

Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee

De laatste jaren van het onderzoek en de tijdbesteding en kosten voor de rapportage werden gefinancierd in het kader van het z.g. Bestekonderzoek van het ministerie van LNV. (Opdrachtgever LASER). Het betreft bestek 5b-3 (Mosselen en Zeegras) van het project: Kennis Ecosystemen Noordzee, Waddenzee, Delta en grote binnenwateren.

Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee

N. Dankers
A. Meijboom
M. de Jong
E. Dijkman
J. Cremer
S. van der Sluis

Alterra-rapport 921

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

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. 56 fig.; 12 tab.; 66 ref.

In de rapportage wordt een overzicht gegeven van factoren die belangrijk zijn bij het verschijnen en verdwijnen van mosselbanken in de Waddenzee. Het onderzoek is gebaseerd op een review van de literatuur en jarenlange metingen op mosselbanken. Delen van het hier gerapporteerde onderzoek zijn reeds beschreven in rapporten die uitgevoerd werden in het kader van het onderzoek naar de evaluatie van het schelpdiervisserijbeleid (het EVA-II onderzoek).

Trefwoorden: Mosselbanken, mosselvisserij, broedval, mosselzaad, Waddenzee, storm, stormgevoeligheid

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 25,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 921. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

Adres Auteurs: Alterra Texel
Postbus 167
1790 AD Den Burg, Texel

Projectleider: Dr. N. Dankers
norbert.dankers@wur.nl

© 2004 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	11
1 Inleiding	13
2 Ontwikkeling van mosselbanken	15
3 Factoren verantwoordelijk voor ontstaan, overleving en verdwijnen van mosselbanken	21
4 Ontwikkeling van individueel gevolgde banken	35
4.1 Ontwikkeling van de broedval uit 1994	35
4.2 Ontwikkeling van individueel gevolgde banken	36
4.3 Ruimtelijk patroon en dynamiek	40
5 Het mosselbankecotoop	71
6 Ontwikkeling van een aantal banken uit de 2001 broedval, met nadruk op de invloed van stormen	83
6.1 Inleiding	83
6.2 Methoden	85
6.2.1 Het maken van de overlays	85
6.2.2 Structuren in mosselbanken	88
6.2.3 Verschil kaarten	89
6.2.4 Fysische variabelen	89
6.2.5 Bewerking gegevens	90
6.3 Resultaten	90
6.3.1 Wind en storm in de onderzoeksperiode	90
6.3.2 De overlays en structuren	93
6.3.3 Fysische variabelen	103
6.3.4 Vergelijking van weggeslagen delen met de fysische variabelen	104
6.4 Discussie	108
7 Conclusies	109
Literatuur	111

Woord vooraf

Sinds 1984 wordt door Alterra en de voorgangers IBN en RIN onderzoek uitgevoerd waarbij mosselbanken en mosselen een grote rol spelen. Oorspronkelijk was het onderzoek gericht op de rol van de mossel in de slibhuishouding van de Waddenzee (in relatie tot de vermeende toename van troebeling sinds de jaren 30). Toen duidelijk werd dat de mossel vanwege de filtreercapaciteit en wellicht de invloed op fytoplankton een belangrijke rol speelde in het ecosysteem werd de nadruk van het onderzoek verlegd naar de rol van de mossel in het gehele ecosysteem, mede omdat er plannen waren de mosselcultuur uit te breiden naar de Oostelijke Waddenzee, en LNV wilde weten of dat effecten zou kunnen hebben op het Ecosysteem van het Oostelijk wad.

In eerste instantie is toen nagegaan hoeveel mosselen voorkwamen in de verschillende delen van het ecosysteem (droogvallende banken, sublitorale wilde voorkomens en cultuurpercelen) en welke hoeveelheden water door die mosselen gefiltreerd werden. De invloed van mosselbanken werd o.a. bestudeerd met behulp van tunnels waarbij het verschil gemeten werd tussen in en uitstromend water en metingen in goten op het voormalig mosselproefstation.

De vraagstelling van de opdrachtgevers (LNV) veranderde regelmatig, en daarmee de opzet van het onderzoek. Het onderzoek werd grotendeels gefinancierd vanuit DLO programmafinanciering. Toen DLO nog een LNV directie was werd het vanuit LNV belangrijk geacht om ad hoc advisering te kunnen leveren op grond van onderliggend onderzoek. Rapportage van alle onderzoekresultaten had een lagere prioriteit.

Toen duidelijk werd dat de droogvallende mosselbanken sterk afnamen richtte het onderzoek zich op de vraag wat de natuurlijke toestand van het wad zou kunnen zijn, waarom de afname plaatsvond en of er mogelijkheden waren voor herstel. Daarom was het noodzakelijk na te gaan wat de habitateisen van de mossel waren, en welke factoren verantwoordelijk zijn voor vestiging en overleving van banken. Dit onderzoek resulteerde in de ontwikkeling van een ecotoopbenadering en ecotoopkaarten voor het wad en de Noordzee.

De resultaten van het onderzoek zijn in een groot aantal rapporten en publicaties gepubliceerd (zie hieronder). Naast de gepubliceerde resultaten is veel informatie verzameld die nuttig kan zijn voor het natuur- en visserijbeleid en voor het geven van richting aan toekomstig onderzoek. Omdat deze informatie niet altijd paste in door opdrachtgevers gevraagde rapporten is die niet altijd gerapporteerd. In voorliggend rapport wordt gepoogd het merendeel van de informatie voor een bredere gebruikersgroep toegankelijk te maken.

Rapporten en publicaties die (in)direct samenhangen met het mosselonderzoek van Alterra-Texel

- Dankers, N. & J.J. Beukema 1981. Distributional patterns of macrozoobenthic species in relation to some environmental factors. In: N. Dankers, H. Kühl & W.J. Wolff (eds), Invertebrates of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam; 69-103.
- Dankers, N., K. Kersting, M. Binsbergen & K. Zegers 1984. Zuurstofgehalten boven een mosselbank bij doorstromend en stilstaand water. RIN rapport 84/9. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 8 p.

- Dankers, N., M. Binsbergen & K. Zegers 1985. De rol van mosselen en mosselcultuur. *Waddenbulletin* 20: 69-71.
- Dijkema, K.S., N. Dankers & W.J. Wolff 1985. Cumulatie van ecologische effecten in de Waddenzee. RIN-rapport 85/13. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 105 p.
- 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., K. Kersting, M. Binsbergen & K. Zegers 1986. De effecten van het stoppen van de stroming op een mosselbank. RIN-rapport 86/2. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 24 p.
- Dankers, N. 1987. The effects of mussel culture in the Wadden Sea. *Biologische Mededeler* 31: 201-214.
- Dame, R. & N. Dankers 1988. Uptake and release of materials by a Wadden Sea mussel bed. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 118: 207-216.
- Dankers, N. 1989. Het zeegras in de Waddenzee. Waarom verdween het, en kan het terugkomen. *Waddenbulletin* 1989, 3: 120-123.
- Dankers, N. & K. Koelemaj 1989. Variations in the mussel population of the Dutch Wadden Sea in relation to monitoring. *Helgoländer Meeresunters.* 43: 529-535.
- Dankers, N., R. Dame & K. Kersting 1989. The oxygen consumption of mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *Scient. Mar.* 53: 473-476.
- Dankers, N., K. Koelemaj & J. Zegers 1989. De rol van de mossel en de mosselcultuur in het ecosysteem van de Waddenzee. RIN-rapport 89/9. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 66 p.
- Beukema, J.J., N. Dankers, B. Ens, C.J. Smit & C. Swennen 1991. Commentaar op de rapportage Relatie tussen kokkelvisserij en ecologisch functioneren van de Nederlandse getijdengebieden. NIOZ/RIN rapport. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek/Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Texel. 7 p.
- 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* Vol. 14, No 2: 130-138.
- Jong, F. de, J. Bakker, K. Dahl, N. Dankers, H. Farke, W. Jöppelt, P.B. Madsen & K. Kossmark-Stephan 1991. The Wadden Sea - status and developments in an international perspective. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven. 200 p.
- Reineking, B., K. Dahl, H. Farke, M. Franz, J. de Vlas, N. Dankers & M. Ruth 1991. Mussel fishery in the Wadden Sea. Document 1991-2. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven. 56 p.
- Asmus, H., R.M. Asmus, T.C. Prins, N. Dankers, G. Francés, B. Maaß & K. Reise 1992. Benthic-pelagic flux rates on mussel beds: tunnel and tidal flume methodology compared. *Helgoländer Meeresunters.* 46: 341-361.
- Dankers, N. & J. de Vlas 1992. Multifunctioneel beheer in de Waddenzee — integratie van natuurbeheer en schelpdiervisserij. RIN-rapport 92/15. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Texel. 18 p.
- Dankers, N. 1993. Integrated estuarine management - obtaining a sustainable yield of bivalve resources while maintaining environmental quality. In: R.F. Dame (ed.), *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes*. NATO ASI Ser., Subser. G: Ecological Sciences, Vol. 33; 479-511.
- Dankers, N. 1993. The role of scientists in the management of coastal ecosystems. In: R.F. Dame (ed.), *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes*. NATO ASI Ser., Subser. G: Ecological Sciences, Vol. 33; 561-564.
- Dahl, K., T. Borchardt, N. Dankers & H. Farke 1994. Status, trends, regulation and ecological effects of the Wadden Sea fishery. *Ophelia Suppl.* 6: 87-97.
- Dankers, N. & J. de Vlas 1994. Ecological targets in the Wadden Sea. *Ophelia Suppl.* 6: 69-77.

- Dankers, N. , H.-J. Augst & K. Dahl 1994. Esbjerg Deklaration: Fischerei. Wattenmeer International 1/94: 8-9.
- Prins, T.C. , N. Dankers & A.C. Smaal 1994. Seasonal variation in the filtration rates of a semi-natural mussel bed in relation to seston composition. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 176: 69-86.
- Zurburg, W. , A. Smaal, M. Héral & N. Dankers 1994. Seston dynamics and bivalve feeding in the Bay of Marennes-Oléron (France). Neth. J. Aq. Ecol. 28: 459-466.
- Dankers, N. & D. Zuidema 1995. The role of the mussel (*Mytilus edulis* L.) and mussel culture in the Dutch Wadden Sea. Estuaries 18/1A: 71-80.
- Dankers, N. et al. 1995. Op zoek naar mosselbanken. Waddenbulletin 30,1: 41-44.
- Wintermans, G. , N. Dankers, H. van der Veer, A.D. Rijnsdorp, P.I. van Leeuwen & B. Vingerhoed 1995. Habitatkarakteristieken van de Nederlandse kustzone. BEON-rapport 95-12. Programmabureau BEON, Den Haag.
- Dankers, N. 1996. Shellfish fisheries - self management in The Netherlands. Wadden Sea Newsletter 1996-3: 13-15.
- Dankers, N. 1996. Managing ecotopes: the best way to conserve habitats for species. Ecology & Evolution 11,1 (115): 38.
- Ssymank, A. & N. Dankers 1996. Red List of Biotopes and Biotope Complexes of the Wadden Sea Area. Helgoländer Meeresuntersuchungen 50, suppl. 9-37.
- Bakker, J.F., N. Dankers, F. de Jong, C. Gätje, T.F. Pedersen, P. Potel & K. van Berkel 1997. Assessment of the Wadden Sea Ecosystem. Wadden Sea Ecosystem No. 7. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group & Trilateral Quality Status Report Group, Wilhelmshaven. 40 p.
- Dankers, N. 1997. Probleme der Muschelfischerei in Holland. Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste 1997: 34-45
- Dankers, N. 1998. Four years of Dutch Shellfish Fisheries policy- and now the Future. Wadden Sea Newsletter 1998-1:5-7
- Higler, B. N. Dankers, A.Smaal, & V. de Jonge 1998 Evaluatie van de ecologische effecten van het reguleren van schelpdiervisserij in waddenzee en delta op bodemorganismen en vogels. In: J.J. van Dijk & R.Heling (eds) Evaluatie van de maatregelen in de kustvisserij gedurende de eerste fase (1993-1997) Min LNV, Maart 1998
- Jong D.J. de, Dankers N., & Leewis R. 1998. Naar ecologische kaarten van de Waddenzee. BEON Rapport 98-13.
- Leewis R.J., Dankers N. & de Jong D.J., 1998. Naar een ecotopensysteem zoute wateren Nederland. BEON Rapport 98-11.
- Smaal, A.C. , T.C. Prins, N.Dankers, B.Ball. 1998. Minimum requirements for modelling bivalve carrying capacity. Aquatic ecology 31: 423-428
- Smit, C.J., N. Dankers, B.J. Ens & A.Meijboom 1998. Birds, Mussels, Cockles and shelfish fishery in the Dutch Wadden Sea: how to deal with low food stocks for Eiders and Oystercatchers? Senckenbergiana Maritima 29: 141-153
- Dankers, N., M. Herlyn, P. Sand Kristensen, H. Michaelis, G. Millat, G. Nehls, M. Ruth 1999, Blue mussels and Blue Mussel beds in the Littoral. In: Jong et. al. (eds) Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9. Common Wadden Sea Secretariat: 141-145
- Leopold M.F., B. Brinkman & N. Dankers 1999. Review van : Horssen P.W. van, Hartholt J.G. & D.J. de Jong 1999. Ecotopen GIS Noordzee. Werkdocument RIKZ/OS-99.110x. Unpubl INB notitie 4pgs
- 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.

- Dankers, N., W.E. van Duin, M.F. Leopold, G.F.P. Martakis, C.J. Smit, D.C. van der Werf & H.P. Wolfert 2001. Ontwerp-ecotopen stelsel kustwateren; voorstel voor classificatie en advies voor validatie. Alterra Rapport 177. 71 pgs
- Dankers, N., A.G. Brinkman, A. Meijboom & E. Dijkman. 2001. Recovery of intertidal musselbeds in the Waddensea: use of habitat maps in the management of fishery. *Hydrobiologia* 465: 21-30
- Wolff, W.J., N. Dankers, B.J. Ens, A.C. Smaal, M.O. van Wijk 2001. Op zoek naar win-win situaties voor natuurbescherming en schelpdiervisserij in de Waddenzee. Rapport RUG-afd Mariene biologie, Haren
- Brinkman, A.G., N. Dankers, M. van Stralen 2002 An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgol Mar Res* 56: 59-75
- Dankers, N., E. Dijkman & A. Meijboom 2002. Inventarisatie van droogvallende mosselbanken in het kader van het trilateraal monitoring en assessment programma. Ontwikkeling van geselecteerde banken 1997-2001. Intern rapport i.o.v dir Noord LNV. 19 pgs
- Brinkman, A.G. & T. Bult 2003. Geschikte eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het voorkomen van meerjarige natuurlijke mosselbanken. Alterra rapport 456. 306 pgs
- 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
- 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

Samenvatting

Door Alterra wordt al sinds de jaren 80 onderzoek gedaan aan mosselbanken. In eerste instantie ging de belangstelling uit naar de oppervlakte van banken en biomassa om de rol van de mossel in het ecosysteem te bepalen. Die rol werd vooral gezien als filterder die slib en organisch materiaal uit de waterkolom vastlegde. Later, toen de mosselpopulatie sterk afnam, verlegde de aandacht zich naar factoren die overleving en ontwikkeling van banken bepaalden. Een groot aantal rapporten en publicaties zijn verschenen, maar door de steeds veranderende belangstelling en invalshoeken van het onderzoek bleven ook veel metingen achter in archieven en niet of nauwelijks beschikbaar voor belangstellenden. In de voorliggende rapportage worden veel van die resultaten verder uitgewerkt. De nadruk is gelegd op onderdelen die te maken hebben met broedval, overleving, ontwikkeling van banken en factoren die verantwoordelijk zijn voor het verdwijnen van banken.

Nieuwe droogvallende mosselbanken ontstaan af en toe uit nieuwe zaadval. Dit gebeurt onregelmatig, zowel wat betreft tijd als ruimte. Er zijn soms goede zaadvaljaren, maar zelfs dan laten sommige zeegaten nauwelijks nieuwe banken zien, en ook kunnen ze binnen een zeegat voorkomen aan een zijde van de geulen, en niet aan de andere kant. Er zijn geen aanwijzingen dat er regelmatig een tekort aan larven is. Ook in slechte zaadvaljaren kunnen veel larven in de waterkolom zitten, en kan broedval aan objecten zoals touw, palen en schepen zeer hoog zijn.

Als de zaadval succesvol is en jonge banken ontstaan is vooral de eerste winter bepalend voor de ontwikkeling tot oudere banken. In de eerste winter verdwijnt in veel jaren ongeveer de helft van het oppervlak. Sommige banken verdwijnen geheel, van andere worden grote delen weggeslagen. Belangrijke factoren voor het verdwijnen van die jonge banken zijn stormen en, in gebieden waar dat is toegestaan, visserij.

In de overleving van de daaropvolgende jaren spelen factoren zoals de jaarlijkse broedval die binnen de bank optreedt, schade door ijs en zeer zware stormen en geleidelijke achteruitgang door vogelpredatie een rol. Voor de af en toe optredende sterke broedval kunnen de stevige resten van deze oude banken wel een goede basis vormen, waardoor de bank op dezelfde locatie in stand blijft.

De voorspelbaarheid voor de ontwikkeling van stabiele oude banken is gering. Dit is o.a. te wijten aan het onvoorspelbare gedrag van het optreden van goede broedval, zware stormen en ijswinters.

In de jaren 80 is het oppervlak aan banken langzaam afgenomen door strenge winters, en visserij. De zeer goede broedval van 1987 is in de daaropvolgende jaren geheel weggevisst, en in het begin van de jaren 90 was er geen goede basis meer voor de ontwikkeling van stabiele banken. De goede broedval van 1994 verdween voor een groot deel door zware stormen in het voorjaar van 1995. Daarna eiste

vogelpredatie een tol, en de resten van de banken kregen vervolgens de zeer strenge winters van 1996 en 1997 over zich heen.

Van de banken die zich ontwikkelden in 1999 overleefde een zeer groot deel de erop volgende winter. Ook in 2001 trad een goede broedval op, daarvan verdween een deel van de banken geheel en een deel gedeeltelijk. Een verklaring voor welke banken en welke delen verdwenen kon niet eenduidig gegeven worden.

De bestudeerde banken die een groot aantal jaren aanwezig waren bleken zeer stabiel. Het oppervlak van de banken en percentage bedekt met mosselbulten nam geleidelijk af, maar af en toe was er ook sprake van sterke toename door nieuwe broedval. Opvallend was dat individuele patches langs uitgezette raaien maar weinig veranderden. In het sediment onder de mosselbank konden in veel gevallen verschillende harde lagen met schelpresten aangetoond worden. Dat is een aanwijzing voor het herhaald optreden van nieuwe bankvorming op dezelfde locatie.

Ook de mosselbank als ecotoop werd bestudeerd. De mosselpopulatie bleek op alle bestudeerde banken redelijk stabiel met meerdere jaarklassen aanwezig. Af en toe trad een goede zaadval op binnen de bank waardoor de populatie overheerst werd door één jaarklasse, maar na verloop van enkele jaren kwamen meerdere jaarklassen weer in vergelijkbare aantallen voor.

De mosselbankgemeenschap bestond uit mosselen en macroalgen zoals *Fucus* sp. en *Gracillaria* sp. De algen kwamen in variabele hoeveelheden voor. Oudere banken waren dikwijls zwaar bezet met zeepokken, maar ook dat voorkomen was variabel. Mosselbanken die in een bepaald jaar geheel wit zagen van de pokken konden een jaar later nauwelijks pokken bevatten. De mosseldichtheid op de mosselbulten leek zich te stabiliseren tussen de 10 en 12,5 kg per vierkante meter. Tussen de oudere mosselen bevonden zich ook veel lege schelpen, en af en toe kwamen grote hoeveelheden ingespoelde kokkels voor. Op nagenoeg alle mosselbanken komen nu ook oesters voor. De grootste dichtheden nog in de westelijke delen van de Waddenzee, maar er is duidelijk sprake van uitbreiding in oostelijke richting.

In het winterseizoen van oktober 2001 tot voorjaar 2002 werden van een aantal zaadbaken luchtfoto's geanalyseerd. De winter werd gekenmerkt door een groot aantal stormen, maar er waren geen extreem zware stormen. Van de 20 bestudeerde banken spoelden er 9 nagenoeg geheel weg. Van een zevental verdween ongeveer de helft van het bankoppervlak, en de overige vier bleven nagenoeg geheel aanwezig. Er waren geen duidelijke aanwijsbare variabelen die het al dan niet overleven bepaalden. Op grond daarvan moet geconcludeerd worden dat het moeilijk is van tevoren te voorspellen welke zaadbanken of bankdelen de volgende winter zullen overleven

1 Inleiding

In de loop van de 80er jaren nam het oppervlak aan oude mosselbanken af, en dit resulteerde in het nagenoeg afwezig zijn van droogvallende mosselbanken in de periode 1991 – 1993. In het kader van trilaterale afspraken is wat betreft mosselbanken een “ecotarget” vastgesteld op grond waarvan gestreefd wordt naar een *“Een groter areaal aan, en een meer natuurlijke verspreiding van mosselbanken, Sabellaria-riffen en Zostera velden”*. Om dit doel wat betreft mosselbanken te bereiken zijn gebieden gesloten voor mosselvisserij, en wordt mosselvisserij op de overige wadplaten slechts toegestaan op jonge (onstabiele) banken en dan nog alleen als in het sublitoraal minder dan 40 miljoen kg mosselzaad aanwezig is.

Bij het ontwikkelen van dit beleid is er van uitgegaan dat visserij een wezenlijke invloed heeft op ontstaan, overleving en ontwikkeling van mosselbanken, en daarom zijn restricties gesteld aan de visserij. Omdat onduidelijk is hoe de visserijinvloed zich verhoudt tot natuurlijke invloeden zoals predatie, stormen ijsgang etc. is aan Alterra en RIVO gevraagd de ontwikkeling van mosselbanken in een bepaald gebied te volgen en op grond van dat onderzoek conclusies te trekken over de rol van verschillende factoren op de ontwikkeling van mosselbanken.

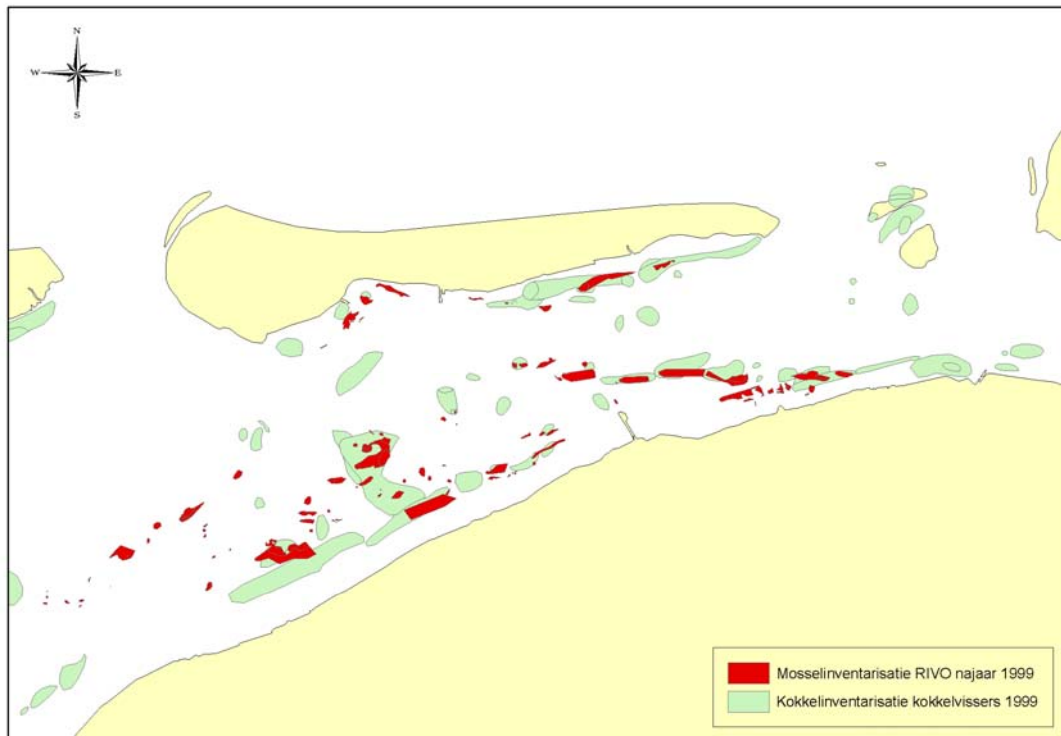
In het kader van internationale afspraken (TMAP) is afgesproken dat naast een beschrijving van het oppervlak van mosselbanken in de gehele Waddenzee om de vijf jaar, in deelgebieden een jaarlijkse inventarisatie uitgevoerd zou worden.

Voor de jaarlijkse inventarisatie is in overleg met LNV gekozen voor de oostelijke Waddenzee. Een definitieve keuze voor een deelgebied binnen de oostelijke Waddenzee is nog niet gemaakt i.v.m. onzekerheden over het aanwijzen van een z.g. referentiegebied, waar gestreefd wordt naar een zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling. Vanwege die onzekerheid beslaat de huidige inventarisatie een zo groot mogelijk deel van de Waddenzee waarvan informatie uit andere projecten beschikbaar was, of waar met relatief weinig inzet metingen uitgevoerd konden worden die nuttig zijn voor het huidige project. Nieuwe metingen zijn uitgevoerd in het waddengebied ten zuiden van Simonszand en onder Rottum.

2 Ontwikkeling van mosselbanken

Mosselen worden in hun tweede jaar adult wanneer ze gonaden ontwikkelen en paaïen (McGrorty et al., 1990). In de Waddenzee (Sleeswijk-Holstein) rijpen de gonaden in de periode december-januari en begint de paaïtijd eind maart (Pulfrich 1995). Eieren worden in het water bevrucht, en ontwikkelen zich tot larven.

Mossellarven maken deel uit van het plankton, en worden meegevoerd door de stroming. De larven zijn ongeveer een maand planktonisch. Ze kunnen zich dus over grote afstanden verplaatsen, en het is nauwelijks voorspelbaar waar de larven van een bepaalde ouderpopulatie zich bevinden als ze zich gaan vestigen. Ze zich vast aan een substraat waarbij ze een voorkeur hebben voor draadvormige structuren zoals algen (*Ceramium*, *Gracilaria*) en hydroidpoliepen (*Laomedea*) (Verwey, 1952; Dare, 1976; Blok en Geelen, 1985; Nijlunsing, 1995). Na een periode van 6-8 weken zoeken ze een ander substraat en vestigen de jonge mosseltjes, die dan nog tussen 1 en 1,5 mm groot zijn, zich definitief op substraten zoals oude mosselbanken, stenen, zeepokken, kokers van schelpkokerwormen (*Lanice conchigela*) (Pulfrich, 1995; Bayne, 1964, 1976; McGrath et al 1988). Alleen in jaren met uitzonderlijk grote broedval vestigen of overleven larven op minder gunstige substraten waaronder zelfs kaal zand (Dare, 1976; Beukema, 1982). In het najaar van 1994 ontstonden mosselbanken op plaatsen die op het eerste gezicht niet optimaal leken. Volgens de Vlas (pers.com) vestigde zich in het oostelijk waddengebied vooral zaad op schelpkokerworm. Op het Balgzand werd toen het meeste zaad gevonden op de alg *Gracilaria* die een kokkelbank als substraat had (eigen waarneming). In 1999 trad een redelijk goede broedval op, waarbij de kaartjes van de zaadbanken een duidelijke overlap vertoonden met kokkelbanken. In figuur 2.1 zijn de kokkelbanken, zoals door kokkel vissers ingemeten in het voorjaar van 1999, en door RIVO ingemeten mosselzaadbanken van dat najaar weergegeven. Duidelijk is de voorkeur van mosselzaad voor kokkelbanken.



Figuur 2-1. Mosselbroed en kokkelbanken in het gebied onder Ameland in 1999

Brinkman & Bult (2003) toonden aan dat de plaats van broedval redelijk goed te voorspellen is op grond van fysische karakteristieken, waarbij golfwerking en hoogteligging belangrijke verklarende variabelen waren.

Tijdens de planktonische fase is de mortaliteit groot, door een hoge predatiedruk, competitie voor voedsel, zowel tussen larven onderling als tussen larven en adulten, kanibalisme door het wegfilteren van larven door adulten, en het niet tijdig vinden van een geschikt substraat. Uit onderzoek van Vooys (1999) 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.

Het vinden van geschikt substraat wordt in belangrijke mate bepaald door hydrodynamische processen, (Eckman, 1979, 1983, 1987; Butman, 1987, 1989). Dare (1976) schat dat slechts 0,1% van het oorspronkelijke aantal eitjes resulteert in een eerste vestiging. Ook daarna is de mortaliteit groot door predatie van garnaal, krabben en vis, terwijl eveneens voedselgebrek en schommelingen in temperatuur en saliniteit hun tol eisen (McGrorty, 1991). Het aantal, en de kwaliteit van eitjes die aanwezig zijn is afhankelijk van het aantal ouderdieren en van de conditie van die dieren. De conditie is weer afhankelijk van het voedselaanbod en watertemperaturen in de winter (Honkoop & van der Meer 1998). Voor een deel bepalen de watertemperaturen in het voorjaar ook de dichtheid van de belangrijkste predatoren.

De vele factoren die een invloed hebben op de vestiging en overleving van de mosselen zijn grotendeels onafhankelijk van elkaar. Indien een aantal factoren tegelijk gunstig zijn zal er een grote broedval optreden, terwijl de broedval slecht is als een of meerder factoren ongunstig zijn.

In de praktijk treedt een zeer goede broedval maar af en toe op (Stralen 2002), en zelfs in goede jaren kunnen grote regionale verschillen bestaan, zowel binnen als tussen stroomgebieden van een zeegat (Ruth, 1994)

Een mosselbank ontstaat als mossellarven zich vestigen op geschikt substraat. Nieuwe banken ontstaan veelal op draadvormige wieren of poliepen die vastzitten op een stevige ondergrond zoals een kokkelbank, op kokers van schelpkokerwormen en op zeegrassen. In juli-augustus bestaan veel jonge banken uit een aaneengesloten dek van jonge mosseltjes. Al in de loop van het najaar krijgt de bank een meer open structuur doordat de mosseltjes zich aan elkaar hechten en congregeren tot mosselbulten waartussen open plekken ontstaan. Het met mosselen bedekte percentage is in november meestal niet meer dan 50-75%. (Figuur 2.2)



Figuur 2-2 Een mosselzadbank in het najaar (november)

In zijn historische werk over de oester en de oesterhandel beschreef Möbius (1877) een oesterbank in de Waddenzee als levensgemeenschap, en introduceerde de term '*biocoenose*'. Zijn beschrijving is voor een groot deel ook van toepassing op een oude mosselbank. Zo'n bank bevat mosselen van verschillende jaarklassen. Mortaliteit en bewegingen tgv voedselschaarste in het midden van een dichte concentratie leidt tot open ruimtes binnen de bank. Hierin blijft bij laagwater dikwijls water achter, en deze poelen herbergen een grote variatie aan organismen. Een oude mosselbank bevat ook veel lege schelpen, zowel van mosselen uit de bank als van mosselen, kokkels en strandgapers die door golven ingespoeld zijn en door de levende mosselen met hun byssusdraden worden vastgehouden. Deze schelpen vergroten het oppervlak aan hard substraat dat zeldzaam is in de Waddenzee, en voor veel soorten essentieel voor hun vestiging.

Een typische mosselbank bestaat uit drie componenten (Seed & Suchanek 1992);

- een matrix van levende en dode schelpen, bijeengehouden door een mat van zg. byssusdraden;
- een sedimentlaag bestaande uit door de mosselen geproduceerde faeces en pseudofaeces, ingespoeld zand, schelpresten en organisch detritus;
- een taxonomisch gevarieerde verzameling van soorten die de mosselbank als habitat hebben.

De complexe gemeenschappen van mosselbanken zijn voor *Mytilus edulis* o.a. beschreven door Briggs (1982) Tsuchiya & Nishihira (1985), Asmus (1987), en Dittmann (1990). Zij vonden resp 34, 69, 41 en 96 aan de mosselbank gebonden soorten. Ook van andere bankenvormende schelpdieren zijn dit soort beschrijvingen bekend (zie Dankers 1993).

Zowel aantal soorten als diversiteit zijn afhankelijk van de leeftijd en complexiteit van de mosselbank (Tsuchiya & Nishihira 1985,1986). Door Suchanek (1980) werd experimenteel aangetoond dat de fysieke complexiteit van de bank het aantal geassocieerde soorten bepaalde.

Evenals andere organismengroepen die biogene structuren vormen en zodoende de levensomstandigheden voor zichzelf en andere soorten positief beïnvloeden, zoals oesterbanken, koraalriffen en sublitorale zeegrasvelden, ontstaan mosselbanken en houden zichzelf in stand door een koppeling van biologische en fysische processen. De individuele mosselen kunnen gezien worden als pioniersoort, gekenmerkt door een grote voortplantingscapaciteit en grote sterfte van jonge dieren. Deze z.g. r-strategen kenmerken zich doordat meestal voldoende jonge dieren aanwezig om open plaatsen op een bank in te nemen. De mosselbank als geheel moet echter gezien worden als een 'superorganisme' met een lage voortplantingscapaciteit of hoge jeugdsterfte door instabiliteit van jonge banken (Dankers 1993) en kan daarmee als K-strategie gekenmerkt worden. Soorten met een lage voortplantingscapaciteit zijn zeer gevoelig voor sterfte van adulten. Er is aangetoond dat een kleine toename van de natuurlijke sterfte bij K-strategen zoals albatrossen en zeezoogdieren een grote invloed had op de populatiegrootte (Croxall et al 1990, Woodley & Read 1991).

Een jonge mosselbank kan grote hoeveelheden slib (30-40 cm) verzamelen tussen augustus en november. Dit slib wordt uit het water gefilterd, en samengekit tot

grotere deeltjes die tussen de mosselen bezinken. De mosselen kruipen omhoog uit het slik, en vormen een min of meer gesloten dek dat het slib vastlegt. De zo gevormde bank is onstabiel, en wordt gemakkelijk door stormen aangetast. Als de bank de winter overleeft, wordt het slib aangevuld met zand en schelpen. Schelpen worden ingespoeld door golven en vastgehouden door de byssusdraden van de mosselen. Zand wordt ook door golven ingespoeld, en bezinkt tussen de mosselen. Bij een oudere bank bestaat het merendeel van het onderliggende sediment uit zand. Door het ontwateren van het sediment consolideert het slib en wordt een stevige kleilaag gevormd die de basis vormt van de bank.

Door de mosselbanken neemt de verticale structuur van het wad toe. De mosselbanken steken duidelijk boven hun omgeving uit. Ook indien de mosselen (tijdelijk) afwezig zijn zijn de resten als verhogingen van kleibanken of schelpresten nog lange tijd zichtbaar. Deze resten vormen in veel gevallen een goede basis voor de vestiging van nieuw broed. Uit profielen van mosselbanken blijkt dat onder een bank in veel gevallen resten van eerdere banken herkend kunnen worden (Hertweck & Liebezeit 1996, 2002).

Zeer oude banken leggen geulpatronen in het wad vast doordat de klei en schelpbanken erosiebestendig zijn.

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 slib 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 dikwijls gekarakteriseerd wordt door relatief hoge slibgehaltenes. Over het algemeen gaan verhoogde slibgehaltenes samen met een verhoging van de biomassa aan bodemdieren.

3 Factoren verantwoordelijk voor ontstaan, overleving en verdwijnen van mosselbanken

Voor het ontstaan van een mosselbank is in eerste instantie settlement van larven en overleving tot herkenbare mossel nodig. Over het algemeen wordt van broedval gesproken als de mosselbank duidelijk herkenbaar is en de mosseltjes een lengte van 5-10 mm bereikt hebben. Over het algemeen is dat in de periode tussen juli en september. In de visserij wordt dikwijls de term recruitment gebruikt. In het verleden werden dan de mosselbanken bedoeld die na de eerste winter beschikbaar waren voor de zaadvisserij. Zaadvisserij (op mosseltjes van 1-2 cm) kwam in het verleden nauwelijks voor in het najaar. Sinds 1994 wordt ook in het najaar op mosselzaad gevist en wordt de term recruitment ook voor de najaarssituatie gebruikt. In deze rapportage wordt de term zaadval of broedval gebruikt voor de situatie in de periode juli – november.

Zoals eerder aangegeven zijn meerdere factoren van invloed op het succes van de zaadval. Het merendeel is niet of nauwelijks door menselijk handelen te beïnvloeden. Een uitzondering is de beschikbaarheid van geschikt substraat. Daarom wordt daaraan in deze rapportage enige aandacht besteed omdat daarmee wellicht de ontwikkeling van mosselbanken te verklaren en te sturen valt. Als de zaadval eenmaal heeft plaatsgevonden zijn een aantal factoren belangrijk voor de overleving van de mosselbank. Daarop wordt hieronder ingegaan.

De belangrijkste factoren die van invloed zijn op de overleving van een mosselbank zijn

- Broedval (binnen een bestaande bank)
- Predatie
- Stormen
- Visserij

Broedval

Binnen een mosselbank treedt sterfte op door een veelheid van oorzaken. Naast het inspoelen van mosselen die elders door stormen zijn weggeslagen (grootte van dit fenomeen is onbekend, maar wordt niet als zeer belangrijk ingeschat), is nieuwe broedval de enige mogelijkheid voor een bank om meerdere jaren in stand te blijven. De broedval resulteert in banken met mosselen van verschillende leeftijdklassen en maten.

Predatie

Er is nauwelijks iets bekend over de invloed van predatie op juist gevestigde mosseltjes. Er moet van worden uitgegaan dat die predatiedruk zeer groot is omdat in juni/juli op nagenoeg elk geschikt substraat grote hoeveelheden juist gevestigde mosseltjes (kleiner dan 1 mm) gevonden worden. Herkenbare mosselzaadbanken bestaan uit mosselen van 5-10 mm, en komen beduidend minder voor.

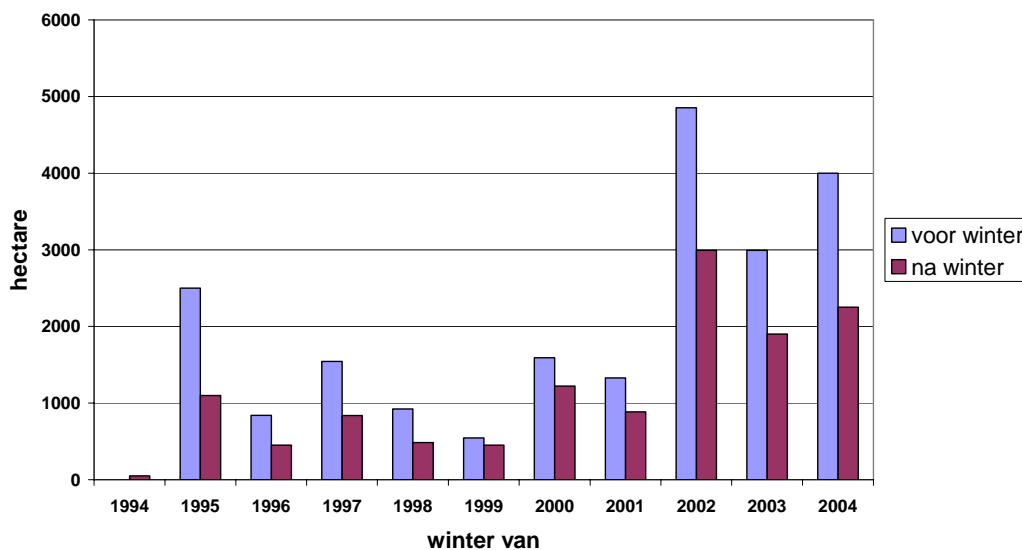
Mosselen vanaf 5 mm vormen een belangrijke directe voedselbron voor een aantal vogelsoorten. Kanoetstrandlopers en meeuwen foerageren vooral op kleine

mosselen. In de Oostzee zijn mosselen in de winter de belangrijkste voedselbron voor meeuwen (Garthe et al. 2003). Eidereenden en scholeksters prefereren de grotere maten. Zwarts (1991) toonde aan dat op mosselbanken meer dan 200 vogels per hectare voorkwamen. Hoewel de mosselbanken in zijn onderzoekperiode in de jaren 80 maar 3-4% van de Waddenzee innamen, foerageerden 25% van de vogels op die banken. Ook Ens et al (1993) toonden aan dat er een goede correlatie bestond tussen het aantal vogels en het oppervlak aan mosselbanken in deelgebieden van de Waddenzee. Omdat mosselbanken een ecotoop vormen dat levensmogelijkheden schept voor een groot aantal soorten die gegeten worden door vogels die niet direct afhankelijk zijn van mosselen kunnen de door hem getelde vogels niet allemaal verantwoordelijk worden gesteld voor het verdwijnen van een mosselbank. Toch kunnen vogels jaarlijks een aanzienlijk deel van de mosselen op een mosselbank consumeren (Zwarts & Ens, 1999). McGroarty et al (1990) en Zwarts (1991) vonden een predatie van respectievelijk 25 en 40% per jaar. Door nieuwe broedval op de bank kan de bank toch in stand blijven, maar mosselen ouder dan 5 jaar zijn op deze banken zeldzaam. Als broedval uitblijft kunnen vogels de mosselen op een bank binnen een paar jaar verwijderen. Ook als er weinig zaadbanken ontstaan kunnen meeuwen en steltlopers een jonge zaadbank in het eerste seizoen al volledig wegvreten.

Stormen

Stormen kunnen grote effecten hebben op mosselbanken. Nehls & Thiel (1993) beschrijven een halvering van het aantal mosselbanken tussen 1989 en 1991, en relateren die afname aan stormen (tussen 25 januari en 1 maart van 1990 waren er 8 dagen waarop de wind orkaankracht bereikte).

winterafname mosselbanken



Figuur 3-1 Verandering in oppervlak van mosselbanken gedurende de winter, en toename t.g.v. zaadval. (naar RIVO rapport bestek b5 (Baars et al. 2003), najaar 2002 geschat (vóór de oktoberstorm), 2003 getallen uit RIVO/Marinix rapport C070/03 (Steenbergen et al. 2003))

Veldervaringen laten zien dat stormen vooral invloed lijken te hebben op jonge mosselbanken die zich nog niet stevig in het door hen opgebouwde sediment verankerd hebben. In de Nederlandse Waddenzee zijn betrouwbare inventarisaties uit najaar en voorjaar beschikbaar (Baars et al. 2003). Op grond daarvan is figuur 3.1 geconstrueerd. In de figuur is weergegeven hoe het oppervlak van mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee zich heeft ontwikkeld over een aantal jaren. Vanaf het voorjaar neemt het oppervlak maar zelden af. Dit betekent dat eventuele verliezen gecompenseerd worden door nieuwe zaadval. Het oppervlak neemt in jaren met goede zaadval sterk toe. Gedurende de daaropvolgende winter is er altijd sprake van afname, en in een veel jaren is er sprake van nagenoeg halvering van het areaal. Het is aannemelijk dat stormen de hoofdoorzaak zijn voor deze verliezen. Dat is in het veld waargenomen in het voorjaar van 1995, de winter van 2001/2002, en de oktoberstorm van 2002. De halvering in de winter van 1995/1996 kan grotendeels worden toegeschreven aan ijsgang. Nagegaan moet worden of bepaalde typen banken of banken op bepaalde locaties meer of minder gevoelig zijn voor verlies.

Visserij

Het wegvissen van mosselbanken of delen daarvan heeft natuurlijk een directe invloed op die bank. Al uit een ver verleden is bekend dat mosselbanken langdurig konden verdwijnen door de invloed van visserij. Er werd toen ook gevist op eenjarige en oudere banken. De volgende citaten van visserijdeskundigen laten niets aan duidelijkheid over.

In het 'VERSLAG VAN DEN STAAT DER NEDERLANDSCHE ZEEVISSCHERIJEN OVER 1900' beschrijft de Wetenschappelijk adviseur in Visserijzaken, P.P.C. Hoek, over een mosselbank in 1896;

'Hier troffen de mosselvisserij van Yerseke, Bruinisse, enz. eene zoo uitgestrekte mosselzaadbank - feitelijk een bank van jongere en oudere mosselen - aan, dat zij daar dagen achtereen 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 weggevischt 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 mosselvisserij verboden en door voldoende toezicht onmogelijk gemaakt moet worden, de mosselzaadbanken in de Zuiderzee te komen kaalplunderen'

Ook het volgende citaat is interessant. Het werd als voorbeeld over effecten van visserijactiviteiten gebruikt door Chris Amos, Chief Fishery Officer, op een lezing voor de Waddenzee/Wash study groep op 19 mei 1994. Het citaat is 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.

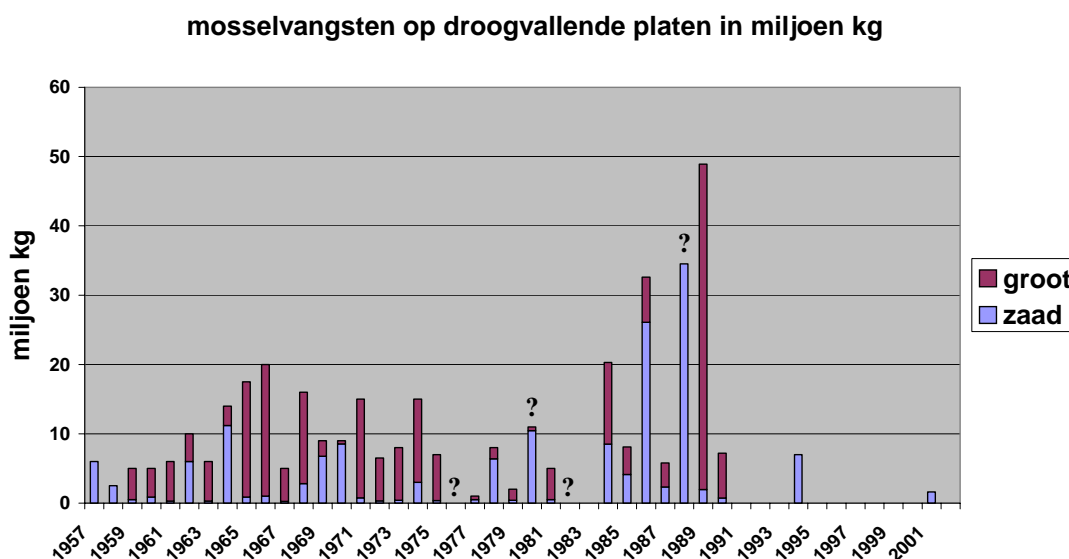
About that period some ill-starred individuals discovered that they were valuable for manure, when commenced a raid on the scalps which is the origin of the present downfall."

Directe invloed van visserij op mosselbanken is maar zelden gemeten. Op grond van geviste hoeveelheden kan wel iets gezegd worden over de relatieve grootte van die invloed. In het kader van een van de EVA- studies (F6 Dankers et al 2003) is een schatting gemaakt van de grootte van de visserijinvloed in het verleden. Daarbij is een poging gedaan de mosselvisserij te kwantificeren om enige indruk te krijgen van het oppervlak dat ten gevolge van visserij (jaarlijks) verdween. Het resultaat van die schatting is hieronder weergegeven

Door van Stralen zijn gedetailleerde vangsthoeveelheden gemeld (fig 7 blz 37 in Stralen 2002) die uit de Oostelijke Waddenzee naar Zeeland zijn vervoerd. Voor de periode van 1957 tot 1980 betreft het de totale vangst omdat uitzaaien in de westelijke Waddenzee toen verboden was. Van 1980 tm 1983 zijn geen totaalvangsten bekend, maar van 1984 tm 1990 kan de grafiek van van Stralen aangevuld worden met gegevens uit enquêtes onder mosselvisserij zodat het mogelijk is de vangsthoeveelheden tussen 1957 en 1990 (met uitzondering van 1980 tm 1983) redelijk nauwkeurig te reconstrueren. Het resultaat is weergegeven in figuur 3.2. In deze figuur is ook aangegeven welk deel van de vangst bestond uit zaad, en welk deel uit oudere mosselen. De onderverdeling is tot 1983 gebaseerd op fig 5 uit van Stralen

(2002), en vanaf 1984 uit de door vissers ingevulde enquêteformulieren. De verdeling tussen mosselzaad en grote mosselen wijkt voor 1984 en 1985 aanzienlijk af van de door van Stralen gegeven verdeling, waarbij van Stralen een veel hoger zaadpercentage (80%) geeft.

Voor 1988 zijn geen enquêtegegevens beschikbaar omdat de ingevulde formulieren op het ministerie zijn zoekgeraakt. Uit eigen metingen (Hesselink en Dodde 1988) blijkt dat onder Ameland in dat jaar 11.5 miljoen kg werd opgevisst. Het bestand bestond nagenoeg geheel uit zaad (broedval 1987). Volgens onderstaande figuur werd in de gehele Oostelijke Waddenzee in 1989 en 1990 ruim driemaal zoveel gevestigd als onder Ameland. Als dezelfde verhouding voor 1988 aangehouden wordt was er in



Figuur 3-2 Geviste hoeveelheden op wadplaten in de oostelijke Waddenzee (Aangevuld naar van Stralen 2002)

1988 dus een visserijdruk van 34.5 miljoen kg. De in Figuur 3-2 gepresenteerde waarde voor 1988 is gebaseerd op deze redenering.

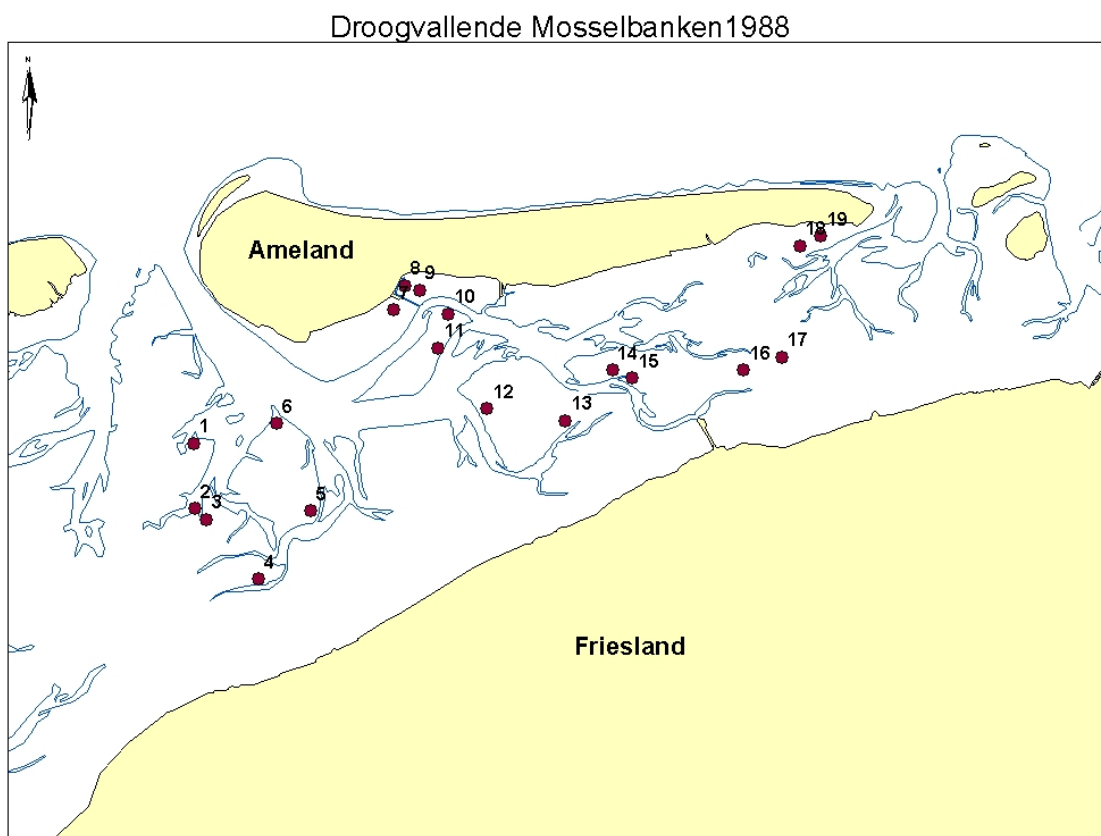
Uit de figuur blijkt dat de visserij op droogvallende banken in de jaren 80 sterk is toegenomen, maar ook daarvoor was al sprake van aanzienlijke vangsten die een invloed moeten hebben gehad op het areaal van mosselbanken. Uitgaande van een gemiddelde bezetting van 30 ton per hectare kan dan berekend worden welk oppervlak mosselbank door visserij verdwenen is. Als maar een deel van de mosselen verwijderd wordt is het oppervlak beïnvloedde mosselbank dus proportioneel groter. Gedetailleerde informatie is beschikbaar voor enkele jaren in het gebied rond het wantij van Ameland. Na de intensieve visserij van 1986 en de strenge winter van 1987 lag daar nog 265 ha mosselbank waarop nog maar 5.5 miljoen kg mosselen aanwezig was. De voorgaande jaren was er redelijk goede broedval geweest, maar ook drie ijswinters en een permanente visserijdruk. In de zomer van 1987 trad een zeer goede zaadval op, zodat het bestand verveelvoudigde. In het voorjaar van 1988

werd onder Ameland een aantal mosselbanken met een totaaloppervlak van 283 ha onderzocht (Figuur 3.3)t. 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. Geen rekening houdend met natuurlijke sterfte die over zo'n korte periode laag is, werd er dus ongeveer 11.5 miljoen kg gevist. Deze hoeveelheden zijn in het veld gemeten (Hesslink & Dodde 1988) en niet afkomstig uit een berekening ahv enquêtegegevens. De resterende 5 miljoen kg groeide zodanig dat in 1989 volgens de enquêtes 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. In 1990 was nog maar een kleine hoeveelheid aanwezig, en tijdens de zaadvisperiode 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.

In Tabel 3-1 is weergegeven welk deel van het bestand verdween door visserij in het Waddengebied onder Ameland in het voorjaar van 1988 nadat in 1987 een goede broedval was opgetreden.

De banknummers zijn weergegeven op Figuur 3-3



Figuur 3-3 Droogvallende mosselbanken onder Ameland waar in 1988 op gevist is. (uit Hesslink en Dodde 1988)

Tabel 3-1 Het oppervlak van de mosselbanken onder Ameland en de met mosselen bedekte percentages vóór en na de voorjaarsvisserij

banknr	opp ha	bed %	avd/m2 (g)	ton vers/ha	bed% na	wegevist %
1	23	60	882	105	12	80
2	36	46	984	90	6	87
3	7	34	1491	101	6	82
4	22	45	941	84	7	84
5	16	61	770	93	6	90
6	12	80	459	73	80	0
7	26	20	376	15	5	75
8	13	13	493	12	13	0
9	18	18	356	12	13	28
10	19	34	600	40	10	70
11	6	18	490	17	12	33
12	17	33	336	22	21	36
13	3	28	847	47	28	0
14	7	37	585	43	9	76
15	18	37	756	56	18	51
16	?	?	276	?	?	45
17	?	?	276	?	?	0
18	18	39	322	25	16	59
19	12	46	322	29	16	65

Omdat in veel gevallen nog maar een zeer klein deel van het oorspronkelijke bankoppervlak bedekt was met mosselen kan in die gevallen gesproken worden van het verdwijnen van de mosselbank.

Uit de jaren 1984 tm 1990 zijn goede gegevens beschikbaar over de geviste hoeveelheden in de oostelijke Waddenzee.

Door de vissers werd de vangst opgegeven op door het ministerie met de vergunning verstrekte vangstformulieren. Aangegeven werd de vangstplaats, hoeveelheid en grootte van de mosselen (aantal per blikje). Uit de grootte werd afgeleid of het om zaad, halfwas of consumptiemaat ging. De totaalhoeveelheid werd berekend door te corrigeren voor het aantal niet ingeleverde formulieren. Hierbij werd uitgegaan van de aanname dat de ingezonden formulieren een representatieve steekproef waren. De verhouding tussen aantal vergunningen en ingeleverde formulieren waren;

1984	101/39
1985	105/66
1986	105/46
1987	114/43
1988	???
1989	126/105
1990	136/73

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Hoeveelbeden tijdens zaaadvisserij geviste mosselen. Waarden zijn gecorrigeerd voor niet ingevulde enqueteformulieren. Hoeveelbeden in tonnen van 1000 kg

jaar	srt	west	%	oost	%	totaal	oost %
1984	c	8072	9.3	1017	5.0	9089	11
	h	2661	3.1	8970	44.1	11631	77
	z	67134	77.7	8534	42.0	75668	11
	o	8536	9.9	1809	8.9	10345	17
	t	86403	100	20330	100	106733	19
1985	c	5295	7.3	0	0	5295	0
	h	4323	6.0	627	7.7	4950	13
	z	51676	71.7	4136	50.9	55812	7
	o	10744	14.9	3370	41.4	14114	24
	t	72038	100	8133	100	80171	10
1986	c	432	0.5	0	0	432	0
	h	1496	1.9	0	0	1496	0
	z	61708	76.7	26245	80.3	87953	30
	o	16827	20.9	6419	19.6	23246	28
	t	80463	100	32664	100	113127	29
1987	c	729	1.1	0	0	729	0
	h	10988	16.3	3535	60.3	14523	24
	z	55560	82.5	2327	39.7	57887	4
	o	40	0.1	0	0	40	0
	t	67317	100	5862	100	73179	8
1988	z	??	?	>11100	?	11100	
1989	c	10659	9.6	672	1.4	11331	6
	h	21478	19.3	44417	90.9	65895	67
	z	72996	65.5	2094	4.3	75090	3
	o	6268	5.6	1698	3.5	7966	21
	t	111401	100	48881	100	160282	30
1990	c	13397	25.7	1995	27.8	15392	13
	h	35419	67.9	4435	61.7	39854	11
	z	2635	5.0	753	10.5	3388	22
	o	735	1.4	0	0	735	0
	t	52186	100	7183	100	59369	12

totaal = gecorrigeerde totaal geviste hoeveelheid.

c = consumptiemaat

h = halfwas

z = zaad

o = onbekend

t = totaal

oost % = percentage uit oostelijke WZ (droogvallend)

Er kan van worden uitgegaan dat het merendeel van de vangsten uit de westelijke Waddenzee uit het sublitoraal afkomstig zijn. Relatief kleine hoeveelheden op droogvallende banken werden gevestigd op het Balgzand, onder Vlieland en westelijk van het wantij van Terschelling. De vangsten uit de oostelijke Waddenzee komen nagenoeg geheel van de droogvallende platen.

De plaatsen waar in de oostelijke Waddenzee gevestigd werd zijn aangegeven in fig 3.4 tm 3.6. Ook deze gegevens zijn afkomstig uit de enquêtes. Hierbij wordt opgemerkt dat op meer plaatsen gevestigd kan zijn, en dat de relatieve hoeveelheden per plaats te hoog kunnen zijn. Indien op een plaat gevestigd is en door geen van de vissers is een formulier ingeleverd dan komt deze visplaats niet voor op de kaart. Daartegenover kan voor een andere plek de volledige vangst opgegeven zijn, en is dus een te hoge vermenigvuldigingsfactor gebruikt.

In de jaren waarop de enquêtes betrekking hadden werd in hoofdzaak in het voorjaar gevestigd (mei-juni). De najaarsvisserij vond gedurende enkele dagen plaats en omvatte vooral halfwasvisserij in de sublitorale delen van de westelijke Waddenzee. Pas in de 90er jaren is zaadvisserij in het najaar in zwang gekomen.

Visserij in het voorjaar betekent dat gevestigd wordt op mosselbanken die al minimaal één winter overleefd hebben, en dus als redelijk stabiel geklassificeerd moeten worden.

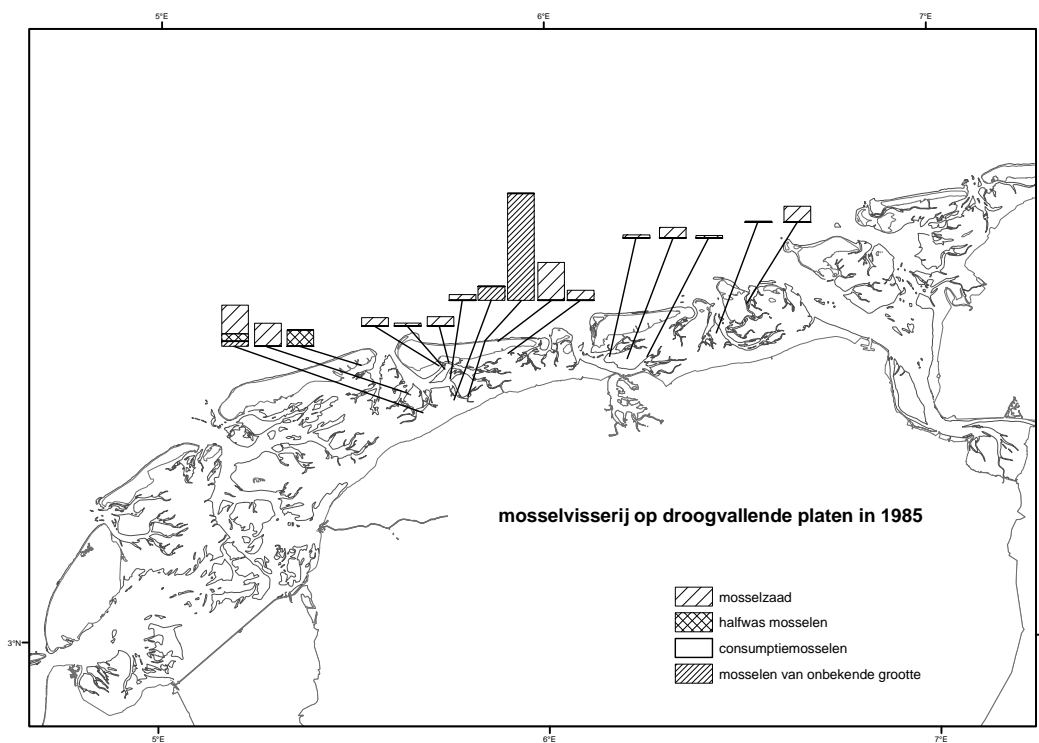
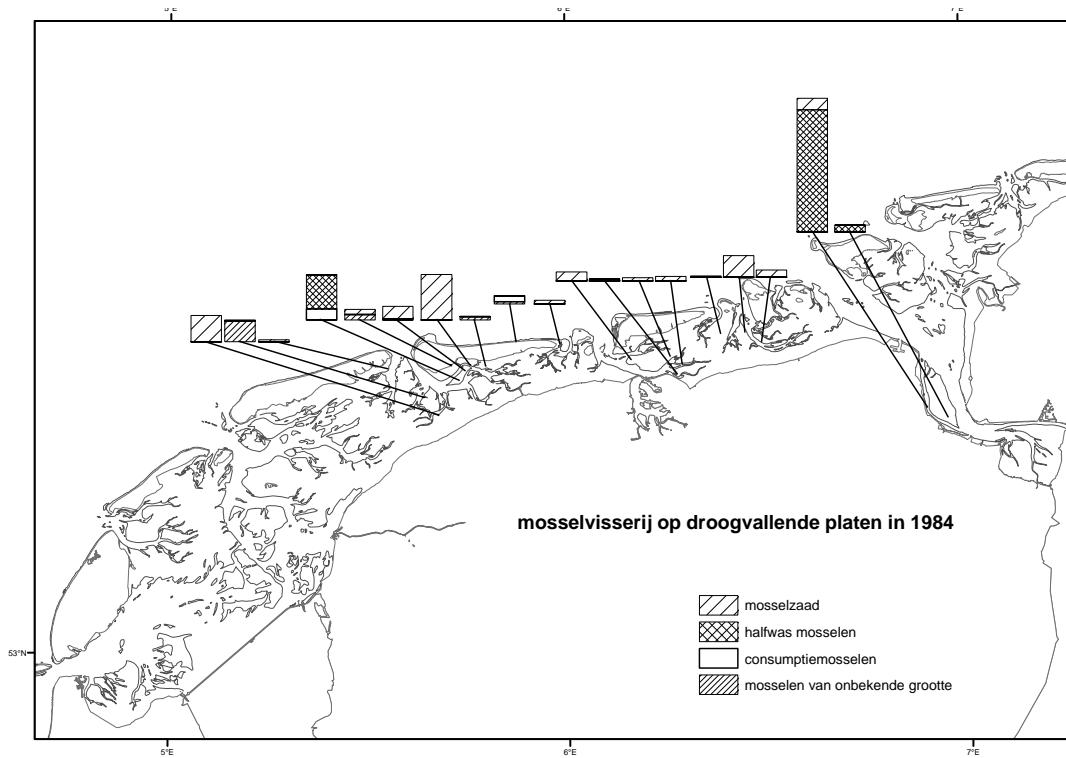
Uit tabel 3.2 blijkt bovendien dat in de oostelijke Waddenzee in 1984, 1987, 1989 en 1990 naar verhouding veel halfwas en consumptiemaat gevestigd is. Dit betreft banken die al minimaal twee winters overleefd hebben. Als uitgegaan wordt van een dichtheid van 30 ton per Ha is duidelijk dat jaarlijks tussen honderden en meer dan duizend hectare weggevestigd werd. In veel gevallen betrof het halfwas en grotere mosselen. Omdat tot begin jaren negentig nagenoeg alleen in het voorjaar gevestigd werd hebben de grotere mosselen al minimaal twee winters overleefd. Ook moet vermeld worden dat vanaf midden jaren 80 kokkelvaartuigen werden ingezet bij de mosselzaad- en halfwas visserij. Met deze ondiep stekende schepen was het mogelijk hoog op droogvallende platen te vissen. Deze banken waren voordien met diepstekende mosselvaartuigen moeilijk te bereiken, en als op die platen gevestigd werden de mosselen handmatig verwijderd en aan boord gebracht

Door de visserijsector is de hypothese ontwikkeld dat door beheerste visserij op droogvallende **zaad**banken een deel van het opgehoopte slib op zou wervelen, waardoor de overblijvende mosselen steviger op de ondergrond zouden liggen en zich daar zouden vasthechten. In Nederland staat die theorie bekend als de Jan Louw hypothese en in Duitsland als de Hagenau hypothese. Daarbij wordt er van uitgegaan dat slib minder bestand zou zijn tegen erosie dan zand. Uit de fysisch geografische literatuur is dit verschijnsel niet bekend. De meeste literatuur concludeert dat slib minder erosiegevoelig is, o.a. omdat het glad is en daardoor minder shear stress levert en een hogere shear strength heeft. Vooral zand-slib mengsels zijn relatief erosiebestendig. Het is wel zo dat als sediment door golven of stroom opgewoeld wordt, slib langer in suspensie blijft en uit de directe omgeving verdwijnt, terwijl zand veel sneller bezinkt. Daardoor kan een slibpakket na een storm verdwenen zijn,

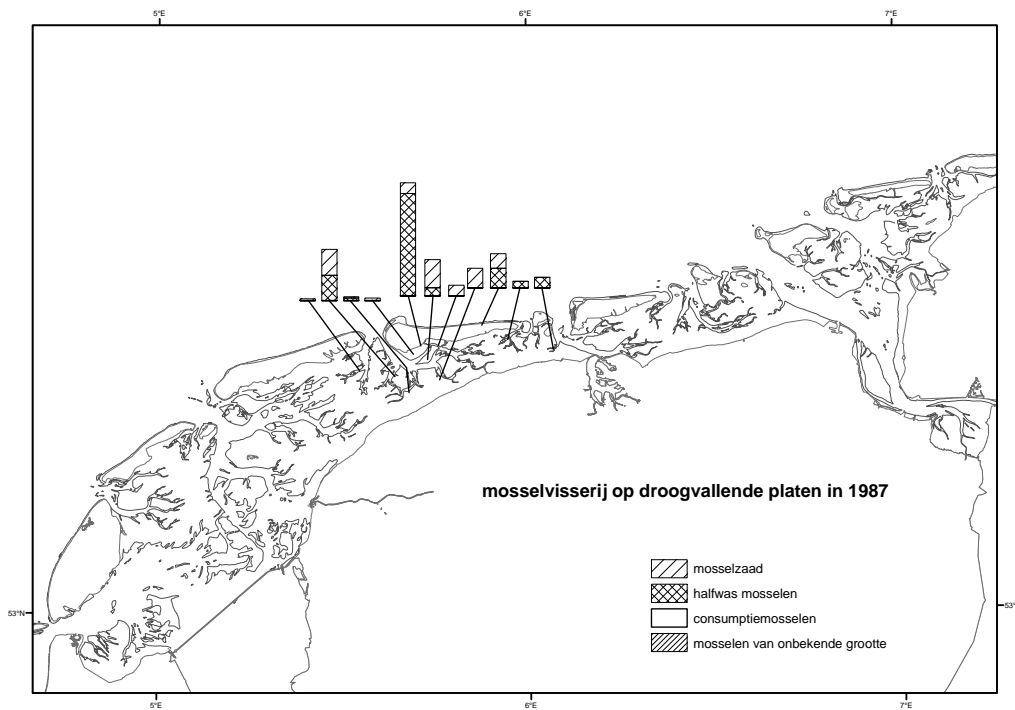
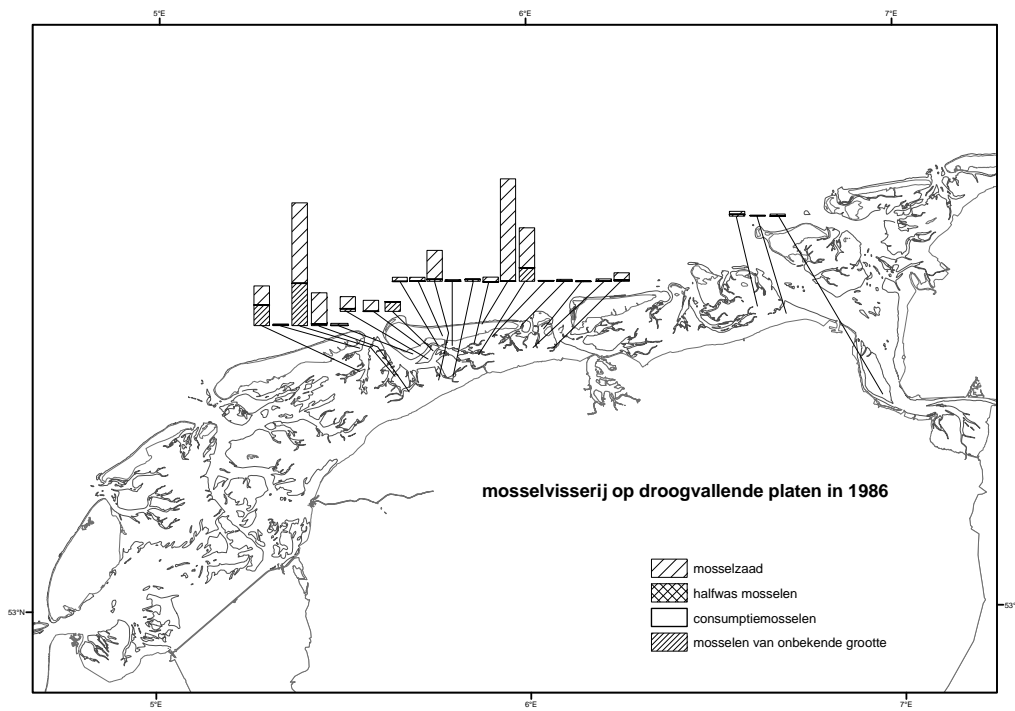
terwijl er geen aanwijzingen zijn dat er ook zandig sediment verdwenen is. De Jan Louw hypothese is niet ontwikkeld op basis van ervaringen uit het verleden, omdat toen nagenoeg alleen in het voorjaar op droogvallende banken gevist werd die al een winter overleefd hadden, en bovendien werden toen banken nagenoeg kaalgevist, en werd niet gestreefd naar het laten liggen van ongeveer 50% van de biomassa.

Er zijn aanwijzingen uit de literatuur dat visserij op mosselbanken de banken onstabiel maakt (Herlyn et al. 1999; Herlyn & Millat 2000). Wellicht komt dat door het ontstaan van kleinere patches die meer invloed ondervinden van golven en stroming (Widdows et al 2002).

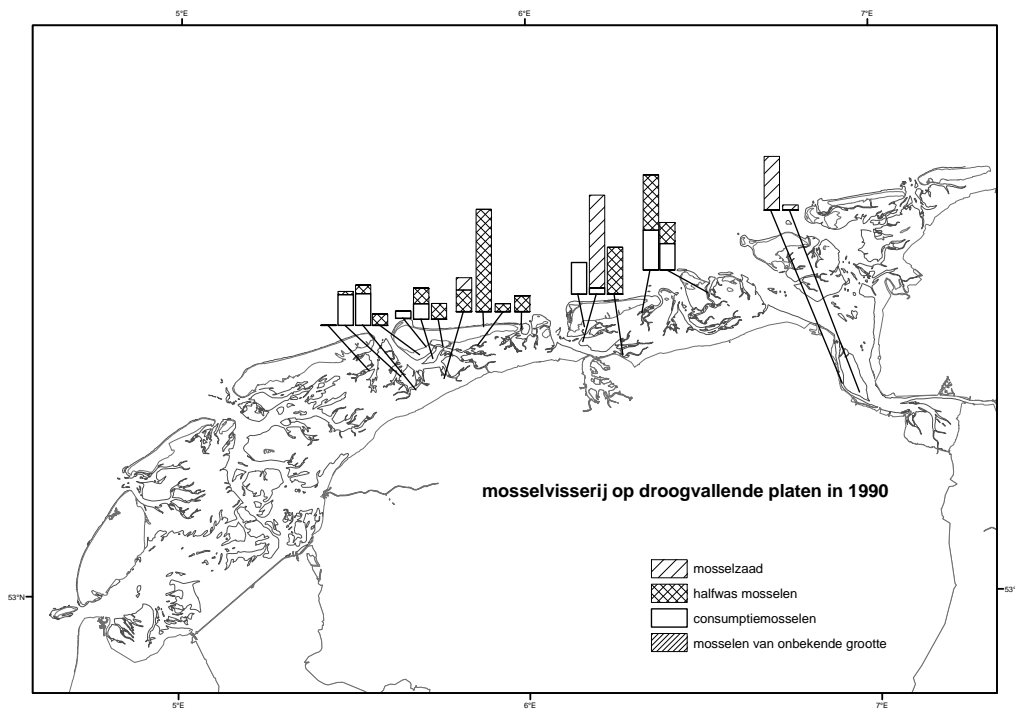
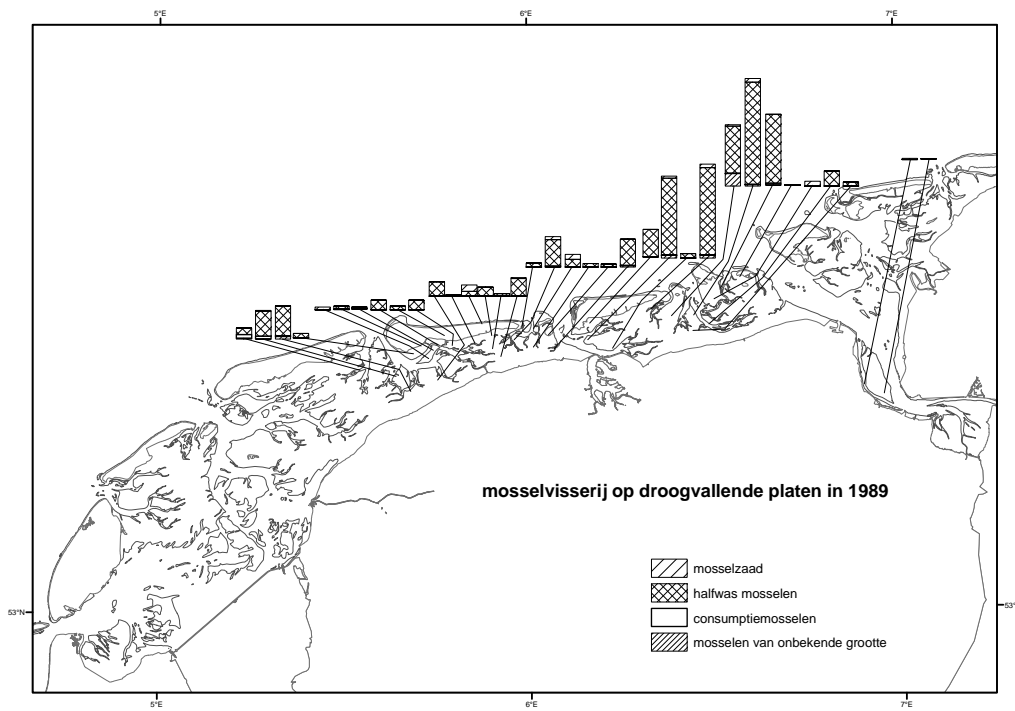
In Nederland is in 2001 een experiment uitgevoerd waarbij beheerst gevist is op een tiental mosselzaadbanken. (Smaal et al 2004). Daarbij werd ongeveer 50% van de biomassa verwijderd. Er zijn geen aanwijzingen dat de overblijvende mosselbank stabiel werd door de bevissing. De conclusie van Herlijn en Milat kon ook niet bevestigd worden.



Figuur 3-4 Mosselvisserij in 1984 en 1985



Figuur 3-5 Mosselvisserij op droogvallende platen in 1986 en 1987



Figuur 3.6 Mosselvisserij op droogvallende platen in 1989 en 1990

4 **Ontwikkeling van individueel gevolgde banken**

4.1 **Ontwikkeling van de broedval uit 1994**

Een aantal banken werd in 1995 in het kader van het z.g. EVA-I onderzoek gekozen voor gedetailleerd onderzoek dat aansloot bij de vereisten van het Trilateraal Monitoring en Assessment Programma (TMAP). Naast een spreiding over de gebieden, werden banken dicht onder de eiland- of vastelandskust, en in het midden van de Waddenzee gekozen. Een drietal banken (nr 101 en 103 op het Balgzand, en 206 bij Texel) was al enige jaren oud. Een zeer oude bank lag in de Mokbaai, maar deze bevatte bij het begin van het onderzoek zo weinig mosselen dat hij niet interessant leek, en er in de loop van het onderzoek maar zeer weinig monsters genomen zijn.

Door bezuinigingen in het onderzoekprogramma werd later de selectie van de banken ingeperkt, zodat banken 101, 502a, en 502b vanaf die tijd gevolgd zijn. Na de strenge winters zijn daaraan nog toegevoegd bank 503 en 603.

Voor alle banken geldt dat ze voor het merendeel gevormd zijn uit de broedval van 1994 en sterk beïnvloed zijn door stormen in het voorjaar van 1995 en twee daaropvolgende strenge winters.

De zware stormen traden op in de periode tussen 22 februari en 3 maart (ZW 10 Bf). Door het RIVO werd in de najaarsinventarisatie geschat dat er 140 miljoen kg mosselen aanwezig was. Na de stormen werd het bestand in het voorjaar van 1995 geschat op 5 miljoen kg.

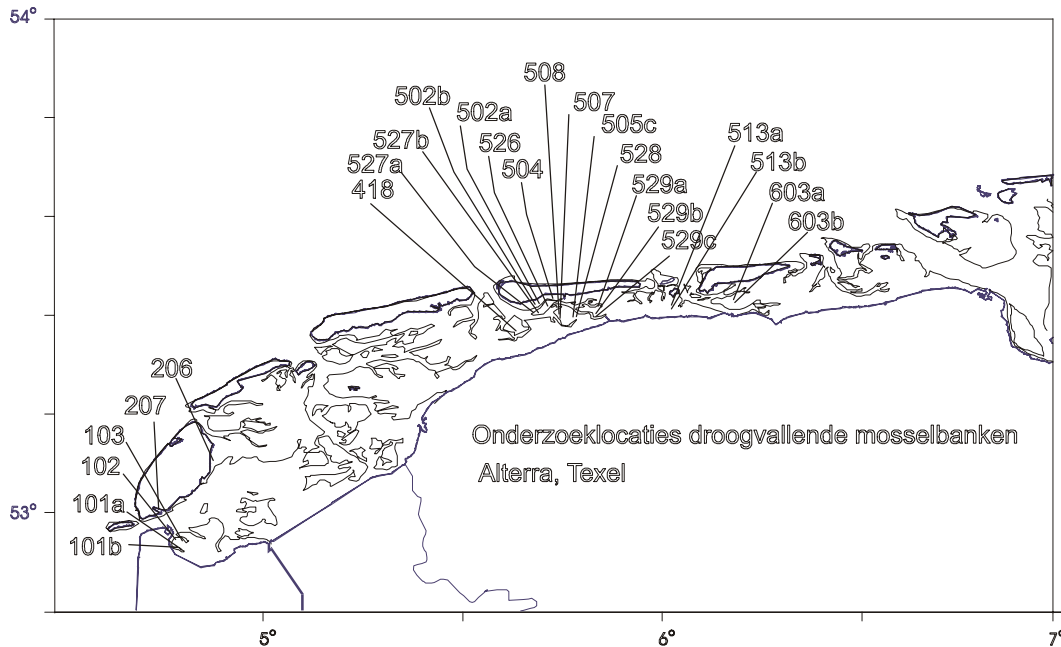
In de winter van 1995-1996 is er zware ijsbedekking tussen 6 dec en 5 jan en opnieuw tussen 21 jan en 16 febr gecombineerd met stormachtige oostenwind. Kruiend ijs treedt op in de week van 19-24 januari 1996 met een zeer zware oosterstorm met windkracht 11 Bf. Daarom zijn maar een beperkt aantal meerjarige metingen beschikbaar waarbij banken vanaf hun ontstaan gevolgd konden worden. Daarnaast zijn door twee opeenvolgende ijswinters een aantal markeringspalen van de raaien verdwenen, zodat niet elk jaar exact dezelfde raai ingemeten kon worden.

In de loop van het onderzoek werden de banken regelmatig bezocht, en werden monsters genomen en raaien ingemeten. Banken waarvan gedetailleerde informatie beschikbaar is zijn weergegeven in Figuur 4-1.

Op de banken werden de volgende metingen verricht:

- Buitencontour (oppervlak)
- Percentage bedekt door mosselbulten (patches)
- Patchgrootte
- Populatie samenstelling

- Biomassa op de patches
- Algenbedekking
- Samenstelling substraat
- Dikte van de sliblaag, en diepte van oudere schelpenlagen
- In kaart brengen van een strook van 50 m lang en 1 m breed
- In enkele gevallen werden (hoogte)profielmetingen langs een raai uitgevoerd



Figuur 4-1 Een overzicht van de banken die vanaf 1994 in het IBN onderzoek betrokken zijn geweest. De nummers geven aan welke raaien in eerste instantie zijn uitgezet voor detailmetingen.

Van het merendeel van de banken in de Waddenzee zijn (oblique) luchtfoto's gemaakt op 29 november 1994 en op 22-4-1997.

4.2 Ontwikkeling van individueel gevolgde banken

De geselecteerde banken zijn vanaf 1997 jaarlijks met GPS zodanig in kaart gebracht dat kleine veranderingen in bankoppervlak en bedekkingspercentage bijgehouden kunnen worden. Wat betreft het bepalen van de rand van de bank werd een protocol ontwikkeld (Brinkman et al 2003) dat na enige verfijning nu als standaard gevolgd wordt bij inventarisaties in het kader van TMAP. Het protocol is weergegeven in figuur 4.2 (kader). Het bedekkingspercentage werd bepaald door een aantal raaien zigzag over de bank te lopen waarbij stappen geteld werden. Als meer dan de helft van een voet zich op mosselen bevond werd dat geregistreerd als bedekt. Vervolgens werd het percentage berekend op basis van alle stappen op een bank.

Bij het vaststellen of al dan niet sprake was van een bank werd uitgegaan van de volgende (landschapsecologische) definitie.

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.

Delen met een mosselbedekking van minder dan 1 kg/m² (40 mosselen van 5-6 cm) werden niet tot een mosselbank gerekend.

Protocol

Een mosselbank bestaat uit bulten en open plekken met zand of water waar geen of weinig mosselen voorkomen. De bulten zelf bestaan voornamelijk uit mosselen met of zonder additionele flora (vaak wieren), en kunnen ook open plekken bevatten. Terwijl de bulten onderling van elkaar gescheiden zijn door open plekken, zijn in een bult zelf de open plekken (nagenoeg geheel) van elkaar gescheiden door mosselen. Een mosselbank kan plotseling overgaan in een kaal wad, maar de overgang kan ook diffuus zijn en bestaan uit een gebied met strooimosselen.

Voor elke bank wordt allereerst een documentatieformulier ingevuld waarop de belangrijkste karakteristieken en algemene informatie word ingevuld. Daarna wordt de bank ingelopen waarbij onderstaande richtlijnen in acht worden genomen.

25 meter regel

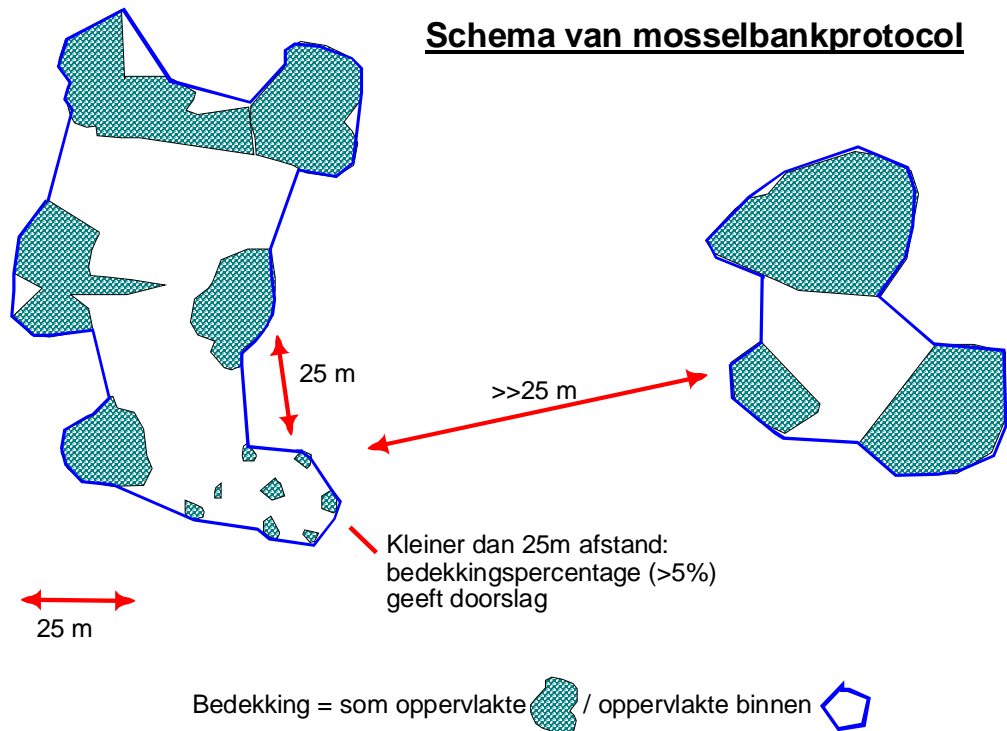
Zet bij de rand van de bank de GPS-trackfunctie aan met interval 5 of 10 sec.

Loop langs de rand van de bank. Bij inhammen mag je oversteken naar de dichtstbijzijnde rand op 25 m afstand. Als er grote (> 10 m²) bulten binnen 25 m van de rand liggen loop je daar loodrecht naar toe, en nadat je om de bult bent heengelopen langs dezelfde lijn weer terug naar de hoofdbank. Als er meerdere bulten binnen 25 m van elkaar liggen loop je langs de buitenkant van de bulten.

Als je terugbent op het beginpunt zet je de trackfunctie weer af (zie figuur als voorbeeld).

5% regel

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



Figuur 4-2 Schema van mosselbankprotocol

Van de Figuur 4.1 aangegeven banken werden de volgende banken langere tijd gevolgd. De banken zijn gedetailleerd weergegeven in figuur 4.3 (a-d)

Bank 101

Deze bank op het Balgzand is ontstaan uit broedval van 1992 op een kokkelbank. De bank is voor de eerste keer bezocht in augustus 1994. Er had toen een goede broedval plaatsgevonden op oude mosselen, kokkels en *Gracilaria*. In januari 1995 is een meetraai uitgezet.

De voorjaarsstorm heeft de bank nauwelijks aangetast, maar door de ijsgang in de winter van 95/96 werd de structuur onherkenbaar veranderd. In augustus 1996 wordt veel mosselbroed gevonden zowel tussen de mosselen als op *Gracilaria*. Daarna is de bank redelijk stabiel gebleven. In 1997 wordt de eerste track ingelopen met GPS en in september wordt geconstateerd dat de oude delen goed bezet zijn met zaad/halfwas uit 1996. Uit observaties van april 1998 blijkt dat ook het zaad van 1997 succesvol was geweest. De bank werd toen ook gekenmerkt door grote hoeveelheden kokkels tussen de mosselbulten en ingevangen tussen de mosselen of uit de grond getrokken. Er waren duidelijke poelen met water aanwezig. Het westelijk deel van de bank ging geleidelijk via strooimosselen over in kaal wad. De mosselbulten raken sterk begroeid met *Fucus*. In het najaar van 1999 is het oppervlak sterk toegenomen tgv broedval, maar het merendeel van het nieuwe deel is in de loop van 2001 en 2002 weer verdwenen. In de zomer van 2002 had de bank nog een oppervlak van ongeveer 4 ha, maar door de zeer zware storm van 27 oktober werden delen van de bank bedekt door zand, en wellicht sloegen ook delen weg. Bij een

bezoek in november bleek de bank nog maar 1 ha te beslaan. Eind 2003 was de situatie niet verbeterd.

Bank 502

Deze bank bevindt zich aan de westzijde van de leidam Ballumerbocht onder Ameland. De bank is ontstaan uit de broedval van 1994. Het westelijk deel van de bank (503b) is licht bevestigd tijdens de najaarsvisserij in oktober 1994. De opgeviste hoeveelheid is onbekend. In februari 1995 is de bank vergelijkbaar met het beeld dat uit de luchtfoto's van 1994 is verkregen. In april 1995 is de bank nog grotendeels intact, alleen zijn mosselen weggespoeld van hoge delen waar nog wel kale slibbulten aanwezig zijn. In de zomer van 1995 verdwijnen veel mosselen van de bank, vooral in het westelijk deel. De structuur van de bank en de ligging van de patches verandert sterk na de winter van 95/96. In het voorjaar van 1997 zijn de mosselpatches kleiner geworden dan in 1996 en zijn voor het merendeel niet groter dan enkele vierkante meters. In het westelijke deel zijn de patches het kleinst en is de bank zandiger. In 1998 zijn delen van de bank begroeid met *Fucus*. De mosselpatches zijn zeer duidelijk afgegrensd. De delen in de buurt van de dam zijn zeer slijkgig en niet of nauwelijks te belopen. In 2000 is de wadplaat buiten de mosselbulten geërodeerd en 20 cm gezakt t.o.v voorgaande jaren (gemeten op de paal van de raai). In 2002 ziet de bank er weer gezond uit met duidelijke bulten en goede bedekking van de bulten. Tussen de mosselen veel broed en ook enkele open delen opgevuld met mosselbroed. In 2001 heeft tussen de mosselen broedval van oesters plaatsgevonden en in het voorjaar van 2002 kwamen 2-4 cm oestertjes voor in dichtheden tot enkele tientallen per m². Hoewel delen van de bank beschadigd zijn door de oktoberstorm was ook in 2003 het merendeel van de oorspronkelijke bank nog aanwezig. De oesterpopulatie was weer verder uitgebreid.

Bank 503

Bij de broedval van 1994 zijn in de Ballumerbocht tussen de veerdam en de leidam een aantal mosselbanken ontstaan. Door de stormen van 1995 werd schade aangericht, maar de grootste achteruitgang trad op door langzame afname van mosselbedekking en patchgrootte in de zomer van 1995. Na de twee daaropvolgende winters was het merendeel van die banken verdwenen.

De bank werd het eerst bezocht in april 1998 en bestond toen hoofdzakelijk uit broed van 1996 in de luwte van een zware en stevige schelpenbank langs de geul. Het centrum van de bank werd gevormd door resten van de bank uit 1994. De bank is in eerste instantie slijkgig, maar wordt in de loop van de jaren steviger. In het oostelijk deel komen vanaf 2000 al veel oesters voor. De schelpenbank, die zijn stevigheid ontleent aan een klein aantal mosselen tussen de schelpen die het geheel met byssusdraden bij elkaar houden, wandelt langzaam over de zuidrand van de mosselbank heen. In de periode tot 2003 veranderde er weinig, behalve dat door de goede broedval van 2001 een uitbreiding van de bank plaatsvond aan de noordzijde. De schelpenrand bleef langzaam opschuiven, maar de bank hield goed stand en een aanzienlijke verjonging trad op door de broedval van 2001.

Bank 603

De bank is ontstaan uit de broedval van 1994, en ziet er eind 1995 goed ontwikkeld uit op een dikke laag zandig slib. De mosselen verdwijnen nagenoeg geheel in de winter van 1995-1996. In 1996 valt er opnieuw broed op de resten van de bank. De met mosselen bedekte delen zijn hard en hebben een ondergrond van schelpen en hard zandig slib. Op de bank komen nauwelijks algen voor. Vanaf die tijd verandert de bank maar weinig en de hoogteverschillen tussen mosselbulten en poelen nemen toe. De mosselen op de bulten vormen een aaneengesloten bedekking, en in de loop der tijd worden de mosselen nagenoeg geheel bedekt met zeepokken. In 2001 vindt goede broedval plaats, vooral net buiten de bestaande bank. Aan de westzijde is de uitbreiding enkele hectaren, en ook langs de zuidrand ontstaan nieuwe zaadbanken. Een deel van deze zaadbanken verdwijnt door de oktoberstorm van 2002. Gedeeltelijk door wegspoelen, maar hoofdzakelijk door bedekking met sediment. In de originele bank wordt de opening van een onbedekt deel naar het omliggend wad groter dan 25 m. Daarom moet volgens het protocol het onbedekte deel niet meer tot de het mosselbankoppervlak gerekend worden. In figuur 4.3d is dat duidelijk te zien. De groene kleur geeft de omtrek in 2003, en de bank is nu duidelijk opgedeeld in meerdere kleinere banken. Een deel van de bank (van 2001) lag onder water tijdens de inventarisatie en kon niet worden opgenomen. In 2004 bleek een groot deel nog aanwezig. De geleidelijke afslag in de periode 1997 – 2003 aan de Noordwestzijde is ook duidelijk waarneembaar.

Bank 606, 607 en 703

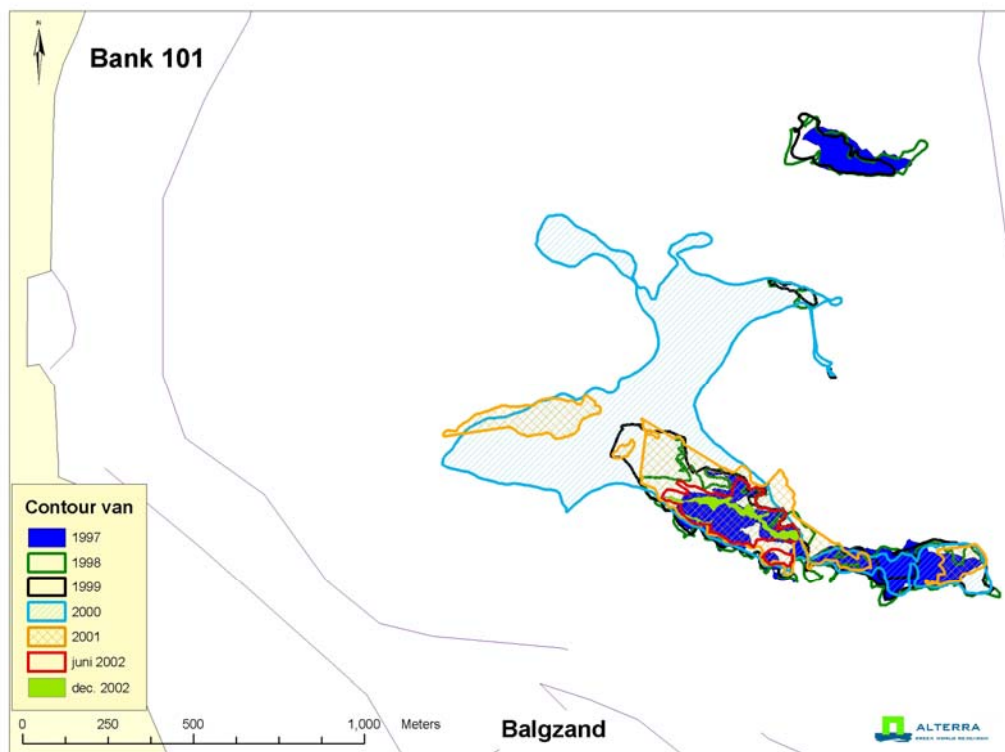
In het kader van het zg bestekonderzoek (de aanzet voor deze rapportage) werden banken in de oostelijke Waddenzee (langs de Zuid-Oost-Lauwers en in het voor schelpdiervisserij gesloten gebied onder Rottum aan de te bestuderen banken toegevoegd. Bank 606 en 607 langs de ZOL en bank 703 onder Rottum. Detailkarteringen zijn weergegeven in fig 4.3 (e-g) . De kern van bank 607 werd voor het eerst waargenomen en in kaart gebracht in juli 2000. Het betrof toen broedval uit 1999.

4.3 Ruimtelijk patroon en dynamiek

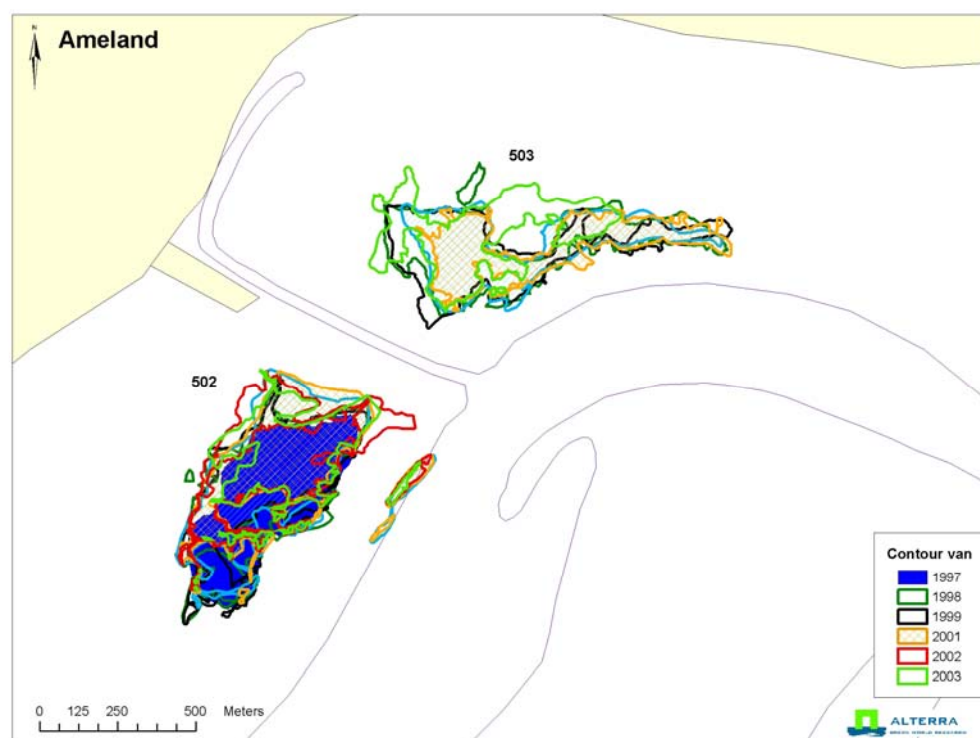
-Bankoppervlak

In figuur 4.3 (a-g) is de ontwikkeling van de banken weergegeven. De buitencontouren van de banken veranderen in de loop der jaren. Opvallend is dat de contour aan de geul kant redelijk stabiel is en dat uitbreiding vooral in de luwte heeft plaatsgevonden. Het algemene beeld is dat de banken in 1998 flink uitgebreid zijn ten opzichte van 1997, en toen alleen bij bank 603 in het oostelijk deel een afname plaatsvond. In 2000 is de bank op het Balgzand nog flink uitgebreid door de zaadval van 1999, maar dat nieuwe deel werd het daaropvolgende jaar voor het grootste deel niet meer als mosselbank geïdentificeerd. De situatie in 2001 was bij bank 101 weer vergelijkbaar met 1997 en 1998. Bij bank 603 vond in 2001 sterke uitbreiding plaats. De zaadbanken waren nog goed herkenbaar aanwezig op luchtfoto's van voorjaar en zomer van 2002, maar verdwenen nagenoeg geheel door de oktoberstorm van 2002.

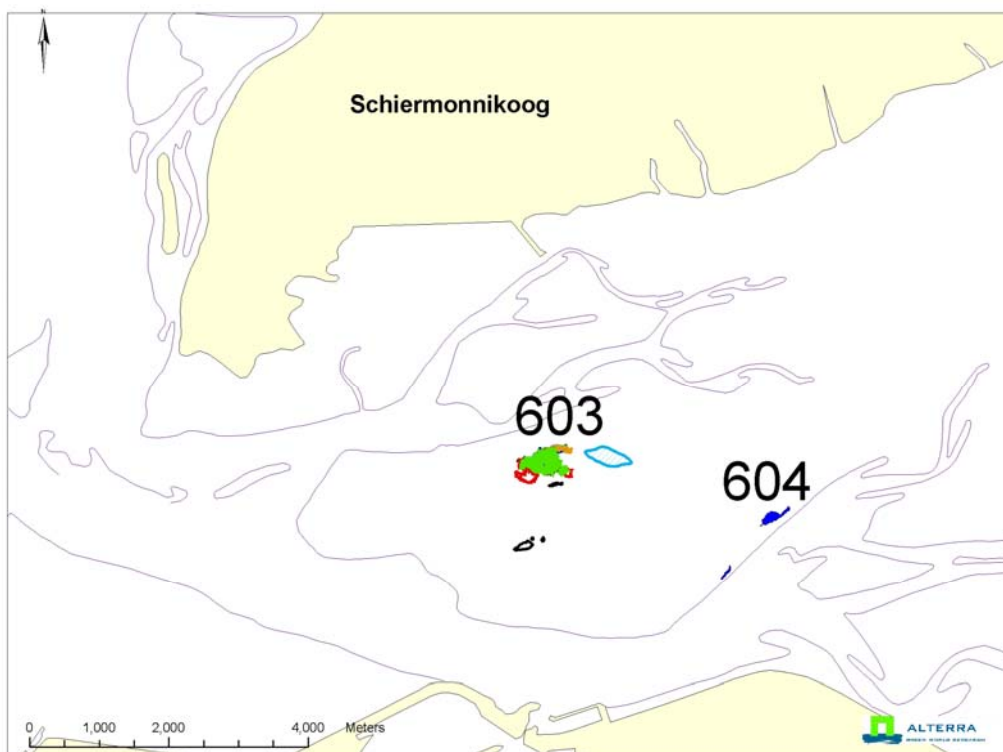
Figuur 4-3 (a-g) contouren van een aantal in detail opgemeten mosselbanken in de Waddenzee. De contouren geven de omtrek weer in verschillende jaren



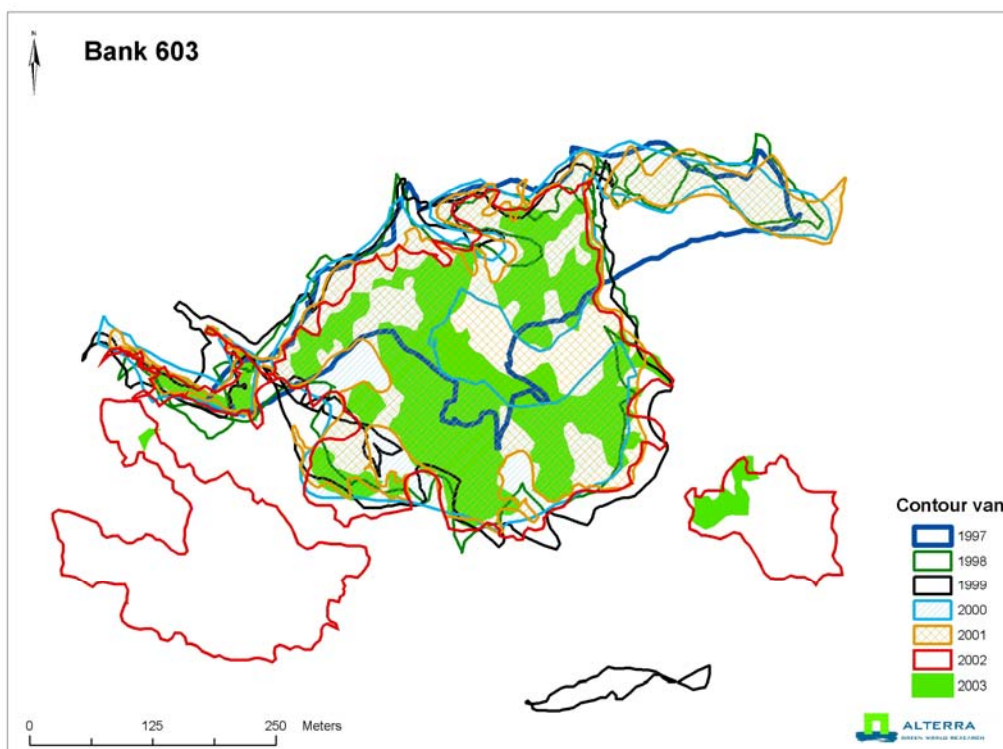
A



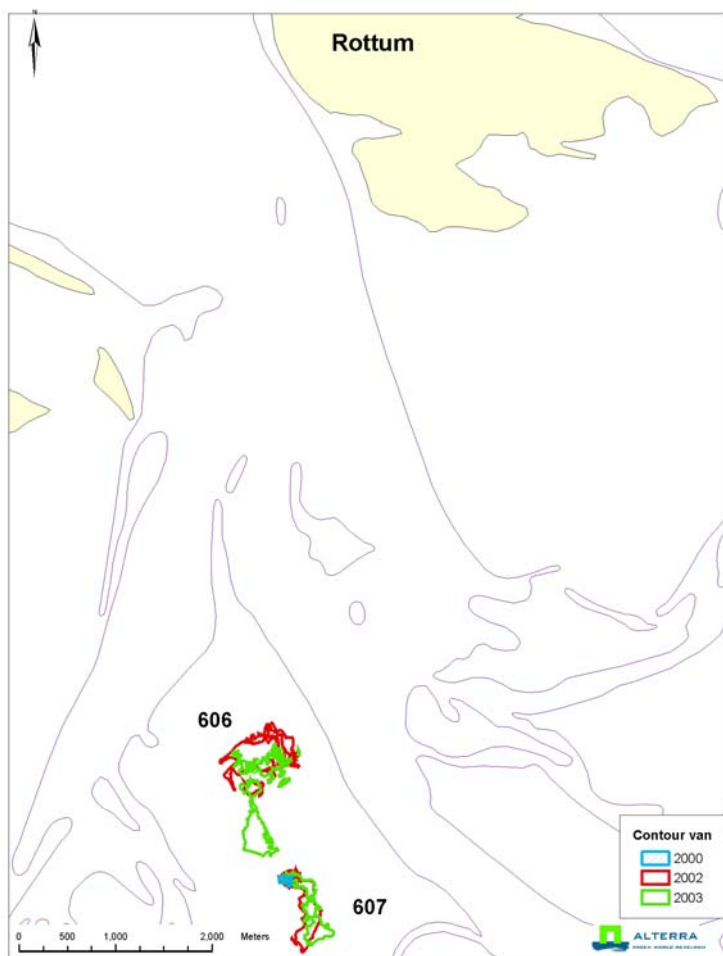
B



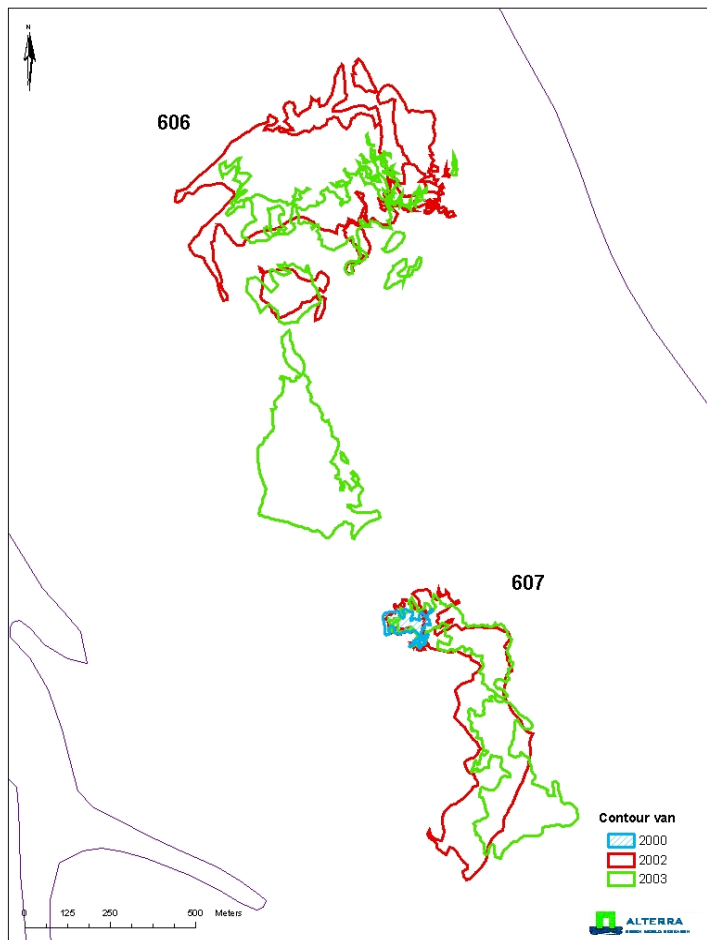
C



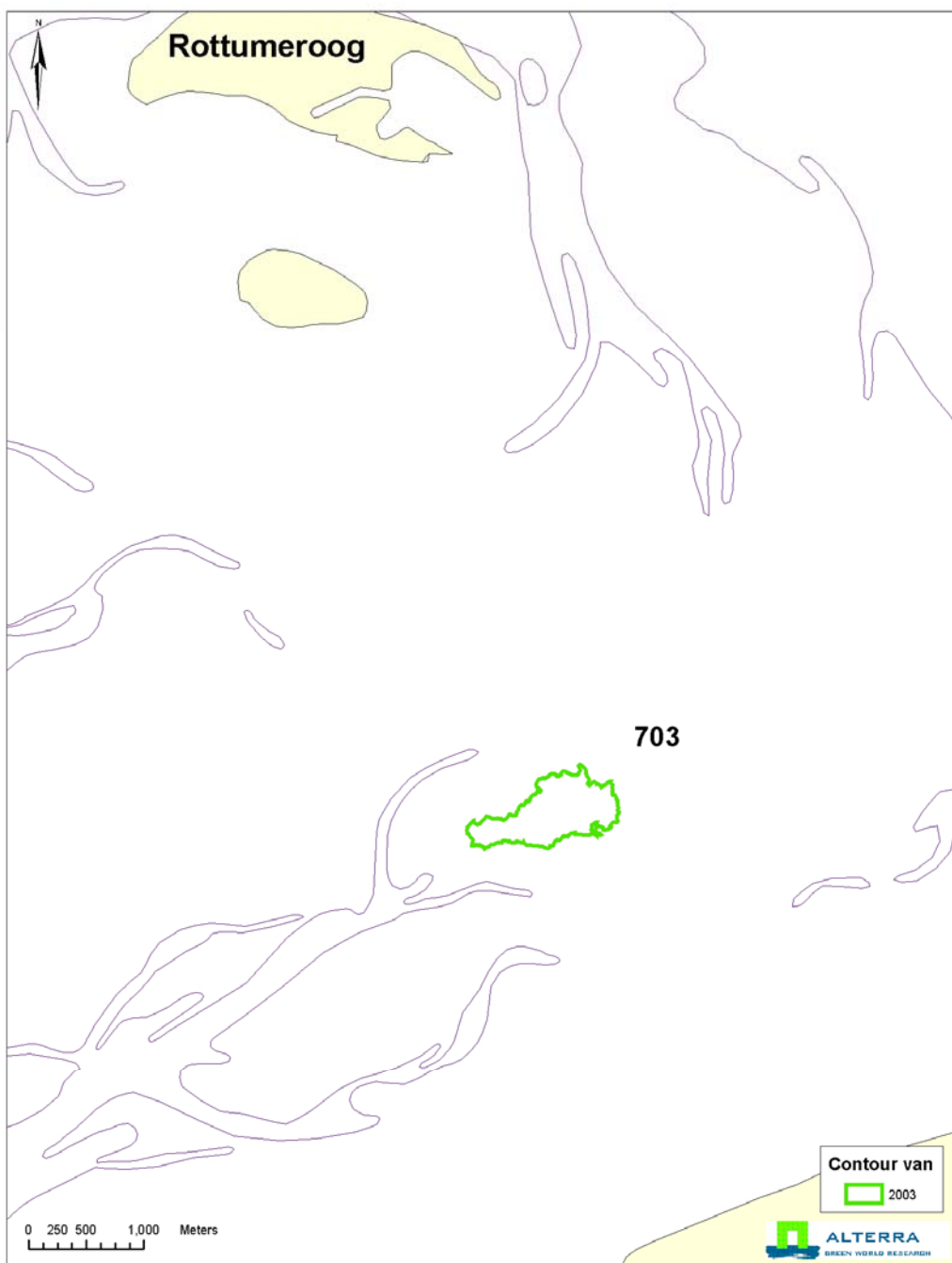
D



E



F



.G

Het bankoppervlak is weergegeven in Tabel 4-1

Tabel 4-1 Bankoppervlak in ha in verschillende jaren

Bank nr	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
101	8.85	12.69	14.04	43.47	15.15	4.1	0.8
502	17.32	17.96	15.64	19.23	16.87	16.6	11.7
503		16.06	13.95	13.42	10.69	?	12.7
603	6.68	10.00	10.74	9.86	9.58	9.2	4.4

Hieruit blijkt dat de banken wat betreft oppervlak redelijk stabiel waren, maar dat wel sprake is van een geleidelijke afname. Af en toe wordt een bank groter door broedval direct aansluitend aan de bank. Ook is duidelijk dat een storm zoals die van oktober 2002 ook een groot effect kan hebben. Banken 101 en 603 werden meer dan gehalveerd. Indien volgens een protocol wordt gewerkt kan dit effect versterkt doorwerken in een tabel als open plekken die aanvankelijk tot de mosselbank gerekend worden zo groot worden dat ze buiten de contour van de bank vallen. Dit is duidelijk in bank 603 waar de groene kleur de bank in 2003 weergeeft. De open delen die eerder bij de bank gerekend werden hebben aan de oostzijde een grotere opening naar het omliggende wad gekregen en worden nu niet meer tot de bank gerekend. Ook het nieuwe deel van bank 603 dat in 2001 was ontstaan lijkt verdwenen. Dit is niet het geval. Tijdens de inventarisatie van 2003 was de waterstand zo hoog dat de nieuwe delen niet geïnventariseerd konden worden.

De goede zaadval van 1999 manifesteert zich duidelijk in de toename van bank 101 in 2000. Overige zaadbanken werden niet als uitbreiding van de bestudeerde banken in de bovenstaande tabel opgenomen.

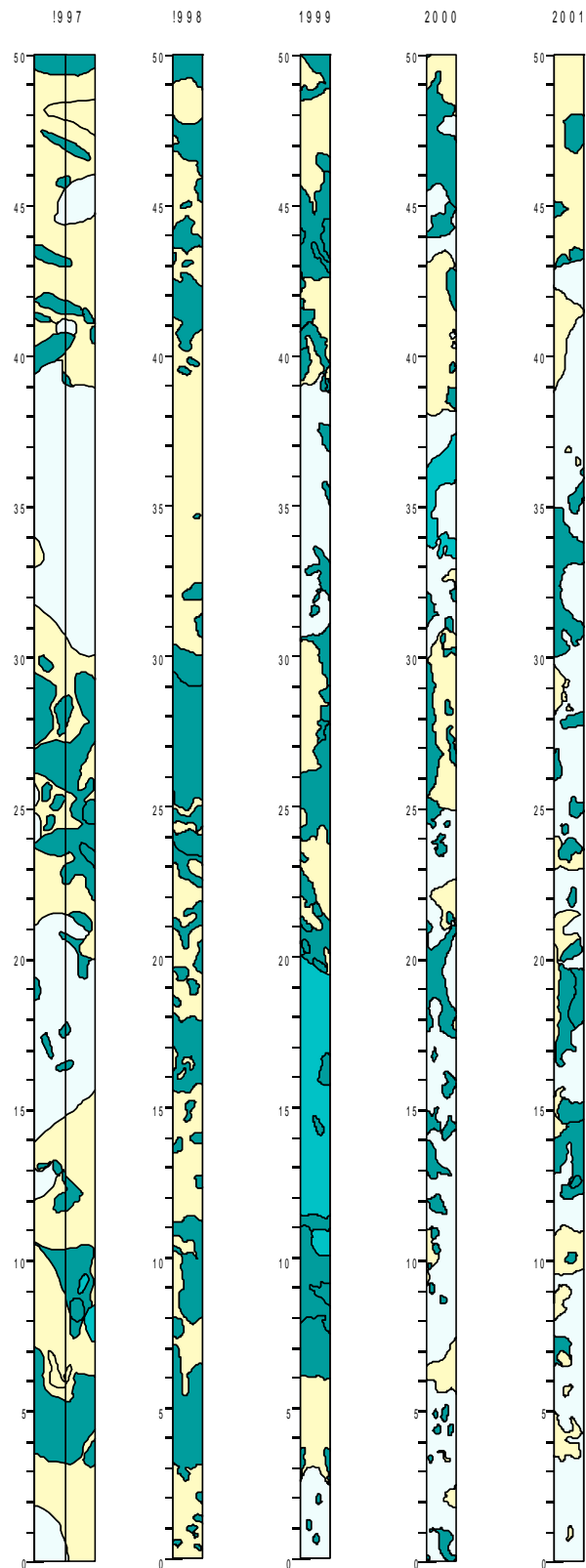
Ook Zwarts (1976) geeft een indicatie van langdurige stabiliteit. De door hem in 1976 beschreven banken zijn in een periode van 10 jaar niet van plaats veranderd. Ook uit de publicatie van Zwarts & Drent (1981) blijkt dat de door hen bestudeerde banken op dezelfde plaats lagen als door Dijkema op zijn kaart weergegeven.

-bedekkingspercentage

Het bedekkingspercentage van de verschillende banken is weergegeven in Tabel 4-2

Tabel 4-2 Bedekkingspercentage van de onderzochte banken in verschillende jaren. Het "bedekkingspercentage" geeft aan welk deel van een bank daadwerkelijk door mosselenpatches bezet is

Bank nr	Bedekking (%)						
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
101	40.3	57.8	52.3	29.6	30.8		
502	19.5	15.7	24.3	24.6	29.8	38.3	30.4
503		35.1	41.9	42.8	44.2		53.3
603	15.1	23.7	45.8	47.4	55.3	42.3	41.2
606							39.1
607							28.6
703							41.0

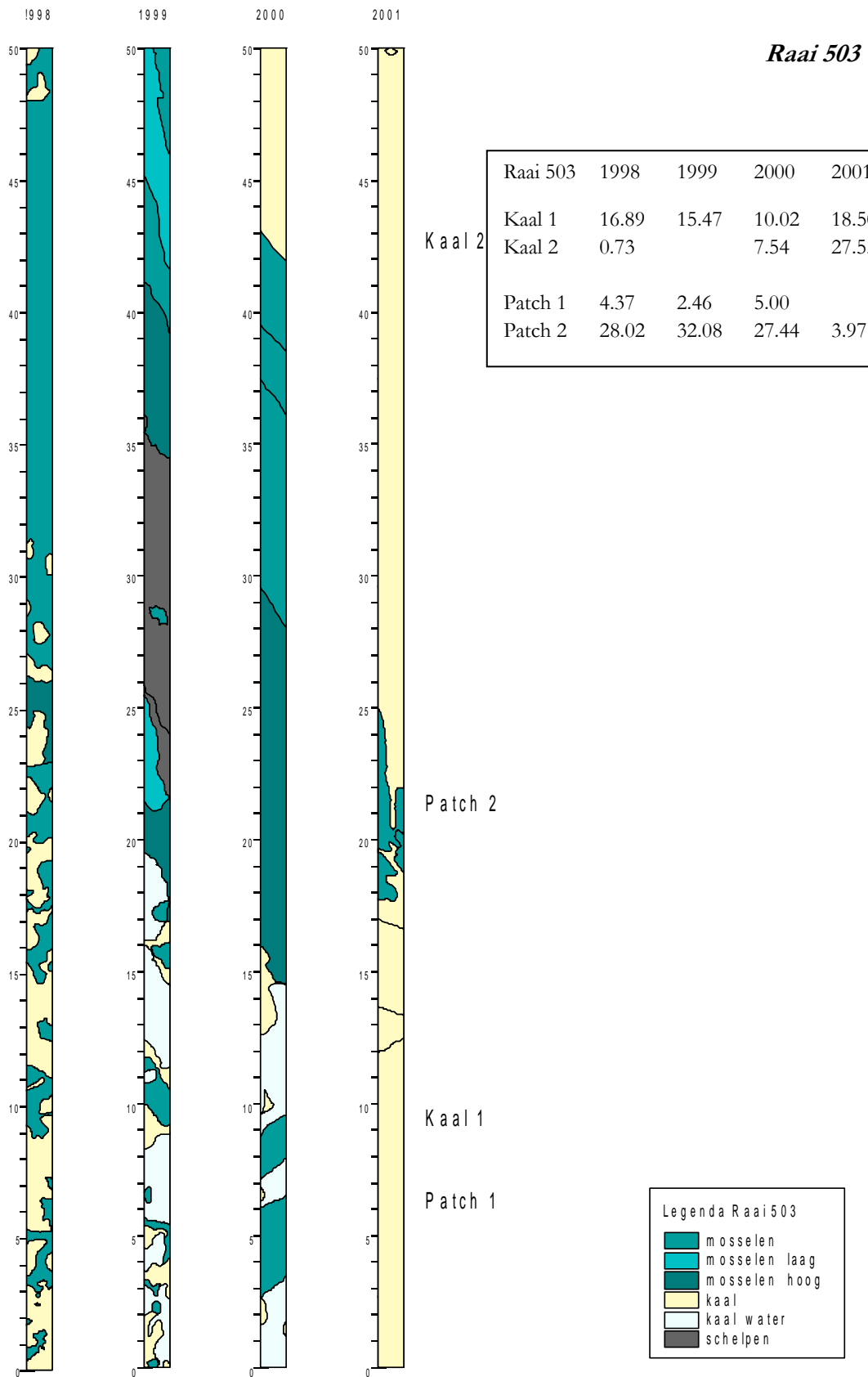


Raai 101

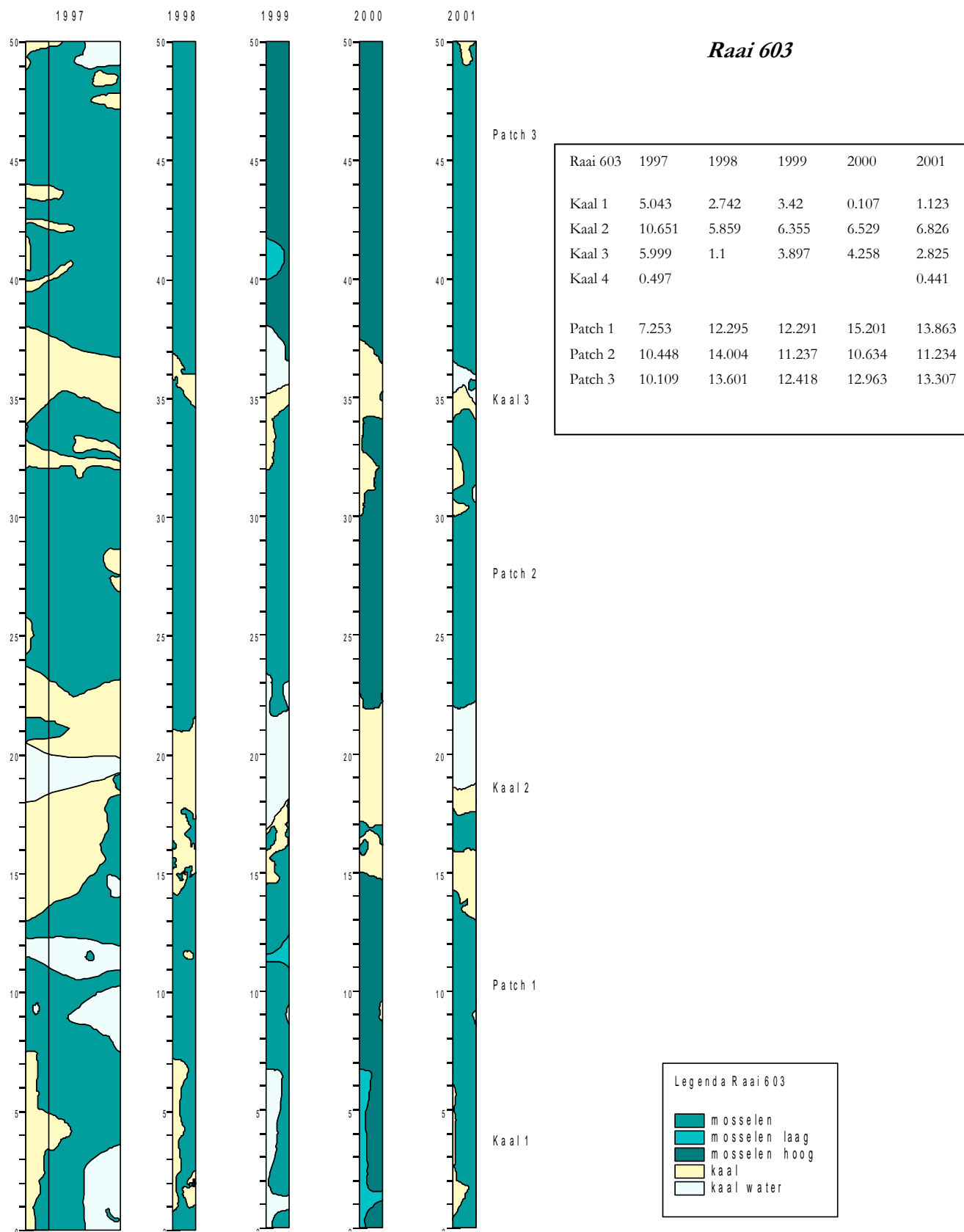
Raai 101	1997	1998	1999	2000
Kaal	39.27	27.23	23.60	36.47
Patch	10.73	22.77	26.40	13.57

Legenda	
	mosselen
	mosselen laag
	mosselen hoog
	kaal
	kaal water
	schelpen

Figuur 4-4 A. Ontwikkeling van een strook van mosselbank 101 gedurende een aantal jaren



Figuur 4-4.B Ontwikkeling van een strook van mosselbank 503 gedurende een aantal jaren



Figuur 4-4.C Ontwikkeling van een strook van mosselbank 603 gedurende een aantal jaren

-Ontwikkeling langs raai

Langs vaste raaien die gemarkeerd waren door stalen pijpen werd jaarlijks een strook van één of meer meter breed nauwkeurig in kaart gebracht. In de eerste winters zijn het merendeel van de markeringspijpen verdwenen, of waren op de raai geen mosselen meer aanwezig. Een drietal raaien werd gedurende een aantal jaren gevolgd, en de resultaten zijn weergegeven in Figuur 4-4 A-C .

Bank 101

Het oppervlak aan patches neemt toe in 1998 en 1999, vooral door toename van de patchgrootte. Daarna neemt de patchgrootte weer af. Hoewel delen van patches een aantal jaren herkenbaar aanwezig blijven kan niet gesproken worden over een stabiele situatie. Grote patches uit 1997 (broedval 1992 en 1994) verdwijnen of gaan achteruit en nieuwe verschijnen vanaf 1998.

Bank 503

De raai is uitgezet vanaf de schelpenrug die de mosselbank beschermd. De rug is aangegeven als 'kaal'. In de rug zijn mosselconcentraties aanwezig die herkenbaar waren tussen 1998 en 2000. In 1999 bestaat een deel van de raai uit losliggende schelpen (Mya, Kokkel, Mesheft etc). Door migratie van de geul en opschuiven van de schelpenrug verdwijnen de mosselen op de raai grotendeels in 2001.

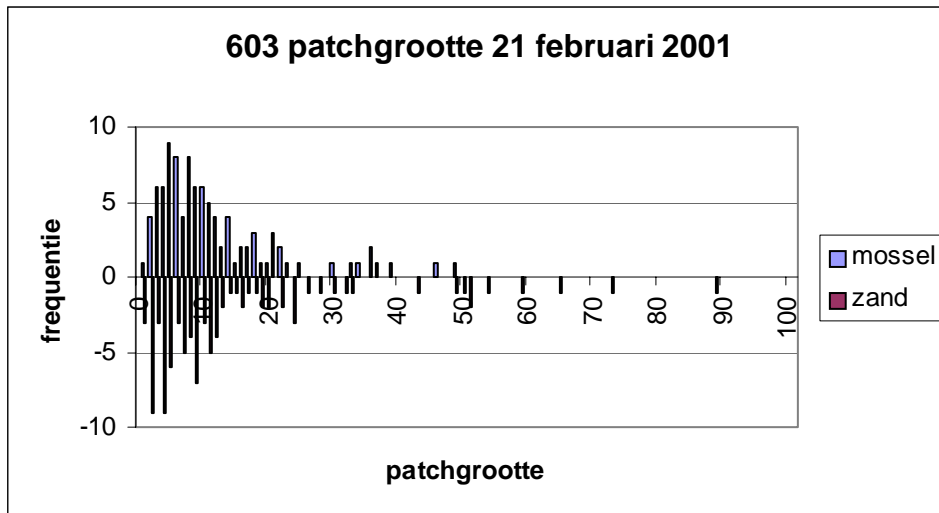
Bank 603

De mosselpatches op de raai zijn uitermate stabiel over de gehele studieperiode. De ondergrond wordt steeds steviger. De mosselpatches breiden zich iets uit. Dat is geen gevolg van zaadval langs de rand, maar door het breder worden van een patch, waarschijnlijk het gevolg van groei van individuele mosselen die elkaar wegduwen en uitzakken van de steeds hoger wordende bank.

-Patchgrootte

Er zijn aanwijzingen dat patchgrootte van invloed zou kunnen zijn op stabiliteit van de patch (McGrorty (pers com), Widdows et al. (2002)), en dus ook op het voortbestaan van de mosselbank. Patchgrootte werd gemeten door het lopen van raaien in verschillende richtingen en het tellen van stappen op en patch en de open ruimte. Soms werden langwerpige patches in de lengterichting en soms in de breedte gemeten. Bij het begin van een raai werd de richting vastgesteld op basis van een herkenbaar punt aan de horizon.

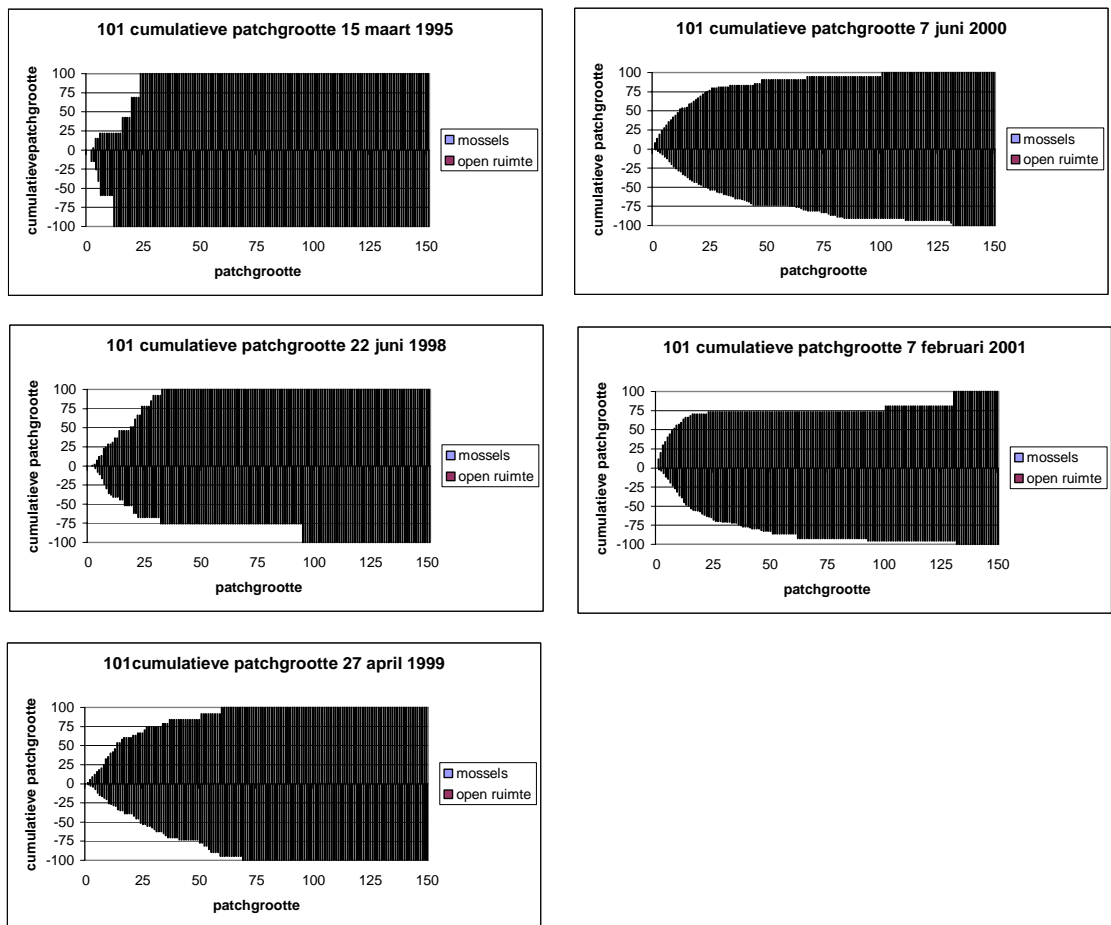
Indien patchgrootte-verdeling weergegeven wordt als een frequentie-histogram ontstaat een onduidelijk beeld (Figuur 4-1 bank 603) waar kleine patches lijken te overheersen, maar waar de bulk van het oppervlak bedekt door mosselen toch bepaald wordt door de weinige grotere patches van 15 meter en meer.



Figuur 4-1 Patchgrootte weergegeven als frequentieverdeling.

Ook is geprobeerd een weergave te kiezen waarbij de verschillende klassen cumulatief weergegeven worden. Daaruit zou moeten blijken door welke verdeling van patchgrootte het totaaloppervlak van 100% bereikt wordt. Het resultaat voor bank 603 is weergegeven in fig. 4.10.

Bij een zeer jonge zaadbank is dikwijls sprake van een nagenoeg aaneengesloten mosseldek of zeer grote patches. Daarna komt er een duidelijke ruimtelijke structuur met grote en kleine patches. Indien de kleine patches minder stabiel zijn kan verwacht worden dat uiteindelijk alleen grotere patches overblijven of dat een bank langzaam verdwijnt via het kleiner worden van de patches. Een bank met naar verhouding veel kleine patches zou dan een sterk bolle figuur moeten opleveren, terwijl een bank met weinig kleine en enkele grote patches een holle figuur levert. Het is nog niet gelukt een goede statistische techniek te vinden die dit soort ruimtelijke informatie kan verwerken tot een beeld waarop conclusies gebaseerd kunnen worden.



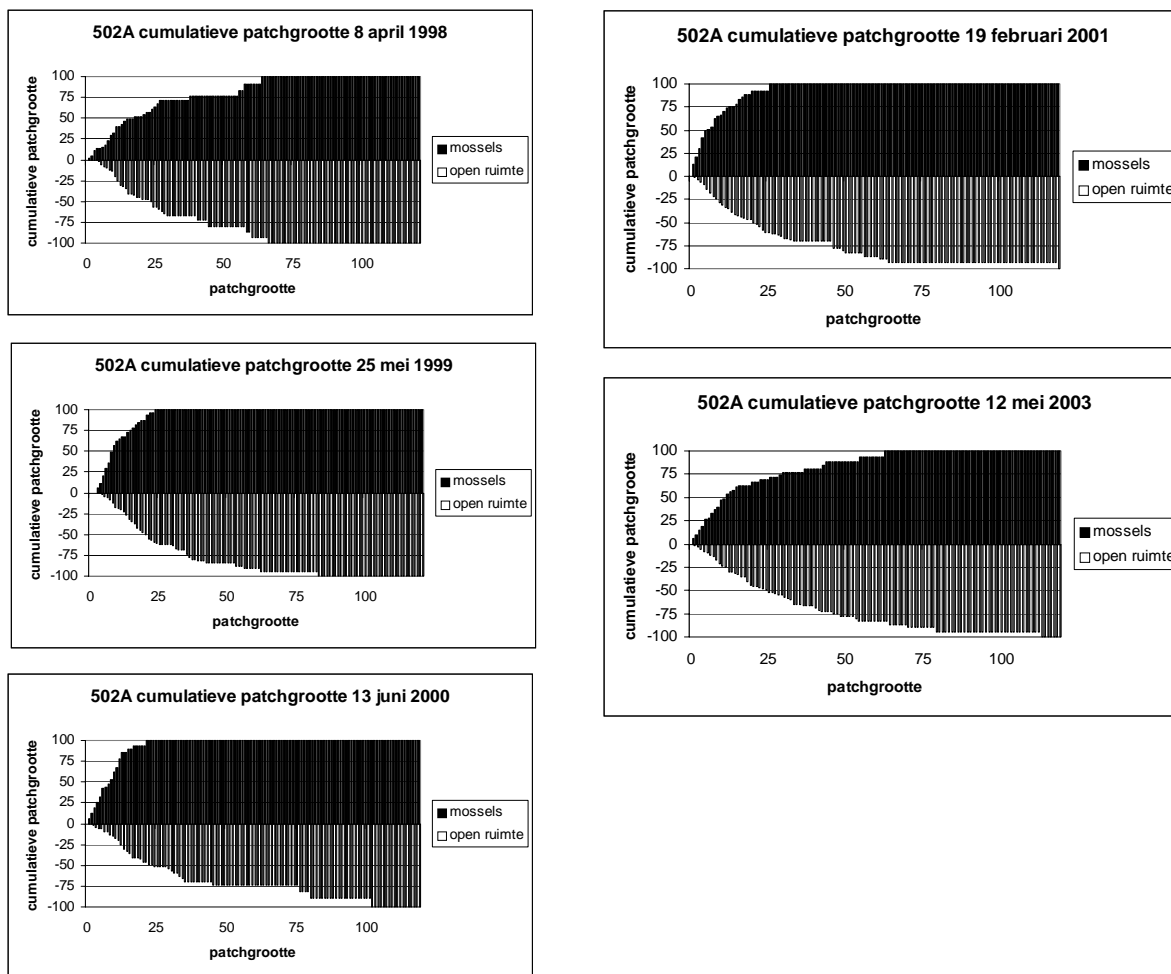
Figuur 4-2 Cumulatieve patchgrootte van bank 101

Bank 101

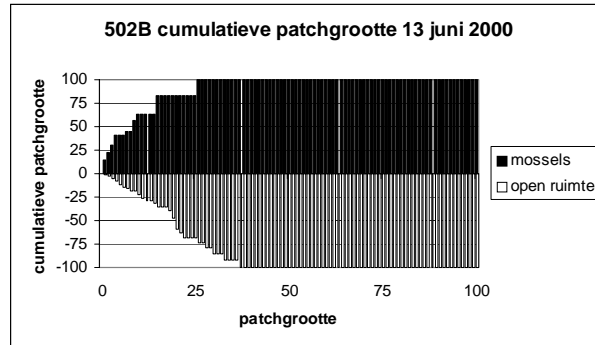
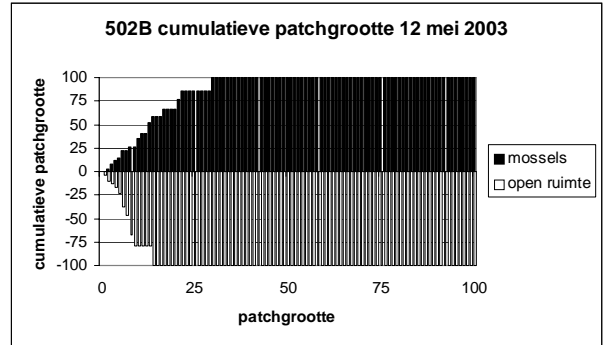
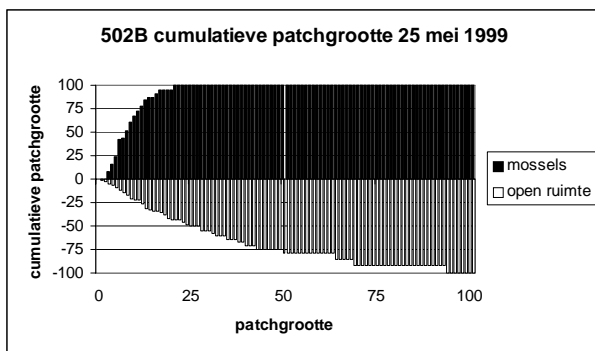
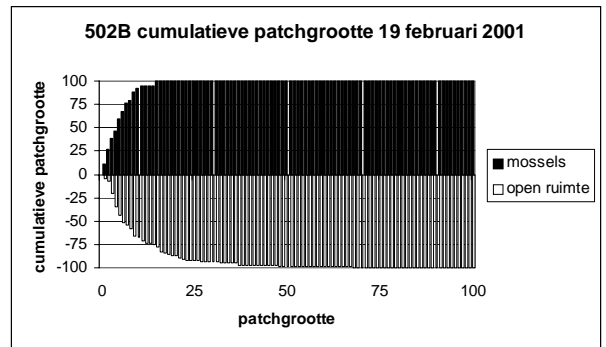
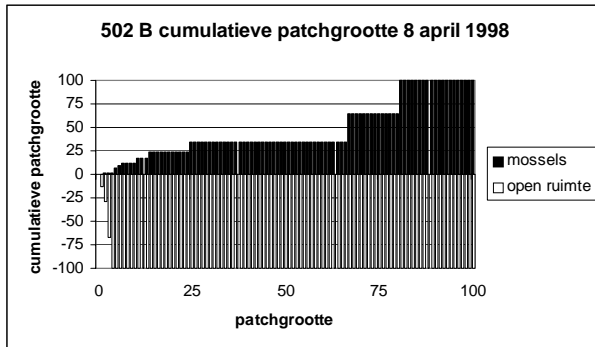
In 1995 bestaat de bank uit redelijk grote patches (een groot aandeel groter dan 20 meter) In de loop van de ontwikkeling neemt het aandeel patches kleiner dan 20 meter toe tot meer dan 75% van het bankoppervlak. (Figuur 4.6)

Bank 502 en 503

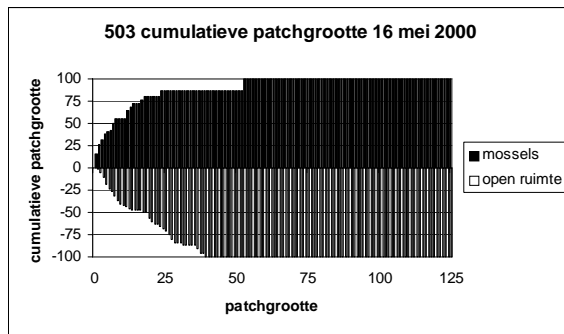
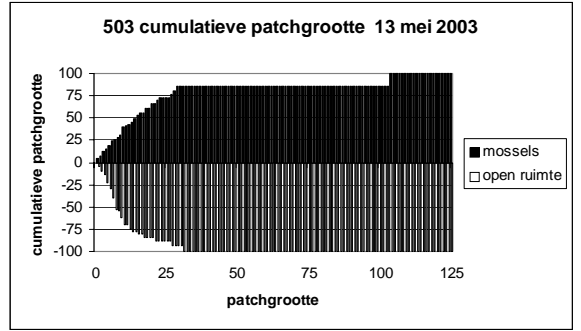
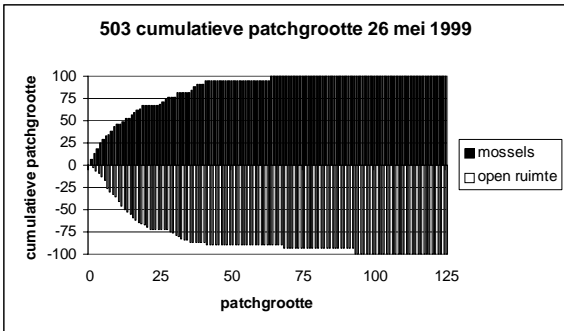
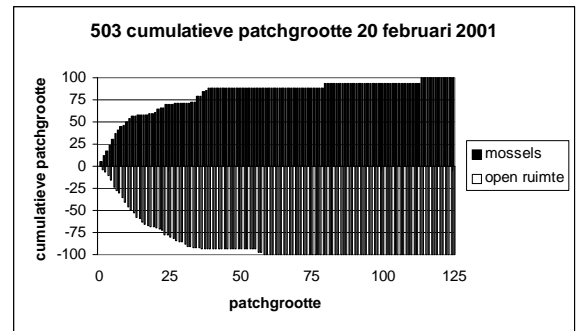
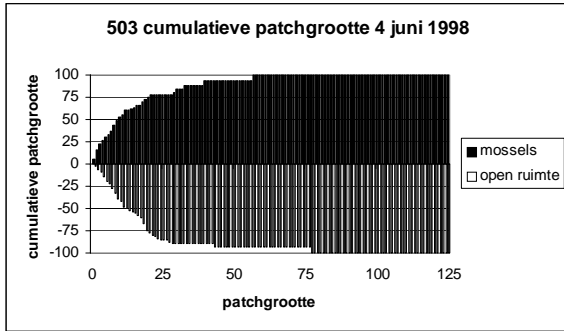
In het eerste jaar wordt meer dan 25% van het bankoppervlak bepaald door patches na 50 meter of groter. Die breken op in meerdere patches waardoor de bank in de eerste jaren van de ontwikkeling nagenoeg geheel bestaat uit patches kleiner dan 25 m. Daarna lijkt de grafiek af te vlakken, wat wijst op het verdwijnen van kleine patches en een toenemend belang van patches groter dan 25 m die 25% van het bankoppervlak voor hun rekening nemen (figuur 4.7-4.9).



Figuur 4-3 Cumulatieve patchgrootte van bank 502a



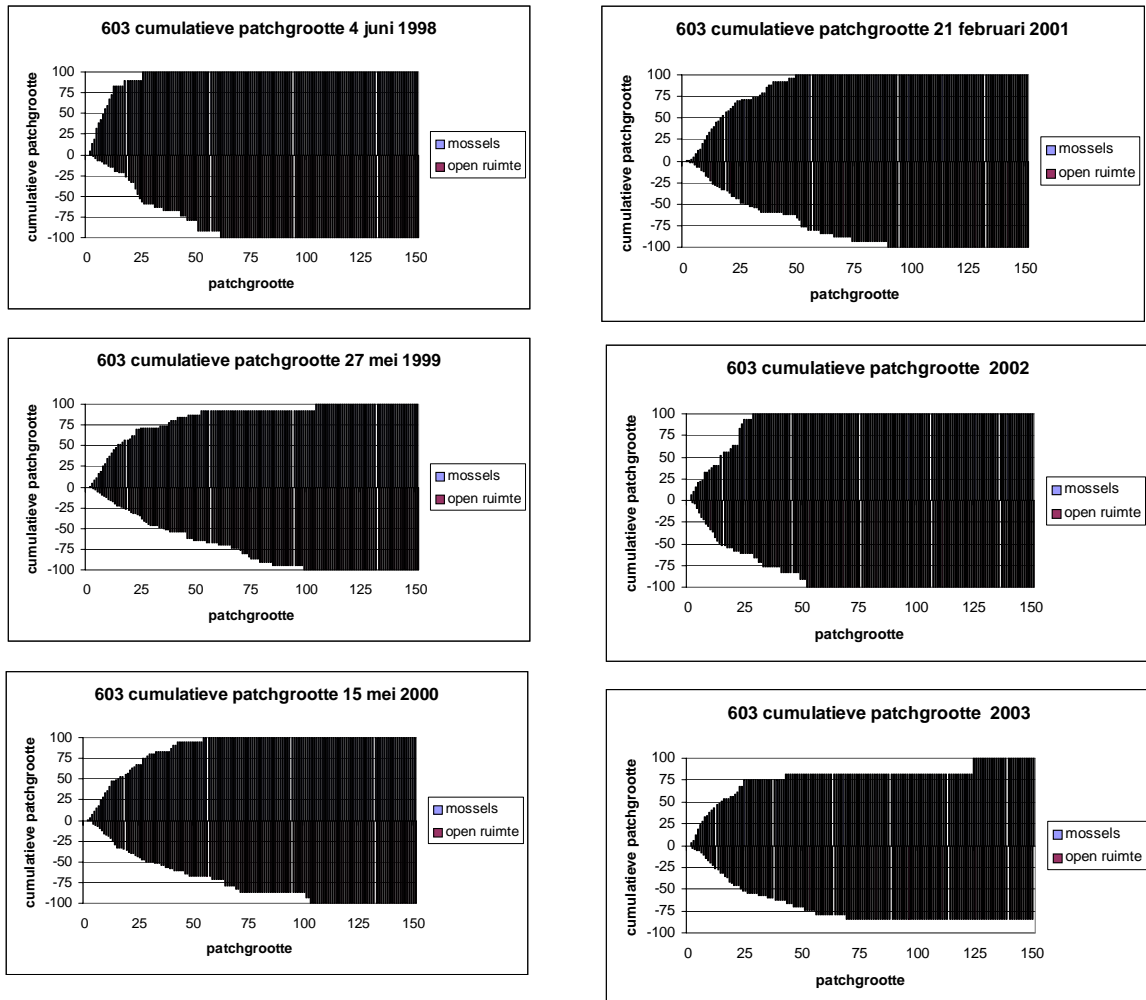
Figuur 4-4 Cumulatieve patchgrootte van bank 502b



Figuur 4-5 Cumulatieve patchgrootte van bank 503

Bank 603

Bank 603 bestaat in 1998 hoofdzakelijk uit relatief kleine patches (fig. 4.10) waarbij 75% kleiner is dan 12 meter. In de loop van de ontwikkeling verschuift het beeld naar grotere patches



Figuur 4-6 Cumulatieve patchgrootte van bank 603. Boven de nullijn staan mosselpatches, eronder de open ruimten.

In tabel 4.3 is zijn de patchgroottes weergegeven. Naast het gemiddelde is de standaardafwijking gegeven en de mediaan, omdat die minder beïnvloed wordt door de weinige zeer grote patches.

Tabel 4-3 Patchgroottes van een aantal mosselbanken in de loop van hun ontwikkeling

Bank 101							
Jaar	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Gemiddelde	9.1	9.4	7.8	5.2	4.0		
SD	8.5	8.4	10.0	9.1	11.5		
Mediaan	4.0	6.0	4.0	2.0	2.0		
Bank 502a							
Jaar	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Gemiddelde		9.1	4.7	4.7			5.9
SD		12.3	4.4	4.5			9.1
Mediaan		4.0	3.0	3.0			3.0
Bank 502b							
Jaar	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Gemiddelde		21.5	3.9	3.6			9.0
SD		30.0	3.6	5.0			7.4
Mediaan		7.0	3.0	1.0			6.0
Bank 502							
Jaar	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Gemiddelde					2.9		
SD					3.5		
Mediaan					2.0		
Bank 503							
Jaar	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Gemiddelde		5.1	5.5	3.4	5.6		7.1
SD		7.4	8.4	6.1	10.3		11.9
Mediaan		2.0	2.0	1.0	3.0		3.0
Bank 603							
Jaar	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Gemiddelde		4.7	8.9	9.2	12.2	5.9	7.2
SD		4.6	12.1	9.6	10.0	7.1	13.9
Mediaan		3.0	5.0	6.0	9.0	3.0	4.0

Verticale dynamiek

Omdat bij de aanvang van het onderzoek geen mosselbanken aanwezig waren werd de verticale structuur van een aantal mosselbanken van verschillende leeftijd gemeten op Duitse en Deense banken (Dankers et al. 1995). Hoogteverschillen van een meter kwamen voor. De mosselen bevonden zich duidelijk op de hoogste delen van de bank.

-Hoogteverschillen

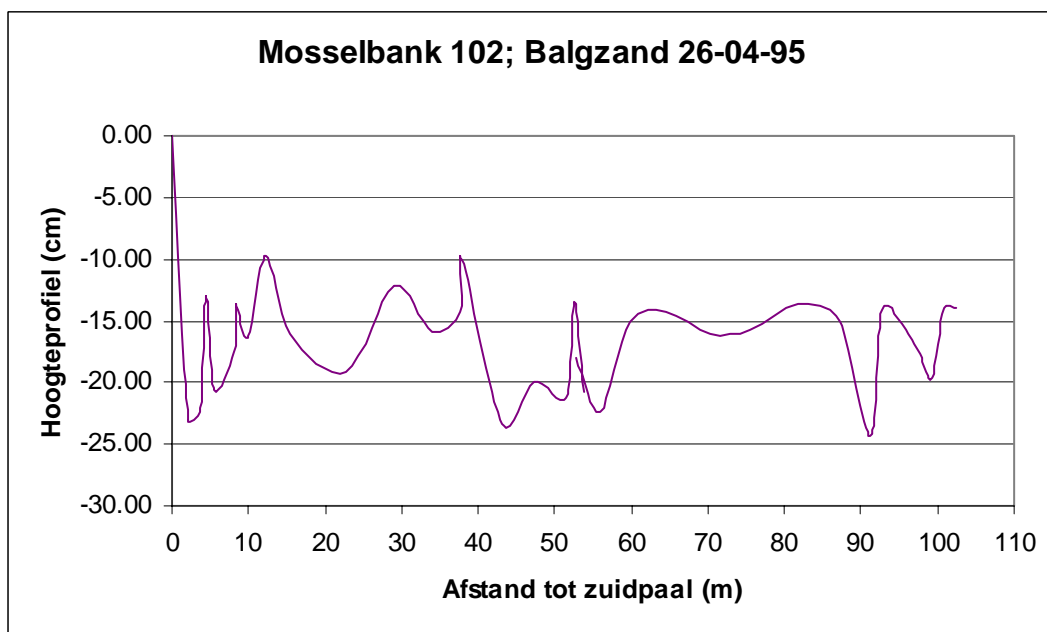
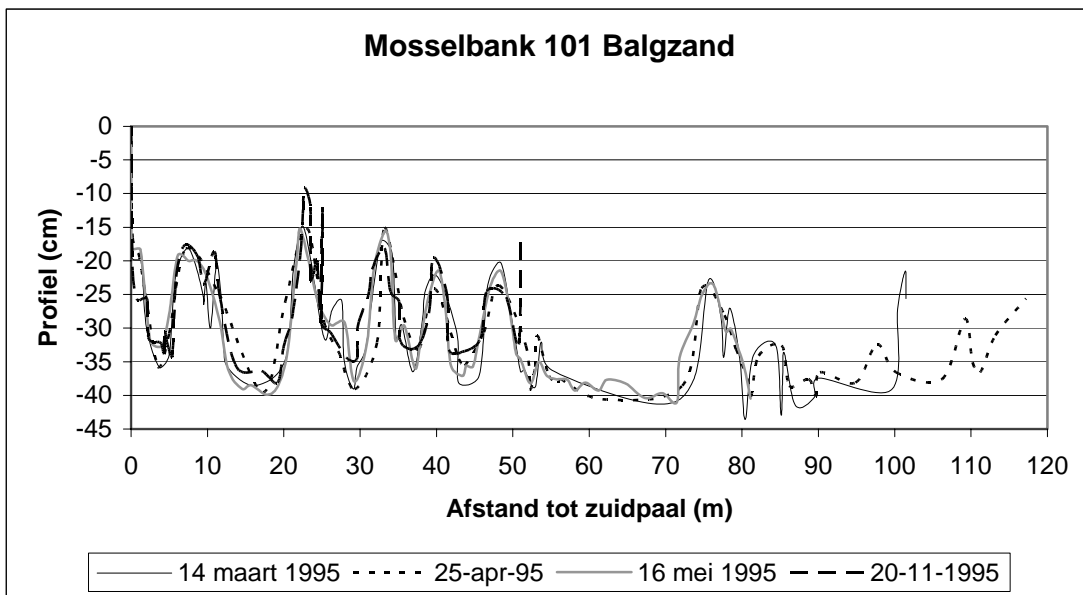
In de zomer van 1994 trad in enkele delen van de Nederlandse Waddenzee een goede broedval op. Een groot aantal raaie werd uitgezet op banken, zowel in voor

visserij open en gesloten gebieden. Helaas kwamen geen banken voor in de gesloten gebieden onder Rottum en Terschelling.

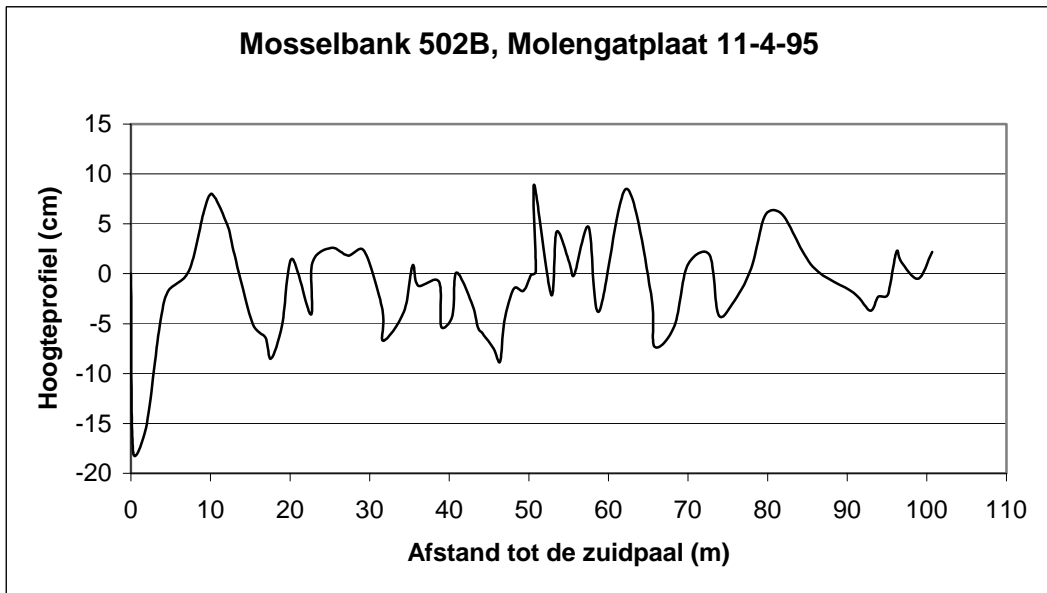
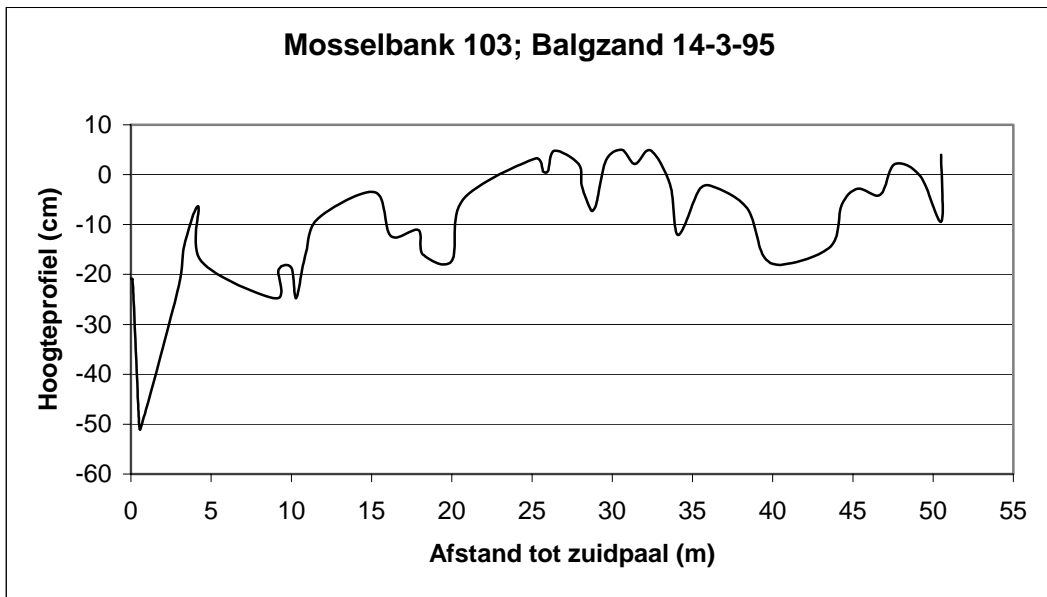
Enkele raaien konden een aantal jaren gevolgd worden, maar het merendeel van de banken waarop raaien waren uitgezet verdween na de eerste winter, of de stalen raaimarkeerders werden door het ijs uit de bodem getrokken waardoor de hoogterefereentie verdween.

Op de raaien werden hoogteverschillen en slibdikte gemeten. De resultaten van een aantal raaien zijn weergegeven in fig 4.11. Op bank 101 op het Balgzand zijn in het eerste jaar meerdere metingen uitgevoerd. Daaruit blijkt dat de mosselbulten over die periode niet of nauwelijks van plaats veranderen. In de figuur van een bank op het Amelander wantij is ook aangegeven waar zich mosselen bevonden. De relatie met de bulten is duidelijk.

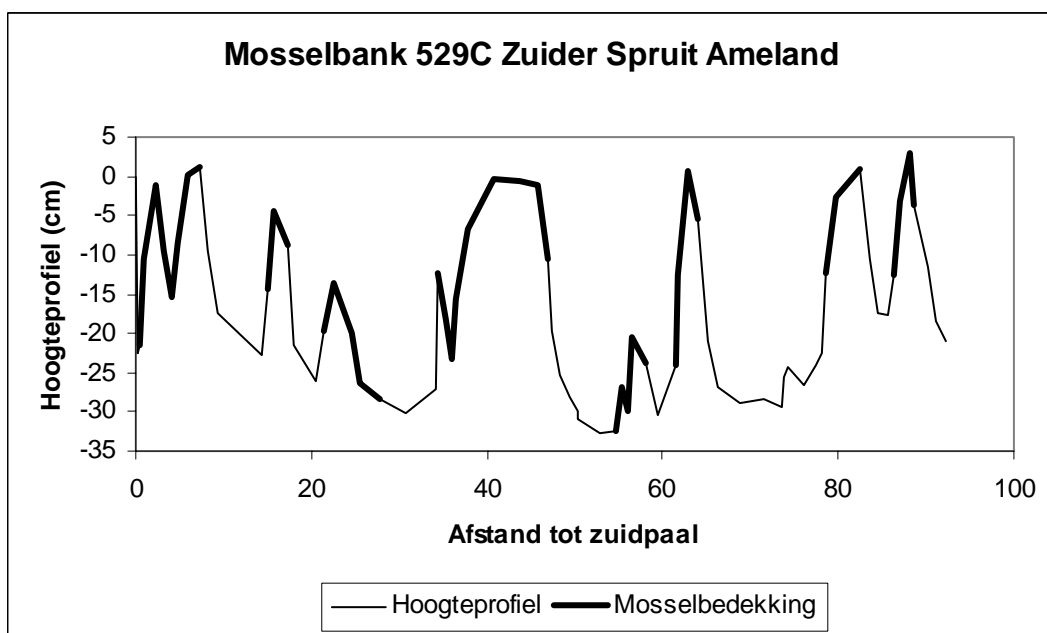
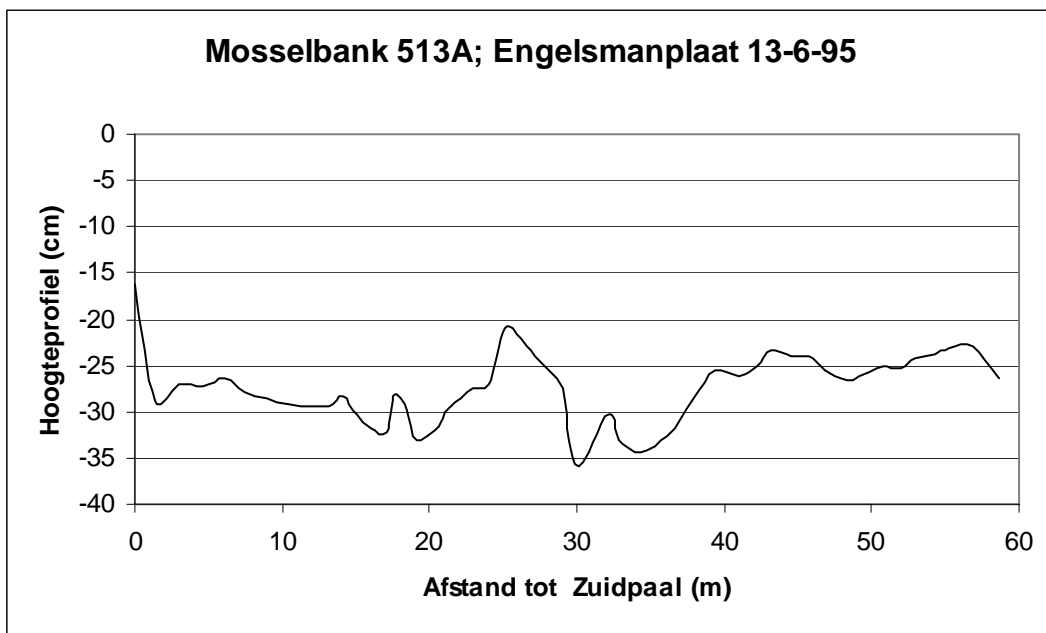
Ook blijkt dat de mosselbedekking op enkele slibbulten verdwenen is, maar dat de bulten nog duidelijk waarneembaar zijn.



Figuur 4-11 Voorbeelden van een aantal hoogmetingen langs een gemarkeerd transect op mosselbanken



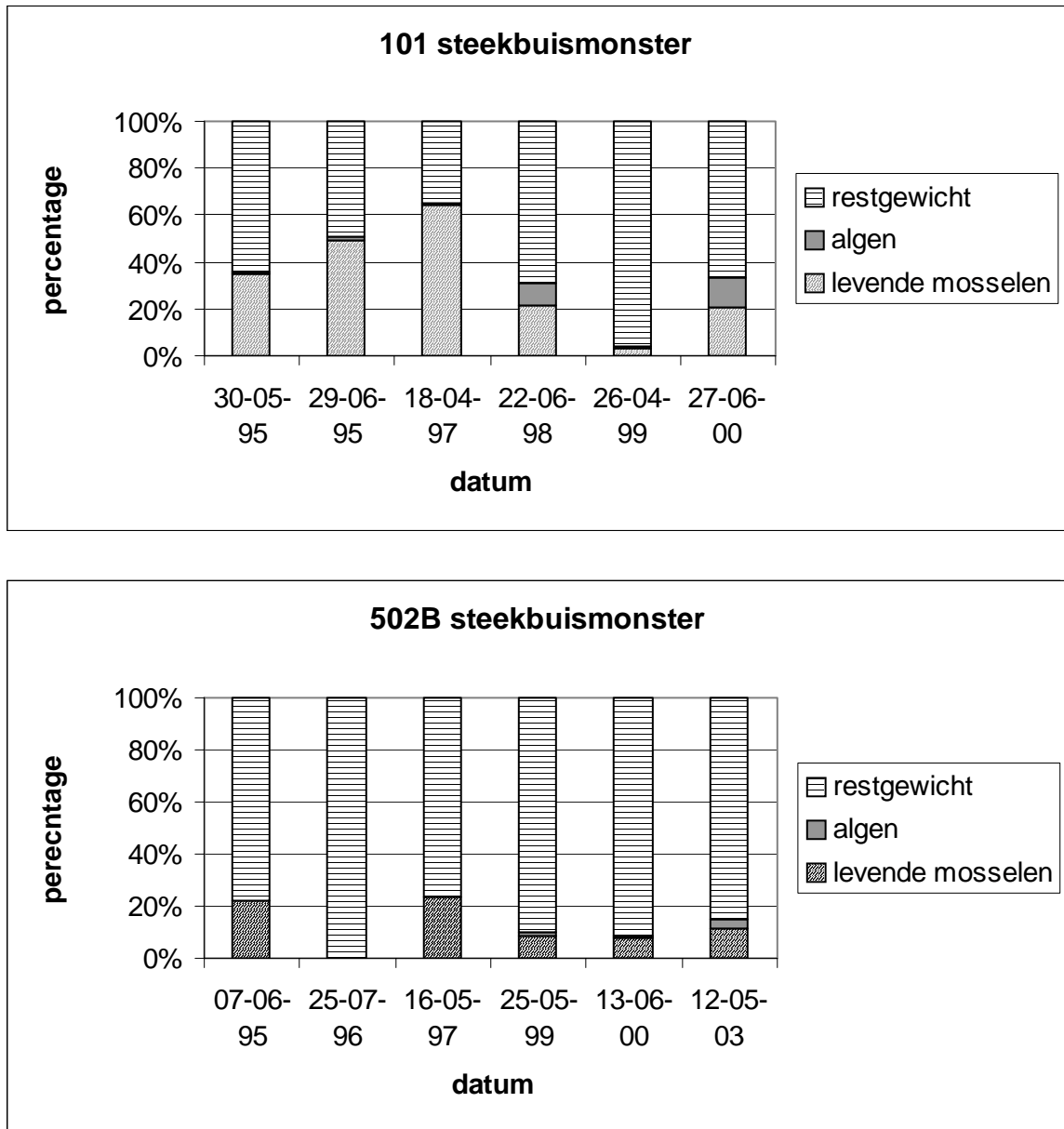
Vervolg Figuur 4-11 Voorbeelden van een aantal hoogtemetingen langs een gemarkeerd transect op mosselbanken



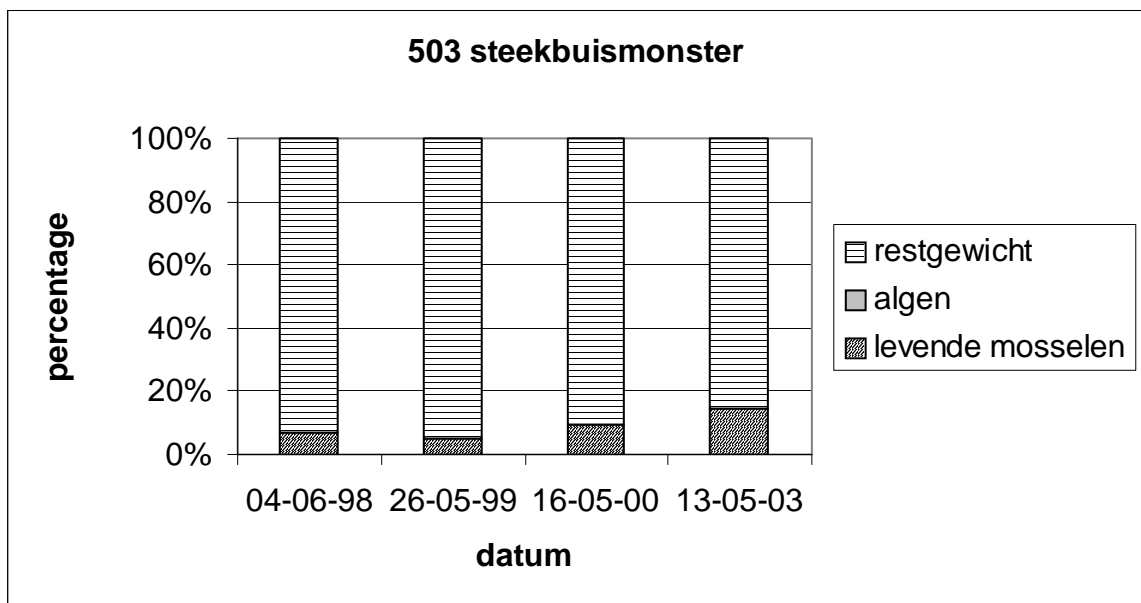
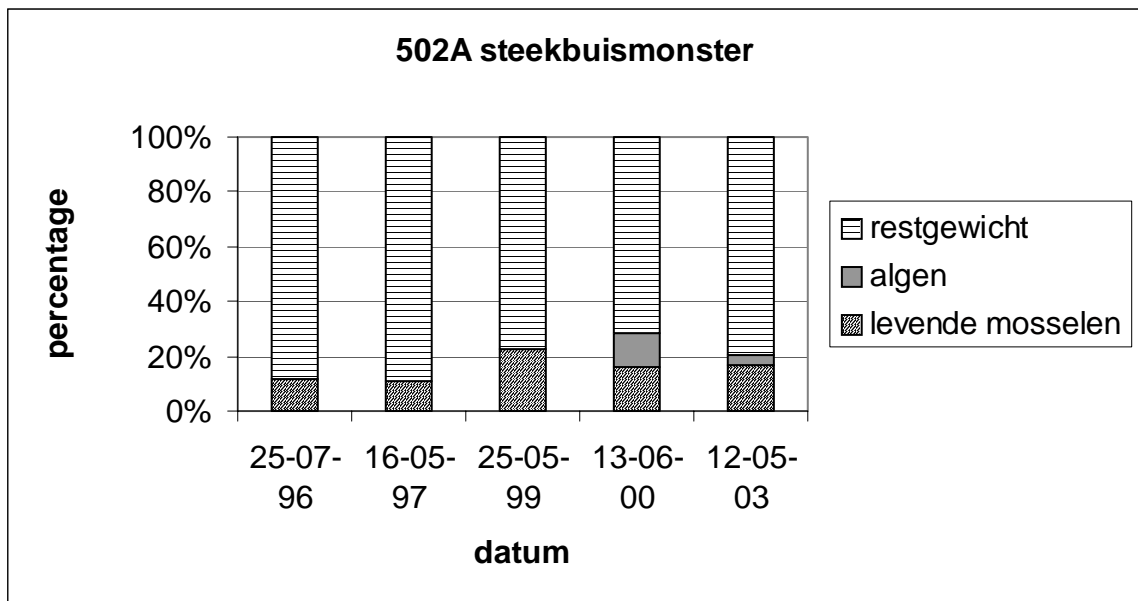
Vervolg Figuur 4-11 Voorbeelden van een aantal hoogtemetingen langs een gemarkeerd transect op mosselbanken

-Sedimentopbouw

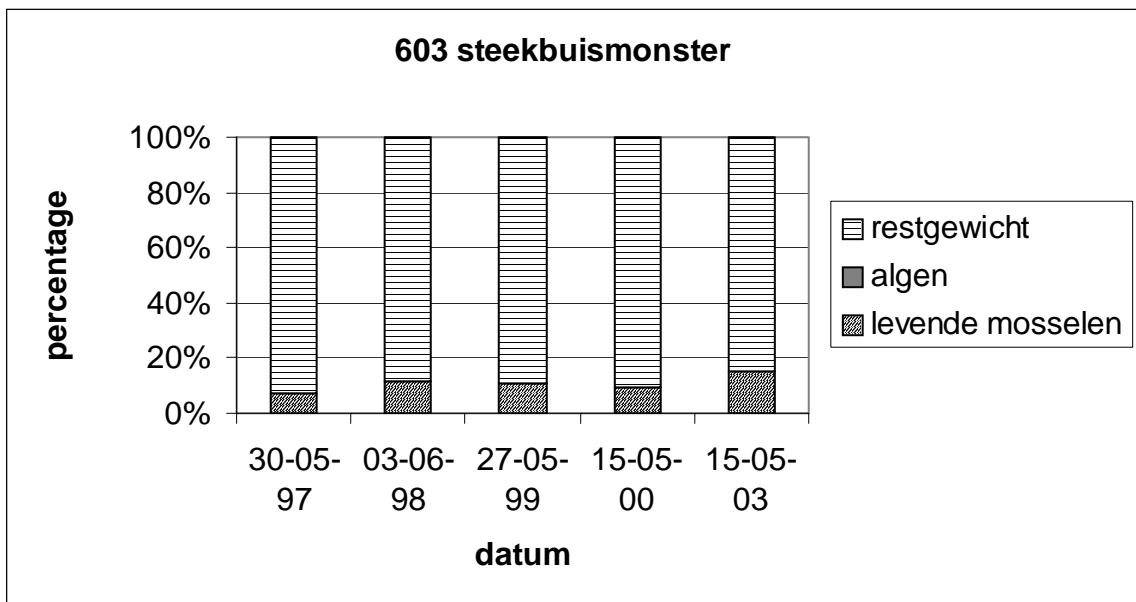
Bij de aanvang van het onderzoek werd verwacht dat een mosselbank na vestiging in eerste instantie zou bestaan uit mosselen op een sliblaag, en dat na verloop van tijd het aandeel schelpresten in de basis zou toenemen en bij zou dragen aan de stabiliteit. Daarom zijn monsters genomen met een steekbuis tot een diepte van 30 cm. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 4-12. Uit de figuur is geen ondersteuning te vinden voor deze hypothese.



Figuur 4-12 Voorbeelden van de samenstelling van de bovenste 30 cm van een mosselbank



Vervolg Figuur 4-12 Voorbeelden van de samenstelling van de bovenste 30 cm van een mosselbank



Vervolg Figuur 4-12. Voorbeelden van de samenstelling van de bovenste 30 cm van een mosselbank

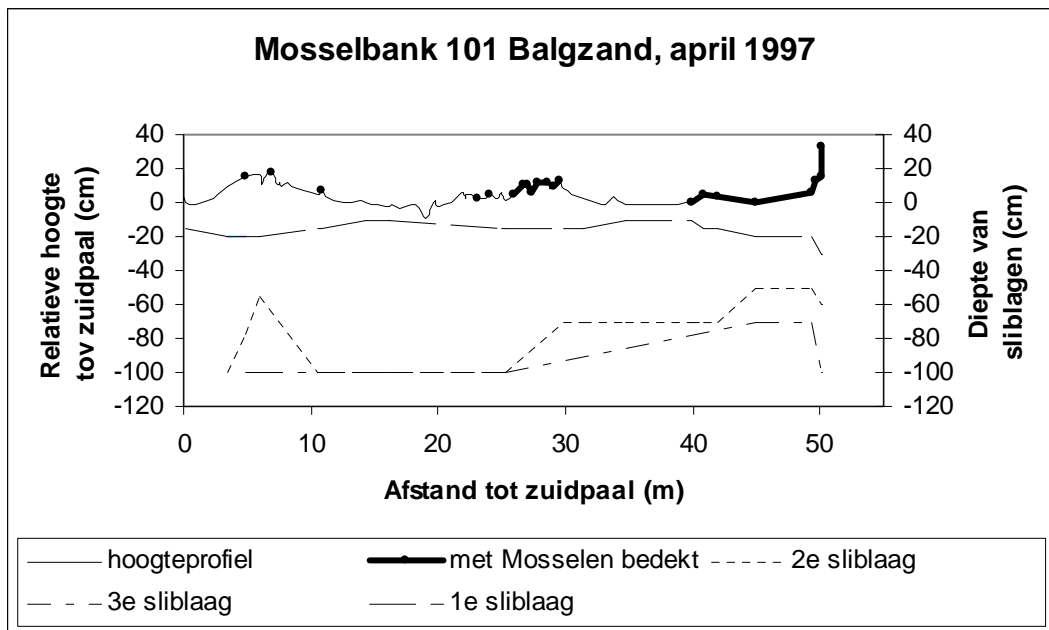
Uit de slibdiktemeting bleek dat soms meerdere oude harde lagen tussen het oppervlak en de onderliggende zandbodem voorkwamen. De laag was voelbaar met een prikstok, maar het is niet bekend of de betreffende laag bestond uit schelpmateriaal of zand. De resultaten zijn gepresenteerd voor de verschillende 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 schelplaag aanwezig is. De onderste laag geeft nagenoeg altijd de oorspronkelijke zandbodem aan.

Bank 101

In Figuur 4-13 en 4-15 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.

Bank 101

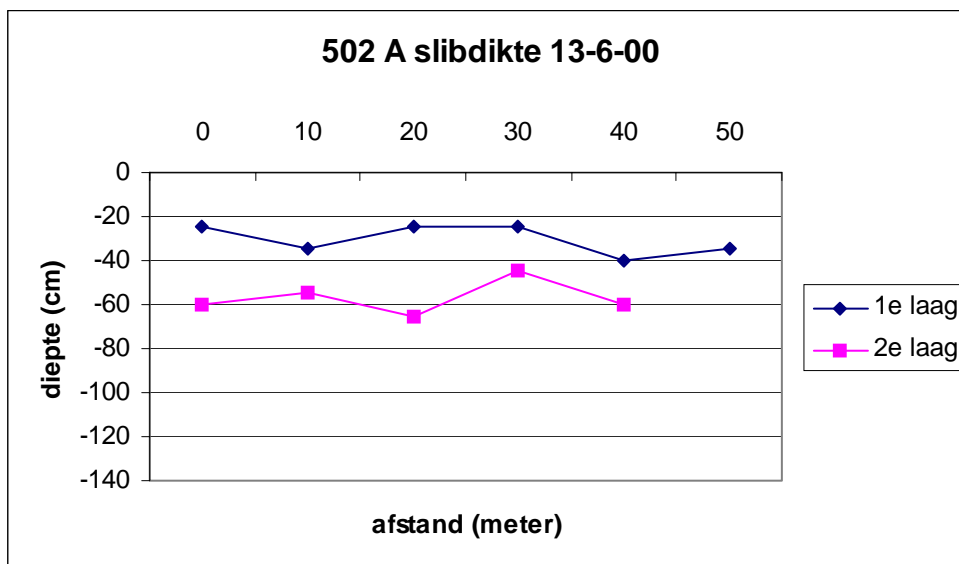
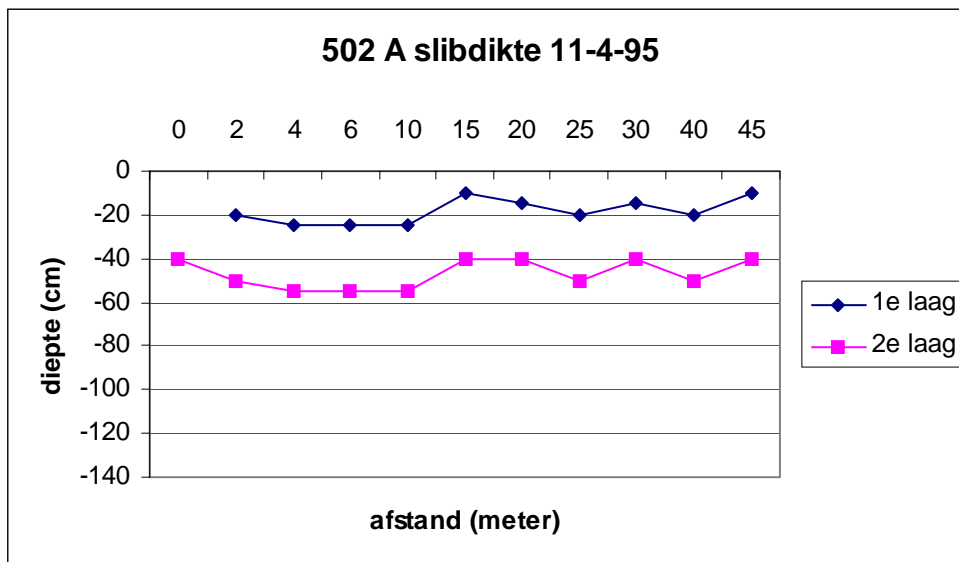
Onder de mosselbank bevinden zich 2 duidelijke schelp of zandlagen op een diepte van 20 en 60-80 cm. De oorspronkelijke zandbodem bevindt zich op ongeveer 1m onder het oppervlak van de mosselbank (fig.4.13)



Figuur 4-73 Schelplagen van oude mosselbanken onder bestaande bank op het Balgzand

Bank 502

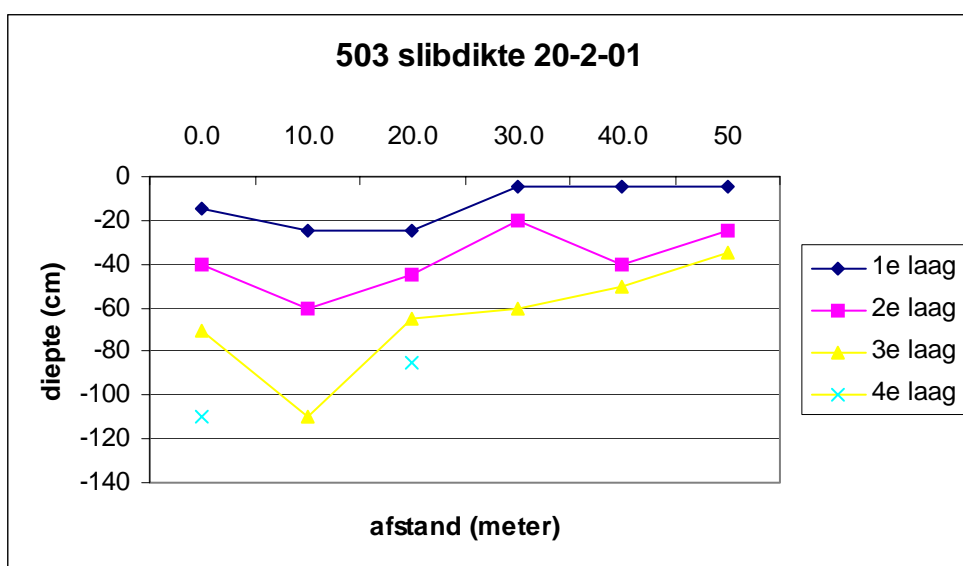
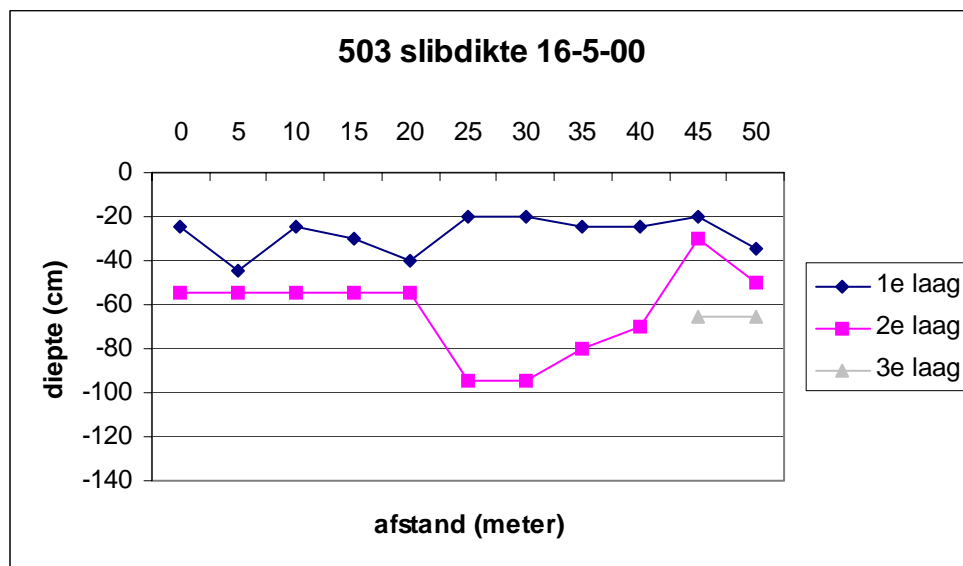
Op de bank waren bij de eerste meting in 1995 duidelijk een harde laag op 20 cm diepte en de bodem bij 40-60 cm. Dit beeld was constant tot de laatste meting in 2001 waarbij de bovenlaag dikker werd.



Figuur 4-13a Harde lagen onder een mosselbank bij Ameland

Bank 503

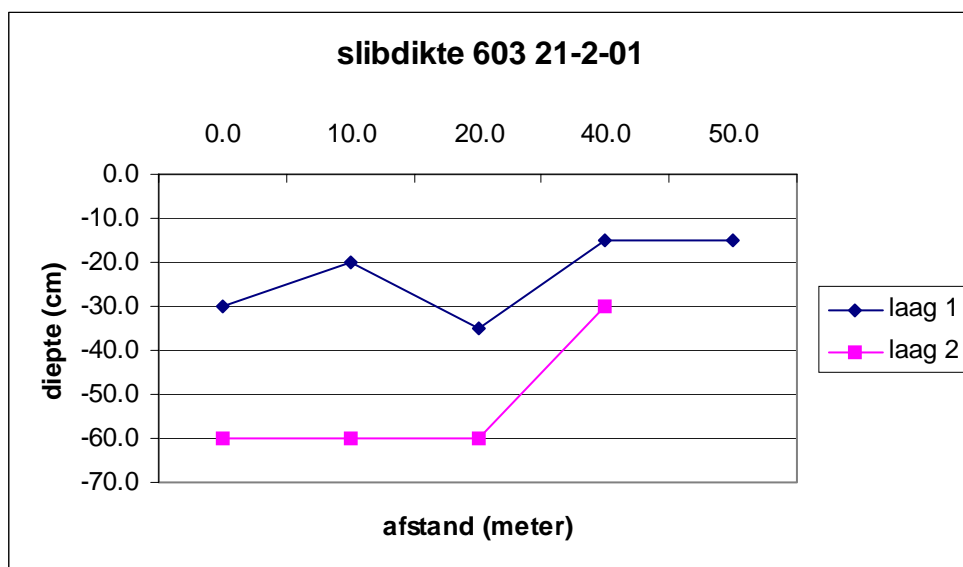
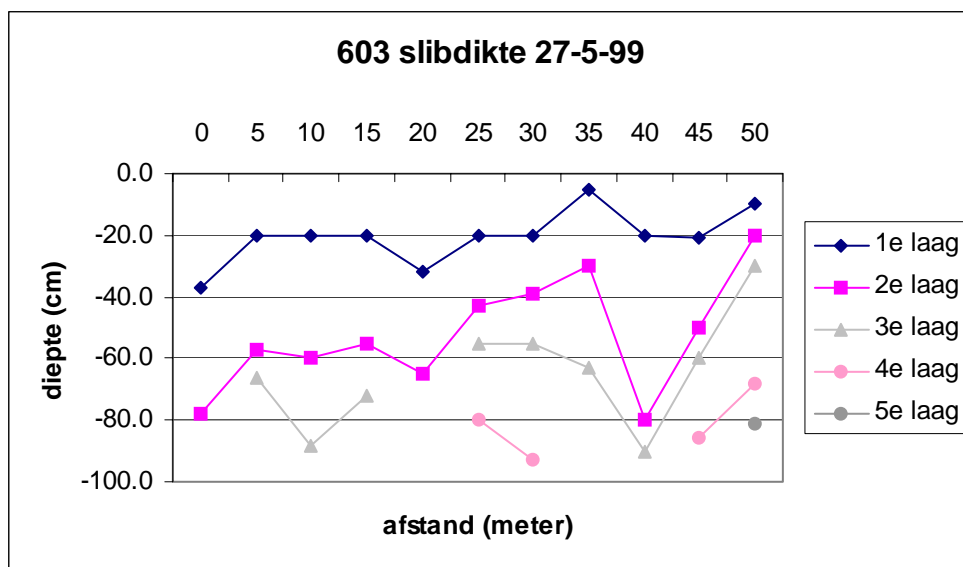
De harde ondergrond bevindt zich gedurende de gehele meetperiode op 40-100 cm diepte (Figur 4-13 b). In het eerste jaar is sprake van mosselruggen waardoor de eerste harde laag op variabele diepte voorkomt. Later wordt het bankoppervlak vlakker, en bevindt de eerste harde laag zich op ongeveer 20 cm diepte.



Figuur 4-13b Harde lagen onder een mosselbank bij Ameland

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 80-100 cm diepte komt te liggen (Figuur 4-13c).



Figuur 4-13c Harde lagen onder een mosselbank bij Schiermonnikoog

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. Door gebrek aan mankracht zijn de profielen nog niet geanalyseerd. Wel werd duidelijk dat verschillende lagen van oudere banken boven elkaar voorkwamen. Uit vergelijkbaar onderzoek in Duitsland bleek uit de lengtes van de mosselen in de verschillende lagen dat banken tientallen jaren oud moesten zijn (Hertweg & Liebezeit 1996, 2002).

5 Het mosselbankecotoop

Mosselbanken bestaan uit mosselen en een flora en fauna die gebruik maakt van de stabiliteit van de bank (hard substraat) of de ruimtelijke structuur zoals permanente poelen en ruimten tussen mosselen.

Mosselbroed dat valt tussen oude mosselen heeft een grotere overlevingskans dan vrijliggend broed, zowel vanwege aanhechtingmogelijkheden als bescherming tegen predatie.

Op de mosselbanken werd jaarlijks een aantal monsters van 1/20 m² genomen en deze werden geanalyseerd waarbij de mosselen individueel gemeten werden en de gewichten van algen, zeepokken, lege mosselschelpen en grove schelpresten werden gemeten. De populatiegegevens werden omgerekend tot gemiddelden per m². De lengtefrequentie verdelingen van de mosselpopulaties van de verschillende banken in de verschillende jaren zijn weergegeven in histogrammen in figuur 5.1. In de figuren zijn aangegeven het banknummer, het jaar en de maand van bemonstering.

-Populatieontwikkeling

Bank 101

Uit het histogram blijkt dat de bestaande bank uit 1992 in elk geval in 1994 en 1996 een grote zaadval heeft gehad, en dat in 1996 en 1997 sprake was van een redelijke zaadval. Niet elk jaar is succesvol, zoals blijkt uit het ontbreken van zaad uit 1998 en 1999, terwijl in 1999 wel nieuwe zaadbanken ontstonden buiten de bestudeerde bank. Pas in 2000 trad weer enige zaadval op zoals blijkt uit de voorjaarsbemonstering van 2001

Bank 502

Zowel in de patches in het oostelijk (a) als westelijk (b) deel van de bank is de groei van de oorspronkelijke broedval zichtbaar. In het eerste jaar neemt de dichtheid sterk af. Daarna maar langzaam. Elk jaar is broedval herkenbaar, alleen in 2000 was het minimaal (zie bemonstering 2001-2). Echt goede zaadval trad op in 2001 en 2002. In 2001 was sprake van goede broedval op alle droogvallende platen in de oostelijke Waddenzee, maar in 2002 was de broedval op de platen minimaal. Bank 502b (het in 1995 beviste deel) waar de dichtheid van de mosselen minder was bleef achter wat betreft broedval.

Bank 503

Deze bank is gevolgd vanaf 1998, en ook hier is de jaarlijkse broedval herkenbaar. De grootte van de mosselen en de dichtheid zijn vergelijkbaar met de nabijgelegen bank 502.

In het laatste monsterjaar is de broedvalpiek van 2001 nog duidelijk herkenbaar, maar ook is een redelijk grote hoeveelheid broed uit 2002 aanwezig

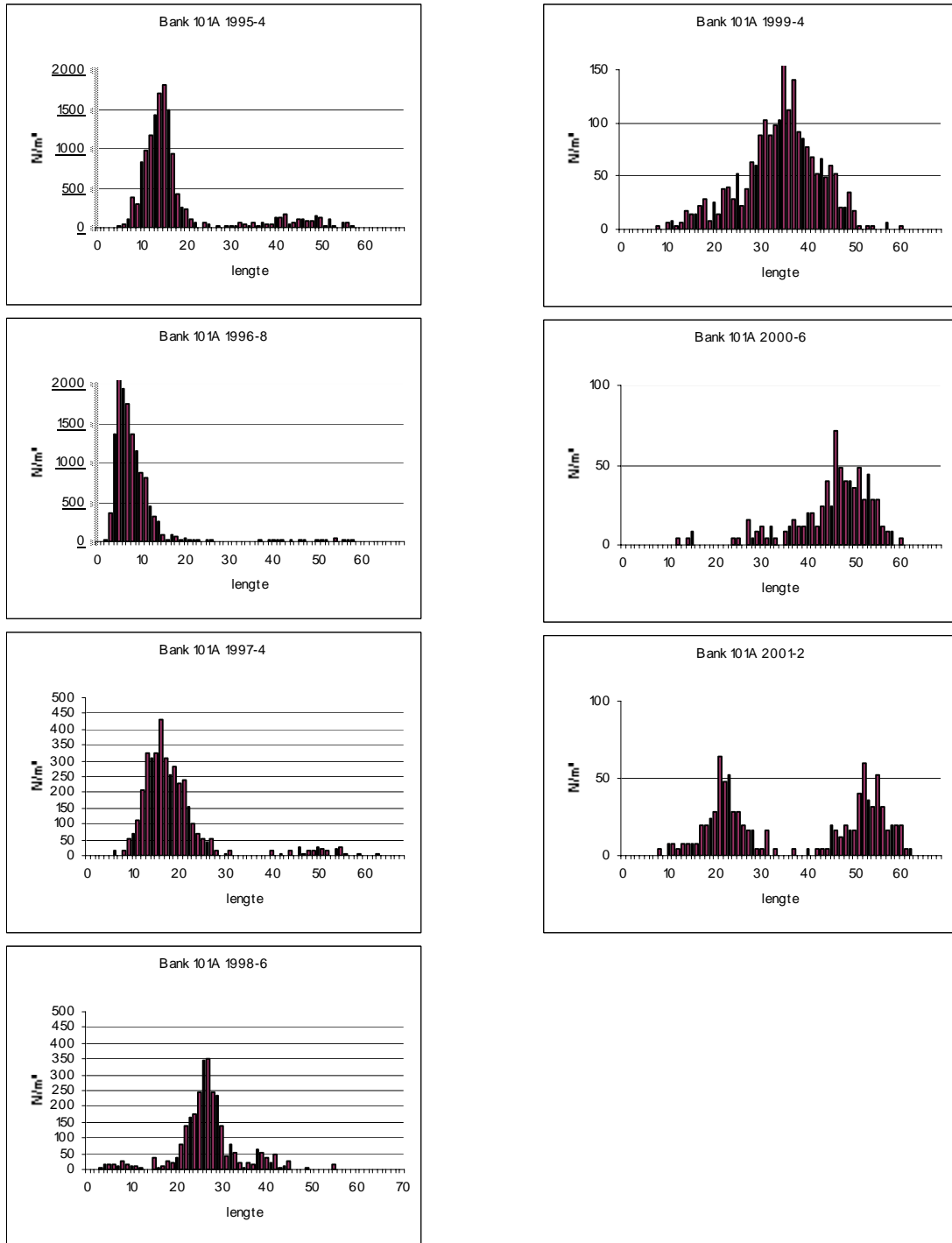
Bank 603

Uit fig 5.1 blijkt dat de mosselbank ontstaan is uit de broedval van 1994, en de populatie vertoont een normaal beeld in het najaar van 1995 als ook broed van dat jaar zichtbaar is. In 1996 is niet gemeten omdat de bank nagenoeg geheel verdwenen was na de winter. Op de resten viel broed dat in mei 1997 goed gegroeid is. Ook is een tweede broedvalpiek zichtbaar, waarschijnlijk uit het late najaar van 1996. De populatie ontwikkelt zich zoals op andere banken maar er vindt weinig broedval plaats. In 2001 treedt een sterke verjonging op, en dat broed komt in de metingen van 2002 en 2003 tot uiting. Ook hier is een redelijke broedval uit 2002 herkenbaar

Banken 606, 607 en 703

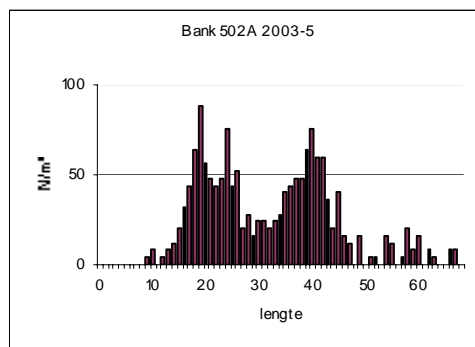
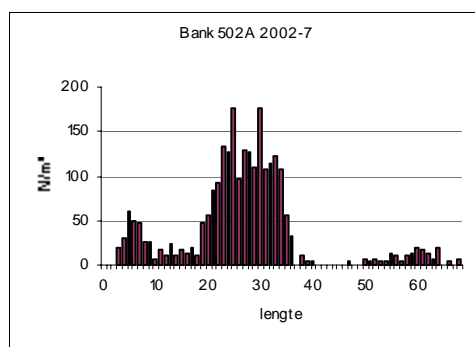
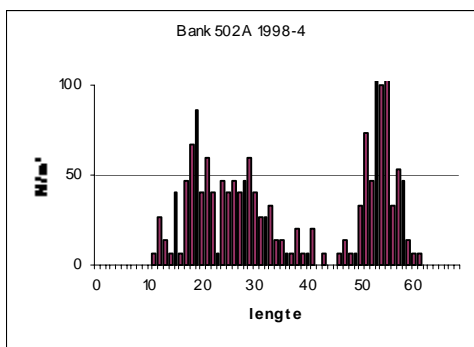
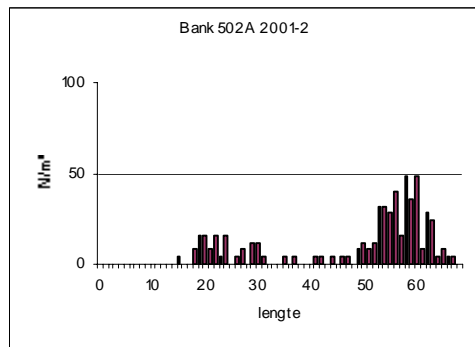
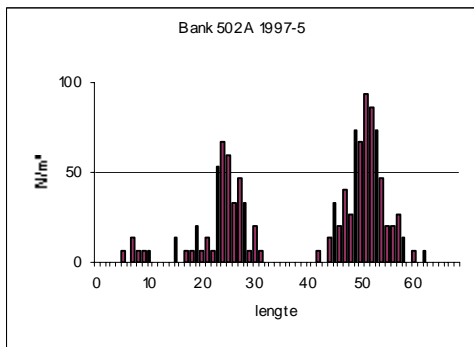
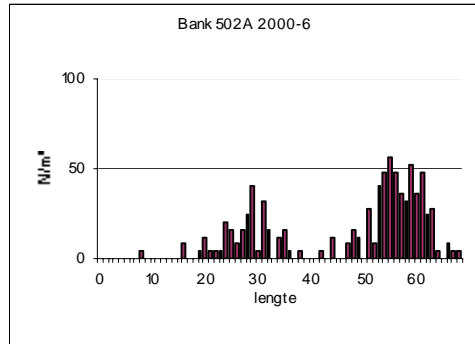
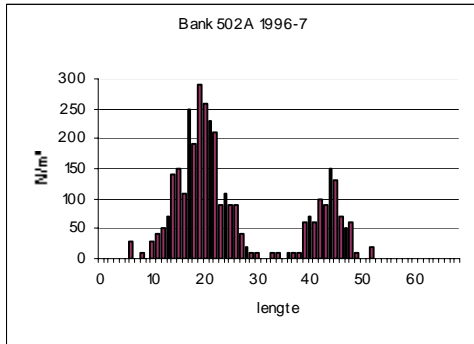
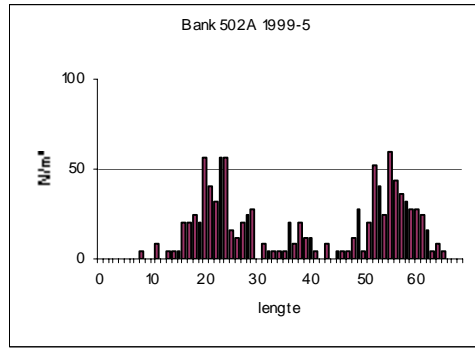
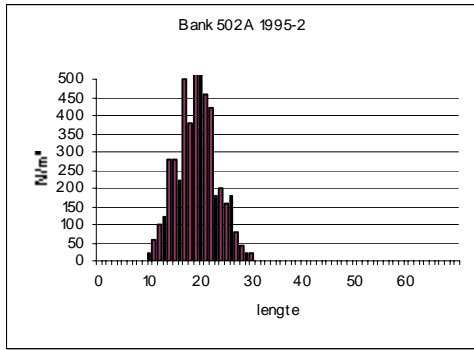
Deze banken zijn voor het eerst bemonsterd in 2003. Ze zijn ontstaan in 2001. Vooral in bank 607 zijn kleine hoeveelheden broed uit 2002 aanwezig, en in de monsters zijn ook nog de mosselen aanwezig van de kern van de bank die in 2000 al aanwezig was. Hoofdzakelijk broed uit 1999, maar wellicht ook resten uit 1994.

Bank 101A



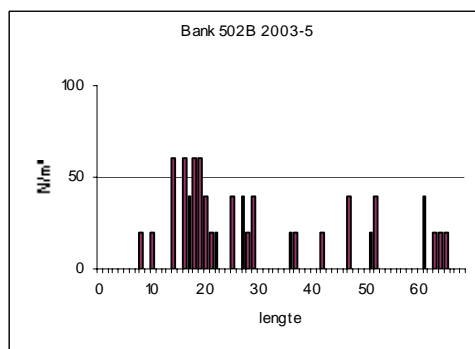
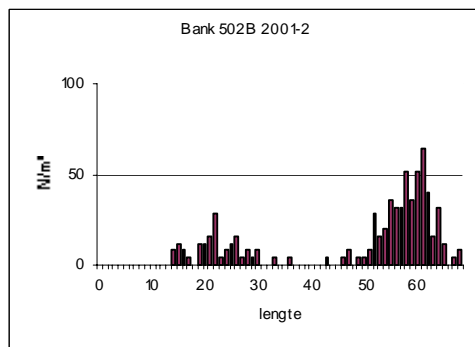
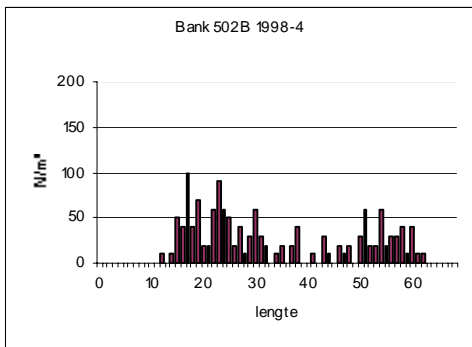
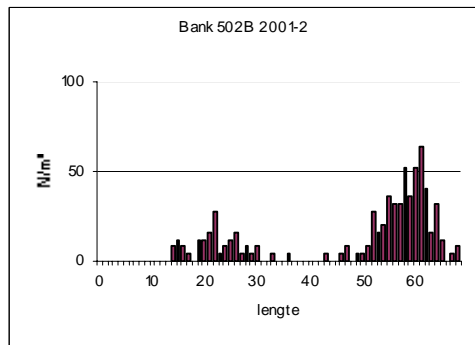
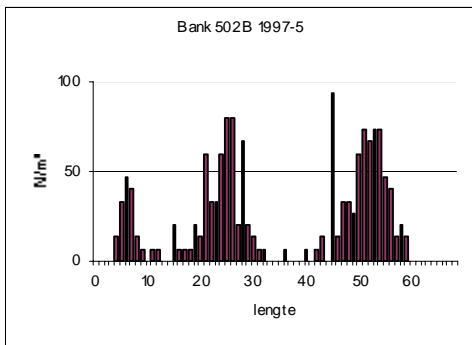
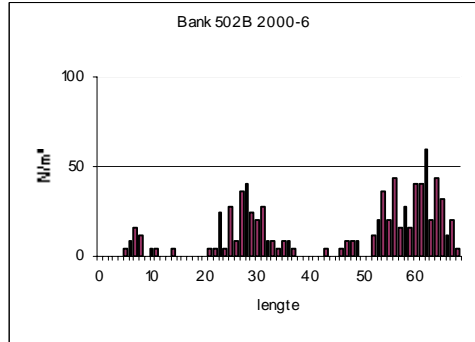
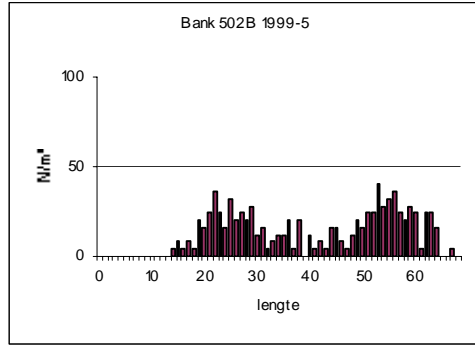
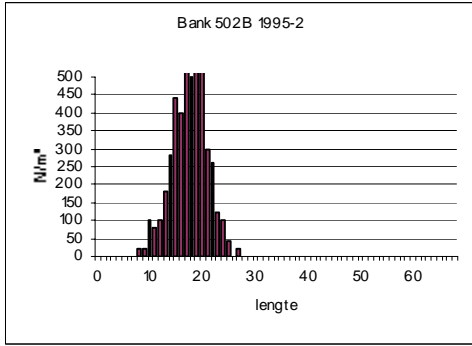
Figuur 5-1 Histogrammen met frequentieverdelingen van de mosselen op een aantal mosselbanken

Bank 502A



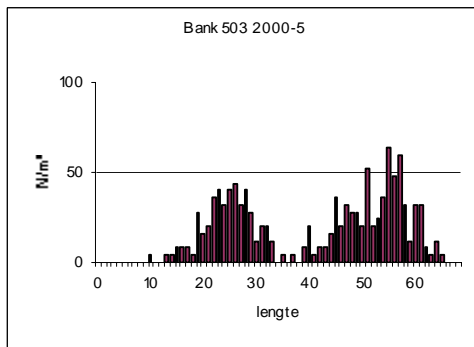
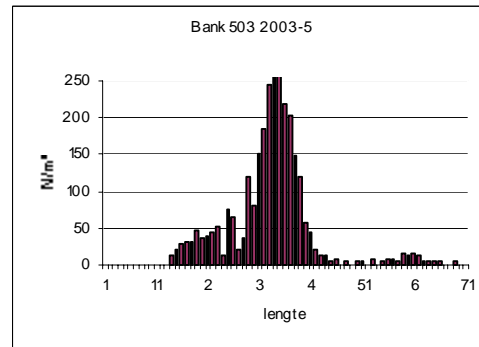
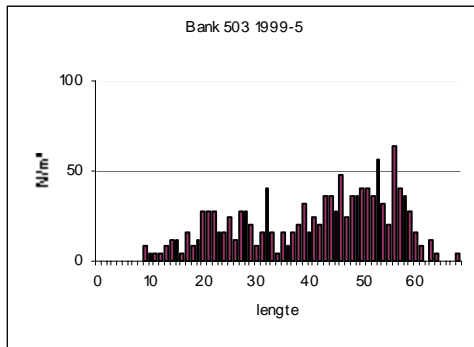
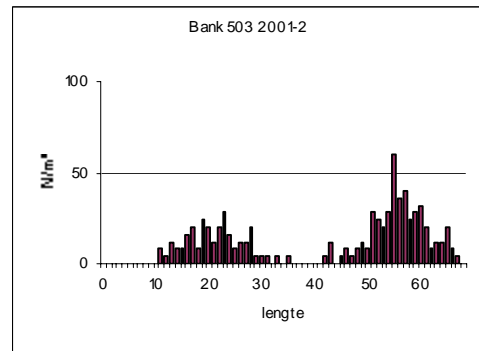
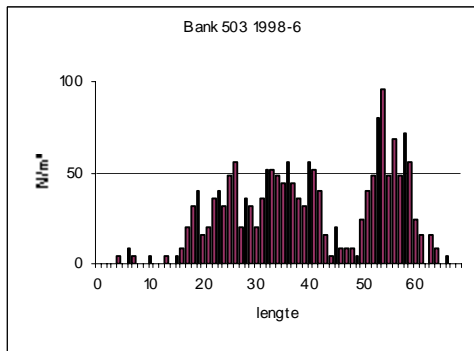
Vervolg Histogrammen met frequentieverdelingen van de mosselen op een aantal mosselbanken

Bank 502B



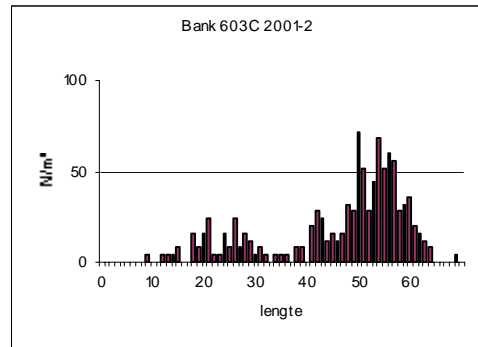
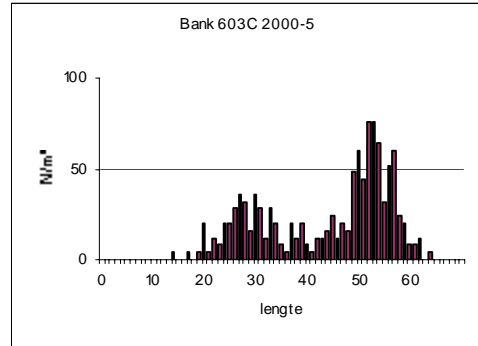
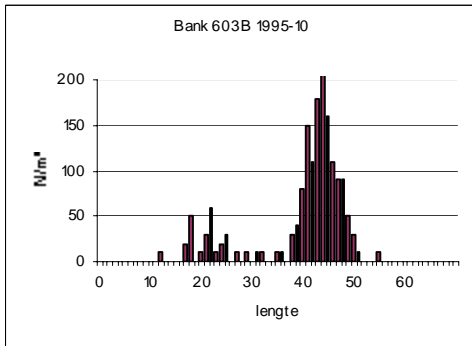
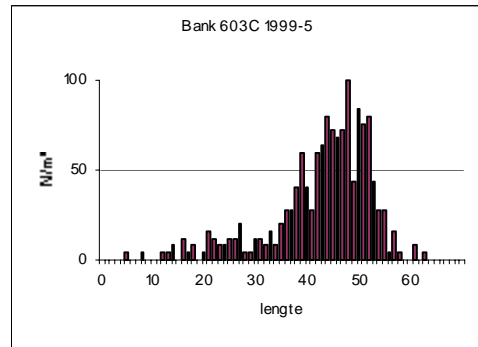
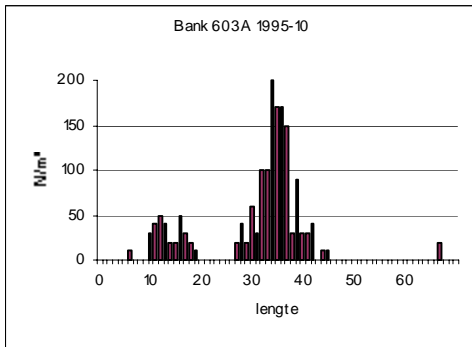
Vervolg Histogrammen met frequentieverdelingen van de mosselen op een aantal mosselbanken

Bank 503

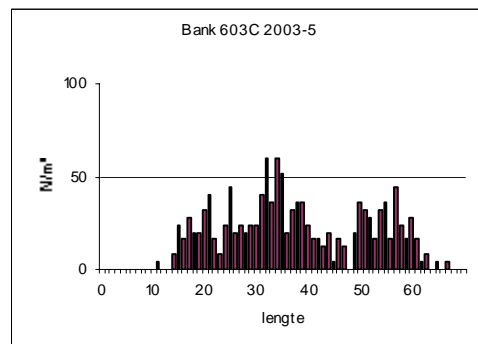
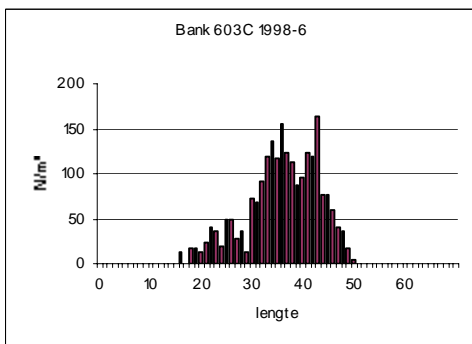
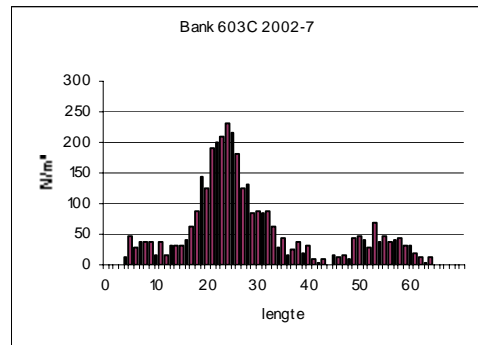
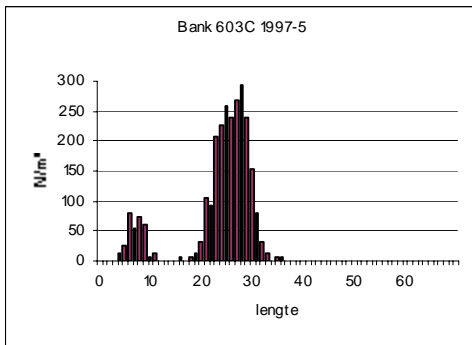


Vervolg Histogrammen met frequentieverdelingen van de mosselen op een aantal mosselbanken

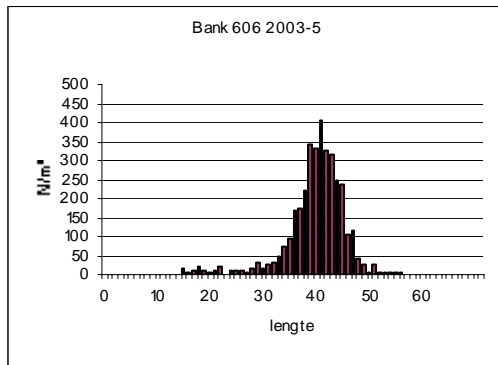
Bank 603 A, B



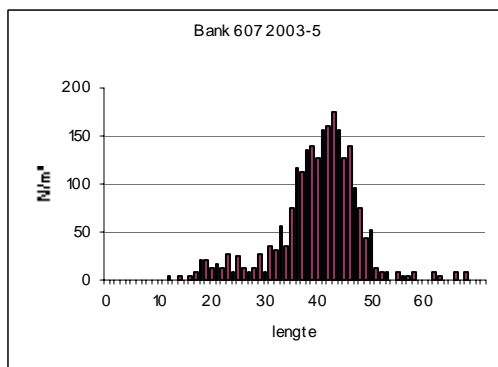
Bank 603 C



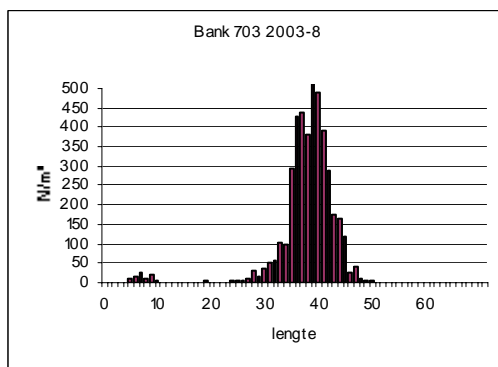
Bank 606



Bank 607



Bank 703



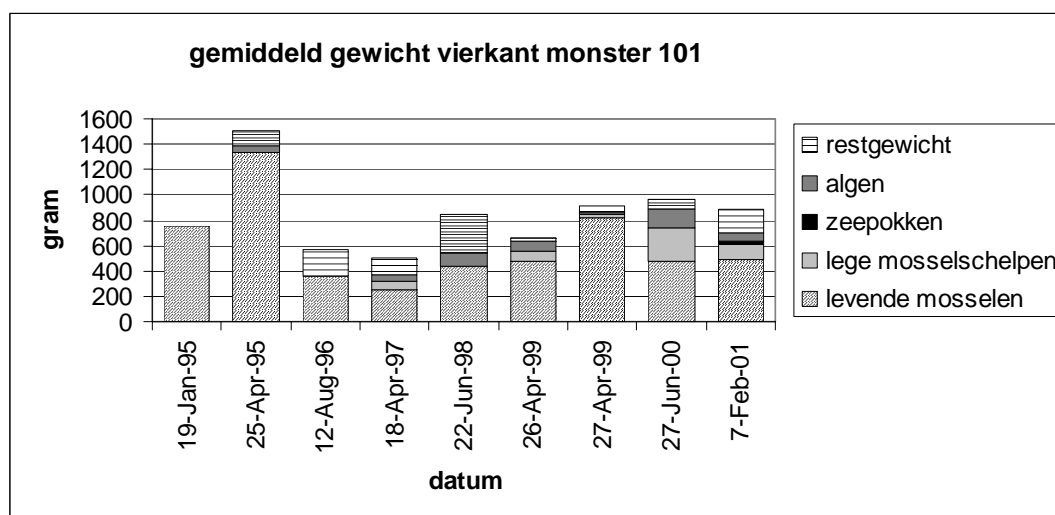
Vervolg Histogrammen met frequentieverdelingen van de mosselen op een aantal mosselbanken

-Biocoenose

Een mosselbank met alle erbij horende soorten kan een biocoenose (levensgemeenschap) genoemd worden. De complexiteit komt enigszins tot uiting als van de oppervlakte monsters de samenstelling nader geanalyseerd wordt. Wij hebben ons vooral gericht op algen, zeepokken en lege mosselschelpen (die als ze vastzitten met byssusdraden een goed substraat bieden aan organismen zoals mosdiertjes, algen en mosselbroed). Wat betreft de samenstelling van de fauna die gelieerd is met mosselbanken is veel onderzoek bekend (Asmus, 1987; Dittmann, 1990). De monsters werden genomen op de met mosselen bedekte delen van de bank. In totaal werden per bank 5 monsters genomen. In de figuren wordt het gemiddeld gewicht van de 5 monsters gegeven.

Bank 101

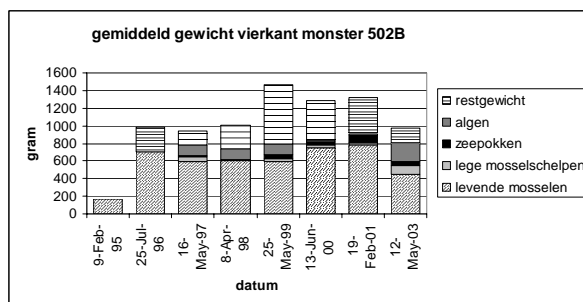
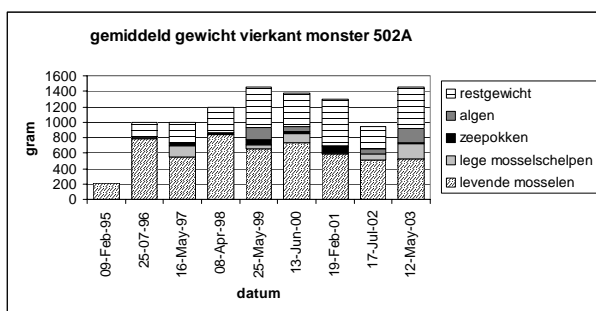
Uit Figuur 5-2 blijkt dat het gewicht aan mosselen in eerste instantie afneemt, maar zich daarna stabiliseert op 400-500 gram per 1/20 m². In 2000 is er een duidelijke toename van lege mosselschelpen wat duidt op sterfte. Vanaf 1997 neemt de begroeiing met algen toe, evenals de bezetting met zeepokken.



Figuur 5-2 Samenstelling van een monsters van het oppervlak van een mosselbank op het Balgzand

Bank 502

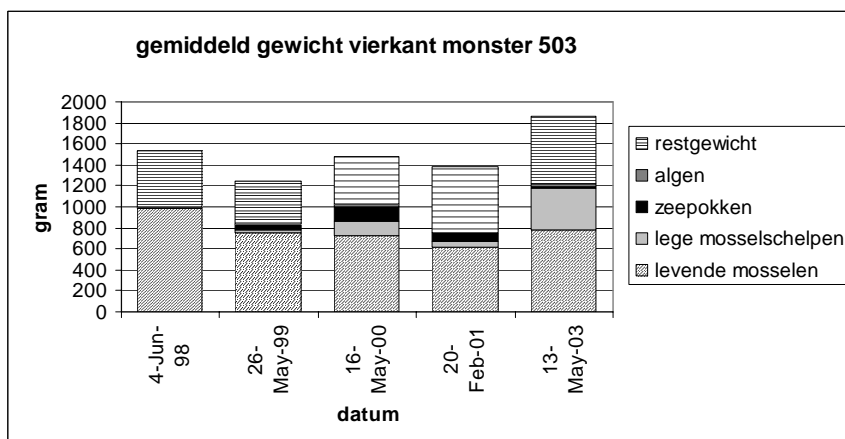
Het gewicht aan mosselen is in het eerste jaar zowel in het beviste deel (b) als in het onbeviste laag (a) (Figuur 5-3). Het monster bestond nagenoeg geheel uit jonge mosselen die los op het onderliggende slib lagen zonder schelpresten. Daarna neemt het mosselgewicht toe en stabiliseert rond de 12 kg per m². In 1997 worden veel lege mosselschelpen gevonden. In de daaropvolgende jaren wordt de bank steviger en de oppervlaktelaag bestaat voor een belangrijk deel uit schelpgruis (restgewicht). Ook nemen de zeepokken sterk toe. Oesters komen in eerste instantie in kleine dichtheden voor, maar in 2001 treedt een goede oesterbroedval op, vooral op de meer zeewaarts gelegen mosselbulten. De dichtheid van de oesters neemt toe tot meer dan 100 per m².



Figuur 5-3 Samenstelling van monsters van het oppervlak van mosselbanken bij Ameland

Bank 503

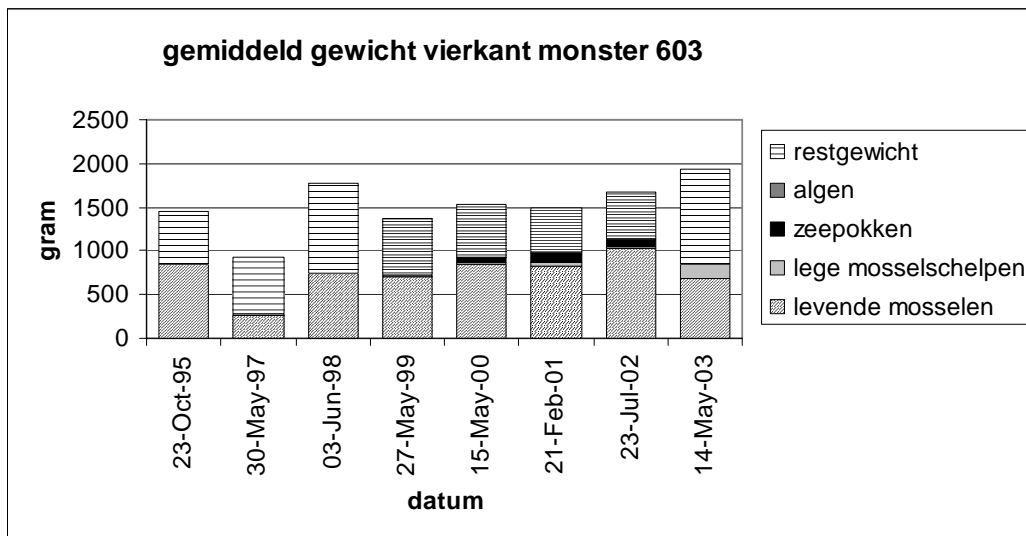
Deze bank wordt gevolgd vanaf 1998 (Figuur 5-4), en ook hier is vanaf dat jaar een verbazend stabiele biomassa te herkennen van ruim 600 g per monster van 1/20m². Hier worden relatief veel lege mosselschelpen gevonden in 2000, evenals veel zeepokken in dat jaar. De hoeveelheid schelpgruis is redelijk constant. Vanaf 2003 komen veel algen voor.



Figuur 5-4 Samenstelling van monsters van het oppervlak van een mosselbank bij Ameland

Bank 603

Deze bank bestaat uit mosselen van ruim 4 cm in 1995 met relatief veel schelpgruis (Figuur 5-5). In 1996 is de mosselbedekking nagenoeg geheel verdwenen, en van af 1997 wordt de bank weer gevolgd. Hij bestaat dan uit een lage biomassa zaadmosselen uit de 1996 broedval, en een grote hoeveelheid schelpgruis. De mosselbiomassa neemt toe tot ruim 16 kg/m². Op de bank komen nauwelijks algen voor en de mosselen raken rijk bezet met pokken maar de pokken biomassa neemt sterk af in 2003. Oesters komen uiteindelijk (2003) voor in kleine dichtheden (minder dan 1 per m²).



Figuur 5-5 Samenstelling van monsters van het oppervlak van een mosselbank bij Schiermonnikoog

6 Ontwikkeling van een aantal banken uit de 2001 broedval, met nadruk op de invloed van stormen

6.1 Inleiding

Bij het bestuderen van de invloed van stormen moet een onderscheid worden gemaakt tussen twee groepen variabelen. Degene die het wegslagrisico bepalen en de groep die de stevigheid van de mosselbank bepaalt.

Variabelen die het wegslagrisico bepalen

De variabelen die het wegslagrisico van de mosselbank bepalen kunnen verder onderverdeeld worden in met stormen samenhangende processen en morfologische variabelen.

Processen die het wegslagrisico van mosselbanken bepalen:

- golven
- stroming

De invloed van die processen wordt voor een groot deel door de morfologie bepaald.

Onder de morfologie vallen de variabelen:

- expositie van de mosselbank
- ligging van de geulen
- richting t.o.v. wind t.o.v de mosselbank
- hoogte waarop de mosselbank ligt
- patchgrootte binnen de mosselbank

Variabelen die de stevigheid bepalen

- dichtheid van de mosselen
- hechting van de mosselen
- ondergrond
- samenstelling van de mosselpopulatie
- algengroei tussen en op de mosselen

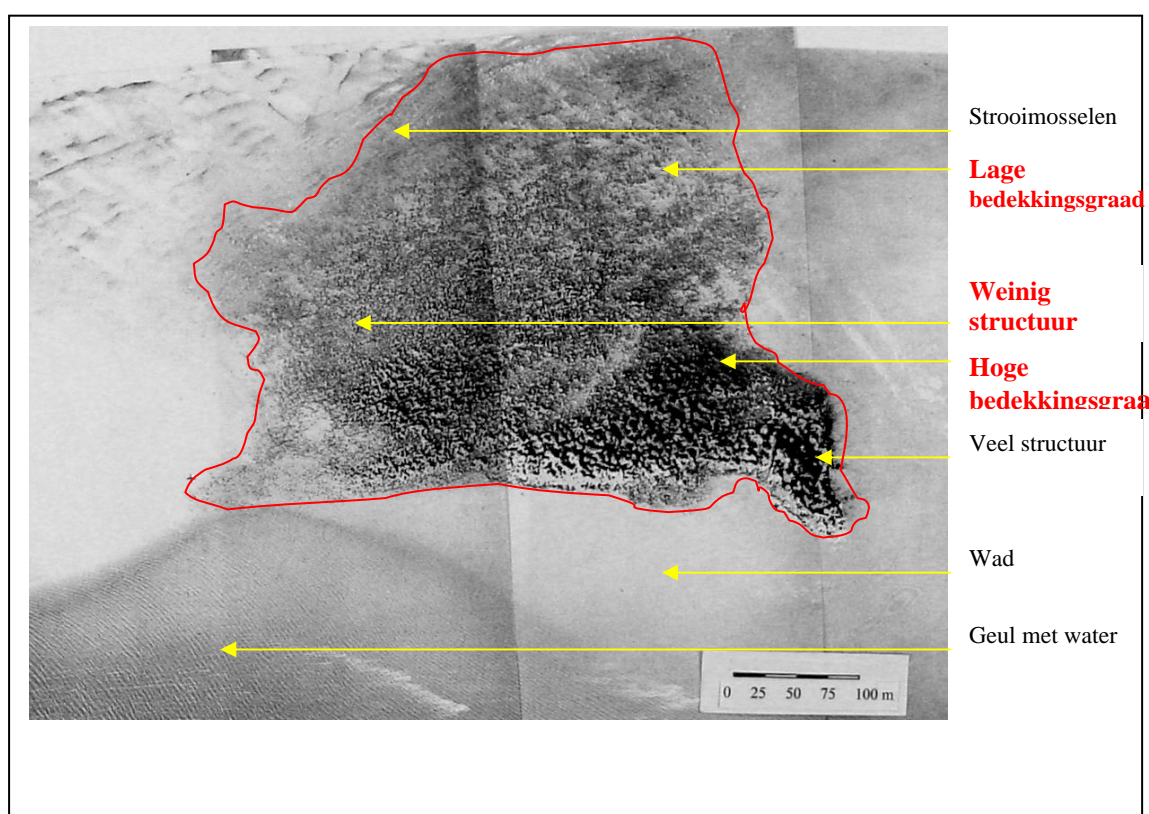
Welke factor of factoren het belangrijkste zijn voor het overleven van mosselbanken is niet bekend. Verwacht wordt dat vooral de golfwerking en de stroomsnelheden bepalen welke banken in de eerste winter weggeslagen worden. Dit geldt vooral bij jonge banken die nog niet in de ondergrond verankerd zijn. Op een harde ondergrond is deze variabele veel minder van belang. Bij banken die meer dan een winter oud zijn, wordt de stabiliteit waarschijnlijk bepaald door de samenstelling van het sediment onder en tussen de mosselen, de dichtheid van de mosselen en de onderlinge hechting.

Uit literatuur blijkt tevens dat mosselen zich weren tegen het losslaan door storm door sterkere byssusdraden te vormen (Hunt & Scheibling, 2001). Door storm kunnen de mosselen echter onder een laag sediment komen en daardoor sterven (Brinkman et al., 2002). Wanneer de mosselen op een vaste ondergrond zitten of

weinig geëxponeerd zijn kunnen ze daarentegen overleven. Wanneer een bank dicht begroeid is wordt er veel pseudo-faeces en faeces geproduceerd, de bank hoogt snel op en er vindt nog geen consolidatie plaats. Doordat de bank hoog ligt wordt deze beïnvloed door golven, en omdat de bank slecht aan de ondergrond vast zit, kan de bank makkelijk verdwijnen (Bouma, 1996 en Nijlunsing, 1995).

In dit onderzoek werd hoofdzakelijk gekeken naar het wegslagrisico. Hiervoor worden luchtfoto's gebruikt. In totaal zijn er 25 mosselbanken in de Waddenzee gefotografeerd waarvan er (door tijdgebrek) 20 zijn gebruikt voor analyse. Een groot deel van deze banken werd tevens bestudeerd in het kader van het EVA-II Jan Louw project (Smaal et al 2004). Niet alle hiervoor genoemde variabelen kunnen uit de foto's worden afgeleid. De dichtheid wordt globaal meegenomen, omdat dit ook goed te zien is op de luchtfoto's. De dikte van de mossellaag is niet op de foto's te zien.

In Figuur 6-1 is een voorbeeld gegeven van een luchtfoto met een mosselbank waarop de verschillende onderdelen van een karakteristieke bank zijn aangegeven.



Figuur 6-1 Mosselbank; Rood is de omtrek van de mosselbank. De strooimosselen horen niet bij een mosselbank, maar een hele lage bedekking wel. Het verschil is moeilijk te zien

De donkere vlekken zijn mosselen. De lichte structuren zijn zand of slibplaten. In de mosselbank zijn verschillende structuren te herkennen die ontstaan doordat mosselen zich met de byssusdraden naar elkaar toetrekken.

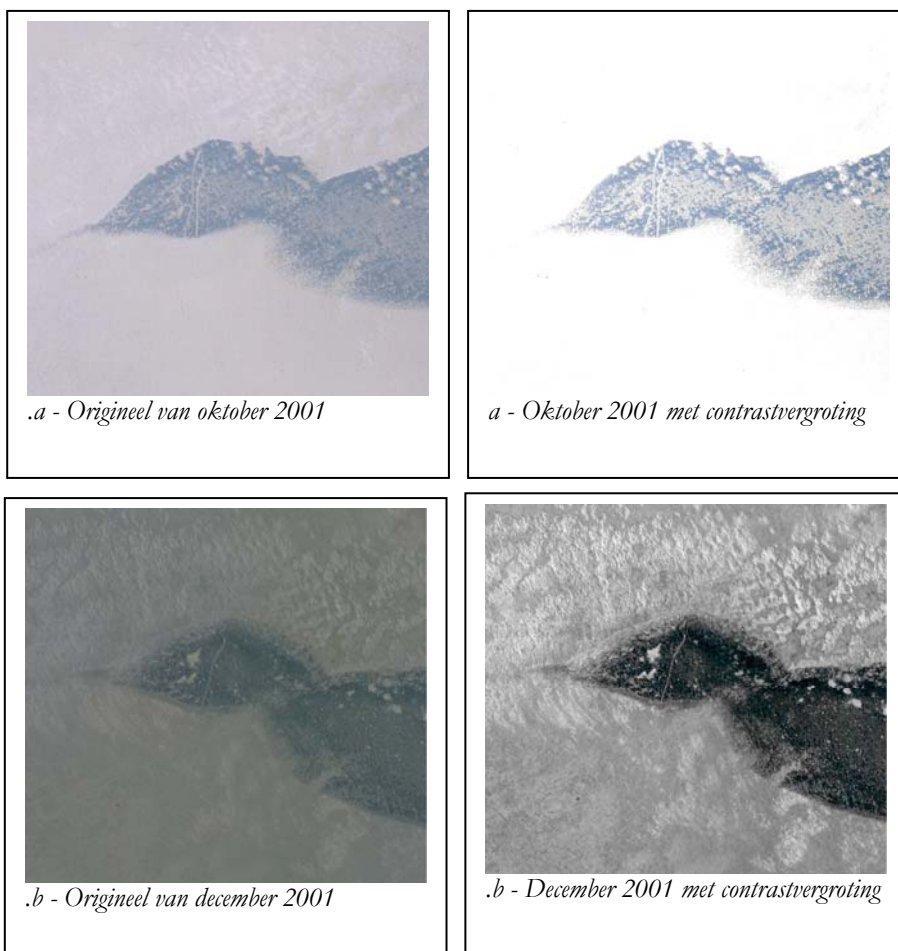
Er waren foto's beschikbaar van oktober 2001, december 2001, januari 2002, april 2002 en juni 2002. De in deze rapportage aangehouden naamgeving van de banken is identiek met de namen of nummers uit het Jan Louw project.

Voor het beantwoorden van de vraag wat het wegslagrisico van mosselbanken bepaalt, zijn dia's van geringe hoogte (1000m) gebruikt, waarop een twintigtal (delen van) banken staan. Een dia is 10 x 12 cm en geeft 484 x 616 m weer. De nummering van de banken loopt op in oostelijke richting. Van de banken zijn dia's gemaakt op de volgende data: 12-10-01, 11-12-01, 25-01-02, 24-04-02 en 25-06-02. In de periode tussen oktober en december heeft op een deel van de banken een experimentele bevissing plaatsgevonden. Omdat het onderzoek zich richtte op de invloed van stormen zijn daarom de dia's van december als uitgangssituatie gekozen. Vóór december waren er nog geen zware winterstormen geweest. Tijdens de onderzoeksperiode was er een langdurige zware storm eind december, en in februari en maart twee korte maar hevige stormen.

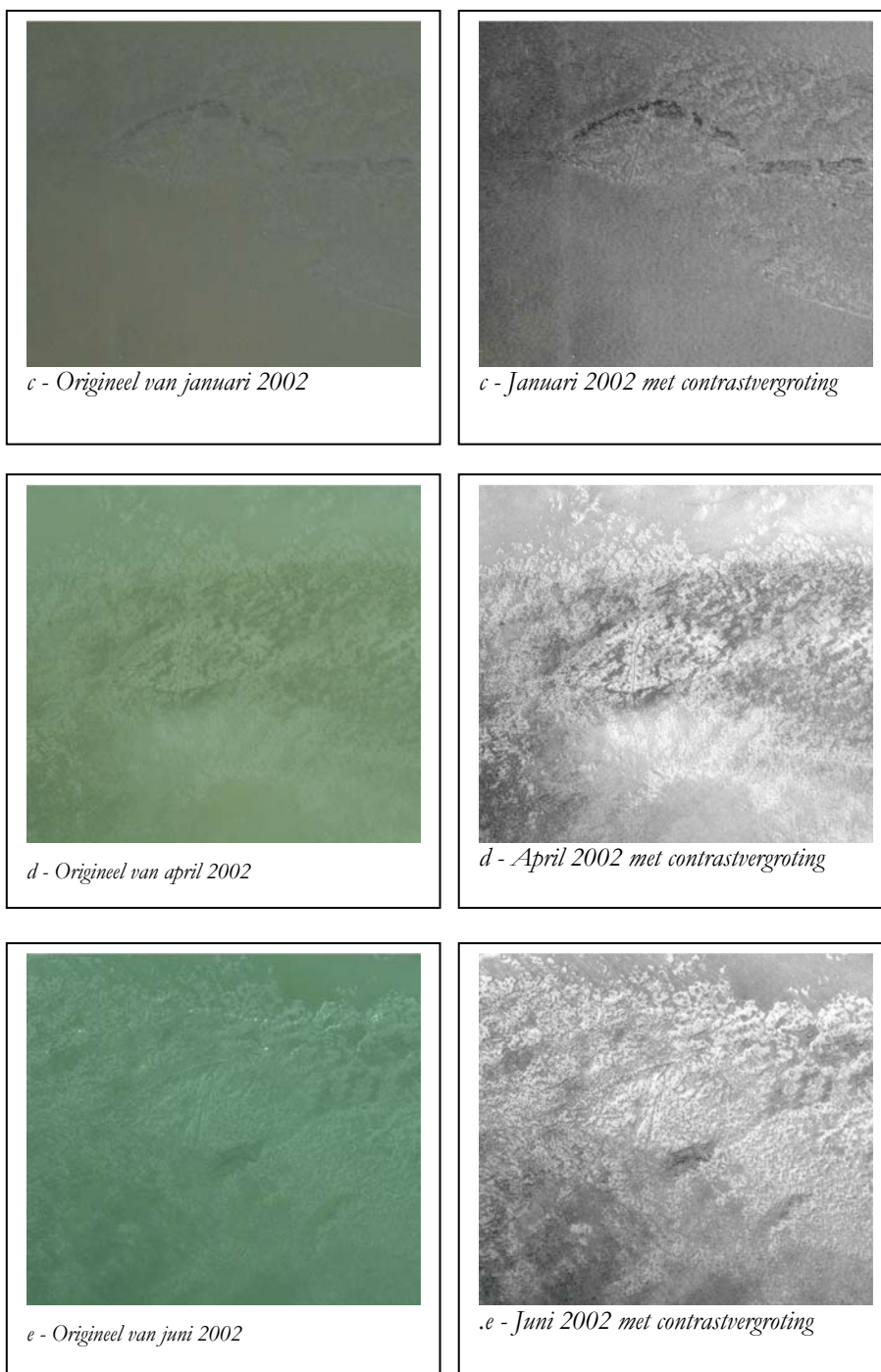
6.2 Methoden

6.2.1 Het maken van de overlays

De luchtfoto dia's waren ingescand. Om een duidelijker beeld te verkrijgen na uitprinten zijn de luchtfoto's met het grafische software pakket iPhoto Plus bewerkt om een groter contrast te krijgen. Figuur 6-2.a-e geeft een voorbeeld van bank ON-G.



Figuur 6-2 Voorbeelden van contrastvergroting van foto's van mosselbanken



Vervolg Figuur 6-2

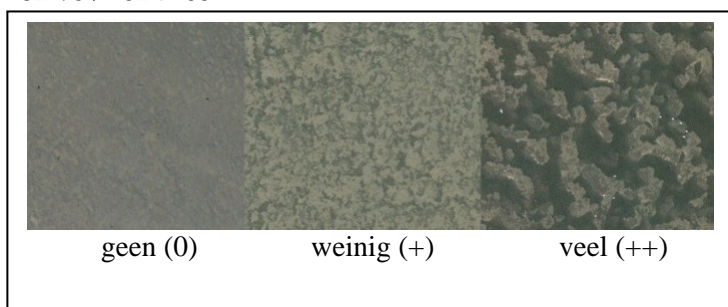
De uitgeprinte dia's zijn vervolgens aan elkaar geplakt. Dit is gedaan door op de lichtbak gelijke structuren over elkaar heen te plaatsen. Met de ingescande dia's op het computerscherm en de uitgeprinte versie zijn op overlay papier de omtrekken van de bank en delen met verschillende dichtheid aangegeven.

Mosselbank overlays zijn gemaakt voor december 2001, januari 2002 en april 2002 of juni 2002. De foto's van januari zijn de eerste na de storm van december. De foto's van april volgen op de januari en februari stormen. Indien de foto's van april niet duidelijk waren is er voor gekozen om de foto's van juni te gebruiken.

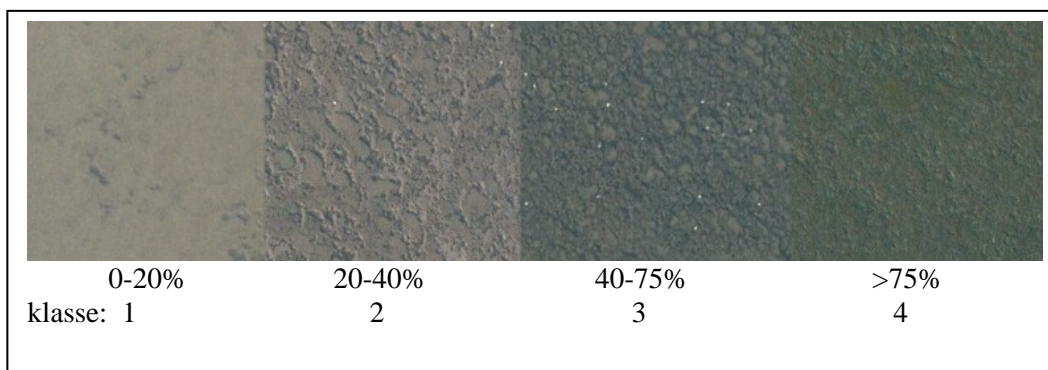
Om de overlays van de verschillende foto's over elkaar te plaatsen werden karakteristieke structuurkenmerken gebruikt. Daarbij werd soms gebruik gemaakt van de foto's van oktober, en verder van op de mosselbank geplaatste bakens, kenmerkende geulstructuren etc.

6.2.2 Structuren in mosselbanken

Mosselbanken zijn opgebouwd uit patches. Verschillende delen mosselbank hebben verschillende structuren. In de overlays van de mosselbanken is aangegeven welke structuren te zien zijn en hoe hoog de bedekking is. Voor de structuur zijn de codes 0, +, ++ gebruikt (Figuur 6-3.) De bedekking is aangegeven in de cijfers één tot en met vier (Figuur 6-4). Deze staan voor de bedekkingklassen 0-20%, 20-40%, 40-75% en 75% en meer.



Figuur 6-3 Structuur klassen



Figuur 6-4 Bedekkingpercentage

6.2.3 Verschil kaarten

Met behulp van de overlays zijn verschilkaarten gemaakt voor de periode december - januari en december – april (fig 6.10). De kaarten zijn geplaatst in een kaart waarop omtrekken van mosselzaadbanken zijn aangegeven zoals gemeten in de RIVO najaarsinventarisatie van 2001.

6.2.4 Fysische variabelen

De fysische variabelen staan in kaarten die in Arc-Info bij Alterra aanwezig zijn. De GIS-informatie zit hierin in blokken van 50×50 m. De gegevens zijn verzameld voor verschillende habitatkaarten (o.a. Brinkman & Bult, 2002). Per bank zijn de hoogste en de laagste waarden van een variabele geselecteerd, en bij duidelijke verschillen tussen delen van de bank zijn deze afzonderlijk behandeld.

Omdat er van werd uitgegaan dat golfwerking een belangrijke variabele was zijn door golven opgewekte orbitaalsnelheden bepaald voor de verschillende banken. De orbitaalsnelheden zijn in opdracht van RIKZ zijn door Alkyon voor vier windrichtingen (NO, W, NW en ZW) berekend. Hierbij is van het model SWAN gebruik gemaakt (Holthuijsen et al., 2000). Dit is voor 8 waterstanden gedaan (-1.5 m NAP, -1, -0.5, 0, +0.5 +1, +1,5, +2). De maatgevende windsnelheden bij NO wind zijn 15m/s (dit is ongeveer 7 Beaufort, maar gemiddeld 7 Beaufort gedurende 48 uur impliceert 10 minutengemiddelden van bij benadering Beaufort 10), bij W wind 21m/s, bij NW wind 19m/s en bij ZW wind 21m/s. Voor de analyse zijn de maximale orbitaalsnelheden aan de bodem gebruikt voor de analyse.

De mate van invloed van golven is deels afhankelijk van de morfologie. Onder de morfologie vallen de expositie, de ligging van de geulen, de hoogte of diepte en de hiervan afgeleide droogvaltijd. Deze gegevens zijn als rasterbestand beschikbaar, en voor dit project door het RIKZ te Haren geïnterpoleerd naar een 50*50 m grid-bestand.

Sedimenteigenschappen zijn belangrijk voor de stabiliteit van het wad en de mosselbank en bepalen daardoor mede de overlevingskans van de mosselbank. Uit het RIKZ bestand waren mediane korrelgrootte van de deeltjes groter dan 16µm en het slibgehalte beschikbaar.

Omdat de in de winter van 2001 – 2002 opgetreden stormen alle uit west en zuidwest kwamen zijn de volgende variabelen die voor dit onderzoek gebruikt.

- WE: de orbitaalsnelheid die ontstaat bij wester storm (windsnelheden boven 20 m/s)
- SW: de orbitaalsnelheid die ontstaat bij zuidwester storm
- M16: de mediane korrelgrootte van de deeltjes groter dan 16µm.
- slib: het gewichtspercentage van de sediment deeltjes kleiner dan 63µm
- diepte: de hoogteligging ten opzicht van NAP.
- droogval: de tijd dat het wad droogvalt bij een gemiddelde getijcyclus uitgedrukt als percentage van de volledige getijcyclus.

6.2.5 Bewerking gegevens

Voor de banken is vervolgens aangegeven welke delen zijn weggeslagen en welke niet. Per bank is het gemiddelde van elke fysische variabele voor het weggeslagen deel bepaald. Voor de niet weggeslagen delen zijn ook de bijbehorende fysische variabelen gemiddeld per bank. De twee klassen, weggeslagen en niet weggeslagen delen, zijn op verschillende manieren geanalyseerd.

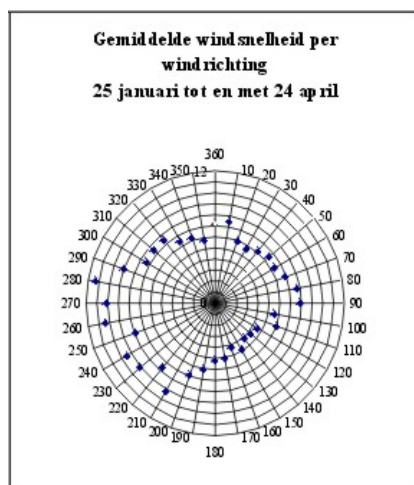
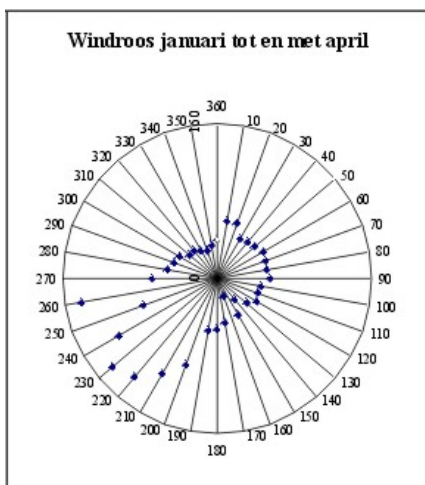
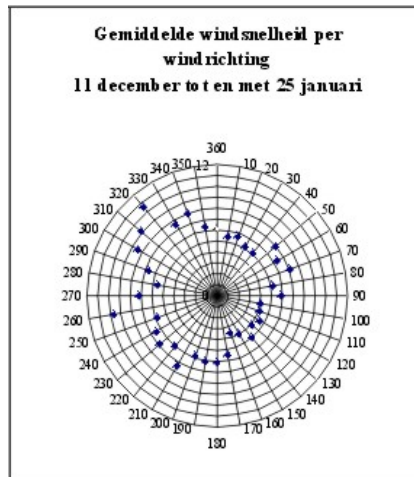
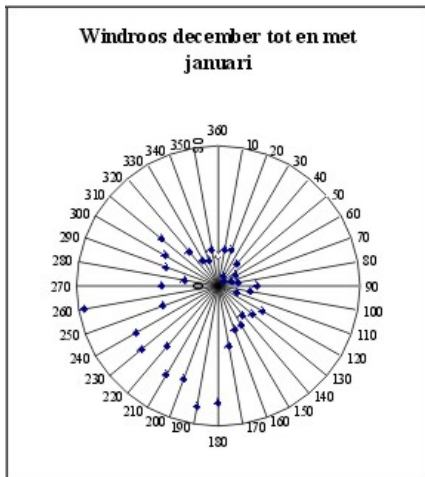
- Elke fysische variabele is ook in twee klassen, laag en hoog, ingedeeld om de weggeslagen en niet weggeslagen delen te vergelijken
- Van alle banken is vastgesteld met hoeveel klassen het bedekkingspercentage is afgenomen. Er is een scheiding gemaakt tussen een klein aantal klassen afname en een groot aantal klassen afname. Deze groepen zijn vergeleken met de fysische variabelen
- Er zijn gemiddelden uitgerekend voor de verschillende hoeveelheden klassen afname in bedekking

De banken zijn ook in hun geheel vergeleken door percentages uit te rekenen van de weggeslagen delen en het percentage overgebleven bank te vermenigvuldigen met een getal tussen de 0 en 1 afhankelijk van mate waarin de bedekking van het overige deel is afgenomen. Deze gegevens zijn vergeleken met het gemiddelde van elke fysische variabele voor de gehele bank.

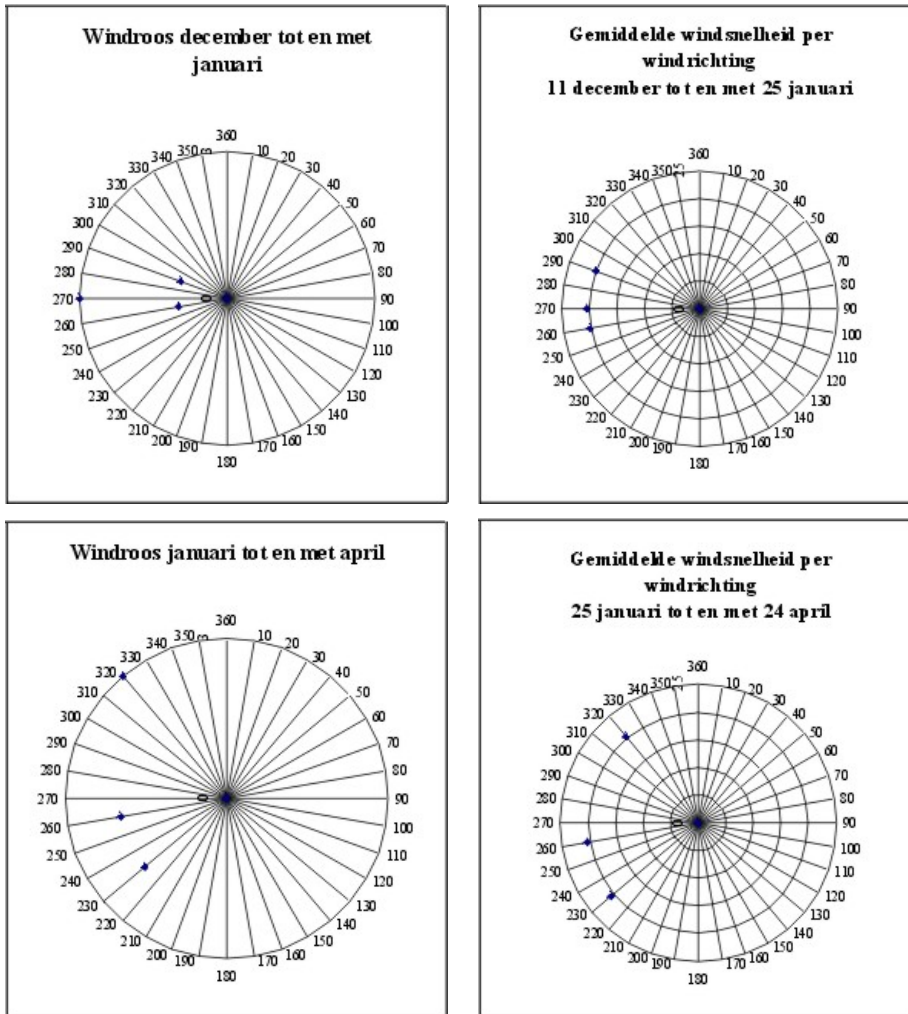
6.3 Resultaten

6.3.1 Wind en storm in de onderzoekperiode

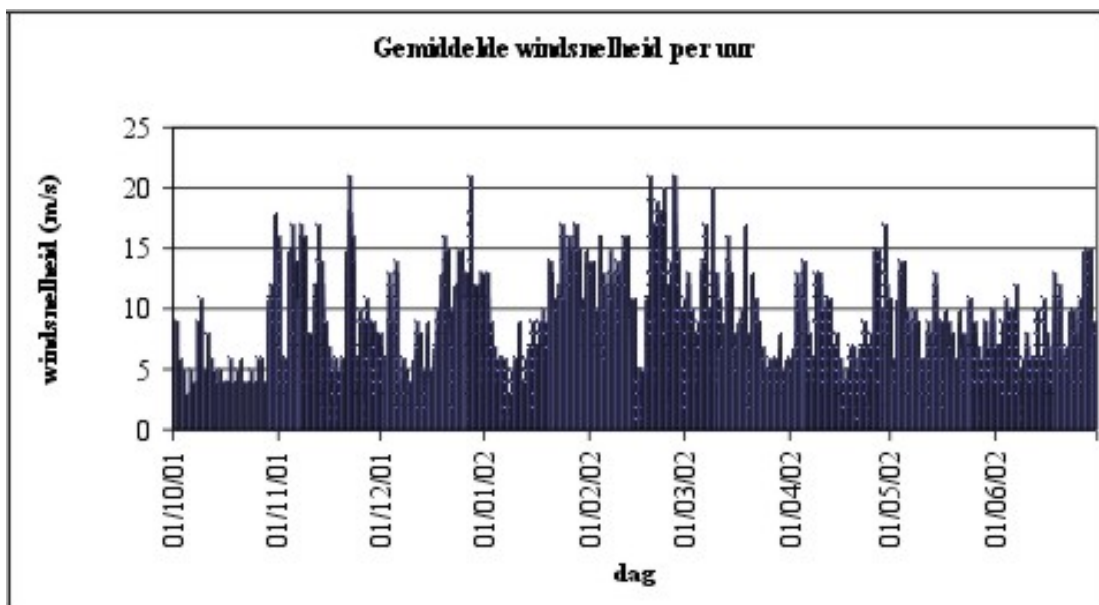
Wanneer gekeken wordt naar de windrichtingen over de periode december tot en met januari dan komen de meest frequente windrichtingen uit het zuidwesten (Figuur 6-5 en Figuur 6-6). De gemiddelde windsnelheid is voor de windrichting NW echter het hoogste. Voor de periode januari tot en met april zijn de westen- en zuidwesten winden ook sterk. De invloed op de banken zal in de periode tm januari vooral door westen en noordwesten wind zijn uitgeoefend, en in de periode na januari vooral door winden uit het zuidwesten.



Figuur 6-5 Windroos (aantal uren dat een bepaalde windrichting voorkomt, buitenste cirkel boven is 80 uren, onder is 160 uren) en gemiddelde windsnelheid per windrichting over de hele periode van 11 december tot en met 25 januari en de periode januari tot en met april (buitenste cirkel is 12m/s, elke cirkel is 1m/s)



Figuur 6-6- Windroses (buitenste cirkel geeft 3 uren aan) en gemiddelde windsnelheid per windrichting (buitenste cirkel geeft 25m/s aan, elke cirkel staat voor 5m/s) voor windsnelheden van 20m/s en hoger voor de periode van 11 december tot en met 25 januari en voor de periode 25 januari tot en met 24 april.



Figuur 6-7 Gemiddelde windsnelheid per uur

6.3.2 De overlays en structuren

Voor elke bank zijn voor december 2001, januari 2002 en april of juni 2002 overlays getekend. Meestal is voor april gekozen omdat tussen januari en april de kortste tijd zit en dus minder neven effecten, zoals predatie door vogels, optreden. De fotocollages en de getekende overlays zijn gearhiveerd bij Alterra (Studentenverslag S. van der Sluis (2002).

In tabel 6.1 is een samenvatting gegeven van de informatie uit de overlays. De bedekking, structuur en het weggeslagen percentage van de banken worden weergegeven. Verklaring van de afkortingen:

In tabel 6.1 is te zien dat de banken in december variëren van weinig bedekking (0-20%) tot veel bedekking (> 75%). De structuren variëren ook van veel tot weinig structuur. In januari staan een aantal banken onder water tijdens het fotograferen (ON-1, V-5, V-7). De overige banken zijn voor een deel verdwenen en bij het overgebleven deel is de bedekking afgenomen. Alleen bank ON-K is qua structuur en bedekking gelijk gebleven.

Tussen januari en april is er ook nog een groot deel van de banken verdwenen. V-6 en ON-E zijn helemaal verdwenen. Banken ON-N, ON-F, ON-G, ON-H en V-11 zijn waarschijnlijk ook verdwenen, maar op de foto's zijn nog wel structuren zichtbaar. Uit informatie uit het veld is het aannemelijk dat het hier om algen gaat.

De overgebleven delen van mosselbanken zijn qua bedekking en structuur achteruit gegaan. Alleen de banken V-2, V-12 en ON-J zijn gelijk gebleven. Bank ON-A is zelfs in bedekking en structuur toegenomen.

Tabel 6-1 Bedekking, structuur en percentage weggeslagen van de banken

bank	December			Januari			April		
	Bedekking	structuur	% verdwenen	bedekking	Structuur	% verdwenen	bedekking	structuur	
1	2 Z 1,3	++			onder water	45	N 1 Z weg	++ Z weg	
2	N 2 Z 3	++	0	N 1 Z 2	++	0	N 1 Z 2	++	
A	2	N + Z ++	60	N 2 Z weg	N + Z weg	0	N 3	Z ++	
4	NO 1 ZW 3	NO ++ ZW +	40	N weg Z 2	N weg Z +	90	N weg ZW 2	N weg ZW 0	
N	1 ZO 1,3	++ ZO +	35	1 NO weg	++; ZO + NO weg	100		verdwenen	
D	midden 3 rand 2	midden W ++ rest +	15	1; N 2 W weg	+ W weg	40	O, W weg N 2; Z 1	O, W weg 0	
E	3 NW 1	midden Z ++ +	20	N 2; Z 1 W weg	+ W weg	100		verdwenen	
F	2	+	30	W 3; 1 ZO mid. weg	+ ZO mid. weg	99		verdwenen	
5	2	N ++ Z +			onder water	50	N weg Z 1	N weg Z +	
6	1,2	0, +, ++	60	ZW weg 1,2	ZW weg 0, +, ++	100		verdwenen	
7	N 2,3 Z 1,2	++			onder water	60	N weg Z 1	N weg Z ++	
G	O 1 ZW 3	+, ++	90	N 2 rest weg	N + rest weg	100		verdwenen	
H	1,2,3	+	0	1,2	+	0		verdwenen?	
8	3	0, +, ++	95	weg plukjes 1	weg plukjes 0, ++	90	weg plukjes 1,2	weg plukjes 0	
9	1,2,3	0, +, ++	10	1,2	0, +, ++	90	1,2	0, +	
10	NW 3 ZO 1,2	NW ++ ZO 0, +, ++	35	NW 1,2 ZO weg	NW 0, + ZO weg	50	NW 2 ZO weg?	NW 0 ZO weg?	
11	1, 2, 3, 4	++	80	1, 2, 3	+, ++	100		verdwenen	
12	2	+	50	N weg 1	N weg ++	0	N weg 1	N weg ++	
J	3	++	0	2	++	0	2	++	
K	1, 2, 3 ZO 3	+ ZO ++	0	1, 2 ZO 3	+, ++ ZO ++	20	2, 3 Z weg	+ Z weg	

Bedekkingsklassen: 1= 0-20%; 2= 20-40%; 3= 40-75%; 4= >75%;

Structuur: 0 = geen; + = weinig; ++ = veel

Indien relevant onderscheid in delen van de bank (N, O, Z, W)

In Tabel 6-2 is het percentage weggeslagen banken en de bedekkingsafname weergegeven voor de periode december - januari en in Tabel 6-2 voor de periode januari tot juni. Januari is daarbij als uitgangssituatie gebruikt, het nog bestaande deel is op 100% gezet. De tabellen zijn gebaseerd op metingen op de overlays, en niet op de contouren zoals aangegeven in fig 6.10

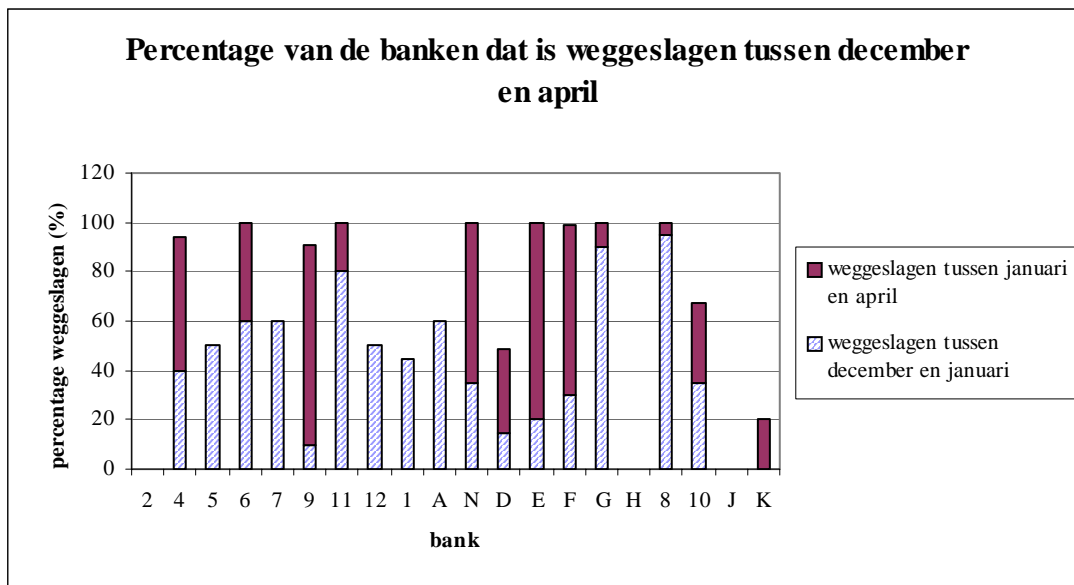
Tabel 6-2- Weggeslagen banken tussen december 2001 en januari 2002. Links de in het kader van Jan Louw beviste banken, rechts de onbeviste banken

Bank nr	Percentage weggeslagen	Afname bedekkingklassen overige deel	Bank nr	Percentage weggeslagen	Afname bedekkingklassen overige deel
2	0	1	1	45	0-1
4	40	0-2	A	60	0
5	50	1	N	35	0-2
6	60	0-1	D	15	0-2
7	60	0-1	E	20	0-3
9	10	0-2	F	30	0-1
11	80	1-4	G	90	0
12	50	1	H	0	0-2
			8	95	0-3
			10	35	0-2
			J	0	0-1
			K	0	0-1

Tabel 6-3 Weggeslagen banken tussen januari 2002 en april 2002. Links de in het kader van Jan Louw beviste banken, rechts de onbeviste banken

Bank nr	Percentage weggeslagen	Afname bedekkingklassen overige deel	Bank nr	Percentage weggeslagen	Afname bedekkingklassen overige deel
2	0	0	1		
4	90	0	A	0	0
5			N	100	
6	100		D	40	0
7			E	100	
9	90	0-1	F	99	0
11	100?	0-2	G	100?	
12	0	0	H	0?	0-1
			8	90	0-2
			10	50	0-1
			J	0	
			K	20	0

In figuur 6.8 is te zien hoe groot het percentage van de banken is dat tussen december en april in totaal weggeslagen is.

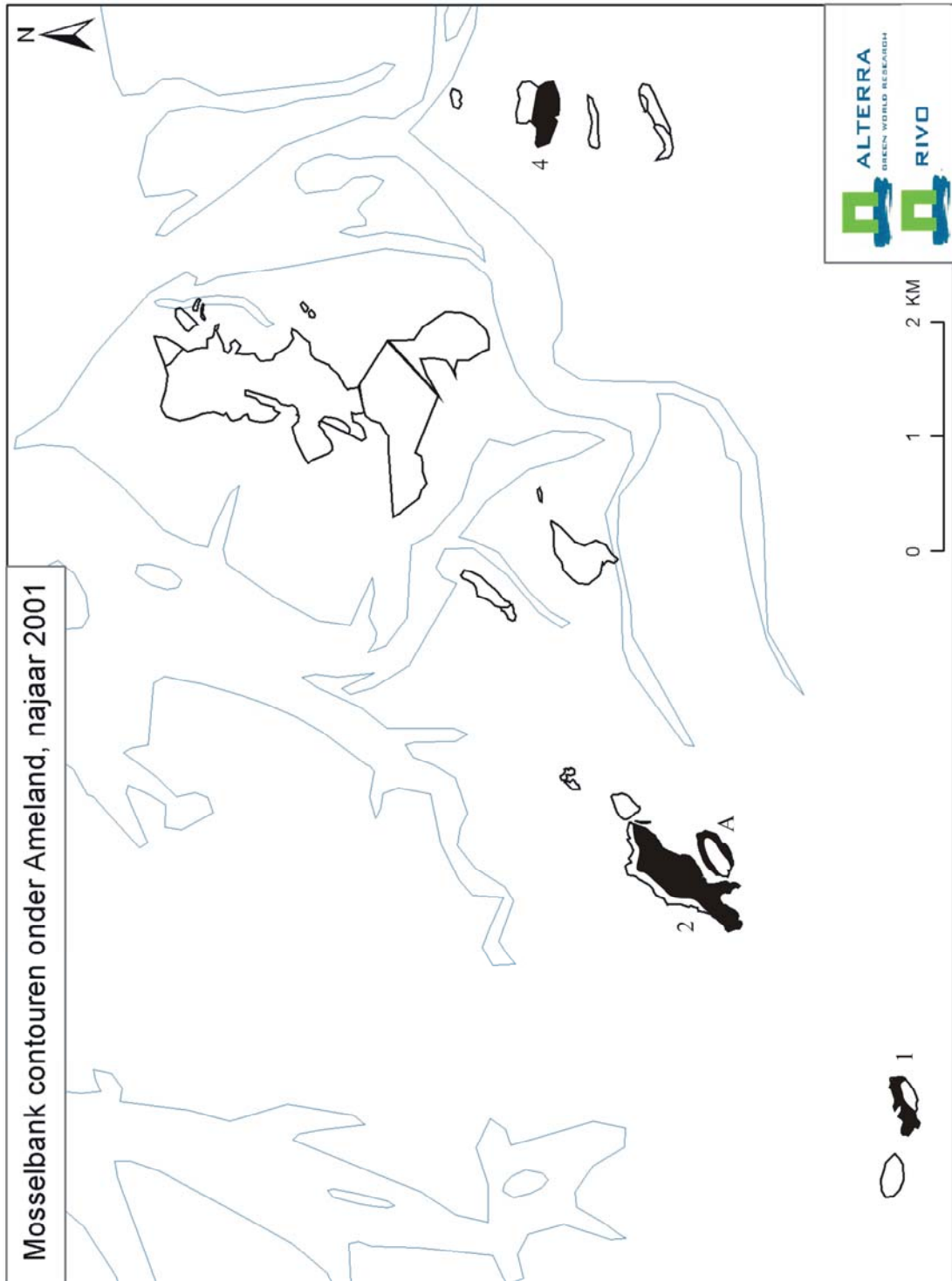


Figuur 6-8 Percentage van de banken dat is weggeslagen tussen december 2001 en april 2002

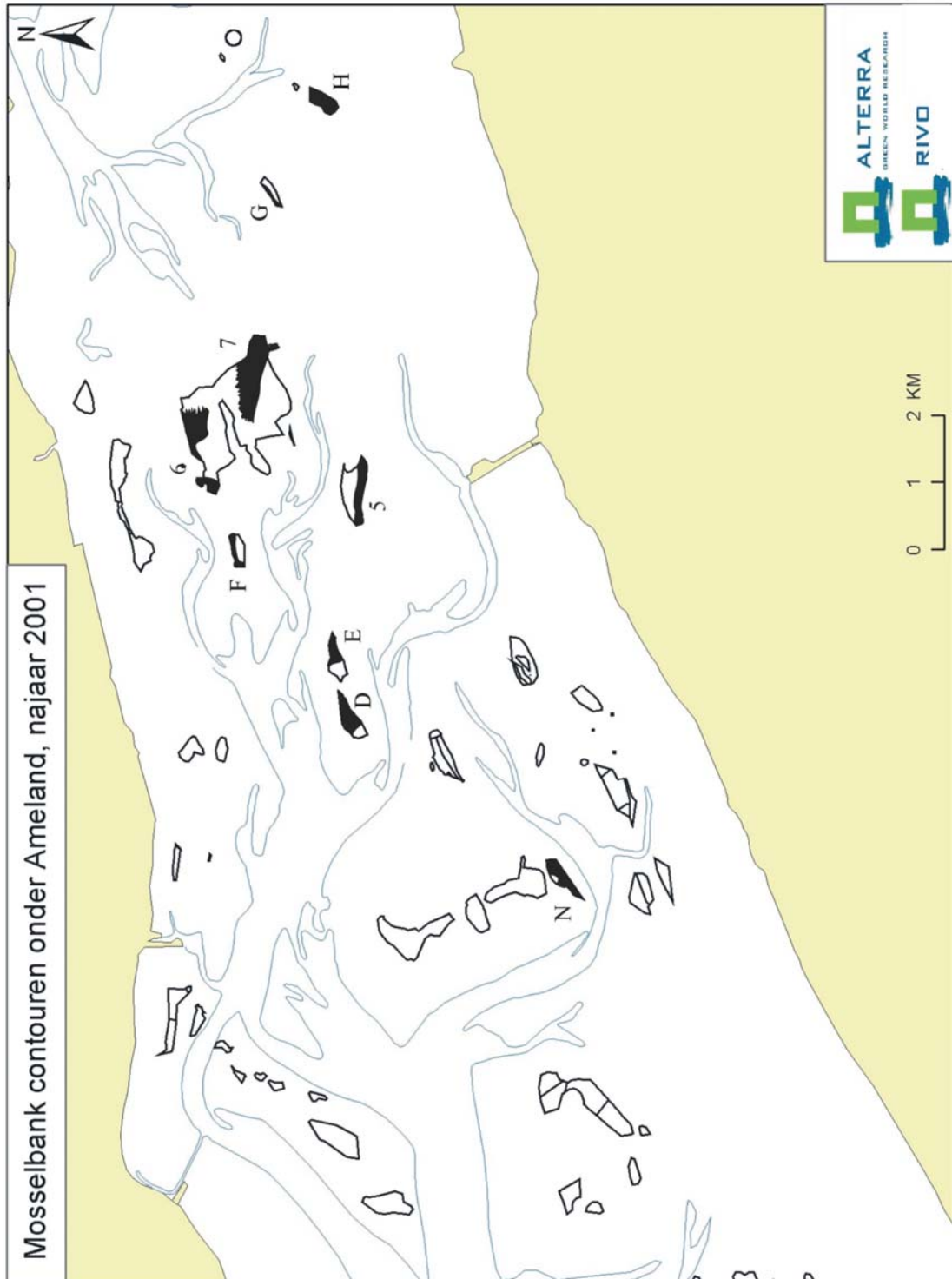
Uit figuur 6.8 blijkt dat van de 20 banken er 9 in april (nagenoeg) verdwenen waren. Van een zevental was nog ongeveer 50% van het oppervlak over en 4 banken waren qua oppervlak nagenoeg onaangetast.

Verschilkaarten

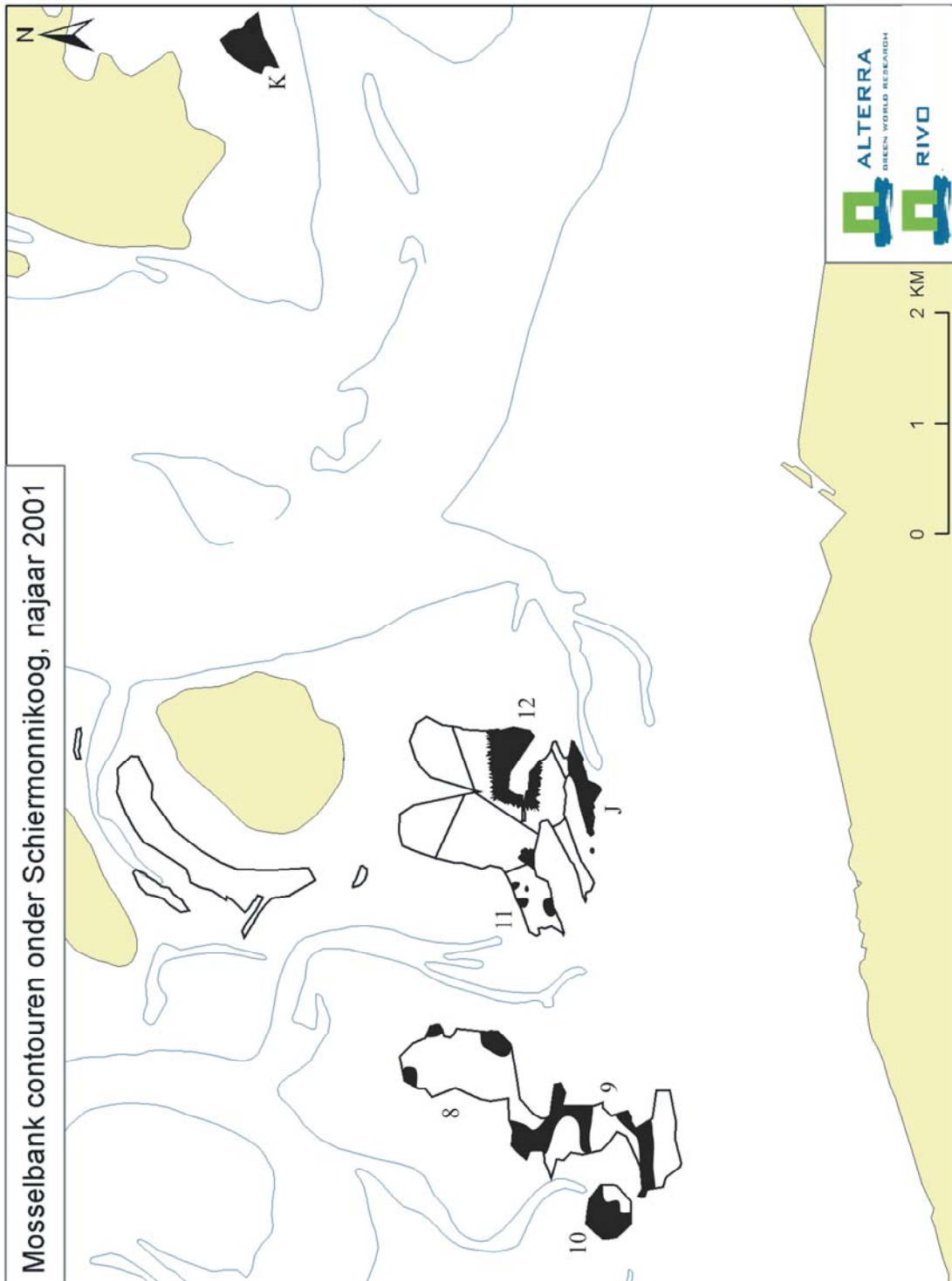
In Figuur 6-9(a-c) is aangegeven hoe de banken zijn veranderd in de periode tot januari 2002. In Figuur 6-10(a-c) is hetzelfde gedaan tot april 2002. De lijnen geven de omtrekken zoals gemeten door RIVO in augustus/september 2001, en deze werden gebruikt om de overlaykaarten geografisch te plaatsen. Alleen van de bestudeerde banken zijn de overgebleven delen in zwart aangegeven. In tabel 6.3 en 6.3 is weergegeven hoe groot het weggeslagen percentage is van de banken. Ook is aangegeven hoeveel bedekkingsklassen de bank is achteruitgegaan voor het deel wat wel is blijven bestaan. De banken ON-1, V-5 en V-7 staan ook in deze tabel. Voor deze banken geldt echter dat de periode van december tot april loopt.



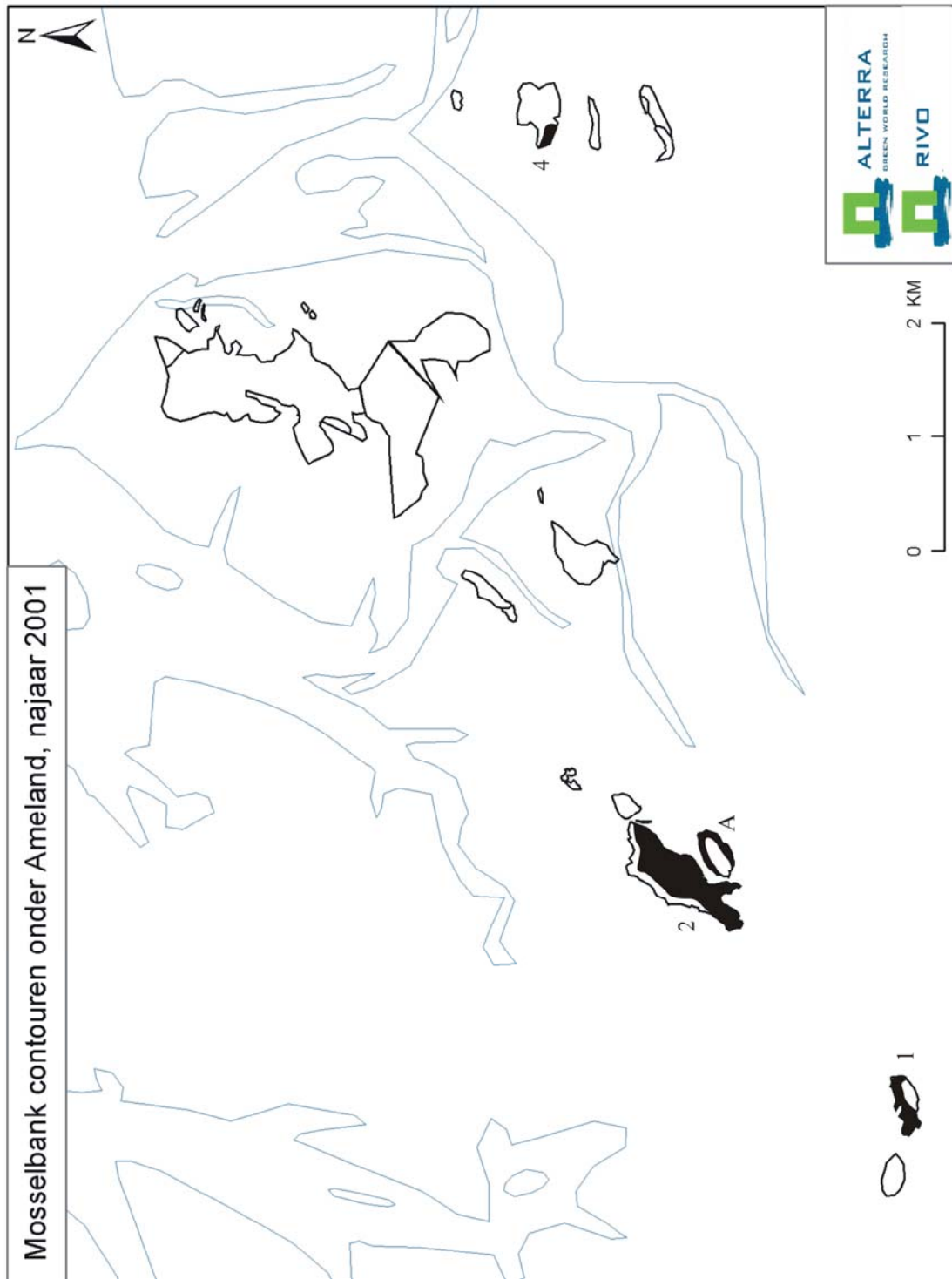
Figuur 6-9a – Verschilkaart van de mosselbanken tussen september 2001 en januari 2002



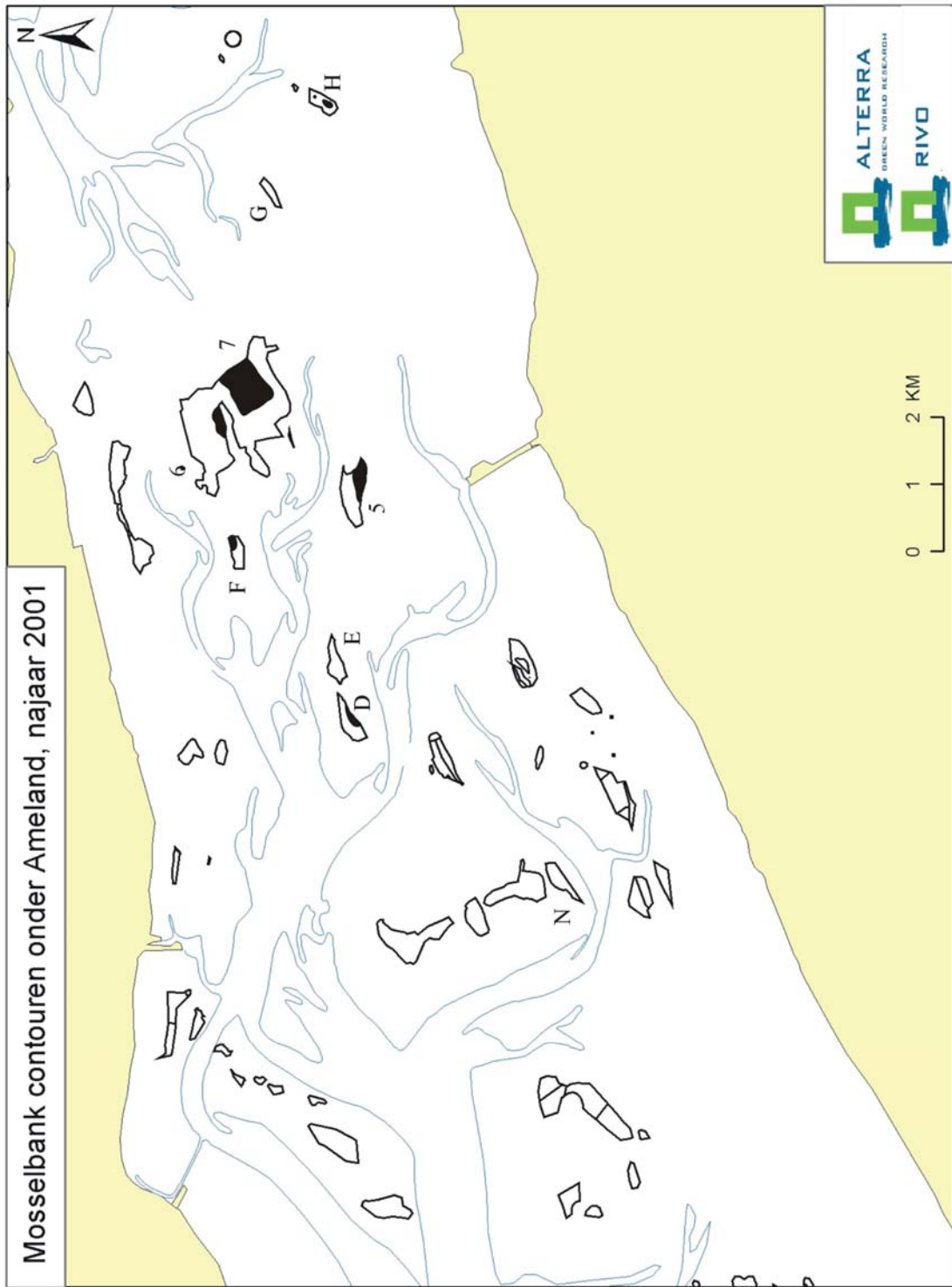
Figuur 6-9b – Verschilkaart van de mosselbanken tussen september 2001 en januari 2002



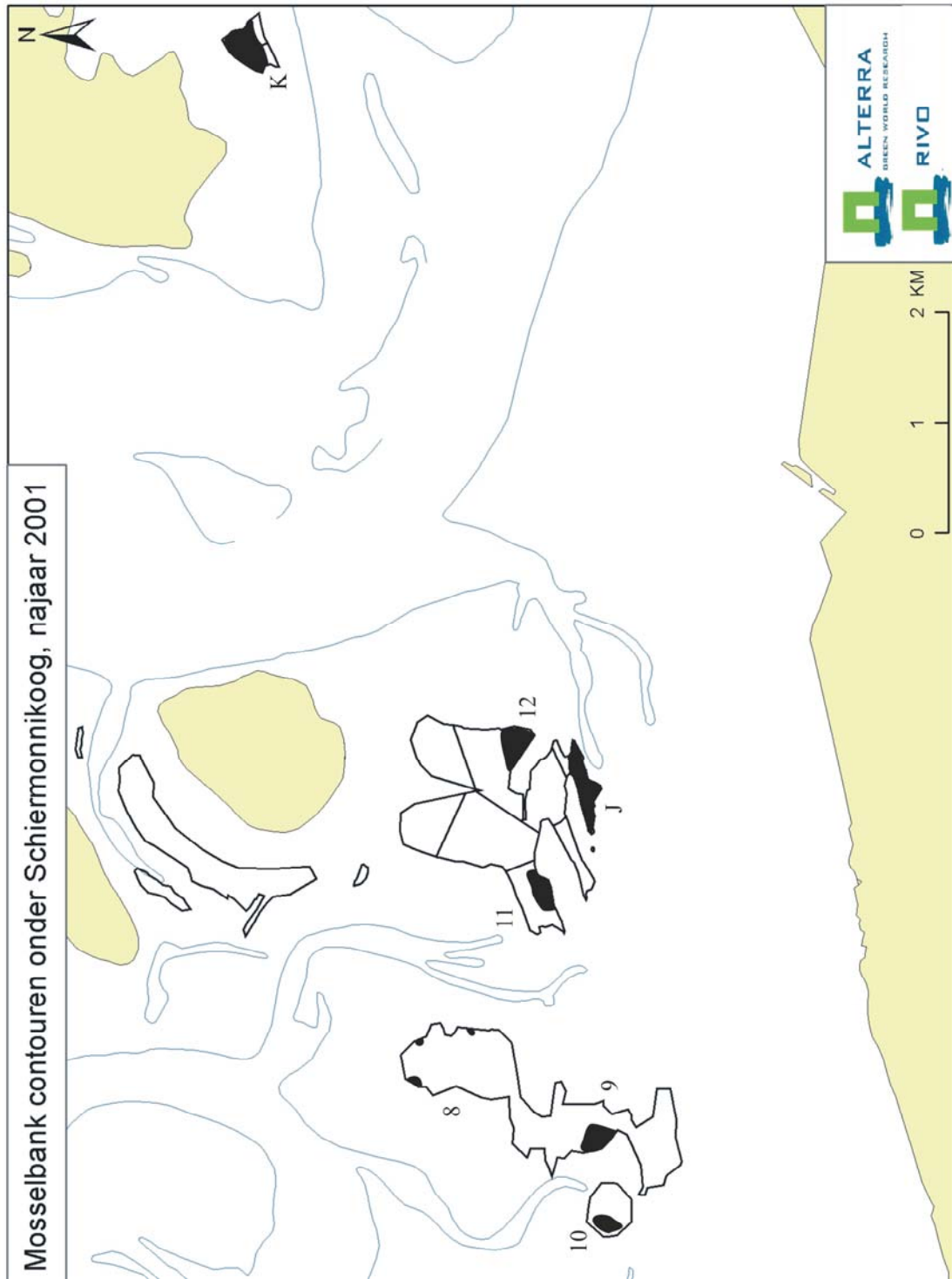
Figuur 6-9c – Verschilkaart van de mosselbanken tussen september 2001 en januari 2002



Figuur 6-10 a – Verschilkaart van de mosselbanken tussen september 2001 en april 2002



Figuur 6-10b – Verschilkaart van de mosselbanken tussen september 2001 en april 2002



Figuur 6-10c – Verschilkaart van de mosselbanken tussen september 2001 en april 2002

Uit figuur 6.10 en 6.11 blijkt dat een aantal banken na januari nog sterk in oppervlak afneemt, ondanks de minder zware stormen. Toch is er in de periode van half januari tot eind maart regelmatig sprake van veel wind (figuur 4.3). Dit zou verklaren waarom er zoveel weggeslagen is in de periode januari tot en met april. In de periode oktober tot en met december heeft het ook gestormd. Dit kan ook van invloed zijn op het latere gedrag van de banken.

6.3.3 Fysische variabelen

In Tabel 6-4 zijn alle geselecteerde fysische variabelen weergegeven, en de waarden voor deze variabelen per bank en binnen de bank, indien er duidelijke verschillen bestaan binnen de bank. (de letters n=noord, o=oost, z=zuid en w=west geven het deel van de bank weer waarvoor het getal geldt)

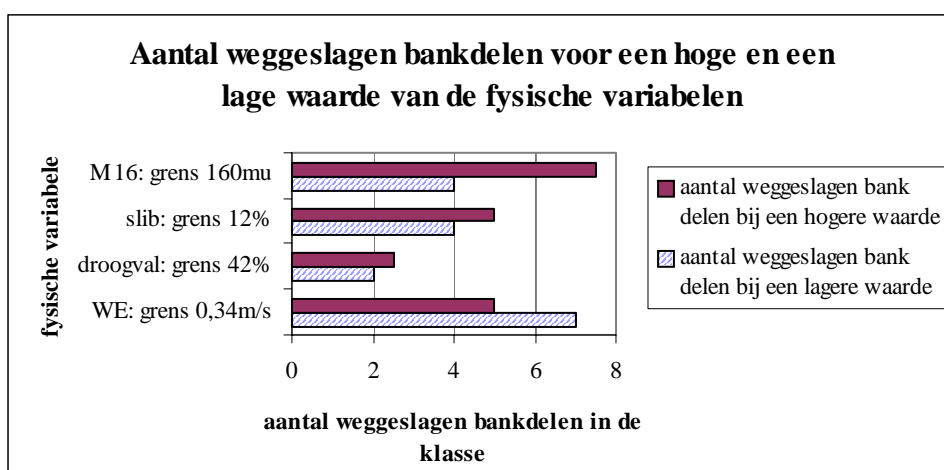
Tabel 6-4 Samenvatting van alle fysische variabelen (WE = orbitaalsnelheden bij wester storm, SW = orbitaalsnelheden bij zuidwester storm)

Bank	WE m/s	SW m/s	Slibwad gewicht%	M16 µm	diepte cm NAP	droogval % van tijd
1	0,34	0,28	zw 14,55 no 7,19	n 167 z 145	n -43 z -48	w 22,2-33,3 o 33,3-44,4
2	0,36	0,28 z 0,25	4,44 z 13,92	n 169 z 144	-56	38 zo 46
A	n 0,35 z 0,31	0,27 z 0,2	no 5,1 zw 6,7	160-190	n -34 -63	47 z(o) 37
4	0,34-0,52 midden 0,17-0,34	0,24	w 7,32 o 15,67	o 154 w 165	-20 midden -40/-50	
N	0,34-0,52 zw 0,17-0,34	0,25	zw 14,78 no 5,58	160-190 zo 130-160	no -20-0 zw -100- -50	no 44,4-55,6 zw 22,2-33,3
D	0,37-0,39	0,3	n 10,35 zw 28,68	No 165 zw 113	o -20-0 zw -100-50	44,4-55,6 w 33,3-44,4
E	0,37 z 0,34	0,3	16-19	o 146 w 150	-20	49
F	0,34-0,52 z 0,17-0,34	0,25-0,38	0-11,086	160-190	-50--20 w -100--50	44,4-55,6 w 33,3-44,4
5	o 0,34-0,52 0,17-0,34	0,25-0,38 n 0,12-0,25	11,09-22,17 no 0-11,09	130-160 zw 160-190	-100--50 no -150--100	33,3-44,4 n 0-11,1
6	0,17-0,34	0,25-0,38 nw 0,12-0,25	o 55,43-66,51 w 0-11,09	160-190 o 40-70	-100--50 midden -50--20	33,3-44,4 nw 0-11,1
7	0,17-0,34 z 0,34-0,52	0,25-0,38 z 0,12-0,25	n 55,43-66,51 zw 11,09-22,17	no 40-70 zw 160-190	-100--50 z -150--100	33,3-44,4 w 11,1-22,2
G	no 0,37 zw 0,36	no 0,28 zw 0,28	no 5,37 zw 6,67	No 166 zw 162	no -30 zw -33	48
H	no 0,34; zw 0,34 midden 0,35	no 0,25 zw 0,26	no 25,78 zw 18,68	no 128; zw 140 z 112	no -32; zw -29 nw -39	nw 48 no 47; zw 51
8	n (0,39) 0,37 z 0,35 (0,34)	n (0,31) 0,27 z 0,27 (0,25)	n (2,85) 7,18 z 24,28 (26,24)	n (195) 190 z 156 (154)	n (18) -2 z -15 (-27)	n (53) 52 z 49 (43)
9	n (0,36) 0,34 z 0,34 (0,35)	n (0,27) 0,25 z 0,24 (0,26)	n (3,74) 3,2 z 4,0 (5,49)	n (181) 179 z 179 (172)	n (-9) -13 z -25 (-33)	n (57) 47 z 45 (46)
10	no 0,36 zw 0,33; z 0,32	no 0,27 zw 0,28; z 0,19	no 5,22 zw 10,95; z 11,11	No 171 zw 169; z 166	no -10 zw -37; z -44	no 49 zw 39

Bank	WE m/s	SW m/s	Slibwad gewicht%	M16 µm	diepte cm NAP	droogval % van tijd
11	no 0,35 zw 0,38	no 0,25 zw 0,3	zw 11,69 15,68 no 24,7; mid. 9,3	no 139; zw 154 midden 163	no -20 zw -35	no 36 zw 49
12	n 0,32	zo 0,21; n 0,27 w 0,25	zo 9,89 w 25,9	zo 163; n 185 w 129	zo -144 n -23	zo 6 n 45
J	0,25 langs geul 0,32	n 0,27; o 0,1 zw 0,22	no 7,95 zw 13,49	z 150 n 156	z -68 n -51; no -36	z 33 n 46
K	zo 0,3; zw 0,29 nw 0,35; no 0,32	zo 0,35; zw 0,32 rest 0,32	z 11,95 n 6,3	z 187 n 204	zo -29; zw -40 n -2	n 56 zo 43; zw 33

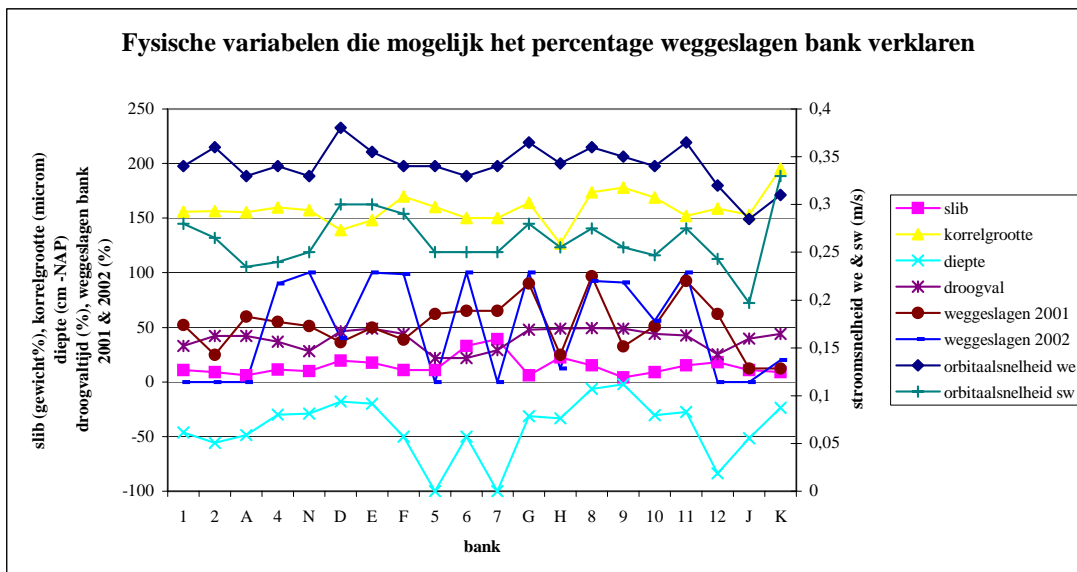
6.3.4 Vergelijking van weggeslagen delen met de fysische variabelen

De fysische variabelen zijn in klassen ingedeeld en daarna is gekeken in welke klasse het weggeslagen deel van de bank valt (Figuur 6-11). Dit is gedaan voor de periode december tot januari. Hier is te zien dat meer banken of bankdelen verdwijnen bij een orbitaalsnelheid beneden de 0,34m/s. Dat is het tegenovergestelde van wat verwacht werd. Het gewichtspercentage slib lijkt nauwelijks iets te verklaren evenals de droogvaltijd. Alleen de korrelgrootte (uit de inventarisatie van 1991) in 1991 lijkt een goede verklarende variabele te zijn. Deze korrelgrootte hangt waarschijnlijk samen met expositie (en dus golfwerking etc)



Figuur 6-11 - Aantal weggeslagen bankdelen voor een hoge en een lage waarde van de fysische variabele

In Figuur 6-12 zijn alle fysische variabelen geplote voor de verschillende banken. Met twee lijnen en symbolen (bruin bolletje en blauw streepje) is eveneens aangegeven welk percentage van de betreffende bank is verdwenen in de periode december – januari en januari – april. Geen van de fysische variabelen heeft een duidelijk vergelijkbaar patroon met het verdwenen percentage.



Figuur 6-12 Fysische variabelen die mogelijk het percentage weggeslagen bank verklaren

Het is op deze manier niet mogelijk een eenduidige verklaring te vinden voor het al dan niet overleven van (delen van) mosselbanken.

Vervolgens is nagegaan of de mate van afname gerelateerd was aan fysische variabelen. Allereerst is bepaald met hoeveel klassen de bedekking is afgenomen, zowel voor de periode dec-jan als jan-april. De banken zijn verdeeld in groepen met een afname van maximaal 1 klasse en een groep met afname van twee klassen of meer. Van die groepen zijn de gemiddelde waarden bepaald van de fysische variabelen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 6.5a voor de periode december – januari en in Tabel 6-5b voor de periode januari - april. Tevens is het resultaat wat betreft de orbitaalsnelheden bij verschillende windrichtingen grafisch weergegeven. Uit de figuur blijkt dat in de periode met hoofdzakelijk zuidwesterstormen het bedekingspercentage in sterke mate afneemt in delen van de bank waar volgens de gebruikte modellen orbitaalsnelheden van meer dan 0.28 m per seconde optreden.

Tabel 6-5a Banken ingedeeld naar afname van het bedekkingspercentage tussen december en januari (west- en noordwestenwind)

afname van 2 en meer bedekkingsklassen

Bank	Af. Bed. Dec-jan	m2weg*100	we	sw	slb	M16	diepte	droogval		
1	1	2.5	40	0.34	0.28	10.87	156	-45.5	39	stabiel
A	0	2	110	0.33	0.235	5.9	155.5	-48.5	42	stabiel
D	1	3	40	0.38	0.3	19.515	139	-18	46.5	
7	0.5	2	150	0.33	0.26	35	155	-130	35	
G	0	2	50	0.365	0.28	6.02	164	-31.5	48	alles weg
8	1.5	2	240	0.36	0.275	15.138	173.75	-6.5	49.25	
9	1	2	60	0.34	0.255	4.108	177.75	-2	48.75	
11	2.5	2.5	170	0.365	0.275	15.338	152	-27.5	42.5	alles weg
12	1	2	200	0.32	0.243	17.895	159	-83.5	25.5	
gem				0.35	0.27	14.42	159.11	-43.67	41.83	
st.dev				0.02	0.02	9.52	11.62	40.70	7.78	

Bank	Af. Bed. Dec-jan	m2weg*100	we	sw	slb	M16	diepte	droogval		
2	1	0	0	0.36	0.265	9.18	156.5	-56	42	stabiel
4	1	1.2	60	0.34	0.24	11.495	159.5	-30	37	
N	1	1	30	0.335	0.25	10.18	157.5	-29	28	niet weg?
E	1.5	1	40	0.355	0.3	17.5	148	-20	49	alles weg
F	0.5	1	50	0.34	0.3	10	170	-50	45	alles weg
5	1	1.5	120	0.33	0.26	12	160	-140	33	
6	0.5	1.5	200	0.33	0.26	30	150	-50	35	alles weg
H	1	0	0	0.343	0.255	22.23	126.7	-33.3	48.7	helemaal weg?
10	1	1.5	40	0.34	0.247	9.093	168.7	-30.3	44	jan/april niet weg?
J	0.5	0	0	0.285	0.197	10.72	153	-51.67	39.5	stabiel
K	0.5	0	0	0.31	0.33	9.125	195.5	-23.7	44	stabiel
gem				0.33	0.26	13.77	158.67	-46.72	40.47	
st.dev				0.02	0.04	6.77	16.84	33.35	6.65	

alles weg

alles weg

niet weg?

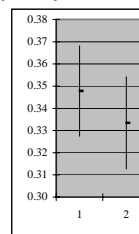
alles weg

alles weg

alles weg

helemaal weg?

jan/april niet weg?



Tabel 6-5b Banken ingedeeld naar afname van het bedekkingspercentage tussen januari en april (Zuidwestenwind)

afname van 2 en meer bedekkingsklassen

Bank	Af. Bed. Jan-april	m2weg*100	we	sw	slb	M16	diepte	droogval		
E	2	100	0.355	0.3	17.5	148	-20	49	alles weg	
F	0	2	60	0.34	0.3	10	170	-50	45	alles weg
11	1	2	110	0.365	0.275	15.338	152	-27.5	42.5	alles weg
K	0	2	30	0.31	0.33	9.125	195.5	-23.7	44	stabiel
gem				0.34	0.30	12.99	166.38	-30.30	45.13	
st.dev				0.02	0.02	4.07	21.65	13.49	2.78	

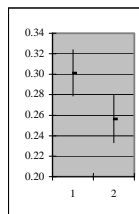
alles weg

alles weg

alles weg

Bank	Af. Bed. Dec-jan	m2weg*100	we	sw	slb	M16	diepte	droogval		
1	0	0	0	0.34	0.28	10.87	156	-45.5	39	stabiel
2	0	0	0	0.36	0.265	9.18	156.5	-56	42	stabiel
A	0	0	0	0.33	0.235	5.9	155.5	-48.5	42	stabiel
4	0	1.2	110	0.34	0.24	11.495	159.5	-30	37	
N	1	1	70	0.335	0.25	10.18	157.5	-29	28	niet weg?
D	0	1.2	50	0.38	0.3	19.515	139	-18	46.5	
5		0	0	0.33	0.26	12	160	-140	33	
6		1.5	150	0.33	0.26	30	150	-50	35	alles weg
7		0	0	0.33	0.26	35	155	-130	35	
G	1.5	10	0	0.365	0.28	6.02	164	-31.5	48	alles weg
H	0.5	0	0	0.343	0.255	22.23	126.7	-33.3	48.7	helemaal weg?
8	1	1.5	20	0.36	0.275	15.138	173.75	-6.5	49.25	
9	0.5	1.5	150	0.34	0.255	4.108	177.75	-2	48.75	
10	0.5	1	70	0.34	0.247	9.093	168.7	-30.3	44	
12	0	0	0	0.32	0.243	17.895	159	-83.5	25.5	jan/april niet weg?
J	0	0	0	0.285	0.197	10.72	153	-51.67	39.5	stabiel
gem				0.34	0.26	14.33	156.99	-49.11	40.08	
st.dev				0.02	0.02	8.68	12.20	38.94	7.45	

jan/april niet weg?

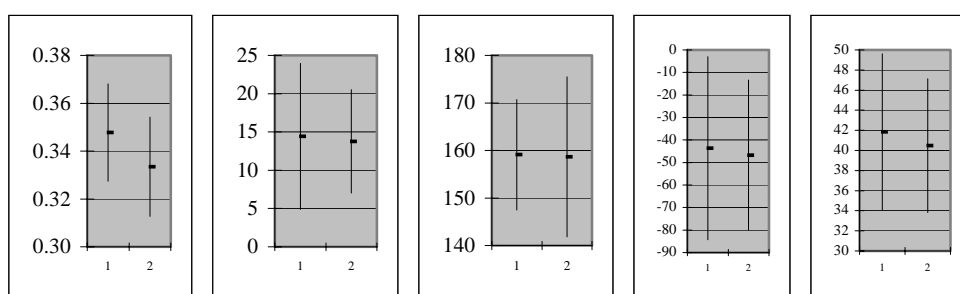


Hetzelfde is gedaan voor de overige fysische variabelen. In tabel 6.6 zijn de gemiddelde waarden en de daarbij behorende figuren weergegeven. Geen der factoren geeft een duidelijke verklaring, hoewel banken met grote afname wel relatief hoog lagen en dus ook lang droogvielen. Banken met weinig afname lagen zowel hoog als laag.

Tabel 6.6 Waarde van variabelen bij grote (1) en kleine (2) afname van bedekkingspercentage

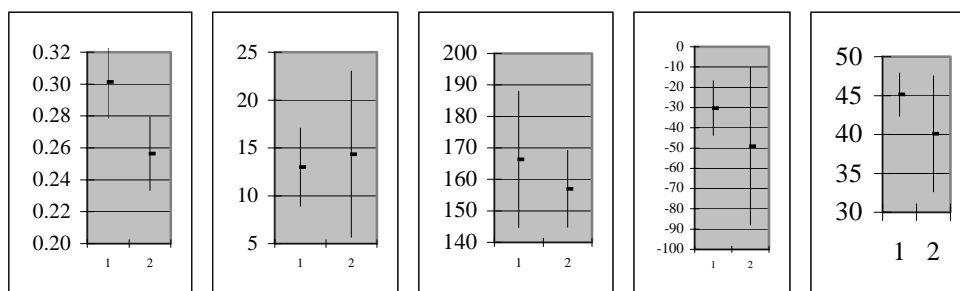
Periode december-januari

	we		slib		M16		diepte		droogval	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
-	0.33	0.31	4.90	7.01	147.49	141.83	-84.37	-80.07	34.05	33.82
+	0.37	0.35	23.94	20.54	170.73	175.52	-2.97	-13.38	49.62	47.12
gem	0.35	0.33	14.42	13.77	159.11	158.67	-43.67	-46.72	41.83	40.47



Periode januari-april

	we		slib		M16		diepte		droogval	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
-	0.28	0.23	8.92	5.66	144.73	144.80	-43.79	-88.05	42.34	32.63
+	0.32	0.28	17.06	23.01	188.02	169.19	-16.81	-10.17	47.91	47.52
gem	0.30	0.26	12.99	14.33	166.38	156.99	-30.30	-49.11	45.13	40.08



6.4 Discussie

Een groot deel van de mosselbanken was verdwenen in de zomer volgend op de broedval. De weggeslagen bankdelen liggen vaak naast de geul of in het verlengde van de geul. De winter volgend op de broedval vertoonde geen abnormaal beeld wat betreft stormen. Er waren geen extreem zware stormen, maar er kan ook zeker niet gesproken worden van een abnormaal rustig winterseizoen.

De rol van vogelpredatie op het al dan niet verdwijnen van betreffende banken is niet bestudeerd. Omdat sommige banken of bankdelen geheel verdwijnen, en andere nagenoeg geheel in stand blijven lijkt vogelpredatie geen belangrijke rol te hebben gespeeld. Er zijn geen aanwijzingen dat de verdwenen delen een grotere aantrekkingskracht hebben uitgeoefend op vogels vanwege hoogteligging, afstand tot Hoogwater Vlucht Plaats (HVP), minder verstoring o.i.d. Deze conclusie geldt waarschijnlijk alleen in jaren met een overvloed aan mosselzaad. In jaren met beperkte broedval kunnen vogels banken wel decimeren (Michaelis pers. Comm.; Hilgerloh 1997)

Er werd geen invloed aangetoond van verschillen in orbitaalsnelheden opgewekt door stormen uit west tot noordwest. Wellicht waren die stormen zo sterk dat alle geëxponeerde delen verdwenen.

De orbitaalsnelheden bij zuidwester storm geven wel een significant verschil tussen banken waar meer en minder dan 2 bedekkingklassen wegslaan. Als de orbitaalsnelheid onder 0.28 m/sec blijft nemen de banken nauwelijks af, terwijl boven 0.28 m/sec de bedekkingpercentages 2 klassen of meer achteruitgaan.

Omdat er geen eenduidige relatie is gevonden met gemeten variabelen is het moeilijk voorspelbaar welke banken of delen daarvan zullen verdwijnen. Als toch keuzen gemaakt moeten worden lijkt een keuze op basis van gemodelleerde orbitaalsnelheden bij stormen uit verschillende richtingen de meeste voorspellende kracht te hebben. Tevens kan rekening worden gehouden met hoogteligging omdat banken met relatief grote afname hoog gelegen waren. De mosselhabitatkaart van Brinkman en Bult (2003) zou dus goede diensten kunnen bewijzen.

7 Conclusies

Nieuwe droogvallende mosselbanken ontstaan af en toe uit nieuwe zaadval. Dit gebeurt onregelmatig, zowel wat betreft tijd als ruimte. Er zijn soms goede zaadvaljaren, maar zelfs dan laten sommige zeegaten nauwelijks nieuwe banken zien, en ook kunnen ze binnen een zeegat voorkomen aan een zijde van de geulen, en niet aan de andere kant. Er zijn geen aanwijzingen dat er regelmatig een tekort aan larven is. Ook in slechte zaadvaljaren kunnen veel larven in de waterkolom zitten, en kan broedval aan objecten zoals touw, palen en schepen zeer hoog zijn.

Op de bodem lijkt er dus een gebrek aan goed substraat of een hoge predatiedruk van de net gevestigde mosseltjes.

Hoge predatiedruk van jonge mosseltjes is waarschijnlijk te wijten aan garnaal, krabben, vis en vogels.

Als de zaadval succesvol is en jonge banken ontstaan, is vooral de eerste winter bepalend voor de ontwikkeling tot oudere banken. In de eerste winter verdwijnt in veel jaren ongeveer de helft van het oppervlak. Sommige banken verdwijnen geheel, van andere worden grote delen weggeslagen. Belangrijke factoren voor het verdwijnen van die jonge banken zijn stormen en, in gebieden waar dat is toegestaan, visserij. Als er weinig banken zijn kunnen kustnabije banken ook door zilvermeeuwen nagenoeg leeggegeten worden.

In de overleving van de daaropvolgende jaren spelen factoren zoals de jaarlijkse broedval die binnen de bank optreedt, schade door ijs en zeer zware stormen en geleidelijke achteruitgang door vogelpredatie een rol. Voor de af en toe optredende sterke broedval kunnen de stevige resten van deze oude banken wel een goede basis vormen, waardoor de bank op dezelfde locatie in stand blijft.

De voorspelbaarheid voor de ontwikkeling van stabiele oude banken is gering. Dit is o.a. te wijten aan het onvoorspelbare gedrag van het optreden van goede broedval, zware stormen en ijswinters.

In de jaren 80 is het oppervlak aan banken langzaam afgenomen door strenge winters, en visserij. De zeer goede broedval van 1987 is in de daaropvolgende jaren geheel weggevisst, en in het begin van de jaren 90 was er geen goede basis meer voor de ontwikkeling van stabiele banken. De goede broedval van 1994 verdween voor een groot deel door zware stormen in het voorjaar van 1995. Daarna eiste vogelpredatie een tol, en de resten van de banken kregen vervolgens de zeer strenge winters van 1996 en 1997 over zich heen.

Van de banken die zich ontwikkelden in 1999 overleefde een zeer groot deel de erop volgende winter. Ook in 2001 trad een goede broedval op, daarvan verdween een deel van de banken geheel en een deel gedeeltelijk. Een verklaring voor welke banken en welke delen verdwenen kon niet eenduidig gegeven worden.

De bestudeerde banken die een groot aantal jaren aanwezig waren bleken zeer stabiel wat betreft structuur. Het oppervlak van de banken en percentage bedekt met

mosselbulten nam geleidelijk af, maar af en toe was er ook sprake van sterke toename door nieuwe broedval. Opvallend was dat individuele patches langs uitgezette raaien maar weinig veranderden. In het sediment onder de mosselbank konden in veel gevallen verschillende harde lagen met schelpresten aangetoond worden. Dat is een aanwijzing voor het herhaald optreden van nieuwe bankvorming op dezelfde locatie.

Ook de mosselbank als ecotoop werd bestudeerd. De mosselpopulatie bleek op alle bestudeerde banken redelijk stabiel met meerdere jaarklassen aanwezig. Af en toe trad een goede zaadval op binnen de bank waardoor de populatie overheerst werd door één jaarklasse, maar na verloop van enkele jaren kwamen meerdere jaarklassen weer in vergelijkbare aantallen voor.

De mosselbankgemeenschap bestond uit mosselen, macroalgen zoals *Fucus* sp. en *Gracillaria* sp. De algen kwamen in variabele hoeveelheden voor. Oudere banken waren dikwijls zwaar bezet met zeepokken, maar ook dat voorkomen was variabel. Mosselbanken die in een bepaald jaar geheel wit zagen van de pokken konden een jaar later nauwelijks pokken bevatten. De mosseldichtheid op de mosselbulten leek zich te stabiliseren tussen de 10 en 12,5 kg. Tussen de oudere mosselen bevonden zich ook veel lege schelpen, en af en toe kwamen grote hoeveelheden ingespoelde kokkels voor. Bij jonge banken waren de aanwezige levende kokkels dikwijls door het mosselbroed uit de ondergrond getrokken. Op nagenoeg alle mosselbanken komen nu ook oesters voor. De grootste dichtheden nog in de westelijke delen van de Waddenzee, maar er is duidelijk sprake van uitbreiding in oostelijke richting (Dankers et al. 2004)

In het winterseizoen van oktober 2001 tot voorjaar 2002 werden van een aantal zaadbaken luchtfoto's geanalyseerd. De winter werd gekenmerkt door een groot aantal stormen, maar er waren geen extreem zware stormen. Van de 20 banken spoelden er 9 nagenoeg geheel weg. Van een zevental verdween ongeveer de helft van het bankoppervlak, en de overige vier bleven nagenoeg geheel aanwezig. Er waren geen duidelijke aanwijsbare variabelen die het al dan niet overleven bepaalden. Op grond daarvan moet geconcludeerd worden dat het moeilijk is van tevoren te voorspellen welke zaadbanken of bankdelen de volgende winter zullen overleven

Literatuur

- Asmus, H. 1987. Secondary production of an intertidal mussel bed community related to its storage and turnover compartments. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 39: 251-266
- Bayne, B.L. 1964. Primary and secondary settlement in *Mytilus edulis*. *J. Anim. Ecol.* 33: 513-523
- Bayne, B.L., Thompson, R.J., Widdows, J., 1976. Physiology. I. In, *Marine mussels: their ecology and physiology*, edited by B.L. Bayne. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 121-206.
- Beukema, J.J. 1982. Annual variation in reproductive success and biomass of the major macrozoobenthic species living in a tidal flat area of the Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 16: 37-45
- Blok de J.W. Geelen, H.J.F.M. 1958. The substratum required for the settling of mussels (*Mytilus edulis* L) Extrait des archives Neerl Zool Tome XIII I Suppl 1958: 446-460
- Botzen P.j.1975 Een landschapskaart op geomorfologisch- geomorfogenetische basis van het Waddengebied. Verslag Doctoraal veldwerk, Fysische Geografie R.U.U. 43 pgs 7 kaarten
- Butman, C.A. 1987. Larval settlement of soft sediment invertebrates: the spatial scales of pattern, explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamic processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 25: 113-165
- Butman, C.A. 1989. Sediment-trap experiments on the importance of hydrodynamic processes in distributing settling invertebrate larvae in near bottom waters. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 134: 37-88
- Brinkman, A.G. & Bult, T. 2003 *Geschiede eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het voorkomen van meerjarige natuurlijke mosselbanken*. Hoofdrapport door deelproject F2 van EVA-II, de tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. Alterra rapport 456, 1-306. 2003. Wageningen, Alterra.
- Brinkman, A.G., Bult, T., Dankers, N., Meijboom, A., den Os, D., van Stralen, M.R. & de Vlas, J. 2003. *Mosselbanken: kenmerken, oppervlaktebepaling en beoordeling van stabiliteit*. Rapport voor deelproject F1 van EVA II, tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde. Alterra rapport 707, 1-70. 2003a. Wageningen, Alterra.
- Croxall JP Rothery P Pichering SPC Prince PA (1990) Reproductive performance, recruitment and survival of wandering albatrosses *Diomedea exulans* at Bird Island, South George. *J Anim Ecol* 59: 775-796
- 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., K. Koelemaij & J. Zegers 1989. De rol van de mossel en de mosselcultuur in het ecosysteem van de Waddenzee. RIN-rapport 89/9. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 66 p.
- Dankers, N. 1993. Integrated estuarine management - Obtaining a sustainable Yield of bivalve resources while maintaining environmental quality. In: Dame (ed) Bivalve Filter Feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes. NATO ASI Series Vol G 33 Springer Berlin-Heidelberg pg 479-511
- Dankers, N., E. Dankers, J. Dankers & S. van Santvoort 1995. Op zoek naar mosselbanken. Waddenbulletin 30,1: 41-44.
- 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
- Dankers, N., E. Dijkman, M. de Jong, G. de Kort & A. Meijboom 2004. De verspreiding en uitbreiding van de Japanse Oester in de Nederlandse Waddenzee. Alterra rapport 909 51 pgs
- Dare, P.J., 1976. Settlement growth and production of the mussel *Mytilus edulis* L in Morecambe Bay. England Fishery Invest Lond (Ser 2) 28 (1): 1-25
- Dittmann, S., 1990 Mussel beds - amensalism or amelioration for intertidal fauna. Helgoländer Meeresunters 44: 335-352
- 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.
- Eckman, J.E. 1979. Small-scale patterns and processes in a soft-substratum, intertidal community. J. Mar. Res. 37: 437-457
- Eckman, J.E. 1983. Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment. Limnol. Oceanogr. 28: 241-257
- Eckman, J.E. 1987. The role of hydrodynamics in recruitment, growth and survival of *Agropecten irradians* (L) and *Anomia simplex* (D'Orbigny) within eelgrass meadows. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 106: 165-192
- Ehlers, J. 1988. The morphodynamics of the Waddensea. Balkema Rotterdam. 397 pg
- Ens, B.J., Wintermans G.J.M. & C.J. Smit 1993. Verspreiding van overwinterende wadvogels in de Nederlandse Waddenzee. Limosa 66: 137-144.
- Garthe, S., K. Wienck & I. Cassens, 2003. Herring Gull *Larus Argentatus* winter diet at the western Baltic Coast: Does ice cover make a difference. Atlantic Seabirds 5: 13-20
- 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
- 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
- Hesselink, M. & W. Dodde 1988. Inventarisatie droogvallende mosselbanken op het wad van Ameland, voor en na de zaadvissersrij van 1988. Studentenverslag RIN-Texel, Van Hall instituut-Groningen.
- 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. *Helg. Meeresunters.* 51: 173-189
- Honkoop, P.J.C. & J. van der Meer 1998. Experimentally induced effects of water temperature and immersion time on reproductive output of bivalves in the Wadden Sea. *J.Exp. Mar. Biol. Ecol.* 220: 227-246
- 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
- McGrath, D., P.A. King & E.M. Gosling 1988. Evidence for the direct settlement of *Mytilus edulis* larvae mussel beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 47: 103-106
- McGrorty, S., R.T. Clarke, C.J. Reading & J.D. Goss-Custard, 1990. Population dynamics of the mussel *Mytilus edulis*: density changes and regulation of the population in the Exe estuary Devon *Mar Ecol Progr Ser* 67: 157-169
- Michaelis, H., B. Obert, I. Schultenkötter & L. Böcker (1995). Die Miesmuschelbestände der Niedersächsischen Watten, 1989-1991. *Ber. Forschungsstelle Küste Norderney*, 40: 55-71
- Möbius, K., 1877. Die Auster und die Austernwirthschaft. Wiegund Hempel and Parey Berlin 1-126
- Nijlunsing, A. 1995. The *Mytilus* bed community, structure and recruitment. Wageningen University Report Waterquality management and aquatic ecology nr 053/95 45pgs
- Pulfrich, A. 1995. Reproduction and recruitment in Schleswig Holstein Waddensea edible mussel (*Mytilus edulis* L.) populations. Thesis Inst. Für Meereskunde. Cristian-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
- Seed, R. & T.H. Suchanek, 1992. Population and community ecology of *Mytilus*: In: *The mussel Mytilus: Ecology, physiology, genetics and culture* (ed) Gosling EM pp 87-169 Elsevier Press Amsterdam
- Sluis, S. . van der 2003. Factoren die de overleving van droogvallende mosselbanken bepalen. Studentenverslag UU & Alterra
- 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 – F5. RIVO rapport C022/04 93 pgs

- Stralen, M.R. van 2002. De ontwikkeling van mosselbestanden op droogvallende platen en in het sublitoraal van de Waddenzee vanaf 1955: een reconstructie op basis van gegevens uit de mosselzaadvisserij. MarinX-rapport 2001.10 (57 pg)
- Steenbergen J., J.M.D.D. Baars, M.R. van Stralen, . Kesteloo-Hendrikse & T.P. Bult 2003a. Het mosselareaal en –bestand op de droogvallende platen in de Waddenzee in het voorjaar van 2003. RIVO-rapport C070/03
- Steenbergen J. M.R. van Stralen, J.M.D.D. Baars, & T.P. Bult 2003b. reconstructie van het areaal litorale mosselbanken in de Waddenzee in de periode najaar 1994 – voorjaar 2002. RIVO-rapport C076/03
- Tsuchiya, M. & M. Nishihira, 1985. Islands of *Mytilus* as habitat for small intertidal animals: effect of island size on community structure. Mar Ecol Prog Ser 25: 71-81
- Tsuchiya, M. & M. Nishihira, 1986. Islands of *Mytilus* as habitat for small intertidal animals: effects of *Mytilus* age structure on the species composition of the associated fauna and community organisation. Mar Ecol Prog Ser 31: 171-178
- Verwey, J., 1952. On the ecology and distribution of cockle and mussel in the Dutch Wadden Sea. Their role in sedimentation and the source of their food supply. With a short review of the feeding behaviour of bivalve molluscs. Arch Neerl Zool 10: 171-239
- Vooy's, C. de, 1999. Numbers of larvae and primary planigrades of the mussel *Mytilus edulis* in the western Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea res. 41: 189-201
- Wensink, J. & B. Reitsma 1988. Inventarisatie van droogvallende mosselbanken in de Waddenzee in 1987. Stageverslag Rin-TEXEL, Van Hall instituut Groningen.
- 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. Helgol. Mar. Res. 56:3-12
- Woodley TH Read AJ (1991) Potential rates of increase of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) population subjected to incidental mortality in commercial fisheries. Can J Fish Aquat Sci 48: 2429-2435
- Zwarts, L. 1976. Bodemfauna en vogels langs de landaanwinningswerken. Studentenrapport/onderzoekverslag RUG
- Zwarts, L. & R. Drent 1981. Prey depletion and regulation of predator density. In: Jones N.V. & W.J. Wolff (ed) Feeding and survival strategies of estuarine organisms .pg 193-218
- Zwarts, L. 1991. Mosselbanken: wadvogels op een kluitje. Vogels 66: 8-12.
- Zwarts, L. & Ens, B. J. 1999. Predation by birds on marine tidal flats. Adams, N. J. and Slotow, R. H. Proceedings of the 22nd International Ornithological Congress in Durban, 2309-2327. 1999. Johannesburg, BirdLife South Africa.