), Pascalle Jacobs (PJ), Rob Buitter (RB), Sanjeevi Rajagopal (SR)

Technische ondersteuning Bas van Dam, Marcel van Maarseveen, Henk Markies, Chris Roosendaal, Daniel Joppe

Illustraties Hendrik Gheerardyn, www.hendrikgheerardyn.com

Ontwerp Jan Johan ter Poorten, Aperta, www.aperta.nl

◀ Foto: JJtP, MO (p. 2-3)

◀◀ Foto: FF, ND, HP (omslag)

Citatie

Gelieve dit boek als volgt te citeren:

Dankers, N. & Fey-Hofstede, F. (2015). Een zee van Mosselen.

Handboek ecologie, bescherming, beleid en beheer van mosselbanken in de Waddenzee. Lisse, pp. 108

Dit boek is gepubliceerd door

Stichting ANEMOON, Lisse, www.anemoon.org

ISBN 978-90-815248-2-7

NUR 430

Druk High Trade, Zwolle

Oplage 1000 exemplaren

Copyright © 2015 Stichting ANEMOON, Lisse

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie of op welke andere wijze en/of door welk ander medium ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever

Deze uitgave is tot stand gekomen dankzij

Mosselwad (2009-2015) is een project van:

- Vereniging Kust & Zee (EUCC)
- IMARES Wageningen UR
- Koninklijk Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek (NIOZ), vestiging Texel en Yerseke
- Universiteit Utrecht, Faculteit Geowetenschappen
- SOVON Vogelonderzoek Nederland

Hoofdfinanciering Waddenfonds

Cofinanciering Rijkswaterstaat-Noord, Ministerie I&M;

Provinsje Fryslân; Provincie Noord-Holland

Een zee van Mosselen

Handboek ecologie, bescherming, beleid
en beheer van mosselbanken in de Waddenzee

Norbert Dankers
Frouke Fey-Hofstede

2015



Stichting ANEMOON



Voorwoord

Goed beleid is gebaseerd op kennis. Zeker wanneer er sprake is van meerdere belangen, die soms tegenstrijdig lijken, is kennis de sleutel tot compromissen die acceptabel zijn voor alle betrokken partijen.

Kennis is niet statisch, maar voortdurend in ontwikkeling. Nieuwe inzichten kunnen echter indruisen tegen al jarenlang bestaande opvattingen. Acceptatie is dan niet altijd gemakkelijk, maar sinds Galilei de aarde om de zon liet draaien, weten we dat kennis gebaseerd op werkelijke feiten uiteindelijk breed gedragen wordt. We weten veel, we weten steeds meer, maar tegelijkertijd doemen er steeds weer nieuwe vragen op en worden nieuwe antwoorden gevonden. Kennis is in beweging, neem toe, maar om deze te kunnen toepassen is het essentieel dat deze gemakkelijk toegankelijk is. Tot de jaren 80 van de vorige eeuw vormden mosselbanken belangrijke levensgemeenschappen in de Waddenzee. Daarna is het oppervlak aan deze banken sterk afgenomen.

Factoren als schelpdiervisserij, andere vormen van visserij, recreatie, klimaatveranderingen, maar ook natuurlijke factoren speelden daarbij een rol. Afgelopen decennia is daarom veel beleid ontwikkeld om duurzame mosselbanken na te streven als onderdeel van een duurzame Waddenzee. Daarbij heeft men zoveel mogelijke rekening willen houden met belangen van verschillende partijen. In meerdere opzichten is het juiste evenwicht daarbij nog niet gevonden. Geconcludeerd werd dat ook hier geldt dat toegankelijke kennis de sleutel zal zijn tot een beleid met als inzet duurzame mosselbanken. Eeuwenlange oogst van schelpdieren en toch nog nieuwe feiten, nieuwe vragen. De maatschappelijke noodzaak van onderzoek naar de duurzaamheid van mosselbanken was zo groot, dat twee projecten, te weten 'Waddensleutels' en 'Mosselwad', een toekenning kregen van het Waddenfonds. Doel daarbij was beschikbare kennis toegankelijk te bundelen, maar zeker ook de nog vele openstaande vragen met betrekking tot mosselbanken in de Waddenzee te beantwoorden. Over de Mossel is ontzettend veel bekend. Meer dan een



eeuw onderzoek heeft honderden publicaties, rapporten, beleidsadviezen, inventarisaties en kaarten opgeleverd. Juist deze zee van kennis maakt het onoverzichtelijk voor beleidsdenkers, beheerders, vissers, kwekers, natuurbeschermers en de recreatieve sector. Adviseurs kunnen, door selectief te shoppen en door geen onderscheid te maken tussen facts en fiction, tot nagenoeg elk gewenst advies komen.

Dit handboek is één van de resultaten van het project Mosselwad. Het presenteert op een overzichtelijke en begrijpelijke manier de huidige kennis over mosselbanken, hun ontstaan en overleven. Met deze achtergrondkennis is het eenvoudiger feiten, meningen en beweringen op waarde te schatten. Het geeft feitelijke kennis die bijdraagt tot het ontwikkelen en behoud van duurzame mosselbanken. Daarmee levert dit boek een bijdrage aan een duurzame Waddenzee, waarbij met de belangen van alle partijen rekening kan worden gehouden. Als voorzitter van de begeleidingsgroep Mosselwad heb ik steeds met genoegen de voortgang van het project Mossel-

wad gevolgd. Het enthousiasme waarmee de deelnemers hun bijdrage leverden was buitengewoon. Bewonderenswaardig was de gedrevenheid om de processen ten aanzien van ontstaan, overleving en verdwijning van mosselbanken te doorgronden. Indrukwekkend was het dat steeds van uit meerdere invalhoeken gezocht werd naar duurzame oplossingen. Ik hoop dat dit handboek zal bijdragen aan een duurzaam beleid waar duurzame mosselbanken een belangrijk onderdeel van uit zullen maken. Een beleid waardoor toekomstige Waddenzeebezoekers gefascineerd van de natuur kunnen genieten. Maar ook een beleid, waardoor het genieten van een maaltijd Zeeuwse Mosselen blijvend tot de mogelijkheden behoort. Ik zou mijn Vlaamse vrienden niet onder de ogen kunnen komen als dat culinaire genoegen niet zou worden bestendigd. Want ook zij vinden dat die smakelijke proeverij onder duurzame randvoorwaarden tot stand moet komen.

Wim van Gelder

Voorzitter begeleidingsgroep Mosselwad

▲ Foto: JV

► Foto: OGB (p. 8)





Inhoud

1	Inleiding	11
	Waarom een boek over mosselbanken?	12
	Project Mosselwad	15
	Leeswijzer	18
2	Waddenzee en het beleid	19
	Beheer	20
	Beleid	20
	Afspraken	26
	Visies	27
	Beleid schelpdiervisserij	27
3	Ecologie en belang van mosselbanken	29
	Biologie van Mosselen	30
	Ontwikkeling van mosselbanken	37
	Mosselbanken en hun betekenis voor het ecosysteem	53
	Ontstaan en verdwijnen van mosselbanken	60
	Kwaliteitskenmerken van mosselbanken	66

4	Wat bepaalt de overleving?	71
	Met wind samenhangende processen	73
	Morfologische variabelen	76
	Biologische eigenschappen	78
	Abiotische eigenschappen	80
5	Ervaringen met aanleg van mosselbanken	85
	Litoraal	86
	Sublitoraal	88
	Recente pogingen	88
6	Aanbevelingen voor beleid en beheer	95
	Aanleg van nieuwe mosselbanken	96
	Herstel van bestaande mosselbanken	97
	Stimulatie van natuurlijke broedval en overleving daarvan	99
	Bescherming van bestaande mosselbanken	103
	Verder lezen	106
	Digitale bijlage	109



1

Inleiding

1 Inleiding

Mosselbanken waren lange tijd een vertrouwd en veel voorkomend verschijnsel in de Waddenzee. Droogvallende banken konden, ondanks zware stormen in najaar en winter, op heel veel plaatsen tientallen jaren oud worden. Er was sprake van een dynamische doch op grote schaal stabiele situatie. Op dezelfde of nabij gelegen plekken waar mosselbanken verdwenen, ontstonden immers meestal weer nieuwe banken. Maar toen kwam er een tijd dat dit niet meer zo vanzelfsprekend was...

Tot de jaren 80 van de vorige eeuw waren er op droogvallende platen in de Waddenzee altijd op meerdere plaatsen mosselbanken te vinden. Of zich in de diepere delen van de Waddenzee ook mosselbanken ontwikkelden, is niet met zekerheid te zeggen. Deze zogenaamde sublitorale banken zijn uit het verleden niet of nauwelijks bekend. Het was onduidelijk of het waddenmilieu geschikt was voor dergelijke permanent onder water staande banken of dat het ontbre-



► Foto: OGB

ken daarvan te wijten is aan de jaarlijkse visserij die nagenoeg alle zaad- en halfwasbanken opviste.

In de jaren 80 van de vorige eeuw vond naast overbevissing in diepere geulen ook overbevissing plaats op droogvallende wadplaten. Deze mosselbanken zouden zich tot stabiele banken hebben kunnen ontwikkelen, als ze niet verstoord waren geweest. De overbevissing gebeurde ten behoeve van de commerciële kweek op aangelegde percelen in de westelijke Waddenzee en in de Zeeuwse Delta. Het resultaat was dat er in 1991 zo goed als geen droogvallende mosselbanken meer te vinden waren in de Nederlandse Waddenzee. Samen met de overbevissing van Kokkels heeft dit tot grote vogelsterfte geleid, zoals van Eidereenden en Scholeksters die voor hun voedsel afhankelijk zijn van schelpdieren.

Maar Mosselen zijn meer dan voedsel. Ze hebben een zuiverende werking op de waterkwaliteit en ze vormen een groeiplaats voor veel andere organismen en leveren dus een belangrijke bijdrage aan de biodiversiteit. Ook deze functies waren ernstig in het geding. Het gevolg was dat de overheid in de jaren 90 van de vorige eeuw de commerciële mosselzaadvangst beperkte tot de sublitorale locaties in de westelijke Waddenzee. Van deze locaties werd immers verondersteld dat zich daar geen stabiele mosselbanken kunnen ontwikkelen. Ook werd de industriële kokkelvisserij beperkt en daarna geheel verboden. Ongestoorde ontwikkeling van droogvallende mosselbanken was daarmee veilig gesteld, maar de ontwikkeling liep, vooral in de westelijke Waddenzee niet zo voorspoedig als gehoopt.

Waarom een boek over mosselbanken?

Voorals in het westelijk deel van de Waddenzee ging het niet goed met de mosselbanken. Vanuit verschillende hoeken werd daarom gepleit voor het kunstmatig aanleggen van droogvallende mosselbanken en bescherming van de onder

1 Ontwikkeling van mosselbanken 1990-nu

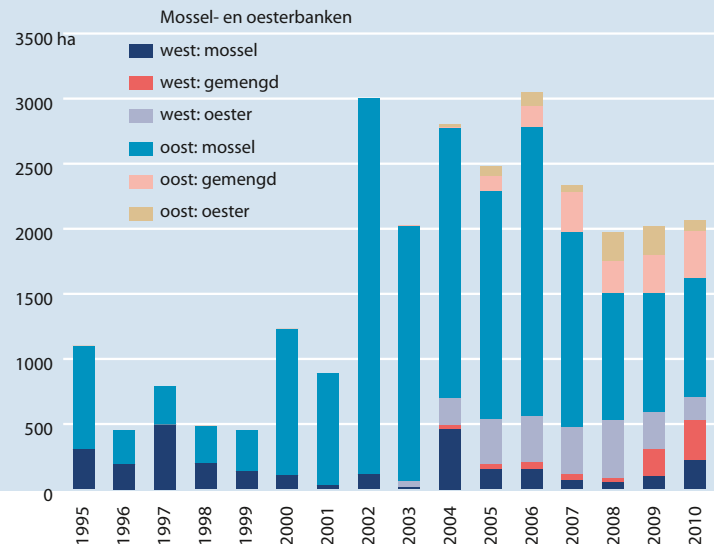
Litorale mosselbanken

Na het nagenoeg geheel verdwijnen van litorale mosselbanken (minder dan 100 hectare) begin jaren 90 is vanaf 1994 stapsgewijs herstel opgetreden. Er zijn piekvoorkomens van 5000 hectare in het najaar van 2001 en 3000 hectare in het voorjaar waargenomen (Figuur 1). De laatste jaren lijkt er een geleidelijke stabilisatie te zijn in het voorjaar met ruim 2000 hectare litorale mosselbanken van minimaal enkele jaren oud. Een deel van de huidige banken moet sinds de geleidelijk uitbreiding van de Japanse oester *Crassostrea gigas* echter gekarakteriseerd worden als oesterbank of gemengde bank. De oudere mosselbanken komen voornamelijk in het oostelijke Waddengebied voor. In een deel van het potentieel belangrijke westelijke gebied loopt het herstel langzamer.

Sublitorale mosselbanken

In de permanent onder water staande delen van de Nederlandse Waddenzee komen ook mosselbanken voor. Deze sublitorale mosselbanken bestaan voor het grootste deel uit mosselzaad en halfwas Mosselen en voor een klein deel uit meerjarige Mosselen. Van het jaarlijks in de zomer gevallen mosselzaad wordt in het daarop volgende najaars- en voor-

jaarsvisserij het grootste deel opgevisst voor mosselkweek op percelen. Sublitorale banken zijn potentieel belangrijke ecotopen met een ander karakter dan banken op droogvallende platen. Dit komt doordat er minder concurrentie bestaat met de oprukkende Japanse oester, minder predatie door vogels en door het structuurvormende karakter in de relatief structuurarme sublitorale delen.

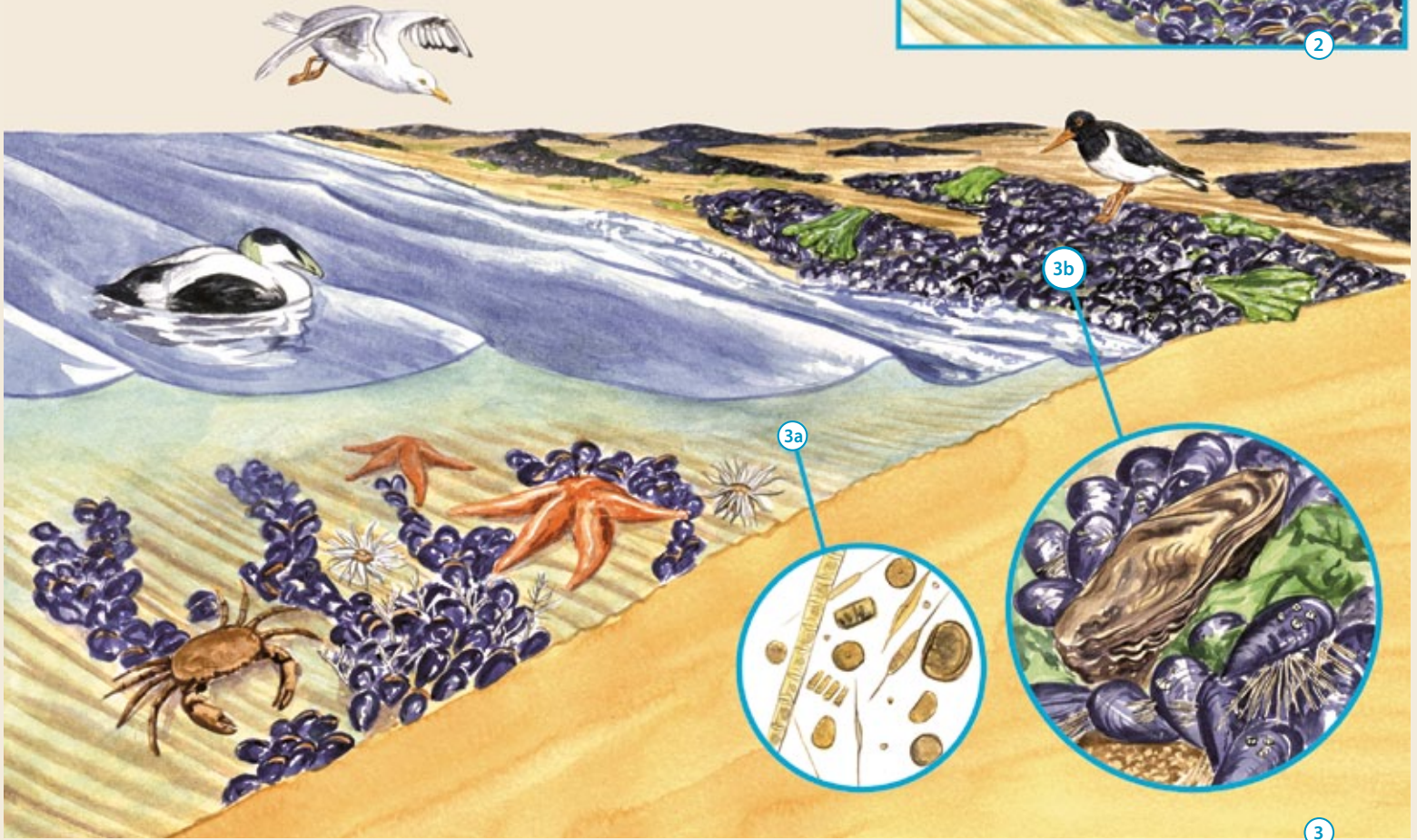


▲ Figuur 1. Oppervlakte litorale mossel- en oesterbanken(ha) in het voorjaar in de Waddenzee. Data: IMARES

water gelegen mosselbanken. Het was echter onduidelijk waarom veel jonge (natuurlijke) banken snel verdwenen en het lag dus in de verwachting dat ook aangelegde banken snel zouden verdwijnen. Zonder kennis over de mechanismen die bepalen waarom de banken verdwijnen was het nutteloos te investeren in nieuwe aan te leggen banken. Het werd duidelijk dat meer kennis verzameld moest worden

alvorens verdere pogingen tot het aanleggen van mosselbanken te doen.

In 2008 dreigde een patstelling in het overleg tussen mosselkwekers, natuurbeschermers en beleids- en beheerinstanties. In 2006 was namelijk door het toenmalige Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)



vergunning verleend voor commerciële mosselzaadvisserij in het voorjaar. De Raad van State oordeelde echter dat dit niet rechtmatig was en dat de vergunning moest worden ingetrokken. In beschermde natuurgebieden, waaronder de Waddenzee, moet immers het zogenaamde voorzorg-principe worden toegepast. Dat wil zeggen de overheid geen vergunning voor menselijk handelen mag geven als wetenschappelijke kennis ontoereikend is om de effecten daarvan niet in te kunnen schatten. De Vereniging Kust & Zee riep daarom een aantal kennisinstituten met grote praktijkervaring met mosselbanken in de Waddenzee bijeen. Het doel was om gezamenlijk de kennislacunes ten aanzien van ontstaan, overleving en verdwijning van mosselbanken grotendeels op te lossen. Dit moest gebeuren door eerder gerapporteerde informatie overzichtelijk bij elkaar te brengen aangevuld met experimenten en veldonderzoek. Niet veel later is het project Mosselwad gestart en met onder meer dit boek als resultaat.

Project Mosselwad

Mosselwad (2009-2015) is een Waddenfonds project met als doel het herstel van mosselbanken in de Waddenzee te

bevorderen. In het project zijn aanleg en monitoring van nieuwe experimentele mosselbanken bewerkstelligt en is onderzoek aan de ontwikkeling van zich herstellende mosselbanken gedaan. Het project bestond uit de volgende onderdelen:

1 Bepaling van sturende factoren van litorale mosselbanken

Om kennis over het herstel van litorale (droogvallende) mosselbanken ten bate van beheersmaatregelen te vergroten, is bepaald onder welke omstandigheden litorale mosselbanken kunnen ontstaan en stabiel blijven. Het Mosselwadteam heeft daartoe met behulp van lab- en veldmetingen, zoals geavanceerde camerapalen onderzoek gedaan aan zowel abiotische factoren (golven en stroming) als biotische factoren (stabiliteit van mosselbanken, nutriënt-beschikbaarheid, predatie en nog veel meer). De stabiliteit en biodiversiteit van mosselbanken in het Nederlandse deel van de Waddenzee van verschillende leeftijden is op (internationale) schaal vergeleken.

2 Aanleg, bestudering en monitoring van litorale pilotbanken

Vanaf 2010 zouden kunstmatig aangelegde mosselbanken

◀ Tekening mosselwad
 1 Overzicht
 mosselbank
 2 Hoogwater
 Eidereend, Krab, Harder, Wier
 3 Laagwater
 Sublitorale mosselbank,
 Zeester, Krab, Anemoon,
 Hydroïedpoliepen
 3a Close up onder water
 Fytoplankton, Diatomee,
 Schelpdierlarve
 Litorale mosselbank, Eider-
 eend, Scholekster, Zeepok,
 Mossel, mosselbult, golfwer-
 king op rand mosselbank
 3b Close up boven water
 Japanse oester, Bysusdraden
 Mossel, Pseudofaeces



◀ Foto's: MvM en RB



▲ Meetpaal project Mossel-
wad. Foto: HM

► Stromingsmeter. Foto: JD

▼ Meetpaal project Mossel-
wad. Foto: JD



in het westelijke deel van de Waddenzee gemonitord en vergeleken worden met natuurlijke mosselbanken. Echter, in de jaren 2010-2012 heeft geen tot nauwelijks mosselbroedval plaatsgevonden, waardoor er geen mosselbank kon worden aangelegd tot medio 2013. De aanleg van deze mosselbank staat beschreven in het hoofdstuk 5.

3 Bepaling van sturende factoren van sublitorale mosselbanken

Factoren waaronder sublitorale meerjarige mosselbanken (mosselbanken in de geulen) kunnen ontstaan zijn onderzocht. Het onderzoek is specifiek gericht op de natuurlijke beïnvloedingsfactoren, in tegenstelling tot het parallel uitgevoerde PRODUS-project, dat zich primair heeft gericht op de rol van de mosselzaadvisserij. Het Mosselwad-onderzoek vond plaats op niet beviste mosselbanken (De Vlieter, Breezanddijk, Molenrak). Deze banken zijn gesloten als onderdeel van het Mosselconvenant waarmee de transitie van traditionele mosselzaadvisserij naar mosselzaadinvang-installaties (MZI's) wordt bewerkstelligd.

4 Bestudering en monitoring van sublitorale mosselbanken

De sublitorale mosselbanken zijn gevolgd in hun ontwikkeling met behulp van side-scan sonar en onderwater camera's. Temporele patronen in de ontwikkeling van mosselbanken zijn gekoppeld aan verklarende factoren zoals predatiedruk, dynamiek (erosie door wind en getij) en rekrutering.

5 Vogelpredatie

De rol van vogelpredatie op de stabiliteit van droogvallende mosselbanken is onderzocht met o.a. een aantal camera-palen. Ook zijn minder gedetailleerde metingen verricht op

een groot aantal banken. Er is tevens naar krabbenpredatie gekeken.

6 Het 20-banken programma

Omdat de mosselbroedval in de beginjaren van het project uitbleef, is besloten om een 20-tal droogvallende mosselbanken aanvullend intensief te onderzoeken op ontwikkeling, samenstelling en predatie.

Leeswijzer

Dit handboek, gemaakt binnen het project 'Mosselwad' (2009-2015), heeft als doel om de lezer te informeren over de huidige inzichten in het herstel van mosselbanken. De ballonnen in de zijlijn van de tekst verwijzen naar aspecten die interessant zijn voor lezers die meer verdieping wensen en waarvoor een meer uitgebreide tekst in bijlages op internet beschikbaar is. Dit handboek behandelt de volgende aspecten:

- De aanleiding (Hoofdstuk 1)
- Het beleidskader (Hoofdstuk 2)
- Ecologie van Mosselen en mosselbanken (Hoofdstuk 3)
- Factoren die het succes van mosselbanken beïnvloeden (Hoofdstuk 4)
- Ervaringen met de aanleg van mosselbanken (Hoofdstuk 5)
- Advies over herstel van mosselbanken (Hoofdstuk 6)



Waddenzee en het beleid

2 Waddenzee en het beleid

De Waddenzee is belangrijk. Niet alleen voor de natuur maar ook in economisch

opzicht. Deze combinatie vraagt altijd om afspraken, regels en wetgeving.

Voor bescherming van dit kwetsbare gebied zijn deze van groot belang. Veel partijen zijn bij de Waddenzee betrokken, ieder met z'n eigen visie, belangen en verantwoordelijkheden.

Goed en duurzaam beheer van de Waddenzee is afhankelijk van een goed beleid en goede afspraken. Deze kunnen alleen tot stand komen vanuit gedegen visies. Ook het duurzaam voorkomen van mosselbanken op de Wadden is afhankelijk van beheer, beleid, visies, afspraken en specifiek ook van het beleid met betrekking tot de schelpdiervisserij (Schema p. 23). Daarom volgt hieronder een overzicht.

Beheer

Het Ministerie van Economische Zaken (EZ) is 'systeemverantwoordelijk' voor behoud en duurzaam gebruik van biodiversiteit, voor de natuurkwaliteit van het gebied en voor visserijzaken. Rijkswaterstaat, onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur & Milieu (I&M), is verantwoordelijk voor beheer en uitvoering van beleid in het kader van het beheerplan Natura 2000. Het beleid kan zowel in kwalitatieve als kwantitatieve termen worden gedefinieerd. Altijd prevaleren de Natura 2000 instandhoudingsdoelen. Het beheer wordt uitgevoerd door bovengenoemde ministeries en verder door drie provincies, zeventien gemeenten, vier waterschappen en door instanties als Staatsbosbeheer, Natuur-

monumenten en de vereniging van Provinciale Landschappen en landeigenaren, indien zij eigenaar of beheerder van het gebied zijn. Het overgrote deel van het gebied waar schelpdierbanken voorkomen valt onder het beheergebied van het Ministerie van I&M.

Beleid

In deze paragraaf wordt hoofdzakelijk ingegaan op effecten van het natuurbeschermingsbeleid en het visserijbeleid omdat deze direct samenhangen met de ontwikkelingsmogelijkheden van schelpdierbanken. Ook wordt ingegaan op een aantal andere regelingen (scheepvaart, havenwerken, leidingen, baggeren, storten).

Vogel- en Habitatrichtlijn (Natura 2000)

Natura 2000 is een Europees netwerk van natuurgebieden waarmee soorten en habitats worden beschermd op basis van de Vogelrichtlijn (1979) en/of de Habitatrichtlijn (1992). Met dit netwerk kan het lange termijn voortbestaan van de meest waardevolle en bedreigde soorten en habitats (leefgebieden van soorten) worden bewerkstelligd. De Waddenzee is in 2009 aangewezen als Natura 2000-gebied onder zowel de Vogel- als Habitatrichtlijn. De Vogelrichtlijn noemt een aantal bedreigde en zeldzame soorten. Voor deze soorten en voor belangrijke overwinteringsgebieden van trekvogels moeten speciale soortenbeschermingsgebieden worden ingericht. Bij de aanwijzing is specifiek aangegeven welke soorten en habitats in de Waddenzee beschermd moeten worden. Kwaliteitsverbetering is één van de belangrijkste Natura 2000-instandhoudingsdoelen voor Europese Habitattypen die worden genoemd in bijlage 1 van de Habitatrichtlijn. Voor de habitattypen 'permanent met zee-water van geringe diepte overstroomde zandbanken' (code: H1110) en 'bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten' (H1140), geldt dat mosselbanken een kenmerkend onderdeel vormen. De kwaliteitsverbetering van deze habitatty-



pen moet onder meer voortkomen uit het bevorderen van een grotere hoeveelheid en gespreid voorkomen van mosselbanken in diverse stadia van ontwikkeling.

[De Natuurbeschermingswet \(1998, 2005\)](#)

De Natuurbeschermingswet (Nb-wet) regelt de bescherming van natuurgebieden, zoals Natura 2000-gebieden. Voor elk project of plan moet een 'Passende Beoordeling' gemaakt worden van de te verwachten effecten op instandhoudingsdoelen. In het geval van grote (negatieve) effecten op de instandhoudingsdoelen voor soorten en habitattypen kan het project of plan geen doorgang vinden. In het geval van overstijgend algemeen belang verplicht de Staat zich om compenserende maatregelen te treffen. Vooral soorten, habitats of kenmerkende eigenschappen van habitats (zoals mosselbanken) waarvoor een verbeterdoelstelling geldt, verdienen specifieke aandacht.

[Flora- en Faunawet \(2002\)](#)

Met de Flora- en Faunawet wordt de bescherming van planten en dieren in Nederland geregeld. Het regelt zowel de bescherming van soorten als de instandhouding van beschermde habitats, mogelijkheden voor beheer en voorkomen van schade. Het basisprincipe is dat het niet is toegestaan om beschermde dieren of planten te doden, beschadigen of verstoren. Een ontheffing is vereist indien activiteiten hier mogelijk op ingrijpen.

[Waterwet \(2009\) en EU Kaderrichtlijn Water](#)

In de Waterwet wordt het beheer van oppervlakte- en grondwater geregeld en de samenhang tussen waterbeleid en ruimtelijke ordening bevorderd. Hierin is ook de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) geïncorporeerd. Voor alle activiteiten die mogelijk de waterkwaliteit aantasten is een vergunning nodig. Voor de Waddenzee is het streefoppervlak litorale mosselbanken 2000 tot 4000 hectare. Dit getal is gebaseerd op de circa 4000 ha litorale mosselbanken die vroeger in de Waddenzee voorkwamen.

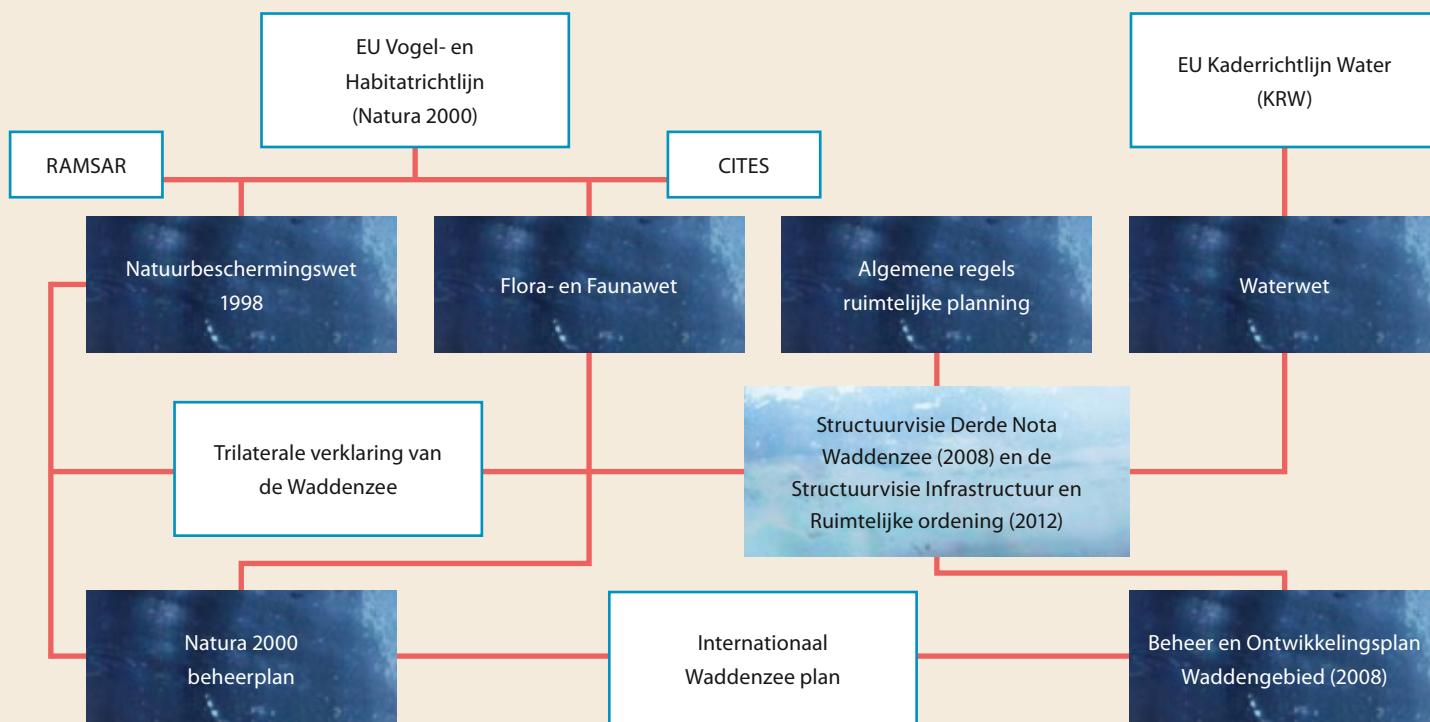
[Structuurvisie Derde Nota Waddenzee \(2008\) en de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimtelijke ordening \(2012\)](#)

Het algemene nationaal beleid voor de Waddenzee is beschreven in de Structuurvisie Derde Nota Waddenzee (2008) en de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimtelijke ordening (2012), waarbij de Vogel- en Habitatrichtlijn leidend zijn. Als belangrijkste doel wordt aangegeven de Waddenzee duurzaam te beheren als natuurgebied en open landschap, waarbinnen de getijde- en geomorfologische processen en dynamiek, de kwaliteit van bodem, water en lucht, duurzame bescherming van flora en fauna (hoogwatervluchtplaatsen/rustgebieden voor vogels en zeehonden etc.), diversiteit van het specifieke karakter van het open landschap en de archeologische en culturele waarden ervan beschermd worden. De structuurvisie Derde Nota Waddenzee is wettelijk verankerd door Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (BARRO, 2011) en de Natuurbeschermingswet: alle doelen en voorwaarden zijn bindend voor nationale, regionale en lokale autoriteiten.

De veiligheid van de eilandbewoners en een goede kustbescherming zijn hierbij een voorwaarde vooraf, evenals de toegankelijkheid van havens. Via de Natuurbeschermingswet (1988) zijn bepaalde gebieden volledig beschermd, andere gebieden alleen in bepaalde seizoenen voor vogels en zeehonden. Andere gebieden zijn voor bepaalde typen visserij gesloten.

[RAMSAR-conventie](#)

De RAMSAR-conventie is een internationale overeenkomst inzake (ondiepe) watergebieden die van internationale betekenis zijn, in het bijzonder als (tijdelijk) woongebied van vogels. De Waddenzee is aangemeld in 1985. De overeenkomst biedt een raamwerk voor internationale samenwerking en nationale beleid voor het behoud van watergebieden. Voor bepaalde vogels zijn mosselbanken als voedselbron essentieel.



Planologische Kern Beslissing (PKB) Waddenzee

In de Derde Nota Waddenzee (Planologische Kern Beslissing, deel 4, 2007) staan de beleidsuitgangspunten voor een periode van 10 jaar en de beleidskeuzes om de hoofddoelstelling ‘een zo natuurlijke mogelijke ontwikkeling van het ecosysteem’ te bereiken. Ten aanzien van de menselijke activiteiten wordt per specifieke activiteit aangegeven welk beleid er wordt gevolgd ten aanzien van: gesloten gebieden, inpolderingen, veiligheid, scheepvaart, burgerluchtvaart, offshore installaties, kabels en buisleidingen, haven-industriegebieden, bebouwing, baggerspecie, diepe delfstoffen, windturbines, ontgroningen, archeologie, recreatie, schelpdiervisserij, visserij, militaire activiteiten en pierenwinning.

Beheer en Ontwikkelingsplan Waddengebied (2008)

Het Beheer en Ontwikkelingsplan Waddengebied is een gezamenlijk plan van rijk, provincies, gemeenten, waterschappen, vertegenwoordigd in het Regiecollege Waddengebied. De Planologische Kernbeslissing (PKB) is leidend en er wordt rekening gehouden met EU-beleid als Kaderrichtlijn Water en Natura 2000. Het moet gezien worden als een beleidsplan dat richting geeft aan de gewenste koers en aan de afspraken die gemaakt zijn.

Natura 2000 beheerplan Waddenzee

Aan de definitieve versie van het Natura 2000 beheerplan voor de Waddenzee wordt momenteel de laatste hand ge-

▲ Samenhang beleidskader Waddenzee





legd door Rijkswaterstaat. In het beheerplan staan overzichten van de benodigde beheermaatregelen om de Natura 2000 doelen te bereiken. Ook wordt de invloed van activiteiten op de natuur beschreven, waaronder op mosselbanken. Hieruit volgen de spelregels voor de gebruikers van de Waddenzee.

Vergunningen

Ter bescherming van de Waddenzee zijn voor allerlei activiteiten vaak vergunningen van verschillende overheden en instanties nodig. Vergunningen zijn bijvoorbeeld nodig voor het betreden van gesloten gebieden, wetenschappelijk onderzoek, handkokkelvisserij, oesterrapen, zand en schelpenwinning, diverse recreatieve activiteiten (o.a. wadlopen) en activiteiten in het kader van natuurbeheer. De drie provincies (Noord Holland, Friesland en Groningen) zijn verantwoordelijk voor hun eigen provincie voor uitvoering van de Natuurbeschermingswet. Voor activiteiten die de gehele Waddenzee aangaan is de provincie Friesland bevoegd gezag. Het Ministerie van EZ blijft verantwoordelijk voor vergunningen voor het winnen van delfstoffen, militaire activiteiten en de (schelpdier)visserij.

Afspraken

Waddenzee Forum

De Waddenzee omvat ook delen van Duitsland en Denemarken. De (hernieuwde) samenwerking tussen de overheden van de drie landen is vastgelegd in Joint Declaration of the Protection of the Wadden Sea 2010. Hierin worden een vijftal werkterreinen onderscheiden waarop specifiek zal worden ingezet:

- Duurzaam gebruik: vanuit Nederland wordt vooral ingezet op de transitie opgave naar een duurzame mossel- en garnalenvisserij
- Landschap en Cultuurerfgoed
- Klimaat, zeespiegelstijging en kustbescherming
- Exoten beleid
- Scheepvaart en veiligheid

Concrete Trilaterale afspraken

Tussen Nederland, Duitsland en Denemarken zijn afspraken gemaakt om de natuurwaarden van de Waddenzee te beschermen en waar nodig te verbeteren. Daartoe zijn zoge-



► Mosselzaadinstallatie (MZI). Foto's: MB, PJ

◄ Foto's: FJvdW (p. 24-25)



naamde ecological targets (ecologische doelen) ontwikkeld voor verschillende onderdelen van het ecosysteem. In onze context is het 'getijdengebied' relevant (Natura 2000 habitattypen H1140 en H1110). In de trilaterale ecotargets staat specifiek genoemd:

- Een natuurlijke dynamische situatie van het getijdengebied.
- Een toename van geomorfologisch en biologisch onverstoorde wadplaten en permanent onder water staande gebieden.
- Een natuurlijke omvang, verspreiding en ontwikkeling van natuurlijke mosselbanken, kokerwormvelden (*Sabellaria sp.*) en zeegrasvelden (*Zostera sp.*).

Nederland heeft de bescherming van sublitorale mosselbanken expliciet opgenomen in de beschermingsdoelstellingen voor permanent ondergelopen zandbanken (Natura 2000 Habitatype H1110). Deze bescherming is ook opgenomen in de Kaderrichtlijn Water.

Convenant mosselsector en Natuurbeschermingsorganisaties Transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee

Op 21 oktober 2008 is een convenant 'Transitie mosselsector en natuurherstel Waddenzee' gesloten door Ministerie EZ, natuurorganisaties en de mosselsector, waarbij afspraken zijn gemaakt om stapsgewijs de grondstofwinning (mosselzaad) van bodemvisserij om te vormen naar niet-bodemberoerende alternatieven zoals mosselzaadinstallaties (MZI's) en andere innovaties. De transitie bestaat uit een stapsgewijze afbouw van bodemvisserij, waarbij de vangstderving van mosselzaad wordt gecompenseerd door inzet van alternatieve zaadbronnen (zoals MZI's). Er is een opschalingstraject voor MZI afgesproken om op termijn alle doelstellingen te halen en een methodiek over welk oppervlak en welke gebieden op basis van een Natuurkansenkaart worden gesloten voor de mosselvisserij.



◀ Mosselkotter. Foto: FF

Visies

Programma 'Naar een Rijke Waddenzee'

Het programma 'Naar een Rijke Waddenzee' is opgesteld om de natuurwaarden, die onder andere door het medegebruik (menselijke activiteiten) onder druk staan, zoveel mogelijk te herstellen en waar mogelijk te verbeteren. Er is een streefbeeld van een Rijke Zee in 2030 ontwikkeld, niet alleen voor de natuur, maar ook voor een gezonde visserij, toerisme en andere economische sectoren. Het streefbeeld vormt de richting waarlangs ontwikkeltrajecten voor natuurherstel worden vormgegeven. Het motto is 'leren door doen'.

Beleid schelpdiervisserij

Wat betreft het visserijbeleid wordt enkel ingegaan op de schelpdier- en garnalervisserij. Het mosseltransitietraject is hierboven kort besproken.

Mosselvisserij

In het kader van het hierboven beschreven mosseltransitietraject zijn een aantal locaties in de westelijke Waddenzee aangewezen waar mosselvanginstallaties (MZI's)

kunnen worden geplaatst (nota beleid MZI's). Tot 2018 wordt maximaal 240 hectare in gebruik genomen. Volgens de Beleidsnota Schelpdiervisserij worden op de droogvallende platen geen Mosselen gevestigd zolang er minder dan 2000 hectare oude stabiele banken aanwezig zijn. Als dat oppervlak aanwezig is mag als proef op zaadbanken gevestigd worden. Het doel is om na te gaan of beviste zaadbanken zich beter ontwikkelen tot stabiele banken dan onbeviste banken. Voor zo'n proef is een gedegen Passende Beoordeling noodzakelijk en gezien de negatieve resultaten uit de eerdere z.g. Jan Louw proef uit 2001 (uitdunnen van mosselbanken zou de stabiliteit vergroten) en de langzame en moeilijk voorspelbare natuurlijke ontwikkeling van stabiele banken lijkt het uitgesloten dat vergunning verleend zal worden.

Kokkelvisserij

De mechanische kokkelvisserij in de Waddenzee is met ingang van 2005 niet langer toegestaan omdat er onvoldoende mogelijkheden voor duurzame ontwikkeling aanwezig zouden zijn. Voor de handkokkelvisserij zijn afspraken gemaakt en vastgelegd in meerjarenafspraken Handkokkelvisserij in de Waddenzee. Een quotum van maximaal 2,5% van de totale, op 1 september aanwezige, hoeveelheid Kokkels

(vleesgewicht) in dichtheden hoger dan 50 per m² geldt als criterium voor de handkokkelvisserij, waarbij de Waddenzee is opgedeeld in A-, B-, C-, en D-gebieden, met een oplopende visserijdruk, gedifferentieerd in arme en rijke kokkeljaren. In 2013 zijn er 31 vergunningen verleend.

Rapen van Japanse oesters

In 2010 is een experiment gestart om gedurende 4 jaar een vergunning te verlenen voor het handmatig rapen van Japanse oesters aan maximaal vijftien vissers in een drietal gebieden van de Waddenzee. Er is alleen vergunning nodig in het kader van de Nb-wet 1998, niet van de visserijwet. Daarnaast is het, in het kader van historisch kleinschalig medegebruik, toegestaan maximaal 10 kilo schelpdieren per dag/per persoon te rapen.

Garnalenvisserij

Een deel van de Waddenzee wordt in de toekomst gesloten voor de garnalenvisserij, om het bodemleven te ontzien. Het percentage gesloten gebieden zal in de loop van de tijd stapsgewijs worden vergroot en daarmee hangt samen dat het aantal beschikbare vergunningen zal verminderen. In 2015 wordt ongeveer 6.5% van de huidige visgebieden gesloten.



Ecologie en belang van mosselbanken

3 Ecologie en belang van mosselbanken

Mosselen zijn bijzondere dieren. Ze kunnen zich met zogenaamde byssusdraden hechten aan stenen, palen, touwen en kettingen. Zo worden ze niet met de stroming meegevoerd. Op zachte bodems kunnen ze zich aan elkaar hechten. Op wadplaten en ook in geulen vormen ze zo mosselbanken. Dit zijn niet zo maar hopen met Mosselen. Gebleken is dat vorm, grootte en structuur cruciaal zijn voor de overleving van zo'n bank.

(1) Een mosselbank is een lappendeken van aan elkaar gehechte Mosselen

(2) Energie uit het voedsel wordt voor verschillende doeleinden ingezet

(3) Mosselen filteren deeltjes uit het water, voedsel wordt opgenomen, slib uitgescheiden als slijmbolletje

(4) De kwaliteit van de mossel neemt af na de zomer

De Mossel *Mytilus edulis* behoort tot de weekdieren (mollusca), vaak ook schelpdieren genoemd. Ze hebben een linker- en een rechterschelp en binnen de groep van de weekdieren zijn ze ingedeeld bij de tweekleppigen (bivalvia). De Mossel heeft een wereldwijde verspreiding en is ook wijd verspreid langs de Europese kusten. In Nederlandse wateren leeft de Mossel vooral in het kustgebied, waar de soort vooral algemeen is in de slikgebieden van Zeeland en het Waddengebied.

In de Waddenzee vormen Mosselen mosselbanken (1) met opvallende structuren in een verder vlakke en zandige omgeving. Ze vormen een belangrijk leefgebied voor andere soorten en zijn voedselrijke plekken voor vogels en zeedieren.

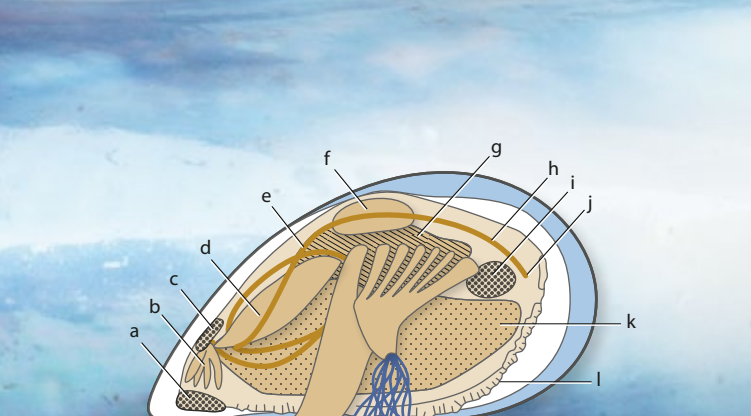
Biologie van Mosselen

Voedsel

Mosselen vergaren voedsel (2) door kleine verteerbare deeltjes uit het zeewater te filteren. Door de instroomopening

(zie Box 2: De Mossel) pompen ze zeewater naar binnen. Het water loopt langs de kieuwen en wordt vervolgens door de uitstroomopening naar buiten gestuwd. De kieuwen nemen zuurstof op. Trilhaartjes vangen de voedseldeeltjes; meestal is dit plankton. Ook andere zwevende deeltjes, zoals slib, komen mee met het naar binnen gepompte water. Het slib wordt door trilharen naar de buitenkant van de kieuwen getransporteerd. Daar wordt het vermengd met slijm, waarna het als kleine pakketjes wordt uitgeworpen. Deze slijmige slibpakketjes worden pseudofaeces genoemd. Ze gedragen zich als grotere sedimentkorrels of aggregaten en bezinken onder de Mosselen. Daardoor komen de Mosselen op, en in, een dikke sliblaag te liggen. Op deze manier kunnen enorme hoeveelheden slib worden vastgelegd. In het najaar kan onder een jonge mosselbank wel een halve meter zacht slib liggen.

De kwaliteit van de deeltjes, die door de Mosselen uit het water worden gefilterd, kan sterk variëren gedurende het seizoen. Kiezelwieren (diatomeeën) zijn erg geschikt als voedsel; schuimalgen die later in het seizoen voorkomen zijn van veel lagere kwaliteit. De energie (3) die de Mosselen uit het voedsel halen, gebruiken ze om toe te nemen in vlees- en schelpgewicht, maar ook voor de productie van geslachtscellen en byssusdraden. Waar Mosselen hun energie in stoppen hangt af van de omgeving en het seizoen. Mosselen op droogvallende wadplaten hebben meer last van de golfslag dan onder water liggende Mosselen en investeren meer in de ontwikkeling van een dikke schelp en byssusdraden. Het gewicht van het vlees van de Mosselen is het hoogst in juli-augustus, waarna het geleidelijk afneemt (4). In het najaar en de winter neemt het gewicht vervolgens drastisch af direct na het loslaten van eicellen en zaadcellen. Het vleesgewicht kan zakken van 35% van het gewicht naar 15%. De schelp blijft daarbij even groot.



▲ Anatomie van de Mossel

- | | | | |
|---|--------------------|---|----------------------|
| a | voorste sluitspier | g | klier |
| b | palpen | h | endeldarm |
| c | byssusspier | i | achterste sluitspier |
| d | maag | j | anus |
| e | darm | k | kieuwen |
| f | hart | l | mantelrand |
| | | m | byssusdraden |



2 De Mossel

Mosselen *Mytilus edulis* zijn schelpdieren met twee schelpkleppen. Ze kunnen ruim 8 cm lang worden. De buitenkant is blauw/zwart van kleur, soms purper of bruin. De schelp vertoont duidelijke groeilijnen die echter niet altijd met een seizoen of jaar samenhangen. Wanneer de Mossel boven water komt, wordt de schelp gesloten door een sterke sluitspier. Onder water gaat de schelp open en begint het dier water te pompen. Het water stroomt langs de kieuwen en er wordt zuurstof uitgehaald. De kieuwen filteren ook kleine deeltjes uit het water. Deeltjes die geschikt zijn als voedsel zoals algen gaan naar de maag en darm.

De onverteerbare deeltjes worden langs de kieuwen afgevoerd en uitgescheiden in de vorm van samengeklonterde korrels (pseudofaeces). Een deel hiervan bezinkt tussen en rond de Mosselen.

Echte ademhalingsbuizen ontbreken bij Mosselen, maar er is wel een in- en een uitstroomopening. Met een enkele voet kunnen met name kleine Mosseltjes (tot 3 cm) zich goed verplaatsen. De voetklier aan de basis van de voet scheidt een kleverige substantie af. Met de voet kunnen de Mosseltjes van deze substantie draden trekken waarmee ze zich kunnen vastzetten aan steen, rots of andere Mosselen. Deze byssus verhardt zich buiten de schelp en vormt zo de bekende 'baard'.

▲ Foto's: OGB

3 Mosselbank

Een mosselbank is een op de bodem levende gemeenschap waarin de Mossel de dominerende soort is. Ze kunnen ontstaan op droogvallende zandplaten, maar ook in permanent onder water liggende geulen.

Droogvallende (litorale) mosselbanken

Mosselbanken op droogvallende wadplaten bestaan uit een ruimtelijk goed af te bakenen lappendeken van grote en kleine plakkaten. Mosselen kunnen als bulten boven de omgeving uitsteken. De mosselbulten zijn gescheiden door open ruimtes zoals plasjes, prieltjes (smalle kreken) en geulen en dikke lagen slib of klei. Over de jaren worden dode schelpen en levende schelpdiersoorten ingevangen en vestigen zich steeds meer zeedieren op en tussen de Mosselen. Hierdoor ontstaat een rijke en gevarieerde leefgemeenschap met een grote invloed op de omgeving. Litorale mosselbanken kunnen minstens enkele tientallen jaren op een bepaalde locatie blijven bestaan.

Onder water liggende (sublitorale) mosselbanken

Mosselbanken in permanent onder water staande geulen vormen ook ruimtelijk goed af te bakenen banken. Het is echter niet duidelijk of de plakkaten met Mosselen ook bulten vormen die boven de zeebodem uitsteken. Deze banken hebben in de eerste periode van ontstaan erg te lijden onder predatie door Zeesterren en krabben. Het is niet duidelijk of jonge sublitorale mosselbanken in de Waddenzee oud kunnen worden en hoe ze zich over de tijd ontwikkelen. Het is wel bekend dat het aantal soorten er hoger is dan in gebieden zonder Mosselen. Hoe ouder de mosselbank, hoe meer andere soorten er voorkomen en hoe hoger de biodiversiteit



▲ Sublitorale mosselbank.

Foto: IMARES



▲► Foto's: ND





◀ Een mosselbank op het
wantij van Ameland. Foto: FK

▼ Wadplaten met geulen en
prielen en een droogvallende
mosselbank. Foto: FK

(5) Kwaliteit van eitjes en larven is belangrijk

(6) Larven verspreiden zich over grote afstanden

(7) Zeestromen zijn een belangrijke factor in de overleving van larven

(8) Mosselen profiteren van elkaars nabijheid

(9) Mosselen staan gedurende hun hele leven bloot aan verschillende factoren die sterfte en overleving bepalen

(10) Alle stadia van Mosselen worden graag gegeten door verschillende dieren

(11) Vestigende larven hebben geschikt substraat nodig

Voortplanting

De voortplanting begint met de vorming van ei- en zaadcellen. Dit gebeurt al grotendeels vóór de winter. Indien een Mossel de winter in goede conditie doorkomt, betekent dat meestal ook een goede kwaliteit (5) eicellen. Er kunnen er enkele miljoenen per Mossel geproduceerd worden. De eicellen worden in het water bevrucht doordat de mannelijke en vrouwelijke Mosselen hun voortplantingscellen min of meer gelijktijdig afgeven zodra de watertemperatuur boven de 12° Celsius komt. Er zijn aanwijzingen dat er meerdere (maar minder sterke) voortplantingsgolven in een jaar kunnen voorkomen. In het voorjaar ontwikkelen de eitjes zich snel wanneer de Mossel profiteert van de voorjaarsbloei van het plantaardig plankton. Na de bevruchting ontwikkelt zich binnen enkele dagen een larve. De larven gedragen zich als het overige dierlijk plankton. Dat wil zeggen: voor verplaatsing zijn ze nagenoeg geheel afhankelijk van waterstroming. De larve is dan circa 0,05 mm groot. De larvale fase duurt ongeveer één maand. Dat betekent dat mossellarven ver (6) van hun oorspronkelijke brongebied terecht kunnen komen. Doordat mossellarven geen invloed hebben op deze reis door de waterkolom, wordt het gebied waar ze belanden grotendeels bepaald door de heersende stromingspatronen (7). Soms duurt de reis te lang en sterven de larven nog voordat ze zich kunnen vestigen. In sommige gebieden arriveren daardoor helemaal geen larven. Als ze wel op tijd een geschikte plek vinden op harde ondergrond, zoals steen of schelpen van Mosselen of oesters, plakken ze met hun voet – die ze buiten hun schelpje kunnen steken – een hechtdraad, byssus genoemd, hieraan vast (8). Waarschijnlijk is er sprake van een chemische stimulus waardoor andere larven zich daar ook vestigen. De Mosselen zijn dan minder dan een halve millimeter groot.

Sterfte en overleving

In alle levensstadia van hun ontwikkeling worden Mosselen blootgesteld aan factoren die hun overlevingskans

bepalen. De factoren, zowel fysische als biologische, kunnen zeer verschillend zijn in de diverse stadia (9). Eicellen en larven worden volop gegeten door zeedieren die zich voeden met plankton, zoals vissen, garnalen en schelpdieren. Door een tekort aan voedsel kunnen de mossellarven doodgaan en verkeerde zeestromingen kunnen er in deze fase voor zorgen dat ze geen geschikte vestigingslocatie kunnen vinden.

Wanneer de mossellarven op een geschikte vestigingsplaats terecht zijn gekomen, begint de groei en ontwikkelt zich een steeds dikkere schelp. In de periode van juni tot september groeien ze van 0,5 naar 20 mm. Daardoor laten bodembewoners die alleen kleine Mosselen eten zoals vissen en garnalen ze met rust, maar krijgen krabben, Zeesterren en vogels interesse (10). Mosselen die zich op de droogvallende wadplaten hebben gevestigd worden vooral gegeten door Zilvermeeuwen en Scholeksters. Mosselen op onder water liggende mosselbanken vooral door Zeesterren en Eidereenden. Mosselen krijgen vanaf het moment dat ze zich gevestigd hebben ook te maken met allerlei fysische factoren die ervoor kunnen zorgen dat ze onvoldoende voedsel binnenkrijgen of losraken van de mosselbank en op ongunstige plekken terechtkomen. Mosselen kunnen beter overleven wanneer ze dicht bij elkaar voorkomen. Ze profiteren van elkaars nabijheid door zich gezamenlijk aan de ondergrond en elkaar te hechten en elkaar zodoende beschermen (11) tegen predatie en verstoring door golven en stroming.

Mogelijk niet meer dan één op de 100.000 eitjes overleeft tot jonge Mossel op een mosselzaadbank en maximaal 10% daarvan wordt volwassen en draagt bij aan de vorming van een oude stabiele mosselbank (Box 3: Mosselbank).

Ontwikkeling van mosselbanken

Het ontstaan van mosselbanken

Mosselbanken ontstaan wanneer een 'wolk' mossellarven zich op een bepaalde plek in grote dichtheid kan vestigen en voortleven. De plek waar een wolk terecht komt, wordt vrijwel volledig bepaald door de heersende stroming en windrichting. De kans dat een wolk op een ongunstige plek terecht komt is daarom groot. Voor een succesvolle

vestiging is een zeer korte periode van rustige condities voldoende; weinig of geen stroming en de afwezigheid van golfwerking.

(12) De initiële vestiging is een cruciale fase

De periode van vestiging is één van de cruciale (12) fasen in het ontstaan van een mosselbank, waarbij de geschiktheid van de ondergrond een grote rol speelt. Men ziet vaak dat mosseltjes zich vestigen op kokkelbanken. Soms verlaten de jonge Mosselen hun eerste vestigingsplaats en kruipen of

4 Vestigingslocaties mosselbanken

Mosselen hechten zich met hun byssusdraden aan allerlei mogelijke harde materialen om op hun plek te blijven. Over het algemeen worden Mosselen daarom vooral gevonden op een harde ondergrond zoals op rotsen, stenen, ijzeren platen, touwen of houten palen. Op zulke plekken kunnen Mosselen een aaneengesloten mat vormen, waarbij ze zich voornamelijk aan de ondergrond vasthechten en niet zozeer aan elkaar.

In de Waddenzee is hard substraat zeldzaam. Mosselen vestigen zich daar ook op zachte ondergrond, waarbij ze zich vasthechten aan alles wat maar enige houvast kan bieden, zoals andere schelpdieren, bijvoorbeeld Kokkels, oude veenbanken, schelpenresten in het sediment, Schelpkokerworm *Lanice conchilega*, hydroïdpoliepen, zoals Zeemos *Sertularia* sp., draadvormige algen of zeegrassen maar vooral ook aan elkaar.

Uit recent Mosselwad onderzoek is gebleken dat er een verschil is in aanhechting tussen Mosselen aan de randen van de mosselbanken en Mosselen die in het midden liggen. Aan de randen van mosselbanken zitten ze vooral vast-

gehecht aan schelpenresten en gebruiken ze daarbij veel byssusdraden. Mosselen in het centrum van de mosselbank hechten zich met minder draden vast en kiezen daarbij voornamelijk voor andere levende Mosselen. De productie van pseudofaeces, dat door de invang van grover sediment en de goede afvoer van water consolideert, zorgt er voor dat de Mosselen op zachte ondergrond uiteindelijk hun eigen stevige ondergrond produceren



◀ Mosselen op harde ondergrond. Foto: OGB



▲ Mosselpatronen binnen een mosselbult vormen een duidelijke netstructuur op een schaal van 5-10 cm. Foto: HP



◀ Mosselbroed op schelpen
en schelpkokerwormen.

Foto's: JdV

▼ Mosselen als substraat voor
Zeesla. Foto: ND



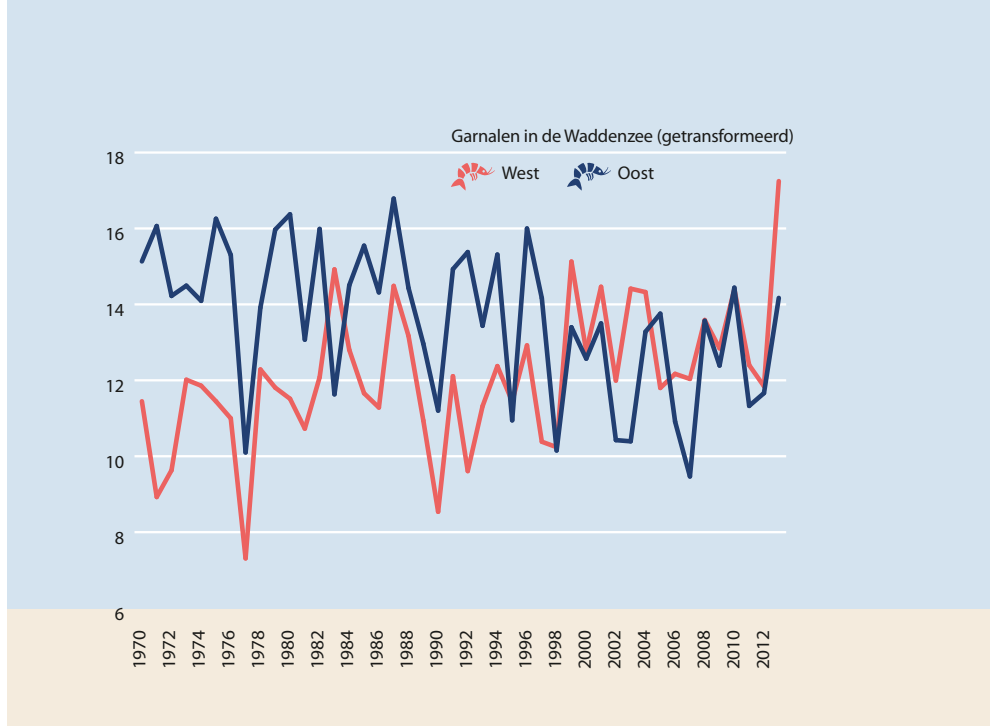


stromen bij elkaar om op een andere plek de eerste aanzet tot een mosselbank te vormen (zie Box 4: Vestigingslocaties mosselbanken).

Wanneer de larven zijn afgedaald volgt een periode van grote sterfte. Garnalen, krabben, bodemvissen en zelfs Wadpieren die de bodem omwoelen, kunnen de jonge populatie Mosselen decimeren. Vaak wordt er op gewezen dat de predatiedruk van garnalen groot kan zijn op een jonge mosselpopulatie. Dat er in veel jaren gedurende de laatste decennia op de droogvallende platen minder nieuwe zaadbanken zijn waargenomen, wordt vaak toegeschreven aan de duidelijk toenemende trend van de dichtheden garnalen in de westelijke Waddenzee. De aantallen garnalen per oppervlakte-eenheid was daar in het verleden veel lager dan in het oosten, maar deze is nu vergelijkbaar. In de oostelijke Waddenzee is geen sprake van een positieve trend in de garnalenpopulatie (Figuur 2).

De volgende hypothesen zijn ontwikkeld om de vaak slechte broedval te verklaren. Deze hangen samen met de strengheid van de winter en de invloed van predatie:

1. Na een strenge winter (13) zouden eicellen een betere kwaliteit hebben. Deze hypothese is verworpen omdat er geen relatie is met een betere kwaliteit broed.
2. Predatoren zoals krabben en garnalen komen later terug naar de Waddenzee door de lagere watertemperatuur. Deze hypothese is verworpen omdat de mosselontwikkeling evenveel vertraagd is als die van garnalen, en die van krabben erg laat in het seizoen zijn piek bereikt.
3. Na een strenge winter zijn er minder predatoren en daardoor overleeft de broedval van Mosselen, Kokkels, Strandgapers en Nonnetjes beter. Vooral de krabbenpopulatie is erg klein na een strenge winter. Deze hypothese is het meest aannemelijk.



▲ **Figuur 2.** Trend van garnalen in de westelijke en oostelijke Waddenzee. Data IMARES, vierdemachtswortel getransformeerd

◀ **IJsschade.** Foto: MdJ



(13) *Strenge winters zijn positief voor een geslaagde broedval*

5 Patroonvorming in mosselbanken

► Mosselpatronen op klomp-schaal (5-10 cm). Foto: JvdK

Wanneer mossellarven zich vestigen, vormt zich een nagenoeg aaneengesloten deken van Mosselen die een flink stuk van een getijdenplaat kan bedekken. Binnen dagen tot weken ontstaan patronen op schaal van mosselklompen. Na een paar maanden vormen zich karakteristieke patronen, in de vorm van regelmatig verspreide banden van Mosselen, met daartussen kaal sediment en met een oriëntatie loodrecht op de golfrichting kort na vestiging of het met vloed instromende water. Deze structuren zijn duidelijk zichtbaar in het najaar na de broedval. Binnen deze banden vormen de Mosselen weer kleinschalige patronen van klompjes en strengen, die vaak een netvormige structuur hebben. Mosselbanken vormen dus patronen op twee ruimtelijke schalen, de band schaal (5-10 meter tussen de banden) en de klomp schaal (5-10 cm tussen de banden).

Om de vorming van deze patronen te begrijpen, moet worden teruggegrepen op de basale processen die het voorkomen van Mosselen bepalen. Mosselen filteren het water om er de algen –met name diatomeeën– uit te halen. Dit leidt tot uitputting van de algenconcentratie in het water, met name in de langzamer stromende waterlaag net boven het sediment. Door de getijdenstroom kan dit effect zelfs op meters afstand van een mossel-plakkaat te meten zijn. Hierdoor ontstaat er concurrentie tussen de Mosselen.

Een tweede belangrijk proces voor het begrijpen van de patroonvorming is samenklontering van Mosselen. Door zich aan elkaar vast te maken met behulp van byssusdraden verhogen Mosselen hun kans op overleving. Ze werken als het ware samen om zich te beschermen tegen de verstorende werking van de golven en predatie



door vogels en andere roofdieren. Dit samenklonteren is een heel lokaal proces: het werkt tussen Mosselen en hun burens op een schaal kleiner dan 10 cm.

Wiskundige modellen van onderzoeker Johan van de Koppel (NIOZ) laten zien dat de combinatie van de twee processen kan leiden tot de vorming van ruimtelijke patronen. Wanneer er op een bepaalde plaats veel Mosselen liggen, hebben deze een hogere overlevingskans dan Mosselen die alleen liggen. Zo'n groepje Mosselen zal ook de groei van andere, losse Mosselen in de omgeving verlagen. Deze lokale variatie in groei en overleving leidt uiteindelijk tot een ruimtelijk patroon van banden die loodrecht op de stroming van het voedselrijke water liggen.

De kleinschalige, netvormige patronen vormen zich om dezelfde reden: om de interactie tussen concurrentie om voedsel en samenklontering om predatie en losslaan te voorkomen. Deze patronen worden echter niet veroorzaakt door lokale verschillen in groei en overleving, maar door actieve beweging van de Mosselen.



◀◀ Mosselpatronen op band-schaal (tientallen meters).

Foto: FK

◀ Mosselbank met karakteristieke banden. Foto: MdJ

Een eenvoudig experiment laat zien hoe dit werkt: koop Mosselen in de supermarkt en spreid ze evenredig uit over de bodem van een bak met zeewater (kleine Mosselen van strandhoofden werken nog beter). Binnen de tijdspanne van een dag zullen ze de netvormige patronen vormen die we op de mosselbanken zien.

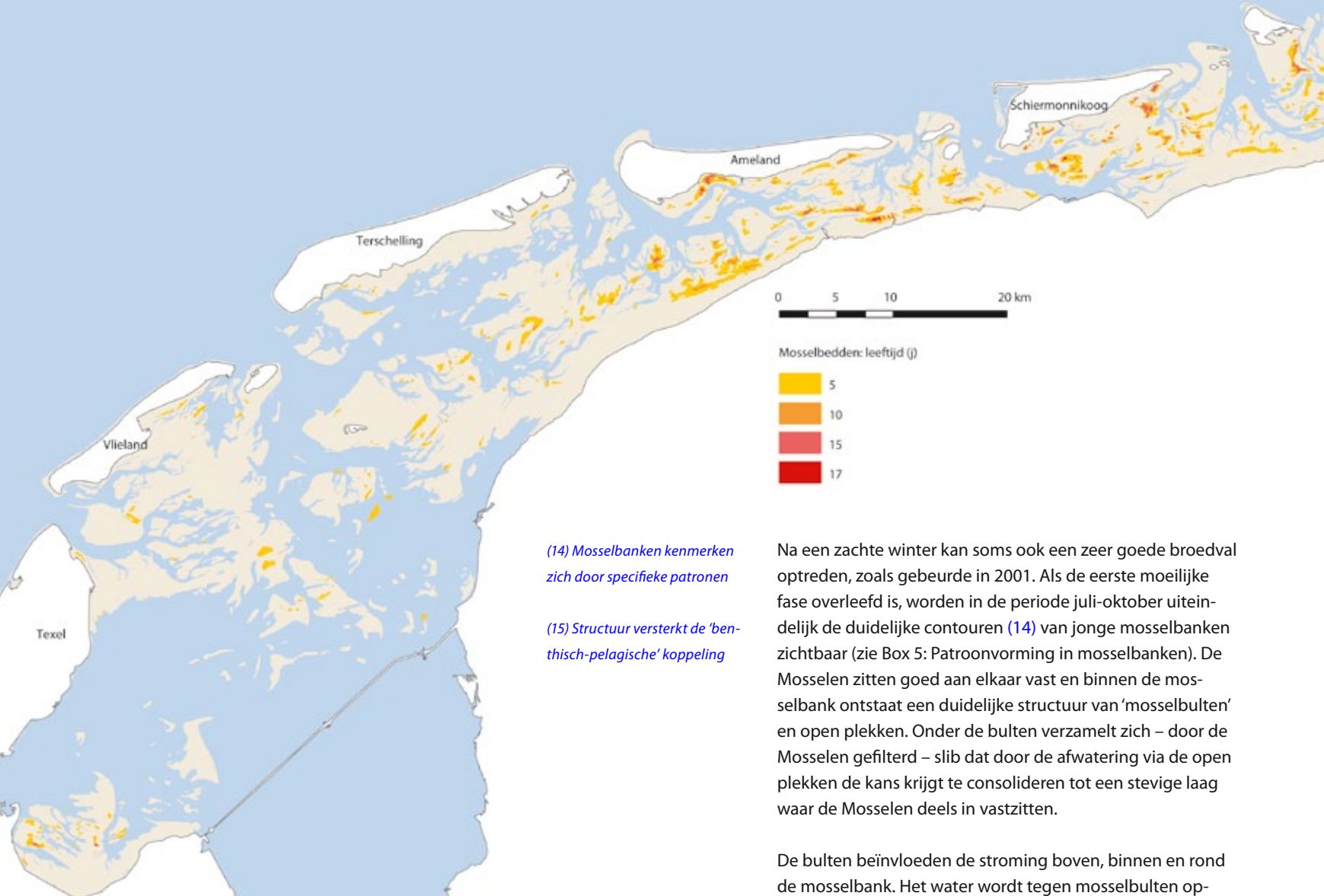
Functie van patroonvorming in het ecosysteem

De patroonvorming is niet alleen mooi, maar heeft ook belangrijke consequenties voor het functioneren van zowel de mosselpopulatie als voor het hele ecosysteem op de getijdenplaat. Modellen laten zien dat er door patroonvorming meer Mosselen op een getijdenplaat kunnen leven: de patronen optimaliseren de groei en overleving.

Binnen het landschap, tussen de mosselheuvels, ontstaan kleine lagunes waarin ook tijdens eb water blijft staan. Hier leven kleine visjes en kreeftachtigen. Op de mosselbulten worden tal van soorten gevonden die normaal niet op de getijdenplaat te vinden zijn, zoals Blaaswier *Fucus vesiculosus*, Rood hoorntjeswier *Ceramium rubrum* en Groen Draadwier *Vaucheria*, die zich

vasthechten aan de Mosselen. Wanneer een mosselbank tijdens vloed onder water komt te staan, vormt een mosselbank een onderwaterwoud met veel nieuwe habitats waarin tal van organismen te vinden zijn

De effecten van mosselbanken beperken zich niet alleen tot de bank zelf. Achter een mosselbank – ten opzichte van de inkomende stroom- en golfrichting – ontstaat een luwte waar de milieucondities behoorlijk kunnen afwijken van de rest van de getijdenplaat. In dit rustige milieu is het voor bodemdieren makkelijker zich te vestigen. Dit onderstreept dat mosselbedden een belangrijk structurerend component zijn van getijdeplaten waardoor het fysische landschap, specifieke soorten en zelfs het voedselweb worden beïnvloed. De invloed van mosselbanken op het ecosysteem van de Waddenzee is groot.



▲ **Figuur 3.** Leeftijden van mosselbanken op de droogvallende wadplaten in 2011. Data: IMARES

(14) Mosselbanken kenmerken zich door specifieke patronen

(15) Structuur versterkt de 'ben-thisch-pelagische' koppeling

Na een zachte winter kan soms ook een zeer goede broedval optreden, zoals gebeurde in 2001. Als de eerste moeilijke fase overleefd is, worden in de periode juli-oktober uiteindelijk de duidelijke contouren (14) van jonge mosselbanken zichtbaar (zie Box 5: Patroonvorming in mosselbanken). De Mosselen zitten goed aan elkaar vast en binnen de mosselbank ontstaat een duidelijke structuur van 'mosselbulten' en open plekken. Onder de bulten verzamelt zich – door de Mosselen gefilterd – slib dat door de afwatering via de open plekken de kans krijgt te consolideren tot een stevige laag waar de Mosselen deels in vastzitten.

De bulten beïnvloeden de stroming boven, binnen en rond de mosselbank. Het water wordt tegen mosselbulten opgestuwd. Dit leidt tot een versnelling van de stroming en intensivering van de menging van water over de bulten (zie schema p. 81). Verhoogde menging heeft een positief effect op de voedselvoorziening. De Mossel haalt zijn voedsel uit de onderste waterlaag, deze raakt daardoor snel leeg. Door middel van verticale menging komt voedsel dat aanwezig is in hogere waterlagen beschikbaar (15) voor de Mosselen

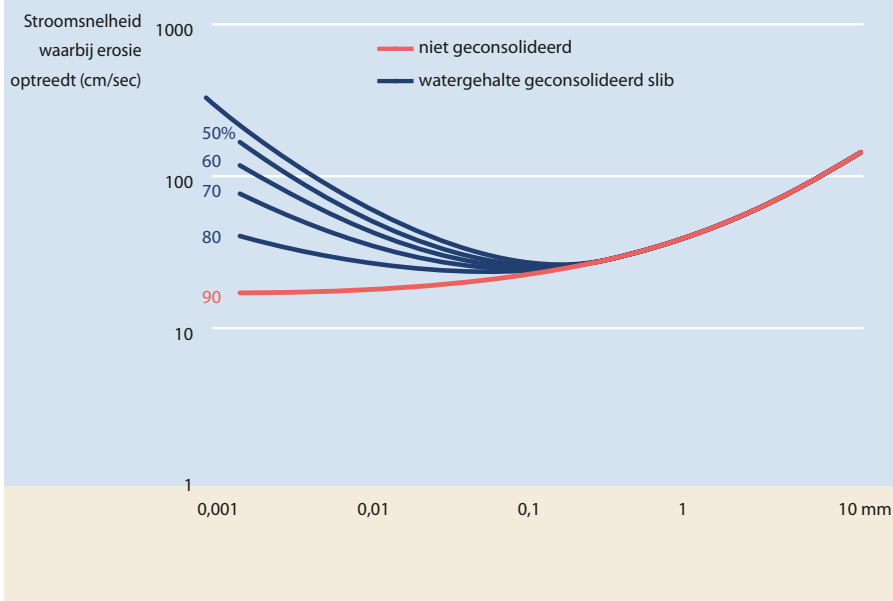
in de mosselbult. De opstuwing van water tegen de bult veroorzaakt echter ook dat een deel van het water langs de bult wordt geleid. Hierdoor transporteert de stroming minder voedsel over de mosselbult. De vorm en de grootte van de bultstructuren (16) bepalen de mate van het effect dat opstuwing heeft op menging en het omleiden van de stroming. Te grote vlakken zijn nadelig, maar een optimaal patroon met mosselbulten of -banden van ongeveer 5 m doorsnede kan de voedselopname met 15% verhogen.

De grootte en de vormen van de structuren die de mosselbank in de loop van zijn groei doormaakt zijn dus van groot belang voor de voedselvoorziening van de Mosselen in deze bank en daarmee voor het succes van overleven van de bank.

Ontwikkeling tot meerjarige mosselbank

Als het geproduceerde slib blijft liggen zullen de Mosselen er actief bovenuit moeten kruipen om niet bedolven te raken. Door de steeds maar groeiende laag slib ontstaan uiteindelijk duidelijke bulten onder de plekken waar de Mosselen naar elkaar toe zijn gekropen. Het hoogteverschil (17) met de omgeving zorgt er bij droogvallende mosselbanken voor dat goede ontwatering optreedt en daarmee dat het slib consolideert. (18) Door inklinking raakt deze sliblaag erg goed bestand tegen erosie (Figuur 4).

Een groot deel van de Mosselen kan deels in dit stevige, soms kleiige, sediment begraven zitten. Ze zitten met hun draden vast aan kleine schelpfragmenten of ingevangen schelpen en zij vormen weer een aanhechtingsmogelijkheid (19) voor de vrij liggende Mosselen boven op het bed. Door de structuur van de mosselbank worden golven gebroken en neemt de stroomsnelheid af. Door deze structuur, maar ook door de microstructuur binnen een mosselbult zullen ook zand, schelpresten en ander materiaal bezinken. Zo'n bank wordt daardoor steeds hoger en steviger. Schelpdieren zoals Kokkels kunnen door stormen losgewoeld worden en



▲ **Figuur 4. Consolidatie van slib (verlies van water) zorgt voor sterke toename van de stevigheid. Een slibbodem met een watergehalte van bijvoorbeeld 50% is veel erosiebestendiger dan een zandbodem met korrels van 2 mm**



▼ **Ingespoelde kokkelschelpen in mosselbank. Foto: ND**

(16) *Patronen van verschillende schalen zijn belangrijk in de overlevingsstrategie*

(17) *Door het hoogteverschil met de omgeving zijn droogvallende mosselbanken langer beschikbaar voor vogels*

(18) *Fijn slib dat enigszins uitdroogt 'consolideert', krijgt de eigenschappen van klei en is zeer stevig en erosiebestendig*

(19) *Substraat is een belangrijke overlevingsfactor voor elke individuele mossel*

(20) Mosselbanken worden zo snel hoger dat ze zeespiegelstijging en bodemdaling bij kunnen houden

(21) In de bodem onder een mosselbank zijn vaak resten te vinden van eerdere banken

uiteindelijk door mosselbanken worden ingevangen en vastgehouden door de byssusdraden. Over de jaren ontstaan op deze manier stabiele mosselbanken die meer dan 10 jaar lang op eenzelfde locatie kunnen blijven bestaan (20).

Karakteristieke patronen ontstaan met mosselbulten, open plekken waarlangs het water afgevoerd wordt bij eb en poelen waarin water blijft staan. In de volgende jaren zul-

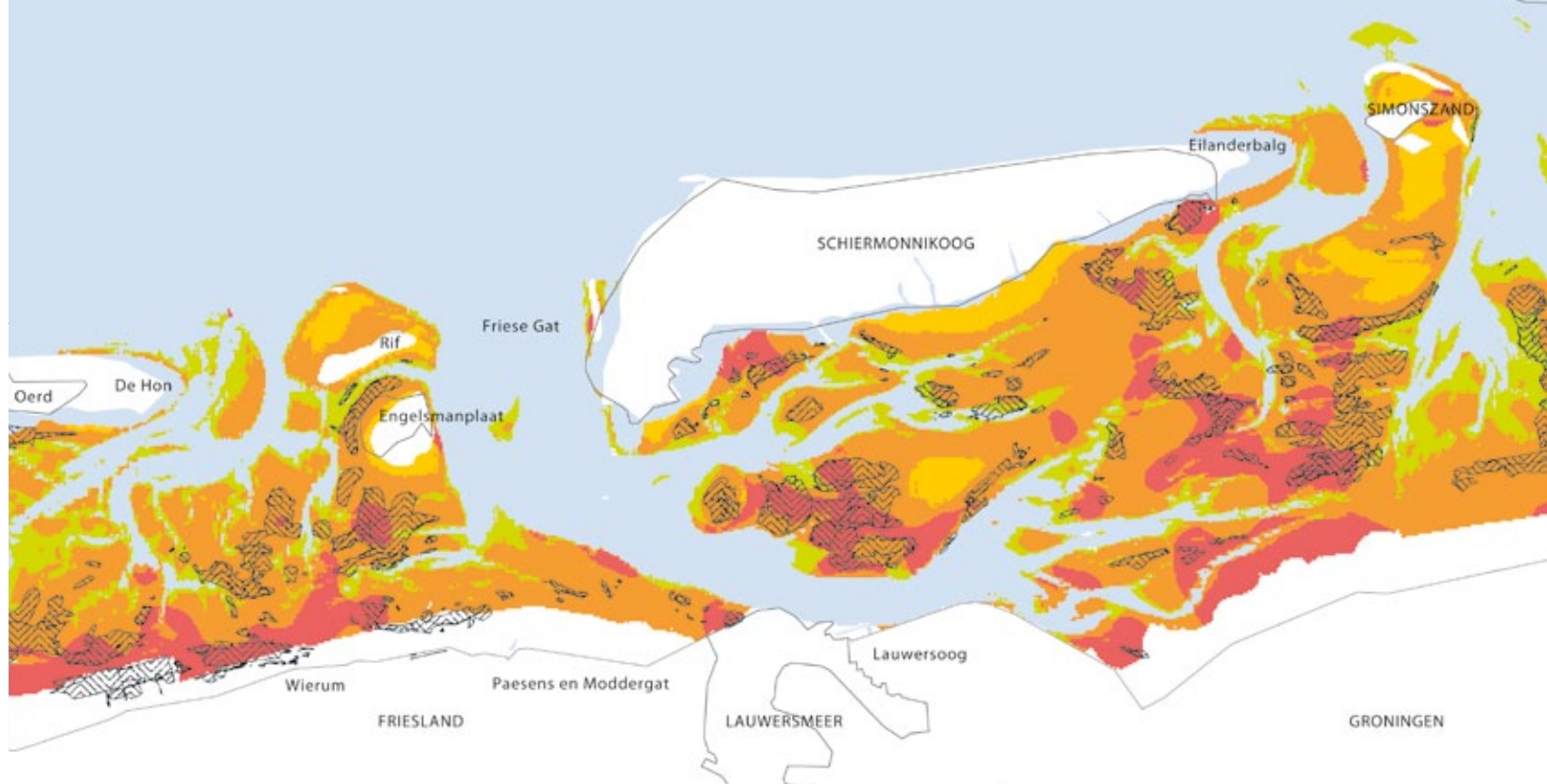
len er zich op de bank ook opnieuw mossellarven vestigen. Soms gebeurt dit in zulke grote hoeveelheden dat oudere Mosselen geen kans krijgen om zich uit het door de jonge Mosselen afgezette slib naar boven te werken. Deze raken bedolven en gaan dood. Er ontstaat een nieuwe bank boven op een oude. Later is dit te herkennen doordat een bank bestaat uit verschillende lagen van schelpen, klei en zand (21).



▲ Verschillende lagen onder een bestaande mosselbank.
Foto: ND



▲ Boorkern met meerdere schelpenlagen onder bestaande mosselbank. Foto: GH

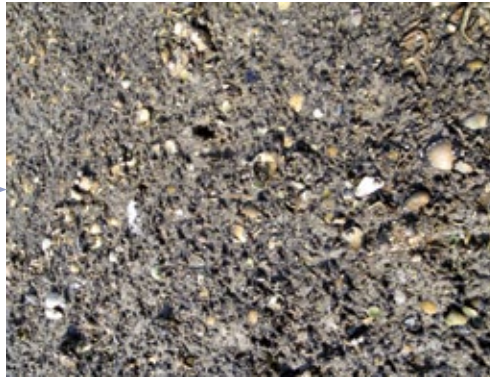
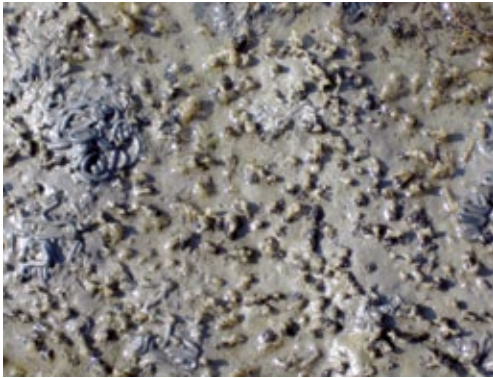


Als een bank verdwijnt, ontstaat er dikwijls binnen afzienbare tijd een nieuwe. Vaak is dat op ongeveer dezelfde plek of in de omgeving van de verdwenen bank. Dit verschijnsel is zowel in de Nederlandse als Duitse Waddenzee uit inventarisaties over tientallen jaren herkend. In karteringen wordt daarom wel de term 'Mosselgebied' (22) gebruikt (Figuur 5). Het gaat dan om een duidelijk herkenbaar gebied waarin met grote regelmaat mosselbanken voorkomen, maar niet altijd in dezelfde configuratie.

Over de jaren neemt de biodiversiteit op de mosselbank en in de ontstane poeltjes toe. In de loop van de tijd hechten zich steeds meer soorten op de mosselschelpen. Het gaat daarbij om onder meer zeepokken, zeeanemonen, mosdier-tjes, zakpijpen, hydroïdpoliepen en Japanse oesters. Japanse oesters hebben zich vanaf het jaar 2000 enorm uitgebreid in de Waddenzee. Veel mosselbanken zijn inmiddels veranderd in gemengde banken, waarin Japanse oesters een dominante positie kunnen innemen (zie Box 6. Japanse oesters in de Waddenzee).

▲ **Figuur 5.** Wadplaten met 'mosselgebieden' (gearceerd) waar regelmatig mosselbanken ontstaan. Bron: IMARES

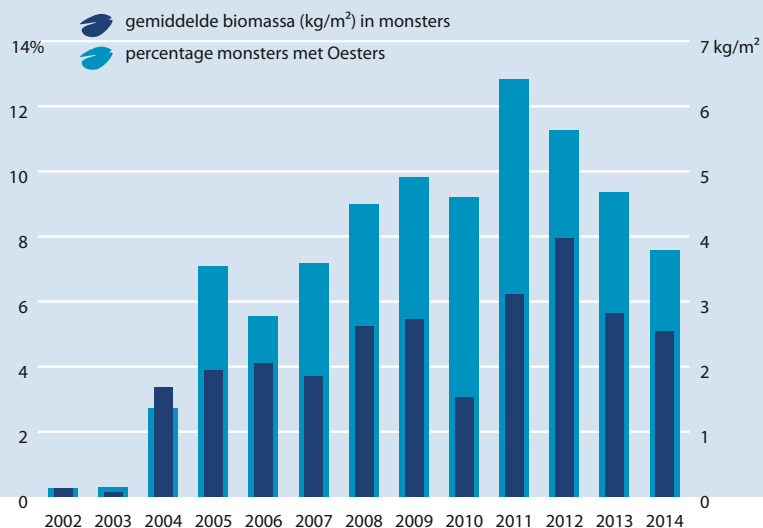
(22) Mosselbanken komen na verdwijning regelmatig terug op nagenoeg dezelfde plaatsen. Dat noemen we mosselgebieden



► Een mosselbank vertoont een geleidelijke ontwikkeling. De fotoserie laat dat zien. Het begint met broedval op een geschikte ondergrond van bijvoorbeeld schelpen of schelpkokerwormen. De mosseltjes produceren een sliblaag waarin ze zich verankeren.

Om boven het ophopende slib uit te kunnen blijven hechten ze zich ook aan elkaar en vormen herkenbare patronen. Door consolidatie wordt het slib steeds steviger en de karakteristieke mosselbulten vormen zich. Deze kunnen zware stormen doorstaan. Foto's: ND





6 Japanse oesters in de Waddenzee

▲ **Figuur 6.** De ontwikkeling van Japanse oesters in de Waddenzee. Vanaf het jaar 2004 is een sterke toename te zien (ruim 1100 monsters). Bron: IMARES

Japanse oesters *Crassostrea gigas* werden in 1983 voor het eerst in de Nederlandse Waddenzee gevonden. Ze waren in 1964 naar Nederland gebracht door oesterkwekers, omdat de Nederlandse Platte oester *Ostrea edulis* nagenoeg was uitgestorven door de strenge winter van 1963. De Japanse oesters komen van oorsprong voor in de zoute wateren van Japan en Zuidoost-Azië. De kwekers verwachtten dat de Japanse oester zich in de koudere Nederlandse zeeën niet zou kunnen voortplanten. Tussen 1974 en 1976 bleek echter dat de condities in de Oosterschelde de voortplanting niet in de weg stonden; de eerste jonge Japanse oesters werden ontdekt. Nog geen 10 jaar later werden ze ook in de Waddenzee gevonden.

Met de start van het nieuwe millennium werd duidelijk dat de Japanse oester zich verspreid had in de Waddenzee. Hoewel de ontwikkeling van de populatie de eerste jaren nog onregelmatig verliep, nam die al gauw exponentieel toe. De oesters vestigden zich net als Mosselen op een harde ondergrond.

In de Waddenzee hebben de Japanse oesters weinig vijanden. Krabben kunnen kleine exemplaren openen, maar hebben een voorkeur voor Mosselen. Meeuwen en Scholeksters hebben inmiddels geleerd hoe ze oesterschelpen kunnen breken of openen, maar de predatiedruk blijft gering. Meeuwen laten oesters van grote hoogte op de geasfalteerde Waddenzeedijk vallen. Dat loont alleen met loszittende oesters in de buurt van een dijk of weg. Scholeksters weten de sluitspier van kleine oesters door te snijden, maar grote oesters kunnen zij niet openen. Toch komt massale sterfte bij oesters voor. Grote delen van riffen kunnen verstikt raken onder kluwen Zeesla *Ulva* sp. of lagen slib. In sommige jaren heeft op afzonderlijke locaties onverklaarbare massasterfte plaatsgevonden, wellicht kwam dit door een virus.

Japanse oesters hechten zich op harde ondergrond vast en vestigen zich ook op mosselbanken. Veel mosselbanken zijn hierdoor over de jaren veranderd in gemengde mossel-oesterbanken. Een enkele keer namen de oesters zodanig de overhand, dat van een oesterrif gesproken kon worden. Bijna altijd kunnen tussen de grote klompen oesters nog veel Mosselen gevonden worden. Het is de laatste jaren meerdere keren waargenomen dat jonge Mosselen zich op een bestaand oesterrif hadden gevestigd. In die gevallen gaan Mosselen en Japanse oesters concurreren om ruimte. Mogelijk is er ook concurrentie om voedsel, omdat Japanse oesters net als Mosselen het zeewater filteren om er voedsel-deeltjes uit te halen.

Japanse oesters vormen riffen doordat jonge exemplaren zich vestigen op oude exemplaren en zich er aan vasthechten. Hierdoor ontstaan harde structuren met holtes en open plekken. De structuur is vergelijkbaar met die van mosselbanken. Op oesterriffen vestigen zich eveneens soorten die een harde ondergrond nodig hebben. Daarnaast zoeken kleinere zeedieren er ook bescherming tussen de schelpen. Het aantal soorten en het aantal individuen dat op en tussen de oesterschelpen leeft is hoger dan op het zandige wad. De biodiversiteit van oesterriffen komt overeen met die van mosselbanken, maar er bestaan wel verschillen. Doordat Japanse oesters groter zijn dan Mosselen, zijn holtes op riffen van deze soort groter, waar vooral bewegelijke bodemdieren van kunnen profiteren. Vissen en krabben worden dan ook meer gevonden bij oesterriffen.

Er zijn geen waarnemingen bekend van Eidereenden of Kanoeten die zich voeden met Japanse oesters. Zelfs de kleine exemplaren lijken onmogelijk om door te slikken. Zilvermeeuwen en Scholeksters hebben wel een manier

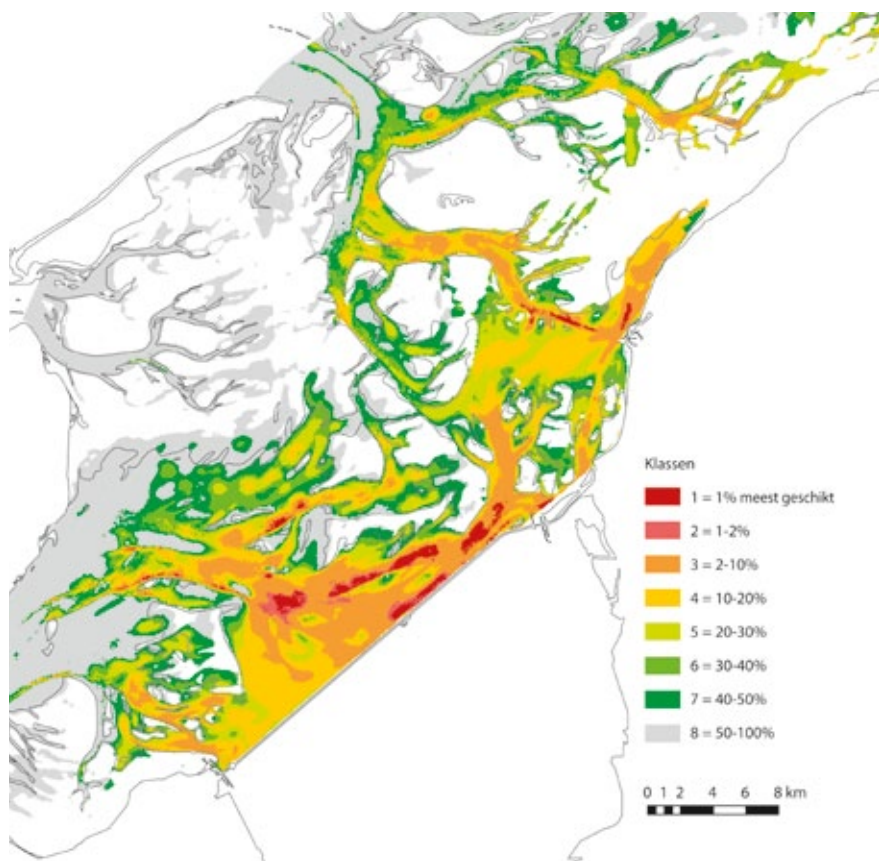
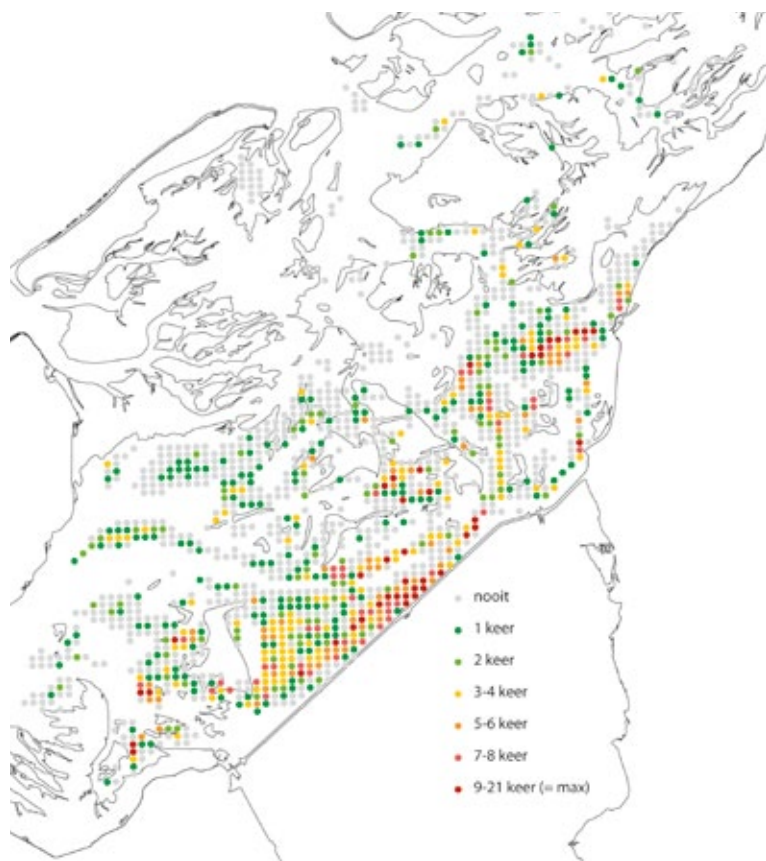
gevonden om Japanse oesters te eten, maar de fractie oesters die eetbaar is voor deze twee schelpdiereters is gering. De dichtheid foeragerende scholeksters op oesterbanken is dan ook veel lager dan de dichtheid op mosselbanken. Ook op gemengde banken is de dichtheid Scholeksters laag: de Mosselen kruipen tussen de oesters en zijn daardoor minder vangbaar dan Mosselen op pure mosselbanken. De komst van de Japanse oester is daarom slecht nieuws voor de vogels die van Mosselen leven. Voor vogelsoorten die naar andere prooien zoeken, zoals de Wulp die op krabben jaagt, lijkt het type bank weinig uit te maken.

Recent onderzoek in het Mosselwad project laat zien dat oesterbanken het best overleven als deze laag in de getijdezone liggen. Voor het voortbestaan van de 'pure' mosselbank, zonder Japanse oesters, is dit goed nieuws. Voor vogels levert het echter weinig voordeel op: vanwege de lagere groeisnelheid en dikkere schelpen zijn de hoogliggende Mosselen minder geschikt als voedsel voor vogels.



▲ Foto: JdV

◀ Gemengde mossel-oesterbank. Foto: FFH



▲ **Figuur 7.** Gebieden waar vaak sublitorale Mosselen worden waargenomen (links) en voorspelde geschiktheid (rechts). Bron: Marinx & IMARES

Ruimtelijke verschillen in mosselbanken in de Waddenzee

Verschillen in ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken ontstaan door variatie in het zoutgehalte, het watertemperatuurregime, de bodemgesteldheid, de waterdiepte en de ligging ten opzichte van de windrichting. Het zoutgehalte met de daaraan gerelateerde zeesterpredatie (zie Box 7. Predatie door de Gewone zeester) speelt hiernaast ook een belangrijke rol die bepalend is voor de kans dat Mosselen wegstromen, bijvoorbeeld tijdens een storm. Condities in het zuiden van de westelijke Waddenzee lijken

gunstiger voor mosselbankoverleving. Een periodiek lager zoutgehalte (minder zeesterpredatie), minder grote blootstelling van getij- of storminvloeden en hydraulisch gezien gunstige omstandigheden voor broedval maakt dat in die gebieden vaker sublitorale mosselbanken aangetroffen worden dan elders.

Mosselbanken en hun betekenis voor het ecosysteem

Mossel als voedselbron

Droogvallende mosselbanken zijn tijdens laagwater bereikbaar voor niet-duikende vogels en vormen dan een belangrijke voedselbron (23) voor Zilvermeeuwen en Scholeksters, en heel af en toe ook Kanoeten. Niet-duiken de vogels zijn gespecialiseerd in een specifieke grootte van de Mossel. Kanoeten kiezen Mosselen die minimaal 5 mm en maximaal 20 mm lang zijn, Zilvermeeuwen kiezen voor Mosselen tussen de 10 en 30 mm en Scholeksters selecteren Mosselen tussen 25 en 55 mm groot. Kanoeten en Zilvermeeuwen eten kleine Mosselen in zijn geheel op, waarna de schelp door de sterk gespierde maag gekraakt wordt. Grotere Mosselen worden door meeuwen van grote hoogte losgelaten, zodat ze op een dijk kapot vallen. Scholeksters kunnen de sluitspier van een geopende Mossel doorsnijden, maar ook de schelp kapot hameren om de inhoud te kunnen bemachtigen. Deze vogels kunnen daarom grotere Mosselen aan. Al deze vogels hebben een voorkeur voor dunne schelpen. De Eidereend (met een voorkeur voor mosselgrootte van 30-60 mm) foerageert op permanent onder water liggende commerciële mosselpercelen, maar ook wel op mosselbanken op droogvallende platen, wanneer die nog onder water staan. Er wordt geschat dat Eidereenden jaarlijks 7 miljoen kilogram Mosselen van percelen halen. Dat is ongeveer 20% van de aanvoer in Yerseke. Onduidelijk is of dit echte verliezen zijn of dat sprake is van uitdunning waardoor de overgebleven Mosselen beter groeien. Onder water worden Mosselen op natuurlijke banken verder massaal (24) gegeten door onder meer de Gewone Zeester, Strandkrab, Gewone zwemkrab, Gewone spinkrab en diverse soorten vissen. Kleine Mosselen zijn daar belangrijk voor Toppereenden die uit het IJsselmeer komen.

Organismen die in de mosselbank leven zijn ook een belangrijke voedselbron voor wadvogels. Steenlopers en Wulpen zoeken op de mosselbank naar krabben en andere kreeftachtigen, terwijl Tureluurs (25), Groenpootruiters, Lepelaars, Kokmeeuwen, en Kleine zilverreigers in de poeltjes ook op grondels en garnalen jagen. Stormmeeuwen specialiseren zich soms in het beroven van Scholeksters. In de jaren 80 was maximaal 5% van het droogvallende wad bedekt door mosselbanken, terwijl 25% van de vogelaantallen op deze mosselbanken voorkwamen.

(23) Mosselbanken zijn een belangrijke voedselbron

(24) Ook onder water zijn mosselbanken een belangrijke voedselbron

(25) Mosselbanken zijn ook belangrijk voor dieren die geen mosselen eten



◀ Zilvermeeuwen. Foto: CZ



▶ Scholekster. Foto: JvdK

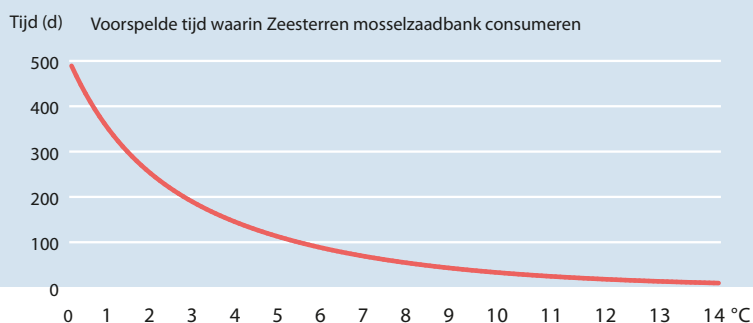


7 Predatie door de Gewone zeester

De Gewone zeester *Asterias rubens* is een belangrijke predator van sublitorale mosselzaadbanken. Zeesterren kunnen in hoge dichtheden voorkomen (tot $> 500 \text{ ind/m}^2$) waarbij ze onder gunstige condities hoge consumptie- en groeisnelheden laten zien. Ze beïnvloeden hiermee direct de overlevingskansen van nieuw gevormde sublitorale mosselzaadbanken (top down control).

Saliniteit, temperatuur, stromingsdynamiek en het formaat in relatie tot mosselgrootte zijn belangrijke factoren die de predatiedruk van Zeesterren bepalen. Zeesterren kunnen Mosselen consumeren die groter zijn dan zichzelf, maar er is wel een grens waarboven Mosselen geen geschikte voedselbron meer zijn. Onder de juiste condities (mogelijkheid tot mosselgroei maar beperkte mogelijkheid tot Zeestergroei, bijvoorbeeld bij lage temperaturen) kunnen Mosselen Zeesterren overgroeien.

Uit experimenten blijkt dat een hoge predatie door Zeesterren voorkomt bij temperaturen rond de 10°C . De consumptiesnelheid kan oplopen tot $0,34$ Mosselen per dag per gram Zeester. Bij een gemiddelde zeesterdichtheid van 300 g/m^2 kan een mosselzaadbank (mosseldichtheid $1000 \text{ Mosselen/m}^2$ met schelpenlengte tussen 15 tot 33 mm) binnen 10 dagen volledig geconsumeerd worden door Zeesterren (zie Figuur 8). Dergelijke zeesterdichtheden (tot ongeveer 500 ind/m^2) en mosseldichtheden (tot ongeveer 3000 ind/m^2) worden regelmatig waargenomen in de Waddenzee. In normale winters is de temperatuur echter laag en zullen deze consumptiesnelheden niet gehaald worden. De predatie is nagenoeg afwezig bij temperaturen onder de 2°C .

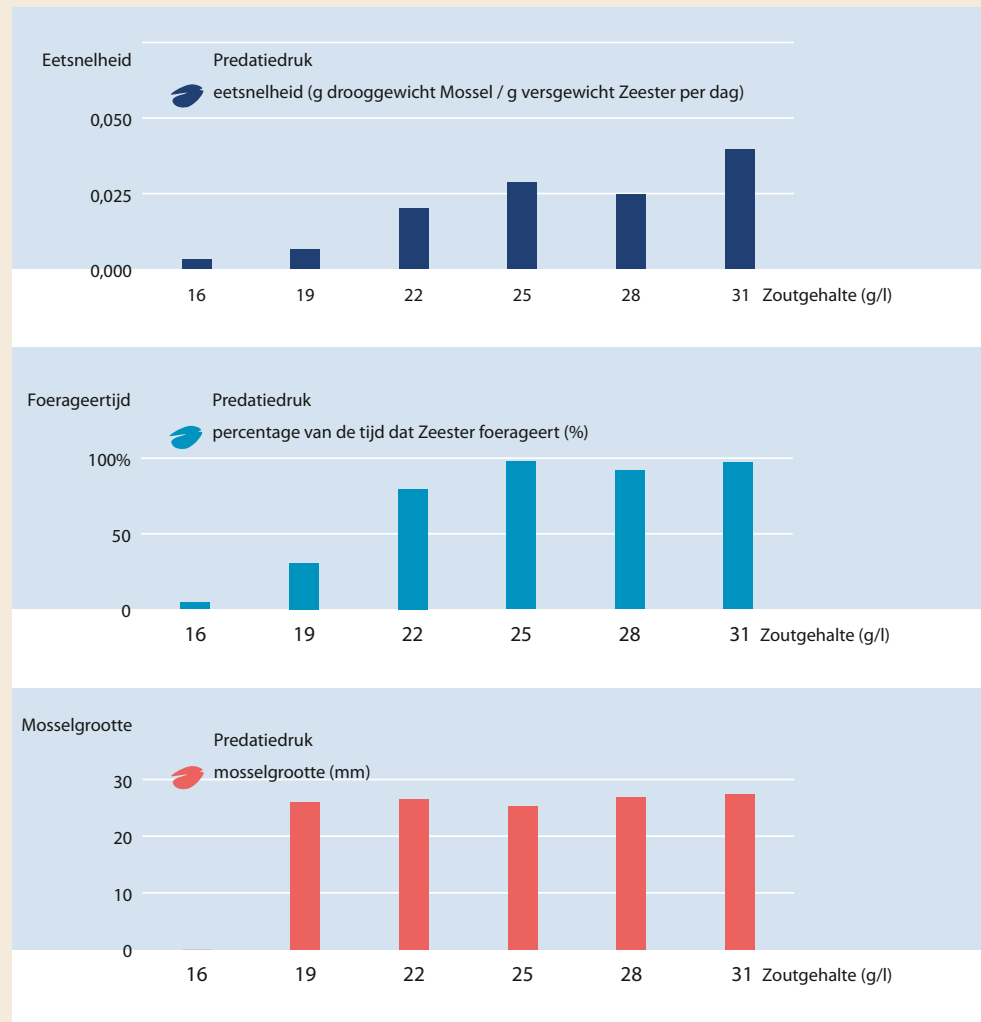


▲ Figuur 8. Voorspelde tijd (aantal dagen) waarin Zeesterren, met een gemiddelde dichtheid van 300 gr/m^2 , een volledige mosselzaadbank consumeren, afhankelijk van de temperatuur. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde

dichtheid van 1000 Mosselen per m^2 , met een schelpenlengte tussen 15 en 33 mm . (Agüera e.a. 2012).

▲ Gewone zeester op jacht.
Foto: MT

De regeling van de interne waterdruk (osmoregulatie) van Zeesterren is beperkt. Hoewel Zeesterren in staat zijn om in brakke omstandigheden te leven wordt het gedrag en de overleving beïnvloed door sterke en plotselinge fluctuaties in het zoutgehalte. Uit experimenten blijkt dat een (plotse-
 linge) daling van het zoutgehalte van 31 naar 28 g/liter leidt tot een tijdelijk maar significant lagere voedselopnamesnel-
 heid (predatiedruk) en een aanpassing in de voedselkeuze (kleinere Mosselen). Zeesterren consumeren geen Mosselen wanneer het zoutgehalte plotseling afneemt tot 12 g/liter en lager. Tevens nam de kracht waarmee Zeesterren zich vastklampen af bij een daling van het zoutgehalte. Wanneer er naast verlaging van het zoutgehalte ook sprake is van een toename in stroomsnelheid zijn Zeesterren kwetsbaarder voor wegspoeling.



◀ Foto: AA

▲ **Figuur 9.** Boven: eetsnel-
 heid neemt toe met zoutge-
 halte. Midden: eetsnelheid

is hoger bij hogere zoutge-
 haltes. Onder: lengte van
 geconsumeerde Mosselen bij
 verschillende zoutgehaltes is
 vrij stabiel.

(26) Ook de omgeving van een mosselbank wordt verrijkt

(27) Een mosselbank heeft invloed op hydrodynamica

(28) Mosselbanken kunnen het omliggend wad mee laten stijgen

(29) Mosselbanken zijn een soort natuurlijke zuiverings-installatie

(30) Te hoge consumptie van algen kan negatief uitwerken voor de primaire productie

Sedimentaccumulatie

De geproduceerde pseudofaeces bestaat voor een groot deel uit organisch materiaal en heeft een hoge voedswaarde voor bodemdieren. Het bezinkt in de ruimere (26) omgeving van de mosselbank. Op en rond een mosselbank ontstaan door de productie van pseudofaeces rijkere delen waar allerlei organismen van profiteren.

Door de verhogingen hebben mosselbanken ook invloed op de topografische en hydraulische (27) karakteristieken van het waddengebied. Golven worden gebroken en stromingen geremd. Daardoor ontstaan in de omgeving van de mosselbanken relatief rustige condities.

Omdat mosselbanken ruim boven hun omgeving uitsteken vallen ze eerder droog bij eb en lopen later onder bij vloed. Daardoor kunnen vogels er veel langer terecht om te foerageren of rusten. De banken kunnen in een periode van zeespiegelstijging of bodemdaling ook meegroeien in hoogte en zodoende effecten daarvan mitigeren. Er zijn aanwijzingen (28) dat het omliggende wad meestijgt met een mosselbank.

Filtratie van het water

Een Mossel kan 1,5 liter water per uur langs zijn kieuwen pompen. De huidige mosselpopulatie kan het hele volume van de Waddenzee in 1 week filteren. Mosselbanken werken als een natuurlijke zuiveringsinstallatie (29), omdat Mosselen een groot deel van de gefilterde algen als organisch materiaal laten bezinken en er binnen de bank afwisselend zuurstofrijke en zuurstofarme omstandigheden heersen. Organisch materiaal wordt afgebroken en er komen voedingsstoffen zoals fosfaat, nitraat en silicaat vrij. Dit stimuleert de productie van algen. Dit proces is onder meer gemeten in experimenten waarbij tunnels over een mosselbank zijn gebouwd en het verschil tussen instromend en uitstromend water werd bepaald. Mosselen zorgen zodoende voor een versnelling van processen die aan het begin van het voedselweb staan.

Het is mogelijk dat er zoveel algen worden geconsumeerd dat er te weinig algen overblijven om maximaal gebruik te maken van de beschikbare voedingsstoffen (30) (nutriënten). De algen worden dan sneller opgegeten dan dat ze zich kunnen delen.

► Tunnelexperiment op mosselbanken. Foto's: HA, ND

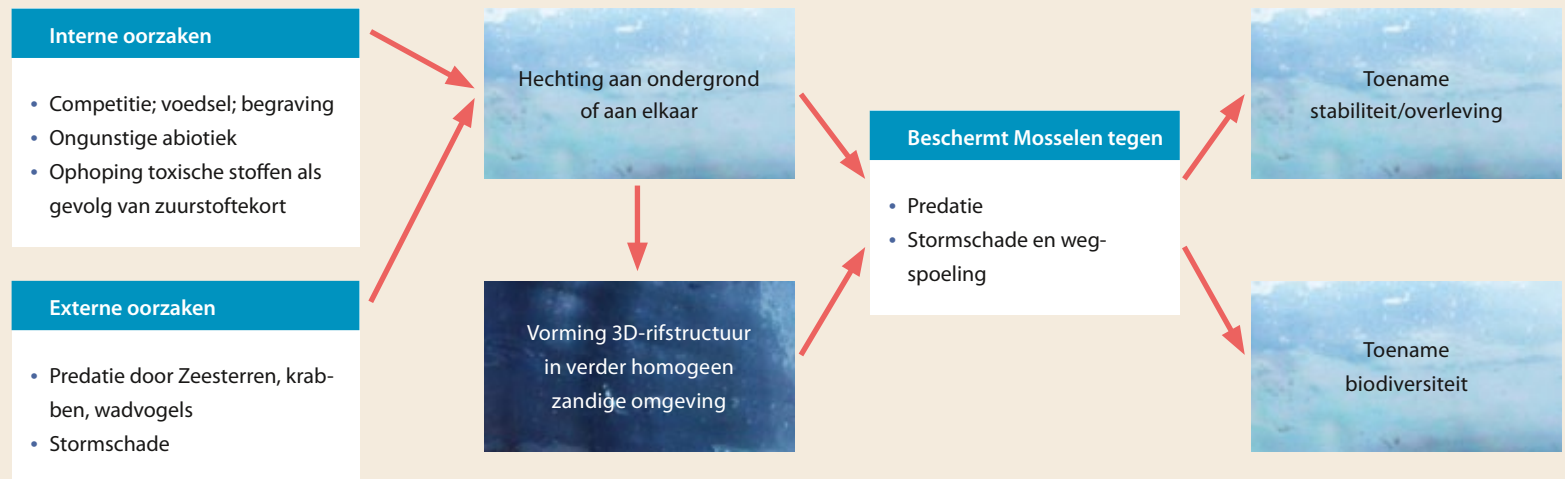


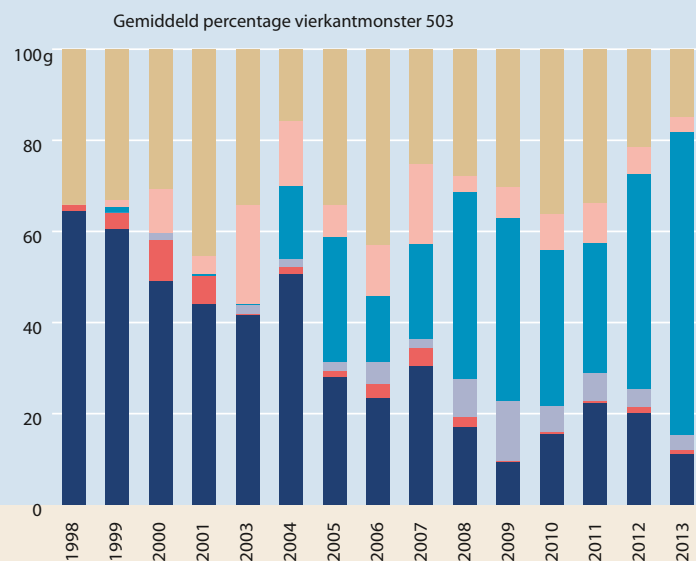
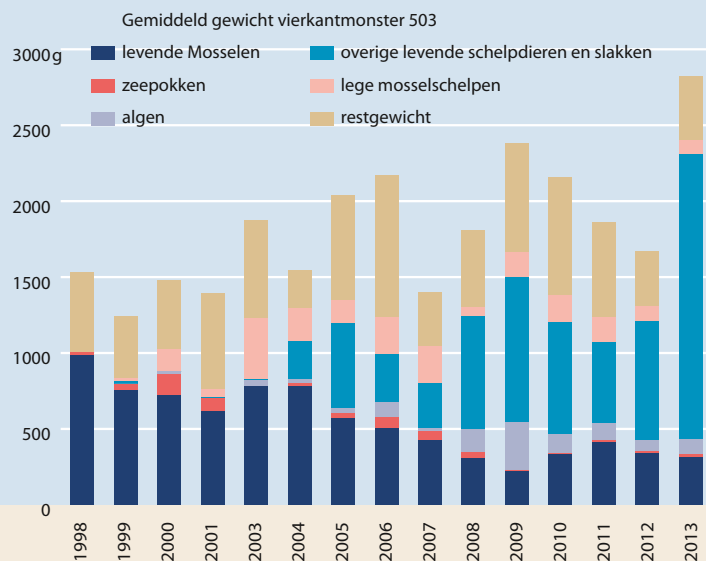


▲ Foto: JV

► Hechting van Mosselen op verschillende schalen.

Foto's: ND





Biodiversiteit van mosselbanken op droogvallende wadplaten

Met name bij een grotere mosselbank ouder dan 1 jaar ontstaan allerlei poeltjes en geultjes tussen de mosselplakkaten die jonge visjes, krabben en garnalen herbergen. Deze worden weer gegeten door grote vissen en vogels. Bij oude (31) banken ontstaat er een eigen, rijke leefgemeenschap met onder andere zeepokken, alikruiken, Blaasjeswier en een grote diversiteit aan organismen die zich binnen de structuurrijke bank ophouden (Figuur 10). Doordat Mosselen veel structuur genereren in de topografie, hun eigen schelpen als ankerpunt kunnen worden gebruikt, en de bank bescherming biedt tegen erosieve krachten, creëren ze een habitat dat veel rijker is aan soorten dan de originele zand of slikplaat zonder Mosselen.

Biodiversiteit van sublitorale mosselbanken

Het aantal soorten in sublitorale mosselbanken (32) ligt hoger dan in droogvallende mosselbanken, vooral voor wat betreft mosdiertjes, stekelhuidigen en hydroïdpoliepen. In vergelijking met de omringende zandbodem worden gemiddeld twee keer zoveel soorten gevonden. Verder blijkt uit veldgegevens van onder meer het PRODUS project dat 25% van de aangetroffen aanwezige bodemdieren in de Waddenzee uitsluitend op mosselbanken voorkomt. Het gaat vooral om soorten die vastgehecht leven op hard substraat. Het gaat daarbij om zeepokken, mosdiertjes, zakpijpen, hydroïdpoliepen en bloemdieren. Daarnaast zijn er meerdere soorten wormensoorten, zoals de Zager *Alitta virens* die er jaagt op kleine invertebraten. Andere bewoners zijn de Strandkrab en de gewone Zeester, de Slikkokerworm *Polydora ciliata* die gaten in mosselschelpen boort, en de mosselparasiet *Mytilicola sp.*

▲ **Figuur 10.** Samenstelling mosselbank in gemiddeld gewicht en percentage (vierkantmonsters van 0,05m²) van 1998 tot 2012. Bron: IMARES

(31) Naarmate een bank ouder wordt neemt de (bio)diversiteit toe

(32) Ook mosselbanken die altijd onder water staan hebben een hoge biodiversiteit

Ontstaan en verdwijnen van mosselbanken

Effecten van visserij en andere factoren

Droogvallende mosselbanken waren een normaal verschijnsel in de Waddenzee met uitzondering van de periode tussen 1989 en 1994 toen ze nagenoeg geheel verdwenen waren door voortgaande visserij in een periode met weinig broedval. Schelpdiervisserij staat al meer dan 100 jaar ter discussie in verband met problemen met de ontwikkeling van mosselbanken (zie Box 8). Mosselen werden gevisht en geraapt voor consumptie, gebruikt als voer voor eenden in fokkerijen en in de jaren na de Eerste Wereldoorlog voor bemesting van het land.

Waarschijnlijk is er in de Waddenzee een sterke toename in zaadvisserij geweest na 1953. Percelen werden toen in de Zeeuwse Delta afgestoten en de cultuur verplaatste zich naar de Waddenzee. De visserij op droogvallende platen concentreerde zich tot 1963 op de westelijke Waddenzee omdat in de oostelijke Waddenzee de schadelijke mosselparasiet voorkwam. In hoeverre deze langere druk op de westelijke Waddenzee geleid heeft tot minder stabiele banken is onbekend.

In de jaren 80 was er beperkt aanbod aan Mosselen en de prijzen ervan gingen omhoog. Daardoor werden Mosselen van de platen, die normaal gesproken van lage kwaliteit



▲ Zeeuws mosselschip (hoogaars) met Mosselen aan het lossen in Mechelen (1910).
Foto: www.vaartips.nl

8 Quotes uit de 19e eeuw over effecten van mossel(zaad)visserij

In het 'Verslag van den Staat der Nederlandsche Zeevisserijen over 1900' beschrijft de Wetenschappelijk adviseur in Visserijzaken, P. P. C. Hoek, over een mosselbank in 1896:

'Hier troffen de mosselvisseren van Yerseke, Bruinisse, enz. eene zoo uitgestrekte mosselzaadbank – feitelijk een bank van jongere en oudere Mosselen – aan, dat zij daar dagen achtereenvolgende hunne vaartuigen konden volscheppen. Toen men echter een jaar later – of nog later – diezelfde plaats bezocht, vond men er van dien mosselovervloed niets meer terug: wat er vroeger gevallen was, was weggevisht en een nieuwe mosselzaadbank had zich daar nog niet weer gevormd.'

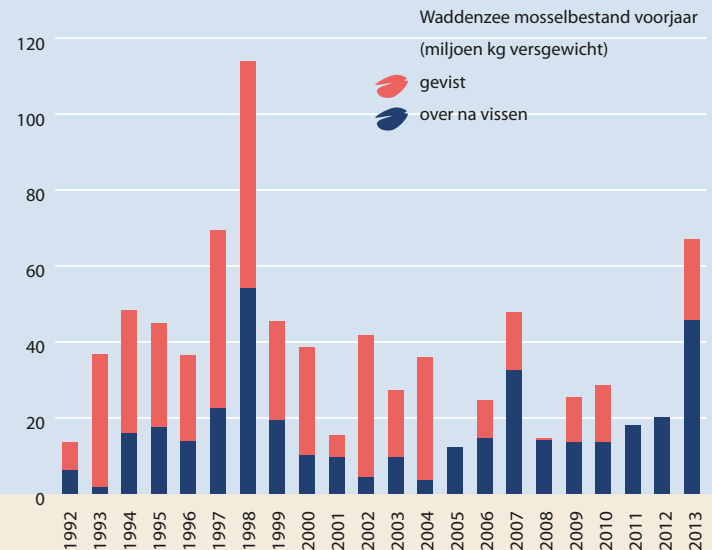
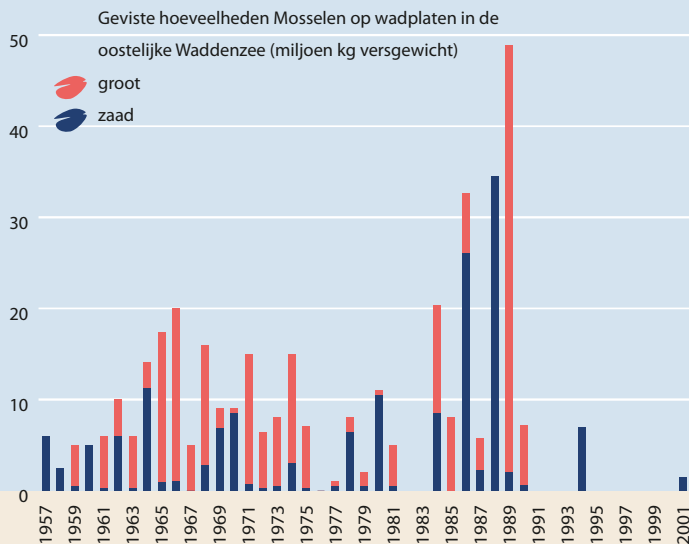
In hetzelfde verslag schrijft hij over de mogelijkheden voor mosselcultuur dat er:

'in de meeste jaren – vermoedelijk elk jaar – mosselzaad in

overvloed' aanwezig is, maar dat voor succes het 'in de eerste plaats aan de Zeeuwsche mosselvisseren verboden en door voldoende toezicht onmogelijk gemaakt moet worden, de mosselzaadbanken in de Zuiderzee te komen kaalplunderen'

Uit een voordracht van C. W. Harding tijdens een internationale visserijtentoonstelling in 1883:

'The best and only way that existing natural mussel beds can be properly cultivated and protected is to make them the actual property of someone. If they are allowed to be fished indiscriminately they will quickly become exhausted, as has been the case with hundreds of natural scalps on the coast. Fifty years ago mussels were very prolific on the coast of England. And almost every small harbour had its natural scalp outside, which fed the lays or fattening grounds inside, to the great profit of the owners of such lays. About that period some ill-starred individuals discovered that they were valuable for manure, when commenced a raid on the scalps which is the origin of the present downfall.'



werden geacht, gewild. Figuur 11 illustreert die toename van de visserij op de platen. Het werd eenvoudiger om op de hoogliggende platen op grote en kleine Mosselen te vissen omdat er kokkelschepen beschikbaar kwamen die door hun geringe diepgang op platen ingezet konden worden. In die periode nam ook de visserij in Duitsland en Denemarken sterk toe en ook daar was toen sprake van sterke achteruitgang van mosselbanken.

Voor de banken in de permanent onder water staande delen ligt de situatie wellicht anders. In de meeste jaren treedt daar broedval op en overleven veel banken de eerste winter. Het is onduidelijk of ze zich zonder visserij zouden kunnen ontwikkelen (33) tot oude structuurrijke banken, omdat ze daarna nagenoeg altijd weggevisst werden (Figuur 12). Predatie door Zeesterren is zeker een belangrijke factor die deze ontwikkeling wellicht verhindert. Pas sinds enkele jaren, in het kader van de mosseltransitie, zijn een paar van

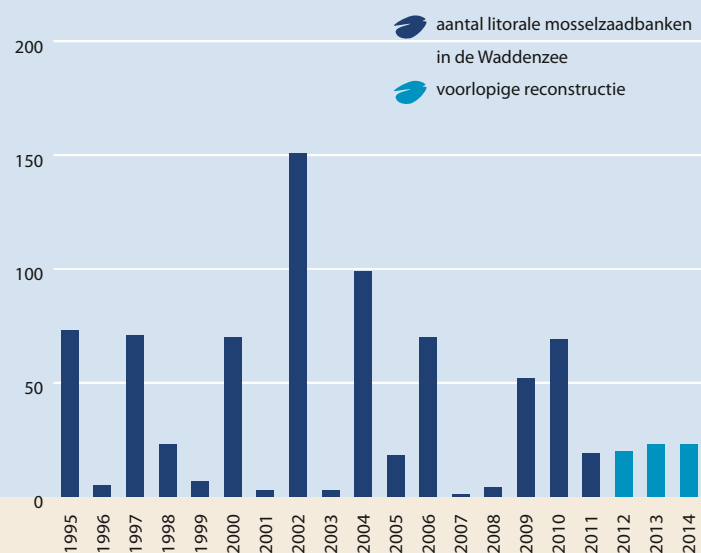
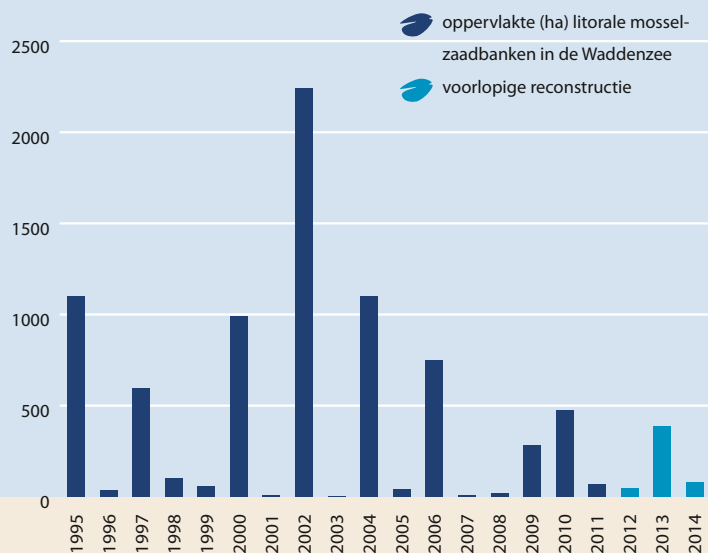
die banken gesloten voor visserij. Het is de bedoeling het areaal gesloten gebieden geleidelijk uit te breiden.

Er waren geen regelmatige karteringen of inventarisaties, omdat droogvallende banken min of meer als permanente structuren gezien werden. Anekdotische informatie in excursiehandleidingen, vogeltellingen, luchtfoto's, en kaarten in boeken geeft aan dat dezelfde bank jaren op dezelfde plaats lag. Af en toe was er ook broedval en ontstond een nieuwe bank, maar een groot deel daarvan verdween door visserij, predatie of stormen. In het langlopende onderzoek van het NIOZ op het Balgzand vond Jan Beukema in de periode tussen 1969 en 1992 maar één zaadbank die zich ontwikkelde tot een oude stabiele bank. Het eerste EVA onderzoek dat het ministerie van LNV instelde naar het verdwijnen van de mosselbanken concludeerde dat het ontstaan en de ontwikkeling tot een oude stabiele mosselbank zeldzame verschijnselen waren.

► Figuur 11. Mosselvangst op de droogvallende platen in de Nederlandse Waddenzee van 1957 tot 2001. Bron: IMARES en MarinX

▲ Figuur 12. Mosselen sub-litoraal Waddenzee in het voorjaar. Bron: IMARES

(33) Of zich in het sublitoraal op grote schaal mosselbanken kunnen ontwikkelen is nog niet bekend



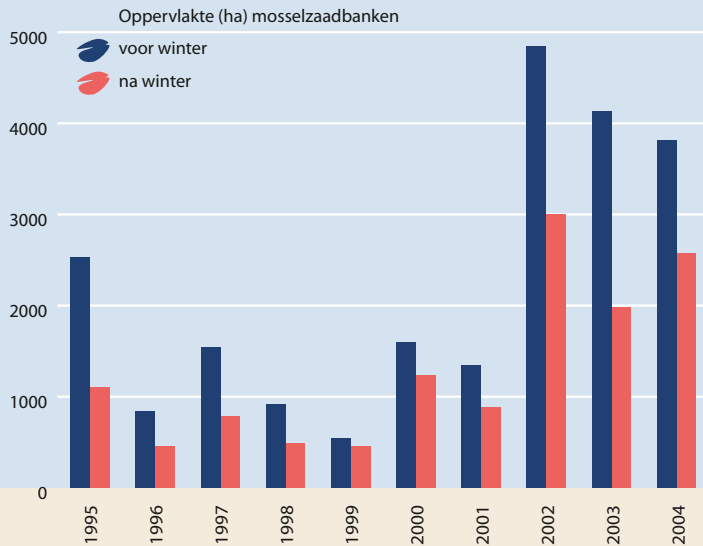
▲▼ **Figuur 13.** Aantal (links) en oppervlak (rechts) jaarlijks ontstane litorale mosselbanken in de Waddenzee. Bron: IMARES

In het kader van beleidsvorming liet het ministerie onderzoeken op welke plaatsen droogvallende (zaad)mosselbanken zodanig weinig kans hadden op overleving dat ze beter weggevisst konden worden. Na een inventarisatie moest geconcludeerd worden dat daarvoor geen betrouwbare voorspelling gegeven kon worden, hoewel in de volgens de mosselpotentiekaart beste 2% van het wad de overleving duidelijk beter was. De overleving bleek te afhankelijk van onvoorspelbare factoren, zoals (windrichting tijdens) stormen en vogelpredatie.

Op netten, touwen en kettingen die in het water hangen vestigen zich elk jaar jonge Mosselen. Er lijkt een goede toevoer van larven te zijn. Op het droogvallende wad ontstaat maar af en toe een jonge bank met Mosselen van 1-2 cm en dan ook nog op een relatief klein oppervlak van het wad (maximaal 1-2 %). De condities voor de ontwikkeling van dat soort banken lijken dus niet gunstig. Dat kan liggen aan onvoldoende geschikt substraat, maar lijkt vooral te

wijten aan hevige predatie in een zeer vroeg stadium van vestiging (als de Mosseltjes tussen 0,3 en 2 mm groot zijn). De permanent onder water staande banken ontwikkelen zich met grotere regelmaat tot banken met Mosselen groter dan 1 cm, maar hebben daarna veel te lijden van predatie en de visserij. Vanaf 1994 kwam de ontwikkeling op de platen weer op gang en worden droogvallende mosselbanken jaarlijks geïnventariseerd. Het oppervlak nam sprongsgewijs toe indien broedval optrad (1994, 1997, 1999, 2001, 2005 en wellicht 2013).

In sommige jaren ontstonden grote aantallen nieuwe litorale banken (Figuur 13). Het is onduidelijk waarom dat vooral in de Nederlandse Waddenzee was en niet in de Duitse. Een groot deel van het toegenomen oppervlak, grofweg 40%, verdween echter weer in de erop volgende winter (Figuur 14). Toch was er een geleidelijke toename, en sommige van de huidige banken zijn nu 20 jaar oud. Ook oudere banken



◀ **Figuur 14. Wintersterfte mosselzaadbanken.**
Bron: IMARES

▲ Foto: MO

gaan langzaam achteruit, ondanks de jaarlijks optredende broedval binnen een bank. Om het oppervlak in de Waddenzee in stand te houden is af en toe een goede broedval noodzakelijk (34).

Natuurlijke sterfte van mosselbanken

Hoewel een individuele Mossel meer dan 10 jaar oud kan worden, geldt dat deze leeftijd op mosselbank nooit gehaald wordt. Elk jaar is er veel natuurlijke sterfte op een mosselbank (35). Voedseltekorten door een ongunstige locatie op de mosselbank of verstikking door slibopbouw zijn daar voorbeelden van. Soms is er sterfte door langdurige droogligging bij warm weer of zuurstofloosheid onder zeer rustige omstandigheden of bedekking door macroalgen. Sterfte kan ook veroorzaakt worden door parasieten, door predatoren zoals wormen en andere schelpdieren die gaatjes in de schelp boren en vervolgens de Mossel opeten, en door ziekte. Een belangrijke sterftefactor van oudere Mosselen is

predatie door vogels. Vogels en andere predatoren kunnen een mosselbank onder bepaalde condities volledig leeg eten.

Bij oude litorale mosselbanken met veel grote Mosselen is de Scholekster de belangrijkste predator. Het loont voor de dominante Scholeksters om hun minder dominante soortgenoten te beroven en dat leidt weer tot interferentie: als de dichtheid foeragerende Scholeksters toeneemt, neemt de opnamesnelheid van voedsel af. Als gevolg van deze interferentie is er een beperking aan de dichtheid waarin Scholeksters naar voedsel zoeken op de mosselbanken. Daardoor is de predatiedruk in de loop van de winter van Scholeksters (36) op droogvallende mosselbanken zelden hoger dan 20% van het aanbod aan het begin van de winter. De mosselbank zal op den duur verdwijnen als de jaarlijkse aanwas van jonge Mosselen jaar na jaar achterblijft bij deze predatiedruk.

(34) *Regelmatige broedval op een bestaande bank is noodzakelijk voor overleving*

(35) *Het aantal mosselen van een bepaalde jaarklasse gaat langzaam achteruit*

(36) *Scholeksters maken geen maximaal gebruik van het mosselaanbod*

(37) Zilvermeeuwen kunnen een jonge mosselbank helemaal leegvreten

(38) Veel mosselbanken gaan geleidelijk achteruit en hebben een boost nodig om te overleven

▼ **Figuur 15.** Totaal bankoppervlak van mosselbank 726 (Mossel en Japanse oester). Een langzame afname in oppervlak, waarschijnlijk doordat er geen nieuw mosselbroed op de mosselbank valt. Bron: IMARES

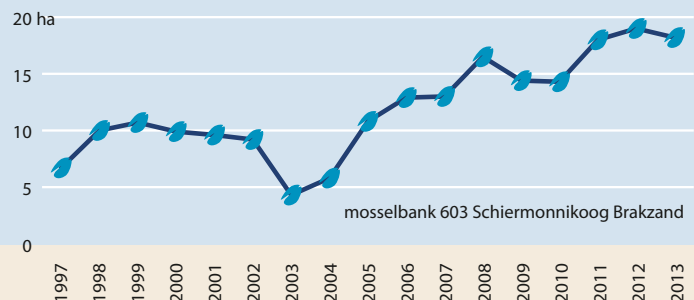
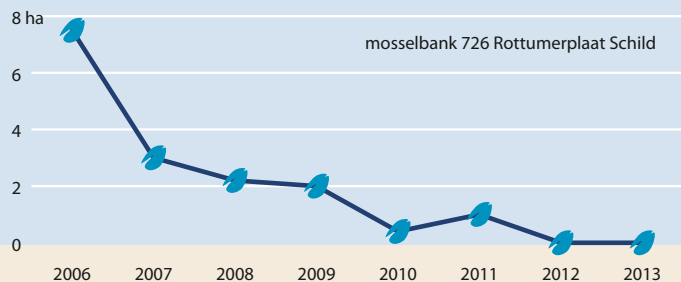
▲ **Figuur 16.** Totaal bankoppervlak van mosselbank 603 (Mossel en Japanse oester). Het oppervlak blijft over de jaren stabiel, waarschijnlijk doordat er regelmatig nieuw mosselbroed op de mosselbank valt. Bron: IMARES

Zilvermeeuwen kunnen met zeer grote aantallen foerageren op jonge mosselbanken (37). Als er al sprake is van interferentie tussen Zilvermeeuwen, dan is die zeker aanzienlijk geringer dan bij Scholeksters. Bijgevolg is dat de predatiedruk soms zo hoog is dat een mosselbank in een seizoen kan verdwijnen. Of dat ook gebeurt hangt waarschijnlijk vooral af van de verhouding tussen het aanbod jonge mosselbanken en de omvang van de populatie Zilvermeeuwen. In 2001 was er sprake van een zeer goede broedval van Mosselen in de Nederlandse Waddenzee. Veel van die banken verdwenen geheel of gedeeltelijk in de loop van de winter, maar de bijdrage van Zilvermeeuwen aan die verdwijning was waarschijnlijk gering. Vooral in jaren met weinig broedval is een effect van predatie door Zilvermeeuwen te verwachten.

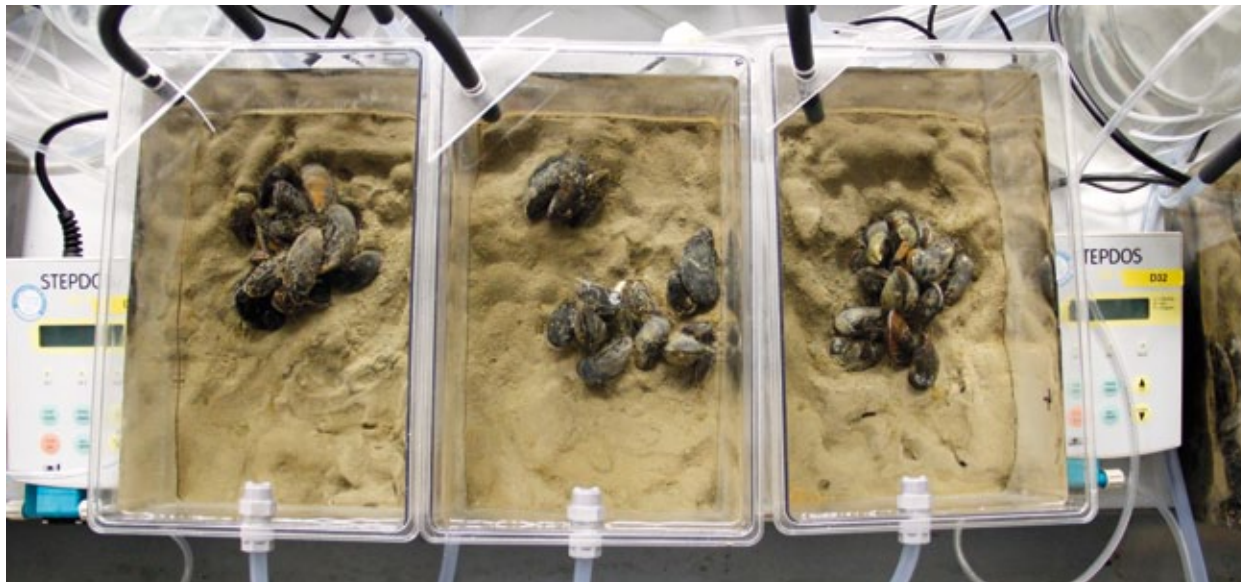
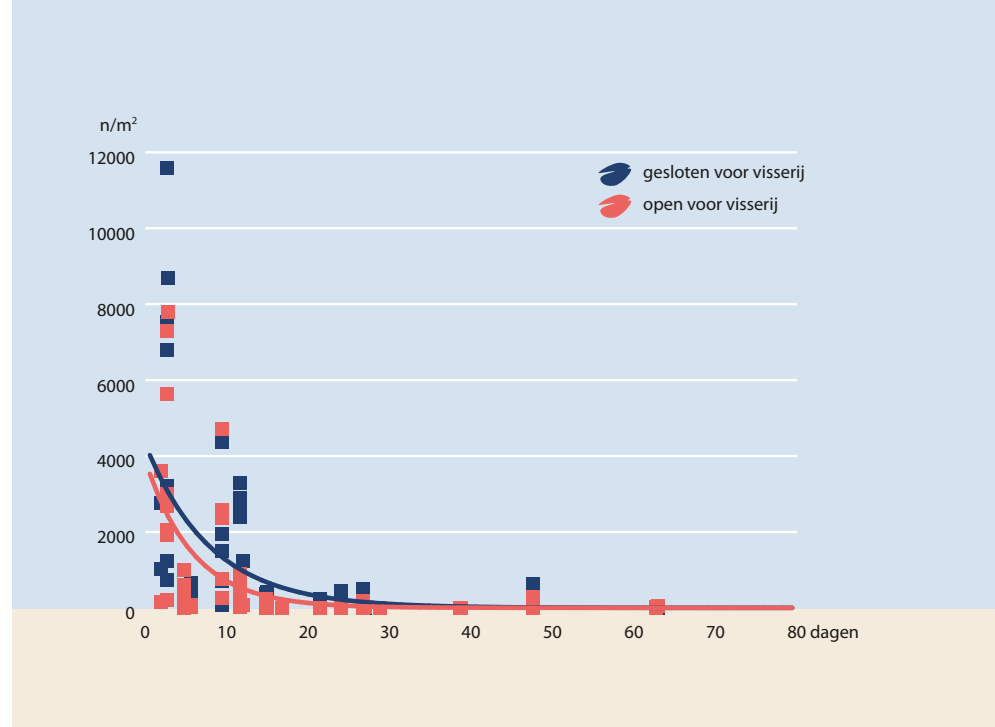
De predatiedruk van Eidereenden op sublitorale Mosselen kan zeer hoog zijn. Zo hoog, dat de mosselkwekers jarenlang personeel inhuurden om de eenden van de kweekpercelen te verjagen. De weinige beschikbare studies suggereren dat de predatiedruk van Eidereenden op litorale mosselbanken veel lager is. Dit heeft vermoedelijk alles te maken met het feit dat litorale Mosselen vanwege hun dikke schelp, een

veel minder aantrekkelijke prooi zijn voor Eidereenden, dan sublitorale Mosselen met hun dunne schelp. Voor vogels die schelpdieren met schelp en al inslikken, zoals de Eidereend en de Zilvermeeuw, zijn Mosselen met veel vlees en weinig schelp natuurlijk het meest profijtelijk. Eidereenden kunnen duiken naar de sublitorale Mosselen, maar de Zilvermeeuwen beperken zich noodgedwongen tot de droogvallende mosselbanken.

Enkel door aanwas van jonge Mosselen binnen de bank kan het verlies door predatie worden opgevangen. In jaren met weinig nieuwe vestiging kan een mosselbank zo geleidelijk verdwijnen (38) (Figuur 15). Wanneer er regelmatig nieuwe aanwas is kunnen mosselbanken zeer lang stabiel lijken (Figuur 16). Hoewel er delen van die bank verdwenen zijn, blijkt dat er ook uitbreiding heeft plaatsgevonden. Uit veldgegevens van sublitorale mosselbanken blijkt dat de natuurlijke sterfte van jonge mosselbanken hoog kan zijn (Figuur 17). Net na het ontstaan van een mosselzaadbank is de mosseldichtheid op zijn hoogst. Dit leidt ertoe dat Mosselen onderling om ruimte concurreren. Om hieraan te ontsnappen maken ze zich los en bewegen naar boven om zich tegen begraving te beschermen. Dit bevoor-



dert echter de kwetsbaarheid voor roofdieren en kans op wegspoeling. Hogere temperaturen in de eerstvolgende zomer leiden tot een toenemende activiteit van predatoren. Bij hoge temperaturen neemt de kans op zuurstofafname in het sediment toe. Dit kan leiden tot productie van toxische stoffen zoals ammonium en sulfide. In laboratoriumexperimenten uitgevoerd binnen het Mosselwad-project blijkt dat verhoogde sulfidegehaltes uitscheiding van geslachtscellen en het uiteenvallen van mosselklonten initieert. In de winter is predatie door wadvogels belangrijk. In de regel is echter de zomersterfte van Mosselen hoger dan de winterssterfte. Voor lange termijn overleving van sublitorale mosselbanken is regelmatig nieuwe aanwas van mosselzaad noodzakelijk.



▲ Figuur 17. Aantal Mosselen (y-as: mosseldichtheid) neemt sterk af met de leeftijd van de bank (x-as)

◀ Experiment met verhoogde sulfideconcentraties. Foto: SR

Kwaliteitskenmerken van mosselbanken

Bij het aanleggen, herstellen of beschermen van mosselbanken is het nuttig criteria te hebben waarmee de kwaliteit van een mosselbank kan worden bepaald. Zodoende kan op zo objectief mogelijke gronden worden besloten om wel of niet in te grijpen. Voor kwelders bestaat een dergelijke lijst met criteria voor kwaliteitskenmerken al. Er wordt ingegrepen als een kwelder niet (meer) aan de criteria voldoet. Ook worden de doelen getoetst aan de criteria als pogingen worden voorgesteld voor aanleg of bescherming. Voor litorale mosselbanken wordt in Tabel 1 een voorzet gegeven voor een dergelijke lijst. De lijst wordt in dit hoofdstuk verder uitgewerkt. Met deze benadering wordt voorkomen dat natuurbouw onttaardt in ‘tuinieren’ waarbij constant ingegrepen, bijgestuurd en onderhouden moet worden.

Ongereptheid

In eerste instantie zijn alle banken die ontstaan zijn uit broedval ‘natuurlijk’, zowel droogvallende als permanent onder water liggende banken. Indien flink aangetast door menselijke activiteiten zou van verminderde natuurlijkheid gesproken kunnen worden. De oorspronkelijke patronen veranderen, verdwijnen en/of wellicht vermindert de stabiliteit. Het merendeel van de natuurlijke functies blijft echter vervuld.

Biodiversiteit

Oude banken hebben meer biodiversiteit dan jonge. Ook banken met veel oesters krijgen geleidelijk meer begeleidende soorten. Biodiversiteit is dus een belangrijk kwaliteitskenmerk. Soms ziet een droogvallende bank wit van de zeepokken, terwijl deze in een volgend jaar nagenoeg afwe-

▼ Tabel 1. Kwaliteitskenmerken litorale mosselbanken

Parameter	Lage kwaliteit	Hoge kwaliteit
<i>Ongereptheid</i>	Bevist of beroerd	Niet bevist
<i>Biodiversiteit</i>	Klein aantal soorten	Groot aantal soorten
<i>Predatiedruk vogels</i>	Minder geschikt voor vogels, door aanwezigheid van veel Japanse oesters	Geschikt voor vogels door aanwezigheid van verschillende formaten Mosselen
<i>Bedekkingsgraad mosselbulten</i>	< 5% bedekking	>5% bedekking
<i>Minimum oppervlak</i>	Kleine banken overleven korter	Hoe groter de bank, des te groter de overlevingskans
<i>Nieuwe aanwas</i>	Uitblijven van nieuwe aanwas resulteert in afname kwaliteit	Nieuwe aanwas resulteert in toename kwaliteit
<i>Ruimtelijke structuur</i>	Mosselen liggen min of meer los op vlakke, meest zandige, wadplaten en zijn minder bestand tegen stormen	Mosselbanken zijn structuurrijk, zowel horizontaal als verticaal, met scherp afgebakende patches
<i>Leeftijd</i>	Jonge banken hebben een lage overlevingskans	Oude banken hebben een hoge overlevingskans



▲ Mosselen met Zeepokken,
Brakzand 2002. Foto: JdV

zig kunnen zijn. Hetzelfde kan voorkomen bij de bedekking door macroalgen (meestal Blaaswier *Fucus vesiculosus*) en organismen die binnen de bank gelegen poeltjes leven.

Predatiedruk vogels

Voor verschillende soorten vogels is het van belang dat een variatie aan mosselmatten aanwezig is. Hoe minder Japanse oesters aanwezig in de mosselbank, des te geschikter deze is voor vogels die zich met Mosselen voeden.

Bedekkingsgraad mosselbulten

Uit langdurig onderzoek is gebleken dat zowel het bedekkingspercentage van de bank (percentage bulten op een bank) als de bezetting op mosselbulten (biomassa per m² op een bult) langzaam achteruit gaat, ondanks dat er altijd wel broedval optreedt binnen de bank. In Duitsland zijn daarvoor veel banken verdwenen (39) in de jaren 90. Af en toe is een goede broedval nodig om de bank in stand te houden. Als het door mossel(patches) bedekte oppervlak kleiner is dan 5% wordt zo'n gebied niet meer als mosselbank geka-

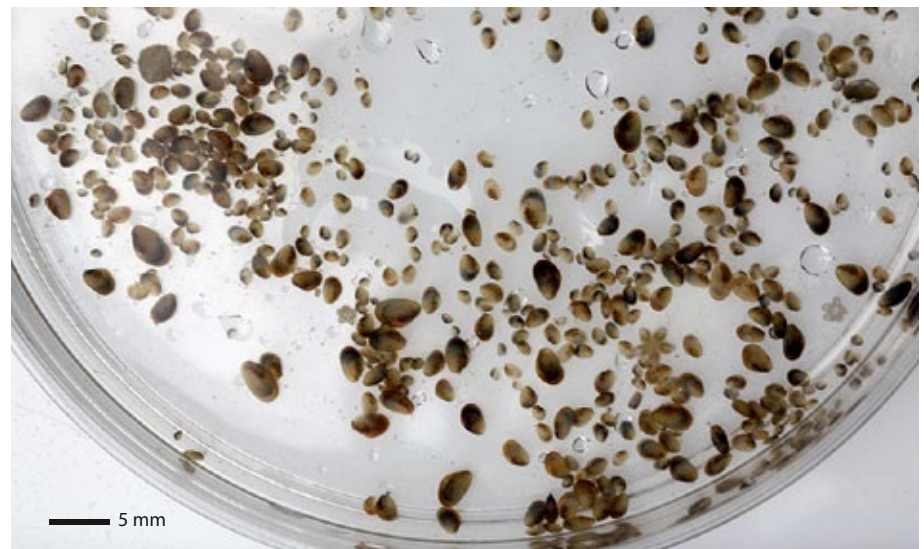
rakteriseerd, men spreekt dan van strooimosselen. Soms is zo'n concentratie ontstaan door zeer gespreide broedval op patchy substraat (klein, verspreid liggend substraat zoals losliggende mosselklompen), soms is het een overblijfsel van een (nagenoeg) verdwenen mosselbank en soms bestaat het uit Mosselen die van een mosselbank gespoeld zijn en in de directe omgeving houvast hebben gevonden aan vastzittend substraat zoals ingegraven Kokkels, schelpbanken of oesters.

Minimum oppervlak

Er is geen minimum oppervlak voor een mosselbank bepaald. Een grote bank zal dikwijls langer overleven dan een kleine, omdat mosselbanken vooral afslag vertonen aan de kant die vol in de wind staat. Toch zijn er ook voorbeelden van kleine mosselpatches (1-3 m doorsnede) die meer dan 10 jaar oud zijn en alle kenmerken van een oude stabiele bank vertonen. Er zijn ook geen aanwijzingen voor een maximaal oppervlak. Zolang het overstromende water voldoende voedsel aanvoert kunnen de Mosselen overleven. In

(39) Een mosselbank met weinig
bedekking verdwijnt

▼ Mosselbroed. Foto: BB



(40) Broedval binnen een bank
houdt hem langer in stand

veel gevallen is een (deel van een) bank in de stroomrichting niet groter dan enkele tientallen meters. Daarna is er veelal een open ruimte zodat het water nabij de bodem door menging weer voldoende voedsel bevat. Het totaaloppervlak van zo'n bank kan meer dan 100 hectare beslaan maar heeft dan wel een karakteristieke structuur van min of meer vrij liggende patches.

Nieuwe aanwas

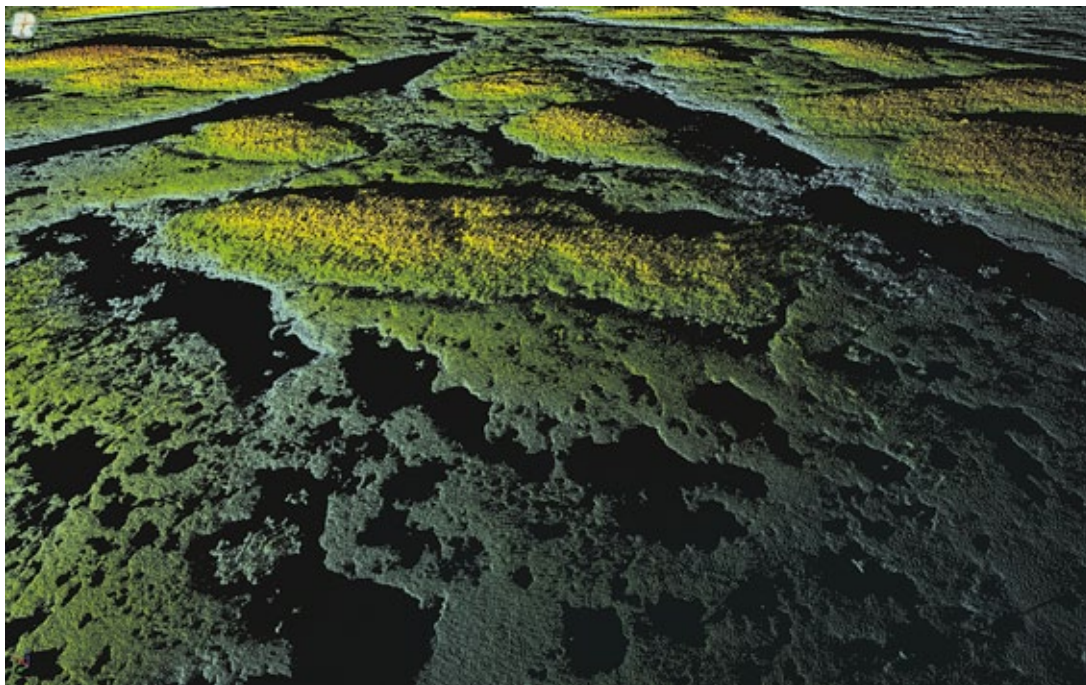
In de eerste jaren na het ontstaan bestaat een mosselbank uit één jaarklasse. De dichtheid van de kleine Mosselen is dan hoog. Een jonge mosselbank zal door verandering in onderliggend sediment steviger worden en na enige jaren zullen meerdere jaarklassen aanwezig zijn, maar het uiterlijk

kan jaarlijks sterk variëren. Geleidelijk gaat de dichtheid omhoog (Figuur 17). Meestal treedt met enige regelmaat broedval op binnen de bank (40). De jonge Mosselen zorgen ervoor dat de gemiddelde biomassa per oppervlakte-eenheid behouden blijft. Ook neemt het aantal soorten binnen de bank toe naarmate de structuur complexer is. Een gevarieerde leeftijdssamenstelling kan gezien worden als een belangrijk kwaliteitskenmerk. Bij uitblijven van broedval zal de waarde van de bank verminderen. De kwaliteit van een oude bank kan geleidelijk achteruitgaan door afname van het bedekkingspercentage en afname van de dichtheid van Mosselen op een bult. Een oude bank kan door aanwas en ophoging uiteindelijk ook zo hoog komen te liggen dat de Mosselen te kort onder water staan om te overleven.

▼ Foto: OGB

▲ 3D-scan van een oude mosselbank op het Brakzand.

Data: JD Universiteit Utrecht





▲ Mosselbank bij de Grienderwal, 1994. Foto: JdV

Door de stevige kleilagen blijft zo'n bult daarna nog zeer lang zichtbaar.

Ruimtelijke structuur

Een mosselbank waarbij Mosselen verankerd liggen in verhogingen van klei, slib, zand en schelpen blijkt in de praktijk zeer stabiel en bestand tegen zware stormen. Mosselen die min of meer los op vlakke, meest zandige, wadplaten liggen zijn minder bestand tegen stormen. Structuurrijke, zowel horizontale als verticale, mosselbanken duiden op een hoge kwaliteit (zie Tabel 1).

Leeftijd

De overlevingskans van een jonge bank is niet met grote zekerheid te geven. Toch is er enige indicatie als gebruik gemaakt wordt van zogenaamde potentiekaarten (zie Figuur 21-22). Die zijn voor zowel de droogvallende platen als voor de permanent overstroomde delen beschikbaar. Hierbij moet wel worden aangetekend dat de kaarten de potentie voor ontwikkeling en overleving aangeven en dat de eerste moeilijke stap, vestiging, al genomen is.

Conclusies

Een volgroeide mosselbank lijkt het eindproduct te zijn van de interacties tussen biogene, geomorfologische, fysische en biologische processen. Tijdens de jarenlange wordings-

geschiedenis wordt al in een vroeg stadium de basis gelegd voor diverse elementen die in een natuurlijk (ecologisch) goed functionerende mosselbank van belang zijn, zoals bijvoorbeeld het patroon van de bulten, open plekken en afwateringsgeulen. Aan een mosselbank kunnen criteria ontleend worden waarnaar gestreefd kan worden bij de bepaling van beleid, beheer en mogelijke aanleg.

Een aangelegde bult Mosselen heeft waarschijnlijk niet de typische kenmerken en overlevingskansen van een mosselbank die zich op natuurlijke wijze heeft kunnen ontwikkelen. Wellicht is het mogelijk banken in stand te houden door 'preventief onderhoud'. Dat wil zeggen: inzaaien met mosselzaad dat in veel jaren in ruime mate beschikbaar is in het permanent onder water liggende gebied. De van nature aanwezige patronen zijn daarbij het uitgangspunt.

Al enkele decennia (vanaf midden jaren 80) worden droogvallende mosselbanken in meer of minder detail bestudeerd. Duidelijk is dat de verscheidenheid groot is en dat ze aan één of meer van bovengenoemde criteria voldoen. Het merendeel van de nieuwe banken overleeft slechts kort. Overleving van een specifieke bank is moeilijk te voorspellen. Overlevende banken kunnen zich zeer verschillend ontwikkelen, waarbij elk type zijn karakteristieke waarden ontwikkelt die van belang kunnen zijn voor verschillende 'gebruikers'.



Wat bepaalt de
overleving?

4 Wat bepaalt de overleving?

Een mosselbank ontstaat niet zomaar ergens. Als een wolk van mossellarven zich al ergens weet te settelen, dan moet deze nog in leven zien te blijven. En dat zit vaak niet mee. Een storm die veel golfslag teweeg brengt of een overmaat aan rovers kunnen zomaar het einde betekenen van een mosselbank. Maar wat zijn nu de factoren dat de ene bank het wel overleeft en de andere niet?

9 Variabelen die het wegslagrisico bepalen

Met wind samenhangende processen
• Golven
• Stroming
• IJsgang
Morfologische variabelen
• Expositie van de mosselbank
• Oriëntatie van de bank t.o.v. overheersende wind- en golfrichting
• Ligging ten opzichte van de geulen
• Hoogte waarop de mosselbank ligt

(41) Stormen zijn de belangrijkste factor in het overleven van een mosselbank

Zowel jonge als oude mosselbanken kunnen geheel of gedeeltelijk verdwijnen. Stormen worden gezien als een belangrijke veroorzakende factor (41). In veel gevallen verdwijnen nieuwe banken of grote delen ervan in de winter (Figuur 18). Van een twintigtal mosselbanken die werden gevolgd vanaf oktober 2001 waren er in april 2002 nog maar vier over. De rest was gedeeltelijk of helemaal weggeslagen tijdens winterstormen. Soms verdwijnt een bank volledig, maar vaker voor een deel. Het overblijvende deel ontwikkelt wellicht meer stevigheid, maar in de erop volgende jaren verdwijnen vaak ook oudere delen en wordt de mosselbank kleiner. In het algemeen geldt: hoe groter en complexer de mosselbank, des te stabiel.

Sinds 1995 zijn jaarlijkse gegevens bekend van de situatie in het voorjaar. Deze banken hebben de eerste winter overleefd. Tot 2004 werden ook in het najaar de oppervlakken gemeten (Figuur 14). Gemiddeld genomen was de sterfte in die eerste winter ongeveer 40%. Uit een overlevingsanalyse gebaseerd op langjarige voorjaarsinventarisaties blijkt dat de tweede winter ook weer ongeveer de helft verdwijnt en dat daarna de afnamesnelheid geleidelijk minder wordt (Figuur 19) en dat banken ouder dan 5 jaar nog maar langzaam verdwijnen of in oppervalk afnemen. Omdat de afname niet helemaal stopt blijft het belangrijk dat er regelmatig nieuwe zaadbanken ontstaan. Dit is gelukkig het geval. In de delen van het wad die onder water staan, ontstaan zaadbanken bijna elk jaar, maar ook op de droogvallende delen ontstaan regelmatig nieuwe banken (Figuur 13).

Wegslagrisico van mosselbanken

Elke mosselbank kent een bepaald wegslagrisico: het risico om tijdens stroming, golfslag of ijsgang te verdwijnen. De mate waarin een mosselbank deze factoren kan weerstaan hangt af van de fysische en biologische eigenschappen en de plaats waar de mosselbank zich gevestigd heeft. De variabelen die het wegslagrisico bepalen zijn vooral fysisch/morfologisch van aard (zie Box 9. Variabelen die het wegslagrisico bepalen) en hangen samen met stormen of morfologische variabelen.

Met wind samenhangende processen

Golven

Golven zorgen voor een zogenaamde orbitaalbeweging. In ondiep water zorgt deze waterbeweging ervoor dat er een kracht op de bodem wordt uitgeoefend die in staat kan zijn de mosselbank te eroderen. Hoe hoger de golven des te groter de kracht die op de bodem wordt uitgeoefend. Het water bij de bodem beweegt dan sterk heen en weer. Daarnaast kunnen golven veel energie uitoefenen als ze breken. Daardoor kan erosie optreden van zowel het sediment rondom als onder de Mosselen. Hierdoor kunnen delen van de aan elkaar vastzittende Mosselen losraken.

Stroming

Getijdenstromingen zijn voor droogvallende mosselbanken geen groot probleem (42). Deze stroomsnelheden zijn klein vergeleken met de snelheden waarmee golven langs de bodem bewegen (orbitaalsnelheden) en krachten van brekende golven.

Wanneer echter geulen en prielen ontstaan binnen een bank, kunnen getijdenstromen wel snelheden bereiken die de randen van de mosselbulten aantasten. Ook voor permanent onder water staande geulen geldt dat getijdenstromingen zo sterk kunnen zijn dat daardoor mosselbanken verdwijnen.

Naast fysieke effecten van stroming kunnen daarmee ook predatoren zoals Zeesterren worden aan- of afgevoerd.

Ijsgang

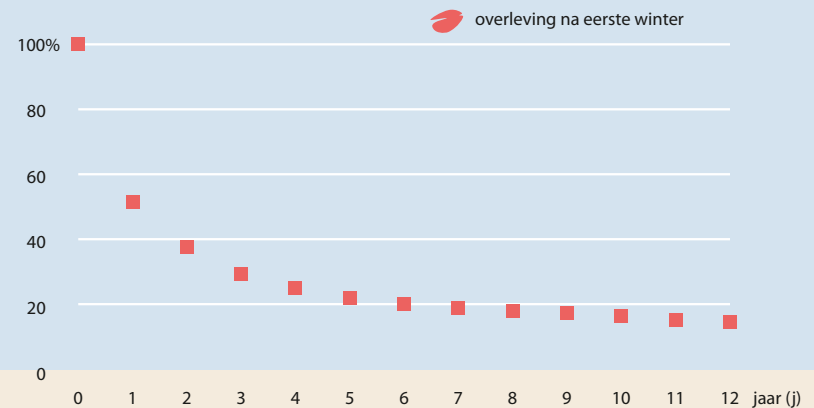
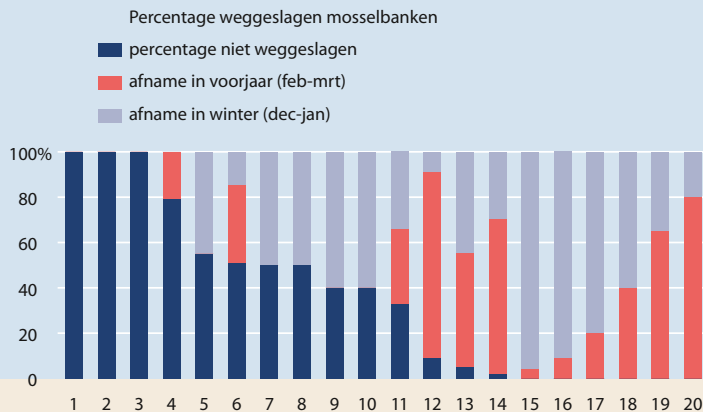
Mosselbanken hebben in strenge winters te lijden van ijs en ijsgang (43). De lage temperaturen vormen geen probleem. Als ijsvlakten en ijsschotsen met stroming en wind in beweging worden gezet, kunnen ze alles op hun weg als een bulldozer voor zich uit schuiven. Meestal loopt ijs al vast op de platen vóór ze de mosselbanken bereiken, maar binnen mosselbanken worden regelmatig erosiesporen van ijs gevonden. Ook gebeurt het dat zich bij zakkend water een dunne ijslaag vormt op en tussen de Mosselen. Die laag wordt elk tij dikker en op een gegeven moment is het

(42) *Stroming is om meerdere redenen belangrijk*

(43) *Ijs kan een rol spelen in overleving*

▲ *Figuur 18. De winteroverleving van twintig in detail gevolgdde mosselzaadbanken tussen december 2001 en april 2002. Data: IMARES*

▼ *Figuur 19. Overleving van mosselbanken in de Wadden-zee in relatie tot leeftijd*





▲ Mosselbank (De Cocksdorp, Texel) met ijsschade. Foto: JB



◀ Mosselbank met macro-
algen die door het ijs is opge-
tild (Sleeswijk Holstein, wad bij
Amrum). Foto: MR

◀ Ijsschade en erosiesporen ijs
na de zeer strenge winter van
1996 (Sleeswijk Holstein, wad
bij Amrum). Foto: MR



◀ Mosselbank met ijs in 2010
(De Cocksdorp, Texel). Foto: ND

(44) Strijklengte is belangrijk

drijfvermogen zodanig dat de ijslaag gaat drijven, inclusief de bovenste laag van de mosselbank. Na een strenge winter zijn kale plekken binnen een bank daar een duidelijk voorbeeld van.

Morfologische variabelen

Expositie van de mosselbank

De ligging van een mosselbank ten opzichte van overheersende grote golven is van belang (zie p. 73). Bij banken met een sterk reliëf kan golfbreking ook een rol spelen. Banken in de luwte van een eiland of met veel omringende hoge platen hebben minder last van grote golven.

Oriëntatie van de bank t.o.v. overheersende wind- en golfrichting

Golven uit de Noordzee bereiken zelden de Waddenzee, ze breken voor de zeegaten. De golven in de Waddenzee

worden in de kombergingen zelf opgewekt. Voor golfopwekking is het belangrijk over welke lengte de golven op kunnen opbouwen. Golven kunnen alleen groeien bij voldoende waterdiepte (44). Hoe groter de afstand waarover ze hebben kunnen groeien (strijklengte) des te hoger de golf wordt. Daarmee is de oriëntatie van diepe geulen ten opzichte van de windrichting bepalend voor de golfhoogte. Voor de golfexpositie speelt ook het Nederlandse windklimaat een grote rol. Banken die blootgesteld zijn aan de dominante zuidwestelijke windrichting zullen vaker te maken krijgen met hoge golven dan banken die blootgesteld zijn in zuidoostelijke richting. Wind heeft echter ook invloed op de waterstanden in de Waddenzee. Sterke winden uit het noordwesten zorgen voor opstuwing van het water in de Noordzee tegen de Nederlandse kust. Dit resulteert in verhoogde waterstanden in de Waddenzee. Hierdoor neemt de strijklengte in de Waddenzee toe en kunnen hogere golven worden gegenereerd. Wind uit het oosten heeft een tegenovergesteld effect.

Ligging ten opzichte van de geulen

In geulen worden golven niet afgeremd en breken ze niet, zoals op een hoog liggend wad. Daarnaast kan deining uit zee doorwerken in geulen. De nabijheid van geulen heeft ook voordelen. De aanvoer van voedsel (plankton) is namelijk beter. Ook met eb afstromend water bevat veel voedsel, zoals opgewoelde bodemalgen, en dit concentreert zich in de richting van de geulen.

Hoogte waarop de mosselbank ligt

Hoe hoger de bank ligt, des te korter de Mosselen kunnen pompen en eten (45). Mosselbanken hebben moeite te overleven als ze boven gemiddeld tij (ongeveer NAP niveau) liggen. Dat wil zeggen 12 uur per dag boven water. Er is ook een relatie met de eerder genoemde golfinvloed. Hoe hoger de bank hoe langer golven invloed hebben.

(45) Hoogliggende banken hebben minder overlevingskansen

▼ Mosselbank bij Texel.

Foto: AK



(46) Aan elkaar gehechte mosselen zorgen voor stevigheid

(47) Mosselen wapenen zich effectief tegen verstoring

Stevigheid van mosselbanken

Daarnaast hangt het wegslagrisico samen met de stevigheid van de mosselbank. De variabelen die de stevigheid van mosselbanken bepalen, ofwel de weerstand van de bank ten opzichte van het wegslagrisico, hangen voor een groot deel samen met de biologische eigenschappen van de mosselbank. Er zijn ook enkele abiotische factoren die van invloed zijn (Box 10. Variabelen die de stevigheid bepalen).

Biologische eigenschappen

Dichtheid van de Mosselen

Als Mosselen in hoge dichtheden voorkomen kunnen ze zich

aan elkaar vasthouden (46). Ze remmen door hun gezamenlijke ruwheid de kracht van de waterbeweging direct boven de bank, waardoor de achterliggende Mosselen beschermd worden. Een dichte mat van jonge Mosselen produceert een gelijkmatige laag slib. Door patroonvorming ontstaat betere drainage en consolidatie van het slib. De Mosselen staan dan schelp aan schelp recht op in stevig sediment en de erboven liggende individuen verankeren zich aan hen.

Hechting van de Mosselen

Mosselen zitten goed vast aan elkaar en aan hun ondergrond. Resultaten uit het Mosselwad-onderzoek laat zien dat de wijze van hechting afhankelijk is van golfverstoring (47). Mosselen langs de randen van mosselbanken, waar de

10 Variabelen die de stevigheid bepalen

Biologische eigenschappen
• Dichtheid van de Mosselen
• Hechting van de Mosselen
• Samenklontering en verankering
• Pakking van de mosselpopulatie
• Macro-algengroei tussen en op de Mosselen
• Aanwezigheid andere schelpdiersoorten die kunnen bijdragen aan sterkte-eigenschappen van de bank
Abiotische eigenschappen
• Substraat
• Patchgrootte binnen de mosselbank
• Ondergrond en samenstelling van substraat (zowel voor de broedval als later de samenstelling van de ondergrond van de patches)

▼ Foto: FF

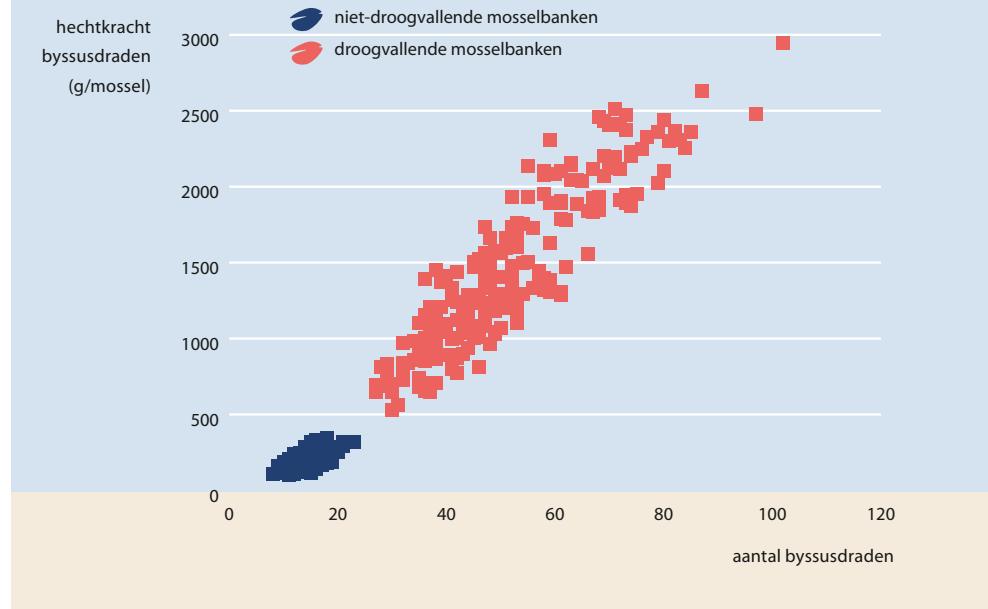


meeste golfverstoring plaatsvindt, hechten zich met name aan schelpfragmenten. Dit doen ze met grote aantallen byssusdraden. Mosselen in het meer beschutte midden van een bank hechten zich vooral aan hun mede Mosselen, minder vaak aan de ondergrond, en met minder byssusdraden. Laboratoriumproeven bevestigen dat Mosselen op een zacht substraat die verstoord worden, actief zoeken naar hard substraat zoals stukjes schelp om zich vast te hechten. Mosselen op zacht substraat zonder verstoring gaan vooral aan soortgenoten klitten. Toch hebben de Mosselen aan de rand van de bank niet per se een betere hechting. Het produceren van meer byssusdraden kost veel energie waardoor deze Mosselen minder energie kunnen besteden aan productie van vlees en/of reproductie. Het betekent ook dat deze Mosselen kwalitatief minder goede byssusdraden produceren. Al met al moeten de 'randmosselen' meer hun best doen om hetzelfde resultaat (hechtingskracht) te bereiken als hun soortgenoten in de beschuttere delen van een bank.

In sublitorale banken is golfverstoring niet of nauwelijks aanwezig. Hierdoor hoeven de Mosselen aan de rand van de bank zich niet te wapenen tegen de verstoring. Mosselen hier produceren 60-70% minder byssusdraden dan hun soortgenoten in het litoraal (Figuur 20) en investeren hun energie vooral in vlees en reproductie (48). De structuur van de sublitorale bank is hierdoor veel zwakker, waardoor deze sneller uiteen valt.

Samenklontering en verankering

Door zich onderling en aan de harde delen in de ondergrond te hechten vormen Mosselen mosselklonten waarmee ze zichzelf beschermen tegen roofdieren en wegspoeling tijdens getijdebewegingen en stormen. In het algemeen zijn mosselklonten uit de droogvallende delen steviger dan die uit de permanent onder water staande mosselbanken. In het lage litoraal vertonen mosselbanken meer bulten dan in banken die hoog in de getijdezone liggen.



Door klompvorming krijgen predatoren minder grip krijgen op individuele Mosselen (49). Mosselen die los komen te liggen zijn ten dode opgeschreven en vallen snel ten prooi aan roofdieren of spoelen weg.

De stevigheid waarmee individuele Mosselen zich in een klomp handhaven wordt bepaald door externe en interne invloeden. Aantasting van de structuur door zeesterpredatie en stormschade zijn voorbeelden van externe invloeden die de kracht waarmee Mosselen zich verankeren aantasten. Mosselen kunnen er ook zelf voor kiezen zich los te maken. Dit kan een gevolg zijn van ongunstige milieuomstandigheden (lage zuurstofgehalten, ophoping toxische stoffen) of als gevolg van onderlinge competitie waarbij ze zich beschermen tegen begraving (door andere Mosselen en/of door ophoping slib).

▲ **Figuur 20.** De hechtkracht van litorale Mosselen is veel groter dan sublitorale Mosselen door het grotere aantal byssusdraden. Bron: IMARES

(48) Sublitorale mosselen hechten zich minder aan elkaar

(49) Vogels moeten echt moeite doen om mosselen los te trekken



▲ De Mosselen hebben zich op een oude kokkelbank gevestigd. Foto: FFH

► Mosselbank (Balgzand) met verschillende soorten algen. Foto: FFH

(50) Macroalgen hebben zowel positieve als negatieve invloed

(51) Oesters zorgen voor stevigheid maar produceren ook slihgolven

Pakking van de mosselpopulatie

Mogelijk zou een bank met verschillende leeftijdsklassen, en dus verschillende grootteklassen, een betere 'pakking' kunnen geven. De kleine Mosselen vullen de ruimte tussen de grotere, waardoor de mosselbank steviger wordt. Dit effect is vergelijkbaar met de toenemende stevigheid van sediment wanneer deze uit korrels van verschillende grootte bestaat. De ontwikkeling van de laatste 10 jaar laat zien dat in dit aspect ook oesters meegewogen moeten worden.

Macro-algengroei tussen en op de Mosselen

Op de Mosselen vestigen zich dikwijls macro-algen. Sommige soorten zoals *Gracilaria* vormen een goede aanhechtingsplaats voor mosselbroed (50). Andere, zoals Zeesla *Ulva* sp. en Blaasjeswier remmen golven en creëren bij hoogwater rustige omstandigheden voor op de banken levende organismen, maar kunnen bij storm ook wegspoelen en

de Mosselen waaraan ze zich gehecht hebben meenemen.

Aanwezigheid andere schelpdiersoorten

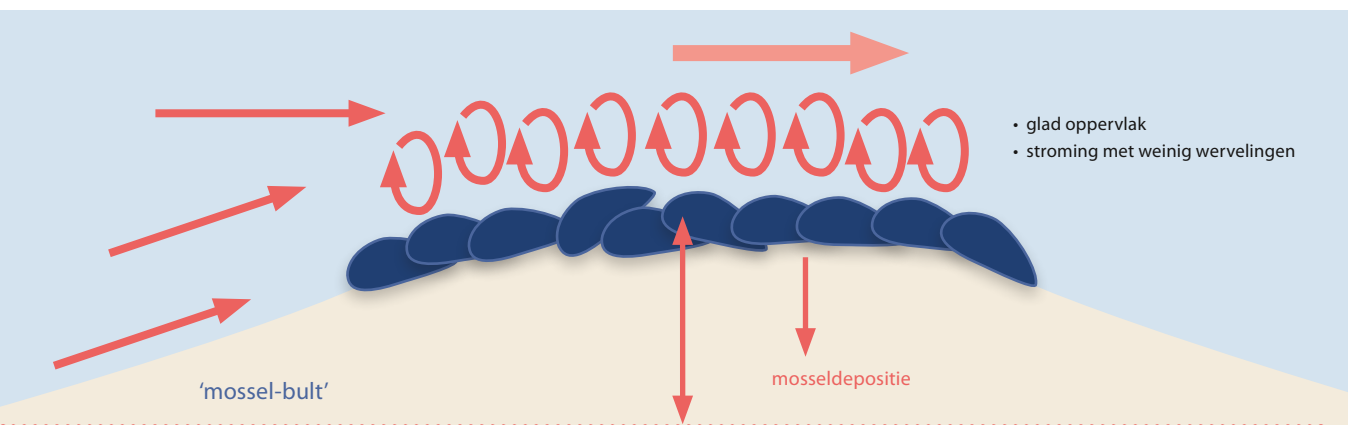
Sinds begin deze eeuw komen binnen mosselbanken van een paar jaar oud ook steeds meer Japanse oesters voor. Als de sliblaag in dikte toeneemt draaien de oesters zich verticaal en gaan ze sterk in de lengterichting groeien. Ze zorgen voor stevige verankering in de onderste lagen van de bank. Op deze oesters valt ook weer oesterbroed waardoor grote zware klompen gevormd worden. De oesters geven ongetwijfeld meer stevigheid aan de bank als geheel (51). Hoewel oesterpseudofaeces geen stevige korrels vormt zoals de Mosselen doen, blijft op en rond de bank toch veel van dit fijne slib liggen. Als de Mosselen en oesters daardoor bedekt worden gaan ze dood. Er zijn voorbeelden dat daardoor delen van de bank verdwijnen.

Abiotische eigenschappen

Substraat

Mossellarven hebben een hard ondergrond nodig om zich vast te hechten. Dat substraat moet stevig genoeg zijn om

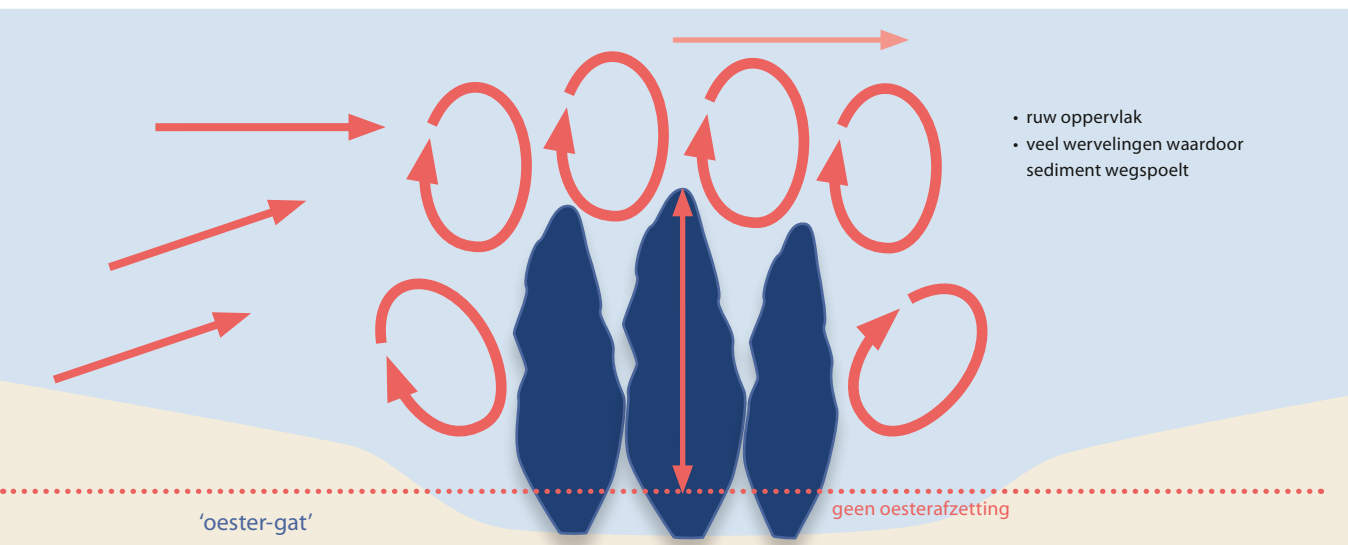




◀ Boven: Bij een mosselbank stroomt het water hoog over de bank heen met weinig wervelingen.

Onder: bij een oesterbank ontstaan wervelingen waardoor het sediment wegspoelt

Schema naar Mindert de Vries



▲ Oesterbank omgeven door hoge slibbulten. Foto: BF





◀ Mosselbanken op het
Balgzand. Foto's: ND

de dynamische werking van golven te weerstaan. Hard substraat zoals rotsen en grote stenen komt niet of nauwelijks van nature voor in de Waddenzee. Verder kunnen Mosselen zich hechten aan Schelpkokerwormen en draadvormige structuren zoals algen en hydroïdpoliepen die vaak vast gehecht zijn aan Kokkels of en schelpenbanken. De mossel-larven hebben maar weinig tijd nodig om zich te hechten, en als de eersten dat doen lijkt het of anderen daardoor gestimuleerd worden om zich ook te hechten (52). Daardoor kunnen grote concentraties ontstaan. Zodra de jonge mosselbank een sliblaag heeft gevormd kunnen kleine schelpresten die zich daarin bevinden ook als verankering

gebruikt worden. Het type substraat is dus van belang voor stevigheid van initiële broedval en eerste overleving.

Patchgrootte binnen de mosselbank

De vorming van de mosselbulten, waar de Mosselen lokaal een hoge dichtheid kunnen halen, bevordert de stabiliteit van de mosselbank. Mosselen moeten zich vastmaken aan anderen om niet weg te slaan, en dat kunnen ze beter wanneer ze bij hoge dichtheid liggen. Herstel-experimenten waarbij mosselbanken werden aangelegd verliepen beter wanneer de Mosselen in patches lagen dan wanneer ze over het hele oppervlakte van het bed verspreid werden.

(52) Mossellarven lijken zich als groep te vestigen

Ondergrond en samenstelling van substraat

Zoals eerder beschreven vormen zich patches die redelijk tot goed gedraineerd zijn en door consolidatie stevig worden. Zelfs als de Mosselen bij storm als een deken oprollen en plaatselijk verdwijnen, blijft deze klei lang liggen. Zowel door de toegenomen stevigheid als gladheid zijn deze kleibulten resistent tegen golfaanvallen. Zodoende beschermen ze de er achter liggende Mosselen.

De mosselbulten (patches) die blijven liggen zijn hydraulisch gezien ruwer dan het omliggende wad. Bij stormen opgewoeld zand en schelpresten bezinken tussen de Mosselen en dragen zodoende bij aan de stevigheid van de bank.

Door de grillige vorm van een gemengde oester-mosselbank treedt reflectie van golven op waardoor de schelpdierbult en de directe omgeving daarvan vrij blijft van slib. De bulten liggen dikwijls lager dan de slibbulten in de omgeving in tegenstelling tot mosselbulten die boven hun omgeving uitsteken.

Kokkels die bij storm uit de bodem gespoeld worden, worden gevangen door Mosselen, vooral langs de tegen de wind beschutte zijde de mosselbank. Ze worden vastgegrepen door byssusdraden van verschillende Mosselen. Het is onduidelijk of ze meer stevigheid leveren.



Ervaringen met aanleg van mosselbanken

5 Ervaringen met aanleg van mosselbanken

In het verleden zijn meerdere pogingen gedaan om schelpdierbanken aan te leggen. Dit wordt zelfs gestimuleerd door de International Committee for Shellfish Restoration (ICSR). Aansprekende resultaten zijn bereikt bij het herstel van oesterriffen in de Verenigde Staten. Wat betreft mosselbanken zijn er minder pogingen geweest. Helaas hadden deze pogingen maar weinig succes.

(53) Van sommige pogingen zijn de resultaten al dan niet uitgebreid gerapporteerd

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van Europese projecten waarbij pogingen zijn ondernomen om mosselbanken aan te leggen (53). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen aanleg op droogvallende locaties oftewel de getijdzone (litoraal) en locaties die beneden de laagwaterlijn liggen (sublitoraal). De belangrijkste aspecten zoals afkomst van de Mosselen, de hoeveelheid, de reden van verdwijning, en locatie van aanleg worden in een tabel samengevat.

Litoraal

Invang zaad (Rapport Nico Laros) (Rond 1950)

Op het Balgzand werden door kwekers en onderzoekers van RIVO en ministerie proeven gedaan waarbij verschillende typen substraat werd aangeboden om broedval te bevorderen. Er werden op de droogvallende plaat o.a. haringnetten en dennentakken gebruikt. Broedval op het substraat was minimaal. Rond de proefvakken op de wadplaten en elders in de Waddenzee vond dat jaar wel broedval plaats.

Schiermonnikoog (1987)

Ten behoeve van scholeksteronderzoek werd op 17 juni 1987 in totaal 20 ton uit het sublitoraal opgeviste Mosselen (in lengte variërend van 10 tot 55 mm) onder Schiermonnikoog uitgezaaid op een kaal stuk wad. Er vond nog diezelfde zomer een grote broedval plaats van Mosselen op en naast de aangelegde bank, die overleefde tot hij in 1990 werd weggevisd.

Jan Smitbank (1995)

Een hoeveelheid (enkele duizenden kilogrammen) in beslag genomen Mosselen afkomstig van een droogvallende bank bij Ameland werd op de droogvallende bank langs het Oort (zuidzijde Brakzand) gestort. De Mosselen vormden een stabiele bank die later uitgroeide door broedval en Mosselen die er met storm inspoelden. De bank is inmiddels 20 jaar oud.

Jan Louw (2001)

De Jan Louw hypothese luidt dat uitdunnen van mosselbanken een maatregel kan zijn om stabiliteit van mosselbanken te vergroten. Met een deel van de in het kader van dit visserijexperiment opgeviste litorale Mosselen werden vijf banken aangelegd op droogvallend wad. Elke bank was 5 hectare en werd bezaaid met 2 kg per m². Na een paar weken waren er drie nagenoeg helemaal verdwenen. Eén heeft de winter grotendeels overleefd. Een bank in de Schildknopen breidde uit en was in 2014 nog aanwezig. Niet bekend is of predatie of golfwerking het verdwijnen heeft veroorzaakt.

Balgzand, zeegrasproject (2002)

In het kader van een proef met aanleg van zeegras werden enkele ruggen van kokkelschelpen geplaatst waarop Mosselen gestort werden. Na 1 maand waren de Mosselen nagenoeg geheel verdwenen, waarschijnlijk door vogelpredatie.

Texel, De Cocksdorp (2012)

In het kader van het Mosselwad-project werden 19 mosselbankjes van 1 m² aangelegd buiten en binnen de bestaande

mosselbank. De Mosselen werden getransporteerd als 'zoden' inclusief de ongestoorde ondergrond. Van de negentien plots was na 2 jaar (met enige zeer zware stormen) nog meer dan de helft aanwezig en vitaal.

Oosterschelde, Jacob van Capelle, (2011)

In de Oosterschelde is op een beschutte plaats experimenteel onderzocht hoe de overleving van Mosselen is als deze in het litoraal neergelegd worden. Mosselen werden neergelegd in dichtheden van 1 tot 10 kg per m². De sterfte was hoog, en Mosselen vormden duidelijke patches. De in lage dichtheid uitgezaaide Mosselen vormden meer afzonderlijke patches en overleefden uiteindelijk beter dan de in hoge dichtheid gezaaide.

Niedersachsen (D)

In Niedersachsen zijn in het verleden droogvallende mosselpercelen aangelegd die overleefden tot de Mosselen de commerciële maat van 5-6 cm bereikt hadden. Gegevens over locatie en techniek konden niet meer achterhaald worden.

Sleeswijk Holstein (D) (1998)

In Sleeswijk Holstein werd een experiment uitgevoerd waarbij ongeveer 50.000 kg Mosselen werd uitgezaaid op een zandige schelprijke wadbodem en op een vergelijkbaar proefvak dat eerder bedekt was met kiezels van 5-10 cm. Na 1 maand waren alle Mosselen verdwenen, waarschijnlijk door predatie door Eidereenden en Scholeksters.

Sylt (D), Karsten Reise experiment (2008)

Bij Sylt (Königshaven) werd een (dambord)mozaïek aangelegd waarbij Japanse oesters (met aangehechte Mosselen) op het wad werd aangelegd in vakken van 10 × 10 m. Het mozaïek was na 6 jaar nog goed herkenbaar.

Bangor (UK)

In Menai Straits worden nog steeds mosselpercelen in het litoraal aangelegd met Mosselen uit Morecambe Bay. Er is

een getijdeamplitude van 7 m aanwezig. De percelen leveren een goede productie.

Wash (UK) (1997 en 1998)

In de Wash waren nagenoeg alle droogvallende mosselbanken verdwenen door visserij. In 1997 en 1998 zijn droogvallende banken aangelegd met behulp van zaad uit het sublitoraal (1,7 en 1,2 miljoen kg respectievelijk). Helaas zijn de onderzoekresultaten nooit gerapporteerd. Een deel van mosselbanken heeft enige jaren overleefd. Uiteindelijk zijn de mosselbanken opgevisd.

▼ Aangelegde mossel/oesterbankjes bij Sylt in dambordpatroon naast een bestaande mosselbank. Foto: KR



Sublitoraal

Ervaringen met mosselpercelen (20^e en 21^e eeuw)

Door mosselkwekers worden jaarlijks kleine Mosselen opgevisst. Deze worden vervolgens op percelen in de Westelijke Waddenzee uitgezaaid waarna ze, al dan niet nog een keer verplaatst te zijn, opgevisst en verkocht worden. Om een marktwaardige maat te krijgen liggen ze gemiddeld 2 jaar op die percelen. Direct na het uitzaaien is er een hoog percentage verlies (gemiddeld 50% van uitgezaaide Mosselen). De overgebleven Mosselen op percelen leveren na enkele jaren goede oogsten. Dit geeft aan dat aanleg in het sublitoraal mogelijk is.

Ireland (Boyne estuary) (2000)

Ten gevolge van het baggeren van een haventoegangsgeul werden mosselbanken vernietigd. Na afronding van de werkzaamheden werden jaarlijks Mosselen uitgezaaid van 2000-2003. In totaal 3300 ton. Het project leek geslaagd en de mosselpopulatie was stabiel tot 2006. Toen verdween het merendeel van de Mosselen weer door onbekende redenen.

Recente pogingen

Aanleg mosselbank op het Balgzand (2013) (Mosselwad project)

In het kader van Mosselwad is in augustus 2013 op het Balgzand een mosselbank aangelegd. Zo'n 100.000 kg mosselzaad werd eerst met een Zeeuwse mosselboot opgevisst en daarna met hulp van een omgebouwd kokkelschip over vier vakken verdeeld. Na de aanleg zijn er regelmatig veldbezoeken geweest. De eerste inspectie was 26 augustus, 3 dagen nadat de bank was neergelegd. Half september volgde een tweede inspectie en bemonstering. Met de camerapaal kon de ontwikkeling in de gaten worden gehouden. Een maand later zijn de laatste bemonsteringen gedaan. Eind oktober volgde een hevige najaarsstorm met



► Recente pogingen: proefvakken voor en na aanleg mosselbank op het Balgzand in het Mosselwad project.
© Google Earth

Project	Jaar	N	Aan- leg L/S	Oppervlakte	Type	Oorsprong L/S	Overleving	Oorzaak verdwijnen	Opmerkingen	Geslaagd
<i>Jan Louw</i>	2001	5	L	5 × 5 ha	zaad	L	1 maand – 14 jaar	? —	1 bank overleefde	Ja
<i>Zeegras</i>	2002	6	L	20 m ²	oud	S	2 week	Predatie ?	Mossel op kokkelschelpen	Nee
<i>Schier</i>	1987	1	L	1 ha	1-6 cm	S	>1 jaar	Predatie/visserij	Nieuwe broedval belangrijk	
<i>Jan Smit</i>	1995	1	L	> 1 ha	3-5 cm	L	>10 jaar	—	Mosselen van elders stroomden in	Ja
<i>Nedersaksen</i>	?	?	L	> 10 ha	zaad	L	>1 jaar	visserij	Droogvallende percelen	Nee
<i>Sleesw. Holstein</i>	1998	2	L	1000 m ²	4-5 cm	S	1-4 week	Predatie?	Ondergrond wadplaat en kiezels	Nee
<i>K. Reise</i>	2008	6	L	100 m ²	Oester	L	> 6 jaar	—	Transplantatie-experiment	Ja
<i>Zandkreek</i>	2011	3 × 4	L	6-62 m ²	zaad	MZI	maanden	?	70% sterfte	Nee
<i>Bangor</i>	veel	×	L/S	> 1 ha	zaad	L	> 1 jaar	Visserij —	Veel percelen, tijverskil 7 m	Ja
<i>Wash</i>	2000	?	L	> 1 ha	zaad	S	1 jaar	Visserij —	Niet goed gevolgd	Ja
<i>Mosselwad</i>	2013	4	L	4 × 2 ha	mix	S	2 maanden	Storm en predatie	Op wad, oester- en mosselbank	Nee
<i>Mosselwad UU</i>	2012	19	L	19 × 1 m ²	oud	L	> 2 jaar	—	Patches als zode getransplanteerd	Ja
<i>Waddensleutels</i>	10-13		L	?		L/S	Dag – × week			Nee
<i>Boyne (Ierland)</i>	00-03	?	S	3300 ton	zaad	S	4 jaar	? Strooming?	Herstelproject na baggeren	Nee
<i>LNV-RIVO</i>	1952			variabel	substraat	L			Invang zaad (MZI) rap. Nico Laros	Nee
<i>Cultuurperceel</i>	veel	×	S	3000 ha	zaad	S	> 3 jaar	Visserij —	50% verlies	Ja

▲ Tabel 2. Pogingen tot aanleg mosselbanken (N = aantal, L = litoraal, S = sublitoraal)





▲ Mosselzaadbank (De Cocks-
dorp, Texel). Foto: ND

uitzonderlijke windsnelheden. Half november zijn (laserscan)metingen gedaan, luchtfoto's genomen en de laatste monsters genomen. Wat al te zien was op de camerabeelden, bleek realiteit: het grootste deel van de aangelegde mosselbanken was door de storm weggevaagd. Maar ook de bestaande bank had flinke schade opgelopen, waarbij grote 'mosselmatten' waren weggeslagen. Begin december was er opnieuw hevige storm met extreme windsnelheden. Er heeft hierna geen veldbezoek meer plaatsgevonden, maar uit de camerabeelden van half december (waarop het kleine 'plukje' aangelegde Mosselen in beeld kon worden gebracht) vallen geen zichtbare veranderingen op te maken.

► Mosselbroed op oesters.

Foto: ND



Een eerste punt van aandacht bij het aanleggen van een mosselbank is de aanvraag van vergunningen: hoe eerder, des te beter. Zo werd het verzaaischip pas in juli omgebouwd, nadat pas in juni de bevestiging van een vergunning werd gegeven. De vereisten voor het schip waren erg belangrijk, omdat de locatie van aanleg hoog gelegen was en er met hoog water dus maar weinig 'vaarwater' over is. Er werd overwogen een kraanschip in te huren om Mosselen uit te strooien, maar deze zou te diep liggen. Er werd uiteindelijk gekozen voor een voormalige kokkelboot (TX63), die ondiep stak, maar wel omgebouwd moest worden om de Mosselen van boord te kunnen spoelen. Ook daarvoor waren verschillende alternatieven, waarbij gekozen werd voor extra spoelpoorten en watervoorziening om Mosselen via het achterdek weg te spuiten. Het type te verzaaien Mosselen kwam ook ter discussie; vanwege praktische overwegingen en vergunningen ging het om sublitoraal zaad. Uit veldervaringen kwamen geschikte locaties naar voren. Er bestond twijfel of het zaad (van het jaar ervoor, dus bijna halfwas) aan zouden moeten vullen met zaad uit MZI's. Dit is uiteindelijk niet gebeurd. Ook was het plan om bij twee van de vier proefvakken eerst opgeviste oesters neer te zaaien voordat we de Mosselen daar zouden zaaien. Om praktische redenen is dit niet gelukt. We hadden enkel een vergunning om op een bepaald perceel de oesters weg te vissen. Deze bleken zo overgroeid, dat met erg veel moeite maar enkele oesters konden worden geoogst. Dit zou teveel tijd, energie en geld gaan kosten, dus werd besloten de Mosselen op het kale wad te verzaaien. Er werd nog wel overwogen om dan ander materiaal te plaatsen als extra houvast voor de Mosselen, maar binnen de beschikbare tijd en vergunningen was dit niet haalbaar.

De conclusies over het succes van deze bank zijn als volgt: de storm heeft de Mosselen voor het grootste deel weggevaagd en daarmee was de aanleg geen succes. In het Waddensleutels project is gevonden dat litorale Mosselen beter blijven liggen na aanleg dan sublitorale. Mogelijk was



▲ Mosselbank met ijsschotsen
(onder Engelsmansplaat).
Foto: ED

de bank in dit geval ook langer blijven liggen als litorale Mosselen waren gebruikt, maar dat is onbekend. Ook de strooidichtheid bij de aanleg is misschien te laag geweest. Als er meer tijd was geweest voor de Mosselen om zich te vestigen (byssusdraden te maken) of als de (uitzonderlijk zware) storm uit een andere richting was gekomen dan had de bank het wellicht langer volgehouden.

Aanleg mosselbanken onder de eilanden (2011) (Waddensleutels project)

In 2011 is binnen het Waddensleutels project een eerste poging gedaan mosselbedden te herstellen, met het oog om meer inzicht te krijgen in de factoren die dit herstel zouden kunnen beperken. Onder Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog zijn een serie mosselbanken gemaakt van 25 × 25 m grootte, waarbij verschillende technieken op hun effectiviteit werden getest. Bij de helft van de banken werd

eerst een kokosmat ingegraven, waarop de Mosselen zich zouden kunnen vasthechten. Ook werd gekeken of er natuurlijke vestiging zou plaats vinden op de kokosmatten.

De resultaten waren niet bemoedigend. Geen van de mosselbanken heeft het langer dan een half jaar volgehouden. De belangrijkste oorzaak hiervoor bleek de kwetsbaarheid van de mosselbanken voor golfslag. Daarnaast bleek uit vervolgonderzoek dat ze om een tweetal redenen bijzonder gevoelig waren voor golfenergie. Op de eerste plaats waren de gebruikte sublitorale Mosselen veel kwetsbaarder in vergelijking tot litorale Mosselen doordat ze zich minder goed hechten aan het onderliggende substraat. Op de tweede plaats bleek dat de mosseldichtheid te laag was voor de Mosselen om effectief de clusterpatronen te vormen die cruciaal zijn voor hun overleving, ondanks dat de dichtheid vergelijkbaar was met die van natuurlijke mosselbanken.



Aanbevelingen voor beleid en beheer

6 Aanbevelingen voor beleid en beheer

Mosselbanken aanleggen is geen sinecure. Als toch besloten wordt tot de aanleg van nieuwe mosselbanken dan is het belangrijk daarvoor de meest geschikte plekken te kiezen. Maar hoe doe je dat? En hoe doe je dat op zo'n manier dat de inspanningen over een lange periode tot een succesvolle mosselbank leiden?

Dit hoofdstuk biedt voor beleidsmakers en beheerders van de Waddenzee sleutels om aanleg, herstel en bescherming van mosselbanken succesvoller te laten verlopen dan in het verleden gebeurd is. Daarnaast wordt ingegaan op bescherming van bestaande mosselbanken. Verder komt stimulatie van natuurlijke broedval aan bod.

Aanleg van nieuwe mosselbanken

Belangrijk is dat er een lage golfimpact aanwezig is. In het sublitoraal is het belangrijk om gebruik te maken van de praktijkkennis van mosselkwekers en van goede achtergrondinformatie over de invloed van zoutgehalte, stroomsnelheid, sedimentatie en erosieprocessen. De bestaande potentiekaart is gebaseerd op praktijkervaring en is een goed uitgangspunt. Deze kan worden aangevuld met recent ontwikkelde potentiekaarten die gebaseerd zijn op ecologische en fysische variabelen. Ze zijn vervaardigd op basis van modellen die gevoed zijn met gegevens over voorkomen van zaadbanken en mosselbanken en de ter plekke heersende abiotische variabelen zoals droogvalduur, golfwerking,

sedimentsamenstelling, afstand tot geulen, zoutgehalte etc. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen variabelen die verantwoordelijk zijn voor vestiging en eerste overleving en de ontwikkeling tot oude banken, omdat er kaarten zijn voor zowel zaadbanken als oude banken. Een voorbeeld is gegeven in Figuur 21.

Onderzoek heeft uitgewezen dat Mosselen uit het litoraal geschikter zijn voor aanlegexperimenten dan Mosselen uit het sublitoraal. Droogvallende Mosselen hebben meer en steviger byssusdraden en als ze groter zijn dan 2 cm ook een dikkere schelp en sterkere sluitspieren waardoor ze beter water vasthouden binnen hun schelp. Daardoor spoelen ze minder snel weg en zijn ze minder in trek bij predatoren zoals Scholeksters. Gezien de verliezen na verplaatsing is het de vraag of in het kader van Natuurbeschermingswet toestemming wordt verleend om Mosselen van een natuurlijke bank op te vissen en te verplaatsen naar een andere locatie.

In het sublitoraal worden mossel(zaad)banken opgevist om uitgezaaid te worden op percelen en na opgroeien verhandeld te worden. Daarbij gaat veel verloren, zowel direct na het uitzaaïen, tijdens de groei en bij tussentijds verplaatsen naar percelen die minder stormgevoelig zijn. Het optimaliseren van dat proces zou veel winst kunnen opleveren. De sector heeft al veel bereikt met een rendementsverbetering van 2:1 (twee ton jonge Mosselen resulteerde in een ton consumptiemaat van 5-7 cm) in de jaren 80 van de vorige eeuw, naar 1:2 in de huidige praktijk (2013). Het optimaliseren van percelen (vooral wat betreft locatie) zou hieraan een bijdrage kunnen leveren. Dit proces is niet eenvoudig door restrictieve regelgeving en door gebrek aan kennis over mogelijk optimale locaties. Hiervoor is inbreng van kennis uit de sector over kwaliteit van de huidige percelen essentieel. Kritische factoren zijn het wegspoelrisico, de groei, sedimentatie, erosie en predatie.

Aanbevelingen

- *Gebruik litorale Mosselen.* Deze Mosselen hebben steviger schelpen, meer byssusdraden en een stevigere sluitspier.
- *Geef patroonvorming en aanhechting met byssusdraden een kans.* Voldoende hoge zaaidichtheden zijn daarbij een vereiste zodat hechting en patroonvorming mogelijk is.
- *Werk in het juiste seizoen* (begin zomer). Dan zijn de Mosselen in goede conditie en hebben ze gelegenheid een stevige sliblaag aan te leggen en zich daarin te verankeren voordat het stormseizoen zich aandient.
- *Maak gebruik van potentiekaarten.* Op deze kaarten is te vinden welke locaties het meest geschikt zijn voor mosselbanken.
- *Maak gebruik van de praktijkkennis van mosselkwekers,* vooral als het gaat om selectie van geschikt uitgangsmateriaal en selectie van kansvolle locaties in het subli-toraal.



Herstel van bestaande mosselbanken

Bestaande mosselbanken kunnen om verschillende redenen verdwijnen (54). In de allereerste fase is op de droogvallende platen sterke predatie door garnalen, vislarven en wormen waarschijnlijk de meest belangrijk factor. Hierover is weinig bekend, maar indien kooitjes van fijn gaas over geschikt substraat geplaatst worden, dan vestigen zich daar meestal veel jonge Mosseltjes. Omdat er af en toe jonge banken ontstaan die uit kunnen groeien tot oude stabiele banken, is het interessant om na te gaan waarom er ook jonge banken zijn die snel verdwijnen (ongeveer 40% per jaar in de eerste jaren) (55). Stormen zijn de grootste boosdoener, maar als er weinig jonge zaadbanken zijn in verhouding tot de populatie meeuwen en ander schelpdiereneters, dan kan de predatie door vogels ook hele banken laten verdwijnen.

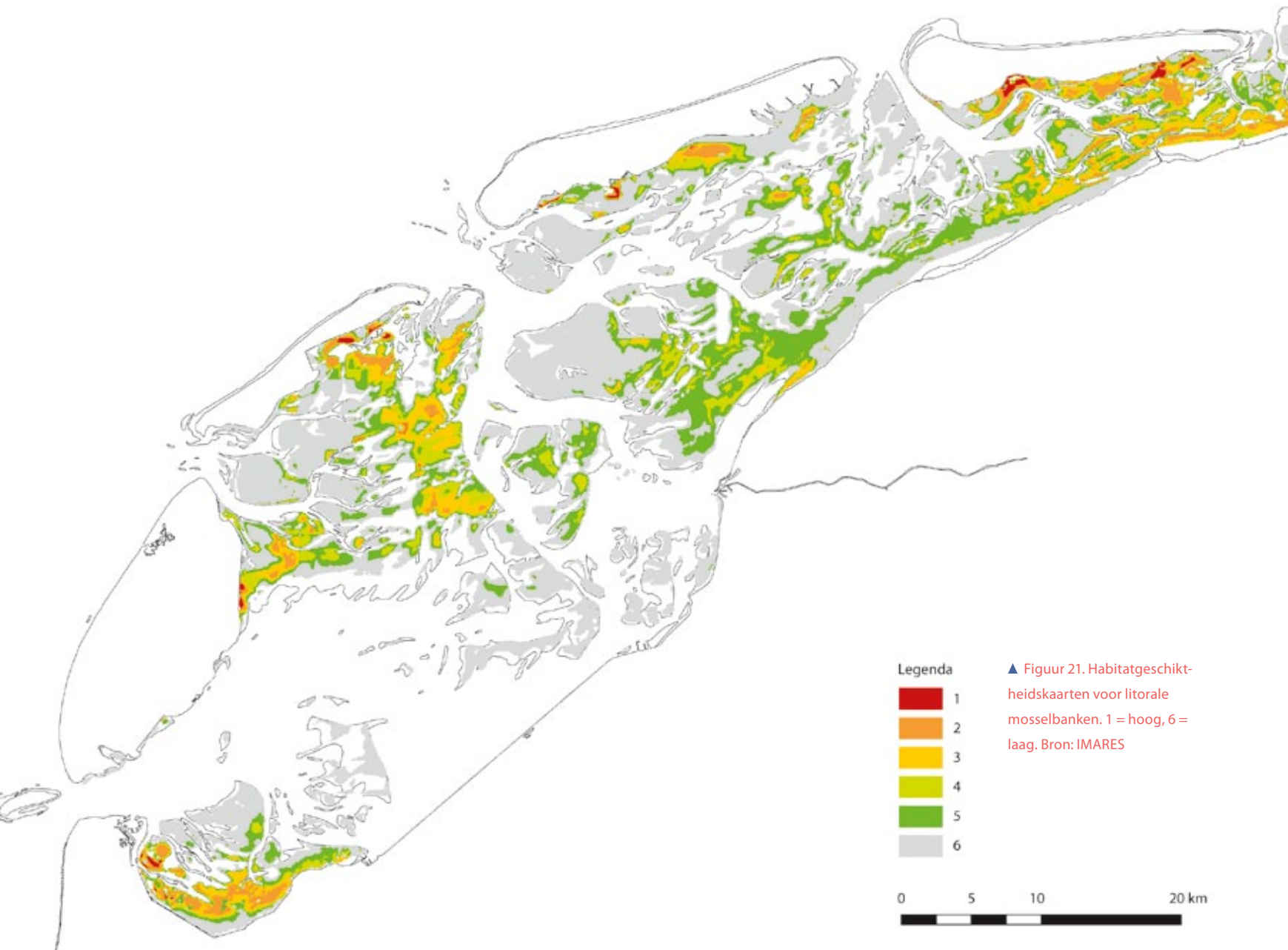
In de onder water staande delen lijkt predatie door Zeesterren de belangrijkste factor. Als factor die bij mosselzaad sterfte kan veroorzaken noemen mosselkwekers daarnaast

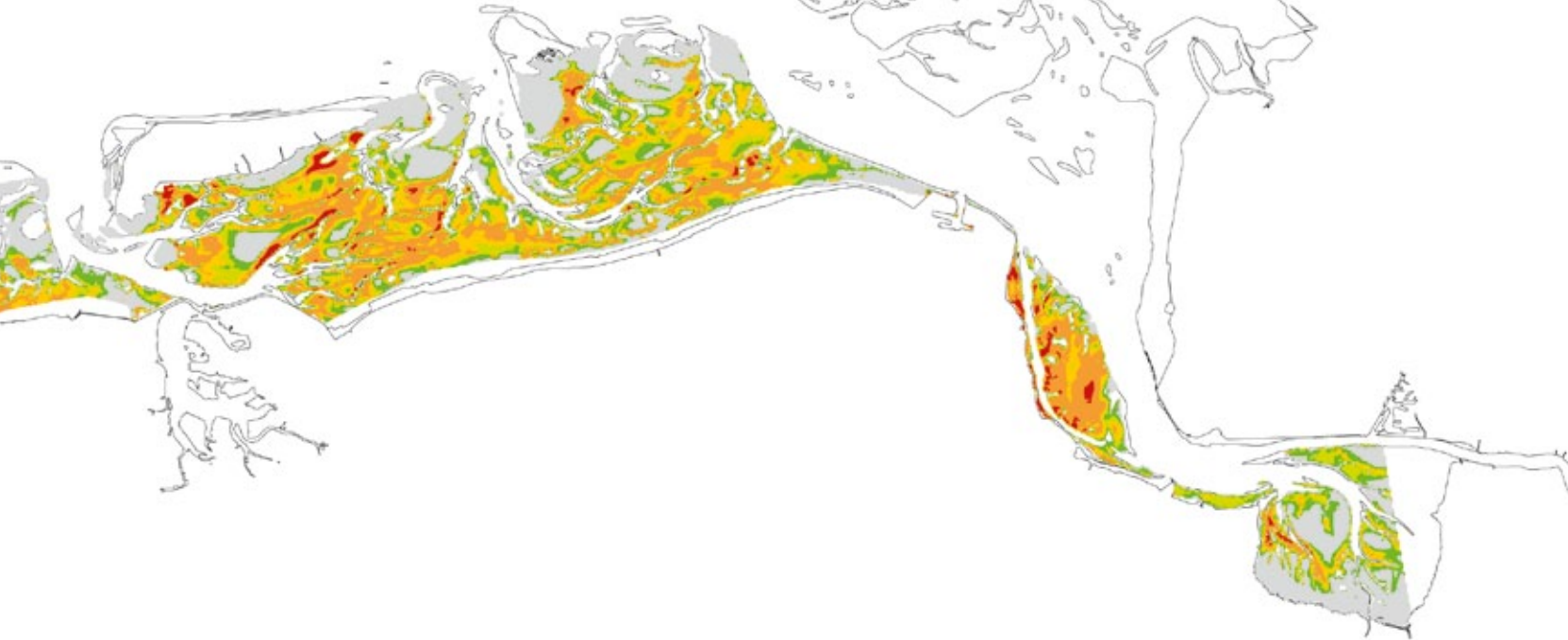
(54) Voorspellen welke banken zullen verdwijnen is moeilijk

(55) Is het streven naar minimaal 4000 ha stabiele mosselbanken reëel?



◀ Zandkreek project (2011).
Foto's: JvC





ook het af en toe optreden van zuurstofloosheid, bij zeer rustige omstandigheden, en het dan vrijkomen van giftig waterstofsulfide (H_2S). Na een zeer zware storm uit het noordwesten (december, 2013) bleek ook een mosselbank bij de Afsluitdijk verdwenen. Er was toen een sterk verhoogde waterstand waardoor er een grote strijklenge was. Er konden zich toen krachtige golven ontwikkelen omdat de wadplaten, die normaal gesproken golven remmen, ver onder water stonden.

Wellicht kunnen oude mosselbanken, die langzaam achteruit zijn gegaan wat betreft bedekkingspercentage en biomassa, verrijkt worden door het inzaaien van Mosselen die elders opgevisht zijn. In de praktijk blijkt wel dat vogels, zoals Scholeksters, dit snel in de gaten hebben en de predatiedruk verhogen op die, mogelijk verzwakte en dunschalige Mosselen.

Aanbevelingen

- *Inzaaien van mosselbanken.* Het verrijken van een oude mosselbank door het toevoegen van kleine Mosselen

in een bestaande mosselbank kan een mosselbank versterken. Het gevaar schuilt hem in een toename van de predatiedruk. Het oppervlak van de mosselbank wordt er uiteraard niet groter van, maar de overlevingskans neemt toe.

Stimulatie van natuurlijke broedval en overleving daarvan

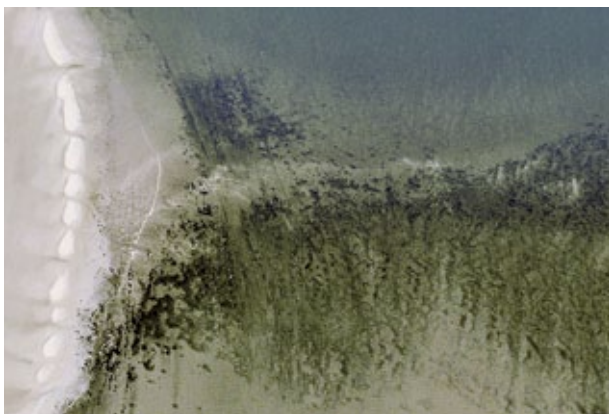
Het is moeilijk om invloed uit te oefenen op het ontstaan van mosselbanken. De zeer vroege stadia van broedval op droogvallende platen zouden gestimuleerd kunnen worden door het scheppen van condities waarbij geschikt substraat beschikbaar is in afwezigheid van predatie. Dit is in de praktijk slechts mogelijk op kleine schaal door het plaatsen van substraat dat afgeschermd is tegen predatoren en een kleine invloed heeft op de omgeving doordat bijvoorbeeld de hele constructie onder sediment verdwijnt.

► Jan Louw Bank. Het rechter deel is bevestigd. Omdat nog meer dan 5% bedekt is door Mosselen voldoet hij nog aan de definitie voor mosselbank. Foto: KKe



▼ Vaarsporen door een mosselbank (Pieterburenwad) Foto: KK

▼▼ Vaarsporen door een mosselbank (Brakzand geul, 2005). © Google Earth



Uit jarenlange observaties tijdens onderzoek naar populatie-ontwikkeling en fysische processen, aangevuld met mathematische modellering, is gebleken dat een mosselbank zich van nature ontwikkelt vanuit een min of meer aaneengesloten mat met zeer kleine Mosselen die een zekere stabiele sliblaag vormen. Door patroonvorming zorgen ze zelf voor drainage, consolidatie en verankering aan grotere substraat-deeltjes en elkaar (foto's p. 48-49). Dit proces is nauwelijks in de praktijk te simuleren. Er zijn wel ideeën om deze zeer geleidelijke ontwikkeling te stimuleren door broed op zeer fijne (afbreekbare) netten in te vangen en dit op het sediment uit te spreiden als de Mosselen op het net te groot zijn om door garnalen of vislarven gegeten te worden.

Op grotere schaal kan gedacht worden aan het realiseren van rustige gebieden, bijvoorbeeld achter dammen en op (kunstmatige) oesterriffen. Wellicht kan het substraat in de vorm van levende Mosselen of oesters worden aangeboden. Een praktijkproef bij Sylt (Duitsland) heeft aangetoond dat aangelegde veldjes van oesters met aangehechte Mosselen goed overleven achter een oesterbank en zowel de mos-selbroedval als -overleving stimuleren. De beschermende werking van een kunstmatig oesterrif – oesters in gaaskorven – is uitgebreid getest in de Oosterschelde. Deze zouden zich tot een min of meer natuurlijk beschermend oesterrif kunnen ontwikkelen.

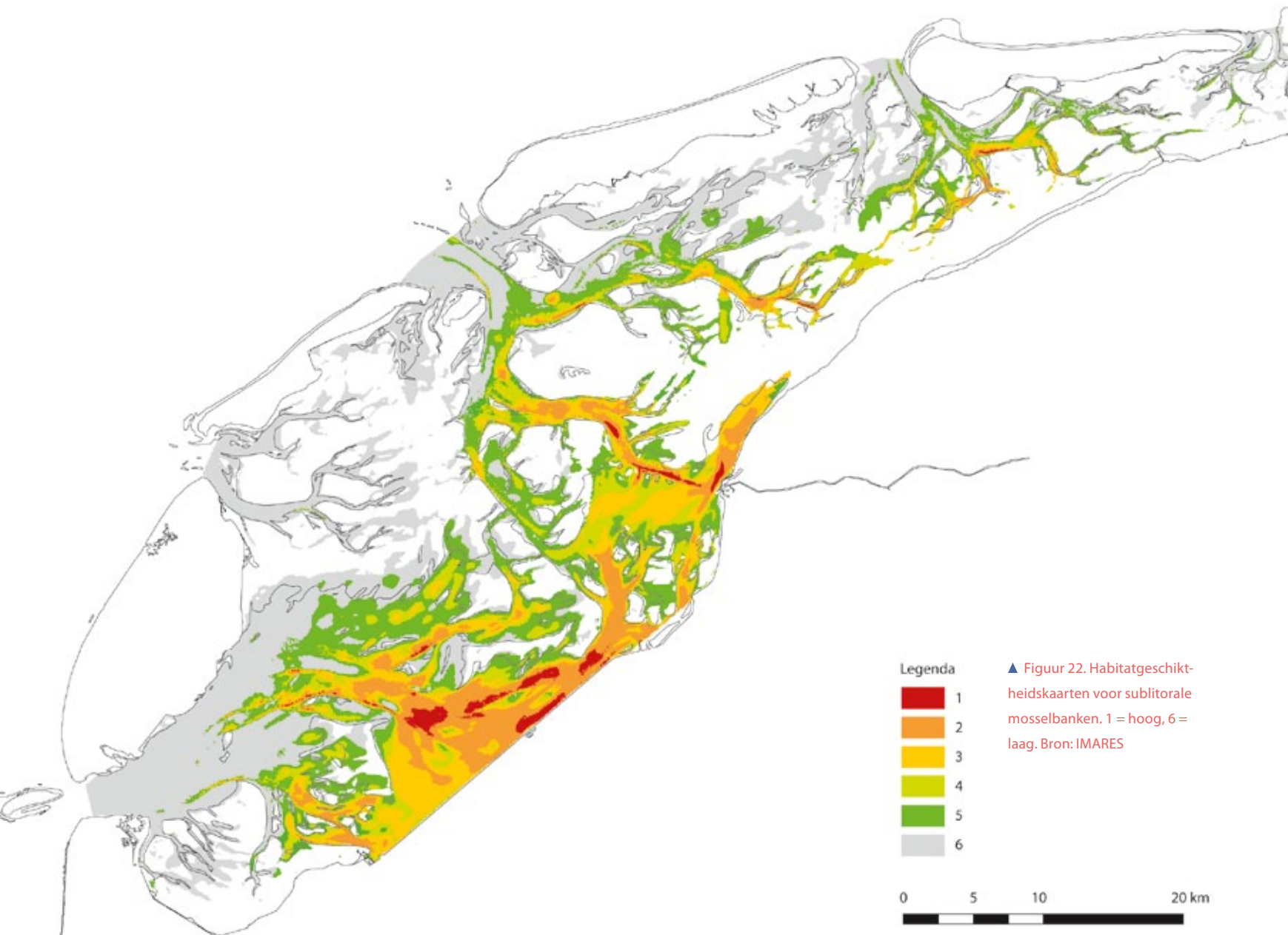
In de permanent onder water staande delen vindt veel regelmatigere goede vestiging plaats. Nagenoeg elk jaar ontstaan hier zaadbanken. Niet altijd in grote oppervlaktes, maar elke 2 tot 3 jaar is wel sprake van een goede vestiging. De voorspelbaarheid van plekken voor goede broedval is daar ook groter. Broedval is groter op plaatsen waar het water richting ondieper gelegen locaties stroomt, waardoor turbulentie optreedt en larven uit de hogere waterlagen naar de bodem getransporteerd worden. In delen met veel brak water is de predatie door Zeesterren minder en daardoor is de kans op overleven van de Mosselen groter.

Minder banken ontstaan op plekken waar volgens surveys grote hoeveelheden Zeesterren voorkomen.

In het sublitoraal hoeft de ontwikkeling nauwelijks gestimuleerd te worden. In de praktijk gebeurt het al door de aanleg van percelen, hoewel die na verloop van tijd weer leeggevestigd worden. Wel zijn er sterke aanwijzingen dat de zeer jonge individuen te lijden hebben van de vegende werking van garnalennetten, zowel op zeer jong broed als op substraat (schelpbank, zeemos). Beperking van die momenteel nog zeer frequente activiteit zou dus een positief effect kunnen hebben op de ontwikkeling van zaadbanken.

Aanbevelingen

- *Wacht op natuurlijke broedval.* De belangrijkste aanbeveling is om te wachten tot van nature broedval optreedt. Die is niet zo zeldzaam als vaak gesuggereerd wordt behalve als men verwacht dat die op een specifieke plek zal plaatsvinden.
- *Het substraat moet geschikt zijn.* Geschikt substraat is een belangrijke vereiste voor het ontstaan van nieuwe mos-selbanken. Op droogvallende platen zijn concentraties van Schelpkokerwormen *Lanice sp.* en dichte kokkelbanken erg geschikt voor mosselbroedval. Ook algen die op die Kokkels groeien zijn geschikt. Zulk substraat is niet kunstmatig te realiseren, hoogstens kan in voor Mosselen geschikte gebieden de kokkelvisserij beperkt worden. Kunstmatige (oester)riffen of andere structuren die golfenergie dempen en/of als substraat kunnen dienen kunnen ook lokaal toegepast worden.
- *Beperk verstoring.* Beperk in het sublitoraal de verstoring door vegende netten over de bodem om de jonge broedval niet te verstoren en zo zaadbanken een kans te geven.





Bescherming van bestaande mosselbanken

In een natuurlijk systeem is het niet mogelijk de invloed van stormen te verminderen behalve door het maken van constructies die golven remmen. Het verjagen van vogels van een jonge mosselbank ligt moeilijk in verband met de natuurbeschermingswetten. Om een jonge mosselbank te beschermen, zouden menselijke activiteiten zoals de visserij en het steken van zagers zoveel mogelijk beperkt moeten worden. Daarna kan men slechts afwachten of de banken zich zullen ontwikkelen tot oude stabiele structuren die zichzelf grotendeels in stand kunnen houden.

De zeer jonge stadia hebben zeer waarschijnlijk te lijden van de vegende werking van garnalennetten, zowel op zeer jong broed als op substraat (schelpenbank, zeemos *Sertularia* sp.). Beperking van de nog zeer frequente garnalenvisserij zou een positief effect kunnen hebben op de ontwikkeling van mosselzaadbanken.

Aanbevelingen

- *Vermijd contact tussen schepen en mosselbanken.* Op de droogvallende platen ontstaan mosselbanken soms in laaggelegen delen die ook door scheepvaart gebruikt worden, omdat daar betonning ligt. Er ontstaat schade door kiel, romp en schroeven. Omdat die trajecten tot de ondiepste delen van doorgaande vaarroutes behoren ontstaat schade door kiel, romp en schroeven. In veel gevallen is de directe omgeving van zo'n bank niet ondieper dan het bebakende deel en zou de vaarroute omgelegd kunnen worden. Ook moet voorkomen worden dat schepen droogvallen op mosselbanken.
- *Beperk beschadiging door menselijke activiteiten.* Het spitzen van zagers (*Nereis virens*) op oudere mosselbanken en de garnalenvisserij in het sublitoraal bij zeer jonge banken (die nog niet zichtbaar zijn met de huidige inventarisatietechnieken, maar waarvan de locatie wel kansrijk is) zijn belastende activiteiten voor mosselbanken. Het is belangrijk dat deze activiteiten zoveel mogelijk beperkt worden.

► Mosselbanken bij de Engelmanplaat (p. 104-105).

© Google Earth







Verder lezen

Meer over Mosselen en mosselbanken

Er is veel bekend over mosselbanken en hun ontwikkeling. Sinds de jaren veertig wordt onderzoek gedaan aan Mosselen, hun voedsel, hun vestiging en de overleving van mosselbanken. Het gaat te ver om in dit handboek een uitgebreid review te geven van deze literatuur. Veel informatie over mosselbanken, de ontwikkeling daarvan, een historisch overzicht en veel literatuurverwijzingen zijn te vinden in onderstaande rapporten.

Agüera A. (2015). "The role of starfish (*Asterias rubens* L.) predation in blue mussel (*Mytilus edulis*) seabed stability", Thesis Wageningen University pp 171. <http://edepot.wur.nl/330841>

Brinkman, A.G., Bult, T., Dankers, N., Meijboom, A., Os, D. den, Stralen, M.R. van & Vlas, J. de (2003). "Mosselbanken: kenmerken, oppervlaktebepaling en beoordeling van stabiliteit", Alterra rapport 707, EVA-II rapport, pp 70. <http://edepot.wur.nl/38941>

Dankers, N., Meijboom, A., Cremer, J.S.M., Dijkman, E.M., Hermes, Y. & Marvelde, L. te (2003). "Historische ontwikkeling van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee", Alterra rapport 876, EVA-II rapport, pp 114. <http://edepot.wur.nl/26446>

Dankers, N., Meijboom, A., Jong, M. de, Dijkman, E., Cremer, J. & Sluis, S. van der (2004). "Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee", Alterra Rapport 921, pp 114. <http://edepot.wur.nl/18518>

Dankers, N., Koelemaij, K. & Zegers, J. (1989). "De rol van de mossel en de mosselcultuur in het ecosysteem van de Waddenzee", RIN-rapport 89/9, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel, pp 66.

Donker J.J.A. (2015). "Hydrodynamic processes and the stability of intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea", Thesis University Utrecht, pp 130.

Drent, J. & Dekker, R. (2013-1). "Macrofauna associated with mussels, *Mytilus edulis* L., in the subtidal of the Western Dutch Wadden Sea", NIOZ-report 2013-7, pp 77.
<http://documents.plant.wur.nl/imares/produs/species-associated-with-mussels.pdf>

Drent, J. & Dekker, R. (2013-2). "How different are subtidal *Mytilus edulis* L. communities of natural mussel beds and mussel culture plots in the Western Dutch Wadden Sea?", NIOZ-report 2013-6, pp 94.
www.vliz.be/imisdocs/publications/15/268715.pdf

Ens B.J., Smaal, A.C. & Vlas, J. de (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.
<http://edepot.wur.nl/38534>

Ende, D. van den, Asch, M. van & Troost, K. (2014). "Het mosselbestand en het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen van de Waddenzee in het voorjaar van 2014", IMARES-rapport C131/14, pp 25.
<http://edepot.wur.nl/318028>

Ende, D. van den, Asch, M. van, Brummelhuis, E.B. & Troost, K. (2014). "Japanse oesterbanken op droogvallende platen in de Nederlandse kustwateren in 2014: bestand en arealen", IMARES Rapport C172/14.
<http://edepot.wur.nl/327122>

Fey F.E., N.M.A.J. Dankers, A. Meijboom, P.W. van Leeuwen, M. de Jong, E.M. Dijkman & J.S.M. Cremer (2014). "Ontwikkeling van enkele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2013", WOt-technical report 20/ IMARES Rapport C159/14. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu/ IMARES Wageningen UR. 84 blz.; 33 fig.; 1 tab.; 24 ref.; 4 bijl. <http://edepot.wur.nl/330330>

Glorius, S., Rippen, A., Jong, M. de, Weide, B. van der, Cuperus, J., Bakker, A. & Hoppe, M. (2014). "De ontwikkeling van niet bevestigde sublitorale mosselbanken 2009-2013", IMARES-rapport C109/14.
<http://edepot.wur.nl/309906>

Nehls, G., Witte, S., Buttger, H., Dankers, N., Jansen, J., Millat, G., Herlyn, M., Markert, A., Sand Kristensen, P., Ruth, M. & Buschbaum, C., (2009). "Beds of blue mussels and Pacific oysters", Thematic Report No. 11., In: Marencic, H. & Vlas, J. de (Eds.) (2009). "Quality Status Report 2009", WaddenSea Ecosystem No. 25., Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany. http://www.waddensea-secretariat.org/sites/default/files/downloads/11-blue-mussel-beds-10-01-26_0.pdf

Smaal, A.C., Brinkman, A.G., Schellekens, T., Jansen, J., Agüera, A. & Stralen, M. van (2014). "Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, samenvattend eindrapport", IMARES-rapport C066/14, pp 32.
<http://edepot.wur.nl/300655>

Smaal, A.C., Craeymeersch, J., Drent, J., Jansen, J.M., Glorius, S. & Stralen, M.R. van (2013). "Effecten van mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee: samenvattend eindrapport", IMARES-rapport C006/13, pp 155.
<http://edepot.wur.nl/256885>

Een zee van Mosselen

Digitale bijlage, versie 03-06-2015

Onderbouwing en verdieping
van kennis over mosselbanken

Inleiding en introductie over ontwikkelingsstadia en overleving van die stadia van mosselbanken

In het handboek 'Een zee van Mosselen' is de kennis over overleving en sterfte van mosselbanken overzichtelijk samengevat in een populaire versie. In de kantlijn van dat hoofdstuk zijn aandachtspunten en belangrijke conclusies weergegeven. Op deze punten wordt in deze bijlage dieper ingegaan met een wetenschappelijke onderbouwing op basis van bestaande kennis, literatuur en recent verricht onderzoek. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten van het project Mosselwad, en indien beschikbaar werden ook andere onderzoeken en onderzoekers geraadpleegd. Daarnaast werd geput uit bestaande relevante publicaties en rapporten. Af en toe worden specifieke mosselbanken aangeduid met een nummer. Die nummers zijn gebaseerd op een inventarisatie van Alterra waarbij zowel bestaande als uit het verleden bekende banken gekarteerd zijn. Banknummer, locatie en aanwezigheid in een bepaalde

periode zijn gerapporteerd in Dankers et al. (2003) (Alterra rapport 876). Indien zich na die rapportage een nieuwe bank ontwikkelde op of nabij de plek van een uit de lijst dan kreeg die hetzelfde nummer (registratie door André Meijboom (IMARES). Daarbij wordt wel rekening gehouden met verplaatsende geulen zodat een bank een ander nummer kan krijgen als hij aan de andere kant van de nieuwe geul ligt.

Allereerst wordt een korte uiteenzetting gegeven over sterfte en overleving in de verschillende levensfasen en aangegeven welke variabelen daar in die stadia verantwoordelijk voor zouden kunnen zijn. Daarna worden deze variabelen verder uitgewerkt. In eerste instantie wordt ingegaan op variabelen die invloed hebben op alle ontwikkelingsstadia. Daarna op variabelen die vooral inwerken op één stadium.

(9) *Mosselen staan gedurende hun hele leven bloot aan verschillende factoren die sterfte en overleving bepalen*

Sterfte en overleving

Voordat een oude structuurrijke mosselbank zich heeft ontwikkeld moeten individuele mosselen en (delen van) banken een groot aantal problemen overwinnen. De vrouwelijke exemplaren produceren een grote hoeveelheid eieren; tot 10 miljoen per individu. Heel grof gerekend komt dat voor de Nederlandse Waddenzee neer op 10^{16} (10.000.000.000.000.000) eitjes. Als er in augustus van dat jaar een broedval is van 1000 ha met mosseltjes van 5-10 mm dan liggen daar grofweg 10^{11} mosselen. Dat wil zeggen dat één op de 100.000 eitjes het gehaald heeft. Als dat door gunstige omstandigheden twee op de 100.000 is dan is er dat jaar 2000 ha nieuwe zaadbank. Hierbij is uitgegaan van 25 miljoen kg mosselen op de platen, 40 miljoen kg op percelen, 40 mosselen per kg. Helft vrouwtje en 10 miljoen eieren per vrouw. Op zaadbank 10.000 mosseltjes per m^2 (rekening houdend met 50% open stukken op bank) en 1000 ha zaadbank.

Om inzicht te krijgen in de factoren die leiden tot een lange termijn ontwikkeling is het belangrijk de sterfte en overleving goed in kaart te brengen. Tevens is het belangrijk onderscheid te maken in overleving tijdens verschillende stadia en duidelijk te maken over welk stadium gesproken wordt. In de praktijk leidt dit regelmatig tot verwarring omdat men het over verschillende stadia heeft en verschillende definities hanteert.

Het trekken van conclusies over de overlevingsfactoren begint al bij de vorming van geslachtscellen en de bevruchting. De vrouwelijke exemplaren produceren een grote hoeveelheid eicellen; tot 9 miljoen per individu (Sprung, 1983). Hoewel er een overdaad aan spermacellen is, blijft een groot deel van de eicellen toch onbevruucht (Pennington, 1985). Voedselbeschikbaarheid lijkt een belangrijke factor in de productie en kwaliteit van geslachtscellen (de

Vooy, 1999; Bayne and Worrall, 1980). Een mossel die in slechte conditie is, levert minder en kleinere eieren (de Vooy, 1999; Sprung, 1983). De overleving van de larven is waarschijnlijk mede afhankelijk van de conditie die ze uit de eicellen meekrijgen (Rumrill, 1990; Honkoop en van der Meer, 1998). De ei- en zaadcellen worden tegelijk en in een korte periode geproduceerd. Een plotselinge sterke stijging van de zeewatertemperatuur (temperatuurschok) draagt mogelijk bij aan het gesynchroniseerd loslaten van de ei- en zaadcellen (de Vooy, 1999). De vrijgekomen geslachtscellen en bevruchte eieren worden deels weer weggefilterd door adulte mosselen en andere schelpdieren. Na de bevruchting ontstaan larven die 4 tot 6 weken als zoöplankton in de waterkolom (de Vooy, 1999) blijven. Zij worden daar gegeten door een grote verscheidenheid aan planktoneters, ook door de adulte mosselen en andere schelpdieren (Rumrill, 1990; Troost, 2008). In dat stadium is de hoeveelheid plantaardig plankton en de juiste soortsamenvoeging daarvan (lees grootteklassen) ook van belang voor de overleving (Bayne, 1965; Thorarinsdottir, 1996).

(10) *Alle stadia van Mosselen worden graag gegeten door verschillende dieren*

Na de pelagische fase, vestigen de mosselen zich op de bodem of op ander substraat. Daar valt een groot deel ten prooi aan kleine “grazers” zoals wormen, garnalen, juveniele bodemvissen (Pihl et al, 1984; Byrnes en Witman, 2003; Rilov en Schiel, 2006; Reise, 1977). Als ze dat overleven vormen ze in het volgende jaar een prooi voor krabben, grotere vis en vogels (Dare et al, 1983; Meire, 1986; Norberg, 1995; Saier, 2001; Hilgerloh, 1997), maar ook ongunstige fysische factoren spelen dan een rol in de overleving (Dare, 1976; Dankers, 2004; Brinkman, 2002). Door golven wordt het sediment omgewoeld waardoor gevestigde mosselen wegslaan of worden begraven (Dare, 1976). In alle stadia is het beschikbare voedsel ook een belangrijke factor. Het type voedsel verschilt voor elke maat mossel(larve) (Riisgard, 2011). Veel van de hier genoemde factoren zijn nooit tot in detail gekwantificeerd en kunnen per seizoen, jaar en locatie sterk verschillen. Voor discussies met betrekking tot het beleid is het belangrijk in ieder geval overeenstemming te hebben over definities van een bepaalde toestand en onderzoekers moeten duidelijk aangeven op welke stadia hun onderzoek is gericht.

In discussies tussen wetenschappers onderling en tussen wetenschap en praktijkmensen (vissers, natuurbeschermers en beleidsambtenaren) blijken regelmatig misverstanden voor te komen als gevolg van verschillende definities voor een bepaald proces of toestand. Een duidelijk voorbeeld hiervan is het gebruik van het begrip settlement (vestiging) en recruitment (broedval) (Keough & Downes 1982; Connell 1985; Ólafsson et al. 1994). Settlement is een op een bepaald moment optredend proces en niet of nauwelijks meetbaar. Recruitment is wel zichtbaar en dus meetbaar, maar afhankelijk van de interesse wordt het verschillend gedefinieerd. Eén van de gebruikte definities is de dichtheid

van jong broed op een bepaalde tijd na vestiging. Die tijd na vestiging wordt echter zeer verschillend geïnterpreteerd. In deze periode is er sprake van een integratie van larvenaivoer, vestiging en post-settlement sterfte van larven (van der Meer et al 2001). Een populatiebioloog verstaat onder het begrip ‘recruitment’ de zeer kleine mosseltjes (0,5-1,5 mm) enkele dagen na vestiging, een ecooloog geïnteresseerd in biomassa of voer voor kleine steltlopers verstaat er juist de mosseltjes van 1-2 cm in oktober onder en voor een mosselkweker vallen de bevisbare mosselen (1-3 cm) in het voorjaar onder dit begrip. Ondanks dat het in deze voorbeelden om verschillende levensfasen gaat, zullen de populatiebioloog, de ecooloog en de mosselkweker alle drie over recruitment spreken.

In deze rapportage gaan we uit van de volgende definities

Spawning het vrijkomen van eieren en de bevruchting in de waterkolom (meestal in april-mei als het water 12 °C is).

Pelagic larval stage de periode dat de mossellarven in de waterkolom leven.

Settlement het vestigen van larven op substraat. De larven zijn dan ongeveer 0,3 mm lang (in mei-juni) en starten dan hun metamorfose.

Recruitment, broedval of zaadval het ontstaan van duidelijk zichtbare karakteristieke mossel structuren op het wad. De mosseltjes zijn dan 5-10 mm lang, duidelijk geclusterd en aan elkaar verbonden met byssusdraden (in juli – september). Dat is dus vóór de eerste winter. De dan gevormde mosselbanken worden mosselzaadbanken genoemd.

1° jaars (zaad)bank een mosselbank die 1 winter overleefd heeft. In het voorjaar (april-mei) zijn de mosseltjes 1-2 cm in de loop van de zomer (mei – oktober) groeien ze tot een lengte van 2 – 4 cm, met daarin soms al nieuwe broedval van dat jaar (5-10 mm)

2° jaars mosselbank een mosselbank die 2 winters over-

leefd heeft (mossellengte 4 cm en groter maar daartussen kunnen jongere jaarklassen voorkomen).

3^e jaars mosselbank etc.

Een ouderejaarsbank (vanaf 2^e jaars) kan een populatie hebben die uit meerdere jaarklassen bestaat. De jaarklassen ouder dan 3 jaar kunnen niet of nauwelijks van elkaar onderscheiden worden door het verschil in groeisnelheid van individuen. Dit is alleen mogelijk door het maken van slijpplaatjes van de schelpen waardoor de jaarringen kunnen worden herkend (Lutz, 1976). Daarnaast kan een oudere bank bestaan uit delen van verschillende leeftijd als door zaadval een nieuw deel tegen de bank aangegroeid is. Ook kunnen delen verdwijnen die later weer door zaadval aangevuld worden. Op een gedetailleerde kaart van een mosselbank kunnen dus delen met verschillende leeftijd voorkomen.

Schematisch is een aantal opeenvolgende stadia onderscheiden en weergegeven in tabel 1. In de tabel wordt globaal aangegeven welke factoren belangrijk zijn bij de overleving (**Survival**) en/of **Sterfte** tussen de stadia. Deze zijn aangegeven als **S1** tm **Sx**.

Als de verschillende factoren bekend en gekwantificeerd zijn kunnen deterministische mathematische modellen gemaakt worden. Het ECOWASP model is zo'n voorbeeld. Als kwantificering niet of maar gedeeltelijk mogelijk is kan uit de TOESTAND van opeenvolgende stadia het gecombineerde effect van de tussenliggende **S** afgeleid en de ontwikkeling van de mossel(bank) populatie gemodelleerd worden. Daarbij kunnen ook ruimtelijke aspecten meegenomen worden. Voorspelling van ruimtelijke ontwikkeling is ook mogelijk op basis van een correlatieve benadering van voorkomens uit het verleden en abiotische karakteristieken. Deze benadering is gevolgd bij het vervaardigen van potentiële mosselbankkaarten (Brinkman et al 2001 en In Press)

Hieronder wordt globaal ingegaan op de factoren die sterfte en overleving tussen stadia bepalen. In latere paragrafen wordt hierop nader ingegaan waarbij geput wordt uit de

beschikbare literatuur en de verschillende onderzoeksprojecten die momenteel lopen. Er wordt daarbij zoveel mogelijk teruggegrepen op de in de kantlijn van de in het hoofdrapport genoemde aspecten.

S1 (direct na spawnen)

De overleving en sterfte tussen het spawnen en de ontwikkeling van larven kan afhankelijk zijn van de kwaliteit van de eieren. Het is bekend dat de kwaliteit (grootte) en het aantal eieren afhankelijk is van de conditie van de ouder (Rumrill, 1990; Honkoop en van der Meer, 1998). Voedselgebrek door verminderde draagkracht maar ook een zachte winter kan belangrijk zijn. In het najaar neemt de hoeveelheid algen af. Als de temperatuur dan hoog is blijven mosselen pompen, wat energie kost zodat de conditie (vleesgewicht per schelpengte) achteruit gaat. Een andere sterftfactor is kannibalisme van eieren door de ouderpopulatie en tegenwoordig in sterkere mate de consumptie door oesters die steeds meer in de mosselbank voorkomen (Bütger et al. 2008, Fey et al. 2009)

S2 (larvale stadium)

Mossellarven behoren tot de groep van het zooplankton. Dat wil zeggen dat ze zich in de waterfase bevinden en zich ten opzichte van de getijstrooming maar in geringe mate kunnen verplaatsen. Ze kunnen dus gedurende de maand dat ze daar rondzweven op plaatsen terecht komen die niet geschikt zijn voor vestiging op een geschikt substraat. Zo werd het uitblijven van goede broedval in de Wash in de jaren 80 geweten aan lange perioden van zuid-westen wind die het water met de larven naar de Noordzee spoelden. De overleving kan minder zijn als er onvoldoende voedsel in de vorm van phytoplankton aanwezig is. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van verminderde draagkracht van een ecosysteem (Brinkman & Smaal, 2003) door lage nutriëntenconcentraties, verkeerde soort (te kleine, te grote of kolonievormende (*Pheocystis*)) algen (Philippart 2007) of als er grote hoeveelheden andere filtrerende dieren (oude

mosselen of andere schelpdieren, ribkwallen etc) aanwezig zijn die de algenpopulatie zo ver uitdunnen dat er te weinig over zijn om nog hoge producties te realiseren (Brinkman, 2013). De filtratiedruk van volwassen schelpdieren op mossellarven is in veel jaren ook groot genoeg om bijna de het gehele verlies aan pelagische schelpdierlarven te verklaren (Brinkman, 2013).

S3 (zeer jong broed)

Na een maand in het water hebben de larven een schelpje ontwikkeld en vestigt het broedje zich op een geschikt substraat. Het schelpdiertje is dan ongeveer 0.3 mm klein. In eerste instantie bestaat het substraat dikwijls uit een draadvormige structuur zoals een draadalg (De Blok en Geelen 1958). Daarna wordt een meer definitieve plek gezocht. In de praktijk worden in de periode juni – juli op veel plekken (algen op kokkels, kokers van schelpkokerworm, vertakkingen van hydropoliepen zoals *Sertularia* (zeemos) etc) deze jonge mosseltjes gevonden. Het al dan niet vinden van geschikt substraat is waarschijnlijk een belangrijke factor in de mate van overleving. In deze en de erop volgende periode is de sterfte weer groot. Hierover is meer bekend dan over de eerdere stadia. Klein broed kan door bewegend sediment bedekt of verplaatst worden en predatie door een veelheid van organismen (platvislarven, kleine vis, garnaal, krabben, wormen etc) is groot (Reise 1977, Heide et al. 2014).

Ook hier is voldoende beschikbaarheid van geschikt voedsel belangrijk. De mosseltjes vormen patronen door bij elkaar te kruipen waardoor het beschikbare fytoplankton optimaal benut wordt. Door de productie en de bezinking van pseudofaeces worden deze congregaties hoger dan de directe omgeving. Door de ontwatering consolideert het slib onder de mosselbulten waardoor een steviger substraat ontstaat. De mosseltjes kunnen ook deels in het slib vastzitten en op hun beurt weer aanhechting bieden aan hun familieleden. De zeer jonge banken kunnen veel te lijden hebben van ongunstig weer. Lange tijd droogstaan bij oostenwind geeft

kans op uitdroging en predatie door vogels terwijl daarnaast ook de temperaturen extreem hoog kunnen oplopen. Zware regenbuien bij laagwater geven zoetwaterstress. Stormen kunnen het sediment inclusief de jonge mosseltjes omwoelen en doen wegspoelen.

De mosseltjes die dit allemaal overleefd hebben vormen in juli – augustus de karakteristieke zaadmosselbanken die bekend zijn uit inventarisaties en foto's in verschillende media.

4 jonge en 1 oude mosselbank





Het Waddenfonds project Mosselwad bestudeerde de lotgevallen vanaf deze periode (S4 en later). Het project Waddensleutels besteedde vooral aandacht aan kwantificering van S3.

S4 (zaadbanken in najaar en eerste winter)

Hier zijn vooral stormen (en soms ijs) belangrijk met predatie door meeuwen en wellicht krabben een goede tweede. Teveel ophoping van slib is wellicht nadelig, maar van de andere kant is slib na enige consolidatie een erosiebestendig substraat waarin mosseltjes nagenoeg begraven zitten en anderen zich aan hen vasthechten. Belangrijk voor over-

leving is structuur (patchiness) en de invloed daarvan op golfwerking, de bevestiging (en aantal) van byssusdraden, consolidatie van het sediment, inwaaien van zand en schelpen etc.

S5 (jonge eerste jaars mosselbank)

Zie hierboven, maar meer nadruk op consolidatie en tevens nieuwe broedval

S6 tm Sx (oudere structuurrijke mosselbanken)

Idem, maar nieuwe broedval iets belangrijker. Vanaf nu ook geleidelijke overname door oesters

adult	S1	larven	S2	Settlement Broedval	S3	Recruitment	S4	1 ^e jaars bank	S5	2 ^e jaars bank	S6	3 ^e jaars bank	S7	4 ^e jaars bank
Apr-0		Mei-juni-0		Juni-0		Aug-0		April-Okt- 1		April-Okt-2		April-Okt-3		April-Okt-4
	Bevruchting Ontwikkeling		Predatie Kanibalisme Voedsel Groe Substraat (eerste settlement)		Predatie (garnaal) Dynamiek (Weer, Golven)		Storm Predatie Voedsel Gedrag (patches, Netwerk)		Idem S4 en consolidatie		Idem S5 en Broed		Idem S6 en Broed	
Onderzoek	MZI		MZI		Wadden-sleutels		Mossel-wad Wadden-sleutels		Mosselwad					

Een redelijk compleet overzicht over predatie op verschillende stadia kan gevonden worden op de site van marlin (zie link hieronder). Voor verdieping is deze site en de daar genoemde referenties een goede start.

Voor een mosselbank in de Waddenzee geeft Büttger et al. (2008) een goede aanzet.

Buttger, H., Asmus, H., Asmus, R., Buschbaum, C., Dittmann, S. and Nehls G., 2008. Community dynamics of intertidal soft-bottom mussel beds over two decades. *Helgol. Mar. Res.* 62: 23-36.

<http://www.marlin.ac.uk/biotic/browse.php?sp=4250>

Predation and mortality

Several factors contribute to mortality and the dynamics of *Mytilus edulis* populations, including temperature, desiccation, storms and wave action, siltation and biodeposits, intra- and interspecific competition, and predation. But predation is the single most important source of mortality. Many predators target specific sizes of mussels and, therefore, influence population size structure. The vulnerability of mussels decreases as they grow, since they can grow larger than their predators preferred size. *Mytilus* sp. may be preyed upon by neogastropods such as *Nucella lapillus*, starfish such as *Asterias rubens*, the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*, crabs such as *Carcinus maenas* and *Cancer pagurus*, fish such as *Platichthys flesus* (plaice), *Pleuronectes platessa* (flounder) and *Limanda limanda* (dab), and birds such as oystercatcher, eider, scooter, sandpiper, knot, turnstone, gulls and crows (Seed & Suchanek, 1992; Seed, 1993). Important predators are listed below.

1. Dogwhelks (*Nucella lapillus*) feed on mussels on the mid to lower rocky shore primarily in spring and summer, and are capable of removing 0.1-0.6 mussels/ whelk/ day. Dogwhelk predation is curtailed by periods of strong wave action or desiccation. *Mytilus edulis* can defend itself from predatory gastropods, several mussels working together

to immobilise the gastropod with byssus threads (Seed & Suchanek, 1992).

2. Flounders were found to be important predators in Morecambe Bay and Liverpool Docks, as were plaice and dabs in Morecambe Bay (Dare, 1976; Holt *et al.*, 1998).
3. *Asterias rubens* usually feeds at low densities in the lower shore or sublittoral in northern Europe preferring large, up to 70mm, mussels. *Asterias rubens* may periodically, and unpredictably, rise dramatically in number forming swarms in the lower and middle shore, denuding the extensive areas of *Mytilus* sp. (Seed, 1969). For example, Dare (1976; 1982b) recorded a swarm of *Asterias rubens* in Morecambe Bay consisting of 450 starfish /m² that covered up to 2.25ha and consumed 4000 tonnes of first year mussels.
4. Crab predation is most intense on the lower shore and sublittoral, with crabs selecting mussels up to around 70mm. Small mussels are especially vulnerable since they can be crushed by all sizes of crabs. Vulnerability to crab predation decreases with increasing mussel size (Seed & Suchanek, 1992).
5. Oystercatchers and eider duck consume large numbers of mussels, primarily over winter. Raffaelli *et al.* (1990) recorded the removal of 4500 mussels /m² (within the preferred size of 10-25mm) within 60 days by a flock of 500 eider in the Ythan estuary. Eider remove mussels in clumps, which they shake to remove the target mussel. This results in additional mortality for those mussels removed from suitable substratum in the clump and leaves bare patches in the mussel beds, which may increase the risk of the loss of further mussels by water movement. Eider may, therefore, significantly affect the structure of the mussel bed (Seed & Suchanek, 1992; Holt *et*

al., 1998). Mussels are often the primary food for oystercatchers on sedimentary shores and mussel density may limit oystercatcher numbers in certain areas (Craeymeersch *et al.*, 1986). In enclosure experiments clumps of mussels only established in protected enclosures, suggesting that bird predation significantly reduced juvenile recruitment (Marsh, 1986).

6. Bird predation has a significant effect on mussel productivity (Holt *et al.*, 1998). For example, in the Ythan estuary, bird predation (eider, oystercatcher and herring gull) accounted for 72% of the annual *Mytilus edulis* production (Raffaelli *et al.*, 1990), and in the Wadden Sea, oystercatchers consumed 40% of the annual mussel production (Meire & Ervynck, 1986; Holt *et al.*, 1998).



Krab, een belangrijke predator.



Mosselen, gevoelig voor predatie maar samen overleven ze wel.

Foto's: Oscar Bos

Literatuur

Via deze link krijgt men toegang tot uitgebreide informatie over de mosselen en mosselbanken.

http://www.ukmarinesac.org.uk/communities/biogenic-reefs/br4_4.htm

Bayne BL (1965) Growth and the delay of metamorphosis of the larvae of *Mytilus edulis* (L.). *Ophelia* 2:1, 1-47

<http://dx.doi.org/10.1080/00785326.1965.10409596>

Bayne BL and CM Worrall (1980) Growth and Production of Mussels *Mytilus edulis* from Two Populations. *Marine Ecology Progress Series* 3: 317-328

Blok de JW, Geelen HJFM (1958) The substratum required for the settling of mussels (*Mytilus edulis* L.). *Arch Neerl Zool* 8(suppl): 446-460

Brinkman AG, N Dankers, M van Stralen (2002) An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgoland Marine Research* 56:59-75 <http://dx.doi.org/10.1007/s10152-001-0093-8>

Brinkman AG, Smaal AC. 2003 Onttrekking en natuurlijke productie van schelpdieren in de Nederlandse Waddenzee in de periode 1976-1999 Alterra/RIVO. Alterra-rapport 888, 247 pp <http://edepot.wur.nl/3173>

Brinkman AG. 2013. Modelling the effects of mussel seed collectors on the Wadden Sea ecosystem. Wageningen, IMARES Report number C061/13. 160pp <http://edepot.wur.nl/292192>

Büttger, H., H. Asmus, R. Asmus, C. Buschbaum, S. Dittmann & G. Nehls (2008) Community dynamics of intertidal soft-bottom mussel beds over two decades *Helgol Mar Res* 62:23-36
<http://dx.doi.org/10.1007/s10152-007-0099-y>

Byrnes J, JD Witman (2003) Impact assessment of an invasive flatworm, *Convoluta convoluta*, in the Southern Gulf of Maine. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 293: 173- 191

Connell, J.H. (1985) The consequences of variation in initial settlement vs. post-settlement mortality in rocky intertidal communities. *Journal of Exp. Mar. Biol. and Ecol.* :93- pg 11-45

Dankers, N., A. Meijboom, J.S.M. Cremer, E.M. Dijkman, Y. Hermes, & L. te Marvelde 2003. Historische ontwikkeling van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. EVA-II-Alterra raport 876. 114pgs <http://edepot.wur.nl/26446>

Dankers N, A Meijboom, M de Jong, E Dijkman, J Cremer, S van der Sluis (2004) Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Wageningen, Alterra, Alterra rapport

921. 114 blz. <http://edepot.wur.nl/18518>

Dare, P. J. (1976). Settlement, growth, and production of the mussel, *Mytilus edulis* L., in Morecambe Bay, England, *Fishery Invest.*, Lond. I1 28: 1-25

Dare PJ, Davies G, Edwards DB (1983) Predation on juvenile Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) and mussels (*Mytilus edulis* L.) by shore crabs (*Carcinus maenas* (L)). *Fisheries Research Technical Report*. nr 73

Fey, F. N. Dankers, J. Steenbergen & K. Goudswaard 2009 Development and distribution of the non-indigenous Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) in the Dutch Wadden Sea; ICSR symposium proceedings
<http://dx.doi.org/10.1007/s10499-009-9268-0>

Heide, T. van der, Tielens, E., van der Zee, E.M., Weerman, E.J., Holthuisen, S., Eriksson, B.K., Piersma, T., van de Koppel, J., Olff, H., (2014). Predation and habitat modification synergistically interact to control bivalve recruitment on intertidal mudflats. *Biological Conservation* 172, 163-169

Hilgerloh G (1997) Predation by birds on blue mussel *Mytilus edulis* beds of the tidal flats of Spiekeroog (southern North Sea). *Marine Ecology Progress Series* Vol. 146: 61-72

Honkoop PJC and J van der Meer (1998) Experimentally induced effects of water temperature and immersion time on reproductive output of bivalves in the Wadden Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 220: 227-246

Keough MJ. and Downes BJ (1982) Recruitment of marine invertebrates: the role of active larval choices and early mortality. *Oecologia* 54:348

Lutz, R. A. (1976). Annual growth patterns in the inner shell layer of *Mytilus edulis* L. *J. mar biol. Ass. U.K.* 56: 723-731

McGrath, D., King, P. A., Gosling, E. M. (1988). Evidence for direct settlement of *Mytilus edulis* larvae on adult mussel beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 47: 103-106

Meer, J. van der, J. J. Beukema and R. Dekker (2001). Long-term variability in secondary production of an intertidal bivalve population is primarily a matter of recruitment variability. *Journal of Animal Ecology* 70: 159-169.

Meire PM and Eryvnc A (1986) Are Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) selecting the most profitable mussels (*Mytilus edulis*). *Animal Behaviour* 34: 1427-1435

- Olafsson, E. B., C. H. Petersen and W. G. Ambrose (1994). Does recruitment limitation structure populations and communities of macro-invertebrates in marine soft sediments: The relative significance of pre- and post-settlement processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 32: 65–109.
- Philippart, C.J.M., Beukema, J.J., Cadée, G.C., Dekker, R., Goedhart, P.W., Van Iperen, J.M., Leopold, M.F., Herman, P.M.J., 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10, 95–118. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-006-9006-7>
- Pihl L and R Rosenberg (1984) Food selection and consumption of the shrimp *Crangon crangon* in some shallow marine areas in western Sweden. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 15:159-168
- Reise K (1977) Predator exclusion experiments in an intertidal mud flat. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*. 30, 263-271
- Riisgård HU, PP Egede and IB Saavedra (2011) Review Article: Feeding Behaviour of the Mussel, *Mytilus edulis* : New Observations, with a Mini-review of Current Knowledge. *Journal of Marine Biology* Volume 2011, Article ID 312459, 13 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2011/312459>
- Rilov G, DR Schiel (2006) Trophic linkages across seascapes: subtidal predators limit effective mussel recruitment in rocky intertidal communities. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 327:83-93
- Rumrill SS (1990) Natural mortality of marine invertebrate larvae. *Ophelia*, 32:1-2, 163-198, <http://dx.doi.org/10.1080/00785236.1990.10422030>
- Sprung M (1983) Reproduction and fecundity of the mussel *Mytilus edulis* at Helgoland (North Sea) *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 36, 243-255
- Sprung M (1984) Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*). I. Shell growth and biomass. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 17:283-293
- Thorarinsdóttir GG (1996) Gonad development, larval settlement and growth of *Mytilus edulis* L. in a suspended population in Hvalfjörður, south-west Iceland. *Aquaculture Research* 27: 57-65
- Troost K, P Kamermans, WJ Wolff (2008) Larviphagy in native bivalves and an introduced oyster. *Journal of Sea Research* 60: 157–163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2008.04.006>
- Vooy de CGN (1999) Numbers of larvae and primary plantigrades of the mussel *Mytilus edulis* in the western Dutch Wadden Sea. *J. Sea Res.* 41, 189-201.

Resultaten van onderzoek en overzicht literatuur

(1) Een mosselbank is een lappendeken van aan elkaar gehechte Mosselen

Norbert Dankers

Elk hoopje mosselen kan men een mosselbank noemen. Soms zijn die hoopjes erg klein. Een paar mosselen die zich vastgehecht hebben aan een kokkel bijvoorbeeld. Die hoopjes kunnen redelijk vast zitten, maar dikwijls rollen ze weg bij een storm. Soms rollen ze weer terug en lijkt het of er sprake is van een stabiele situatie. Als de dichtheid te laag is om een zichzelf instandhoudend ecotoop te realiseren is geen reden om van een mosselbank te spreken. In de praktijk worden die voorkomens "strooimosselen" genoemd.

Toen het Nederlandse beleid uitspraken deed over streefdoelen voor mosselbanken ontstond discussie over wat we een mosselbank noemen. Alleen min of meer aaneengesloten velden met een hoog bedekkingspercentage, of ook uitgebreide vlakten met af en toe een mossel(groepje). Vanuit visserijperspectief zijn ook zeer kleine bedekkingen (enkele mosselen per m²) interessant omdat met de gebruikelijke korren in een tijd zeer grote oppervlakken bevestigd kunnen worden, en vissers waren geneigd deze delen ook mosselbank te noemen.

Omdat in het streefdoel van het beleid ook oppervlakken werden genoemd was het belangrijk te definiëren wat we precies onder een mosselbank verstaan en wanneer een verzameling mosselen niet meer als bank gedefinieerd wordt. Van een mosselbank worden maar delen daadwerkelijk bedekt door mosselen (Maas Geesteranus 1942; Linke 1954;

Michaelis et al. 1995). In verband met onduidelijkheden bij interpretaties over beschermingsmaatregelen is een poging gedaan een eenduidige definitie van een mosselbank te geven (Brinkman et al. 2003). In die rapportage worden verschillende typen van mosselbanken beschreven, hun eigenschappen waaronder stabiliteit, en er werd een protocol ontwikkeld met behulp waarvan op een gestandaardiseerde manier mosselbanken in kaart kunnen worden gebracht. Dit protocol wordt binnen de Waddenzee internationaal gevolgd (Vlas et al. 2005). In overleg met internationale onderzoek- en inventarisatie wordt de volgende definitie voor een mosselbank aangehouden.

Een mosselbank is: "een benthische gemeenschap waar mosselen beeldbepalend zijn, en die bestaat uit een ruimtelijk goed af te bakenen lappendeken van grote of kleine groepen mosselen die als bulten boven de omgeving kunnen uitsteken en die door open ruimtes gescheiden zijn" (Brinkman et al. 2003).

Kort samengevat is het protocol hier weergegeven.

Loop langs de rand van een mosselbank, en registreer (voortdurend) de positie. De rand van de bank wordt bepaald aan de hand van drie regels:

a) Ga na of er sprake is van waarneembare structuren zoals verwoord in de definitie (dus bulten of patches, geen strooimosselen)

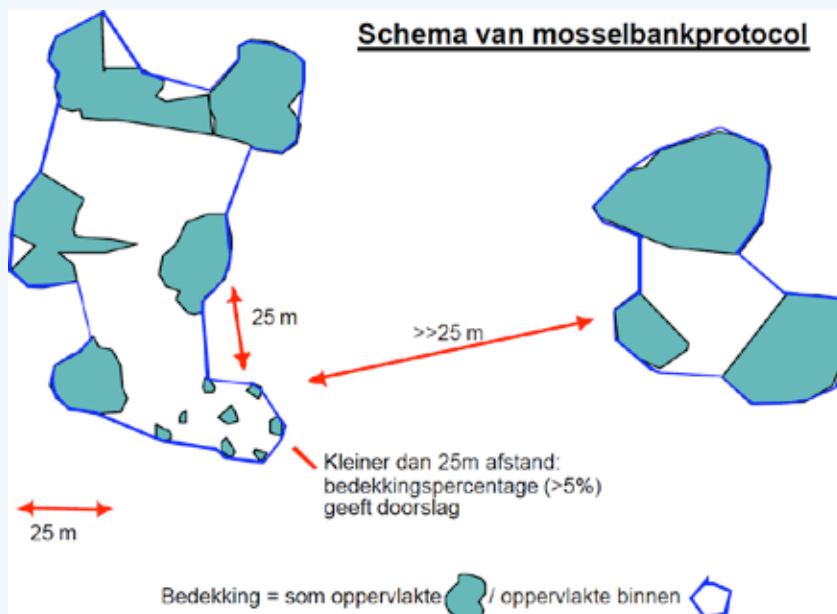
b) de 25 meter regel

Loop in geval van een min of meer gesloten bank langs de rand van de bank. Bij inhammen mag je oversteken naar de dichtstbijzijnde rand op 25 m afstand.

De afzonderlijke mosselbulten van een mosselbank mogen niet verder dan 25 meter uit elkaar liggen. Is bij grote bulten de afstand tussen tot de volgende bult of bultenverzameling meer dan 25 m, dan betreft het een andere bank. (zie figuur als voorbeeld)

c) de 5% regel

Minimaal moet ongeveer 5% van de bodem bedekt zijn met mosselbulten of patches. Dat wil zeggen dat de afstand tussen de bulten niet meer dan ongeveer 3,5 maal zo groot mag zijn dan de diameter van de bulten. Nog kleinere bedekkingen kunnen in de rand van een mosselbank voorkomen, maar worden niet meer bij de mosselbank gerekend.

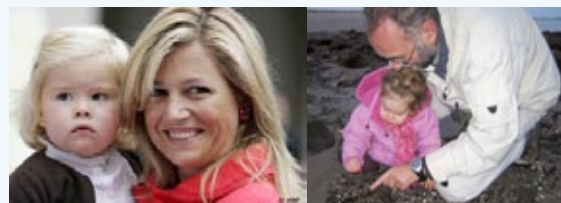


Een volgroeide mosselbank is het eindproduct van de interacties tussen biogene, geomorfologische, fysische en biologische processen. Tijdens de jarenlange wordingsgeschiedenis wordt al in een vroeg stadium de basis gelegd voor diverse elementen, zoals bv. het patroon van de bulten, open plekken en afwateringsgeulen, die in een natuurlijke (ecologisch) goed functionerende mosselbank van belang zijn. Aan zo'n bank kunnen criteria ontleend worden waarna gestreefd kan worden bij beleid, beheer en mogelijke aanleg.

Al enkele decennia (vanaf midden jaren 80) worden droogvallende mosselbanken in min of meer detail bestudeerd. Duidelijk is dat de verscheidenheid groot is en dat ze allemaal in min of meerdere mate aan een of meer criteria voldoen. Het merendeel van de nieuwe banken overleeft niet lang. Sommige wel, maar het is moeilijk te voorspellen welke. Degene die wel overleven kunnen zich zeer ver-

schillend ontwikkelen waarbij elk type zijn karakteristieke waarden ontwikkelt die weer van belang kunnen zijn voor verschillende "gebruikers".

Dus:



Dé mosselbank bestaat niet !!

Literatuur

- Brinkman, A.G., T. Bult, N. Dankers, A. Meijboom, D. den Os, M.R. van Stralen & J. de Vlas 2003. Mosselbanken: kenmerken, oppervlaktebepaling en beoordeling van stabiliteit. Alterra rapport 707. 70 pgs/ EVA-II rapport. <http://edepot.wur.nl/38941>
- Vlas, J. de, B. Brinkman, C. Buschbaum, N. Dankers, M. Herlyn, P. Sand Kristensen, G. Millat, G. Nehls, M. Ruth, J. Steembergen, A. Wehrman. 2005. Intertidal Blue Mussel beds. In: Essink, K. Dettmann, C. Farke, H. Laursen, K. Lüerszen, G. Marencic, H & Wiersinga, W. (eds) Wadden Sea Quality Status Report 2004. Wadden Sea Ecosystem No. 19 Trilateral Monitoring. and Assessment Group, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany. p. 190-200.
- <http://www.waddensea-secretariat.org/sites/default/files/downloads/qsr-08.3-intertidal-musselbeds.pdf>
- Maas Geesteranus, R.A., 1942. On the formation of banks by *Mytilus edulis* L. Arch. neerl. Zool. 6, 283-326
- Linke O (1954) Die Bedeutung der Miesmuscheln für die Landgewinnung im Wattenmeer. Natur und Volk 84:253-261
- Michaelis H, Obert B, Schultenkötter I, Böcker L (1995) Die Miesmuschelbestände der niedersächsischen Watten, 1989-1991. Ber Forschungsstelle Küste Norderney 40:55-70

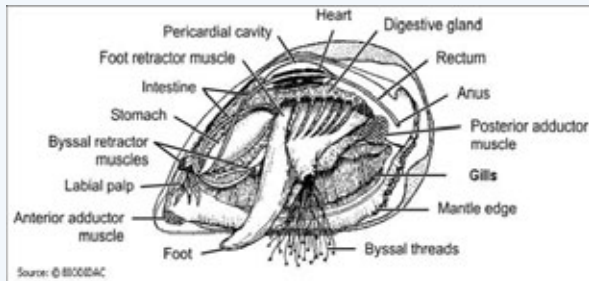
(2) Energie uit het voedsel wordt voor verschillende doeleinden ingezet

(3) Mosselen filteren deeltjes uit het water, voedsel wordt opgenomen, slib uitgescheiden als slijmbolletje

(4) De kwaliteit van de mossel neemt af na de zomer

De opname van voedsel door mosselen, het gebruik ervan en de productie van slib

Frouke Fey-Hofstede (Imares)



Figuur 1. Inwendige anatomie van een mossel (© Biodidac)

Filteren van deeltjes

Mosselen filteren kleine zwevende deeltjes uit het water (seston) om aan voedsel te komen. Hiervoor gebruiken ze hun kieuwen (Riisgård and Larsen, 2010). Met trilhaartjes wordt het water actief door de kieuwen gepompt (Riisgård and Larsen, 2010). Andere trilharen zeven het water. De doorlaatruimte tussen deze trilharen kan worden aangepast, waardoor de grootte van de deeltjes die worden doorgelaten veranderlijk is (Riisgård and Larsen, 2010; Strohmeier et

al., 2012). Via de kieuwen wordt ook zuurstof opgenomen. De gefilterde deeltjes komen bij de mondlappen terecht (zie ook figuur 1). Omdat seston niet alleen uit eetbare algen bestaat, maar ook uit dode organische en anorganische componenten wordt tijdens het filteren ook veel niet- of slecht eetbaar materiaal verzameld. Bij de mondlappen wordt opnieuw geselecteerd. Al het niet opgenomen materiaal wordt verworpen (Riisgård et al., 2011). Er bestaat discussie of dit bedoeld is om de kieuwen schoon te houden of dat dit een rol speelt bij het selecteren van eetbare deeltjes (Riisgård et al., 2011). Deze uitgeworpen deeltjes klitten door slijm (mucus) tot pellets en worden langs de mantelrand via de instroomopening uitgescheiden (Kooijman, 2006; Widdows et al., 1979). Dit materiaal wordt pseudofaeces genoemd. De deeltjes die wel door de mondlappen worden opgenomen komen in de darmen terecht en worden verteerd. De verteerde delen worden als faeces uitgeworpen. Mosselen produceren twee soorten faeces (Weel van, 1961), afhankelijk van de route die het heeft afgelegd. Wanneer er weinig voedsel in het water zit passeren de deeltjes de spijsverteringsklier en bestaat faeces uit zeer goed verteerd materiaal. Wanneer er veel eetbaar materiaal passeert, gebeurt dit niet en worden de deeltjes slecht verteerd (Weel van, 1961). Mogelijk kunnen mosselen in hun maag ook bewust selecteren welk type deeltjes via de spijsverteringsklier gaan en welke deeltjes niet (Rouillon en Navarro (2003). Op deze manier wordt dus op drie locaties geselecteerd op voedseldeeltjes (Shumway et al. 1985) al dan niet actief; bij de kieuwen, bij de monddelen en in de ingewanden.

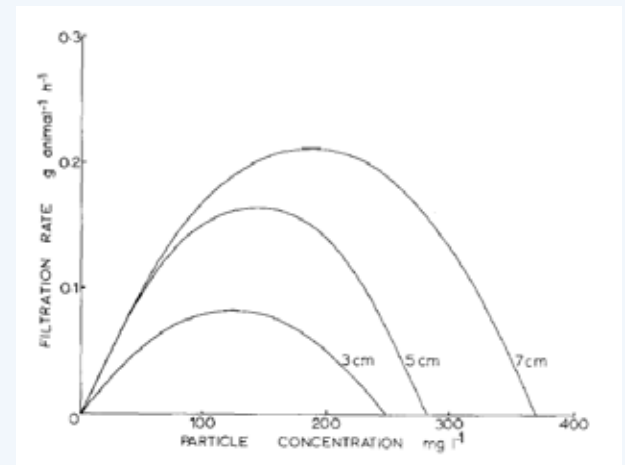
Voedsel

Het voedsel van mosselen bestaat voornamelijk uit eencellige algen en bacteriën, maar ook dierlijk plankton wordt gegeten (Davenport et al. 2000). Ook niet-voedzame slibdeeltjes worden opgenomen, deze worden uitgescheiden in de pseudofaeces of als slecht verteerde faeces (Davenport et al. 2000). Deeltjes van tenminste 2 µm worden door mosselen nog efficiënt opgenomen (Vahl, 1972; Strohmeier et

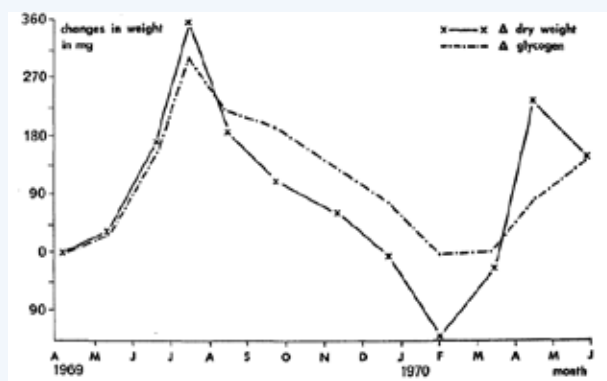
al., 2012), hoewel de efficiëntie onder de 4 μm wel afneemt (Møhlenberg and Riisgård, 1978). De filtreerefficiëntie neemt toe naarmate de deeltjes groter worden, met een maximum rond de 30-35 μm (Strohmeier et al., 2012). Wanneer er meer kleine deeltjes in het water aanwezig zijn, zakt de maximale filtreerefficiëntie naar een kleinere diameter. Dit geeft aan dat de filtreerefficiëntie kan worden aangepast aan de verhouding van de grootte van de deeltjes in het water (Strohmeier et al., 2012). Dit komt overeen met de waarneming dat mosselen in het veld lokale en seizoenvariatie tonen in filtreerefficiëntie, afhankelijk van de grootteverdeling van deeltjes in het water. Strohmeier et al. (2012) vonden bijvoorbeeld een toename in opname-efficiëntie van deeltjes van 4 μm in de late zomer, wanneer meer deeltjes van dit formaat in het water aanwezig zijn. Uit onderzoek naar de maaginhoud van mosselen op percelen in Maine bleek dat grotere deeltjes (tot 110 μm) ook een significant deel van het dieet van mosselen kunnen beslaan (Newell et al., 1989). Het dierlijk plankton dat wordt opgenomen door volwassen mosselen heeft een grootte tussen de 100 en 1000 μm (Davenport et al. 2000), maar er werden zelfs diertjes van 3 tot 6 mm in de ingewanden van mosselen gevonden (Davenport et al. 2000). Ook mossellarven worden gegeten (Rumrill, 1990; Troost, 2008).

Pompsnelheden

Mosselen pompen het zeewater onder optimale condities op maximale snelheid door de kieuwen. Wanneer de condities niet zo optimaal zijn, bijvoorbeeld bij extreem lage of juist hoge algenconcentraties, gaat de pompsnelheid omlaag. Dan kost het pompen te veel energie ten opzichte van de opbrengst. Uit laboratoriumtesten blijkt dat dit gebeurt bij een algenconcentratie van 5000-8000 cells mL^{-1} of 6,3 -10 $\mu\text{g chl } a \text{ L}^{-1}$ (Riisgård et al., 2011). Het is niet bekend of dit een fysiologisch gecontroleerd mechanisme is om maximale assimilatie en groei te stimuleren of dat het ontstaat doordat het filterapparaat verstopt raakt door het vele materiaal (Riisgård et al., 2011). Bij de studie van Widdows et al (1979) is de afname van filtratie bij lage of hoge deeltjesconcentraties (zie figuur 1) goed te zien. Wanneer mosselen van 3 centimeter leefden in water met zwevende deeltjes met een concentratie van ca 125 mg/l was de filtratiesnelheid optimaal. Wanneer er 225 mg/l zwevende deeltjes in het water aanwezig waren, nam de filtratiesnelheid met 30% af en deze stopte helemaal bij een concentratie van 250 mg/l (zie figuur 2). Deze optimumcurve is afhankelijk van de grootte van de mossel, maar de vorm is voor alle grootteklassen gelijk (Widdows et al., 1979). Wanneer er veel deeltjes in het water zitten, komt de pseudofaecesproductie op gang. Uit laboratoriumstudie blijkt dat dit gebeurt bij een algenconcentratie van 12.000 cells mL^{-1} (Riisgård et al., 2011) of bij een sestonconcentratie van <5 mgL^{-1} (Widdows et al., 1979).



Figuur 2. Effect van de concentratie zwevende deeltjes in het water op de filtratiesnelheid bij drie grootte-klassen *Mytilus edulis* (3, 5 en 7 cm) – uit Widdows et al, 1979



Figuur 3. Verandering in drooggewicht gedurende 14 maanden in 1969-1970 en het glycogeen gehalte bij mosselen (*Mytilus edulis*) in de Waddenzee – uit de Zwaan en Zandee, 1972

Groei

De hoeveelheid en de kwaliteit van het opgenomen voedsel bepalen de groei van de mossel (zowel in schelpenlengte als in vleesgewicht). Daarnaast spelen ook de watertemperatuur, het zoutgehalte, de stromingssnelheid en de golfslag, de grootte en leeftijd van de mossel en competitie tussen mosselen en andere (schelp)dieren of de aanwezigheid van zeepokken op de schelp een rol (Bayne and Worall, 1980; Buschbaum and Saier, 2001). Buschbaum and Saier (2001) vonden in een veldexperiment bij het eiland Sylt in de Duitse Waddenzee significant kleinere mosselen in het litoraal (piek schelpenlengte 25-35 mm) dan in het sublitoraal (piek schelpenlengte 45-60 mm). Het getijdeniveau waarin de mosselen zich bevonden had niet alleen invloed op het formaat van de schelp, maar ook op de groeisnelheid van de schelpen en het vleesgewicht (Buschbaum and Saier, 2001; Honkoop and Beukema, 1997). Buschbaum and saier (2001) vinden een schelpgroei van 3.3 ± 1.8 mm gedurende een periode van 12 weken bij mosselen die in het litoraal lagen ten opzichte van een groei van 10.1 ± 3.1 mm bij mosselen in het sublitoraal. Ook in vleesgewicht werd dit effect gevonden. Mosselen uit het sublitoraal hadden een hoger

lichaamsgewicht dan mosselen uit het litoraal (Honkoop and Beukema, 1997). De droogvalduur bepaalt de tijd dat de mossel voedsel uit het water kan halen en daarmee dus ook de groeisnelheid. Buschbaum and Saier (2001) zien het verschil in tijd om te kunnen eten dan ook als voornaamste reden voor het verschil in groeisnelheid tussen mosselen in het litoraal en het sublitoraal. De lengtegroei van de mosselschelp vindt voornamelijk plaats in de maanden april tot en met augustus (Dankers et al., 1989). Het lichaamsgewicht van mosselen neemt zelfs af na de zomer (de Zwaan and Zandee, 1972; Honkoop and Beukema, 1997), voornamelijk door afname in voedselbeschikbaarheid. Dankers et al. (1989) vonden in de Nederlandse Waddenzee een gewichtsverlies vanaf augustus, oplopend tot soms wel 50% in december. In de Waddenzee is de concentratie fytoplankton het hoogst in de vroege zomer (Cadée and Hegeman, 1977). Op vallend is dat ondanks de zeer hoge mosselbiomassa in 1989 de gewichtsafname in de herfst beperkt was. In dat jaar trad een relatief hoge najaarsbloei van fytoplankton op, wellicht gestimuleerd door de verhoogde invloed van mosselen op de omzetting van organisch materiaal in nutriënten. Het belangrijkste groeiseizoen voor schelpdieren is dan ook in deze periode (Beukema, 1974). In de winter verliezen schelpdieren gewicht doordat er minder voedsel beschikbaar is. Het gewichtsverlies is het hoogst wanneer de wintertemperatuur daarnaast hoog is (Honkoop and Beukema, 1997). Energie voor onderhoud en groei nemen exponentieel toe wanneer de temperatuur toeneemt (Honkoop and Beukema, 1997).

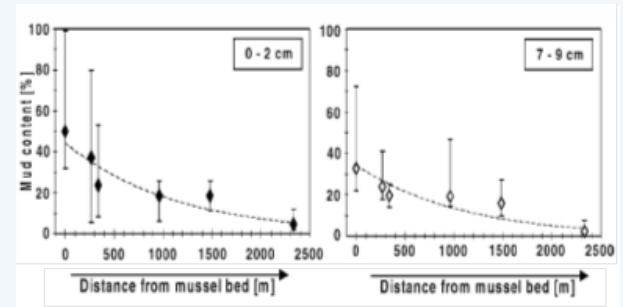
Verdeling van de opgenomen energie

Energie uit voedsel wordt in eerste plaats gebruikt voor onderhoud en vervolgens voor groei (Honkoop and Beukema, 1997). De energie voor groei en onderhoud wordt voor verschillende doeleinden ingezet. Er is weinig bekend over de verdeling van energie over de verschillende componenten. Mosselen die leven in omstandigheden waar ze te maken hebben met sterke stroming of golfslag zullen meer inves-

teren in byssusdraadproductie (Young, 1985; Kangeri et al. 2014). Mosselen die leven onder hoge predatiedruk hebben een dikkere schelp (Leonard et al., 1999). Volgens Jørgensen, (1976) wordt ongeveer 30% van het energiebudget ingezet voor schelpafzetting. De relatie tussen schelpenlengte en het vleesgewicht hangt af van voedselbeschikbaarheid; goed doorvoede, snelgroeïende mosselen hebben een hoge ratio in vleesgewicht ten opzichte van schelpenlengte (Jørgensen, 1976). Ditzelfde gebeurt in de periode vlak voor de reproductie (Jørgensen, 1976). Gedurende de reproductieperiode gaat er zoveel energie naar de productie van ei- en zaadcellen dat mosselen in vleesgewicht afnemen (Bayne en Worrell, 1980).

Productie van pseudofaeces

Gefilterde deeltjes die niet door de mossel worden opgenomen, worden verworpen als pseudofaeces. De verworpen deeltjes worden vermengd met slijm. Het slijm is een vloeibare afscheidingen die wordt geproduceerd door mucocyten in het epitheel in de mantel (Benning en St Jean, 1997). De afscheiding bestaat voornamelijk uit polysacharide-eenheden (Benning en St Jean, 1997). Door de menging met slijm klonteren de uitgescheiden deeltjes (voornamelijk slibdeeltjes) samen tot grotere pellets. Oost (1995) toonde met experimenten aan dat deze pellets een grotere korrelgrootte hebben dan het oorspronkelijke sediment (een diameter van maximaal 0,5 mm). Dit is vergelijkbaar met een korrelgrootte die tien keer hoger ligt dan het originele zwevende materiaal dat door de mosselen is opgenomen (Oost, 1995). De pakketjes vallen niet snel uitelkaar, ook niet wanneer ze weer in de waterkolom terecht komen. In het experiment van Oost (1995) was de korrelgrootte van de pellets na 72 uur nog steeds groter dan dat van de oorspronkelijk opgenomen deeltjes. Uiteindelijk vallen de deeltjes verder uitelkaar door bioturbatie, activiteit van bacteriën en bedekking met ander sediment (Oost, 1995).



Figuur 4. Gemiddelde waarden (n=9) van het slibgehalte ($<63 \mu\text{m}$) op het sedimentoppervlakte (0-2 cm diep) en dieper in het sediment (7-9 cm) in relatie tot de afstand tot de mosselbank – uit Stoeck en Albers, 2000)

Verandering van sediment door mosselen

De door de mosselen geproduceerde pseudofaeces en faeces bezinken in en naast de mosselbank. Grote hoeveelheden sediment worden zo uit de waterkolom gehaald en in de zeebodem vastgelegd. Oost (1995) berekende voor de Nederlandse Waddenzee een hoeveelheid van $2.6\text{--}15.1 \cdot 10^9 \text{ kg/y}$ mineraal drooggewicht. Omdat er ook veel anorganisch materiaal (vooral slibdeeltjes) zit tussen de zwevende deeltjes in het water vormt dit het belangrijkste bestanddeel van pseudofaeces. Hierdoor ontstaat een dikke laag slib in en rond de mosselbank (Hertweck Liebezeit, 1996). Bij oudere mosselbanken werd een gemiddeld slibgehalte van ~44% gevonden in de bovenste 4 cm van het sediment, in vergelijking tot een maximum van 13% in het oorspronkelijke sediment (Hertweck en Liebezeit, 1996). De afzetting van slib op de bodem in en rond mosselbanken kan op deze manier wel 40 keer hoger liggen dan bij normale sedimentatie (Widdows et al., 1998). Omdat de waterstroom verandert door de structuur van de mosselbank, bezinkt op en rond de mosselbank ook grover materiaal, zoals zanddeeltjes. Lokaal kan dit leiden tot hoge zandgehalten in het sediment van oudere mosselbanken (Oost 1995; Dankers et al. 2004). Dit kan ook veroorzaakt worden doordat soms in de winter

een deel van het slib weer wordt uitgewassen en het zand overblijft (Oost, 1995). De geproduceerde pseudofaeces en faeces en de neergedaalde zanddeeltjes worden vastgehouden door de structuur van de mosselbank. Hierdoor kunnen mosselbanken grote hoeveelheden sediment vasthouden, ook op plekken waar het door de fysische omstandigheden normaal niet zou gebeuren (Hertweck & Liebezeit 1996). De aanwezigheid van mosselen zorgt voor een vermindering van de erosie (Widdows et al., 1998; Oost, 1995). Door het vastgehouden sediment kunnen konge mosselbanken in het eerste halfjaar tot 30-40 cm in hoogte toenemen (Dankers *et al.* 2004). Bij oudere mosselbanken kan dit uiteindelijk 1-2 m worden (Widdows et al. 2002). Het effect van mosselbanken op het sediment in de omgeving is ook buiten de mosselbank meetbaar, maar neemt significant af met toenemende afstand van de mosselbank (Figure 4; Stoeck & Albers 2000).

Referenties

- Bayne BL and CM Worrall (1980) Growth and Production of Mussels *Mytilus edulis* from Two Populations. Marine Ecology Progress Series 3: 317-328
- Beninger PG en SD st Jean (1997) The role of mucus in particle processing by suspension-feeding marine bivalves: unifying principles. Marine Biology (1997) 129: 389-397
- Beukema JJ (1974) Seasonal changes in the biomass of the macrobenthos of a tidal flat area in the Dutch Wadden Sea. Netherlands Journal of Sea Research, vol. 8: 94-107
- Buschbaum C, B Saier (2001) Growth of the mussel *Mytilus edulis* L. in the Wadden Sea affected by tidal emergence and barnacle epibionts. Journal of Sea Research 45: 27-36
- Cadée GC en J Hegeman (1977) Distribution of primary production of the benthic microflora and accumulation of organic matter on a tidal flat area, Balgzand, Dutch Wadden Sea. Netherlands Journal of Sea Research, vol. 11: 24-41
- Dankers N, K Koelemaij en J Zegers (1989) De rol van de mossel en de mosselcultuur in het ecosysteem van de Waddenzee. RIN rapport 89-9
- Dankers N, A Meijboom, M de Jong, E Dijkman, J Cremer, S van der Sluis (2004) Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 921. 114 blz. <http://edepot.wur.nl/18518>
- Davenport J, Smith RJW, Packer M (2000) Mussels *Mytilus edulis*: Significant consumers and destroyers of mesozooplankton. Marine Ecology Progress Series 198:131-7.
- Donadi S, T van der Heide, EM van der Zee, JS Eklöf, J van de Koppel, EJ Weerman, T Piersma, H Olff and BK Eriksson (2013) Cross-habitat interactions among bivalve species control community structure on intertidal flats. Ecology, 94(2) pp. 489–498
- Hertweck G, G Liebezeit (1996) Biogenic and Geochemical Properties of Intertidal Biosedimentary Deposits Related to *Mytilus* Beds. Marine Ecology, 17 (1-3): 131-144
- Honkoop PJC and JJ Beukema (1997) Loss of body mass in winter in three intertidal bivalve species: an experimental and observational study of the interacting effects between water temperature, feeding time and feeding behaviour. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 212: 277–297
- Jørgensen, C. B. (1976). Growth efficiencies and factors controlling size in small mytilid bivalves, especially *Mytilus edulis* L.: review and interpretation. Ophelia 15: 175-
- Kangeri, A.K., Jansen, J.M., Barkman, B.R., Donker, J.J.A., Joppe, D.J., Dankers, N.M.J.A., 2014. Perturbation induced changes in substrate use by the blue mussel, *Mytilus edulis*, in sedimentary systems. Journal of Sea Research 85, 233-240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2013.06.001>
- Kooijman SALM (2006) Pseudo-faeces production in bivalves. Journal of Sea Research 56: 103–106
- Leonard GH, MD Bertness and PO. Yund (1999) Crab Predation, Waterborne Cues, and Inducible Defenses in the Blue Mussel, *Mytilus edulis*. Ecology, Vol. 80, No. 1: 1-14
- Møhlenberg F and HU Riisgård (1978) Efficiency of particle retention in 13 species of suspension feeding bivalves. Ophelia, 17:2, 239-246, <http://dx.doi.org/10.1080/00785326.1978.10425487>
- Newell CR, SE Shumway, TL Cucci and R Selvin (1989) The effects of Natural Seston Particle size and Type on Feeding Rates, Feeding Selectivity and food source Availability for the Mussel *Mytilus edulis* Linnaeus, 1958 at Bottom culture Sites in Maine. Journal of Shellfish Research Vol. 8 no. 1: 187-196.

- Oost, A.P. (1995). Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet: a study of barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins. Thesis Universiteit Utrecht
- Riisgård HU, PP Egede and IB Saavedra (2011) Review Article: Feeding Behaviour of the Mussel, *Mytilus edulis* : New Observations, with a Mini-review of Current Knowledge. Journal of Marine Biology Volume 2011, Article ID 312459, 13 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2011/312459>
- Riisgård HU and PS Larsen (2010) Particle capture mechanisms in suspension-feeding invertebrates. Marine Ecology Progress Series Vol. 418: 255–293
- Rouillon G, Navarro E (2003) Differential utilization of species of phytoplankton by the mussel *Mytilus edulis*. Acta Oceanologica 24(SUPPL. 1):S299-305.
- Rumrill SS (1990) Natural mortality of marine invertebrate larvae. Ophelia, 32:1-2, 163-198, <http://dx.doi.org/10.1080/00785236.1990.10422030>
- Shumway SE, TL Cucci and RC Newell (1985) Particle Selection, Ingestion and Absorption in Filter-Feeding Bivalves. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Vol. 91, pp. 11-92
- Stoeck T, BP Albers (2000) Microbial biomass and activity in the vicinity of a mussel bed built up by the blue mussel *Mytilus edulis*. Helgoland Marine Research 54: 39-46
- Strohmeier T, Ø Strand, M Alunno-Bruscia, A Duinker, PJ Cranford (2012) Variability in particle retention efficiency by the mussel *Mytilus edulis*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Volume 412, Pages 96-102 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2011.11.006>
- Troost K, P Kamermans, WJ Wolff (2008) Larviphagy in native bivalves and an introduced oyster. Journal of Sea Research 60: 157–163
- Vahl O (1972) Efficiency of particle retention in *Mytilus edulis* L.. Ophelia 10:1, 17-25, <http://dx.doi.org/10.1080/00785326.1972.10430098>
- Van Leeuwen B van, DCM Augustijn, BK van Wessenbeeck, SJMH. Hulscher and MB de Vries (2010). Modeling the influence of a young mussel bed on fine sediment dynamics on an intertidal flat in the Wadden Sea. Ecological Engineering 36: 145-153
- Weel van PB (1961) The Comparative Physiology of Digestion in Molluscs. American Zoologist, Vol. 1, No. 2, pp. 245-252
- Widdows, J., P. Fieth and C.M. Worrall (1979). Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. Marine Biology 50: 195-207
- Widdows, J., M.D. Brinsley, P.N. Salkeld, and M. Elliott (1998). Use of annular flume to determine the influence of current velocity and bivalves on material flux at the sediment-water interface. Estuaries 21(4A): 552-559
- Widdows, J., J.S. Lucas, M.D. Brinsley, P.N. Salkeld and F.J. Staff (2002). Investigation of the effects of current velocity on mussel feeding and mussel bed stability using an annular flume. Helgoland Marine Research 56: 3-12
- Young GA (1985) Byssus-thread formation by the mussel *Mytilus edulis*: effects of environmental factors. Marine Ecology Progress Series Vol. 21: 261-271
- Zwaan de A en DI Zandee (1972) Body distribution and seasonal changes in the glycogen content of the common sea mussel *Mytilus edulis*. Comparative Biochemistry and Physiology Vol 43A, pp. 53-58. Pergamon Press.

Variabelen die vergelijkbare invloed hebben op alle stadia

(8) Mosselen profiteren van elkaars nabijheid

(14) Mosselbanken kenmerken zich door specifieke patronen

(16) Patronen van verschillende schalen zijn belangrijk in de overlevingsstrategie

Johan van de Koppel; NIOZ

Wanneer mossels zich vestigen op een getijdeplaat als larve, is het belangrijk voor ze om zich aan iets te hechten. Dit voorkomt dat ze opgegeten worden of wegspoelen door de golfslag. Als ze nog heel klein zijn, voldoet een zandkorrel hiervoor. Wanneer ze iets groter worden, moeten ze zich aan iets groters hechten, dat voldoende houvast biedt. Als ze op tijd een geschikte plek vinden op harde ondergrond, zoals steen of schelpen van mosselen of oesters, plakken ze met hun voet – die ze buiten hun schelpje kunnen steken – een hechtdraad, byssus genoemd, hieraan vast. Op rotskusten, en belangrijk habitat voor blauwe mossels, kunnen ze zicht hechten aan de stenen met behulp van die byssus draden. Op getijdeplaten is zult stevig substraat natuurlijk niet voorhanden. Daarom hechten de mossels zich het grootst beschikbare houvast, en dat zijn schelpen en – het allerbelangrijkste – elkaar. Dit heeft als gevolg dat mossels dichte klompen, strengen en zelfs matten vormen, waarin ze beter beschermt zijn tegen de effecten van predatie en golfslag. Mossels profiteren dus van elkaars nabijheid doordat ze elkaar helpen stand te houden in een habitat dat hun maar weinig houvast en bescherming biedt. De tot dan toe gevormde patronen zijn nog zeer kleinschalig.

Als de eerste moeilijke fase overleefd is, worden in de periode juli-oktober uiteindelijk de duidelijke contouren van jonge mosselbanken zichtbaar (zie Box 5: Patroonvorming in mosselbanken).

Vanuit de lucht bekeken kunnen met name jonge mosselbedden soms spectaculaire bandpatronen vertonen. Deze banden zijn tussen de 1 en 4 meter breed, en herhalen zich om de 5-10 meter. Hierdoor lijkt een mosselbank grofweg op een de vacht van een tijger. De banden zijn het gevolg van de neiging van mossels om dichte matten te volgen, en de concurrentie tussen de mossels om algen. Mossels hebben voordeel aan elkaars aanwezigheid doordat ze elkaar beschermen tegen golfslag en roofdieren. Om die reden vormen ze dichte matten. Wanneer alle mossels een aaneengesloten bank zouden vormen, hebben de mossels in het midden van de bank te weinig te eten, doordat de algenconcentratie in de onderste water volledig uitgeput raakt. Wetenschappelijke modellen laten zien dat door de interactie tussen concurrentie en voedsel enerzijds, en de samenklontering anderzijds, de mossels zich van zelf in banden rangschikken. Mossels binnen de banden overleven veel beter dan de mossels die tussen de banden terecht gekomen, die een grotere kans hebben om opgegeten te worden of uit het bed los te slaan. Zo liggen ze toch in dichte matten, maar is door de open ruimte tussen de banden de totale dichtheid aan mossels niet zo hoog dat er niets meer te eten is. Door ophoping van slib onder de mosselbanden steken de banden boven het omliggende landschap uit, wat ook zorgt voor een betere voedselbeschikbaarheid voor de mossels. De vorm en de grootte van de bultstructuren bepalen de mate van het effect dat opstuwing heeft op menging en het omleiden van de stroming. Ook dit proces draagt bij aan de vorming van de bandpatronen.

Mosselbanken worden niet alleen gekenmerkt door bandpatronen. Binnen de banden vormen de mossels weer netachtige structuren, bestaande uit aan elkaar geklitte strengen van mossels. Deze kleinschalige patronen hebben een

heel andere oorsprong. Ze ontstaan doordat mossels actief samenklonteren en daardoor strengen vormen, die weer met elkaar een netwerkvormige structuur vormen. Deze patroonvorming is een heel ander proces, welke gestuurd wordt door de beweging van de mossels, in plaats van lokale verschillen in groei en sterfte.

Uit onderzoek blijkt dat de patronen, zowel de kleinschalige netwerkpatronen als de grootschalige bandpatronen, belangrijk zijn voor het functioneren van het mosselbank ecosysteem. Ze zorgen voor een meer veerkrachtig systeem wat beter bestand is tegen verstoringen zoals stormen, maar ook sneller hersteld na eventuele verstoringen. Het golfvende landschap wat de mossels vormen door de ophoping van slib onder de banden zorgt voor een zeer gevarieerd habitat waar vele soorten kun plaats in kunnen vinden. Zo stimuleert de patroonvorming binnen een mosselbank ook de biodiversiteit.

Literatuur

- Hunt HL & Scheibling RE (1996) Physical and biological factors influencing mussel (*Mytilus trossulus*, *M. edulis*) settlement on a wave-exposed rocky shore. *Mar Ecol Prog Ser* 142:135-145.
- Hunt HL & Scheibling RE (2002) Movement and wave dislodgment of mussels on a wave-exposed rocky shore. *Veliger* 45(4):273-277.
- Van de Koppel J, Rietkerk M, Dankers N, & Herman PMJ (2005) Scale-dependent feedback and regular spatial patterns in young mussel beds. *Am Nat* 165(3):E66-E77.
- Van de Koppel J, *et al.* (2008) Experimental Evidence for Spatial Self-Organization and Its Emergent Effects in Mussel Bed Ecosystems. *Science* 322(5902):739-742.
- Liu QX, *et al.* (2014) Pattern formation at multiple spatial scales drives the resilience of mussel bed ecosystems. *Nature communications* 5: Article number: 5234 doi:5210.1038/ncomms6234.
- Liu QX, Weerman EJ, Herman PMJ, Olff H, & van de Koppel J (2012) Alternative mechanisms alter the emergent properties of self-organization in mussel beds. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 279(1739):2744-2753.

(15) Structuur versterkt de 'benthisch-pelagische' koppeling

(29) Mosselbanken zijn een soort natuurlijke zuiverings-installatie

(30) Te hoge consumptie van algen kan negatief uitwerken voor de primaire productie

Theo Prins (Deltares), Norbert Dankers, Bert Brinkman, Aad Smaal (IMARES)

Mosselen op een mosselbank pompen grote hoeveelheden water door hun kieuwen. Voedsel in de vorm van plantaardig plankton wordt uitgefilterd en gegeten, maar een groot deel wordt met slib en organische deeltjes afgevoerd en als pseudofaeces onder de mosselen afgezet. Als water over een mosselbank stroomt pompen de mosselen zo veel dat al na enkele meters de hoeveelheid voedsel, algen, meetbaar is afgenomen. Verderop liggende mosselen hebben dus minder voedsel. Bij een redelijk vlakke bank is er weinig verticale menging van het water, en raakt het voedsel in de zg benthic boundary layer, de waterlaag dicht bij de bodem, uitgeput. De snelheid waarmee dat gebeurt is afhankelijk van de stroomsnelheid, de lengte van het traject over de mosselbank en de waterdiepte (Frechette *et al.* 1989). Als een bank meer structuur heeft ontstaat door wervelingen een betere menging (van Duren *et al.* 2006, Donker *et al.* 2013, Donker 2015). Ook golfwerking kan hier een rol bij spelen (Petersen *et al.* 2013). Zodoende komt ook voedsel uit de hogere waterlagen ter beschikking aan de mosselen en wordt de z.g benthisch –pelagische koppeling versterkt (Petersen *et al.* 2012). Omdat er ook weer opwerveling van pseudofaeces en slib kan optreden, heeft filtratie door een mosselbank vooral effect op de algenconcentraties, en in mindere mate op de concentraties van zwevende stof in het water (Prins *et al.* 1996).

Bij meer structuur zullen de individuele mosselen ook meer onder invloed staan aan stroming en golven en meer en steviger byssusdraden vormen (Kangeri et al 2014). Volgens Herlyn en Millat (2004) draagt verticale structuur bij aan de overlevingskansen van een mosselbank. Ook Linke (1954) noemt de relatie tussen leeftijd en hoogteverschillen. Hij noemde hoogteverschillen tot 1.8 m. In zijn onderzoek-gebied is de getijslag ruim 2.5 m. Het proces van voedselopname en productie van nutriënten is uitgebreid bestudeerd door metingen met tunnels die over mosselbanken geplaatst werden. Daarbij werden wa-termonsters genomen bij de in- en uitstroomkant. Door het verschil in samenstelling te meten kon bepaald worden wat de mosselen opnamen en produceerden. Dit type onder-zoek is uitgevoerd in de Nederlandse en Duitse Waddenzee, de Oosterschelde en de baai van Marennes-Oléron met, on-danks de zeer verschillende omstandigheden (oa getijampli-tude, troebeling), vergelijkbare resultaten. De algencconcen-tratie in het water daalde bij passage over de mosselbank, terwijl de concentraties van anorganische voedingsstoffen zoals ammonium en fosfaat toenamen (Dame & Dankers 1988, Prins & Smaal 1990, Dame et al. 1991, Asmus et al. 1992, Zurburg et al. 1994, Asmus et al. 1995, Prins et al. 1996). Niet alleen op de schaal van een mosselbank zijn er effecten van de mosselen op algen. Ook op een veel grotere schaal zijn er effecten door positieve en negatieve terugkoppelin-gen (Dame 2011). In veel ecosystemen met grote hoeveel-heden mosselen, zoals de Waddenzee of de Oosterschelde, is de “filtratietijd”, de tijd waarin de mosselen potentieel het gehele volume kunnen filtreren ongeveer gelijk aan de turn-over tijd (verdubbelingstijd) van het fytoplankton (Dame & Prins 1998). Dat betekent dat begrazing door de mosselen in dat soort systemen de hoeveelheid fytoplankton beperkt kan houden, een voorbeeld van negatieve terugkoppeling. Dit is vergelijkbaar met overbevissing in visserijterminologie. Ecosystemen met hoge dichtheden aan schelpdieren zijn hierdoor minder gevoelig voor de effecten van vermessing, zoals het optreden van algenbloeien door belasting met

stikstof en fosfaat (Officer et al. 1982, Prins et al. 1998); meer of minder toevoer van nutriënten betekent meer of minder filtreerders, terwijl het fytoplanktongehalte veel minder verandert; een beeld dat door modelstudies ondersteund wordt (Brinkman, 2012). De begrazing kan er ook toe leiden dat er veranderingen optreden in de algensamenstell-ing, doordat snel groeiende soorten of algensoorten die te klein zijn om effectief gefiltreerd te worden door mos-selen, een verhoudingsgewijs groter aandeel krijgen in de algengemeenschap (Prins et al. 1995, Prins et al. 1998). Algen worden passief door het water getransporteerd en zijn daarom gevoelig voor filtratie door schelpdieren. Er zijn echter aanwijzingen dat filtratie, weliswaar in mindere mate, ook effecten kan hebben op zooplankton, en zelfs op larven van de schelpdieren zelf. Die filtratiedruk op larven is groot genoeg om het ‘natuurlijk’ verlies van schelpdierlarven in de pelagische fase te verklaren. (Kimmerer et al. 1994, Vooy 2000, Prins & Escaravage 2005, Troost et al. 2009, Greene et al. 2011). Er is ook een positieve terugkoppeling, doordat mosselen de beschikbaarheid van nutriënten verhogen wat een positief effect kan hebben op de groei van algen (Prins et al 1995). Die verhoogde beschikbaarheid van nutriënten wordt veroorzaakt door verhoogde microbiële activiteit (Dittman 1990, Kröncke 1996, Dankers et al. 1989), de afbraak van organisch materiaal dat ophoopt in een mosselbank (faeces en pseudofaeces) waardoor grote hoeveelheden nutriënten vrijkomen uit het sediment, door directe uitscheiding door de mosselen zelf, maar ook doordat de mosselen de hoeveelheid algen beperken en daarmee voorkomen dat nutriënten worden vastgelegd in algenbiomassa (Prins et al. 1998). Door oplossen van de diatomeeënfrustules komt ook weer silicaat vrij, maar dat proces is niet biochemisch van aard en verloopt trager. Deze voedingsstoffen zijn dan weer beschikbaar voor productie door algen. Mosselen gebruiken zuurstof voor hun ademhaling. De bac-teriën in het sediment onder hen ook. Uit metingen blijkt dat het zuurstofverbruik onder van een mosselbank vele

malen hoger is dan wat de mosselen kunnen verbruiken. Daaruit kan geconcludeerd worden dat het belang van bacteriën in de zuiveringsfunctie veel hoger is dan die van de mosselen an sich (Dankers et al. 1989). Organisch materiaal dat met het pseudofaeces bezinkt komt daar in een omgeving die door de afwisseling van zuurstofrijke en zuurstof arme situaties zeer geschikt is (Henriksen & Kemp 1988, Lohse et al. 1993; Herbert, 1999) om organisch materiaal af te breken en het verwijderen van stikstof verbindingen en deze om te zetten in stikstof. Deze zuiveringsfunctie is een belangrijke ecosysteemdienst.

De combinatie van filtratie en teruglevering van nutriënten zorgen voor een sterke benthisch-pelagische koppeling en sterke invloed van de bodemdieren op de waterkolom. Veel studies naar de effecten van grote veranderingen in dichtheden van schelpdieren in ecosystemen, door invasies, herintroducties of verdwijnen wijzen op sterke veranderingen op ecosysteem niveau die volgen op veranderingen in schelpdierdichtheden (Newell 2004, Petersen *et al.* 2008). Schelpdieren worden daarom ook wel gezien als leveranciers van een belangrijke ecosysteemdienst (zu Ermgassen *et al.* 2012, La Peyre *et al.* 2014).



Veldwerk met tunnels onder zeer verschillende omstandigheden

Literatuur

- Asmus, H., R.M. Asmus, T.C. Prins, N. Dankers, G. Francès Zubillaga, B. Maass & K. Reise (1992). Benthic-pelagic flux rates on mussel beds: tunnel and tidal flume methodology compared. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 46: 341-361.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF02367104>
- Asmus, H., R.M. Asmus & G. Francès Zubillaga (1995). Do mussel beds intensify the phosphorus exchange between sediment and tidal waters? *Ophelia* 41: 37-55.
- Dame, R., N. Dankers, T. Prins, H. Jongsma & A. Smaal (1991). The influence of mussel beds on nutrients in the western Wadden Sea and Eastern Scheldt estuaries *Estuaries* 14: 130-138.
- Dame, R.F. & N. Dankers (1988). Uptake and release of materials by a Wadden Sea mussel bed. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 118: 207-216.
- Dame, R.F. & T.C. Prins (1998). Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems. *Aquatic Ecology* 31: 409-421.
- Dame, R.F. (2011). *Ecology of marine bivalves: an ecosystem approach, 2nd edition*. Boca Raton, FL, CRC Marine Science. 283 pp.
- Dankers, N., R. Dame & K. Kersting 1989. The oxygen consumption of mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *Scient. Mar.* 53: 473-476.
- Dittman, S. (1990) Mussel beds – amensalism or amelioration for intertidal fauna. *Helgoländer Meeresunters* 44: 335-352
- Donker JJA, van der Vegt M, Hoekstra P. (2013) Wave forcing over an intertidal mussel bed. *Journal of Sea Research* 82,54-66
- Donker JJA (2015) Hydrodynamic processes and the stability of intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea. Thesis, Departement fysische geografie, faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Frechette, M., C.A. Butman & W.R. Geyer (1989). The importance of boundary-layer flows in supplying phytoplankton to the benthic suspension feeder, *Mytilus edulis* L. *Limnology & Oceanography* 34: 19-36.
- Greene, V.E., L.J. Sullivan, J.K. Thompson & W.J. Kimmerer (2011). Grazing impact of the invasive clam *Corbula amurensis* on the microplankton assemblage of the northern San Francisco Estuary. *Marine Ecology Progress Series* 431: 183-193.
- Herbert, R.A. (1999), Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, 23: 563-590.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6976.1999.tb00414.x>
- Henriksen, K. and Kemp, W.M. (1988) Nitrification in estuarine and coastal marine sediments. In: Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments (Blackburn, T.H. and Sorensen, J., Eds.), pp. 207-249. John Wiley and Sons, New York
- Herlyn, M. & G. Millat 2004. Wissenschaftliche Begleituntersuchungen zur Aufbauphase des Miesmuschelmanagements im Nationalpark 'Niedersächsisches Wattenmeer'. Niedersächsische Wattenmeerrstiftung. Project Nr. 32/98. Abschlussbericht März 2004 pp226 (und Anlage pp 43)
- Kimmerer, W.J., E. Gartside & J.J. Orsi (1994). Predation by an introduced clam as the likely cause of substantial declines in zooplankton of San Francisco Bay. *Marine Ecology Progress Series* 113: 81-94.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2013.06.001>
- Kangeri AK wa, JM Jansen, BR Barkman, JJA Donker, DJ Joppe, NMJA Dankers (2014) Perturbation induced changes in substrate use by the blue mussel, *Mytilus edulis*, in sedimentary systems. *Journal of Sea Research* 85: 233-240
- Kröncke, I. 1996. Impacts of biodeposition on macrofaunal communities in intertidal sandflats. In: P.C. Dworschak, M. Stachowittsch & J.A. Ott (Eds), Influence of organisms on their environment. The role of episodic events. Proc. 29th EMBS Vienna. P.S.Z.N.I: Marine Ecology, 17: 159- 174
- La Peyre, M.K., A.T. Humphries, S.M. Casas & J.F. La Peyre (2014). Temporal variation in development of ecosystem services from oyster reef restoration. *Ecological Engineering* 63: 34-44.
- Linke O (1954) Die Bedeutung der Miesmuscheln für die Landgewinnung im Wattenmeer. *Natur und Volk* 84:253-261
- Lohse L, Malschaert JFP, Slomp CP, Helder W, van Raaphorst W. (1993) Nitrogen cycling in North Sea sediments: interaction of denitrification and nitrification in offshore and coastal areas. *Mar Ecol Prog Ser* 101: 283-296
- Newell, R.I.E. (2004). Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: a review. *Journal of Shellfish Research* 23: 51-61.
- Officer, C.B., T.J. Smayda & R. Mann (1982). Benthic filter feeding: a natural eutrophication control. *Marine Ecology Progress Series* 9: 203-210.
- Petersen, J.K., J.W. Hansen, M.B. Laursen, P. Clausen, J. Carstensen & D.J.

- Conley (2008). Regime shift in a coastal marine ecosystem. *Ecological Applications* 18: 497-510.
- Petersen, J.K., M. Maar, F. Møhlenberg & J.E.N. Larsen (2012). Benthic grazing impact: Coupling and uncoupling in relation to physical forcing. *Marine Ecology Progress Series* 463: 127-139.
<http://dx.doi.org/10.3354/meps10444>
- Petersen, J.K., M. Maar, T. Ysebaert & P.M.J. Herman (2013). Near-bed gradients in particles and nutrients above a mussel bed in the Limfjorden: influence of physical mixing and mussel filtration. *Marine Ecology Progress Series* 490: 137-146.
- Prins, T.C. & A.C. Smaal (1990). Benthic-pelagic coupling: the release of inorganic nutrients by an intertidal bed of *Mytilus edulis*. In: *Trophic relationships in the marine environment*. M. Barnes en R. Gibson. Aberdeen, Aberdeen University Press: 89-103.
http://www.researchgate.net/profile/Theo_Prins/publication/249994040_Benthic-pelagic_coupling_the_release_of_inorganic_nutrients_by_an_intertidal_bed_of_Mytilus_edulis/links/53db71810cf2a19eee8b77f5.pdf
- Prins, T.C., V. Escaravage, A.C. Smaal & J.C.H. Peeters (1995). Nutrient cycling and phytoplankton dynamics in relation to mussel grazing in a mesocosm experiment. *Ophelia* 41: 89-315.
<http://dx.doi.org/10.1080/00785236.1995.10422049>
- Prins, T.C., A.C. Smaal, A.J. Pouwer & N. Dankers (1996). Filtration and resuspension of particulate matter and phytoplankton on an intertidal mussel bed in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands) *Marine Ecology Progress Series* 142: 121-134.
- Prins, T.C., A.C. Smaal & R.F. Dame (1998). A review of the feedbacks between bivalve grazing and ecosystem processes. *Aquatic Ecology* 31: 349-359.
- Prins, T.C. & V. Escaravage (2005). Can bivalve suspension feeders affect pelagic food web structure? In: *The Comparative Roles of Suspension-Feeders in Ecosystems*. R.F. Dame en S. Olenin. Dordrecht, Springer: 31-51.
- Troost, K., E. Gelderman, P. Kamermans, A.C. Smaal & W.J. Wolff (2009). Effects of an increasing filter feeder stock on larval abundance in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands). *Journal of Sea Research* 61: 153-164. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2008.11.006>
- van Duren, L.A., P.M.J. Herman, A.J.J. Sandee & C.H.R. Heip (2006). Effects of mussel filtering activity on boundary layer structure. *Journal of Sea Research* 55: 3-14.
- Voors, C. de 2000. Numbers of larvae and primary plantigrades of the mussel *Mytilus edulis* in the Dutch Wadden Sea. *J. Sea Res.* 41: 189-202
- zu Ermgassen, P.S.E., M.D. Spalding, R.E. Grizzle & R.D. Brumbaugh (2012). Quantifying the loss of a marine ecosystem service: Filtration by the Eastern Oyster in US estuaries. *Estuaries and Coasts* 36: 36-43.
- Zurburg, W., A. Smaal, M. Héral & N. Dankers (1994). Seston dynamics and bivalve feeding in the Bay of Marennes-Oléron (France). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 459-466.

(11) Vestigende larven hebben geschikt substraat nodig

(12) De initiële vestiging is een cruciale fase

(19) Substraat is een belangrijke overlevingsfactor voor elke individuele mossel

(46) Aan elkaar gehechte mosselen zorgen voor stevigheid

(47) Mosselen wapenen zich effectief tegen verstoring

Norbert Dankers, Arno Kangeri, (Imares); Jasper Donker (Universiteit Utrecht)

De initiële vestiging of “settlement” wordt gedefinieerd als het verdwijnen van volgroeide larven uit de plankton-gemeenschap en hechten aan substraat (Bayne 1965). In eerste instantie worden draadvormige substraten geprefereerd, en daarna laten ze soms weer los en zoeken hard substraat (Bayne, 1964, Blok & Geelen, 1958), maar ook directe vestiging op hard substraat komt voor (McGrath et al. 1988, Lutz & Kennish, 1992).

Hard substraat zoals strandhoofden, pieren of dijken zijn in de Waddenzee beperkt beschikbaar. Bestaande mossel- of oesterbanken komen wel voor en staan bekend om de regelmatige vestiging van mosselbroed (Diederich, 2005). In de Waddenzee valt ook veel broed op kokers van schelpkokerworm, macroalgen en zeegras (Verwey 1952; Linke 1954; Blok & Geelen 1958; Hertweck 1993, 1995; Flemming and Delafontaine 1994; Meixner 1995; Pulfrich 1995, 1996). Bij zeer goede broedvallen ontstaan mosselbanken ook op zandige ondergrond (Pers. com., J. Beukema, P. Dare).

De fysische omstandigheden moeten wel zodanig zijn dat zowel het substraat als de net gevestigde larven voldoende

stabiliteit hebben om te blijven liggen totdat de mosseltjes hun eigen stabiele ondergrond gevormd hebben. Als het substraat bestaat uit rollend zand of bewegende schelpen is blijvende vestiging onmogelijk.

Daarom lijkt golfslag een belangrijke variabele die bepaalt waar wel en geen vestiging op kan treden (Brinkman, 2002). Het bodem-beroerende effect van golfslag is in het hoger gelegen intergetijde gebied sterker dan dat van (getij)-stromingen (Donker et al. 2013). Golfslag is met name in de westelijke delen van de Nederlandse Waddenzee hoog en zorgt daar voor een beperking van de vestiging (Donker, 2015). Ook organismen die de bodem omwoelen (zg bioturbateurs zoals bijvoorbeeld Wadpieren) kunnen overleving onmogelijk maken (Reise 2001, Bouma et al. 2009)

Als de eerste vestiging is geslaagd staan de zeer kleine schelpdieren onder invloed van predatie waarbij vooral garnalen en larven van bodemvis belangrijk zijn (Reise 1977, Heide et al, 2014). Als ze die druk overleven dan moeten ze zich verder zien te handhaven (Commito & Dankers (2001). In dit stadium hechten de mosseltjes zich aan oa. schelpfragmenten in en op de bodem en aan andere mosselen. De hechtmogelijkheden die de mosselen kiezen voor verankering worden grotendeels bepaald door de hoeveelheid stress die ze ondervinden, met name stroming en golfslag. Wanneer er veel stress is, b.v aan de randen van een bank of in ondiepe locaties kiezen de mosselen voor grotere schelpfragmenten. Wanneer er minder stress is kiezen de mosselen de meest voordhand liggende oppervlakken, inclusief andere mosselen (wa Kangeri et al. 2014, wa Kangeri et al. In prep A).

De mosselen vormen vanaf het moment dat ze zich vestigen een sliplaag die de schelpdeeltjes begraaft. Consolidatie van deze sliplaag verankert deze deeltjes waardoor de ankerpunten van de mosselen ook sterker worden. De dichtheid van mosselen kan een zeer groot effect hebben op hoe de mosselbank structuur zich ontwikkelt. Bij een zeer grote

dichtheid aan mosselen bestaat bieden ze elkaar beschutting tegen stroming en golfslag (Moesser et al, 2006, Carrington et al. 2008). Wanneer dit gebeurt ontstaat er een situatie waarin, zelfs bij veel golfslag, de mosselen er weinig last van hebben en minder moeite doen om sterke verankeringen aan schelpen in de bodem te maken. Ze maken dan gebruik maken van de meest voordehand liggende mogelijkheid en hechten aan elkaar. Deze structuur ligt dan relatief los op de slijkkige of kleiige ondergrond en is gevoelig voor erosie doordat ze als een aaneengesloten mat opgerold kunnen worden als de ondergrond enigszins erodeert. Wanneer mossel bedekking extreem hoog is, beschermt de mossel laag de bodem en dus zichzelf van erosie. In de sedimentologie wordt dit "armouring" genoemd als bijvoorbeeld en laagje schelpen op een zandbodem ervoor zorgt dat erosie niet optreedt terwijl dat bij de korrelgrootte van het zand wel verwacht wordt. Waar de mosselbedekking lager is en er randen of gaten ontstaan (fig. C) schuurt de water de ondergrond onder de mosselen weg (fig B) en erodeert de bank sneller (Widdows et al. 2002, wa Kangeri et al. In prep B.).

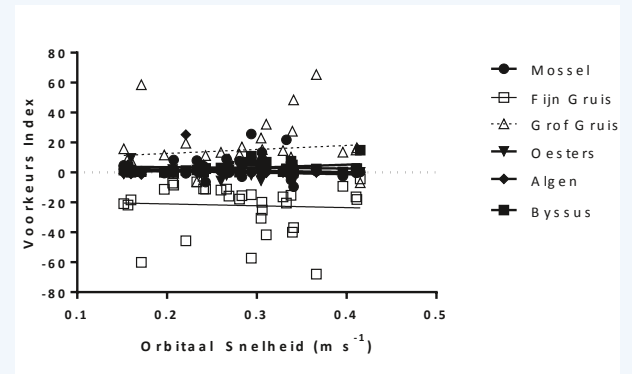


Fig A. Mossel voorkeur voor hechttings substraat. Positieve waarden duiden op voorkeur (uit wa Kangeri et al. in prep.).

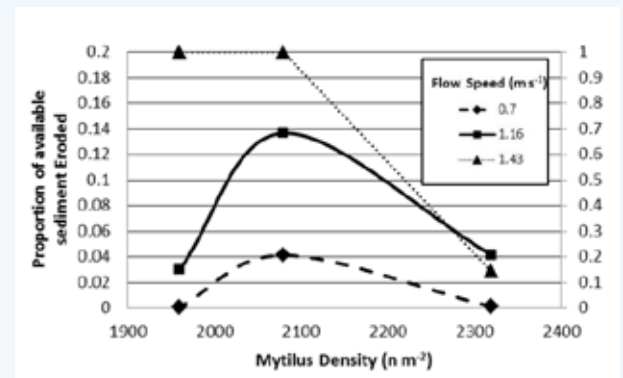


Fig B. Mosselbank erosie onder verschillende stroom snelheden en bank dichtheden. Maximale erosie vindt plaats bij gemiddelde dichtheden waar kleine gaten in de bankstructuur leiden tot verhoogde turbulentie. Water schuurt het sediment onder de mosselen uit en leidt tot destabilisatie van de bank. Fractie geërodeerde ondergrond onder stroomsnelheden van 1.43 ms^{-1} wordt op de rechter y-as aangeduid. (Uit wa Kangeri et al. In prep B.).



Fig C. Verschillende mossel dichtheden en bedekking (hoog links, laag rechts) in een mosselbank op de plaat Roode Hoofd onder Schiermonnikoog.

In de Waddenzee kan geschikt substraat beïnvloed worden door visserij. Dit onderdeel wordt specifiek behandeld onder de kop “Menselijke activiteiten”.

Literatuur

- Bayne BL (1964) Primary and secondary settlement in *Mytilus edulis* L. (Mollusca). J Anim Ecol 33:513–523
- Bayne BL (1965) Growth and delay of metamorphosis of the larvae of *Mytilus edulis* (L.). Ophelia 2:1–47
- Blok de JW, Geelen HJFM (1958) The substratum required for the settling of mussels (*Mytilus edulis* L.). Arch Neerl Zool 8(suppl): 446–460

- Bouma T.J., Olenin, S. Reise, K. & Ysebaert, T. (2009) Ecosystem engineering and biodiversity in coastal sediments: posing hypotheses. Helgol Mar Res (2009) 63:95–106
<http://dx.doi.org/10.1007/s10152-009-0146-y> 123
- Brinkman AG, Dankers N, Van Stralen M (2002) An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. Helgol Mar Res 56:59–75
<http://dx.doi.org/10.1007/s10152-001-0093-8>
- Brinkman AG, Dankers N, Van Stralen M (2002) An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. Helgol Mar Res 56:59–75
- Carrington, E., Moeser, G.M., Thompson, S.B., Coutts, L.C., Craig, C.A., 2008. Mussel attachment on rocky shores: the effect of flow on byssus production. Integr. Comp. Biol. 48, 801–807.
- Commuto, J.A. & N. Dankers 2001. Dynamics of spatial and temporal Complexity in European and North American Soft-Bottom Mussel beds. In: Reise, K. (ed) Ecological comparisons of sedimentary shores. Ecological studies, Vol. 151: 39–59. Springer, Berlin Heidelberg.
- Diederich, S. Differential recruitment of introduced Pacific oysters and native mussels at the North Sea coast: coexistence possible? 2005. Journal of Sea Research 53: 269–281
- Donker JJA, van der Vegt M, Hoekstra P. (2013) Wave forcing over an intertidal mussel bed. Journal of Sea Research 82, 54–66
- Donker JJA (2015) Hydrodynamic processes and the stability of intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea. Thesis, Departement fysische geografie, faculteit Geowetenschappen, Universiteit Utrecht.
- Flemming BW, Delafontaine MT (1994) Biodeposition in a juvenile mussel bed of the East Frisian Wadden Sea (southern North Sea). Neth J Aquat Ecol 28:289–297
- Hertweck G (1993) Zeitliche Variabilität und räumliche Inhomogenität in den Substrateigenschaften und der Zoobenthosbesiedlung im Umfeld von Miesmuschelbänken. A: Biofazies und Aktuopaläontologie. Senckenberg am Meer, Bericht 93/1:49–63
- Hertweck G (1995) Verteilung charakteristischer Sedimentkörper und Benthosbesiedlungen im Rückseitenwatt der Insel Spiekeroog, südliche Nordsee. I Ergebnisse der Wattkartierung 1988–1992. Senckenbergiana marit 26:81–94
- Linke O (1954) Die Bedeutung der Miesmuscheln für die Landgewinnung im Wattenmeer. Natur und Volk 84:253–261
- Lutz RA, Kennish MJ (1992) Ecology and morphology of larval and early

- postlarval mussels. In: Gosling E (eds) The mussel *Mytilus*: ecology, physiology, genetics and culture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, vol. 25. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp 53–85
- McGrath, D., King, P. A., Gosling, E. M. (1988). Evidence for direct settlement of *Mytilus edulis* larvae on adult mussel beds. Mar. Ecol. Prog. Ser. 47: 103-106
- Maas Geesteranus RA (1942) On the formation of banks by *Mytilus edulis* L. L Arch Neerl Zool 6:283–326
- Meixner R (1995) Zeitweilige Schillzunahme als Voraussetzung starker Miesmuscheljahrgänge. Inf Fischwirtsch 42:62–65
- Moeser, G.M., Leba, H., Carrington, E., 2006. Seasonal influence of wave action on thread production in *Mytilus edulis*. Journal of Experimental Biology 209, 881-890.
- Pulfrich A (1995) Reproduction and recruitment in Schleswig Holstein Wadden Sea edible mussel (*Mytilus edulis* L.) populations. Thesis, Inst. f. Meereskunde, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Germany
- Pulfrich, A., 1996. Attachment and settlement of post-larval mussels (*Mytilus edulis* L.) in the Schleswig-Holstein Wadden Sea. J. Sea Res. 36, 239–250.
- Reise K. 1977. Predator exclusion experiments in an intertidal mud flat. Helgoländer wiss. Meeresunters. 30, 263-271 (1977)
- Reise, K. (ed) (2001) Ecological comparisons of sedimentary shores. Ecological studies, Vol. 151: 39- 59. Springer, Berlin Heidelberg.
- Heide, T. van der, Tielens, E., van der Zee, E.M., Weerman, E.J., Holthuijsen, S., Eriksson, B.K., Piersma, T., van de Koppel, J., Olff, H., 2014. Predation and habitat modification synergistically interact to control bivalve recruitment on intertidal mudflats. Biological Conservation 172, 163-169.
- Widdows, J., Lucas, J., Brinsley, M., Salkeld, P., Staff, F., 2002. Investigation of the effects of current velocity on mussel feeding and mussel bed stability using an annular flume. Helgoland Marine Research 56, 3-12.
- wa Kangeri, A.K., Jansen, J.M., Barkman, B.R., Donker, J.J.A., Joppe, D.J., Dankers, N.M.J.A., 2014. Perturbation induced changes in substrate use by the blue mussel, *Mytilus edulis*, in sedimentary systems. Journal of Sea Research 85, 233-240.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2013.06.001>
- wa Kangeri, A.K, Alvarez-Fernandez, S., Silva C.I.F., Donker, J.J.A., Jansen, J. M., Joppe, D. J., Dankers, N.M.J.A., In Prep. A. Behavioral Zonation, Byssus Production and Adhesion Strength in *Mytilus edulis* (L.) in Sedimentary habitats; The effect of the non-native Oyster, *Crassostrea gigas* (T.).
- wa Kangeri, A.K, Jansen, J. M., Joppe, D. J., Dankers, N.M.J.A., In Prep. B. In Situ Investigation of the Effects of Current Velocity on Sedimentary Mussel Bed Stability.

(21) In de bodem onder een mosselbank zijn vaak resten te vinden van eerdere banken

(28) Mosselbanken kunnen het omliggend wad mee laten stijgen

Norbert Dankers (IMARES)

Het is een bekend verschijnsel dat op een mosselbank af en toe zo'n grote broedval optreedt dat de oude mosselen verstikt worden door het slib dat de jonge mosselen produceren. Ook op mosselkweekpercelen wordt dit soms als een probleem gezien.

De "nieuwe" bank hoogt zich weer op door consolidatie en invang van sediment. Resten van de oude bank zijn dan terug te vinden onder bestaande banken (zie blz 46 van het hoofdrapport).

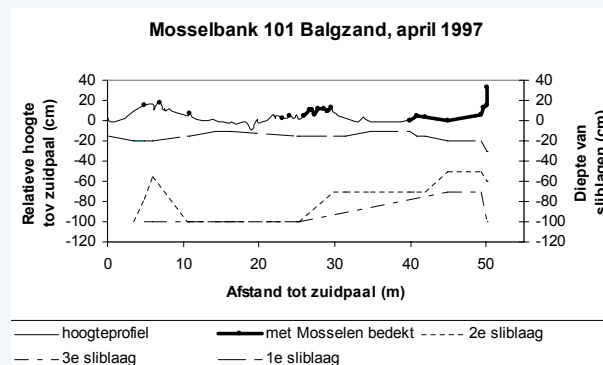
Op meerdere mosselbanken zijn raaien ingemeten voor oa samenstelling, structuur en stabiliteit (Dankers et al. 2004). Door met een aluminium buis door de bank te prikken kan gevoeld worden op welke diepte in het opgebouwde sediment harde lagen zitten. Door het nemen van boorkernen met een 7 cm steekbuis werd geverifieerd dat het om schelpen ging. Onderstaande tekst en figuren zijn overgenomen uit Dankers et al (2004) en geven een aantal van die metingen.

Uit de slibdiktemeting bleek dat soms meerdere oude harde lagen tussen het oppervlak en de onderliggende zandbodem voorkwamen. De lag was voelbaar met een prikstok, maar het is niet bekend of de betreffende laag bestond uit schelpmateriaal of zand. De resultaten zijn gepresenteerd voor de verschillende banken. De metingen werden verricht langs de standaard raaien. Omdat niet altijd op exact dezelfde plek werd gemeten werd soms een van de lagen niet opgemerkt of was niet aanwezig. Als de laag een rest is van een eerdere mosselbank, dan is het aannemelijk dat ook toen sprake is geweest van patches en tussenliggende open ruimten waar

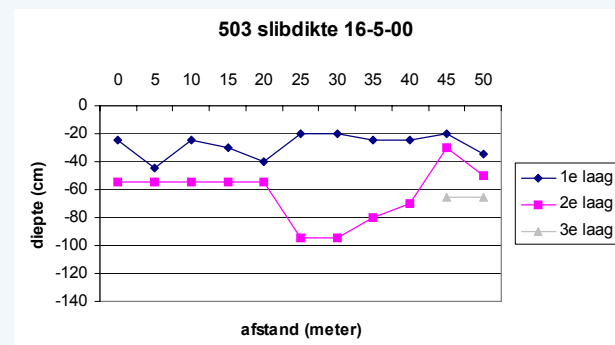
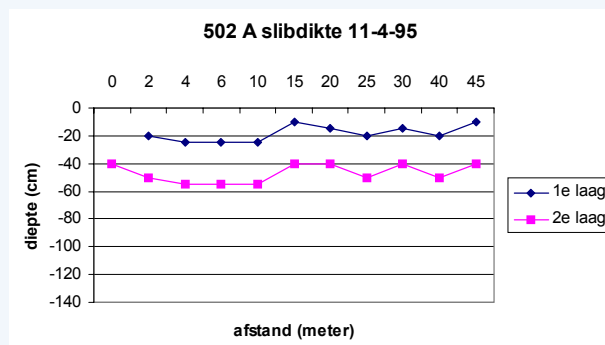
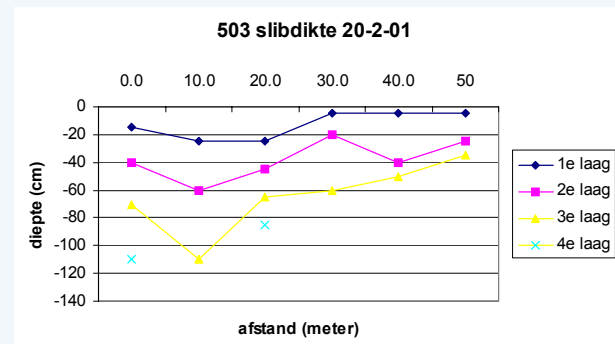
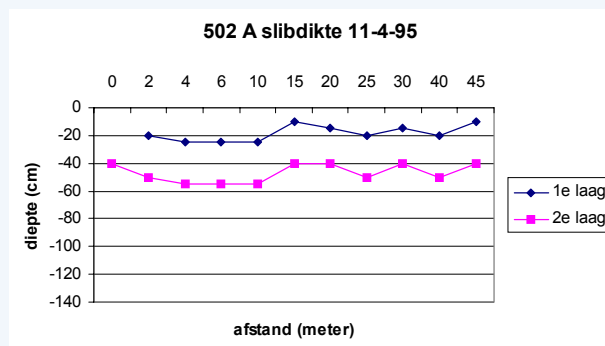
geen schelp laag aanwezig is. De onderste laag geeft nageenog altijd de oorspronkelijke zandbodem aan.

Bank 101

In Figuur 413 Schelpenlagen van oude mosselbanken onder bestaande bank op het Balgzand is het oppervlakteprofiel met onderliggende harde lagen weergegeven. De getrokken lijnen zijn interpretaties. Omdat in latere jaren het oppervlakteprofiel niet is gemeten zijn alle verdere figuren gebaseerd op de diepte ten opzichte van het oppervlak van de mosselbank, dat als horizontaal op 0.0 is weergegeven. Het patroon is niet eenduidig, maar er lijkt zich een laag op 20 cm en 40 cm te bevinden, en de oorspronkelijke bodem op ruim 1 m.



Figuur 413 Schelpenlagen van oude mosselbanken onder bestaande bank op het Balgzand



Figuur 414a Harde lagen onder een mosselbank bij Ameland

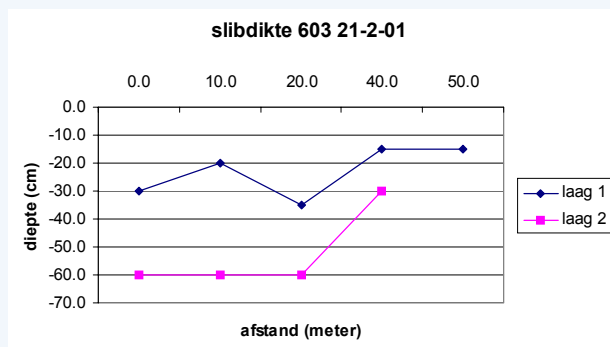
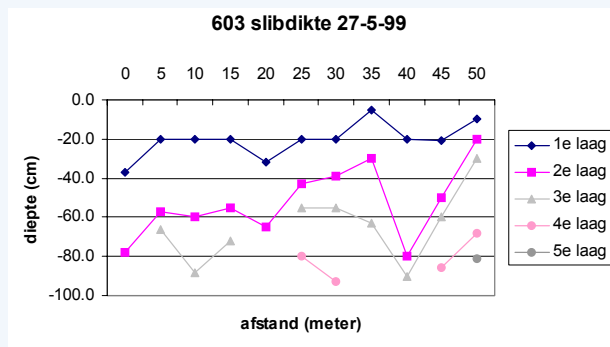
Figuur 414b Harde lagen onder een mosselbank bij Ameland

Bank 503

De harde ondergrond bevindt zich gedurende de gehele meetperiode op 40-100 cm diepte (Figuur 414 a-c). In het eerste jaar is sprake van mosselruggen waardoor de eerste harde laag op variabele diepte voorkomt. Later wordt het bankoppervlak vlakker, en bevindt de eerste harde laag zich op ongeveer 20 cm diepte.

Bank 603

Het broed is in 1996 gevallen op de oude bank van 1994. Die laag blijft herkenbaar. In 1997 is er nauwelijks slib onder de jonge mosselen aanwezig, en bevindt zich een harde zandlaag op 40 cm diepte. Daarna hoogt de bank op met 20-30 cm en waardoor de harde ondergrond op 60-80 cm diepte komt te liggen (Figuur 414).



Figuur 414c Harde lagen onder een mosselbank bij Schiermonnikoog

De onderste harde laag is de oorspronkelijke zandbodem waarop de eerste mosselbank zich ontwikkelde. Deze bevindt zich tussen 60 en 100 cm onder het huidige oppervlak van de mosselbank. Toch steken deze banken niet zo hoog boven het omliggend wad uit. Het is dus aannemelijk dat de hele wadplaat in de omgeving van de mosselbank verhoogd is. Omdat de bovenkant van mosselbanken over het algemeen niet of nauwelijks boven NAP uitkomt is het aannemelijk dat de oorspronkelijke bank ontstaan is rond of weinig boven het laagwaterniveau. Indien deze waarneming en hypothese klopt dan is het interessant dit verder te onderzoeken in verband met het mogelijke belang van mosselbanken in de sedimenthuishouding van wadplaten op

een grotere schaal dan de mosselbank zelf.

Op een aantal banken van verschillende leeftijden (Nederland, Duitsland en Denemarken) werden profielen gestoken om de opbouw van de bank te onderzoeken. Dit onderzoek is opgezet in samenwerking met de RUU. De profielen zijn geanalyseerd en beschreven. De resultaten zijn nog niet gerapporteerd maar de data zijn opgeslagen bij IMARES. Vaak kwamen verschillende lagen van oudere banken boven elkaar voor. Uit vergelijkbaar onderzoek in Duitsland bleek uit de lengtes van de mosselen in de verschillende lagen dat banken tientallen jaren oud moesten zijn (Hertweck & Liebezeit 1996, 2002).

Literatuur

- Dankers, N., A. Meijboom, M. de Jong, E. Dijkman, J. Cremer & S. van der Sluis 2004. Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Alterra Rapport 921 114pgs
- Hertweck, G. & G. Liebezeit 1996. Biogenic and geochemical properties of intertidal biosedimentary deposits related to *Mytilus* beds. In : Dworschack, P.C., M. Stachowitsch & J.a. Ott (eds) Influences of organisms on their environment: the role of episodic events. Proc. 29th EMBS Vienna 1994 Blackwell, Vienna 131-144
- Hertweck, G. & G. Liebezeit 2002. Historic mussel beds (*Mytilus edulis*) in the sedimentary record of a back-barrier tidal flat near Spiekeroog Island, southern North Sea. Helg. Mar. Res (2002) 56:51-58

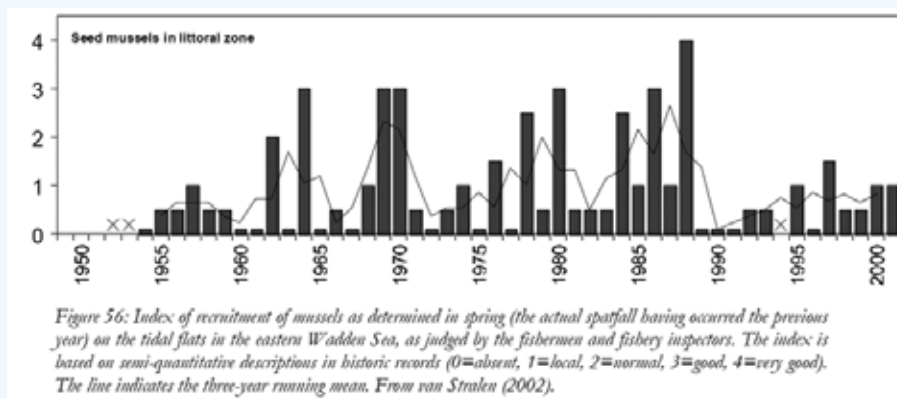
(22) Mosselbanken komen na verdwijning regelmatig terug op nage-
noeg dezelfde plaatsen. Dat noemen we mosselgebieden

Norbert Dankers, Karin Troost (IMARES)

Hoewel de Waddenzee gezien kan worden als een, zowel temporeel als ruimtelijk, dynamisch systeem is de verspreiding van mosselbanken ruimtelijk gezien verbazingwekkend constant. Een kaart met de huidige locaties is vergelijkbaar met de kaart die Dijkema (Dijkema et al. 1989) maakte op basis van luchtfoto's uit de periode 1969-1976 (Dankers & Koelemaij, 1989; Obert & Michaelis, 1991; Nehls & Thiel, 1993; Nehls et al., 1997; Brinkman et al., 2002). Ook in het verdere verleden werd geconcludeerd dat mosselbanken zich ontwikkelen tot complexe levensgemeenschappen met lange termijn plaatstrouwheid (Linke 1939, 1954). Dankers et al. (2003) geven in bijlage IV van hun rapport ook voorbeelden van langdurige aanwezigheid. In twee Quality Status Rapporten (CWSS 2002 en De Vlas et al. 2005) worden locaties "where mature mussel beds (one or more) occur regularly over several years" aangeduid als "stable sites". Ruth (1994) gaat er van uit dat alleen zeer drastische veranderingen in abiotiek deze plekken ongeschikt kunnen maken voor lange termijn ontwikkeling van mosselbanken.

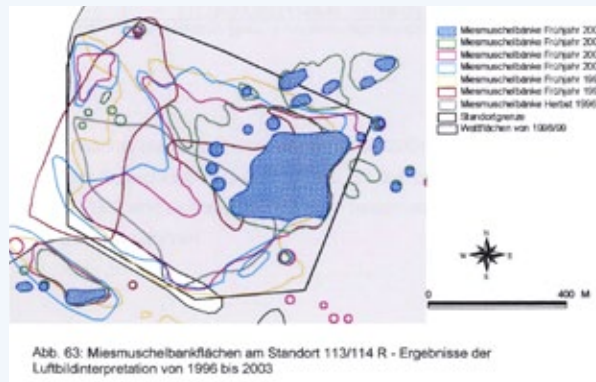
Hoewel de huidige toestand wat betreft mosselbanken niet door iedereen als positief wordt beoordeeld zijn er toch aanwijzingen dat met enige regelmaat goede broedvallen (jonge mosselbanken die de eerste winter overleven) voorkomen. Uit het verleden is daarover anecdotische informatie beschikbaar (zie onderstaande figuur) en ook uit rapporten van de jaarlijkse inventarisaties sinds 1995 is duidelijk dat goede broedvallen nog steeds voorkomen (fig 13 blz 62 hoofdrapport). Een jaarlijkse kartering van mosselbanken, in het bijzonder zaadbanken, is belangrijk om aan te kunnen geven of bepaalde delen van het wad specifiek geschikt zijn voor bescherming.

Wat betreft het karteren van (potentieel) mosselbankecotoop en de daarmee samenhangende natuurwaarden is het belangrijk om naast kaarten met het huidige voorkomen van mosselbanken (van verschillende leeftijden) ook gebieden met een hoge potentie voor het ontwikkelen van mosselbanken op te nemen. Daarvoor kunnen habitatgeschiktheidskaarten gebruikt worden zoals ontwikkeld door Brinkman en Bult (2003). Deze kaarten zijn geconstrueerd middels modellen die ontwikkeld zijn op basis van historische voorkomens van mosselbanken en gegevens over abiotiek. Deze kaarten laten een grote overeenkomst zien tussen de meest geschikte locaties voor het voorkomen van mosselbanken,

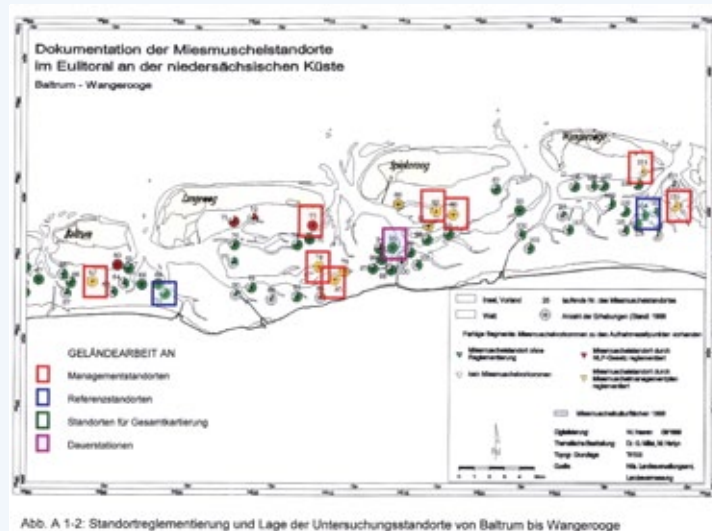


en de locaties waarop met grote regelmaat daadwerkelijk mosselbanken zijn aangetroffen. Er zijn ook locaties die volgens de habitatgeschiktheidskaart een hoge potentie hebben voor voorkomen van mosselbanken, maar waar in de praktijk vrijwel nooit mosselen worden aangetroffen. Dit duidt erop dat nog niet alle sleutelfactoren voor ontstaan en overleving bekend zijn en/of in de modellen zijn opgenomen.

Een andere mogelijkheid is om aan te geven waar zich in het verleden mosselbanken min of meer langdurig bevonden hebben. Deze gebieden zouden dan potentieel geschikt zijn voor de vestiging en overleving van mosselbanken. In Duitsland is deze benadering uitgewerkt door Herlyn & Millat (2004). Het gaat daarbij niet om de exacte plaats waar zich in een bepaald jaar een mosselbank bevindt, maar over het gebied waar zich over een aantal jaren gezien delen van een bank bevonden hebben. Het komt namelijk regelmatig voor dat een deel van een bank tijdelijk afwezig is of zo weinig mosselen bevat dat er volgens de gangbare definities geen sprake is van een mosselbank. In Duitsland worden dergelijke delen "Miesmuschelstandort" genoemd. In de ecologische atlas van de Waddenzee (Dankers et al. 2007) die gebaseerd is op kartering van ecotopen zijn worden ze "mosselgebieden" genoemd. Ook kan worden uitgegaan van specifieke banken die al dan niet aanwezig zijn, maar in verschillende jaren ook sterk in oppervlak kunnen variëren. Deze kunnen worden weergegeven in de vorm van zogenaamde puntenkaarten waarbij de grootte van de punt een maat is voor het aantal waarnemingen (fig 4 in Dankers et al. 2003). In Duitsland werd een vergelijkbare presentatie gekozen in de bijlage van Herlyn & Millat (2004). In die rapportage geven ze niet alleen het aantal keren dat binnen een mosselgebied de betreffende bank aanwezig was maar ook kaarten met omtrek van tracks van de bank in de jaren waarvan inventarisaties bekend zijn en informatie over de samenstelling van de mosselpopulatie. Onderstaande figuren geven een paar voorbeelden uit die rapportage.



De piecharts geven aan in hoeveel van de jaren de betreffende bank aanwezig was

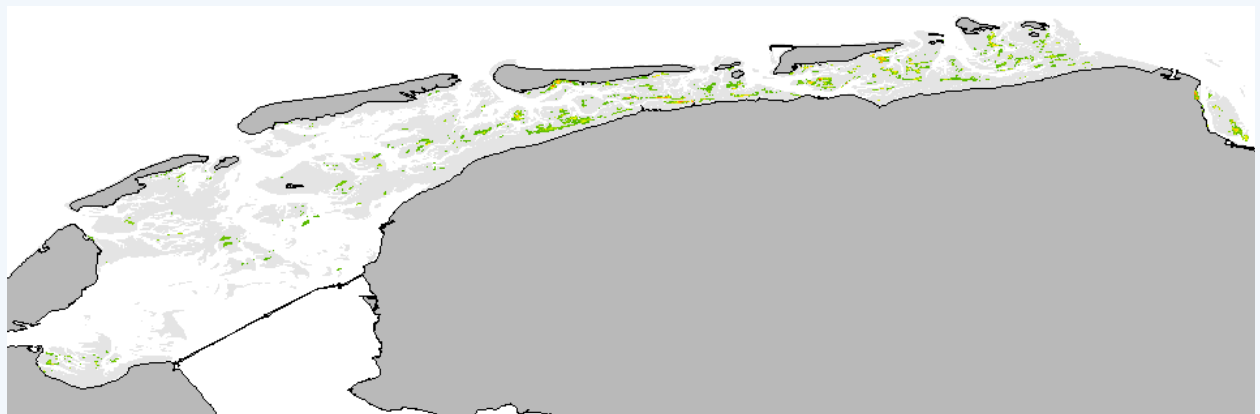


In Nederland zijn vergelijkbare kaarten gemaakt. Van een selectie van de Nederlandse banken wordt jaarlijks vergelijkbare informatie gerapporteerd (zie bv Fey et al 2014).

Een atlas waarin de bank locaties vanaf 1995, leeftijden van recente banken en locaties van hoge potentie zijn weergegeven is onlangs gerapporteerd (Troost et al 2015). De kaarten maken gebruik van de jaarlijkse kartering van alle mosselbanken en oesterbanken in het litoraal van de Nederlandse Waddenzee in de periode 1995–2011, en van de jaarlijkse inventarisatie van mosselen in het sublitoraal van de westelijke Nederlandse Waddenzee in de periode 1992–2013. De kaarten voor het litoraal geven een vlakdekkend beeld omdat ieder jaar de contouren van de banken gekarteerd zijn middels GPS. Door per jaar de gehele Waddenzee te rasteren naar cellen van 10×10 meter, en vervolgens per rastercel een optelling te maken van het aantal jaren dat hier een mosselbank aanwezig was, is een kaart geconstrueerd die in een resolutie van 10×10 meter weergeeft wat de frequentie van voorkomen is geweest in een periode van 17 jaar. Voor het sublitoraal is gewerkt met een stippenkaart, waarbij per monsterlocatie een stapeling is gemaakt van het aantal keren dat op die locatie een mosseldichtheid van $>150 \text{ g/m}^2$ is aangetroffen in een survey periode van 21 jaar.

Literatuur

- Brinkman, A.G. & T. Bult 2003. Geschiede eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het voorkomen van meerjarige natuurlijke mosselbanken. Alterra rapport 456. Wageningen.
<http://edepot.wur.nl/53088>
- Brinkman AG, Dankers N, Van Stralen M (2002) An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgol Mar Res* 56:59–75
<http://dx.doi.org/10.1007/s10152-001-0093-8>
- CWSS (2002) Common wadden sea secretariat, blue mussel monitoring, report of the second TMAP blue mussel workshop on Ameland April 8–10, 2002, Wilhelmshaven, Germany.
- Dankers N, Koelemaij K (1989) Variations in the mussel population of the Dutch Wadden Sea in relation to monitoring of other ecological parameters. *Helgoländer Meeresunters* 43:529–535.
- Dankers, N., J. Cremer, E. Dijkman, S. Brasseur, K. Dijkema, F. Fey, M. de Jong & C. Smit 2007. Ecologische atlas Waddenzee IMARES atlas. 32 pgs
<http://edepot.wur.nl/44722>
- De Vlas J, Brinkman B, Buschbaum Chr, Dankers N, Herlyn M, Kristensen PS, Millat G, Nehls G, Ruth M, Steenbergen M, Wehrmann A (2005) Intertidal blue mussel beds. In: Essink K, Dettmann C, Farke H, Laursen K, Lürßen G, Marencic H, Wiersinga W (eds) Wadden Sea quality status report 2004. Wadden Sea ecosystem No. 19. Trilateral Monitoring and Assessment Group, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, pp 190–200.
<http://www.waddensea-secretariat.org/sites/default/files/downloads/qsr-08.3-intertidal-musselbeds.pdf>



Dijkema KS, Van Thienen G, Van Beek JG (1989) Habitats of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea. Research Institute for Nature Management, Texel. Veth Foundation, Leiden.

Fey F.E., N.M.A.J. Dankers, A. Meijboom, P.W. van Leeuwen, M. de Jong, E.M. Dijkman & J.S.M. Cremer (2014). "Ontwikkeling van enkele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2013", WOT-technical report 20/ IMARES Rapport C159/14. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu/ IMARES Wageningen UR. 84 blz.; 33 fig.; 1 tab.; 24 ref.; 4 bijl. <http://edepot.wur.nl/330330>

Linke O (1939) Die Biota des Jadebusenwattes. Helgoländer Wiss Meeresunters 1: 201–348.

Linke O (1954) Die Bedeutung der Miesmuscheln für die Landgewinnung im Wattenmeer. Natur und Volk 84: 253–261.

Herlyn, M. & G. Millat 2004. Wissenschaftliche Begleituntersuchungen zur Aufbauphase des Miesmuschelmanagement im Nationalpark 'Niedersächsisches Wattenmeer'. Niedersächsische Wattenmeerrstiftung. Project Nr. 32/98. Abschlussbericht März 2004 pp226 (und Anlage pp 43).

Herlyn, M., G. Millat & B. Petersen 2008. Documentation of sites of intertidal blue mussel (*Mytilus edulis* L.) beds of the Lower Saxonian Wadden Sea, southern North Sea (as of 2003) and the role of their structure for spatfall settlement. Helgol Mar Res (2008) 62:177–188.

<http://dx.doi.org/10.1007/s10152-008-0106-y> 123

Nehls G, Thiel M (1993) Large-scale distribution patterns of the mussel *Mytilus edulis* in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein: do storms structure the ecosystem? Neth J Sea Res 31:181–187.

Nehls G, Hertzler I, Scheiffarth G (1997) Stable mussel *Mytilus edulis* beds in the Wadden Sea—they're just for the birds. Helgoländer Meeresunters 51: 361–372.

Obert B, Michaelis H (1991) History and ecology of the mussel beds (*Mytilus edulis* L.) in the catchment area of a Wadden Sea tidal inlet. In: Elliot M, Ducrotoy J-P (1991) Estuaries and Coasts: spatial and temporal intercomparisons. Olsen and Olsen, Viborg, pp 185–194.

Troost, K., M. van Stralen, C. van Zweeden & B. Brinkman 2015. Voorkomen van schelpdierbanken in de Waddenzee in de afgelopen 20 jaar. IMARES rapport (in bewerking).

(23) Mosselbanken zijn een belangrijke voedselbron

Bruno Ens; Sovon

Kanoeten eten regelmatig mosselen (Zwarts & Blomert 1992, Zwarts *et al.* 1992, Dekinga & Piersma 1993), maar alleen als ze kleiner zijn dan 20 mm. Er zijn geen waarnemingen bekend van Kanoeten die in zulke hoge dichtheden op mosselzaadbanken voorkomen dat er sprake was van een zeer hoge predatiedruk. Mosselen vormen geen geprefereerde prooi, omdat ze een relatief dikke schelp hebben, wat ongunstig is voor een vogelsoort die zijn prooien met schelp en al inslikt (Zwarts & Blomert 1992).

Zilvermeeuwen slikken net als Kanoeten de mossels in het geheel in, maar selecteren mossels die duidelijk groter zijn dan wat Kanoeten tot zich nemen: 15 – 30 mm (Hilgerloh & Pfeifer 2002). De gemiddelde lengte van de mossels die Zilvermeeuwen naar de broedkolonie transporteerden varieerde tussen den 10 en 20 mm; mossels vormen een belangrijke voedselbron voor deze soort tijdens de broedtijd (Camphuysen 2013).

Mosselen zijn een zeer belangrijke voedselbron voor Scholieksters. Er zijn tientallen publicaties over hoe Scholieksters mosselen eten; zie bijv de publicaties en reviews in (Goss-Custard 1996, Blomert *et al.* 1996, Ens *et al.* 2008). Voordat de droogvallende mosselbanken rond 1990 door overbevissing vrijwel volledig uit de Waddenzee verdwenen foerageerde naar schatting meer dan 50% van de in de Waddenzee overwinterende Scholieksters op mosselen (Smit *et al.* 1998, Ens *et al.* 2004). De verdwijning van die banken heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de achteruitgang van de Scholiekster (Ens 2006). Het heeft meer dan 10 jaar geduurd voor de mosselbanken waren teruggekeerd, deels in de vorm van oesterbanken en gemengde banken. Op basis van de ontwikkeling van mosselbanken, gemengde banken en oesterbanken (van Stralen *et al.* 2012, van Zweeden *et al.* 2012) lijkt het goed mogelijk dat in de toekomst de meeste

banken uit een mengsel van Japanse oesters en mossels zullen bestaan. Scholeksters kunnen Japanse oesters openen (Cadée 2008), maar slechts een kleine fractie van de oesters is beschikbaar als voedselbron (Markert *et al.* 2013). De dichtheid waarin Scholeksters op oesterbanken en gemengde banken naar voedsel zoeken is veel lager dan op “pure” mosselbanken (van Kleunen *et al.* 2012).

Literatuur

- Blomert A.-M., B.J.Ens, J.D.Goss-Custard, J.B.Hulscher & L.Zwarts 1996. Oystercatchers and their estuarine food supplies. *Ardea* 84A: 1-538.
- Cadée G.C. 2008. Scholeksters en Japanse oesters. *Natura* 106: 6-7.
- Camphuysen C.J. 2013. A historical ecology of two closely related gull species (Laridae): multiple adaptations to a man-made environment. 1-406.
- Dekinga A. & T.Piersma 1993. Reconstructing diet composition on the basis of faeces in a mollusc-eating wader, the Knot *Calidris canutus*. *Bird Study* 40: 144-156.
- Ens B.J. 2006. The conflict between shellfisheries and migratory waterbirds in the Dutch Wadden Sea. In: G.C. Boere, C.A. Galbraith & D.A. Stroud (red), *Waterbirds around the world*, p. 806-811. The Stationery Office, Edinburgh, UK.
- Ens B.J., K.H.Oosterbeek & C.Rappoldt 2008. WEBTICS voor Kanoeten. Rapportage over de werkzaamheden die nodig zijn om het simulatie-model WEBTICS toe te passen op de Kanoet. SOVON-onderzoeksrapport 2008/13, SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.
- Ens B.J., A.C.Smaal & J.de Vlas 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.
- Goss-Custard J.D. 1996. *The Oystercatcher: From Individuals to Populations*. Oxford.
- Hilgerloh G. & D.Pfeifer 2002. Size selection and competition for mussels, *Mytilus edulis*, by oystercatchers, *Haematopus ostralegus*, herring gulls, *Larus argentatus*, and common eiders, *Somateria mollissima*. *Ophelia* 56: 43-54.
- Markert A., W.Esser, D.Frank, A.Wehrmann & K.M.Exo 2013. Habitat change by the formation of alien *Crassostrea*-reefs in the Wadden Sea and its role as feeding sites for waterbirds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 131: 41-51.
- Smit C.J., N.Dankers, B.J.Ens & A.Meijboom 1998. Birds, Mussels, Cockles and Shellfish Fishery in the Dutch Wadden Sea: How to Deal with Low Food Stocks for Eiders and Oystercatchers? *Senckenbergiana maritima* 29: 141-153.
- van Kleunen A., B.J.Ens & C.J.Smit 2012. Het belang van oester- en mosselbanken voor Scholekster en Steenloper. Sovon-rapport 2012/18, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- van Stralen M., K.Troost & C.van Zweeden 2012. Ontwikkeling van banken Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) op droogvallende platen in de Waddenzee. Rapport 2012.101, MarinX, Scharendijke.
- van Zweeden C., K.Troost, D.van den Ende & M.van Stralen 2012. Het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen in de Waddenzee in het voorjaar van 2011. Rapport C097/12, Wageningen IMARES, Yerseke.
- Zwarts L. & A.-M.Blomert 1992. Why knot *Calidris canutus* take medium-sized *Macoma balthica* when six prey species are available. *Marine Ecology Progress Series* 83: 113-128.
- Zwarts L., A.-M.Blomert & J.H.Wanink 1992. Annual and seasonal variation in the food supply harvestable by knot *Calidris canutus* staging in the Wadden Sea in late summer. *Marine Ecology Progress Series* 83: 129-139.

Sander Glorius, IMARES. Bruno Ens, SOVON

Mosselen vormen, mede door hun hoge abundantie in de Waddenzee, een belangrijke voedselbron voor veel verschillende organismen behorende tot een range aan soortgroepen waaronder zoöplankton, kreeftachtige, schelpdieren, geleedpotige, stekelhuidige, vissen en vogels. De soorten die zich voeden met mosselen zijn afhankelijk van de levensfase van de mossel. Het wordt verondersteld dat de predatiedruk op mosselen gedurende het eerste levensjaar het hoogst is (Navarrette *et al.*, 1996 & Smaal *et al.*, 2014).

Mosselzaad en larven, wat zich in de waterkolom bevindt, gedraagt zich als fytoplankton en worden geconsumeerd door zoöplankton, verschillende vissoorten, uit het water gefilterd door wormen en verschillende schelpdieren waar onder volwassen soortgenoten (Mileikovsky, 1974). Over de predatiedruk van de 'waterfase' van de mossel is weinig bekend.

Wanneer de mossellarven wat groter (en zwaarder) groeien zakken ze af naar de bodem en worden ze een belangrijke voedselbron voor garnalen. Wanneer mosselen zich vastgehecht hebben aan de bodem en een mosselzaadbank ontstaat, wordt predatie door de zeester *Asterias rubens* (Agüera, 2015 & Saier, 2001), strandkrab *Carcinus maenas* (Ropes *et al.*, 1968 & Elner, 1978 & Kamermans *et al.*, 2009) en eidereend *Somateria mollissima* (Cervencel *et al.*, 2015 & Nehls *et al.*, 1997) belangrijk.

In een experiment uitgevoerd door Kamermans *et al.* komt naar voren dat strandkrabpredatie significant hoger was op de kleinere mosselen van 5 - 10 mm in vergelijking met mosselen van lengteklasse 11 - 20 en 21 - 40 mm (Kamermans *et al.*, 2009). Uit de studie van Elner, die verschillende

mechanisme heeft bestudeerd waarmee krabben mosselen openbreken, blijkt dat vooral kleine mosselen (tot 30 mm) gemakkelijk opengebrouwen kunnen worden met verschillende fijnknijp-technieken, terwijl grotere mosselen open gebrouwen worden; een langzaam proces wat gepaard gaat met een hoge inspanning (Elner, 1978).

Zeesterpredatie speelt vooral een rol in de herfst, in de winter met lagere watertemperaturen, neemt de fourageersnelheid af (Agüera, 2015). Volwassen zeesterren zijn in staat om zich te voeden met zowel mosselzaad als volgroeide mosselen. Het lijkt onwaarschijnlijk dat mosselen zich tegen zeestervraat kunnen beschermen door groter te groeien doordat zeesterren mee kunnen groeien, een lengte tot 200mm kunnen bereiken en bovendien in staat blijken te zijn mosselen groter dan zichzelf open te breken (Agüera, 2015). Zeesterpredatie is dus naast mosselzaad ook belangrijk voor de oudere en grotere mosselen. Onder de juiste condities kunnen zeesterren grote aantallen mosselen consumeren en kunnen een belangrijke factor van betekenis te zijn voor sublitorale mosselbank overleving (Agüera, 2015). In gebieden met een laag zoutgehalte is er minder predatie door zeesterren en worden het vaakst meerjarige sublitorale mosselen aangetroffen (Smaal *et al.*, 2014).

De mosselen die altijd onder water staan beginnen hun leven als broedval op natuurlijke "wilde" banken. Veel van deze mossels worden vroeg of laat opgevist en naar onderwaterpercelen in de Waddenzee of Oosterschelde getransporteerd; de visserijdruk is hoog (Ens 2006). Hoewel er grote verschillen tussen percelen bestaan, groeien de mossels op percelen gemiddeld beter (Bult *et al.* 2004) en hebben ze daardoor een gunstiger verhouding tussen vlees en schelp vanuit de optiek van de Eider, die de mossels in zijn maag kraakt (Ens & Kats 2004). Op basis van de verspreiding van de Eiders in de Waddenzee is een duidelijke relatie te leggen met de mossels op percelen (Cervencel *et al.* 2015). Winters met hoge sterfte onder de overwinterende Eiders vallen

samen met voedseltekorten, met name een tekort aan sublitorale mossels (Camphuysen *et al.* 2002, Ens 2006). De relatie tussen het aanbod sublitorale mossels in de Waddenzee en de mosselweek is complex: meestal verhogend, maar na een serie jaren met weinig broedval mogelijk verlagend (Ens 2006).

Toppers duiken naar schelpdieren, zoals mossels, en kunnen buiten de broedtijd in grote aantallen voorkomen in de Waddenzee, al zijn ze minder talrijk dan de Eiders (Arts 2012). Er zijn observaties van Toppers die naar mossels duiken in de Waddenzee, maar het belang van mossels in hun dieet is onduidelijk. Ze komen vooral voor in het gebied nabij de afsluitdijk en hun verspreiding is dus niet gecorreleerd met de mosselpercelen. Er is wel een duidelijk verband met lage zoutgehaltes en het voorkomen van strandgapers *Mya arenaria* (Cervencí & Fernandez 2012).

Uit PRODUS onderzoek waarin onderzocht is welke bodemdieren geassocieerd zijn met mosselvoorkomens bleek dat van de 35 bodemdieren die geassocieerd bleken te zijn met het voorkomen van mosselen zaten, naast bovengenoemde roofdieren, ook de schelpborende wormsoort *Polydora ciliata* en de parasiterensoorten mosselkrabbetje *Pinnotheres pisum* en *Mytilicola orientalis* (Drent en Dekker, 2013).

Referenties

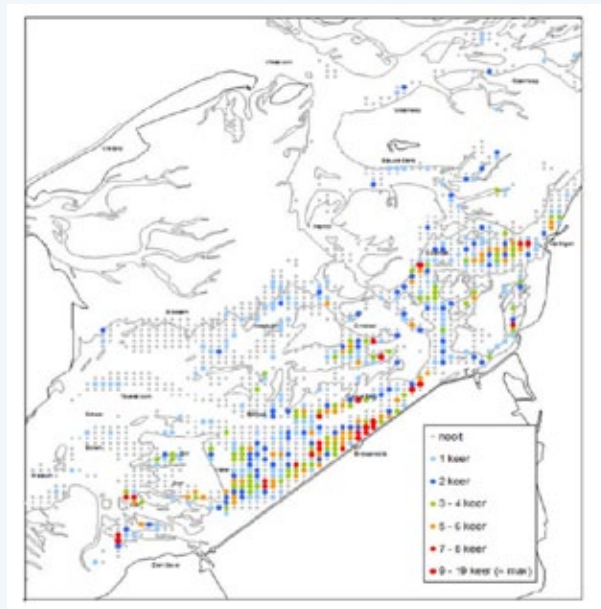
- Agüera, A.C. (2015), "The role of starfish (*Asterias rubens* L.) predation in blue mussel (*Mytilus edulis*) seed stability", PhD thesis. Wageningen University, ISBN 978-94-6257-216-4, pp 170.
- Arts F.A. 2012. Midwintertelling van zee-eenden in de Waddenzee en de Nederlandse kustwateren, januari 2012. Rapport in opdracht van RWS Waterdienst BM 12.18, Delta Projectmanagement BV,
- Bult T.P., M.R.van Stralen, E.Brummelhuis & D.Baars 2004. Eindrapport EVA II deelproject F4b (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase): Mosselvisserij en -week in het sublitoraal van de Waddenzee. RIVO Rapport C049/04, RIVO, Yerseke.
- Camphuysen C.J., C.M.Berrevoets, H.J.W.M.Cremers, A.Dekinga, R.Dekker, B.J.Ens, T.M.van der Have, R.K.H.Kats, T.Kuiken, M.F.Leopold, J.van der Meer & T.Piersma 2002. Mass mortality of common eiders (*Somateria mollissima*) in the Dutch Wadden Sea, winter 1999/2000: starvation in a commercially exploited wetland of international importance. *Biological Conservation* 106: 303-317.
- Cervencí A. & S.A.Fernandez 2012. Winter distribution of Greater Scaup *Aythya marila* in relation to available food resources. *Journal of Sea Research* 73: 41-48.
- Cervencí A., K.Troost, E.Dijkman, M.de Jong, C.J.Smit, M.F.Leopold & B.J.Ens 2015. Distribution of wintering Common Eider *Somateria mollissima* in the Dutch Wadden Sea in relation to available food stocks. *Marine Biology* 162: 153-168.
- Drent, J., Dekker, R. (2013), "Macrofauna associated with mussels, *Mytilus edulis* L., in the subtidal of the western Dutch Wadden Sea", NIOZ-Report 2013-7, pp 77.
- Ens B.J. 2006. The conflict between shellfisheries and migratory waterbirds in the Dutch Wadden Sea. In: G.C. Boere, C.A. Galbraith & D.A. Stroud (red), *Waterbirds around the world*, p. 806-811. The Stationery Office, Edinburgh, UK.
- Ens B.J. & R.K.H.Kats 2004. Evaluatie van voedselreservering Eidereenden in de Waddenzee - rapportage in het kader van EVA II deelproject B2. Alterra rapport 931, Alterra, Wageningen.
- Elnor, R.W. (1978), "The mechanics of predation by the shore crab, *Carcinus maenas* (L.), on the edible mussel, *Mytilus edulis* L.", *Oecologia*, (36), pp 333-344.
- Kamermans, P., Blankendaal, M., Perdon, J. (2009), "Predation of shore crabs (*Carinus maenas* (L.)), and starfish (*Asterias rubens* L.) on blue mussel (*Mytilus edulis* L.) seed from wild sources and spat collectors", *Aquaculture*, (290), pp 256 – 262.
- Mileikovsky, S.A. (1974), "On Predation of Pelagic Larvae and Early Juveniles of Marine Bottom Invertebrates by Adult Benthic Invertebrates and Their Passing Alive through Their Predators", *Marine Biology*, (26), pp 303 – 311.
- Navarrete, S., Menge, B.A. (1996), "Keystone Predation and Interaction Strength: Interactive Effects of Predators on Their Main Prey", *Ecological Monographs*, (66), pp 409 – 426.
- Nehls, G., Hertzler, I, Scheiffarth, G., (1997), "Stable mussel *Mytilus edulis* beds in the Wadden Sea – They're just for the birds", *Helgol Meeresunters*, (51), pp 361-372.

- Ropes, J.W. (1968), "The feeding habits of the green crab *Carcinus maenas* (L.)", *Fishery Bulletin*, (67), pp 183 – 203.
- Saier, B. (2001), "Direct and indirect effects of seastars *Asterias rubens* on mussel beds (*Mytilus edulis*) in the Wadden Sea", *Journal of Sea Research*, (46), pp 29 – 42.
- Smaal, A.C., Brinkman, A.G., Schellekens, T., Jansen, J., Agüera, A en Stralen van, M.R. (2014), "Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, samenvattend eindrapport", IMARES rapport C066.14, pp 32.

(33) Of zich in het sublitoraal op grote schaal mosselbanken kunnen ontwikkelen is nog niet bekend

Sander Glorius, Norbert Dankers IMARES

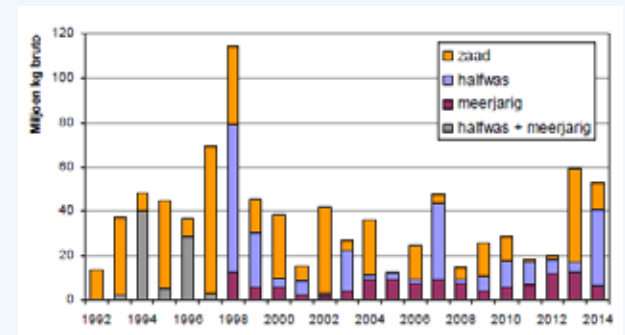
Grootschalige mosselbroedval waarbij nieuwe mosselzaadbanken kunnen ontstaan, vindt regelmatig plaats (gemiddeld eens per twee jaar) in het sublitoraal van de Westelijke Waddenzee (van Stralen, 2002 & van Stralen ea, 2013 & Stralen ea, 2014 & Smaal ea, 2014). Daarnaast vindt er elk jaar kleinschalige mosselbroedval plaats waarbij vooral mosselzaad overblijft dat valt op bestaande banken, waar ze beschermd worden tegen garnaal, krab en zeesterpredatie (van Stralen ea, 2013), zie Figuur 1.



Figuur 1. Het mosselbestand en de samenstelling daarvan in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het voorjaar sinds 1992. Het betreft hier bruto hoeveelheden en inclusief 20% groei van het

aanwezige mosselzaad tussen de survey en de aanvang van de zaadvisperiode in mei, uit Stralen ea 2014.

Meerjarige mosselen worden in de Westelijke Waddenzee het vaakst aangetroffen in gebieden met lage zoutgehalten en waar predatie door zeesterren beperkt is (Smaal ea, 2014), zie Figuur 2.



Figuur 2. Frequentie van voorkomen mosselen in het sublitoraal van de Westelijke Waddenzee ouder dan twee jaar (twee winters overleeft) in de periode 1992 – 2013, uit Smaal ea., 2014.

Oudere sublitorale mosselbanken zijn zeldzaam. Het is onduidelijk of de oorzaak daarvan ligt in de jaarlijkse mossel(zaad)visserij of de ongeschiktheid van het sublitoraal voor langdurige overleving waarbij o.a. zeesterrenpredatie (Agüera, 2014) en stormen (Smaal ea, 2014) een rol speelt. De afgelopen jaren zijn een aantal niet beviste mosselbanken gevolgd. Op drie van de 40 mosselbanken die deels gesloten werden voor visserij en vanaf hun ontstaan in het kader van het PRODUS onderzoek gevolgd zijn heeft zich gedurende het experiment een hoge biomassa mosselen kunnen ontwikkelen (Smaal ea 2013). Uit gegevens van twee mosselbanken die geheel voor visserij gesloten werden en meerdere jaren na ontstaan gevolgd zijn in het kader van Mosselwad bleek dat deze zich niet langer dan drie jaar hebben kunnen handhaven (Glorius ea 2014).

Het blijkt dat mosselbanken zich jarenlang kunnen handhaven, maar echt grootschalige banken zijn (nog) niet ontstaan. Ook uit het veld komen meldingen dat garnalenvissers met enige regelmaat oude banken tegenkomen. Vaak is hier sprake van gemengde mossel-oester voorkomens.

Voor het beantwoorden van deze vraag is het daarom noodzakelijk om sublitorale surveys zodanig in te richten dat de ontwikkeling van dit soort biogene structuren vastgelegd kan worden vanaf het moment van ontstaan.

Referenties

- Agüera, A.C. (2015), "The role of starfish (*Asterias rubens* L.) predation in blue mussel (*Mytilus edulis*) seabed stability", PhD thesis. Wageningen University, ISBN 978-94-6257-216-4, pp 170.
- Glorius, S.T., A. Rippen, M. de Jong, B. van der Weide, J. Cuperus, A. Bakker, M. van Hoppe (2014), "De ontwikkeling van niet bevestigde sublitorale mosselbanken 2009 – 2013", IMARES-rapport C109.14, pp. 57.
- Smaal, A.C., A.G. Brinkman, T. Schellekens, J. Jansen, A. Agüera, en M.R. Stralen van, (2014), "Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, samenvattend eindrapport", IMARES rapport C066.14, pp 32.
- 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", IMARES-rapport C06.13.
- Stralen van, M.R., J. Craeymeersch, J. Drent, S. Glorius, S., J.M. Jansen, A.C. Smaal, (2013), "Het mosselbestand op de PRODUS-vakken en de effecten van visserij daarop", Marinix-rapport 2013.54-PR6, pp. 64.
- Stralen van, M.R., D. Ende van de, K. Troost, (2014), "Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2014", Marinix-rapport 2014.137, pp 24.
- Stralen van, M.R. (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", Marinix-rapport 2001.10.

(34) *Regelmatige broedval op een bestaande bank is noodzakelijk voor overleving*

(35) *Het aantal mosselen van een bepaalde jaarklasse gaat langzaam achteruit*

(38) *Veel mosselbanken gaan geleidelijk achteruit en hebben een boost nodig om te overleven*

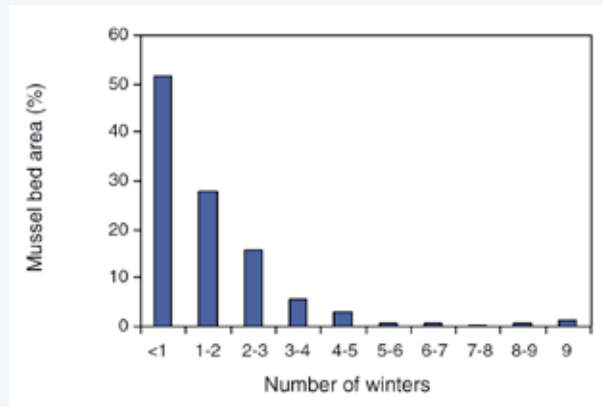
(39) *Een mosselbank met weinig bedekking verdwijnt*

(40) *Broedval binnen een bank houdt hem langer in stand*

Frouke Fey, Norbert Dankers IMARES; Bruno Ens SOVON

Ontwikkeling van mosselbanken en het belang van broedval voor de overleving:

Mosselen vestigen zich, in tegenstelling tot veel andere tweekleppigen in de Waddenzee, niet in, maar grotendeels óp de zeebodem (Meadows et al, 1998). Hierdoor zijn ze kwetsbaar voor fysische processen zoals golfslag en stroming (Carrington Bell and Denny, 1994; Donker et al, 2012). Om zich hier tegen te weren hechten ze zich met byssusdraden vast aan hard substraat (Friedland and Denny, 1995; Carrington et al, 2008). Langs rotsige kusten hechten mosselen zich direct aan de stenen. In gebieden met zandige bodems is veel minder hard substraat beschikbaar. Mosselen vestigen zich daar op levende kokkels, hydroidpoliepen, schelpkokerwormen, macroalgen, schelpenresten en soms ook op kaal zand of slib en klusteren samen om ook van elkaar zoveel mogelijk stevigheid te krijgen (Dankers en Zuidema, 1995; Commiato en Dankers, 2001; Seed, 1969; Dankers et al, 2004).



Figuur 1. Gemiddelde overleving van het totale mosselbedoppervlak dat aanwezig was op het droogvallende wadplaten in de Nederlandse Waddenzee tussen de herfst van 1994 en de lente van 2003. In het eerste jaar verdwijnt ongeveer 50 van het totale oppervlakte. Hoe ouder het restant, hoe groter de overlevingskans – uit Steenbergen et al, 2006

In de eerste jaren na vestiging blijkt of deze stevigheid voldoende is gebleken. Door stormen en predatie verdwijnt een groot deel van het net-ontstane oppervlak aan mosselbanken in het eerste jaar (zie figuur 1) (Steenbergen et al, 2006). In de eerste winter verdwijnt gemiddeld 50% van het oppervlakte net ontstane mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee (Steenbergen et al., 2006). Na een aantal jaren neemt de sterftekans af (Jaap van der Meer, personal communication; Steenbergen et al, 2006).

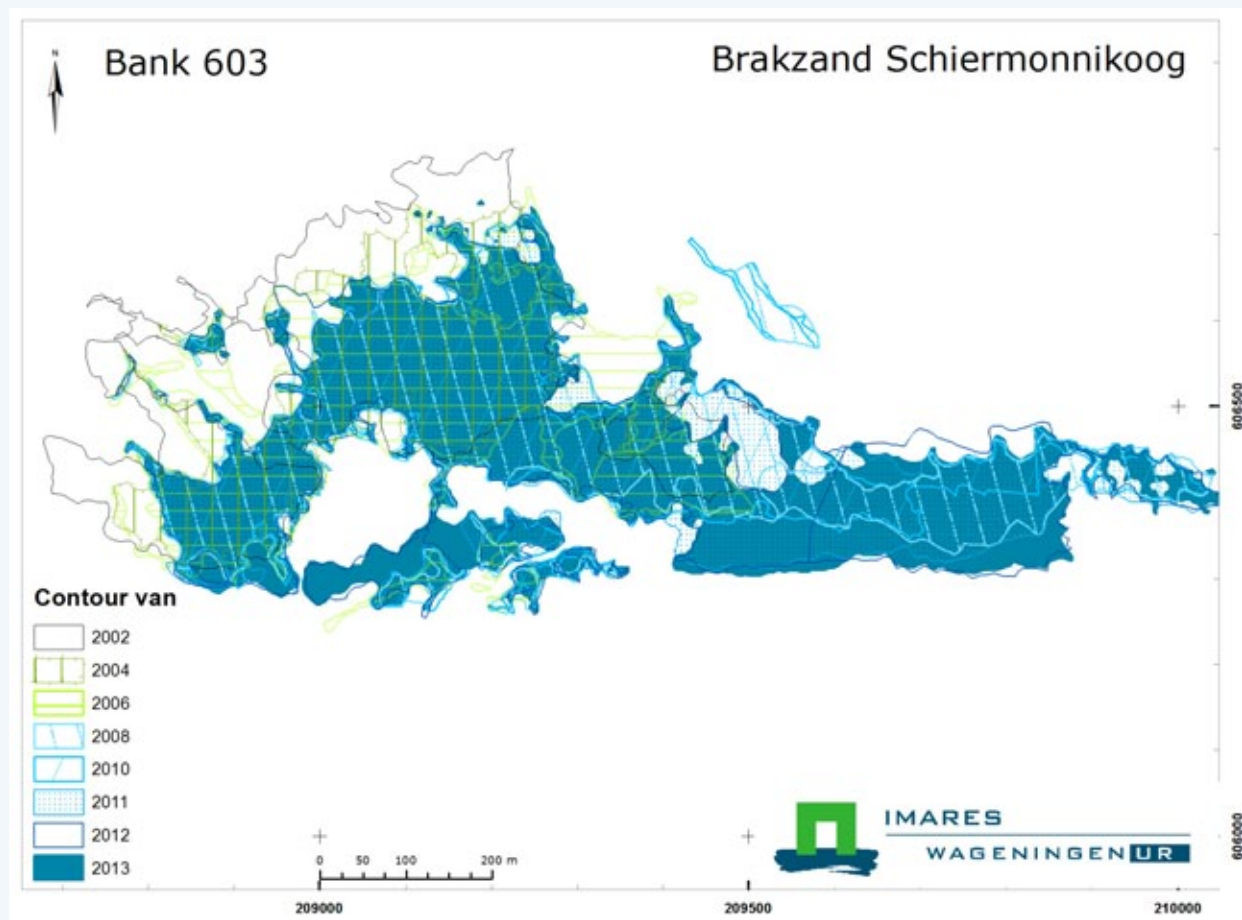
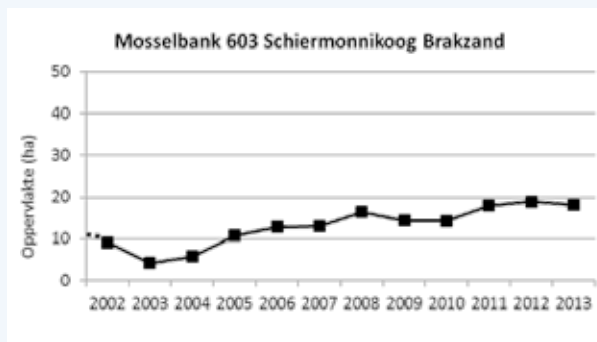
In de jaren daarna vindt vaak een geleidelijke achteruitgang plaats (Dankers et al. 2003; Fey et al, 2014). De achteruitgang kan zowel in oppervlak van de bank zijn, in bedekkingspercentage (percentage oppervlak bedekt door mosselbulten) en in dichtheid van mosselen op de mosselbulten. Dit is goed te zien bij een vijftal mosselbanken uit de jaarlijkse inventarisatie van IMARES van enkele individuele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee (Fey et al. 2014 – zie figuur 1 t/m 3). De oorzaken van de langzame achteruitgang

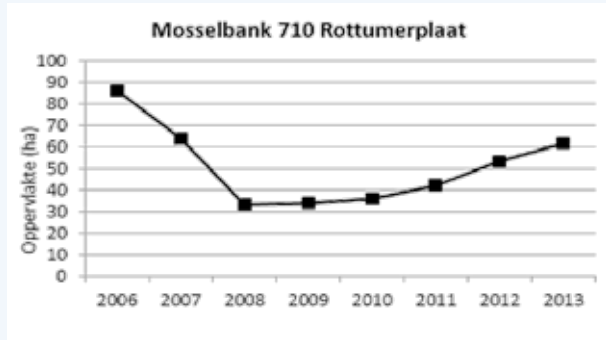
zijn soms duidelijk, bijvoorbeeld stormen die delen van de bank wegslaan, maar vaak ook niet. Predatie door vogels en sterfte door ouderdom, verdrukking of onderslibben zijn mogelijke andere verklaringen.

De levensverwachting van een mossel op een mosselbank is naar schatting enkele jaren. Predatie is een belangrijke, maar lang niet de enige, sterfte-oorzaak van mossels. Kleine mossels worden gegeten door krabben en de wat grotere mossels door vogels. Mosselbanken kunnen daarom alleen langdurig voortleven als er regelmatig broedval plaatsvindt op of nabij de bestaande banken. Een mosselbank waar dit niet gebeurt zal vroeg of laat verdwijnen (Zwarts & Drent 1981). Er zijn aanwijzingen dat delen van banken met weinig bedekking sneller verdwijnen. Dit kan te maken hebben met een toename in erosie bij een afnemende bedekking (Widdows *et al.* 2002). Het kan ook te maken hebben met het feit dat Scholeksters een hogere predatie op verspreid liggende mosselpatches kunnen uitoefenen, in vergelijking tot mossels die in een aaneengesloten hoge dichtheid liggen (Zwarts & Drent 1981). In het laatste geval hebben de Scholeksters veel last van interferentie, waardoor de dichtheden beperkt worden. In het eerste geval niet.

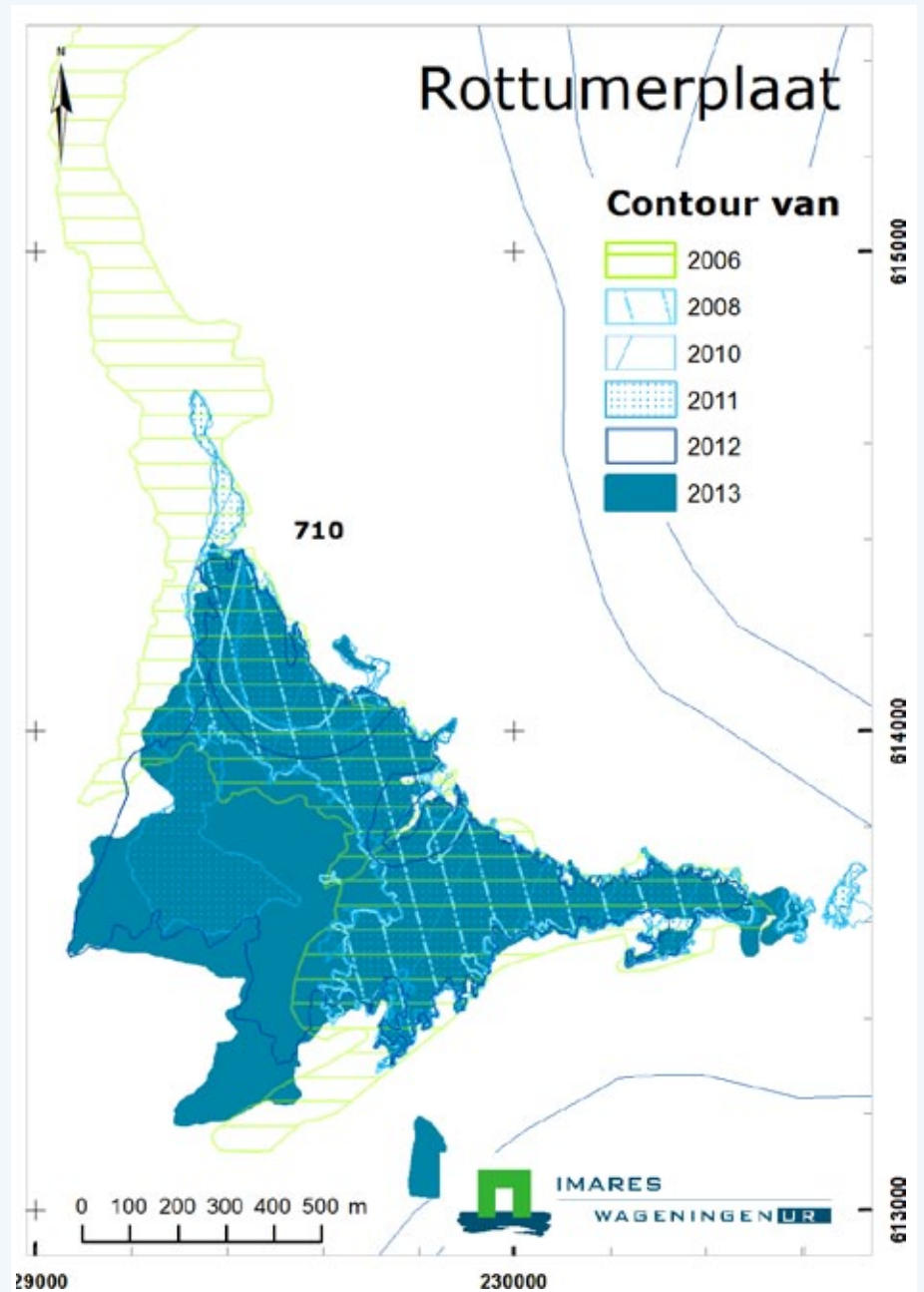
De langzame achteruitgang kan worden teruggedraaid door aanvulling met nieuwe mosselen (Dankers, 1993). Dit kan op drie manieren gebeuren (Obert & Michaelis, 1991): broedval, instroom van zeer jonge mosselen (secundaire broedval) en instroom van volwassen mosselen.

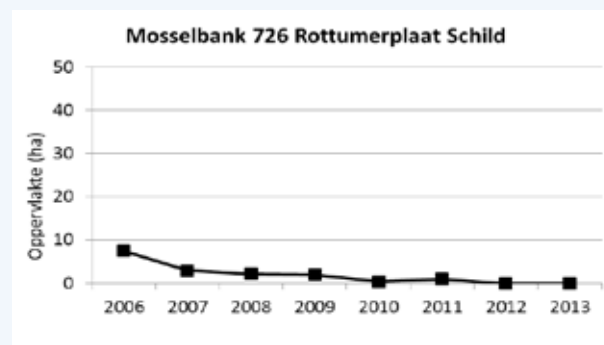
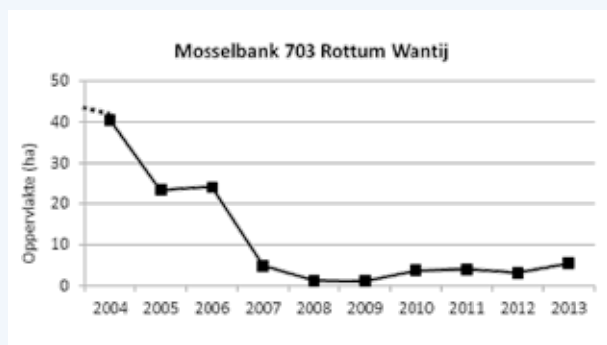
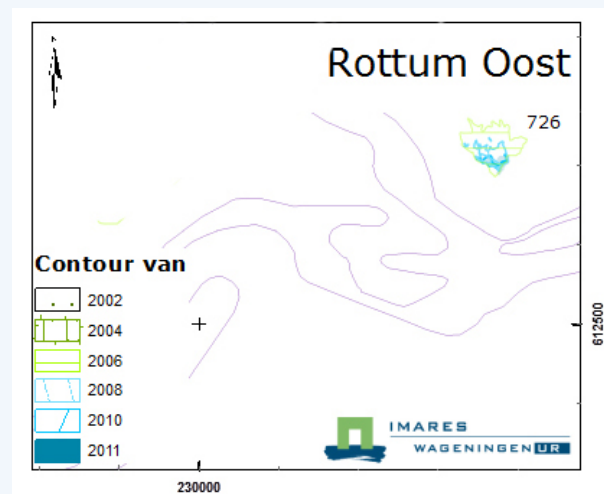
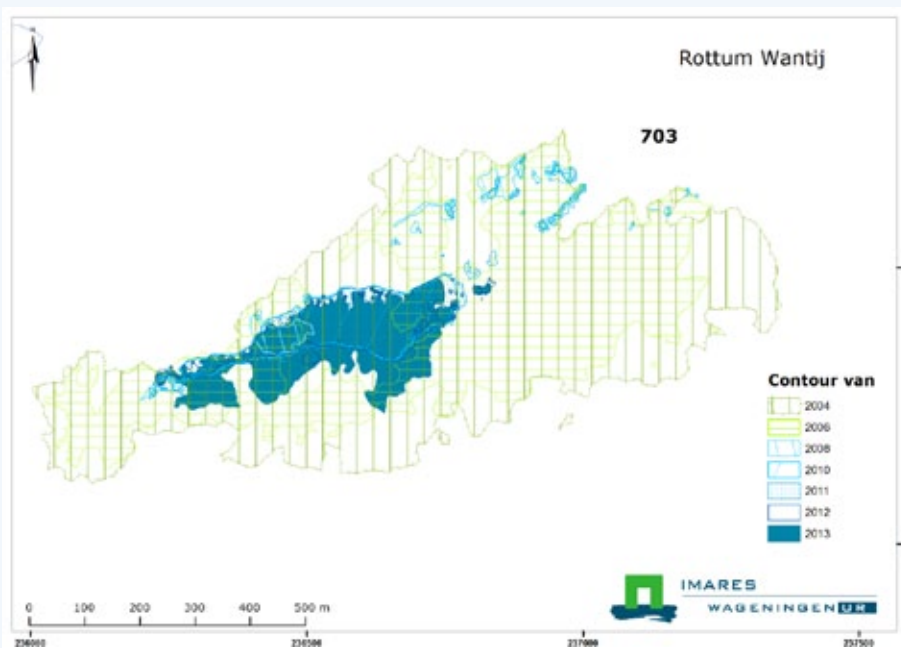
Figuur 1a. Oppervlakte van mosselbank 603 Brakzand Schiermonnikoog (ontstaan in 1994) van 2002 t/m 2013 – Sprongsgewijze afname in oppervlakte vooral aan de noordwest-zijde, vanaf 2005 geleidelijke aangroei door nieuw mosselbroed en instroom van oudere mosselen, met name aan de zuidwest-zijde (uit Fey et al., 2014)





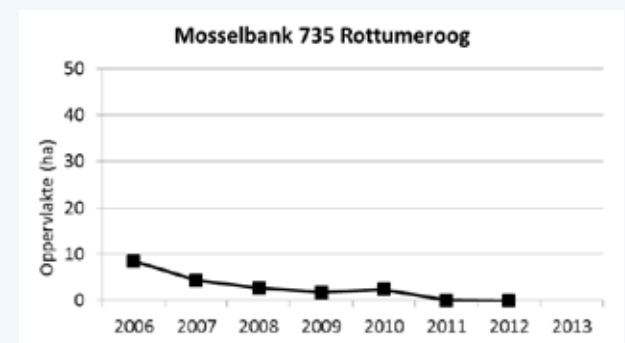
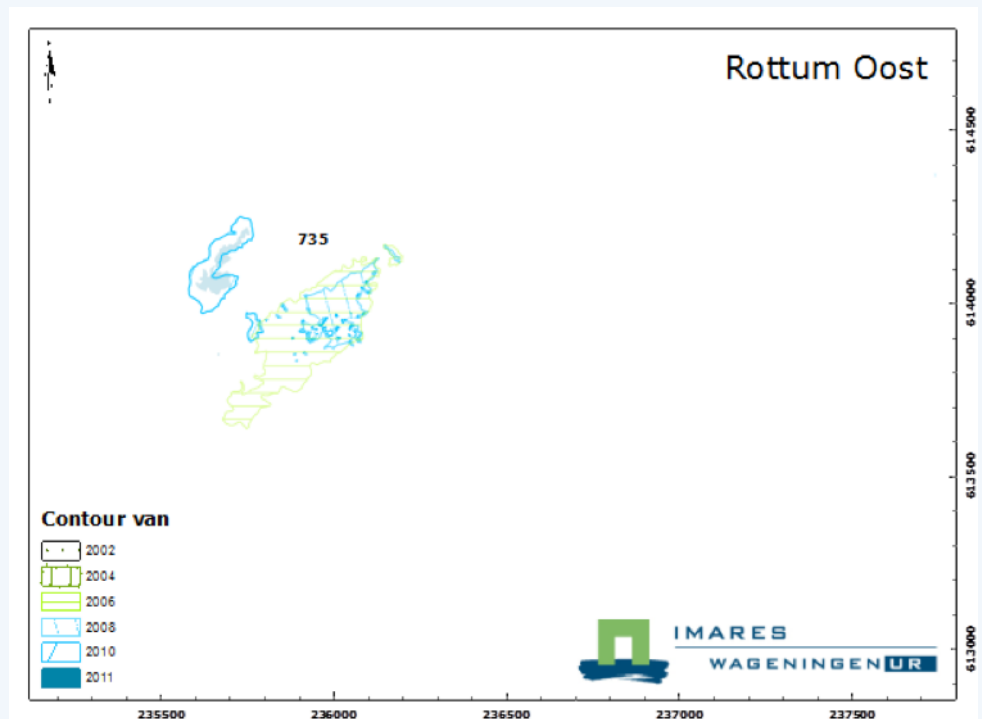
Figuur 1b. Oppervlakte van mosselbank 710 Rottumerplaat (waarschijnlijk ontstaan in 2001) van 2006 t/m 2013. Sprongsgewijze afname in oppervlakte vooral aan de noord-zijde, vanaf 2008 aangroei door nieuw mosselbroed met name aan de zuidoost-zijde (uit Fey et al., 2014)





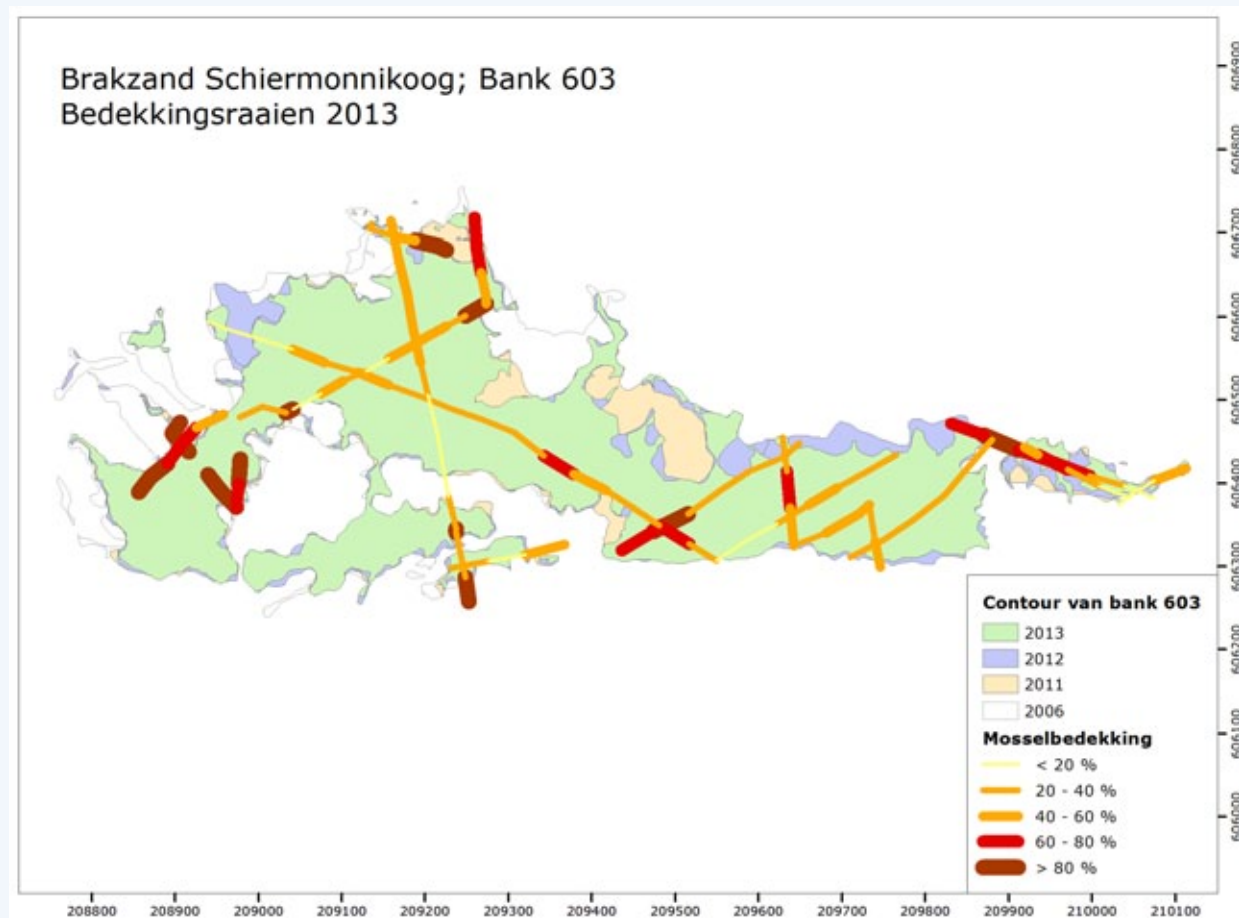
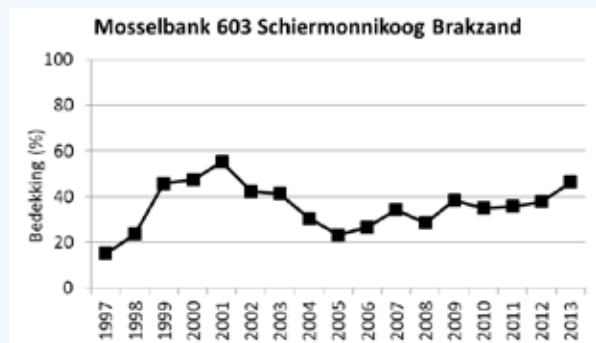
Figuur 1c. Oppervlakte van mosselbank 703 Rottum Wantij (ontstaan in 2001) van 2004 t/m 2013. Sprongsgewijze afname in oppervlakte, vanaf 2009 enige aangroei door nieuw mosselbroed in het centrale deel van de oorspronkelijke bank (uit Fey et al., 2014)

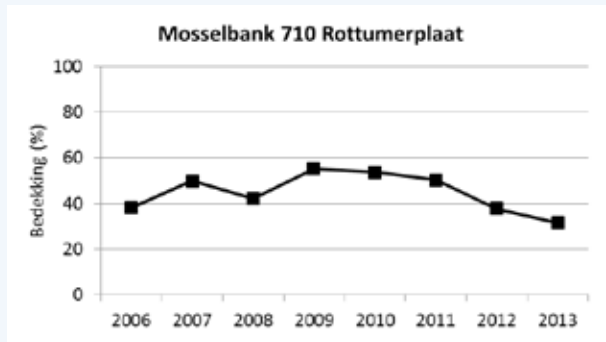
Figuur 1d. Oppervlakte van mosselbank 726 Rottumerplaat Schild (waarschijnlijk ontstaan in 2001) van 2006 t/m 2013. Geleidelijke afname (waarschijnlijk door stormen) tot 2012 toen de bank in zijn geheel is verdwenen (uit Fey et al., 2014)



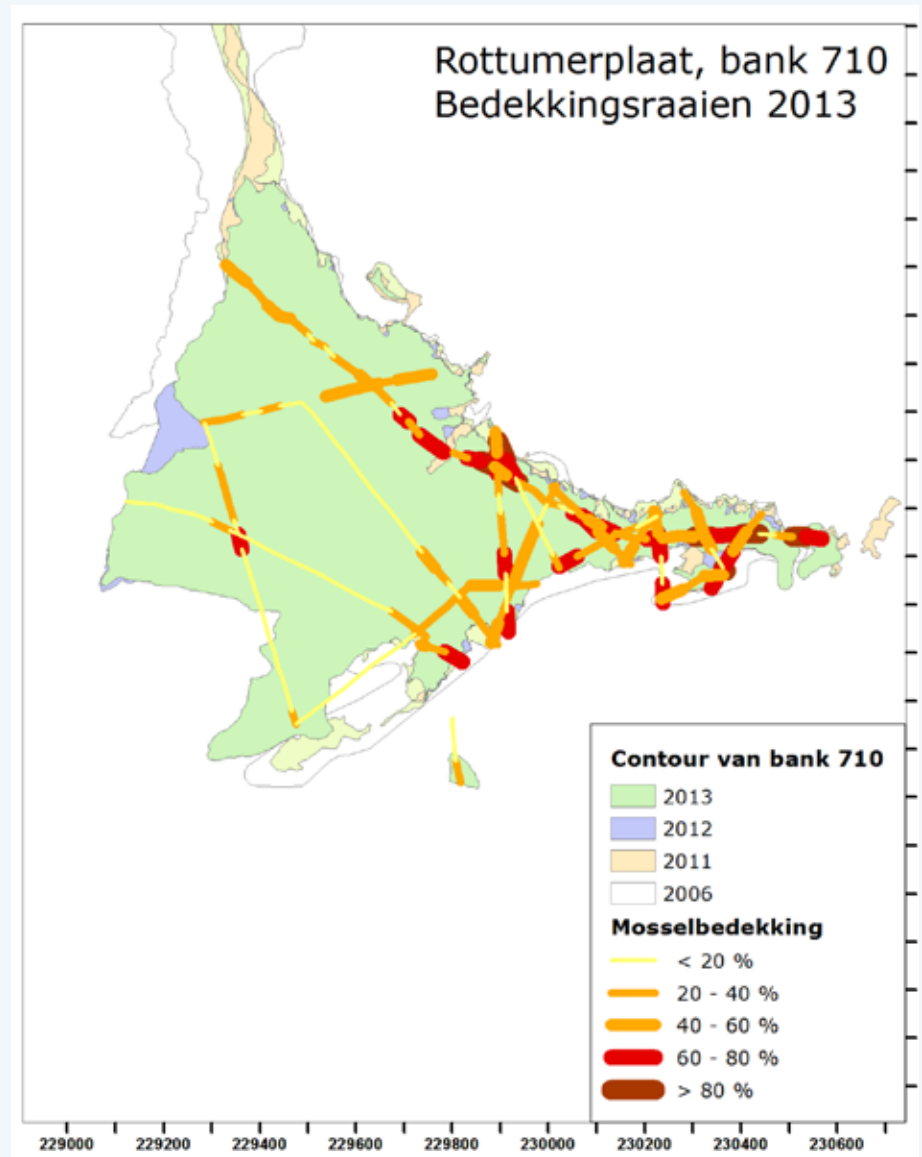
Figuur 1e. Oppervlakte van mosselbank 735 Rottumeroog (waarschijnlijk ontstaan in 2001) van 2006 t/m 2013. Geleidelijke afname tot 2012 toen de bank in zijn geheel is verdwenen (uit Fey et al., 2014).

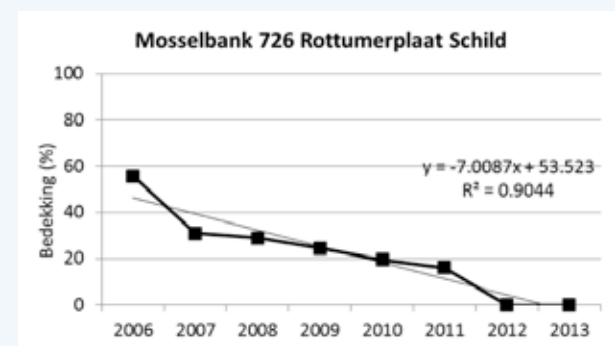
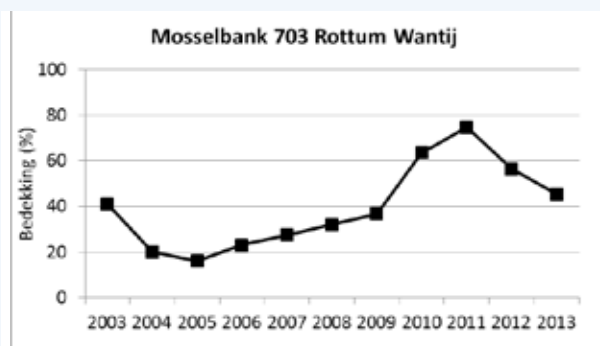
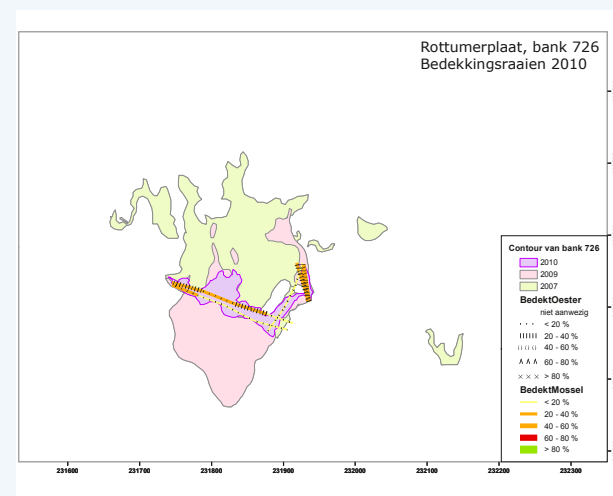
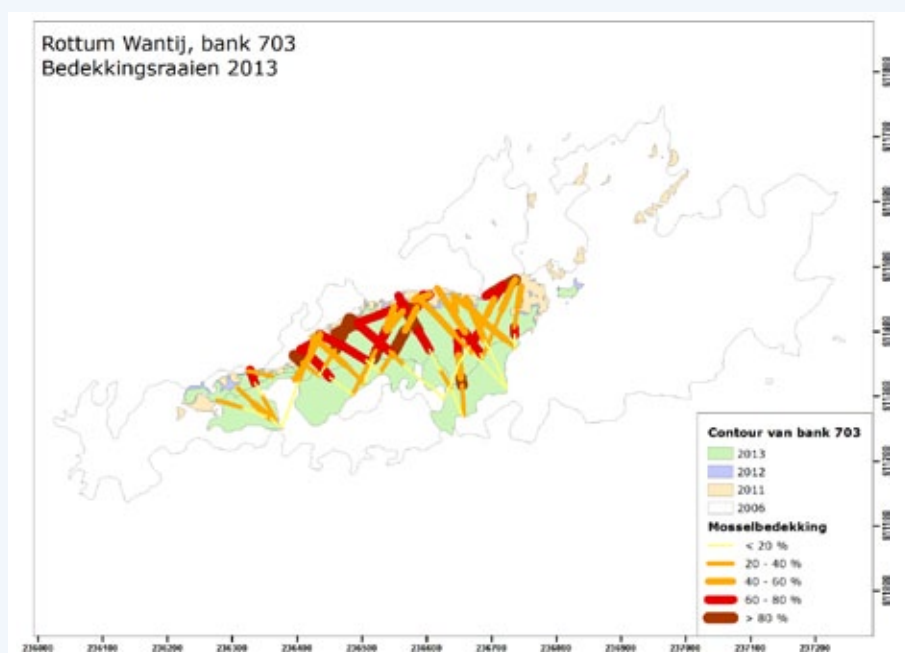
Figuur 2a. Bedekking van de mosselbank met mosselbulten van mosselbank 603 Brakzand Schiermonnikoog (ontstaan in 1994) in 2013 (boven) en de ontwikkeling van 1997 t/m 2013 – gemeten met de stap-penmethode (zie Fey et al., 2013)- Afwisselende toe- en afname (uit Fey et al., 2014)





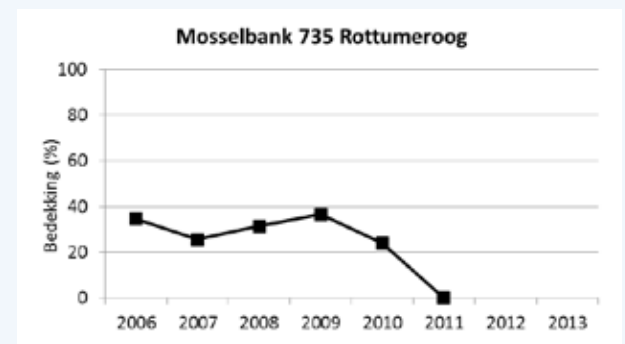
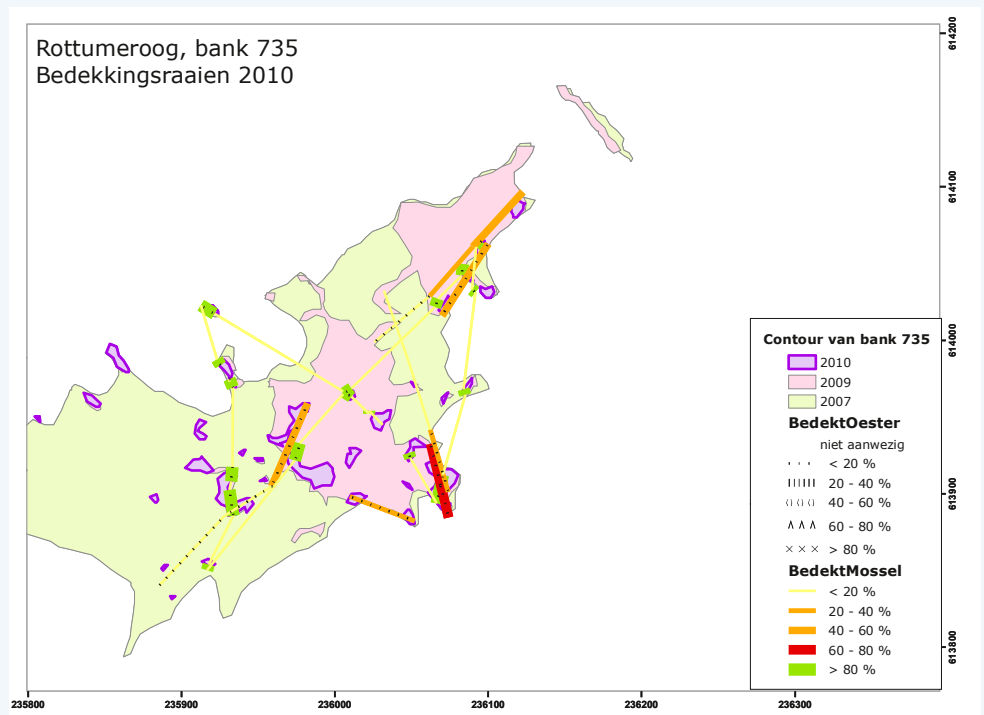
Figuur 2b. Bedekking van de mosselbank met mosselbulten van mosselbank 710 Rottumerplaat (waarschijnlijk ontstaan in 2001) in 2013 (boven) en de ontwikkeling van 1997 t/m 2013 – gemeten met de stapenmethode (zie Fey et al., 2013)- Afwisselende afname gevolgd door geregelde toename (uit Fey et al., 2014)



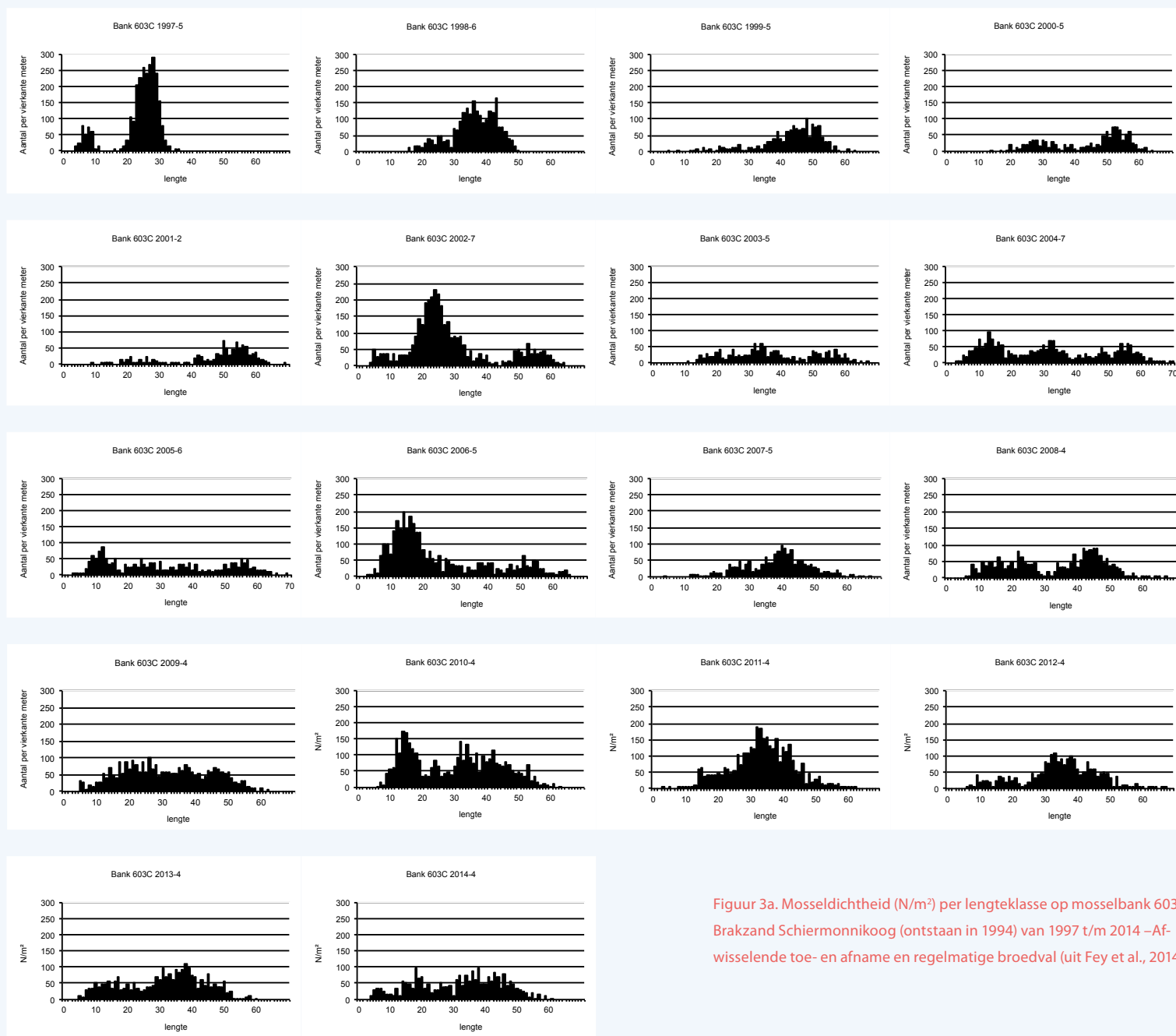


Figuur 2c. Bedekking van de mosselbank met mosselbulten van mosselbank 703 Rottum Wantij (ontstaan in 2001) in 2013 (boven) en de ontwikkeling van 1997 t/m 2013 – gemeten met de stappenmethode (zie Fey et al., 2013)- Afwisselende afname gevolgd door geregelde toename (uit Fey et al., 2014)

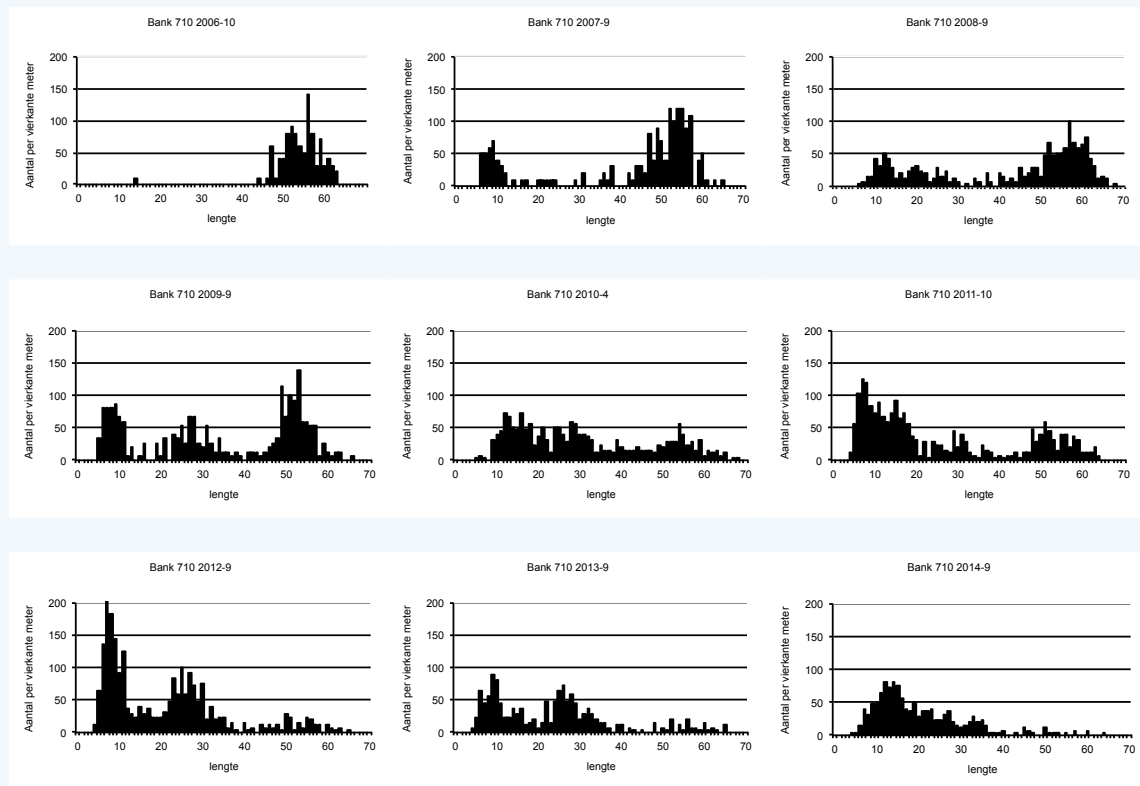
Figuur 2d. Bedekking van de mosselbank met mosselbulten van mosselbank 726 Rottumerplaat Schild (waarschijnlijk ontstaan in 2001) in 2010 (boven) en de ontwikkeling van 2006 t/m 2013 – gemeten met de stappenmethode (zie Fey et al., 2013)- Geleidelijke afname, tijdelijk afgeremd door broedval in 2008 en 2009 (uit Fey et al., 2014)



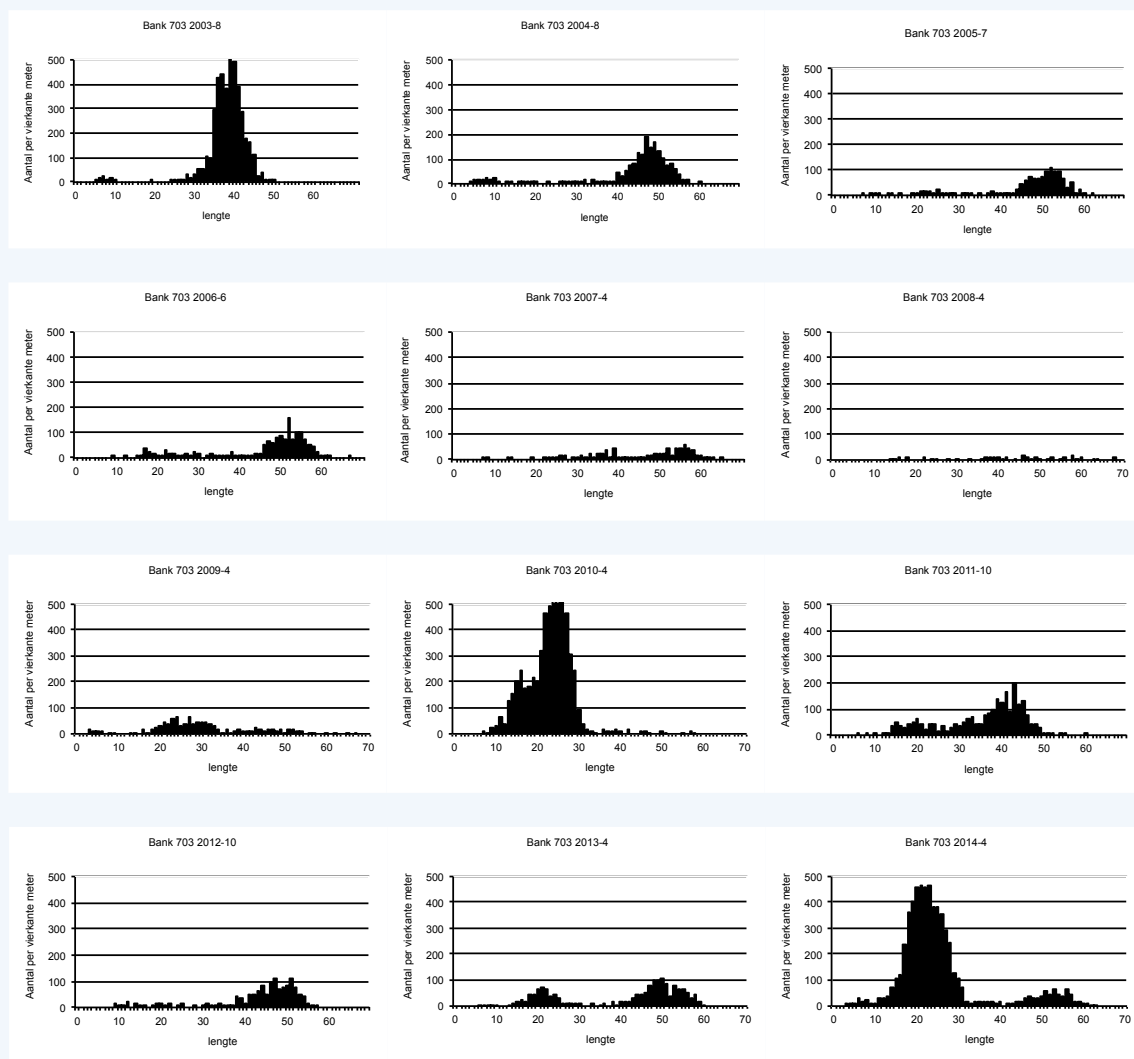
Figuur 2e. Bedekking van de mosselbank met mosselbulten van mosselbank 735 Rotumeroog (waarschijnlijk ontstaan in 2001) in 2010 (boven) en de ontwikkeling van 2006 t/m 2011 – gemeten met de stap-methode (zie Fey et al., 2013)- Geleidelijke afname met tijdelijke toename na broedval 2008 en 2009 (uit Fey et al., 2014)



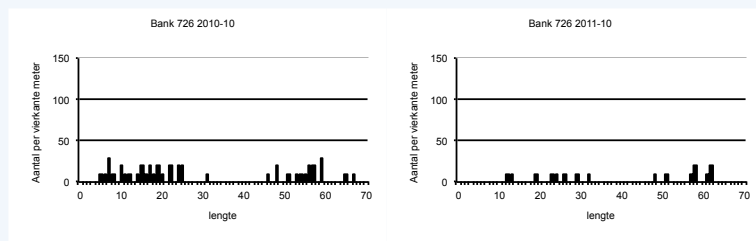
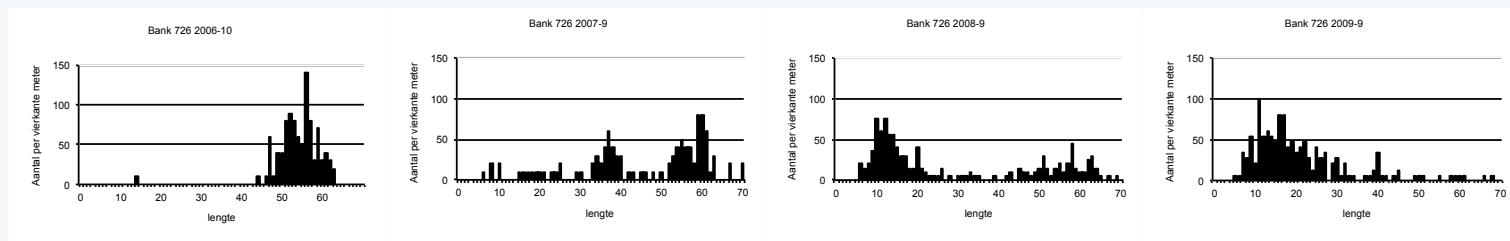
Figuur 3a. Mosseldichtheid (N/m^2) per lengteklasse op mosselbank 603 Brakzand Schiermonnikoog (ontstaan in 1994) van 1997 t/m 2014 – Afwisselende toe- en afname en regelmatige broedval (uit Fey et al., 2014)



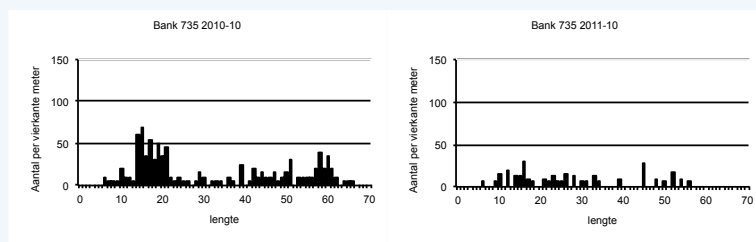
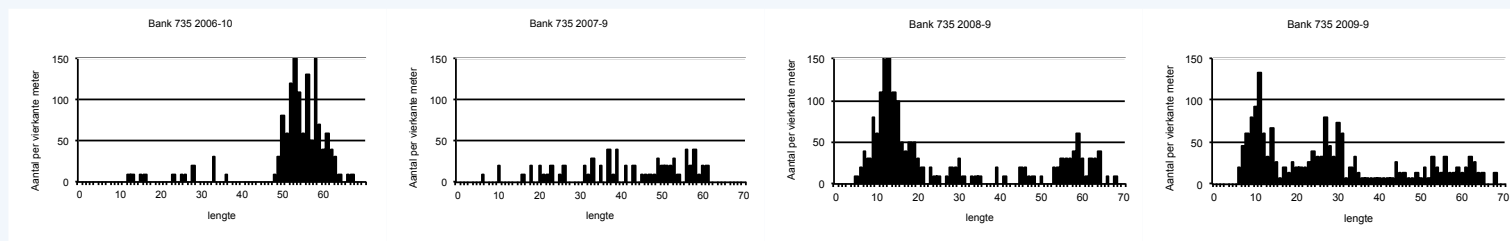
Figuur 3b. Mosseldichtheid (N/m²) per lengteklasse op mosselbank 710 Rottumerplaat (waarschijnlijk ontstaan in 2001) van 2006 t/m 2014 – Afwisselende toe- en afname en regelmatige broedval (uit Fey et al., 2014)



Figuur 3c. Mosseldichtheid (N/m^2) per lengteklasse op mosselbank 703 Rottum Wantij (ontstaan in 2001) van 2003 t/m 2014 – Regelmatig sterkte afname en met een enkele zware broedval (uit Fey et al., 2014)



Figuur 3d. Mosseldichtheid (N/m²) per lengteklasse op mosselbank 726 Rottumerplaat Schild (waarschijnlijk ontstaan in 2001) van 2006 t/m 2011 – Geleidelijke afname na kleine lokale broedval 2008 en 2009 (uit Fey et al., 2014)



Figuur 3e. Mosseldichtheid (N/m²) per lengteklasse op mosselbank 735 Rottumeroog (waarschijnlijk ontstaan in 2001) van 2006 t/m 2011 – Geleidelijke afname na kleine lokale broedval 2008 en 2009 (uit Fey et al., 2014)

Soms herstelt een mosselbank door nieuwe broedval in en rond de bank. In figuur 3 is dat duidelijk te zien bij enkele individuele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Op de mosselbank 603 en 710 is bijna jaarlijks aanvulling met nieuw broed. Deze broedval is regelmatig voldoende om de natuurlijke achteruitgang in de oudere jaarklassen aan te vullen (figuur 3a en b). De broedval op mosselbank 703 is maar een enkele keer voldoende om de afname in de oudere jaarklassen gedeeltelijk op te heffen (figuur 3c). Hoewel deze bank door de zeldzame broedval wel weer een aantal jaren mee kan, is de afname in mosseldichtheid groot zonder aanvulling in de opvolgende jaren (figuur 2c). Na de initiële broedval of in de nieuwe broedvallen in de jaren daarna zijn er soms wel enkele honderden mosselen per m² in de lagere mm klasse. Dat neemt in de jaren daarna geleidelijk af tot minder dan 50 N/m². Als er dan geen nieuw broed in de bestaande mosselbank valt, verdwijnt de bank of die specifieke mosselbult. Dat is te zien bij de mosselbanken 726 en 735 (figuur 3d en 3e). Daar was de broedval in de laatste jaren niet voldoende om de langzame achteruitgang te compenseren (figuur 2d en 2e). Deze twee mosselbanken zijn inmiddels verdwenen.

Op grotere schaal kan het effect van het uitblijven van een goede broedval, voldoende om de achteruitgang te compenseren, worden teruggezien in het nagenoeg verdwijnen van mosselbanken in de Waddenzee in het begin van de jaren negentig (Dankers et al., 1999). In het Nederlandse deel gebeurde dat na intensieve visserij in een periode van weinig broedval (1988-1991) (Dankers et al., 1999). Mosselbanken verdwenen in de periode bijna geheel uit de Nederlandse Waddenzee. De oudste mosselbanken die nu te vinden zijn op het droogvallende wad stammen uit 1994, toen er opnieuw een goede broedval was (Nehls et al., 2009).

	Oppervlakte (ha)		
	Voor 1980	1987	1997
Denemarken	4 000	-	1 000
Sleeswijk-Holstein	-	1 000-1 500	-
Nedersaksen	5 000	2 700	1 280
Nederland	4 120	-	< 200

Figuur 4. Ontwikkeling van mosselbanken in de Waddenzee rond de jaren negentig – uit de Jong et al., 1999

Die geleidelijke achteruitgang van mosselbanken in de jaren negentig werd elders ook waargenomen (o.a. Nordeney tidal inlet, Nedersaksische Waddenzee) (Obert & Michaelis, 1991; Michaelis et al., 1995; Herlyn 1996, 1999; Herlyn and Michaelis 1996; Zens et al. 1997 Herlyn & Millat, 2000; De Vlas et al 2005.). Ook in Sleeswijk Holstein nam het oppervlak af, van 1500 ha rond 1988 tot 1000 in 1994 (Ruth pers. com, Nehls & Ruth 2004, Nehls & Büttger 2006)). De oorzaken van de afname tot 1996 werden gezocht in intensivering van visserij, sterke toename van vogelpredatie, stormen, verontreiniging, lage primaire productie, bloeien van schuimalgen (*Phaeocystis globosa*), verstikking door macroalgen en parasieten in combinatie met het uitblijven van broedval (Jaklin et al. (2004); Michaelis Pers.com.). Het gebrek aan een goede broedval om het verlies aan te vullen resulteerde ook in deze gebieden uiteindelijk in het nagenoeg verdwijnen van mosselbanken in 1996. Ook na enig herstel ten gevolge van een goede broedval in 1997 trad hetzelfde verschijnsel op het Duitse wad weer op (Milat, 2005). De afname was ook nu zowel in oppervlak van de banken, het bedekkingspercentage als de dichtheid op de bulten. Daarna varieerde het mosseloppervlak tussen 600 en 1000 ha afhankelijk van de optredende broedval (Nehls 2003).

Literatuur

- Donker JJA, van der Vegt M, Hoekstra, P (2012) Wave forcing over an intertidal mussel bed. *Journal of Sea Research* Volume 82, Pages 54–66
- Carrington Bell E, Denny MW (1994) Quantifying “wave exposure”: a simple device for recording maximum velocity and results of its use at several field sites. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 181, 9–29
- Carrington E, Moeser GM, Thompson SB, Coutts LC, Craig CA (2008) Mussel attachment on rocky shores: the effect of flow on byssus production. *Integrative and Comparative Biology* 48, 801–807
- Commito JA, Dankers N (2001) Dynamics of spatial and temporal complexity in European and North American soft-bottom mussel beds. In: Reise, K. (Ed.), *Ecological Comparisons of Sedimentary Shores*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 39–59.
- Dankers N, Zuidema DR (1995) The role of the mussel (*Mytilus edulis* L.) and mussel culture in the Dutch Wadden Sea. *Estuaries* 18 (1A), 71–80.
- Dankers N., Brinkman A.G., Meijboom A. and Zegers J., 1999. Recovery of intertidal mussel beds in the Wadden Sea after long term destruction. *J Shellfish. Res.* 18:713.
- Dankers N, A Meijboom, M de Jong, E Dijkman, J Cremer, S van der Sluis (2004) Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 921. 114 blz.
- Friedland MT, Denny MW (1995) Surviving hydrodynamic forces in awe-swept environment: consequences of morphology in the feather boa kelp, *Egregia menziesii* (Turner). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 190, 109–133.
- Herlyn, M. (1996): Zur Bestandssituation der Miesmuschelbänke des niedersächsischen Wattenmeeres. – Mitteilungen aus der NNA 1/1996, Schneverdingen: 56-61.
- Herlyn, M. (1999): Zur Entwicklung des Miesmuschelbestandes der niedersächsischen Watten. In: *Umweltatlas Wattenmeer Bd. 2 – Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 70-71.
- Herlyn M and Millat G (2000) Decline of the intertidal blue mussel (*Mytilus edulis*) stock at the coast of Lower Saxony (Wadden Sea) and influence of mussel fishery on the development of young mussel beds. *Hydrobiologia* 426:203–210
- Herlyn M and Michaelis H (1996) Untersuchungen zur Entwicklung von Miesmuschelbänken der niedersächsischen Watten—Unter Berücksichtigung der Miesmuschelfischerei. *Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und reaktorsicherheit, Forschungsbericht 108 02 085/21*
- Fey F.E., N.M.A.J. Dankers, A. Meijboom, P.W. van Leeuwen, M. de Jong, E.M. Dijkman & J.S.M. Cremer (2014). “Ontwikkeling van enkele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2013”, WOt-technical report 20/ IMARES Rapport C159/14. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu/ IMARES Wageningen UR. 84 blz.; 33 fig.; 1 tab.; 24 ref.; 4 bijl. <http://edepot.wur.nl/330330>
- Jaklin, S., Rahmel, J., and Michaelis, H. (2004). Intertidal mussel stocks (*Mytilus edulis* L.) at the Niedersachsen coast and the interaction with mussel fishery. Unpublished Work.
- Jong de, F, Bakker, JF, van Berkel, CJM, Dahl, K, Dankers, NMJA, Gätje, C, Marencic, H and Potel, P (1999) Waddenzee Quality Status Rapport mmv J Wanink, A Zeevaarder en P Esselink, Nederlandse vertaling van: Wadden Sea Quality Status Report Wadden Sea Ecosystem No 9 Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group Wilhelmshaven, Germany; waaraan toegevoegd de Nederlandse situatie uitgebreid Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, RapportRIKZ/2000008; ISSN 0927-3980
- McGrath D, King PA, Gosling EM. 1988. Evidence for the direct settlement of *Mytilus edulis* larvae on adult mussel beds. *Mar Ecol Prog Ser* 47:103–6.
- Meadows, PS, Meadows A, West FJC, Shand, PS, Shaikh MA (1998) Mussels and mussel beds (*Mytilus edulis*) as stabilizers of sedimentary environments in the intertidal zone. *Geological Society, London, Special Publications* 139, 331–347.
- Michaelis H, Obert B, Schultenkötter I, Böcker L (1995) Die Miesmuschelbestände der niedersächsischen Watten, 1989–1991. Bericht Forschungsstelle Küste Norderney 40:55–70
- Millat, G. 2005 Gesamtbestandserfassung der eulitoralen Miesmuschelbänke Kartierung 2005 - Ergebnisdarstellung - Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer
- Nehls, G., 2003. Miesmuschelmonitoring im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer 1998 – 2003. Gutachten im Auftrag des

- Landesamtes für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Hockensbull.
- Nehls, G. and Ruth, M., 2004. Miesmuschelmonitoring und Miesmuschelmanagement im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. 1. Berichtszeitraum 1997 – 2002. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und des Amtes für Ländliche Räume Kiel. Hockensbull und Kiel.
- Nels, G. and Buttger, H., 2006. Miesmuschelmonitoring 1998- 2005 im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer: Ein Projekt im Rahmen des Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP). Husum, BioConsult SH: 166 pp.
- Nehls G, S Witte, H Büttger, N Dankers, J Jansen, G Millat, M Herlyn, A Markert, P Sand Kristensen, M Ruth, C Buschbaum, A Wehrmann (2009) Beds of blue mussels and Pacific oysters. Thematic Report No. 11. In: Marencic, H. & Vlas, J. de (Eds.), 2009. Quality Status Report 2009. WaddenSea Ecosystem No. 25. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany.
- Obert B, Michaelis H (1991) History and ecology of the mussel beds (*Mytilus edulis* L.) in the catchment area of a Wadden Sea tidal inlet. In: Elliot M, Ducrotoy J-P (1991) Estuaries and Coasts: spatial and temporal intercomparisons. Olsen and Olsen, Viborg, pp 185–194
- Seed R (1969) The ecology of *Mytilus edulis* L. (Lamellibranchiata) on exposed rocky shores. *Oecologia* 3, 277–316.
- Steenbergen, J., Baars, J.M.D.D., van Stralen, M.R. & Craeymeersch, J.A. 2006: Winter survival of mussel beds in the intertidal part of the Dutch Wadden Sea. In: Monitoring and Assessment in the Wadden Sea. Proceedings from the 11. Scientific Wadden Sea Symposium, Denmark, Esbjerg 4.-8. April, 2005 (Laursen, K. Ed.). NERI Technical Report No. 573, pp. 107-111. Fey et al, 2014
- Vlas de, J, B Brinkman, C Buschbaum, N Dankers, M Herlyn, P Sand Kristensen, G Millat, G Nehls, M Ruth, J Steenbergen, A Wehrman (2004) Intertidal blue Mussel Beds. Thematic report in: Essink, K., Dettmann, C., Farke, H., Laursen, K., Luerßen, G., Marencic, H. and Wiersinga, W. (Eds.), 2005. Wadden Sea Quality Status Report 2004. Wadden Sea Ecosystem No. 19. Trilateral Monitoring and Assessment Group, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- Widdows J., J.S.Lucas, M.D.Brinsley, P.N.Salkeld & F.J.Staff 2002. Investigation of the effects of current velocity on mussel feeding and mussel bed stability using an annular flume. *Helgoland Marine Research* 56: 3-12.
- Zens, M., H. Michaelis, M. Herlyn & M. Reetz (1997): Die Miesmuschelbestände der niedersächsischen Watten im Frühjahr 1994. – Ber. Forschungsstelle Küste Norderney, 41: 141-155.
- Zwarts L. & R.H.Drent 1981. Prey depletion and the regulation of predator density: oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) feeding on mussels (*Mytilus edulis*). In: N.V. Jones & W.J. Wolff (red), Feeding and survival strategies of estuarine organisms, p. 193-216. Plenum Press, New York.

Stroming in de Waddenzee is van ondergeschikt belang wat betreft erosie van mosselbanken. Binnen een mosselbank kunnen wel geulen uitslijten waarlangs erosie optreedt, maar mosselen vormen langs die geulranden ook stevige rifstructuren.

Stroming is wel belangrijk wat betreft aanvoer van voedsel. Door stroming tijdens de ontwikkeling van een bank worden onder invloed van stroming patronen gevormd die vervolgens versterkt worden omdat voedsel na korte tijd uit de waterkolom is verdwenen. Stroming is ook belangrijk voor het transport van larven en langdurige windgedreven (rest)stroming kan verantwoordelijk zijn voor uitspoelen van larven.

Door stroming kunnen ook predatoren van elders aangevoerd worden. Bekend is het verschijnsel van jonge zeesterren die aangevoerd worden naar mosselbanken in brakke gebieden waar de zeesterren van nature niet voorkomen omdat af en toe te lage zoutgehalten optreden. Tijdens een wat zoutere periode kunnen de zeesterren wel overleven en grote schade aanrichten aan zo'n bank. Af en toe hogere stroomsnelheden kunnen een voordeel zijn voor mosselbanken omdat zeesterren bij die snelheden weggespoeld worden.

Hierna worden variabelen behandeld die op één of meer stadia betrekking hebben. Indien ze betrekking hebben op meerdere stadia worden ze genoemd bij het eerste stadium en wordt aangegeven bij welke ze nog meer invloed hebben.

Sterfte en overleving van de eerste fase (S1 en S2) eieren en larven

Pascalie Jacobs (Imares)

Introductie

Recruitment kan verschillende betekenissen hebben. Zo kan met recruitment worden bedoeld het aantal larven direct na vestiging op substraat in juni of het aantal jonge mossels dat overleefde tot aan het einde van de zomer of zelfs tot na de eerste winter (Dankers en Fey-Hofstede, dit handboek). Veel wetenschappelijk onderzoek is gedaan aan recruitment op wadplaten en op mosselbanken. Recruitment wordt dan gedefinieerd als het aantal overlevenden 3-5 maanden na settlement (bv. Honkoop et al. 1998). Er zijn grote verschillen tussen jaren in het aantal overlevenden. Het is onbekend welke factoren nu precies de verschillen tussen jaren bepalen, maar temperatuur lijkt indirect een belangrijke rol te spelen. Jaren waarin de recruitment succesvol was, waren opvallend vaak jaren voorafgegaan door een strenge winter. Gedacht wordt dat er na een strenge winter minder predatoren, zoals krabben of zeesterren, zijn of dat deze predatoren pas later op de wadplaten of op de mosselbanken terugkeren. De schelpdieren zijn dan al groter en minder gevoelig

voor predatie (Beukema 1992, Honkoop et al. 1998, Strasser et al. 2001). Over aantallen direct na vestiging (*Settlement*, definitie dit handboek) is veel minder bekend. Onderzoek hier aan is lastig, helemaal als je wilt weten hoe dat zit onder water, in het sublitoraal. De introductie van mosselzaad- invanginstallaties (mzi's) kan wellicht meer inzicht geven in die initiële vestiging en overleving. Mzi's zijn netten of touwen die in het water hangen en een geschikt substraat bieden voor de vestiging van mossellarven. In de Waddenzee hangen de mzi's in het water vanaf april tot oktober. Gedurende en aan het einde van dit groeiseizoen worden er jonge mossels geoogst voor verder cultivering op mosselpercelen. Door vanaf juni regelmatig de mzi-touwen of netten te bemonsteren, kan een idee worden verkregen van het moment van eerste settlement, de aantalsontwikkeling (door eventuele extra settlement gedurende het seizoen en sterfte) en groei van jonge mosselen.

Overleving

Onderzoek aan vestiging en groei van mossels op mzi's wijst op het belang van omgevingscondities die mossels als larve ondervinden (Jacobs et al. 2014). Mosselen laten eieren en sperma los op het moment dat de watertemperatuur boven de 8-10 graden komt (Bayne, 1965). Een mossellarve kan zich pas vestigen als hij groot genoeg is. Het aantal larven dat zich vestigt, hangt onder andere af van hoeveel larven de periode tussen het uitkomen van de eieren en vestigen overleven (Widdows 1991, Drent 2002). Vanaf het moment dat de eieren in het water uitkomen tot aan het moment van vestigen zijn de jonge mossels erg kwetsbaar, ze vormen een makkelijke prooi voor veel dieren in het water (Rumrill 1990, Widdows 1991, Troost et al. 2008). Na settlement op bijvoorbeeld zeewier of mzi-touw is de sterftekans door predatie een stuk kleiner. Het is voor een larve dus van groot belang om zich zo snel mogelijk te ontwikkelen. Temperatuur is een belangrijke factor die de groeisnelheid bepaalt (Pechenik et al. 1990, Drent 2002). Uit labonderzoek bleek al dat de periode na uitkomen van het ei tot het moment van

settelen korter was bij een hogere watertemperatuur (Bayne 1965, Pechenik et al. 1990, Honkoop et al. 1998, Drent 2002). Verder is de verwachting dat bij een kort durende periode in het water er meer larven in leven blijven, immers, predatoren hebben minder lang huis kunnen houden onder de larvenpopulatie. Onderzoek aan de relatie tussen aantallen larven op mzi-touwen, het vestigingsmoment en de watertemperatuur in de Waddenzee laat zien dat de voorspelling, van meer gevestigde larven bij korte duur van de larvale periode inderdaad lijkt te kloppen (Jacobs et al. 2014).

Groei

Hetzelfde onderzoek aan mzi's liet zien dat na vestiging van de mossellarven er tussen jaren grote verschillen waren in groeisnelheid. In één jaar nam de lengte van de schelp per dag bijna twee keer zo snel toe als in een ander jaar (Jacobs et al. 2014). Dit verschil werd niet bepaald door de hoeveelheid beschikbaar voedsel na vestiging, maar eerste resultaten wijzen op een mogelijk verband tussen de groeisnelheid na vestiging en de hoeveelheid voedsel die een mossel als larve tot zijn beschikking heeft. Resultaten van laboratoriumonderzoek (Phillips 2002) lieten zien dat larven, die veel voedsel aangeboden kregen, groter waren op het moment van vestigen en sneller groeiden na vestigen. En, verrassend genoeg bleven ze ook sneller groeien in de weken erna, ongeacht de hoeveelheid voedsel die er dan beschikbaar was (Phillips 2002). Het vermoeden bestaat dat larven die veel eten kregen, naast dat ze groter zijn (een langere schelp hebben), ook meer energie over hebben op het moment van vestigen. Direct na vestigen ondergaan larven een metamorfose waarbij ze onder andere kieuwen ontwikkelen. Hiermee kunnen ze grote hoeveelheden water filtreren en dus voedsel vergaren. De larven met meer reserves zouden meer energie steken in de ontwikkeling van hun kieuwoppervlak. Zowel het hebben van een lange schelp als veel kieuwoppervlak, heeft een groot voordeel; de snelheid waarmee je voedsel uit het water kunt halen hangt van beide factoren af. Of de relatie tussen hoeveelheid voedsel

als larve en de groei na metamorfose ook buiten het laboratorium merkbaar is, zal vervolgonderzoek moeten uitwijzen.

Op wadplaten en mosselbanken zijn er tussen jaren grote verschillen in het aantal overlevende jonge schelpdieren (bv Honkoop et al. 1998). Onderzoek aan de initiële vestiging van larven op mzi's en de groei na vestiging kan helpen om de verschillen in overleving op wadplaten en mosselbanken te helpen verklaren. Dit onderzoek geeft dus een aanvulling op eerder onderzoek dat vooral keek naar de gevolgen van predatie in een later stadium.

Literatuur

- Honkoop PJC, van der Meer J, Beukema JJ, Kwast D (1998) Does temperature-influenced egg production predict the recruitment in the bivalve *Macoma balthica*? Marine Ecology Progress Series 164:229-235
- Jacobs P, Beauchemin C, Riegman R (2014) Growth of juvenile blue mussels (*Mytilus edulis*) on suspended collectors in the Dutch Wadden Sea. Journal of Sea Research 85:365-371.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2013.07.006>
- Widdows L (1991) Physiological ecology of mussel larvae. Aquaculture 94:147-163
- Drent J (2002) Temperature responses in larvae of *Macoma balthica*

from a northerly and southerly population of the European distribution range. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 275:117-129

- Rumrill S (1990) Natural mortality of marine invertebrate larvae. Ophelia 32: 163-198
- Troost K, Kamermans P, Wolff WJ (2008) Larviphagy in native bivalves and an introduced oyster. Journal of Sea Research 60:157-163.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2008.04.006>
- Pechenik JA, Eyster LS, Widdows J, Bayne BL (1990) The influence of food concentration and temperature on growth and morphological differentiation of blue mussel *Mytilus edulis* L. larvae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 136:47-64
- Bayne, BL (1965) Growth and the delay of metamorphosis of the larvae of *Mytilus edulis* (L.). Ophelia 2:1-47
- Phillips NE (2002) Effects of nutrition-mediated larval condition on juvenile performance in a marine mussel. Ecology 83:2562-2574
- Beukema JJ (1992) Expected changes in the Wadden Sea benthos in a warmer world: Lessons from periods with mild winters. Netherlands Journal of Sea Research 30:73-79
- Strasser M, Hertlein A, Reise K (2001) Differential recruitment of bivalve species in the northern Wadden Sea after the severe winter of 1995/96 and of subsequent milder winters. Helgoland Marine Research 55:182-189

(6) *Larven verspreiden zich over grote afstanden*

(7) *Zeestromen zijn een belangrijke factor in de overleving van larven*

Norbert Dankers

Na bevruchting in het water ontwikkelen de eitjes zich tot larven. Deze worden tot het dierlijk plankton gerekend omdat ze voor hun verspreiding grotendeels afhankelijk zijn van stromingen en maar zeer beperkt en bepaalde richting in kunnen zwemmen. Vissen, kwallen en filtererende dieren (zoals bijvoorbeeld oesters) kunnen een grote invloed hebben op deze planktonische larven en het merendeel wordt door hen opgegeten. Uit onderzoek van Vooys (2000) blijkt dat in de westelijke Waddenzee een negatieve relatie bestaat tussen de biomassa van adulte filterfeeders en de hoeveelheid mossellarven die zich uiteindelijk vestigt. In jaren met veel mosselen en kokkels bleek het broedsucces lager dan verwacht.

In het Nederlandse Waddengebied vindt de voortplanting plaats in het voorjaar als de watertemperatuur ongeveer 12 graden bereikt. Dat is meestal in april. Knights and Burnell (2007) onderzochten spawning langs de Ierse kust. Zij vonden spawning bij droogvallende mosselen in mei-juli maar in mosselen uit het subtidal naast het voorjaar (mei-juni) ook een piek in oktober-december. In het Duitse Waddengebied is af en toe ook sprake van een broedval in het najaar en in het Marsdiep worden ook in meerdere perioden larven aangetroffen (Philippart pers. com)

De larvale fase kan enkele weken duren, en de larven zweven in de maanden mei en juni met wind- en getijgedreven stromingen rond (Vooys 2000, Pulfrich 1995). In de buurt van zeegaten zullen ze meerdere keren van wad naar open zee heen en weer gaan en in het kustgebied met de reststroming over aanzienlijke afstanden verplaatsen. Knights en Burnell (2007) zagen wel een gedragscomponent bij larven waardoor ze bij vloed in de hele waterkolom aanwezig wa-

ren, maar bij kentering en eb vooral bij de bodem. Daardoor bleven er relatief meer in estuaria en kuszones aanwezig en werden niet naar open zee gespoeld.

Afhankelijk van o.a. temperatuur en beschikbaar voedsel ontwikkelen ze zich in een bepaalde tijd tot een stadium waarbij ze een klein schelpje krijgen. Dat is het moment dat ze zich met een byssusdraad hechten aan geschikt substraat. Dat kan in de waterfase zijn als ze tegen substraat zoals een touw, ketting of paal botsen. Anders zakken ze naar de bodem, en het is te hopen dat daar geschikt substraat aanwezig is op een moment dat er weinig stroming is. De trefkans, en dus de kans op succesvolle vestiging en overleving, hangt samen met de hoeveelheid geschikt substraat (Maas Geesteranus, 1942 Kuenen 1942). Er zijn wel aanwijzingen (Vooys pers. com.) dat chemische attractie vestiging in groepen stimuleert.

Als mossellarven toe zijn aan vestiging kunnen ze dat nauwelijks uitstellen. De groep die dan net niet op de juiste plaats is overleeft he niet. De stoomrichting op zo'n moment bepaalt dus waar vestiging optreedt. Pulfrich (1995) en Ruth (1994) noemen het fenomeen dat soms in één bepaalde komberging goede broedval optreedt en niet in en ander, of goed aan een zijde en slecht aan de andere kant van een geul terwijl er aan beide zijden geschikt substraat aanwezig was.

In de open Noordzee en langs de kusten is relatief weinig geschikt substraat aanwezig. Dat is een belemmering in de verspreiding van mosselen. Indien substraat aangeboden wordt, bijvoorbeeld bij windmolens, olie en gas platforms en wrakken dan kunnen deze als "stepping stone" functioneren en verspreiding over aanzienlijke afstanden faciliteren.

In de jaren 80 was er zorg over het al enkele jaren uitblijven van goede broedvallen. Door ICES zijn verschillende workshops met specialisten belegd, maar conclusies over oorzaken waren niet eenduidig. In sommige gevallen was men het wel eens over een correlatie met dominantie van bepaalde windrichtingen. Zo was de broedval in de Wash slecht in jaren met veel (zuid)westen wind in de periode dat

de larven aanwezig waren. Ze zouden daardoor naar open zee getransporteerd zijn en niet terecht komen op de “normale” gebieden binnen de Wash.

Literatuur

- Knights, T. & G. Burnell 2007. Managing mussel seed in the Irish Sea – the biological issues. www.nsgd.gso.uri.edu/scsgc/.../assets/.../Burnell-Irish.ppt
- Kuenen, D.J. 1942. On the distribution of mussels on the intertidal sand flats near Den Helder. Arch. Neerl. Zool. 6: 283-326
- Maas Geesteranus, R.A., 1942. On the formation of banks by *Mytilus edulis* L. Arch. neerl. Zool. 6, 283-326
- Pulfrich, A. 1995. Reproduction and recruitment in Schleswig Holstein Waddensea edible mussel (*Mytilus edulis* L.) populations. Thesis Inst. Für Meereskunde. Christian-Albrechts Uni. Kiel
- Ruth, M. 1994. Untersuchungen zur Biologie und Fischerei von Miesmuscheln im Nationalpark “Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer”. Inst. f. Meeresforschung Uni Kiel 327 pgs
- Vooy's, C. de 2000. Numbers of larvae and primary plantigrades of the mussel *Mytilus edulis* in the Dutch Wadden Sea. J. Sea Res. 41: 189-202

(52) Mossellarven lijken zich als groep te vestigen

Bij een broedval valt op dat de larven zich als groep vestigen. Dit gebeurt zowel in het pelagiaal op netten, touwen en palen al in het litoral. Soms is de reden duidelijk vanwege de lokale beschikbaarheid van geschikt substraat. Soms is het verbazend dat een deel van het geschikte substraat volledig bedekt is terwijl vlakbij onder vergelijkbare omstandigheden nauwelijks broed voorkomt. Bij verschillende soorten die dit soort “gregarious” settling gedrag vertonen is gesuggereerd dat chemische stimuli, afgegeven door de eerste settlers, vetsiging stimuleren. Bij mosselen heeft de Vooy's (2003) een chemische substantie getest die een aantrekkende werking had op mosselen.

Literatuur

- Vooy's CGN, de (2003) Effect of a tripeptide on the aggregational behaviour of the blue mussel *Mytilus edulis*. Mar Biol 142:1119–1123

Sterfte en overleving van de eerste fase na settlement (S3)

Een aantal aspecten zijn eerder behandeld onder noot 11 en 12.

(13) Strenge winters zijn positief voor een geslaagde broedval

Over het algemeen wordt aangenomen dat broedval van schelpdieren beter is na een strenge winter. Verschillende achterliggende procesmatigheden zijn gesuggereerd, veelal verbonden met een betere conditie van ouderdieren, en dus eieren en larven (Honkoop & Beukema 1997, Honkoop & vd Meer 1998) en een mismatch van voorkomen van larven en predatoren, die door de lage temperaturen (te) laat op het toneel verschijnen.

Folmer et al. (2014) analyseerden ontstaan en overleving van mosselbanken in de Waddenzee. Zij concluderen dat er jaarlijks grote variatie is in broedval en overleving en dat gezien de schaal van de Waddenzee (binnen en klimaat-zone) er geen duidelijke aanwijzingen zijn voor een duidelijke invloed van het klimaat.

Beukema en Dekker (2014) analyseerden tientallen jaren gegevens van broedval en overleving van schelpdieren. Ze hadden de beschikking over bemonsteringen in najaar (broed) voorjaar (winteroverleving) en het volgende najaar (overleving van predatie). Ze vonden een duidelijk effect van verminderde predatiedruk na strenge winters, maar dat was geheel te wijten aan lage dichtheden, tgv grote sterfte, van predatoren na strenge winters. In deze analyse is met overtuiging het belang van langjarige monitoring, zowel in vóór- EN najaar aangetoond.

Literatuur

Beukema, J.J. & Dekker, R. (2014). Variability in predator abundance links winter temperatures and bivalve recruitment: correlative evidence from long-term data in a tidal flat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 513: 1–15. doi: 10.3354/meps10978

Folmer EO, J Drent, K Troost, H Büttger, N Dankers, J Jansen, M van Stralen, G Millat, M Herlyn and CJM Philippart (2014) Large-Scale Spatial Dynamics of Intertidal Mussel (*Mytilus edulis* L.) Bed Coverage in the German and Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* 17: 550–566 DOI: 10.1007/s10021-013-9742-4

Honkoop PJC and JJ Beukema (1997) Loss of body mass in winter in three intertidal bivalve species: an experimental and observational study of the interacting effects between water temperature, feeding time and feeding behaviour. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 212: 277–297

Honkoop PJC and J van der Meer (1998) Experimentally induced effects of water temperature and immersion time on reproductive output of bivalves in the Wadden Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 220: 227–246

Sterfte en overleving gedurende najaar en eerste winter (S4)

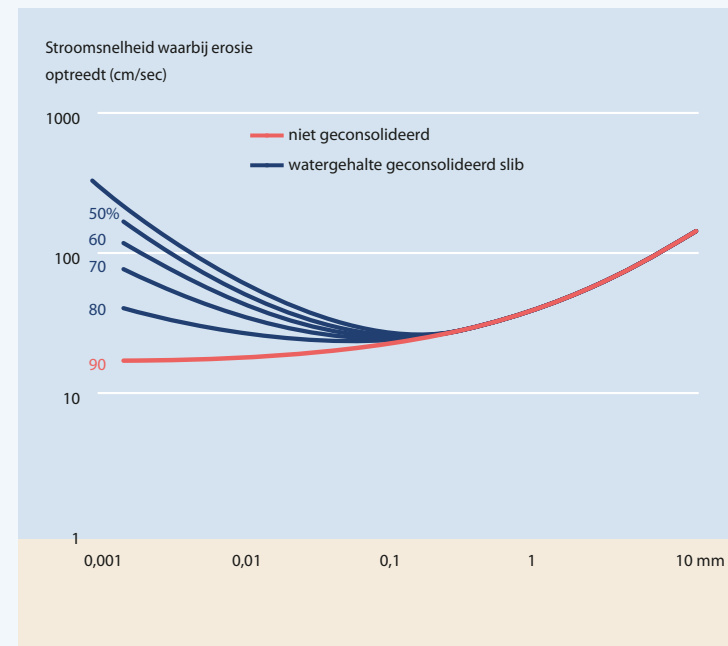
(18) Fijn slib dat enigszins uitdroogt 'consolideert', krijgt de eigenschappen van klei en is zeer stevig en erosiebestendig

Petra Dankers (RoyalhaskoningDHV) & Norbert Dankers (IMARES)

Mosselen produceren pseudofaeces. Ze filteren voedsel uit het water. Naast voedzame algen zit daarin ook zeer fijn slib. Meestal kleideeltjes die kleiner dan $2\text{ }\mu\text{m}$ zijn ($2/1000\text{ mm}$). Deze bezinken normaal gesproken niet maar worden wel door mosselen gefilterd. Omdat de kleideeltjes niet voedzaam zijn worden ze door trilharen langs de kieuwen naar buiten gewerkt en samengebald door middel van slijm tot pseudofaeces. Deze deeltjes kunnen tot 1 mm groot zijn en hebben bezinksnelheden die vergelijkbaar zijn met fijn zand. Hierdoor sedimenteren ze onder- en in de directe omgeving van de mosselbank. Kleideeltjes zouden normaal gesproken weer snel in suspensie komen, maar doordat ze nog enige tijd gebonden zijn door het slijm blijven ze liggen. Vervolgens treedt een proces op wat consolidatie genoemd wordt. Net bezonken fijn slib bevat wel 90% water en is erg instabiel. Het kan snel eroderen en wegspoelen. Bij consolidatie wordt het watergehalte lager en ontstaat een steeds stevigere bodem en neemt de weerstand tegen erosie sterk toe. Dit heeft twee oorzaken. Een slibbodem is erg glad en het water glijdt er als het ware overheen. De erosieve kracht van het water (shear stress) neemt daardoor af. Omdat het sediment steviger wordt (zie figuur) is het ook beter bestand tegen erosie. De Shear strength neemt toe en geleidelijk is er sprake

van bodemvorming, het slib wordt klei. Belangrijke eigenschappen van klei zijn plasticiteit en cohesie (Partheniades, 1986). Plasticiteit is de eigenschap van klei om vervorming te weerstaan voordat het breekt en cohesie de eigenschap om samengehecht te blijven.

Omdat de slibbodem poriewater verliest en in een kleibodem verandert neemt de stevigheid en erosiebestendigheid toe en zijn hoge stroomsnelheden nodig om zo'n sediment te eroderen.



Figuur 4. Consolidatie van slib (verlies van water) zorgt voor sterke toename van de stevigheid. Een slibbodem met een watergehalte van bijvoorbeeld 50% is veel erosiebestendiger dan een zandbodem met korrels van 2 mm

Dit principe is al lang bekend. Hjulstrøm heeft het beschreven en Postma (1967) gaf het weer in een figuur zoals hierboven in zijn klassieker over slibtransporten in de Waddenzee. Later werd het nog verder uitgewerkt oa Dade et al. (1992) en Grabowski (2011) die een zeer uitgebreid overzicht geeft over erosie van cohesieve sedimenten. Ondanks deze goed onderbouwde informatie heerst bij veel mensen nog de gedachte dat een slibbodem instabiel is en snel verdwijnt, en dat ook mosselen in en op dat slib onstabiel zouden zijn. Het proces van consolidatie van zachte sliblagen kan worden beschreven met de Gibson equation (Gibson et al., 1967), een generalisatie van de Terzaghi (1943) en Kynch (1952) theorieën. Consolidatie begint direct na sedimentatie. Als de plek droogvalt kan het water verdampen of uit een slibbult wegstromen. Ook onder water verdwijnt het poriewater snel. In eerste instantie door de druk van de bovenste sliblaag op de onderliggende, de zogenaamde eigen gewicht consolidatie (Terzaghi, 1943) maar ook door de druk van het bovenstaande water. Het poriewater “ontsnapt” via kleine kanaaltjes die op hun beurt worden opengehouden kunnen worden door sedimenterende zandkorrels. Zand in een slibbodem maakt deze ook steviger (Grabowski, 2011). Een bodem waar slib net op is gesedimenteerd bevat nog heel veel water en heeft hierdoor nog een relatief lage dichtheid ($1000\text{--}1200\text{ kg/m}^3$). De afzonderlijke korrels of slibvlokken raken elkaar nog niet en er is nog geen sterkte opgebouwd. Het sediment bevindt zich in een beginnende consolidatie fase. Spoedig verdwijnt echter water tussen de korrels en ontstaat een korrelskelet met enige sterkte welke steeds verder kan opbouwen naar dichtheden van meer dan 1400 kg/m^3 .

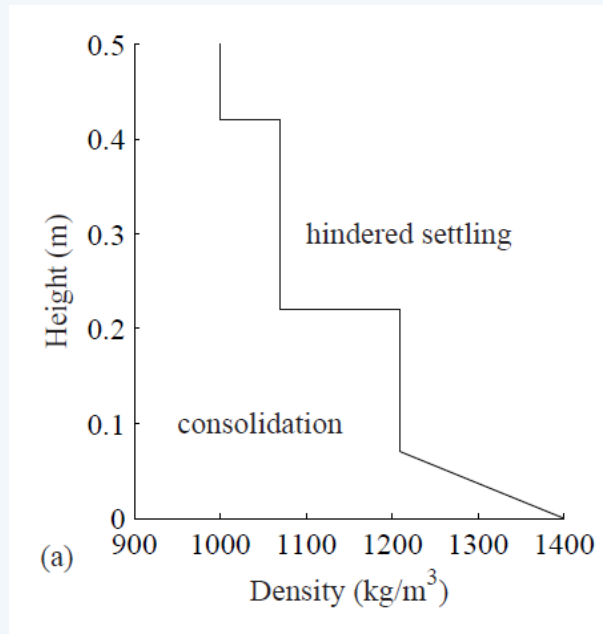
De eerste sterkteontwikkeling van de bodem gaat nog relatief vlot. Afhankelijk van o.a. het type materiaal, initieel watergehalte, mate van zandinmenging en bovenliggende gewicht bouwt een bodem binnen enkele dagen al enige sterkte op. Het echt stevig worden en ontstaan van een kleibodem is echter een kwestie van maanden of zelfs jaren. De dikte van het slibpakket is hierbij van belang maar ook

het type slib. Een klein verschil in kleideeltjes kan een groot verschil veroorzaken in sterkte van de sliblaag en het consolidatieproces (Merckelbach 1996).

Op en in een kleibodem kunnen mosselen goed verankerd zijn. Dikwijls zitten ze vast aan schelpen of dode mosselen die in de klei ingebed zitten. Na een reeks stormen kunnen die mosselen toch verdwijnen en blijven herkenbare kleibulten over. Soms blijven kleine patches goed verankerde mosselen over en in de klei zijn gaten herkenbaar van boormosselen die in hard substraat zoals veen, hout en zware klei voorkomen.



Kleibank op plaats waar mosselbank lag en resten van de mosselbank met goed verankerde mosselen



Voorbeeld van een sedimentatieproces in een valkolom met een toplaag van water, een laag met zwevend sediment (hindered settling), een laag waar beginnende consolidatie optreedt en een geconsolideerde bodem. Hoe hoger de dichtheid, hoe minder water de bodem bevat. (Dankers, 2006).

Referenties

- Dade, W.B., Nowell, A.R.M., Jumars, P.A., 1992. Predicting erosion resistance of muds. *Marine Geology*, 105(1-4): 285-297.
- Dankers, P.J.T., 2006. On the hindered settling of mud-sand mixtures. PhD thesis Delft University of Technology
- Gibson, R.E., England, G., & Hussey, M.J.L., 1967. The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays. *Géotechnique*, 17, 261-273
- Grabowski, R., I. G. Droppob & G. Whartona 2011. Erodibility of cohesive sediment: the importance of sediment properties. *Earth Science Reviews*, 105 (3-4): 101-120
<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.008>
- Kynch, G.J., 1952. A theory of sedimentation. *Transactions of the Faraday Society*, 48, 166-176
- Merckelbach, L.M. 1996. Consolidation and strength evolution of soft mud layers. PhD thesis Delft University of Technology
- Partheniades, E., 1986. A fundamental framework for cohesive sediment dynamics, in: A.J. Mehta, *Lecture Notes on coastal and Estuarine Studies*, 14. *Estuarine Sediment Dynamics*, Chapter XII, 219-250
- Postma, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: O. H. Lauff (Editor), *Estuaries*. AAAS, Washington, D.C. Publ. 83, pp. 158-179.
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley and Sons, New York.

(27) Een mosselbank heeft invloed op hydrodynamica

(41) Stormen zijn de belangrijkste factor in het overleven van een mosselbank

(44) Strijklengte is belangrijk

(45) Hoogliggende banken hebben minder overlevingskansen

Jasper Donker (Universiteit Utrecht)

Wanneer een mosselbank onder water staat wordt deze beïnvloed door waterbeweging. Stroming en golfbeweging oefenen een schuifkracht uit op de mosselbanken. Deze schuifkracht stelt de hechting van de mossel aan zijn soortgenoten en aan het substraat op de proef. De grillige vorm van een mosselbank zorgt ervoor dat stroming en golven een mosselbank als ruw ervaren. Schuifspanningen op een mosselbank zijn daardoor hoger dan op het gladde zand en slib. Deze verhoogde schuifkracht leidt dit ook tot verhoogd energie verlies voor de water beweging. Stroming en golven worden versterkt uitgedoofd over een mosselbank (Donker, 2013). Dit heeft verschillende gevolgen.

In het geval van stroming leidt dit er toe dat stroming over mossel bedekte gedeelten geremd kan worden en om de ruwere delen heen kan worden geleid. Dit effect wordt in banken met mosselbulten nog eens versterkt doordat de met mosselen bedekte gebieden hoger liggen dan de kale gedeelten van een bank. Dit heeft echter ook consequenties voor voedselbeschikbaarheid. Doordat er minder water over mossel bedekte gebieden wordt getransporteerd wordt ook minder voedsel naar de mosselen getransporteerd. Naast het veroorzaken van ruimtelijke verschillend in stroomsnelheid zorgt de verhoogde ruwheid van mosselen er ook voor dat turbulentie over een mosselbank wordt

verhoogd. Turbulentie is vooral belangrijk voor het mengen van voedsel in de water kolom. Mosselen voeden zichzelf met algen uit de waterlaag dicht bij de bodem, het voedsel in deze water laag is snel op. Voor aanvoer van voedsel is de verticale menging essentieel. De verhoogde menging door de ruwheid van mosselen zorgt voor snelle vernieuwing van voedsel in deze bodemlaag (Frechette *et al.* 1989) . Mosselen hebben dus twee effecten op stroming, ze leiden het om maar ze verhogen ook de menging. Deze twee effecten hebben een tegengesteld effect op voedselbeschikbaarheid en het hangt sterk af van de geometrie van een mosselbank welke het dominantst is. Voedselbeschikbaarheid is het hoogste in het geval van brede mosselbanken dwars op de stroom- of golfrichting waarbij er alleen verhoging van de menging is en er geen stroming rond de mosselpatches wordt geleid. Het opbreken van deze bandpatronen tijdens stormen kan daarmee consequenties hebben voor de langtermijn overleving van een mosselbank (Donker, 2015).

De hoogste schuifspanningen op hoger gelegen banken worden niet veroorzaakt door stroming maar door golven. Golf geïnduceerde schuifspanningen zijn gerelateerd aan golf orbitaal beweging; golf breking komt nauwelijks voor door de flauwe helling van de getijplaat. Golfschuifspanningen het hoogste zijn op de zeewaartse rand van de mosselbank en nemen af verder in de mosselbank. Deze zeewaartse rand beschermt dus de delen van de bank die verder van de getijgeul zijn verwijderd (Donker, 2013).

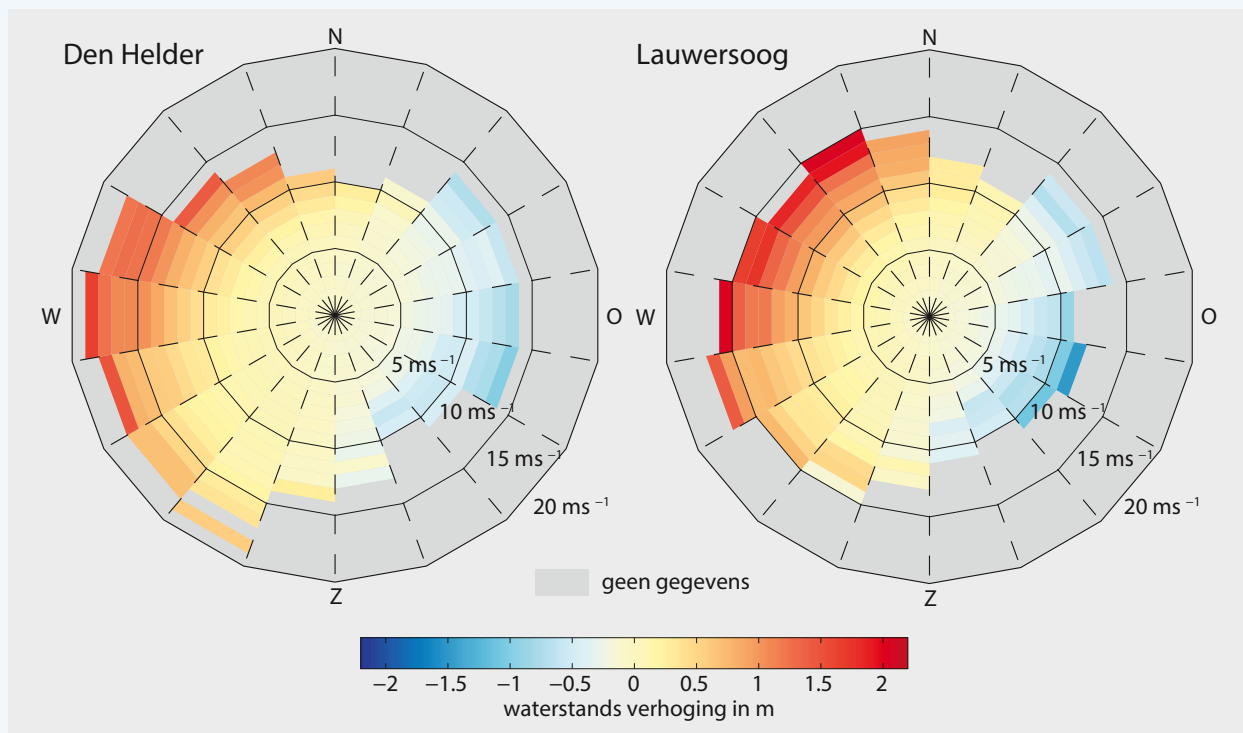
Banken op hoog liggende locaties hebben een grotere kans om een te eroderen tijdens een storm dan lager gelegen banken. Een bijkomende oorzaak hiervoor is een limitatie van de voedsel opname doordat de periode waarop de bank onderwater staat beperkt is.. Iedere hoogte toename van een hoge bank leidt tot een substantiële afname in voedingstijd (McGrorty 1991). De mossel kan daardoor minder energie spenderen aan groei en vorming van byssus

draden. Dit alles zorgt ervoor dat hogere gelegen banken een gereduceerde weerstand tegen stormen opbouwen en dus sneller kunnen worden geërodeerd. Daarnaast is ook de golf expositie tijdens kalmere perioden hoger op de hoger gelegen banken.

Golven zorgen voor de grootste schuifspanningen op intergetijde mosselbanken, daarom spelen ze ook een belangrijke rol bij de erosie van litorale mosselbanken. Hoge schuifspanningen kunnen delen van mosselbank los te trekken van het substraat. Opvallend is dat onderlinge verbindingen tussen mosselen vaak deels intact blijven. De grootste verliezen vinden plaats door patch erosie, niet door erosie van individuen (Denny, 1987). In sommige gevallen wordt een mosselbank als het ware langzaam opgerold vanaf de geëxponeerde rand. Dit komt doordat een deel van de byssus verbindingen tussen het geroeerde gedeelte en de mosselbank in tact blijven. Door het oprollen lijkt ook de hoogte van de zeewaartse rand van de mosselbank toe te nemen. Dit kan golf expositie van de bank verhogen. Uit monitoring blijkt op dat gedeelten van de bank waar eerder erosie heeft opgetreden vatbaarder zijn voor extra erosie, ook tijdens kalmere perioden (Donker, 2015).

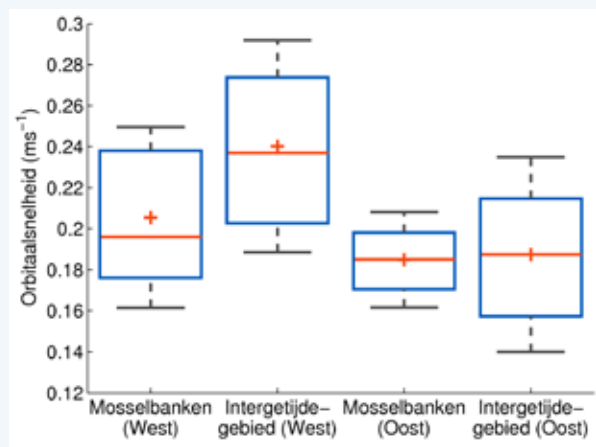
Er zijn duidelijke waarnemingen die laten zien dat stormen er voor zorgen dat gehele mosselbanken in de Waddenzee zijn verdwenen (Nehls & Thiel, 1993). Ook uit habitat geschiktheidsanalyses komt naar voren dat golf forcering tijdens een storm naar voren als een bepalende factor (Brinkman, 2002). Tevens zijn er meerdere experimenten met mosselbank aanleg mislukt doordat ze werden weggeslagen door een storm. Echter een direct verband tussen storm intensiteit en mosselbank overleving is niet gevonden (Folmer, 2014). Dit komt doordat de windrichting hierbij een belangrijke rol speelt. De eilanden en de zandplaten voor de zeegaten beschermen de Waddenzee tegen hoge golven vanuit de Noordzee. Golven worden dus

lokaal opgewekt binnen de Waddenzee. Voor het opwekken van hoge golven moet de wind kunnen werken op het water over een lange afstand. Daarnaast moet het water voldoende diep zijn zodat de energie die de wind toevoegt aan de golf niet direct weer wordt verloren door bodemwrijving of breking. Kortom windsnelheid, windrichting en waterstand spelen een cruciale rol. De waterstand wordt deels bepaald door het getij, maar ook de wind heeft hier effect op. Doormiddel van het wegblazen of op stuwen van water van en naar de Nederlandse kust wordt de waterstand in de Waddenzee beïnvloed (figuur 1). Voornamelijk stormen uit het westen/noordwesten zorgen voor een flinke waterstandsverhoging en daarbij horende golven. Gebieden geëxponeerd ten opzichte van deze richting zijn dus minder geschikt voor de vorming van een stabiele mosselbank. Waterstandsverlagingen worden veroorzaakt door oosten winden. Tijdens sterke oosten winden is de waterstand dusdanig verlaagd dat er in de meeste gebieden geen hoge golven kunnen worden gegenereerd. Tevens komen sommige hoger gelegen mosselbanken door de waterstandsverlaging niet onder water te staan. Mosselbanken geëxponeerd ten opzichte van oosten winden liggen dus erg beschermd. Kortom om de relatie tussen mosselbank overleving en stormen te onderzoeken moet er een vertaling worden gemaakt van wind condities naar golf expositie. Dit kan met behulp van golf modellen (Donker, 2015).



Figuur 1: Effect van windsnelheid en windrichting op de waterstand bij Den Helder en Lauwersoog (Donker, 2015).

Golven lijken vooral een beperkende factor te zijn in de westelijke bassins van de Nederlandse Waddenzee. Hier is door de combinatie van hogere windsnelheden, waterstandsverhoging en al dan niet beschutte ligging van de platen de golf expositie van het intergetijde gebied veel hoger dan dat in de oostelijke Waddenzee en 'zoeken' mosselbanken duidelijk de meer beschermde locaties op (Figuur2). In de westelijke Waddenzee heeft golfwerking ook een duidelijk effect op lange termijn overleving. Meer geëxponeerde banken hebben een kortere levensduur dan minder geëxponeerde banken (Donker, 2015).



Figuur 2: Verschillen in golf expositie tussen mosselbanken en totaal intergetijde gebied voor de oostelijke en westelijke Waddenzee.

Referenties

- Brinkman, A., Dankers, N. M. J. A., & Van Stralen, M. (2002). An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, 56(1), 59-75. <http://dx.doi.org/10.1007/s10152-001-0093-8>
- Denny, M. W. (1987). Lift as a mechanism of patch initiation in mussel beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 113(3), 231-245.
- Donker, J. J. A., Van der Vegt, M., & Hoekstra, P. (2013). Wave forcing over an intertidal mussel bed. *Journal of Sea Research*, 82, 54-66.
- Donker, J. J. A., (2015). "Hydrodynamic processes and the stability of intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea", Thesis University Utrecht, pp 134.
- Folmer, E. O., Drent, J., Troost, K., Büttger, H., Dankers, N., Jansen, J. & Philippart, C. J. (2014). "Large-scale spatial dynamics of intertidal mussel (*Mytilus edulis* L.) bed coverage in the German and Dutch Wadden Sea." *Ecosystems* 17.3, 550-566. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-013-9742-4>
- Frechette, M., C.A. Butman & W.R. Geyer (1989). The importance of boundary-layer flows in supplying phytoplankton to the benthic suspension feeder, *Mytilus edulis* L. *Limnology & Oceanography* 34: 19-36.
- Nehls, G., & Thiel, M. (1993). Large-scale distribution patterns of the mussel *Mytilus edulis* in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein: do storms structure the ecosystem?. *Netherlands Journal of Sea Research*, 31(2), 181-187.
- McGrorty, S. & J.D. Goss-Custard, 1991. Population dynamics of the mussel *Mytilus edulis*: Spatial variations in age class densities of an intertidal estuarine population along environmental gradients. *Mar Ecol Progr Ser* 73: 191-202

Jasper Donker, Norbert Dankers, Arno Kangeri,
Maarten Ruth

Mosselen op zichzelf zijn goed bestand tegen lage temperaturen en kunnen strenge winters overleven. Elk tij komen ze weer onder water en worden dus maar af en toe enkele uren, of bij sterke oostenwind en waterstandsverlaging maximaal enkele dagen aan zeer lage luchttemperaturen blootgesteld. Tijdens het mosselwad-project werd schade door ijs waargenomen op de mosselbank bij De Cocksdorp (Texel). Deze schade gaf aanzet tot verdere aantasting door stormen (Donker 2015).

Afname van mosselbanken door lage temperaturen is nooit gedocumenteerd. Voor oesterbanken is dat wel het geval, en oude pure mosselbanken bestaan nauwelijks meer. Oudere banken zijn een mix van oesters en mosselen. In januari en februari 2010 was na ruim tien jaar weer sprake van een strenge winter met ijsvorming. Het bleek dat in de Waddenzee van Sleeswijk-Holstein bijna 90 % van de oesters op banken deze winter niet overleefde. De sterfte was veel hoger dan in warme en milde winters. Büttger et al. (2011) wijten dat aan de lage temperaturen. De oesters waren niet door ijs weggeschoven. Dode oesters lagen en stonden op de plek van het oorspronkelijke rif. Die sterfte is verbazingwekkend, omdat de weerstand van oesters tegen extreem lage temperaturen zeer groot is (Kangeri, 2005; Strand et al. 2011)



Dode oesters na ijsbedekking (Foto Heike Büttger)

Wellicht moet een alternatieve hypothese geopperd worden. De oesters waren bedekt door een dik pakket ijs. Als zeewater bevriest verdwijnt het zout uit het ijs. Dat bestaat dus uit zoet water. Als het gaat smelten dan komen de organismen onder het pakijns in zoet of brak water te liggen als de afvoer belemmerd is, en dat is aannemelijk bij dikke pakketten. Sterfte ten gevolge van lage temperaturen is afhankelijk van de saliniteit. Hoe lager het zoutgehalte, hoe groter de gevoeligheid voor lage temperaturen (Kangeri et al., 2015).



Dikke pakketten ijs bedekten mossel- en oesterbanken (Foto: Maarten Ruth)

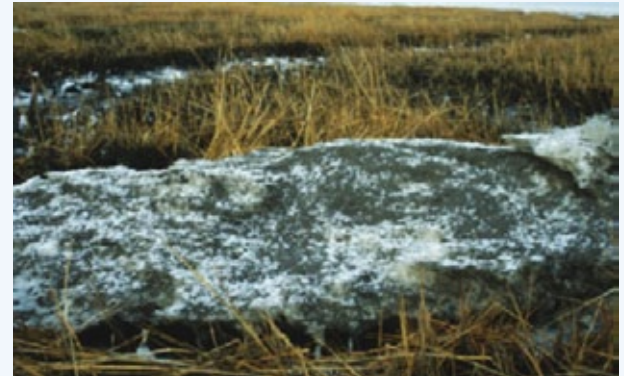
Een mosselbank kan op verschillende manieren schade ondervinden van ijs.

De schelpdieren op banken worden ingevroren en opgesloten in ijsschotsen. Als deze na een aantal tijden dik genoeg zijn gaan ze drijven en nemen de in- en aangevroren mosselen en soms de hele wadbodem mee.



Wadbodem met kokkels in een drijvende ijsschots (foto Lammert Kwant)

Na de strenge winters van 1996 en 1997 werden complete wadbodems, inclusief de fauna en delen van mosselbanken, gevonden op noordzeestranden waar ze met hoogwater “gestrand” waren. Ook op kwelders zijn dikke slikbulten midden in de vegetatie een bekend verschijnsel na strenge winters.



Slibbulten op kwelder na ijswinter (Foto's: Willem van Duin)

Schotsen, of hele ijsvelden gaan onder invloed van wind en stroming schuiven. Deze kruierende massa's (zie www.youtube.com/watch?v=TNB8HVv_N1U) kunnen door mechanische stress mosselbanken verpletteren of wegschuiven. Soms drijven kleine ijsbergen rond die door wind of tij gedreven duidelijke sporen trekken in wadbodem en mosselbanken (zie <http://www.wadgidsenweb.nl/nieuwsarchief/534-ijsvorming2012.html>) Bij Amrum (noordduitse Waddenzee) kwamen in 1995 nog veel mosselbanken voor en die werden in die periode geïnventariseerd. De ijsschade van de winter van 1996 is goed te zien op deze foto's (collectie Maarten Ruth)



De eerste foto's tonen de ijsbedekking van een mosselbank ten zuiden van de pier in Steenodder, tijdens en na de ijsbedekking

De volgende twee zijn vergelijkbaar met de voorgaande, maar dan van de bank ten noorden van de pier.

Deze twee banken lagen laag in het intergetijdegebied, net boven de laagwaterlijn en werden dus maar korte tijd rond laagwater blootgesteld aan bewegend ijs. De grootste schade trad op kort vóór en nadat het drijvende ijs vastliep. De schrapende werking van het ijs is goed te zien aan de sporen die in de wadbodem zijn getrokken.



Ijssporen op het wad (Foto's: Heike Bütger(L) en Maarten Ruth (R))

Er lagen ook mosselbanken hoger in het getijdegebied. Daar stonden ze langer onder invloed van het ijs, en het ijs bleef er lang op liggen. De mosselen vrozen vast in het ijs en bij hoge tijden dreef het geheel weg. Ook op Amrum werden na de winter op het Noordzeestrand pakketten slib met mosselen en kokkels gevonden.

Geconcludeerd wordt dat de schade ernstiger was naarmate de bank hoger lag. Alleen direct langs stroomgeulen veroorzaakte langsstromend ijs vergelijkbare schade.

Onderstaande foto's laten de resten van zo'n hoogliggende mosselbank zien. Die lag er in 1994 nog perfect bij, zoals te zien in de foto's er onder.





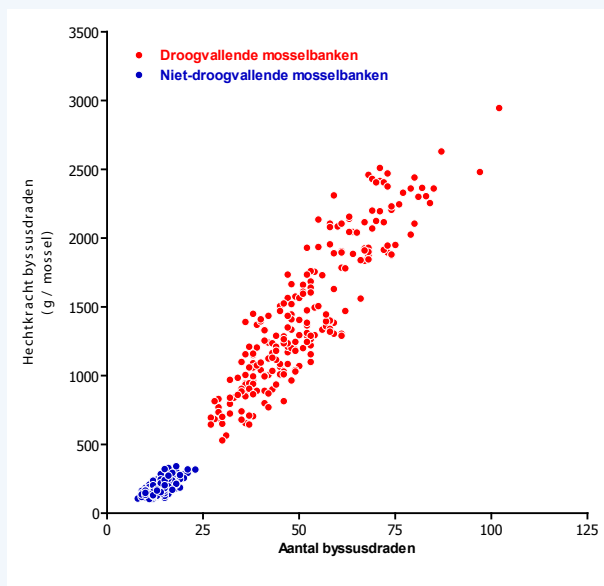
Situatie in 1994

Literatuur

- Büttger, H., G. Nehls & S. Witte. 2011. High mortality of Pacific oysters in a cold winter in the North-Frisian Wadden Sea. *Helgol. Mar. Res.* 65:525–532.
- Donker J.J.A. (2015). "Hydrodynamic processes and the stability of intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea", Thesis University Utrecht, pp 130.
- Kangeri, A. K. 2005. Winter mortality and freeze tolerance in Pacific oysters *Crassostrea gigas* (Thunberg). MS thesis, University of Groningen, Department of Marine Biology. 53 pp.
- Kangeri, A.K., D. Haydar, K. Troost, L. Venekamp, & W.J. Wolff 2015. : Freeze tolerance in *Crassostrea gigas* (Mollusca, Ostreidae) In manuscript
- Strand, A., A. Waenerlund & S. Lindegarth 2011. High tolerance of the pacific oyster (*Crassostrea gigas*, Thunberg) to low temperatures. *Journal of Shellfish Research*, Vol. 30, No. 3, 733–735, 2011.
- <http://dx.doi.org/10.2983/035.030.0313>

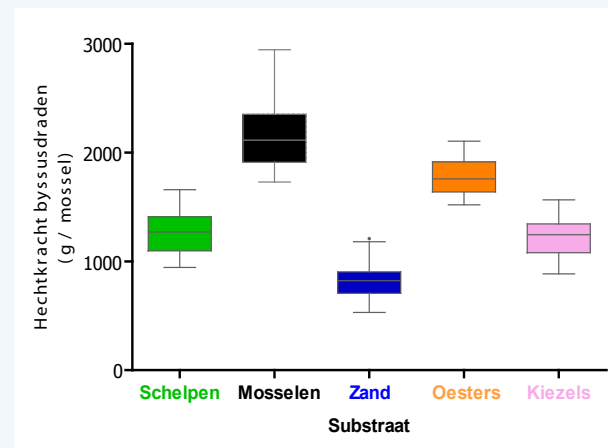
Sander Glorius, Arno Kangeri IMARES

Mosselen zijn in staat zich in de hoog dynamische Wadden-zee zonder harde structuren te handhaven door zich aan elkaar en de ondergrond te bevestigen met bysusdraden. Hierbij gebruiken ze voornamelijk soortgenoten maar ook schelpresten en stenen worden gebruikt als hechtmateriaal, zie figuur 4. Het aantal bysusdraden dat gebruikt wordt is afhankelijk van lokale milieufacties zoals golfenergie en stromingsregiem en mogelijk ook predatiedruk. Bij voedseltekorten, slibophoping en toename toxische stoffen kan loskoppeling gewenst zijn. Bankinstabiliteit is dan een direct gevolg.

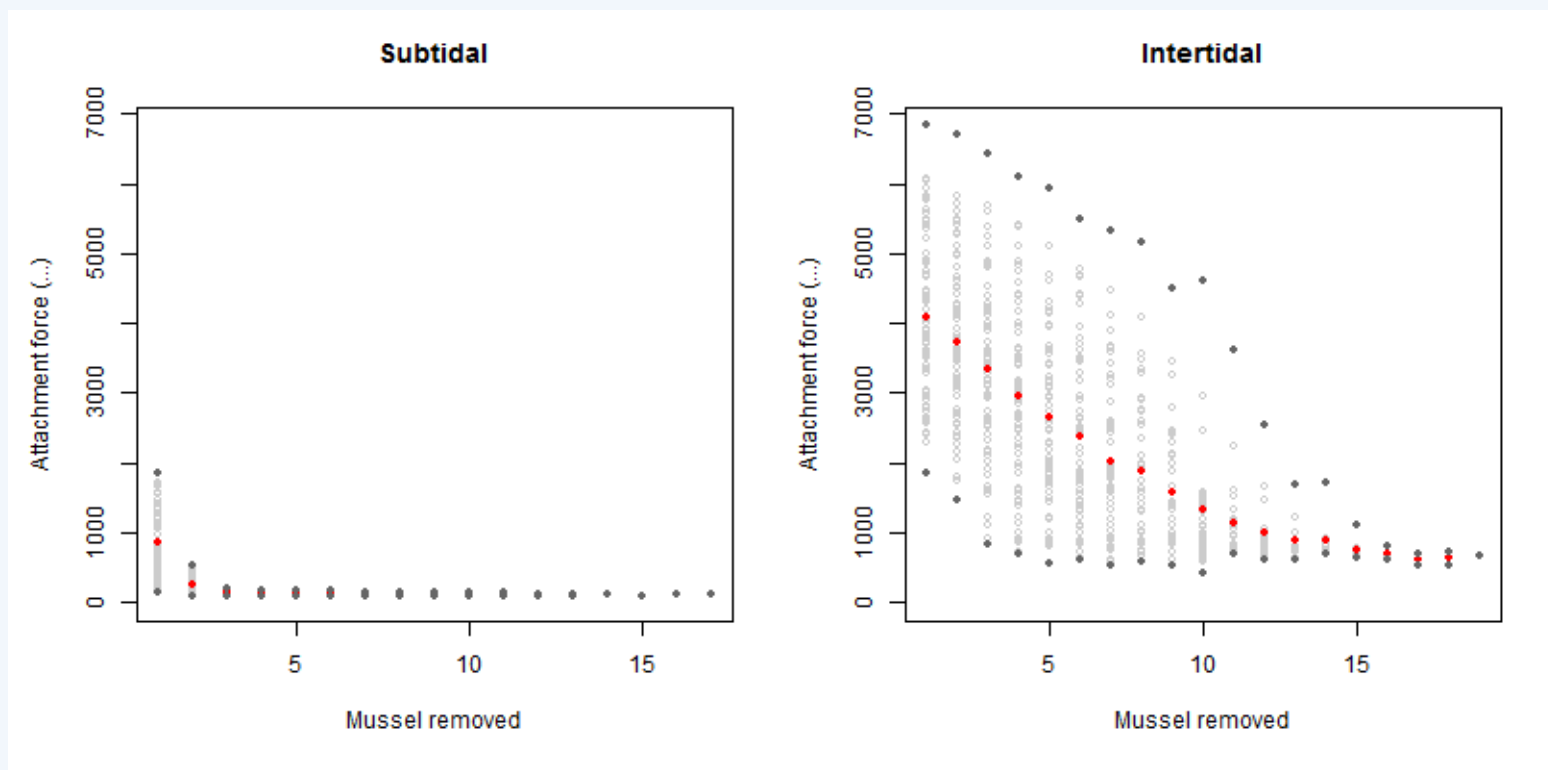


Er bestaat een markant verschil in hechtingskracht tussen sublitorale- en litorale mosselklonten. Door een beperktere invloed van golfwerking in het sublitoraal is de hechtingskracht van sublitorale mosselen vijf keer zo laag is dat van litorale mosselen (Jansen e.a. in prep). Omdat de hechtingskracht per bysusdraad gelijk is, wordt de lagere hechtingskracht veroorzaakt door een beperkter aantal bysusdraden per mossel in het sublitoraal, zie figuur 4.

Ook de stabiliteit na aantasting van de klomp blijkt voor sublitorale mosselklonten lager te zijn dan voor litorale mosselklonten. Bij het stapsgewijs verwijderen van individuele mosselen uit een sublitorale mosselklomp neemt de kracht waarmee de achtergebleven mosselen zich onderling hechten sterker af dan in het geval van een litorale mosselklomp, zie figuur 6. Hierdoor heeft de aantasting van de klomp, door bijvoorbeeld vogelvraat, voor sublitorale mosselklomp in potentie een grotere invloed op de stabiliteit van de achtergebleven mosselen dan voor een litorale klomp.



Figuur 5. Boven hechtingskracht litorale mosselen aan verschillend type substraat, links verschil in aantal bysusdraden en hechtingskracht tussen litorale- en sublitorale mosselen (Jansen e.a. in prep).



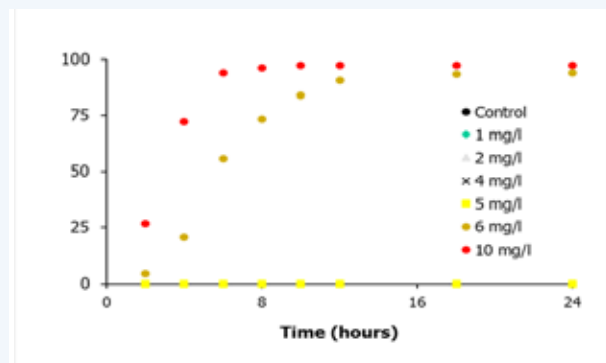
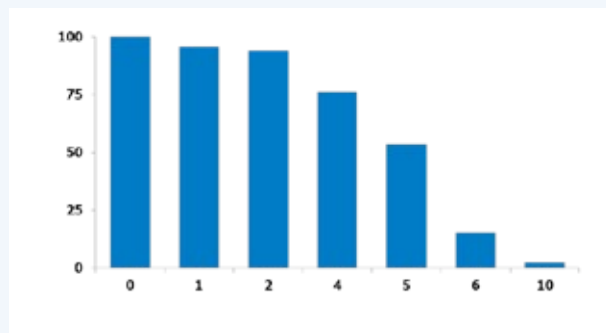
Figuur 6. Afname hechtingskracht van een mosselklomp bij verwijdering van individuele mosselen. Voor sublitorale mosselklompen (links) en litorale mosselklompen (rechts) (Jansen e.a. in prep).

Reactie op waterstofsulfide

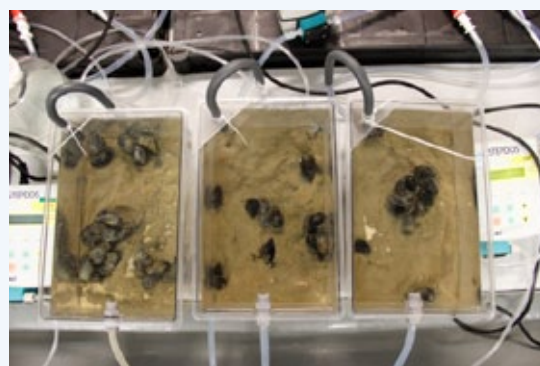
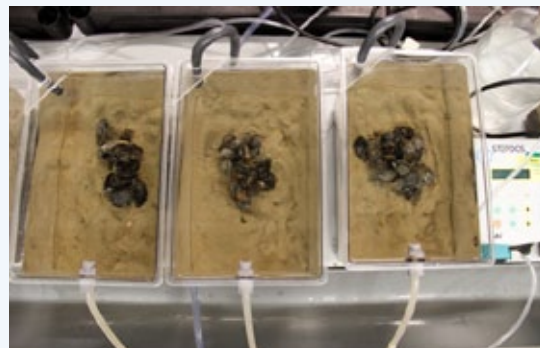
Onder sommige, voor mosselen ongunstige, milieucondities zullen mosselen zich loskoppelen en tred bankinstabiliteit op. Dit kan veroorzaakt worden door ophoping van toxische stoffen zoals ammonium en waterstofsulfide. Dergelijke stoffen kunnen ontstaan onder zuurstofloze condities. De kans op zuurstofloze condities neemt toe naarmate het sediment verrijkt wordt met organisch materiaal en bacteriën dit materiaal omzetten met behulp van zuurstof. Een typisch

verschijnsel van mosselbanken is toename van organisch materiaal door filtratie van algen en organisch materiaal, en uitscheiding van psuedofeases.

In een laboratorium experiment is het gedrag van mosselen bestudeerd bij verschillende opgeloste concentraties waterstofsulfide (range 0 – 10 mg/l). Bij een concentratie van 4 mg/l nam het aantal mosselen dat zich los had gekoppeld van de klomp sterk toe, zie figuur 5. Bij een verdere verhoging, concentratie > 6 mg/l, begonnen mosselen zaad- en eicellen uit te scheiden, zie figuur 5 & 6 (Rajagopal e.a. in prep).



Figuur 7. Procentueel aandeel mosselen in mosselklomp bij verschillende concentraties waterstofsulfide (boven) en procentueel aandeel mosselen dat eicellen uitscheidt (onder) (Rajagopal e.a. in prep).



Figuur 8. Mosselklompen op tijdstip 5 onder regime van 1 mg/l H_2S (boven) en op tijdstip 5 bij 10 mg/l H_2S (onder), (Rajagopal e.a. in prep).

Vertalen van deze bevindingen naar Waddenzee condities is lastig. Door invloed van getij, golfwerking en stroming zullen waterstromen mengen waarbij zuurstof aan- en waterstofsulfide afgevoerd wordt. Massale mosselsterfte is geobserveerd ten tijde van sluiting van de Oosterschelde-kering tbv civieltechnische werken. Ook worden in de Waddenzee onverklaarbare sterftes gezien op jonge zaadbanken in perioden van rustig weer en weinig stroming in perioden van dood tij. Plekken met weinig tot geen stroming zullen het meest gevoelig zijn voor bankinstabiliteit als gevolg van

toegenomen waterstofsulfideproductie. Door periodieke blootstelling aan de atmosfeer zullen litorale banken minder gevoelig zijn voor sulfide vergiftiging. Tijdens laagwater houden schelpdieren hun schelp sterk gesloten.

Referenties

- Jansen, J., Glorius, S., and Rajagopal, S. (in prep.), "Attachment force of sublitoral mussels compared to litorale mussels in the Dutch Wadden Sea".
 Rajagopal, S., Glorius, S., and Jansen, J. (in prep.), "Reaction of sublitoral mussels to elevated H_2S concentrations".

(37) Zilvermeeuwen kunnen een jonge mosselbank helemaal leegvreten

Bruno Ens, SOVON

Zilvermeeuwen kunnen in zeer hoge dichtheden op jonge mosselbanken voorkomen, maar dat bewijst nog niet dat de predatiedruk zo hoog is dat zo'n jonge bank door predatie verdwijnt. Een goed gedocumenteerde waarneming van Zilvermeeuwen die een jonge mosselbank vrijwel zeker geheel leeg aten betreft een mosselbank langs de Friese kust. In 1984 had daar broedval plaatsgevonden en in mei, juni en juli 1985 foerageerden grote aantallen Zilvermeeuwen op de betreffende bank: de gemiddelde dichtheden varieerden tussen 10 en 20 Zilvermeeuwen per ha; voldoende om 80% van het mosselbestand te consumeren (Zwarts & Ens 1999). In de herfst van 1985 was de bank geheel verdwenen. Waarschijnlijk kan een dergelijke hoge predatiedruk alleen bereikt worden als de mosselbanken volledig uit jonge mossels bestaan. (Hilgerloh 1997) vonden een lage predatiedruk van Zilvermeeuwen op mosselbanken waar de broedval had plaatsgevonden tussen grote oude mossels. Op een jonge bank zonder oude mossels was de predatiedruk aanzienlijk hoger, al werd de bank niet geheel leeggegeten (Hilgerloh *et al.* 1997).

Vermoedelijk speelt ook de verhouding tussen de aantallen Zilvermeeuwen en het aanbod jonge mossels een rol. In het najaar van 2001 was er sprake van een massale broedval van mossels in het intergetijdegebied. Als onderdeel van een wegvisproef werd de verdwijning van mossels van beviste en onbeviste delen van verschillende zaadbanken vergeleken (Smaal *et al.* 2004). Op een enkele bank werden zeer hoge dichtheden Zilvermeeuwen waargenomen, maar op de meeste banken waren de dichtheden zo laag dat de predatiedruk van geen betekenis was.

Literatuur

- Hilgerloh G. 1997. Predation by birds on blue mussel *Mytilus edulis* beds of the tidal flats of Spiekeroog (southern North Sea). *Marine Ecology Progress Series* 146: 61-72.
- Hilgerloh G., M.Herlyn & H.Michaelis 1997. The influence of predation by herring gulls *Larus argentatus* and oystercatchers *Haematopus ostralegus* on a newly established mussel *Mytilus edulis* bed in autumn and winter. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 51: 173-189.
- Smaal A.C., M.R.van Stralen, K.Kersting & N.Dankers 2004. Eindrapport EVA II deelproject F5 (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase): De gevolgen van gecontroleerde bevissing voor bedekking en omvang van droogvallende mosselzaadbanken, een test van de Janlouw hypothese en van mogelijkheden voor natuurbouw. RIVO rapport C022/04, RIVO, Yerseke.
- Zwarts L. & B.J.Ens 1999. Predation by birds on marine tidal flats. *Proceedings of the 22nd International Ornithological Congress in Durban*: 2309-2327.

Effecten van menselijk handelen

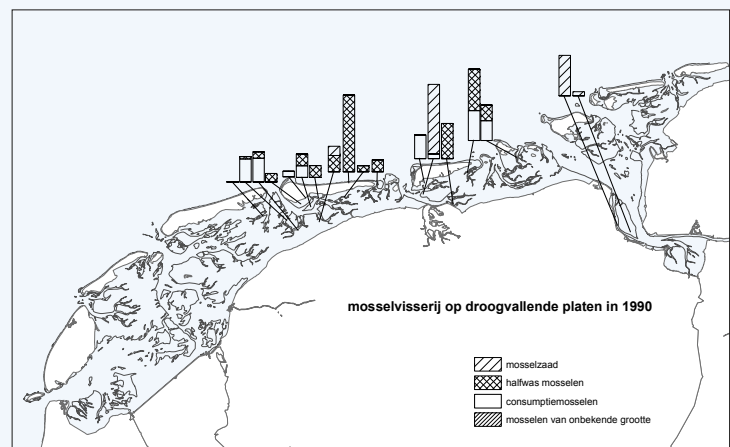
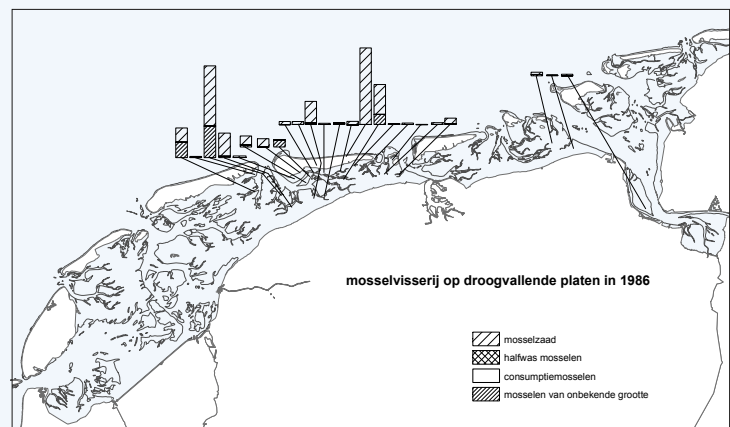
De jonge mosselbanken zijn gevoelig voor menselijke activiteiten. Ze kunnen beschadigd worden door schepen die met hun kiel of schroeven geulen trekken en door visserij. Deels gebeurt dat per ongeluk omdat de banken nog niet als zodanig herkend worden, of geen belemmering vormen. Op oudere banken lopen schepen vast of raken netten beschadigd.

Visserij

Visserij naar mosselen op een bestaande mosselbank heeft natuurlijk directe effecten. De geviste mosselen verdwijnen. In het hoofdrapport is reeds aangegeven dat de op de platen geviste hoeveelheden sterk toenamen in de jaren 80 (fig 11 blz 61). Uit enquêtes bleek dat de visserij op alle platen plaatsvond. Onderstaande kaart geeft de vislocaties zoals gemeld door de sector. De locaties in de oostelijke Waddenzee betroffen nagenoeg geheel droogvallende platen. Deze situatie bleef zo tot 1989 en 1990 waarna alle banken verdwenen waren.



Vislocaties in 1984 (uit Dankers, 1986)



Relatieve hoeveelheden geviste mosselen in 1989 en 1990 (uit Dankers et al. 2004)

Op droogvallende mosselbanken is in Nederland weinig gericht onderzoek gedaan naar effecten van mosselvisserij. In Duitsland werd de invloed globaal onderzocht (Herlyn et al. 1999; Herlyn & Millat 2000). Het zg EVA-II onderzoek richtte zich vooral op de effecten van kokkelvisserij, maar in voorkomende gevallen werd zijdelings ingegaan op mosselvisserij (Ens et al 2004).

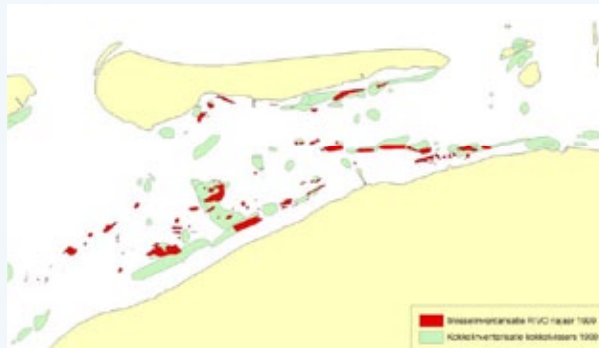
In het sublitoraal werd wel gericht onderzoek gedaan naar

mosselvisserij in het PRODUS project. Omdat daarover uitgebreid gerapporteerd is (Smaal et al 2014) wordt daar hier niet verder op ingegaan. Een overzicht van de in het sublitoraal geviste hoeveelheden in de jaren 80 is uitgewerkt door Dankers et al (2004). In het hoofdrapport zijn geviste hoeveelheden tussen 1992 en 2013 in relatie tot de oorspronkelijke biomassa weergegeven in fig 12 op blz 61

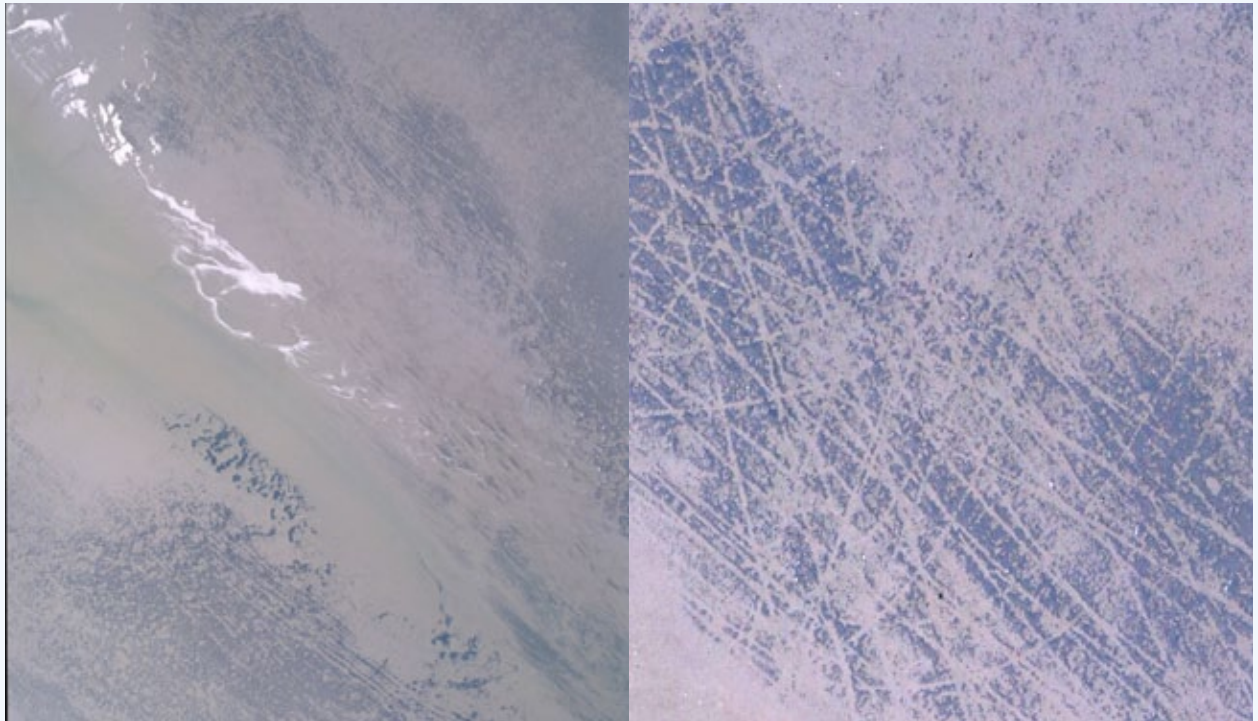
In het kader van het EVA-II onderzoek werd wel onderzoek gedaan (Smaal et al 2004) naar de z.g. Jan Louw hypothese, in Duitsland bekend als de Hagenau hypothese. Deze hypothese stelde dat door het bevissen van een mosselzaadbank deze steviger zou worden omdat het slib onder de mosselen gemakkelijker weg zou kunnen spoelen en de mosselen op een steviger, zandiger, ondergrond zouden komen te liggen. De hypothese moest verworpen worden.

Na de goede broedval van 1987 werd onder Ameland onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van mosselbanken. In die periode werd ook op die banken gevist en de ontwikkeling kon gevolgd worden. In het voorjaar van 1988 werd daar een aantal mosselbanken met een totaaloppervlak van 283 ha onderzocht (Dankers et al 2004, blz 26). Daarop lag een bestand van 16.6 miljoen kg. Na de visserij die plaatsvond eind mei en begin juni was nog 5 miljoen kg over. Er werd dus ongeveer 11.5 miljoen kg gevist. De resterende 5 miljoen kg groeide zodanig dat in 1989 volgens enquêtes onder de vissers 14 miljoen kg gevist kon worden. Deze toename in gewicht is het resultaat van de groei van individuele mosselen, en niet door uitbreiding van het areaal. Daarvoor zou nieuwe zaadval nodig zijn geweest. Dat dat niet het geval was blijkt uit de samenstelling van de vangst die toen uit halfwassmosselen bestond. In 1990 was nog maar een kleine hoeveelheid aanwezig, en tijdens de visperiode werd ca. 1,5 miljoen kg opgevist. Samenhangend met de toenemende leeftijd werden er in 1989 en 1990 relatief veel halfwas en consumptiemosselen van de wilde banken opgevist. In de rest van de Waddenzee was de situatie vergelijkbaar. Uit praktijkervaringen was ook gebleken dat kokkelbanken zeer geschikt waren als substraat voor mosselbroedval.

Onderstaande figuur is daarvan een voorbeeld. Deze observatie leidde er ook toe dat de kokkelvisserij gereguleerd werd door, naast de reeds via de structuurnota van 1993 gesloten 26% van het plaatareaal, aanvullend 5% te sluiten in delen waar de grootste kans bestond voor ontwikkeling van mosselbanken. Om die delen aan te wijzen werd door Brinkman & Bult (2003) de “mosselhabitatkaart” ontwikkeld.

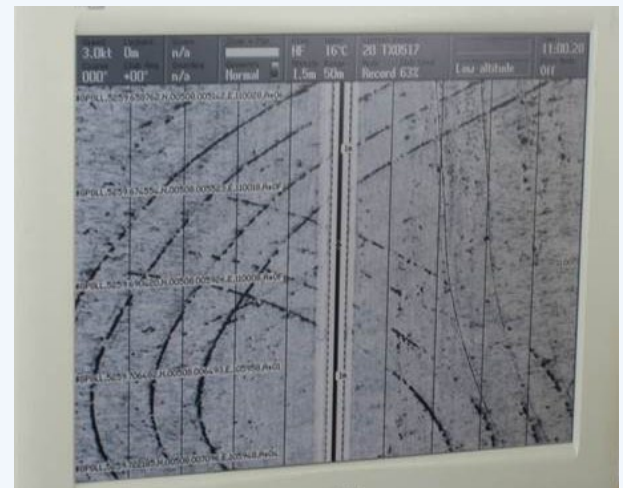


De functie van kokkels voor broedval, en de invloed van visserij, wordt ook duidelijk gedemonstreerd door een toevallige waarneming op mosselzaadbanken. Deze werden gefotografeerd bij een inventarisatie met luchtfoto's in 2001. De sporen zijn duidelijk. Omdat visserij op mosselbanken verboden was zijn de blackbox gegevens opgevraagd. Er bleek in de periode na de zaadval niet gevist te zijn. De afstand tussen de sporen komt overeen met de zuigkorren op kokkelschepen. Die waren daar dat najaar banken helemaal niet actief geweest. De sporen bleken precies te passen op black-box tracks van een jaar eerder (2000). Geconcludeerd moet worden dat de mosselbank zich gevestigd heeft op de kokkels in de bank en dat in de stroken waar de kokkels weg waren geen broedval plaatsvond.



Sporen van kokkelkorren op een mosselzaadbank in december 2001.
Foto rechts is detail van links.

Ook garnalenvisserij kan invloed hebben op ontwikkeling van mosselbanken. Dit aspect speelt in het sublitoraal omdat garnalenvisserij op droogvallende platen niet of nauwelijks voorkomt. Onderstaande figuur is gemaakt tijdens een side-scan sonar survey naar mosselbanken.



Sporen op locatie met mosselzaad (17 mei 2006)

Afgaande op de afstand tussen de sporen zijn ze gevormd door de sloffen van de boomkor van een garnalenvisser. De hypothese is dat er gevist is op een locatie waar zeer jong mosselbroed aanwezig was. De mosseltjes zijn waarschijnlijk niet groter geweest dan een paar mm omdat garnalenvissers problemen hebben als er grotere mosselen hun net verstoppert of vast laten lopen. De sloffen zijn spiegelglad door het schuiven over zand en ze kunnen het mosselbroed in de bodem drukken. Het sediment met mosselen tussen de sloffen is aangeveegd door het net of de "losliggende" mosseltjes zijn door andere oorzaken, bijvoorbeeld stroming of golven verdwenen.

Literatuur

- Brinkman, A.G. & T. Bult 2003. Geschiede eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het voorkomen van meerjarige natuurlijke mosselbanken. Alterra rapport 456. Wageningen.
<http://edepot.wur.nl/53088>
- Dankers, N. 1986. Onderzoek naar de rol van de mossel en de mosselcultuur in de Waddenzee. RIN-rapport 86/14. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 36 p.
- Dankers, N., A. Meijboom, M. de Jong, E. Dijkman, J. Cremer & S. van der Sluis 2004. Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Alterra Rapport 921 114 pgs.
- <http://edepot.wur.nl/18518>
- Ens, B.J., A.C. Smaal & J. de Vlas (and many others) 2004 The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde.- inal report on the second phase of the scientific evaluation of the Dutch shellfish fishery policy (EVA-II). Alterra report 1011, ISSN 1566-7197, 212 pgs. <http://edepot.wur.nl/38534>
- Herlyn, M. & G. Millat, 2000. Decline of the intertidal blue mussel (*Mytilus edulis*) stock at the coast of Lower Saxony (Wadden Sea) and influence of mussel fishery on the development of young mussel beds. Hydrobiologia 426: 203-210
- Herlyn, M., G. Millat, & H. Michaelis 1999. Einfluss der Besatzmuschelentnahme auf die Entwicklung eulitoraler Neuansiedlungen von *Mytilus edulis* L. im niedersächsischen Wattenmeer. NLO-Forschungsstelle Küste 9/1999 pp 27
- Smaal, A.C., M.R. van Stralen, K. Kersting & N. Dankers. 2004 De gevolgen van gecontroleerde bevissing voor bedekking en omvang van droogvallende mosselzaad-banken, een test van de Janlouw hypothese en van mogelijkheden voor natuurbouw. EVA II deelproject F5. RIVO rapport C022/04 93 pgs. <http://edepot.wur.nl/36757>
- Smaal, A.C., Brinkman, A.G., Schellekens, T., Jansen, J., Agüera, A. & Stralen, M. van 2014. "Ontwikkeling en stabiliteit van sublitorale mosselbanken, *samenvattend eindrapport*", IMARES-rapport C066/14, pp 32
<http://edepot.wur.nl/300655>

Sterfte en overleving gedurende ontwikkeling naar stabiele bank (S5, S6 en S7)

(26) Ook de omgeving van een mosselbank wordt verrijkt

Els van der Zee, Marjolijn Christianen, Norbert Dankers

Het door de mosselen afgefilterde materiaal blijft niet allemaal op de bank achter. Voor een groot deel bezinkt het in de omgeving van de bank, of na stormen op de kwelders (Kamps 1962). Het door de mosselen tijdelijk gebonden gesuspendeerde sediment zou zonder die mosselen wellicht in veel gevallen weer naar de Noordzee zijn afgevoerd. Uit de habitatkaart van Dijkema et al (1989) blijkt dat de zeer wijde omgeving van de mosselbanken gekarakteriseerd wordt door relatief hoge slibgehaltes. Over het algemeen gaan verhoogde slibgehaltes samen met een verhoging van de biomassa aan bodemdieren. Kröncke (1996) toonde aan dat in de omgeving van mosselbanken een verhoging van het organisch gehalte optrad, en dat deze gebieden een duidelijke invloed hadden op het vermogen om de organische belasting af te breken. Dit maakt dat het effect van mosselbanken veel verder rijkt dan de mosselbank zelf (Donadi et al. 2013; van der Zee 2014). Het nutriëntenrijke mosselslijk verspreidt zich over de omgeving en in die "mosselpoep" zitten nog veel onverteerde deeltjes en het bodemleven profiteert daarvan. Tot op tweehonderd meter afstand werden veel meer wormen, krabben en schelpdieren gevonden. Hoe verder van de banken, hoe minder er werd aangetroffen. Wadvogels als scholeksters, wulpen en rosse grutto's zitten ook duidelijk geclusterd op de mosselpoep. De dichtheid is drie-en-een-half keer hoger dan op het zandige wad. Wat maakt biobouwers verder nog aantrekkelijk? Enerzijds stabiliseren ze de ondergrond, anderzijds bieden ze een structuur waarin dieren kunnen schuilen en verhogen daar-

door plaatselijk de biodiversiteit. Beide functies werden onderzocht in het project Waddensleutels proefondervindelijk bij Schiermonnikoog en Terschelling (Donadi, 2013; van der Zee, 2014; www.Waddensleutels.nl). Met kokosmatten werd de ondergrond gestabiliseerd en door het storten van mosselen werd een bovengrondse structuur gecreëerd. Drie maanden later waren de verschillen met de controleplots groot. Op de kokosmatten huisden gemiddeld 1,6 keer meer soorten dan op de controleplots. Op de gestorte mosselen was de soortenrijkdom met een factor 1,4 toegenomen.

Literatuur

- Donadi, S. 2013. Bivalve loops; The importance of ecosystem engineering for soft-bottom intertidal ecosystems. Thesis Groningen ISBN: 978-90-367-6419-3
- Donadi, S. et al. 2013a. Cross-habitat interactions among bivalve species control community structure on intertidal flats. – Ecology 94: 489-498.
- Donadi, S. et al. 2015. Multi-scale habitat modification by coexisting ecosystem engineers drives spatial separation of macrobenthic functional groups Oikos <http://dx.doi.org/10.1111/oik.02100>
- Dijkema, K.S., G. van Tienen & J.J. van Beek 1989. Habitats of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea 1:100,000. Research Institute for Nature Management, Texel/Veth Foundation, Leiden. 24 maps.
- Kamps, L.F. 1962. Mud distribution and land reclamation in the eastern wadden shallows. Rijkswaterstaat comm. 4, Den Haag. 73 pp
- Kröncke, I. 1996. Impacts of biodeposition on macrofaunal communities in intertidal sandflats. In: P.C. Dworschak, M. Stachowitsch & J.A. Ott (Eds), Influence of organisms on their environment. The role of episodic events. Proc. 29th EMBS Vienna. P.S.Z.N.I: Marine Ecology, 17: 159-174
- Zee, E.M. van der 2014. Soft-bottom intertidal ecosystems shaped by ecosystem engineers: consequences for trophic structure. PhD Thesis, University of Groningen, Groningen, The Netherlands www.waddensleutels.nl

(25) Mosselbanken zijn ook belangrijk voor dieren die geen mosselen eten

Bruno Ens, SOVON

Tussen de mosselen op een mosselbank en in de poeltjes tussen de mosselbulten leven veel organismen die weer voedsel zijn voor vogels die niet in staat zijn de mosselen zelf te openen (Dittman 1990). Typische vogelsoorten zijn Wulp, Tureluur, Stormmeeuw, Kokmeeuw en Lepelaar (Ens & Altting 1996, van de Kam *et al.* 1999, Scheiffarth *et al.* 2007). De Wulp jaagt vooral op strandkrabben die zich tussen het zeewier verbergen, de Tureluur, Kokmeeuw en Lepelaar vooral op garnalen en grondeltjes in de plassen en geultjes tussen de mosselen en de Stormmeeuw lijkt vooral Scholeksters te beroven. De verandering van mosselbanken in gemengde banken met oesters en mossels heeft ook gevolgen voor de bijbehorende fauna van ongewervelde dieren (Buttger *et al.* 2008). Vooralsnog lijken de vogelsoorten die niet van de mossels leven, maar van de bijbehorende fauna hier weinig last van te hebben (Scheiffarth *et al.* 2007, Markert *et al.* 2013). Dit in tegenstelling tot de mosseletende vogels, die op gemengde banken veel minder eten kunnen vinden dan op banken met uitsluitend mossels (van Kleunen *et al.* 2012, Markert *et al.* 2013).

Literatuur

- Buttger H., H.Asmus, R.Asmus, C.Buschbaum, S.Dittmann & G.Nehls 2008. Community dynamics of intertidal soft-bottom mussel beds over two decades. *Helgoland Marine Research* 62: 23-36.
- Dittman S. 1990. Mussel beds - amensalism or amelioration for intertidal fauna? *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 44: 335-352.
- Ens B.J. & D.Altting 1996. The effect of an experimentally created mussel bed on bird densities and food intake of the Oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Ardea* 84A: 493-507.
- Markert A., W.Esser, D.Frank, A.Wehrmann & K.M.Exo 2013. Habitat change by the formation of alien *Crassostrea*-reefs in the Wadden Sea and its role as feeding sites for waterbirds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 131: 41-51.
- Scheiffarth G., B.J.Ens & A.Schmidt 2007. What will happen to Birds when Pacific Oysters Take Over the Mussel Beds in the Wadden Sea. *Wadden Sea Newsletter* 33: 10-15.
- van de Kam J., B.J.Ens, T.Piersma & L.Zwarts 1999. Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Haarlem.
- van Kleunen A., B.J.Ens & C.J.Smit 2012. Het belang van oester- en mosselbanken voor Scholekster en Steenloper. Sovon-rapport 2012/18, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

(31) Naarmate een bank ouder wordt neemt de (bio)diversiteit toe

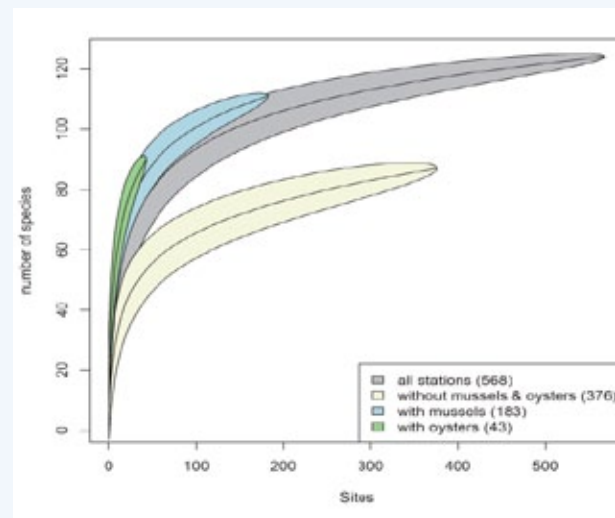
(32) Ook mosselbanken die altijd onder water staan hebben een hoge biodiversiteit

Sander Glorius, IMARES

Mosselbanken (maar ook oesterriffen) bieden harde en stabiele structuren in een dynamische Waddenzee klimaat met overwegend zachte bodemgesteldheid (zand, klei en veen). Hiermee wordt een milieu geboden dat kansen biedt voor soorten die afhankelijk zijn van harde structuren zoals hydroïdpoliepen, pokken en zakpijpen. De drie dimensionale structuur van mosselbanken biedt daarnaast schuilmogelijkheden tegen roofdieren, bescherming tegen wegspoeling en bescherming tegen ongunstige milieucondities zoals zuurstofloosheid in- en net boven de bodem. Daarnaast leidt aanwezigheid van mosselbanken tot een verhoogde depositie van fijn (an)organische stoffen door uitscheiding van (pseudo)feces en vermindering van stroming door de mosselbankstructuur (Drent en Dekker, 2013-1). Soorten die hierdoor aangetrokken worden trekken vervolgens weer hun roofdieren aan. Al deze mechanismen leiden tot een hogere biodiversiteit op een mosselbank in vergelijking tot het zachte sedimenttype daarbuiten.

In sedimentmonsters (bemonsterd oppervlak van 0.06 m²) genomen op sublitorale plekken in de Waddenzee waar mosselen aanwezig zijn worden gemiddelde twee keer zoveel verschillende soorten aangetroffen (16 vs 8 soorten) dan in monsters genomen op plekken waar geen mosselen aangetroffen worden (Drent en Dekker, 2013-1). Ook is de accumulatie van soorten bij toenemend aantal monsters hoger voor monsters met mosselen (en oesters), zie figuur 1. Opvallend is dat naast een toename van soorten die geassocieerd zijn met harde structuren ook het aantal soorten dat geassocieerd is met een zacht bodemtype hoger ligt in

monsters die genomen zijn in een mosselbank dan in monsters die daarbuiten genomen zijn.



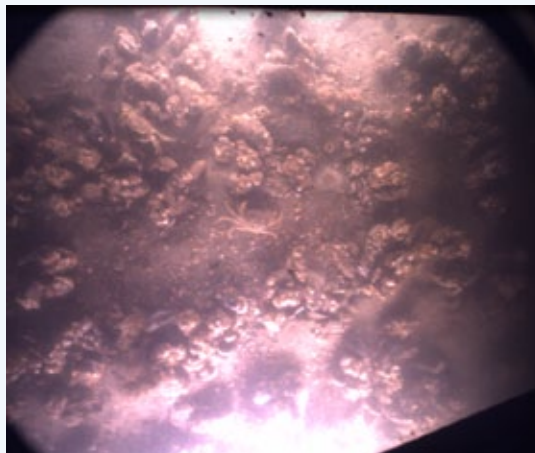
Figuur 2. Relatie tussen het cumulatieve aantal soorten gevonden afhankelijk van het aantal genomen monsters in het sublitorale deel van de Westelijke Waddenzee. Naast de gehele dataset van 568 monsters zijn subselecties van de dataset met monsterlocatie met mosselen of oesters gebruikt om de accumulatie te schatten. (Drent en Dekker, 2013-1).

Uit veldgegevens verzameld binnen het PRODUS project blijkt dat 25% van de aangetroffen aanwezige bodemdieren in de Waddenzee uitsluitend op mosselbanken voorkomt waarvan een groot aandeel hard substraat soorten zoals de zeepok, mosdiertjes, zakpijpen, hydroïdpoliepen en bloemdieren (Drent en Dekker, 2013-1). Hiernaast zijn ook veel wormensoorten die jagen op kleine invertebraten te vinden in een mosselbank zoals de zeeduizenpoot. Vanzelf voelen roofdieren maar ook parasieten van mosselen zich thuis in een mosselbank. Voorbeelden zijn de strandkrab en de gewone zeester, maar ook de slikkokerworm (*Polydora ciliata*) die in staat zijn gaten in de mosselschelp te boren, en de mosselparasiet *Mytilicola orientalis*.

Het is de verwachting dat een aantal vis- en wadvogelsoorten tot sublitorale mosselbanken aangetrokken worden. Uit onderzoek uitgevoerd binnen PRODUS blijkt dat de botervis, grondel en puitaal dichtheden toenemen bij hogere mosselbiomassa (Glorius e.a., 2012). De eidereend is vaak te vinden boven sublitorale mosselbanken (Cervencle e.a., 2014 & Roomen e.a., prep), waar ze (jonge)mosselen consumeren.

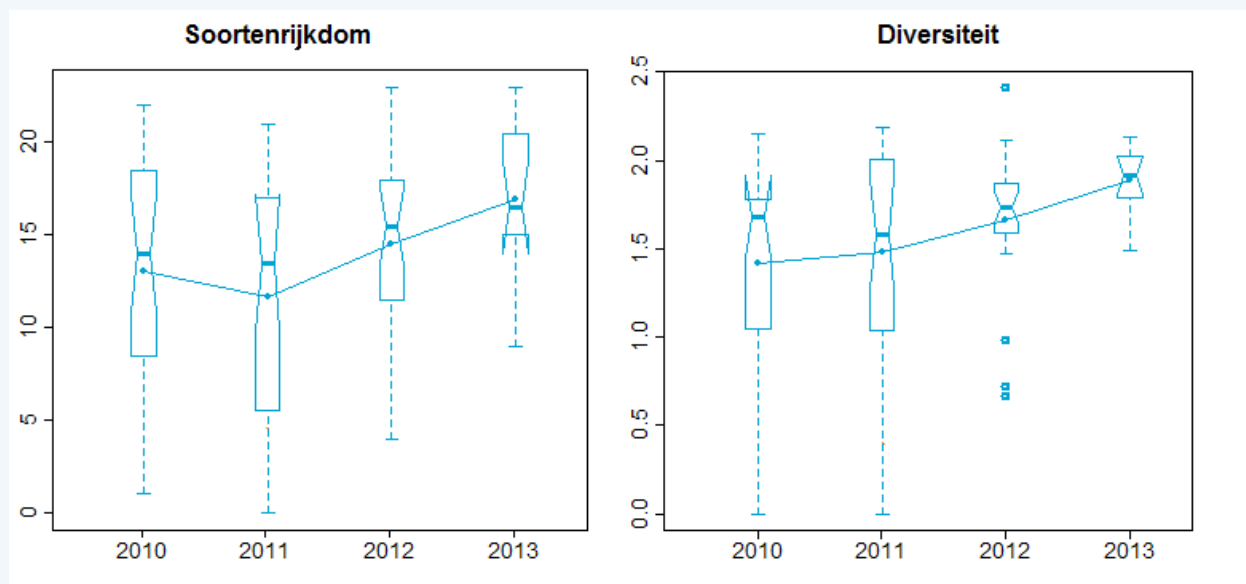
Invloed mosselbankleeftijd op biodiversiteit

De driedimensionale structuur van een mosselbank verandert bij het ouder worden van de bank. Net na het ontstaan van een sublitorale mosselbank bestaat deze uit een mat van kleine mosselen (figuur 2 links). Door voedseltekorten, predatie en wegspoeling ontstaan er open ruimtes tussen de mosselklonten waarlangs mosselpredatoren (zeesterren en krabben) zich bewegen en waar soorten die afhankelijk zijn van een zacht bodemtype kans krijgen zich te vestigen (figuur 2 rechts). In deze open ruimten krijgen bijvoorbeeld slibanemoon kans zich te vestigen, zie figuur 2 rechts, maar ook wormen die zich in de bodem ingraven. Door aanwezigheid van zowel hard als zachtsubstraat neemt bij het ouder worden van de bank de soortenpoel toe.



Figuur 3. Onderwater beeldopnamen van mosselbanken in verschillende stadia van ontwikkeling. Linksonder een nieuw ontstaande mossel(zaad) bank bij Javaruggen (2013). Boven een 3 jaar oude mosselbank bij Breezanddijk (2013). (Glorius e.a., 2014).

Dit blijkt ook uit monitorgegevens van een sublitorale bank die in 2010 ontstond bij Breezanddijk en vier jaar gevolgd is. Ieder jaar nam de soortenrijkdom per monster met 1 soort toe en de diversiteit met 0.15 punt (Glorius e.a., 2014), zie figuur 3. Naast toename aan mosselbank geassocieerde soortenpoel verdelen de soorten zich bij het ouder worden van de bank meer gelijkmatig over de bank, m.a.w., individuele monsters lijken in soortensamenstelling bij het ouder worden van de bank meer op elkaar. Dit laatste geldt vooral voor de open plekken tussen de mosselklonten.



Figuur 4. Ontwikkeling in soortenrijkdom (links) en diversiteit (rechts) in boxcorermonsters (0.07 m²) genomen gedurende 4 jaar na het ontstaan van de sublitorale mosselbank bij Breezanddijk. (Glorius e.a., 2014).

Referenties

- Cervencel, A., Troost, K., Dijkman, E., Jong de, M., Smit, C.J., Leopold, M.F., Ens, B.J. (2015), "Distribution of wintering Common Eider *Somateria mollissima* in the Dutch Wadden Sea in relation to available food stocks", *Marine Biology*, (162), pp 153 – 168.
- Drent, J. and Dekker, R. (2013-1), "Macrofauna associated with mussels, *Mytilus edulis* L., in the subtidal of the Western Dutch Wadden Sea" NIOZ-report 2013-7, pp 77.
- Glorius, S.T., A.D. Rippen, M. de Jong, B. van der Weide, J. Cuperus, A. Bakker en M. Hoppe (2014). "De ontwikkeling van niet beviste sublitorale mosselbanken 2009 – 2013". IMARES-rapport C109/14.
- Glorius, S.T., Rippen, A.D., Stralen, M.R., Jansen, J. (2012), "PRODUS 3 – Deelrapport bodemschaaf en zuigkordata – effecten van mosselzaadvisserij op het bodemleven van de Waddenzee", IMARES rapport C162/12, pp 74.
- Roomen van, M., Boer de, P., Kampichler, C., Schekkerman, H., Glorius, S., (in prep.), "Overwinterende vogels op het open water in de Waddenzee – aantallen en associaties met sublitorale schelpdierbestanden".
- Smaal, A.C., Craeymeersch, J., Drent, J., Jansen, J.M., Glorius, S.T. en Stralen, M.R. (2013), "Effecten van Mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden in de Westelijke Waddenzee: Samenvattend eindrapport", IMARES-Rapport C006/13 PR1.

(20) Mosselbanken worden zo snel hoger dat ze zeespiegelstijging en bodemdaling bij kunnen houden

(17) Door het hoogteverschil met de omgeving zijn droogvallende mosselbanken langer beschikbaar voor vogels

Bij afgaand water beginnen de eerste contouren van hoge plekken op het wad zichtbaar te worden. Vogels zoals meeuwen zwemmen rond boven en rond die plekken. Zodra delen droogvallen worden ze bevolkt door vogels zoals scholeksters, steenlopers en wulpen. De concentraties vogels kunnen hoog zijn en ze verspreiden zich over de mosselbank naarmate een groter deel droogvalt. Als ook de omgeving droogvalt verspreid een deel van de vogels zich ook over het omliggend wad.

Bij opkomend tij is het omgekeerde zichtbaar en concentreren de vogels zich meer en meer tot de topjes die als laatst droog blijven.

De mosselbulten kouden zichzelf in stand doordat ze stevige structuren vormen die erosiebestendig zijn. Jonge mosselbanken verzamelen grote hoeveelheden slib, zand en schelpresten en groeien boven hun omgeving uit. De verticale groei van jonge banken kan tientallen cm per maand bereiken. Dat is orden van grootte meer dan zeespiegelstijging of bodemdaling die in mm/jaar uitgedrukt worden.

Oudere mosselbanken groeien minder in hoogte, oa wegens een negatieve feedback. Hoe hoger ze worden hoe korter de mosselen kunnen eten. Ook komen ze meer onder invloed van golfwerking naarmate ze hoger worden. Omdat de potentie voor hoogtegroeï aanwezig blijft kan verwacht worden dat zeespiegelstijging en bodemdaling gecompenseerd worden en een evenwicht tussen gemiddelde waterstand en mosselbank hoogte ontstaat.

(51) Oesters zorgen voor stevigheid maar produceren ook slibgolven

Mindert de Vries (Deltares), Norbert Dankers (Imares)

Oesters hechten zich niet aan een ondergrond met bys-susdraden zoals mosselen doen. Ze “lijmen” zich op een harde ondergrond door de kalk van de schelp daarmee te verbinden. Als dat een rots of steen uit een dijk is dan kan de oester zich niet meer bewegen, en dus ook niet uit eventueel afgezet sediment loswerken. In de Waddenzee, met veel zacht substraat hechten de oesterlarven zich vaak op kleine schelpen. We hebben zelfs oesters van 4 cm gezien op het huisje van een levende kruk (1 cm) die daarmee rondkroop. Bij veel oesters is de oorspronkelijke schelp die als substraat diende nog te zien. De oester heeft dan bijvoorbeeld een “kokkelneus”.

Oesters produceren zeer fijne pseudofaeces die veel sneller wegstroomt dan de pseudofaeces van mosselen. Evolutie-nair is dat te verklaren omdat vastzittende oesters anders snel onder hun eigen uitwerpselen verstikt zouden raken. Dat werd ook verwacht toen de Japanse oester zich manifesteerde in de Waddenzee. Snel bleek dat de losliggende oesters zich verticaal draaiden en sterk in de lengte gingen groeien. Daardoor bleven ze boven het slib uitsteken en hun schelp bleek perfect en zelfs geprefereerd substraat voor oesterbroed (Diederich 2005, Markert et al. 2009). Daardoor worden grote en stevige klompen gevormd die tientallen aan elkaar gekitte oesters omvatten.



Foto 1 Rechtopstaande oesters in Mokbaai



Foto 3 Oesterbroed op oude oester (foto A. Meijboom)



Foto 2 Samengeklitte oesters (foto A. Meijboom)



Foto 4 Hetzelfde oesterbroed als op foto 3, drie maanden later (foto A. Meijboom)

Deze stevige oesterstructuren bevinden zich ook binnen mosselbanken als de oesters zich daar gevestigd hebben. Het kan gaan om een paar honderd kg per m². Daardoor wordt deze combinatie van mosselen en oesters, en dat is tegenwoordig het merendeel van de huidige oudere schelp-

dierbanken in de Waddenzee, waarschijnlijk veel steviger en minder stormgevoelig dan een alleen uit mosselen bestaande bank. Omdat de structuur ook veel meer complex wordt neemt de kans op overleven van allerlei organismen binnen zo'n bank ook toe en dragen ze bij aan de biodiversiteit (Markert et al 2009).

Naast deze voordelen zijn er ook nadelen. Voor schelpdieretende vogels is een oesterbank of gemengde bank minder aantrekkelijk (Scheiffahrt et al 2007, Kleunen et al. 2012) maar nog wel belangrijk, (Markert et al 2013). Ook de dichtheid van een wadvogel als Steenloper is daar relatief hoog. Het fijne slib wordt ook niet allemaal weggespoeld en een deel bezinkt tussen de complexe structuur van de bank. Als het enigszins coaguleert (zie aandachtspunt 18) gaat de "fluid mud" meer slib invangen kan zich een "slibgolf" vormen die over de bank heen wandelt en mosselen en oesters verstikt (zie foto's). Binnen de bank kunnen oesters toch overleven omdat ze zodanige wervelingen veroorzaken in het langs- en overstromende water dat de directe omgeving vrij wordt gehouden en de oesters in een duidelijke verlagings liggen. Dit is een duidelijk contrast met mosselbanken waar de mosselbulten duidelijk boven de omgeving uitsteken.



Slibgolven die over de bank heen wandelen (foto's Frouke Fey)

Referenties

- Kleunen A. van , Ens B.J. & Smit C.J. 2012. Het belang van oester- en mosselbanken voor Scholekster en Steenloper. Sovon-rapport 2012/18, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
https://www.sovon.nl/sites/default/files/doc/Rap_2012-18_Oesterbanken.pdf
- Markert, A., A. Wehrmann & I. Kröncke (2009). Recently established *Crassostrea*-reefs versus native *Mytilus*-beds: differences in ecosystem engineering affects the macrofaunal communities (Wadden Sea of Lower Saxony, southern German Bight). Biol Invasions
<http://dx.doi.org/10.1007/s10530-009-9425-4>
- Markert, A., W. Esser, D. Frank, A. Wehrmann & K. M. Exo (2013). Habitat change by the formation of alien *Crassostrea*-reefs in the Wadden Sea and its role as feeding sites for waterbirds. Estuarine, Coastal and Shelf Science xxx (2013)
- Scheiffahrt, G., B. Ens & A. Schmidt (2007). What will happen to birds when Pacific Oysters take over the mussel beds in the Wadden Sea? Wadden Sea newsletter 2007-1. Pg 10-14

(50) Macroalgen hebben zowel positieve als negatieve invloed

Macroalgen groeien op hard substraat. Zo ook op mosselbanken. Bij lag water bedekken ze de moselen tegen zon en uitdroging en tegen predatie door vogels. Bij hoog water dempen ze golven en beperken erosie van de bank. Waterstroming wordt deels over en om de bank geleid. Van de rustige condities profiteren verschillende soorten die rust vinden binnen deze “weiden of bossen”. Bij extreme omstandigheden zoals zware stormen of ijsgang kunnen de macroalgen wegspoelen en hun substraat (mosselbank) meenemen. Dit lijkt vooral een probleem bij macroalgen die zich gevestigd hebben op jonge zaadbanken.

Mosselen kunnen zich door hun byssusdraden zeer sterk aan elkaar en de ondergrond hechten. Mosselen op strandhoofden en rotskusten staan bekend om de sterkte van hun aanhechting en ze zijn bestand tegen extreme golfwerking bij stormen. Ook in sedimentaire habitats zoals de Wadden kunnen mosselen erg vast zitten (Kangeri et al in prep). Voor vogels heeft dit zowel voor- als nadelen. Een losliggende mossel is moeilijk te openen voor een scholekster. Die moet de schelp vastzetten om hem met beitelsnavel te openen of als hameraar kapot te tikken. Voor meeuwen of eidereenden zijn losliggende mosselen wel een geprefereerde prooi. Vastzittende mosselen kunnen door scholeksters bewerkt worden, maar in vel gevallen moeten ze eerst (deels) losgetrokken worden uit hun ondergrond. Ook eidereenden moeten mosselen lostrekken uit hun omgeving. De kracht die daarvoor nodig is en de energie die er aan besteed wordt is weinig onderzocht. Een eerste aanzet in oplossing van deze problematiek is gegeven in onderzoek van Hertzler (1995) op mosselbanken bij Sylt.

Literatuur

- Hertzler I (1995) Nahrungsoökologische Bedeutung von Miesmuschelbänken für Vögel (Laro-Limikolen) im Nordfriesischen Wattenmeer. Diplomarbeit, University of Göttingen, Germany
- Kangeri, A.K, Alvarez-Fernandez, S., Silva C.I.F., Donker, J.J.A., Jansen, J. M., Joppe, D. J., Dankers, N.M.J.A., In Prep. A. Behavioral Zonation, Byssus Production and Adhesion Strength in *Mytilus edulis* (L.) in Sedimentary habitats; The effect of the non-native Oyster, *Crassostrea gigas* (T.).

Bruno Ens, SOVON

Tijdens de broedperiode zijn de dichtheden Scholeksters die op wadplaten en mosselbanken naar voedsel zoeken veel lager dan in de winterperiode, omdat veel Scholeksters dan in het binnenland broeden. Alleen de aan de kust broedende Scholeksters en de Scholeksters die nog niet oud genoeg zijn om te broeden foerageren dan op de mosselbanken (Goss-Custard *et al.* 1982b). In deze tijd van het jaar foerageren de Scholeksters niet op de allergrootste mossels, maar worden vaak mossels met een lengte van minder dan 30 mm gegeten (Cayford & Goss-Custard 1990, Ens *et al.* 1996). Deze selectie is niet goed te begrijpen op basis van energetische overwegingen, want onder alle omstandigheden zijn de grootste mossels het meest profijtelijk. Mogelijk spelen andere factoren een rol, zoals het risico van snavelbreuk (Rutten *et al.* 2006), of het risico van parasitisme (Norris 1999).

Aan het einde van de zomer trekken alle Scholeksters naar de kust en in herfst en winter vormen grote schelpdieren zoals kokkels en mossels het belangrijkste voedsel (Hulscher 1996). De dichtheden Scholeksters zijn dan maximaal op de mosselbanken en de vogels hebben een voorkeur voor de grote mossels. Daarbij is er nog wel een verschil tussen Scholeksters die de mossels open hameren en Scholeksters die mossels open steken. Met name Scholeksters die mossels via de ventrale zijde open hameren selecteren niet de allergrootste mossels (Meire & Ervynck 1986, Ens & Altink 1996, Nagarajan *et al.* 2002), wat te maken heeft met de dikte van de schelp. Scholeksters die mossels open steken door de sluitspier door te snijden selecteren wel de grootste mossels. Grote prooien en prooien die lang bewerkt moeten worden (zoals mossels die moeten worden opengehamerd) zijn een profijtelijke prooi voor kleptoparasitisme, dat wil zeggen

beroving (Brockmann & Barnard 1979). Het gevolg is dat dominante Scholeksters de subdominante Scholeksters beroven (Goss-Custard *et al.* 1982a, Ens & Goss-Custard 1984). Er is een maximale afstand waarover de ene Scholekster de andere kan beroven, dus de kans op beroving neemt toe als de Scholeksters dicht op elkaar foerageren (Ens & Goss-Custard 1984, Stillman *et al.* 1997). Deze *interferentie* leidt tot een afname van de opnamesnelheid bij toenemende foerageerdichtheden, waarbij die afname voor een belangrijk deel niet zozeer voortkomt uit het verliezen van mossels aan roofzuchtige soortgenoten, maar een afname in de vindingsnelheid, waarschijnlijk als gevolg van een toenemende neiging van vooral de subdominante dieren om ontwijkgedrag te vertonen (Ens & Cayford 1996). Het gevolg van interferentie is weer dat er een grens is aan de dichtheid waarin Scholeksters op een mosselbank kunnen foerageren. De begrenzing van de dichtheid betekent weer dat in de loop van de winter maar een beperkt deel van het totale mosselbestand door de Scholeksters wordt geconsumeerd. In een zeer gedetailleerde studie werd vastgesteld dat de Scholeksters in de loop van de winter niet meer dan 25% van de geprefereerde grote mossels consumeerden en 12% van het totale aanbod aan mossels (Goss-Custard *et al.* 2001). Ondanks deze beperkte uitputting van het voedselaanbod waren er sterke aanwijzingen dat een deel van de Scholeksters onvoldoende voedsel kon vinden om de winter te overleven.

Uit het feit dat de Scholeksters maar een beperkt deel van de mossels consumeren in de loop van de winter mag dus niet geconcludeerd worden dat er geen voedselschaarste is. Een eventueel beleid van voedselreservering, met als doel visserij op schelpdieren, zoals mossels, toe te staan, moet dus gebaseerd zijn op de ecologische voedselbehoefte en niet op de fysiologische voedselbehoefte (Ens 2000, Goss-Custard *et al.* 2004, Ens *et al.* 2004). De fysiologische voedselbehoefte is de hoeveelheid voedsel die een vogel in de loop van een winter tot zich moet nemen om die winter in goede gezondheid te overleven. Die hoeveelheid voedsel zou volstaan als de Scholekster in een kooi leefde en uit een voer-

bak kon eten. Echter, buiten heeft de Scholekster te maken allerlei beperkingen die ervoor zorgen dat maar een deel van het voedselaanbod geoogst kan worden, waaronder de eerder beschreven interferentie. Daarnaast zijn een deel van de prooien te klein, komen ze voor in te lage dichtheden, liggen ze te kort droog etc. etc. Dit betekent dat voedselreservering, als het wordt toegepast, gebaseerd moet zijn op de zogenaamde ecologische voedselbehoefte. Dat is de hoeveelheid voedsel die per vogel aan het begin van de winter in het onderzoeksgebied aanwezig moet zijn om te zorgen dat er aan het einde van de winter geen voedseltekorten ontstaan. Voor Scholeksters die op mosselbanken naar voedsel zoeken wordt de ecologische voedselbehoefte geschat op ongeveer 7 keer de fysiologische voedselbehoefte (Goss-Custard *et al.* 2004).

Literatuur

- Brockmann H.J. & C.J. Barnard 1979. Kleptoparasitism in birds. *Animal Behaviour* 27: 487-514.
- Cayford J.T. & J.D. Goss-Custard 1990. Seasonal changes in the size selection of Mussels, *Mytilus edulis*, by Oystercatchers, *Haematopus ostralegus*: an optimality approach. *Animal Behaviour* 40: 609-624.
- Ens B.J. 2000. Berekeningsmethodiek voedselreservering Waddenzee. Alterra-rapport 136, Alterra, Wageningen.
- Ens B.J. & D. Alting 1996. Prey selection of a captive Oystercatcher *Haematopus ostralegus* hammering Mussels *Mytilus edulis* from the ventral side. *Ardea* 84A: 215-220.
- Ens B.J. & J.T. Cayford 1996. Feeding with other Oystercatchers. In: J.D. Goss-Custard (red), *The Oystercatcher: From Individuals to Populations*, p. 77-104. Oxford University Press, Oxford.
- Ens B.J., S. Dirksen, C.J. Smit & E.J. Bunscoke 1996. Seasonal changes in size selection and intake rate of oystercatchers *Haematopus ostralegus* feeding on the bivalve *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule*. *Ardea* 84a: 159-176.
- Ens B.J. & J.D. Goss-Custard 1984. Interference among Oystercatchers *Haematopus ostralegus*, feeding on mussels, *Mytilus edulis*, on the Exe estuary. *Journal of Animal Ecology* 53: 127-231.
- Ens B.J., A.C. Smaal & J. de Vlas 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.

Goss-Custard J.D., S.E.A.I.V.d.Durell & B.J.Ens 1982a. Individual differences in aggressiveness and food stealing among wintering Oystercatchers, *Haematopus ostralegus* L. *Animal Behaviour* 30: 917-928.

Goss-Custard J.D., S.E.A.I.V.d.Durell, S.McGrorty & C.J.Reading 1982b. Use of mussel *Mytilus edulis* beds by oystercatchers *Haematopus ostralegus* according to age and population size. *Journal of Animal Ecology* 51: 543-554.

Goss-Custard J.D., R.A.Stillman, A.D.West, R.W.G.Caldow, P.Triplett, S.E.A.I.V.d.Durell & S.McGrorty 2004. When enough is not enough: shorebirds and shellfishing. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B-Biological Sciences* 271: 233-237.

Goss-Custard J.D., A.D.West, R.A.Stillman, S.E.A.I.V.d.Durell, R.W.G.Caldow, S.McGrorty & R.agarajan 2001. Density-dependent starvation in a vertebrate without significant depletion. *Journal of Animal Ecology* 70: 955-965.

Hulscher J.B. 1996. Food and feeding behaviour. In: J.D. Goss-Custard (red), *The Oystercatcher: From Individuals to Populations*, p. 7-29. Oxford University Press, Oxford.

Meire P.M. & A.Ervynck 1986. Are oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) selecting the most profitable mussels (*Mytilus edulis*)? *Animal Behaviour* 34: 1427-1435.

Nagarajan R., S.E.G.Lea & J.D.Goss-Custard 2002. Reevaluation of patterns of mussel (*Mytilus edulis*) selection by European Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*). *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne de Zoologie* 80: 846-853.

Norris K. 1999. A trade-off between energy intake and exposure to parasites in oystercatchers feeding on a bivalve mollusc. *Proceedings of the Royal Society London, Series B* 266: 1703-1709.

Rutten A.L., K.Oosterbeek, B.J.Ens & S.Verhulst 2006. Optimal foraging on perilous prey: risk of bill damage reduces optimal prey size in oystercatchers. *Behavioral Ecology* 17: 297-302.

Stillman R.A., J.D.Goss-Custard & R.W.G.Caldow 1997. Modelling interference from basic foraging behaviour. *Journal of Animal Ecology* 66: 692-703.

(54) Voorspellen welke banken zullen verdwijnen is moeilijk

Norbert Dankers

Hieronder wordt alleen ingegaan op droogvallende mosselbanken.

In 1993 is in het kader van de structuurnota Zee en kustvisserij beleid gevormd om te komen tot herstel van het mosselbanken areaal. Dat streven is vastgelegd in internationaal overeengekomen ecotargets voor de Waddenzee. In het beleidsvoornemen is toen vastgelegd dat alleen instabiele mosselbanken bevestigd zouden worden, en dat aan specialisten van IBN (nu Alterra) en RIVO gevraagd zou worden aan te geven welke banken zich als onstabiel kwalificeerden. De volgende voorspellingen konden achterhaald worden:

Aanwijzen onstabiele gebieden op verzoek van M. Pelk (LNV-dir Natuur)

Rond 1993 is door LNV aan IBN gevraagd te adviseren over gebieden waar zich naar grote waarschijnlijkheid geen stabiele mosselbanken zouden kunnen ontwikkelen. Door K. Dijkema en N. Dankers is aangegeven dat dat de zg. Binnendelta's waren en de gebieden boven NAP. Voor de visserijsector was dat geen oplossing omdat in die gebieden maar zeer zelden een mosselzaadbank valt.

Voorspelling mogelijke stabiliteit door N. Dankers in 1994

In het najaar van 1994 is door de sector aan RIVO en Alterra (Van Stralen en Dankers) gevraagd van de toen bestaande 2500 ha aan te geven welke banken bij voorkeur bevestigd zouden kunnen worden. Dankers gaf aan dat nagenoeg alle banken in of bij gebieden lagen waar in het verleden oude mosselbanken hadden gelegen en adviseerde niet te vissen. Voor de sector en LNV-Directie Visserij was dat niet acceptabel, en er werd gevestigd op door de sector gekozen banken. Een groot deel (1500 van de 2500 ha) van zowel bevestigde als

onbeviste banken verdween in de winterstormen, en het merendeel van de overgebleven banken in de twee zeer strenge winters die er op volgden. De “voorspelling” dat een groot deel van de banken zich zouden kunnen ontwikkelen tot oude banken bleek fout.

Voorspelling RIVO 1999

In 1999 was er sprake van een redelijke zaadval. Door RIVO werden in het kader van de vergunningaanvraag een aantal banken aangeduid waarvan verwacht werd dat deze grote kans hadden de winter niet te overleven. In de erop volgende winter bleek dat het merendeel van de aangewezen banken de winter toch had overleefd.

Gebruik habitatkaart door sector 2002

In september 2002 vraagt de PO-mossel bij brief nr 02/6342?HD/SM vergunning om zaad te vissen op droogvallende banken. Bij de vergunningaanvraag wordt aangegeven vooral op onstabiel geachte banken te vissen. Daarbij speelt de “habitatkaart” van Brinkman een belangrijke rol. Het merendeel van de aangevraagde banken bevindt zich buiten de zg 30% contour die de voor mosselbanken meest geschikte 30% van het plaatoppervlak omgeeft, en een deel tussen de 10 en 30% contour. In de aanvraag wordt nog specifiek genoemd dat er van wordt uitgegaan dat door bevissing de banken binnen de 30-10 contour stabiel zullen worden hoewel toen al bekend was dat de Jan-Louw hypothese op basis van onderzoek verworpen was. In de aanvraag worden de te bevissen banken met redelijk grote mate van nauwkeurigheid aangeduid. Bij het benoemen van deze banken is uitgegaan van expertise binnen de sector en advisering van Visserijkundig Ambtenaren en buro MarinX

Door de Directeur Noord van LNV wordt per brief van 17 oktober (02/7288AdG/AdN) aan een aantal deskundigen gevraagd aan te geven welke van de door de sector gevraagde banken op grond van hun expertise te scoren in een 5-tal klassen van stormgevoeligheid. Het zou interessant

zijn na te gaan in hoeverre de voorspellingen van de specialisten zijn uitgekomen, maar de antwoorden op de brief konden niet achterhaald worden.

Uiteindelijk wordt er niet gevist omdat het oppervlak aan oude banken niet voldoende is om te voldoen aan door de natuurwetgeving gestelde voorwaarden

Een globale vergelijking van de in de aanvraag genoemde banken en de situatie weergegeven in de RIVO inventarisatie van 2004 laat zien dat in de genoemde gebieden nog mosselbanken van enkele jaren oud voorkomen. Bank nr IV (ZOL-noord) was in 2003 nog geheel aanwezig, maar verdween nagenoeg geheel in de winter van 2004. Op de nog waarneembare resten heeft in 2005 weer een zeer sterke zaadval plaatsgevonden.

Gebruik habitatkaart

Door Brinkman & Bult (2003) is bij het ontwikkelen van het model voor de habitatkaart uitgebreid geanalyseerd in hoeverre het model (dat gebaseerd was op een onafhankelijke dataset uit de jaren 70) geschikt was om allereerst de zaadval te voorspellen en vervolgens de overlevingskansen. Hierbij kon slechts gebruik gemaakt worden van de broedvallen van 1994, 1996 en 1999.

De conclusie is dat blijkbaar in de gebieden waarin de ontstaanskans op mosselbanken het grootst is, óók de overlevingskans het grootst is. Aan de hand van de zaadval van 1996 kon gevolgd worden dat ook in de slechtste gebieden na 1 jaar nog 50% van de mosselbanken bleef bestaan; pas na twee of drie jaar waren deze daaruit goeddeels verdwenen en dus op termijn instabiel. In de beste gebieden bleef na een winter nog zeker 80% liggen, welk percentage tot 20-40 was teruggelopen na drie winters, dit kan aangeduid worden als stabiel.

Rapportage Steenberg

In rapportages van Steenberg et al. (2005, 2006) wordt geconcludeerd dat de kans op verdwijnen in alle deelge-

bieden van de Waddenzee (met deelgebieden wordt hier bedoeld de klassen op de habitatkaart van Brinkman en Bult) nagenoeg hetzelfde is, alleen in de beste 2% is de overleving beter. Het in sterkere mate voorkomen van banken in de beste 50% kan dus vooral verklaard worden door de betere zaadval in die gebieden. Als dus mosselbanken aanwezig zijn kan nauwelijks voorspeld worden welke de winter zullen overleven. Dezelfde conclusie werd getrokken door Dankers et al (2004).

Ervaringscijfers

In de praktijk is gebleken dat in de eerste winter gemiddeld ongeveer 40% van de jonge zaadbanken verdwijnt. Een (random) voorspelling dat een droogvallende bank zal verdwijnen is bijna net zo goed als een voorspelling dat een bepaalde bank blijft liggen tenzij gebruik wordt gemaakt van de habitatkaart. De voorbeelden uit het verleden geven ook aan dat ook met specialistische kennis het nagenoeg onmogelijk is een betere voorspelling te geven. De overleving is blijkbaar te afhankelijk van de weersomstandigheden (storm uit en bepaalde richting bij een bepaalde waterstand).

Ook in jaren na de eerste winter gaan mosselbanken in aantal en oppervlak achteruit, maar er zijn veel voorbeelden van banken die jaren (en tientallen jaren) oud worden. Banken die door visserij verdwenen zijn of dermate zijn aangetast dat ze niet meer als bank geïdentificeerd kunnen worden (minder dan 5% bedekking) hebben geen kans zich tot oude bank te ontwikkelen. Gezien de redelijk kleine kans dat een bank zich ontwikkelt tot een oude bank moet dus uiterst zorgvuldig worden omgegaan met bestaande jonge banken, vooral zolang het oppervlak aan banken nog ver verwijderd is van de meer dan 4000 ha die aanwezig zou kunnen zijn in een ongestoorde situatie. Vooral als rekening wordt gehouden met af en toe optredende catastrofes in de vorm van extreme stormen en ijswinters.

Conclusie

Het is nauwelijks te voorspellen welke banken in een bepaald jaar zullen wegspoelen en welke niet.

Referenties

Brinkman, A.G. & T. Bult 2003. Geschiede eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het voorkomen van meerjarige natuurlijke mosselbanken. Alterra rapport 456. Wageningen.

<http://edepot.wur.nl/53088>

Dankers, N., A. Meijboom, M. de Jong, E. Dijkman, J. Cremer & S. van der Sluis 2004. Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Alterra Rapport 921. 114 pgs.

<http://edepot.wur.nl/18518>

Steenbergen, J., J.M.D.D. Baars & T.P. Bult 2005. Een analyse van de winterverliezen van litorale mosselbanken in de Waddenzee (periode 1994-2003) RIVO rapport C040/05. <http://edepot.wur.nl/148307>

Steenbergen, J., Baars, J.M.D.D., van Stralen, M.R. & Craeymeersch, J.A. 2006: Winter survival of mussel beds in the intertidal part of the Dutch Wadden Sea. In: Monitoring and Assessment in the Wadden Sea. Proceedings from the 11. Scientific Wadden Sea Symposium, Denmark, Esbjerg 4.-8. April, 2005 (Laursen, K. Ed.). NERI Technical Report No. 573, pp. 107-111. <http://edepot.wur.nl/333869>

(55) Is het streven naar minimaal 4000 ha stabiele mosselbanken reëel?

Norbert Dankers, IMARES

Bij discussies tussen beleid, beheer, natuurbescherming en visserijsector blijft de discussie over een “referentie” of “streefwaarde” van een mosselbankoppervlak voortduren. Met referentie wordt hier bedoeld het oppervlak dat in het verleden voorkwam, terwijl een streefwaarde een politiek gegeven is. (Dankers et al. 1993).

Door de sector is lang beargumenteerd dat het oppervlak van 4500 ha dat in de jaren 80 voorkwam een uitschieter betrof. Deze discussie is beslecht door Dankers et al (2003) waar op basis van analyse van alle beschikbare gegevens geconcludeerd werd dat oppervlakken van meer dan 4000 ha in de Nederlandse Waddenzee als “normaal” gezien konden worden.

Folmer et al. (2014) analyseerden de ontwikkelingen in de internationale Waddenzee. die analyse was gebaseerd op inventarisaties vanaf midden jaren 1990, dwz na het nagenoeg geheel verdwijnen van mosselbanken tgv visserij. Herstel is langzaam en binnen kombergingen treden grote jaarlijkse variaties op. Zij concluderen dat het onzeker is of over langere perioden oppervlakken van meer dan 4500 ha een reëel streven is.

Door Brinkman is een potentiële mosselhabitatkaart gemaakt (Brinkman et al. 2002; Brinkman en Bult 2003). De huidige mosselbanken liggen relatief gezien duidelijk meer in de beste 10% gebieden. Maar een aanzienlijk deel ligt ook in de delen die als beste 30% geklasseerd zijn. Dat gaat dus om ruim 40.000 ha wadplaat die redelijk geschikt is. Daar lijkt dus voldoende ruimte voor het ontwikkelen van een ho-eveelheid die ruim boven streefwaarden van 4000 ha liggen. In het kader van het project Mosselwad is door Jaap vd Meer (NIOZ) op basis van de ontwikkelingen van mosselbanken sinds 1995 een model ontwikkeld waarbij mosselbanken

als individuen zijn gemodelleerd. Een simulatie over 100 jaar laat zien dat langere perioden met weinig (orde grootte 1000 ha) mosselbanken normaal zijn, maar ook dat langere perioden met meer dan 6000 ha kunnen voorkomen. In het begin van de periode waarover informatie beschikbaar was kwamen in de Waddenzee alleen “pure” mosselbanken voor. Vanaf ongeveer 2004 worden mosselbanken in toenemende mate overgenomen door oesters. Deze gemengde banken zijn tot nu toe veel stabielere dan de zuivere mosselbanken. In het model van vd Meer komen deze gemengde banken in veel grotere oppervlakken voor over langere perioden. Op grond daarvan kan geconcludeerd worden dat een streef-waarde van rond 10.000 ha reëel is.

Literatuur

- Brinkman, A., Dankers, N. M. J. A., & Van Stralen, M. (2002). An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, 56(1), 59-75. <http://dx.doi.org/10.1007/s10152-001-0093-8>
- Brinkman, A.G. & T. Bult 2003. Geschiede eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het voorkomen van meerjarige natuurlijke mosselbanken. Alterra rapport 456. Wageningen. <http://edepot.wur.nl/53088>
- Dankers, N., K.S. Dijkema, J.A. van Franeker, M. Leopold, C.J. Smit & W.J. Wolff 1993. Hst. 2: Inleiding voor de regio's van de maritieme invloedsfeer; Hst. 3: Afsloten zeearmen; Hst. 4: Getijdegebied; Hst. 5: Noordzee. In: Leerdam, A. van, M.J. Wassen & N.Dankers. Onderzoek nagenoeg-natuurlijke referentie-ecosystemen. Interfacultaire Vakgroep Milieukunde, RU Utrecht/DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Utrecht.
- Dankers, N., A. Meijboom, J.S.M. Cremer, E.M. Dijkman, Y. Hermes, & L. te Marvelde 2003. Historische ontwikkeling van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. EVA-II-Alterra rapport 876. 114pgs. <http://edepot.wur.nl/26446>
- Folmer EO, J Drent, K Troost, H Büttger, N Dankers, J Jansen, M van Stralen, G Millat, M Herlyn and CJM Philippart (2014) Large-Scale Spatial Dynamics of Intertidal Mussel (*Mytilus edulis* L.) Bed Coverage in the German and Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* 17: 550–566 DOI: 10.1007/s10021-013-9742-4. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-013-9742-4>

Norbert Dankers

Stimuleren van ontwikkeling

De zeer vroege stadia van broedval op droogvallende platen zouden gestimuleerd kunnen worden door het scheppen van condities waarbij geschikt substraat beschikbaar is in afwezigheid van predatie. Dit is in de praktijk slechts mogelijk op kleine schaal.

Op iets grotere schaal kan gedacht worden aan het realiseren van rustige gebieden, bijvoorbeeld achter dammen, (kunstmatige) oesterriffen (Wallès, 2015) en wellicht aanbieden van substraat in de vorm van (levende)mosselen. Misschien kunnen oude mosselbanken die langzaam achteruit zijn gegaan wat betreft bedekkingspercentage en biomassa "opgekalefaterd" worden door het inzaaien van mosseltjes die elders opgevest zijn. Hiervoor zijn ooit plannen ontwikkeld (door IMARES i.s.m. Hoogheemraadschap Noorder-Kroon (HHNK)) maar nooit uitgevoerd door problemen met de NB-wetgeving.

Omdat duidelijk is dat mosselbanken langzaam groeiende "superorganismen" zijn die als biobouwer hun eigen stabiliteit scheppen (positieve feedback) worden momenteel plannen ontwikkeld om daar op in te spelen door mossel-larven te laten vestigen op fijn (afbreekbaar) netwerk met kleine maaswijdte (bv sinaasappelnetten) dat in de waterkolom hangt (zoals bij MZI installaties. Als de mosseltjes 2-4 mm zijn kunnen deze netten plat op het wad gelegd worden. De mosseltjes hebben dan enig houvast en zijn groot genoeg en in voldoende aantallen om de ergste predatie van garnaal en krabben te doorstaan. Wellicht moeten wel voorzieningen tegen vraat door meeuwen getroffen worden.

Daarnaast kan gedacht worden aan het aanleggen van nieuwe mosselbanken met mosselen die elders opgevest zijn.

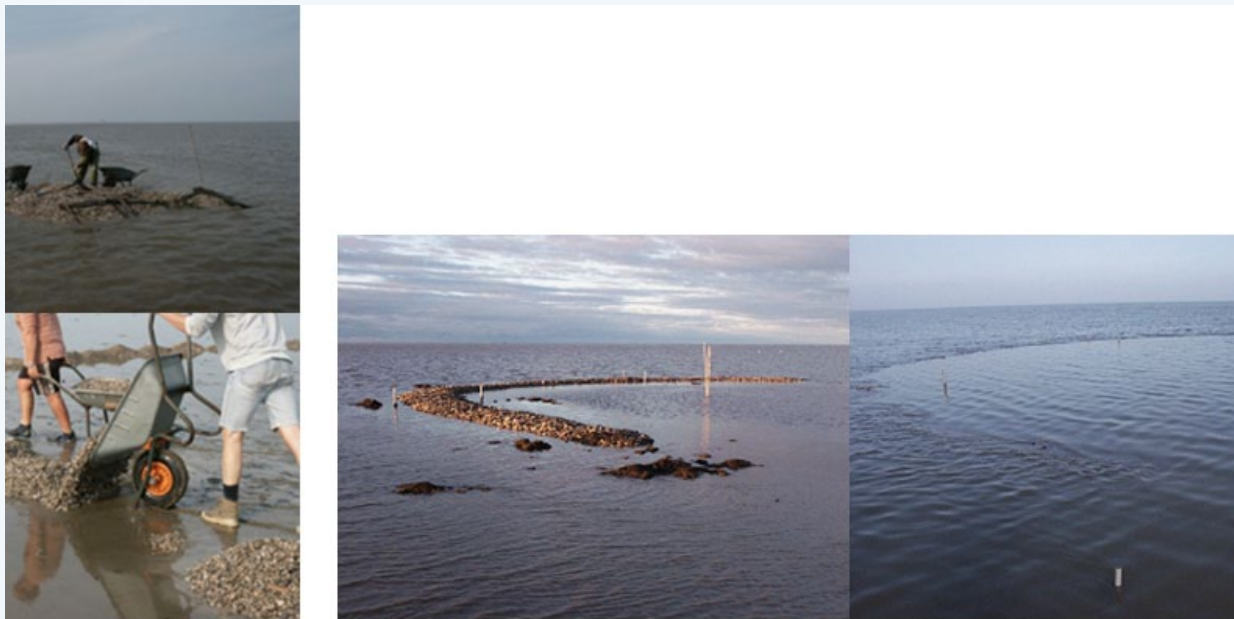
In het verleden zijn meerdere pogingen gedaan om schelpdierbanken aan te leggen. Internationaal worden activiteiten gestimuleerd door de International Committee for Shellfish Restoration (ICSR) die jaarlijks een congres houden. Aansprekende resultaten zijn bereikt bij het herstel van Oesterriffen in de VS. Wat betreft mosselbanken zijn er minder pogingen geweest en meestal met weinig succes. Een kort overzicht is gegeven in het hoofdrapport. Hier wordt op sommige van die pogingen iets dieper ingegaan.

Wallès, B., 2015. The role of ecosystem engineers in the eco-morphological development of habitats. Thesis Wageningen University. 145p. ISBN 978-94-6257-296-6

Jan Louw (2001)

De Jan Louw hypothese luidt dat uitdunnen van mosselbanken een maatregel kan zijn om stabiliteit van mosselbanken te vergroten. Met een deel van de in het kader van dit visserijexperiment opgeveste litorale Mosselen werden vijf banken aangelegd op droogvallend wad. Elke bank was 5 hectare en werd bezaaid met 2 kg per m². Na een paar weken waren er drie nagenoeg helemaal verdwenen. Eén heeft de winter grotendeels overleefd. Een bank in de Schildknopen breidde uit en was in 2014 nog aanwezig. Niet bekend is of predatie of golfwerking het verdwijnen heeft veroorzaakt. De resultaten zijn gerapporteerd door Smaal *et al.* (2004)

Smaal, A.C., M.R. van Stralen, K. Kersting & N. Dankers. 2004 De gevolgen van gecontroleerde bevissing voor bedekking en omvang van droogvallende mosselzaad-banken, een test van de Janlouw hypothese en van mogelijkheden voor natuurbouw. EVA II deelproject F5. RIVO rapport C022/04, 93 pgs. <http://edepot.wur.nl/36757>



Balgzand, zeegrasproject (2002)

In het kader van een proef met aanleg van zeegras werden in de eerste week van september op het Balgzand enkele ruggen van kokkelschelpen geplaatst waarop Mosselen gestort werden. Na 1 maand waren de Mosselen nagenoeg geheel verdwenen, waarschijnlijk door vogelpredatie. Door de betrokken onderzoekers van Universiteit Nijmegen werd het volgende gemeld:

- *Op 19 en 24 september 2002 was de mosselbedekking 100% en waren er weinig dode mosselen. Met er naartoe lopen viel op dat er heel veel vogels op de droogvallende mosselbanken zaten (steenlopers, scholeksters)*
- *Op 21 oktober was er op de diepste banken een bedekking van 10-15%, waarvan de helft dode mosselen. Op de hogere banken was de bedekking 5%, waarvan ook de helft dood.*

- *Op 4 november waren helemaal geen mosselen aanwezig (levende of dode), op een enkeling na. De extra 'mosselbulten' in de buurt waren er nog wel, maar een stuk kleiner dan oorspronkelijk. Alle mosselen die daar lagen, waren dood.*

Schiermonnikoog (1987)

Ten behoeve van scholeksteronderzoek werd op 17 juni 1987 in totaal 20 ton uit het sublitoraal opgeviste mosselen (in lengte variërend van 10 tot 55 mm) onder Schiermonnikoog uitgezaaid op een kaal stuk wad. Er vond nog diezelfde zomer een grote broedval plaats van Mosselen op en naast de aangelegde bank. Er ontstond een stabiele mosselbank die overleefde tot hij in 1990 weggevist werd. De ontwikkeling van de bank in de eerste maanden na het zaaien en het belang voor Scholeksters is beschreven door Ens & Altling 1996.

Ens B.J. & D. Altig 1996. The effect of an experimentally created mussel-bed on bird densities and food intake of the Oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Ardea* 84A: 493-507.

Jan Smitbank (1995)

Een hoeveelheid (enkele duizenden kilogrammen) in beslag genomen mosselen afkomstig van een droogvallende bank bij Ameland werd op de droogvallende bank langs het Oort (zuidzijde Brakzand) gestort. De Mosselen vormden een stabiele bank die later uitgroeide door broedval en Mosselen die er met storm inspoelden. De bank is inmiddels 20 jaar oud. De bank wordt elk voorjaar in kaart gebracht bij de inventarisaties van IMARES

Invang zaad (Rapport Nico Laros) (Rond 1950)

Op het Balgzand werden door kwekers en onderzoekers van RIVO en ministerie proeven gedaan waarbij verschillende typen substraat werd aangeboden om broedval te bevorderen. Er werden op de droogvallende plaat o.a. haringnetten en dennentakken gebruikt. Broedval op het substraat was minimaal. Rond de proefvakken op de wadplaten en elders in de Waddenzee vond dat jaar wel broedval plaats. Uit diverse bronnen destilleerde visserijkundig anbtenaar (nu medewerker Waddenbeheer, Ministerie van EZ) een aantal conclusies welke hij samenvatte in een korte rapportage waarvan hier het begin.

"Innovatie opvang "mosselzaad" uit het verleden

De kop van dit artikel doet vermoeden dat dit tegenstrijdig is, immers innovatie betekent nieuwigheid.

Toch leek het me leuk om na de instelling van het Innovatieplatform Aquacultuur door Minister Veerman in 2004 tijdens de

mossel feesten te Yerseke, eens een halve eeuw terug te kijken hoe innoverend de huidige onderzoeken nu eigenlijk zijn.

Prachtig in dit kader is de uitspraak van een van de bekendste Nederlandse marine biologen uit de 20^e eeuw, Dr. P.P.C. Hoek in 1910!

"Komt er dus een tijd, dat men voor zijn cultuur op de mosselzaadbanken geen voldoende hoeveelheden meer aantreft, dan zal ook onze industrie er wel toe overgaan – wel toe moeten overgaan – zich de jonge mossels op meer kunstmatige wijze te verschaffen"

Via het RIVO te Yerseke heb ik info gekregen over een aantal onderzoeken die rond 1950 werden uitgevoerd in de Waddenzee, ook in mijn eigen archief aan boord was nog wat te vinden. Tijdens de gesprekken die ik vanaf 1986 aan boord, maar zeker ook tijdens de Visserijdagen (wie kent ze niet) te Bakkeveen, met diverse mosselkwekers heb gehad en dan meestal in de "gezellige uurtjes" kwamen de proeven van mosselzaadinvang op de Haringnetten van Breehorn steevast aan de orde.

Het mooiste verhaal dat ik ooit hoorde is dat er diverse netten op Breehorn werden gespannen en dat juist naast de netten grote (op z'n Yer'ses) mosselzaadbanken ontstonden. In de netten werd niets aangetroffen. Het vermoeden was dan ook dat de netten te laat waren aangebracht en de mosselzaadval al achter de rug was."

Texel, De Cocksdorp (2012)

In het kader van het Mosselwad-project werden 19 mosselbankjes van 1 m² aangelegd buiten en binnen de bestaande mosselbank. De Mosselen werden getransporteerd als "zoden" inclusief de ongestoorde ondergrond. Die zoden waren 20 × 20 cm en werden tegen elkaar aangelegd. Van de negentien plots was na 2 jaar (met enige zeer zware stormen) nog meer dan de helft aanwezig en vitaal. Vooral de plots die binnen de mosselbank waren aangelegd deden

het goed. De methodiek en ontwikkeling is beschreven door Deijl (2013). Zij concludeert dat het bij mosselbankbeheer aanbeveling verdient om bij voorkeur uit te gaan van preventief onderhoud van bestaande banken

Deijl, E.C. van der. 2013. Survival chance of young mussel beds during Fall. Masters Thesis University of Utrecht

Niedersachsen (D)

In Niedersachsen zijn in het verleden droogvallende mosselpercelen aangelegd die overleefden tot de Mosselen de commerciële maat van 5-6 cm bereikt hadden. Gegevens over locatie en techniek konden niet meer achterhaald worden. Navraag bij een Duitse onderzoeker leverde het volgende antwoord.

Response from Marc Herlyn

I don't have experience with "man-made" intertidal mussel beds and don't know anyone who has with exception of some fisherman: Some years ago in Lower Saxony they used not only subtidal culture plots but also intertidal culture plots. Even though the beds at intertidal culture plots developed only about one or two years until they were fished for consumption some of these beds stayed longer than those in your re-establish experiment. Unfortunately the development of these intertidal culture beds were never investigated scientifically.

Sleeswijk Holstein (D) (1998)

In Sleeswijk Holstein werd een experiment uitgevoerd waarbij ongeveer 50.000 kg Mosselen werd uitgezaaid op een zandige schelprijke wadbodem en op een vergelijkbaar profvak dat eerder bedekt was met kiezels van 5-10 cm. Na 1 maand waren alle mosselen verdwenen, waarschijnlijk door predatie door Eidereenden en Scholeksters. Onderstaande

informatie werd verkregen van betrokken onderzoekers.

Response from Maarten Ruth

We had one experience with artificial mussel beds. Experiments started some years ago, when an area west of Pellworm was marked and divided into four segments, each about some 1000 square m in size. Two of the segments were left in their natural status and two segments were covered with pebbles ($\pm$ 5-10 cm in diameter).

After this one of the "natural" and one of the "stony" segments were covered with mussels by means of a commercial mussel dredger. The mussels originated from the subtidal (about 12 m depth at low tide) and their length was between 4 to 5 cm.

The site itself was some 10 to 20 cm above low water level, free exposed to the southwest and only slightly sheltered against westerly winds and waves due to its location at the edge of a temporary gully with a bordering sandflat (about 0.5 m higher) in the west. The original bottom was sandy with considerable amounts of dead shells on the surface, but the dead shells showed almost no epibenthic animals or algae.

The result was that the mussels (about 40.000 to 60.000 kg) disappeared within some weeks and no settlement was observed on the pebbles in the following months. I think the mussels served as preferred food for gulls as they were well in meat content and had a pretty thin shell due to their subtidal origin. Another part of the mussels has been probably removed by inhabitants of the island, because the site was located quite close to the dike.

On the same experiment response from Georg Nehls

We have some similar experience in our place. In 1998 large subtidal mussels were placed on sand and a stone field west of Pellworm. In both places, oystercatchers had a party and enjoyed thinshelled mussels. Nothing was left after a few weeks despite nice weather and a generally suitable place. The stones are still there and some mussels are now attached to them.

In general it should be possible to build up intertidal mussel beds, as in earlier time there were even cultures in the intertidal.

Sylt (D), Karsten Reise experiment (2008)

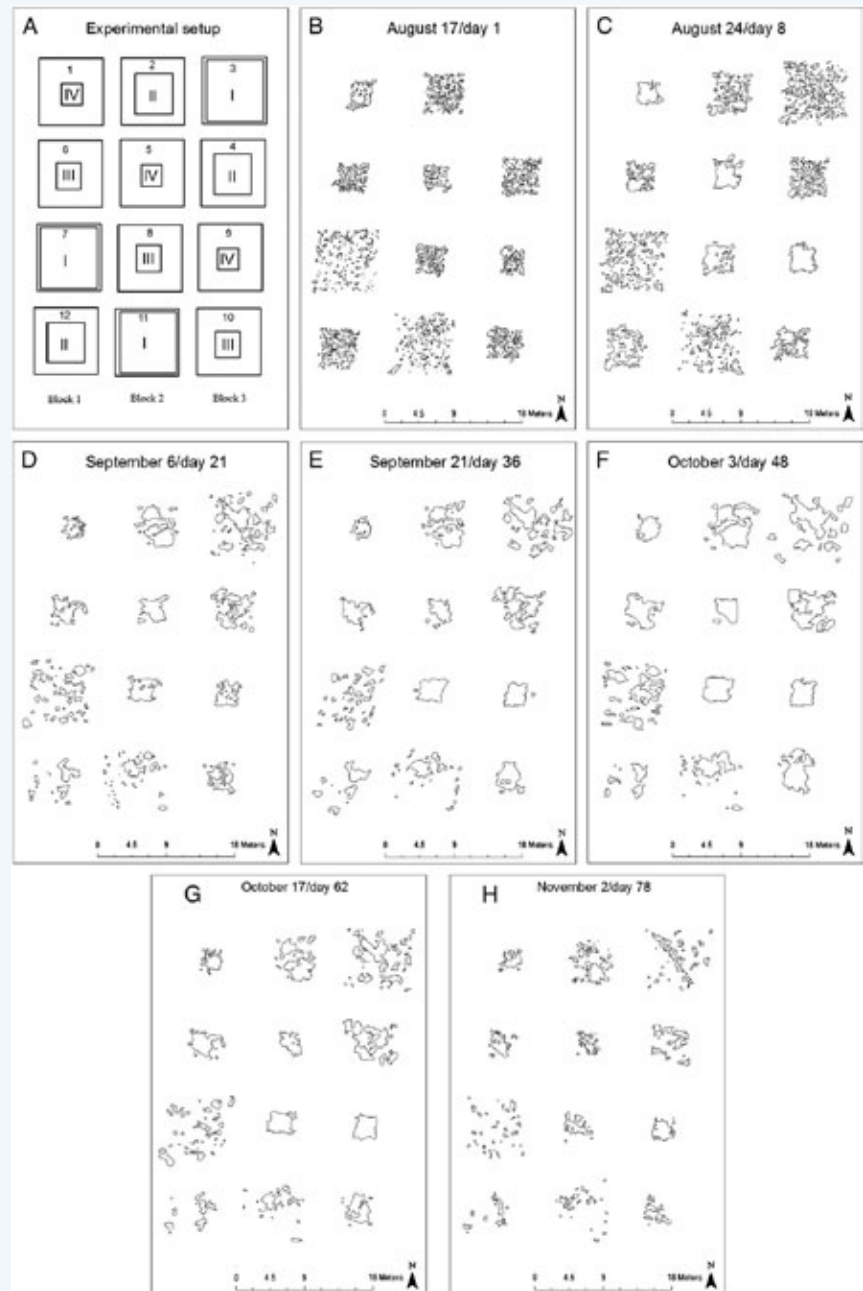
Bij Sylt (Königshaven) werd een (dambord)mozaïek aangelegd waarbij Japanse oesters (met aangehechte mosselen) op het wad werd aangelegd in vakken van 10 × 10 m. Het mozaïek was na 6 jaar nog goed herkenbaar. Onderzoeker Karsen Reise gaf het volgende commentaar

Respons Karsten Reise

With regard to the checkerboard (6 times 10X10m) experiment which we initiated in 2008, this was not a mussel bed transplantation but transplantation of oysters into an adjacent lugworm flat in an attempt to document changes over time. The oysters were not cleaned from mussels, thus right from the beginning some mussels were present and then increased over the years. However, the oysters remained the dominant feature. Squares are still more or less as we have arranged them, in spite of heavy ice during three winters. The squares seem to be well sheltered by the adjacent wild oyster-mussel-bed, positioned seaward from the squares.

Oosterschelde, Jacob van Capelle, (2011)

In de Oosterschelde is op een beschutte plaats experimenteel onderzocht hoe de overleving van mosselen is als deze in het litoraal neergelegd worden. Op de betreffende locatielagen in het verleden commerciële mosselpercelen. Mosselen werden neergelegd in dichtheden van 1 tot 10 kg per m² in 12 vakken (zie figuur).



De sterfte was hoog, en mosselen vormden duidelijke patches. De in lage dichtheid uitgezaaide mosselen vormden meer afzonderlijke patches en overleefden uiteindelijk beter dan de in hoge dichtheid gezaaide.

De resultaten, inclusief duidelijke foto's en kaarten, zijn gepubliceerd door Capelle et al. (2014)

Jacob Capelle gaf onderstaande toelichting

Ik heb in 2011 een experiment uitgevoerd op een droogvallend mosselperceel in de Oosterschelde, wat ingezaaid werd met MZL-zaad. Zoals je ongetwijfeld weet resulteren de huidige uitzaaimethodiek (van mosselboten) in zgn zaaisporen. Mosselen op percelen zijn daardoor heel heterogeen verdeeld en kunnen behoorlijke dichtheden bereiken binnen zo'n zaaispoor (gemeten: ca 20 kg/m², bij een gemiddelde uitzaaidichtheid op het perceel van 1 kg/m²). Ik heb onderzocht of de mate van heterogeniteit in mosseldichtheid invloed heeft op reorganisatie, groei en overleving in een korte (3 maanden) periode na het zaaien. Ik was specifiek geïnteresseerd in deze korte periode omdat uit mijn perceelbemonsteringen op de Waddenzee bleek dat in een korte tijd na het zaaien ca. 50% van de mosselen verdwenen waren. Conclusies: 'zaaiverlies' ook hier waargenomen. Betere verspreiding + relatief lage dichtheid geeft betere overleving. Beter overleving bij lagere opp-omtrek ratio. In het artikel referer ik ook naar mosselbank herstel.

Capelle, Jacob J.; Wijsman, Jeroen W. M.; Schellekens, Tim; van Stralen, Marnix R.; Herman, Peter M. J.; Smaal, Aad C. 2014 Spatial organisation and biomass development after relaying of mussel seed. Journal of Sea Research 85 395-403.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2013.07.011>

Bangor (UK)

In Menai Straits worden nog steeds mosselpercelen in het litoraal aangelegd met Mosselen uit Morecambe Bay. Er is een getijdslag van 7 m aanwezig. De percelen leveren een goede productie. Bij UCNW-Bangor wordt veel onderzoek verricht in relatie tot deze activiteit. Navraag leverde het volgende commentaar.

Respons Mike Kaiser (University of Wales)

Norbert, good morning. I'm aware of the project and sad to hear that your attempts have failed. We've done a lot of work on this over the years and it is summarised in a series of papers which I've cc'd below.

I don't know of a relay ever failing. The fishermen tend to lay the mussels thick on the ground (actually too thickly for efficient use of the resource) and they then self-organise into a patterned formation. Johan Van Der Koppel published a very nice paper in Science with one of my colleagues Jo Gascoigne and they even had a nice video to show this happening. The mussels are laid on mud which is a very alien environment for them and hence forces them to attach to each other.

One of the key things is that the fishermen now harden the seed by laying it high on the intertidal where it grows slowly and develops a thicker shell which makes them more crab and bird proof when laid further down in the intertidal and eventually subtidally. (Beadman et al. 2003). There are different laying strategies that help avoid bird predation, laying the mussels on the very low intertidal helps to avoid oystercatchers, but you have the added problem of eider ducks (see Caldow et al. 2004). Things to remember are that we have a 7 m tidal excursion and the Menai Strait is a very sheltered environment, and the water mass over the mussel bed is renewed entirely every day and a half.

Saurel, C., Peterson, J.K., Wiles, P.A. & Kaiser M.J. 2013. Turbulent mixing limits mussel growth: direct estimates of feeding rates and vertical diffusivity. Marine Ecology Progress Series 485: 105-121.

- Widdows, J., Pope, N.D., Brinsley, M.D., Gascoigne, J. & Kaiser, M.J. 2009. Influence of self-organised structures on near-bed hydrodynamics and sediment. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology* 379: 92-100.
- Fässler S.M.M. & Kaiser M.J. 2008. Phylogenetically mediated anti-predator responses in bivalve molluscs. *Marine Ecology Progress Series* 363: 217-225. <http://dx.doi.org/10.3354/meps07459>
- Saurel C., Gascoigne J.C., Palmer M. & Kaiser M.J. 2007. In situ mussel feeding behavior in relation to multiple environmental factors: Regulation through food concentration and tidal conditions? *Limnology and Oceanography* 52: 1919-1929.
- Gascoigne J.C., Beadman H.A., Saurel C. & Kaiser M.J. 2005. Density dependence, spatial-scale and patterning in sessile biota. *Oecologia* 145: 371-381.
- Beadman H.A., Kaiser M.J., Galanidi M., Shucksmith R. & Willows R. 2004. Changes in species richness with stocking density of marine bivalves. *Journal of Applied Ecology* 41: 464-475
- Caldow R.W.G., Beadman H.A., McGrorty S., Kaiser M.J., Goss-Custard J.D., Mould K. & Wilson A. 2003. Effects of intertidal mussel cultivation on bird assemblages. *Marine Ecology Progress Series* 259: 173-183.
- Beadman H.A., Caldow R.W.G., Kaiser M.J. & Willows R.I. 2003. Toughening up your mussels: using mussel shell morphological plasticity to reduce predation losses. *Marine Biology* 142: 487-494.
- Caldow R.W.G., Beadman H.A., McGrorty S., Stillman R.A., Goss-Custard J.D., Durell Le V. S.E.A., West A.D., Kaiser M.J., Mould K. & Wilson, A. 2004. A behaviour based modeling approach to reducing shorebird-shellfish conflicts. *Ecological Applications* 14: 1411-1427.
- Saurel C., Gascoigne J.C., Palmer M. & Kaiser M.J. 2007. In situ mussel feeding behavior in relation to multiple environmental factors: Regulation through food concentration and tidal conditions? *Limnology and Oceanography* 52: 1919-1929.

Het merendeel van het mosselzaad is afkomstig van banken in Morecambe Bay (figuur hieronder) die worden gezien als onstabiel en elk jaar worden leeggevist om uitgezaaid te worden op percelen in Wales (Menai Straits en Conway estuarium) en soms zelfs in de Wash aan de oostkust. Broed-

val treedt in Morecambe Bay nagenoeg elk jaar op. Lokale ondernemers willen ook kweekpercelen aanleggen in de baai onder Barrow-in-Furness. In 2006 werd toestemming verleend om maximaal 1800 ton mosseltjes uit te zaaien aan de oostkant van Walney Channel, ten zuiden van Barrow-in-Furness. Uiteindelijk werd 600 ton gezaaid en in de zomer van 2007 bleek de overleving en groei goed te zijn.



Morecambe Bay

Wash (UK) (2002)

In de Wash waren nagenoeg alle droogvallende mosselbanken verdwenen door visserij. In 1997 en 1998 zijn droogvallende banken aangelegd met behulp van zaad uit het sublitoraal (1,7 en 1,2 miljoen kg respectievelijk). Helaas zijn de onderzoekresultaten nooit gerapporteerd. Een deel van mosselbanken heeft enige jaren overleefd. Uiteindelijk zijn de mosselbanken opgevestigd. Een poging om meer informatie in te winnen bij visserijambtenaren en NB organisaties tijdens een veldbezoek in 2012 leverde geen extra informatie op. Eerdere correspondentie met de visserijopziensers is hier weergegeven.

Response from Conor Donnelly

Thank you for your email – Ian Paterson has passed it on to me (he sends his best wishes). As you may know we have set up a Mussel Restoration Project in the Wash. It involves two studentships, one is looking at factors affecting mussel productivity in the Wash, the other looking at factors affecting mussel settlement and survival (see attachment for details).

The settlement studentship is perhaps most relevant to your work. It consists of modelling and experimental work. The modelling work includes application of your Mussel Habitat model to the Wash (De Brinkman habitat kaart (ND)). It aims to define suitable areas for restoration of wild mussel beds, which will then be tested by experimental work involving a variety of substrates.

Both studentships are at a relatively early stage at the moment having started at the beginning of this year. However it seems we are working towards very similar goals, therefore it may be worthwhile meeting at some point in the New Year to share learning / identify areas of co-operation?

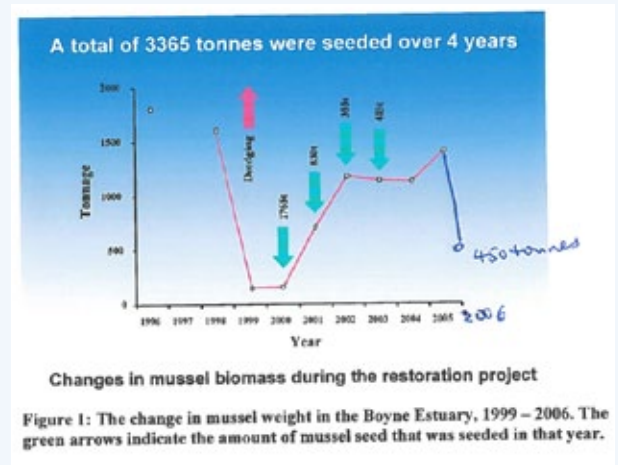
Ireland (Boyne estuary) (2000)

Ten gevolge van het baggeren van een haventoegangsgeul werden mosselbanken vernietigd. Na afronding van de werkzaamheden werden jaarlijks Mosselen uitgezaaid van 2000-2003. In totaal 3300 ton. Het project leek geslaagd en de mosselpopulatie was stabiel tot 2006. Toen verdween het merendeel van de mosselen weer door onbekende redenen. Een van de betrokken onderzoekers leverde het volgende commentaar.

Response from Gavin Burnell (University of Cork)

I am afraid I do not have any experience of constructing an intertidal mussel bed. We are restoring the subtidal Boyne Estuary mussel fishery following its destruction by channel

dredging. Each year we have relayed seed mussels from the east coast and monitored their survival. There has been a fairly good retention of mussels, about 50% and we have attributed the loss to high water flows in the river during winter floods and also to crab predation. The plan is to try to recreate the heterogenous structure present in a natural bed with mussels of all sizes packed together by their byssus threads. This will take time as we need to get at least 3 years of growth after which we hope that natural recruitment will take place from wild larvae.



Examples of marine mussel restoration projects are hard to find. One interesting set of data comes from the attempts to clean up oil pollution after the Exxon Valdez disaster in Alaska in 1989. An experiment (Carls et al., 2004) was carried out in which contaminated intertidal mussels were temporarily removed to a clean site and the sediment under them removed and replaced by clean sediment. Next the mussels were replaced on their old site. The density of the population was then monitored for 5 years after the restoration. After an initial decline (over 2-3 year) in numbers the restored beds either stabilised, increased or declined and, after 5 years there were no differences between the restored populations and reference populations that had not been touched.

Carls, M.G., P. M. Harris and S. D. Rice. 2004. Restoration of oiled mussel beds in Prince William Sound, Alaska. Marine Environmental Research, 57(3), 359 – 376.

Ervaringen met mosselpercelen (20^e en 21^e eeuw)

Door mosselkwekers worden jaarlijks kleine Mosselen opgevist. Deze worden vervolgens op percelen in de Westelijke Waddenzee uitgezaaid waarna ze, al dan niet na nog een keer verplaatst te zijn, opgevist en verkocht worden. Om een marktwaardige maat te krijgen liggen ze gemiddeld 2 jaar op die percelen. Direct na het uitzaaien is er een hoog percentage verlies (gemiddeld 50% van uitgezaaide Mosseltjes). De overgebleven mosselen op percelen leveren na enkele jaren goede oogsten. Dit geeft aan dat aanleg in het sublitoraal mogelijk is.

Over de ontwikkelingen van mosselen op percelen is uitgebreid gerapporteerd in rapportages uit het PRODUS project