



Effecten van mosselvisserij op de bodemstructuur, een analyse van Sidescan sonar opnames

Jeroen Jansen, Kees Kersting, Pepijn de Vries, Narangerel Davaasuren, Andrea Sneekes en Aad Smaal

Rapport C164/12



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Oprachtgever:

Ministerie van Economische Zaken
Producenten Organisatie van de Nederlandse
Mosselcultuur

Publicatiedatum:

15 april 2013

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

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

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

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

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

© 2012 IMARES Wageningen UR

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

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing. Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V12.6

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	5
Introductie.....	6
Methode.....	7
1.1 PRODUSvakken.....	7
1.2 BACI.....	7
1.3 Locaties in de Waddenzee.....	7
1.4 Bemonsteringen.....	9
1.5 Sonardata verwerking.....	10
1.6 Subsampling.....	11
1.7 Indicatoren voor structuur.....	11
1.8 Moran's I.....	12
1.9 Data analyses.....	12
1.10 Paneltest.....	13
Resultaten.....	14
1.11 Structuur op de zeebodem.....	14
1.12 Paneltest.....	16
1.13 Moran's I waarden van sonarbeelden.....	21
1.14 PRODUS locaties.....	22
1.15 Relatie met mosselen.....	22
1.16 Visserij.....	25
1.17 Biodiversiteit.....	28
Discussie en conclusies.....	30
Referenties.....	31
Kwaliteitsborging.....	33
Verantwoording.....	34
Bijlage 1: Moran's statistieken voor de verschillende PRODUSvakken.....	35
Bijlage 2: Moran's I als functie van de tijd in maanden na 2005 voor de afzonderlijke locaties.....	36
Bijlage 3: Moran's I als functie van mosselabundantie (n/m^2) ^{0.25}	37
Bijlage 4: Moran's I als functie van de mosselbiomassa (g/m^2) ^{0.25}	38
Bijlage 5: Aantal benthos organismen als functie van Moran's I voor de verschillende PRODUSlocaties.....	39
Bijlage 6: Aantal epifauna organismen als functie van Moran's I voor de verschillende PRODSlocaties.....	40
Bijlage 7: Aantal infauna organismen als functie van Moran's I voor de verschillende PRODSlocaties.....	41

Bijlage 8: Aantal soorten als functie van Moran's I voor de verschillende PRODSlocaties.	42
---	----

Samenvatting

Mosselzaadbanken in de Waddenzee worden bevestigd. In 2006 is een onderzoek gestart naar de effecten van mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden, het PRODUS onderzoek. Omdat de biodiversiteit in de Waddenzee nauw samenhangt met de driedimensionale structuur van de zeebodem wordt binnen PRODUS het effect van visserij op deze structuur bestudeerd aan de hand van sidescan sonar opnames die voor en na visserij worden uitgevoerd.

De structuren op de sonarbeelden in deze studie zijn omgerekend naar een maat voor ruimtelijke autocorrelatie (Moran's I) in de pixels. Vergelijking met bodemmonsters laat een sterke correlatie zien tussen de op de sonarbeelden geïdentificeerde structuur en de mosselbiomassa op de zeebodem. Verder statistische analyse van de data toont een significante vermindering van de bodemstructuur direct na de visserij. Op lagere termijn is er geen verschil in structuur tussen bevestigde en onbevestigde mosselvoorkomens meer waarneembaar.

Naast mosselen zijn hoge waarden voor Moran's I ook indicatief voor hogere aantallen epifauna. Dit effect werkt waarschijnlijk door via de hogere mosselbiomassa's waartussen andere soorten zich vestigen.

Introductie

Over de structuur van zachte subtidale marine substraten is weinig bekend. Deze mariene sedimenten worden vaak gezien als homogene landschappen (Zajac 2008). Diverse monitoringsprogramma's laten echter een vaak grote heterogeniteit zien in de bodemdierensamenstelling, welke soms te relateren is aan de sedimentkarakteristieken (Lapointe and Bourget 1999; Zajac et al. 2003). Zandige substraten worden vaak gekenmerkt door een andere fauna dan slikrijke substraten (Brown et al. 2002).

Lokaal worden in mariene sedimenten biogene structuren aangetroffen. Deze structuren zijn aggregaties van 'structuurvormende' organismen, zoals oesterriffen (Allen et al. 2005) of banken van mosselen of kokerwormen (Bartholoma 2006). Deze biogene structuren vormen een stevig substraat in een relatief instabiele ondergrond, waardoor ze een habitat zijn voor een grotere diversiteit aan soorten (Saier 2002; Seed and Suchanek 1992; Tsuchiya 2002). Hierbij gaat het om sessiele soorten die zich op de biogene structuren vasthechten, om soorten die van de hoge voedseldichtheid profiteren en om soorten die beschutting zoeken tegen predatoren.

De Waddenzee is een zandig kuststelsel met platen en geulen dat rijk is aan bodemfauna. De habitatrichtlijn maakt onderscheid tussen de sublitorale en litorale zandbanken. Dat zijn respectievelijk Habitat 11.10 en Habitat 11.40. Met name de kwaliteit van de sublitorale zandbanken wordt als matig beschouwd door het ontbreken van uitgebreide biogene structuren in verschillende stadia van ontwikkeling. Omdat de japanse oester (*Crassostrea gigas*) geen inheemse soort is, gaat het vooral om het ontbreken van meerjarige mosselbanken (de Vlas et al. 2011).

Regelmatig is er sprake van mosselbroedval in het sublitoraal van de Waddenzee. In 2012 is er bijvoorbeeld 1400 ha nieuwe mosselzaadbanken bijgekomen (Van Stralen 2012a). Jonge sublitorale mosselbanken zijn kwetsbaar omdat ze een voedselbron vormen voor zeesterren (Aguera et al 2012) en andere soorten zoals krabben (Elner, 1978) en eenden (Nehls et al. 1997). In de ondiepe delen van het sublitoraal kunnen mosselbanken ook wegspoelen door golfwerking bij storm (Brinkman et al 2002; Dankers et al. 2004; Reusch and Chapman 1995). Daarnaast worden de mosselzaadbanken bevestigd.

Gebaseerd op de natuurlijke risico's zoals predatiekans en stormgevoeligheid is de sublitorale Waddenzee in 5 visserijgebieden onderverdeeld, volgens de zogenaamde stabiliteitsklassen (Van Stralen 2012b). Nieuwe mosselzaadbanken in gebieden die geclassificeerd zijn als klasse 1 en 2 mogen voor de winter nog bevestigd worden en naar mosselpercelen worden verplaatst. Mosselzaadbanken in stabiliteitsklasse 3, 4 en 5 mogen in het daaropvolgende voorjaar worden bevestigd. Als bij inspectie blijkt dat op bepaalde banken in klasse 3 gebieden toch bijvoorbeeld veel zeesterren zitten, dan worden die banken ook aan de najaarsvisserij toegevoegd.

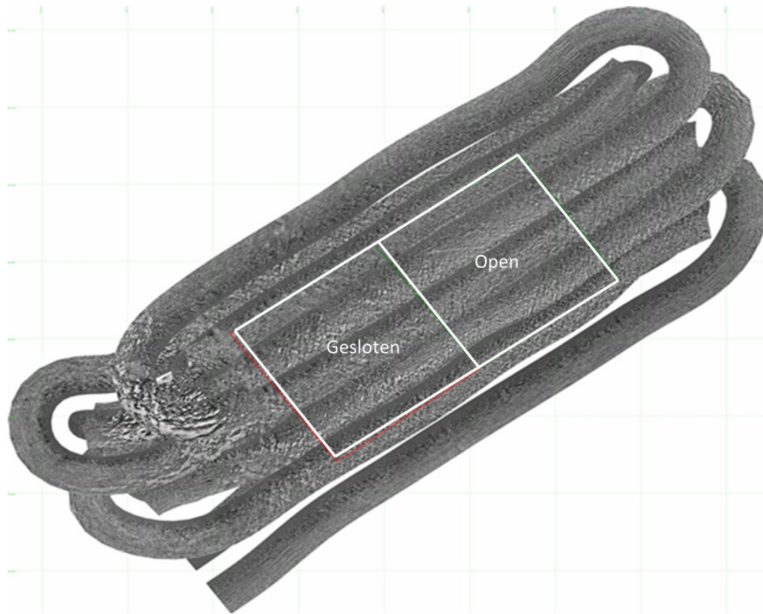
Met als doel te komen tot de ontwikkeling van kwalitatief goede sublitorale zaadbanken in de Waddenzee zijn de mosselsector, overheid en de natuurorganisaties tot een overeenkomst gekomen. Het mosselconvenant, waarin staat dat er ruimte wordt gecreëerd voor alternatieve vormen van mosselzaadwinning en jaarlijks een mosselbank permanent wordt gesloten voor mosselvisserij (Jansen et al 2012).

In 2006 is er een onderzoek gestart naar de effecten van de mosselvisserij op de ecologische kwaliteit van de sublitorale zaadbanken in de Waddenzee. Dit onderzoek heet PRODUS, wat staat voor Project onderzoek duurzame schelpdiercultuur (Ens et al 2007). Een van de onderzoeksvragen in PRODUS ging uit naar de effecten van de mosselvisserij op de natuurwaarden van sublitorale zaadbanken. In de bovenstaande alinea's wordt uitgelegd dat in de zandige Waddenzee natuurwaarden zoals biodiversiteit in sterke mate gekoppeld zijn aan fysieke structuren op de zeebodem. Een te toetsen hypothese luidde dat de bodemberoerende visserij leidt tot een afname van de driedimensionale (fysieke) bodemstructuur (Kaiser et al 2006). Deze hypothese is bestudeerd aan de hand van Sidescan sonar opnames van de zeebodem die voor en na de visserij in 'open' en 'gesloten' onderzoeksvakken zijn gemaakt. De resultaten van dat onderzoek worden in dit rapport gepresenteerd en bediscussieerd. Naast het bestuderen van effecten van de mosselvisserij op de bodemstructuur wordt in deze tekst ook aandacht besteed aan de relatie met de aanwezige mosselpopulatie (ground truth) en de relatie tussen bodemstructuur en de diversiteit en abundantie van andere bodemdieren en vissen.

Methode

1.1 PRODUSvakken

Het PRODUS onderzoek naar de effecten van mosselzaadvisserij is uitgevoerd op sublitorale mosselzaadbanken. In de periode 2006-2009 zijn op nieuwe mosselzaadbanken onderzoekvakken gedefinieerd; de zogenaamde PRODUSvakken. Per locatie ging het om twee aaneengesloten vakken van elk 200x200 meter (Fig.1). Van zo'n set vakken is een vak 'open' en een vak 'gesloten' voor mosselzaadvisserij. Het gaat in dit onderzoek dus om een paarsgewijze opzet.



Figuur 1: Sidescan sonar opname van een set PRODUSvakken. De twee vakken hebben afmetingen van 200 x 200 meter. De contouren van de vakken zijn geplot op de ruwe sonar output waarin duidelijk het parcours dat de sonar heeft afgelegd zichtbaar is.

De vakken zijn geplaatst en voor het eerst ingemeten voorafgaand aan de mosselzaadvisserij. Een deel van de vakken is voorafgaand aan de voorjaarsvisserij gedefinieerd en een deel voorafgaand aan de najaarsvisserij. Of een mosselbank in het najaar of in het daarop volgende voorjaar bevestigd wordt hangt af van de locatie (visserijgebied) van die mosselbank in de Waddenzee (zie introductie).

1.2 BACI

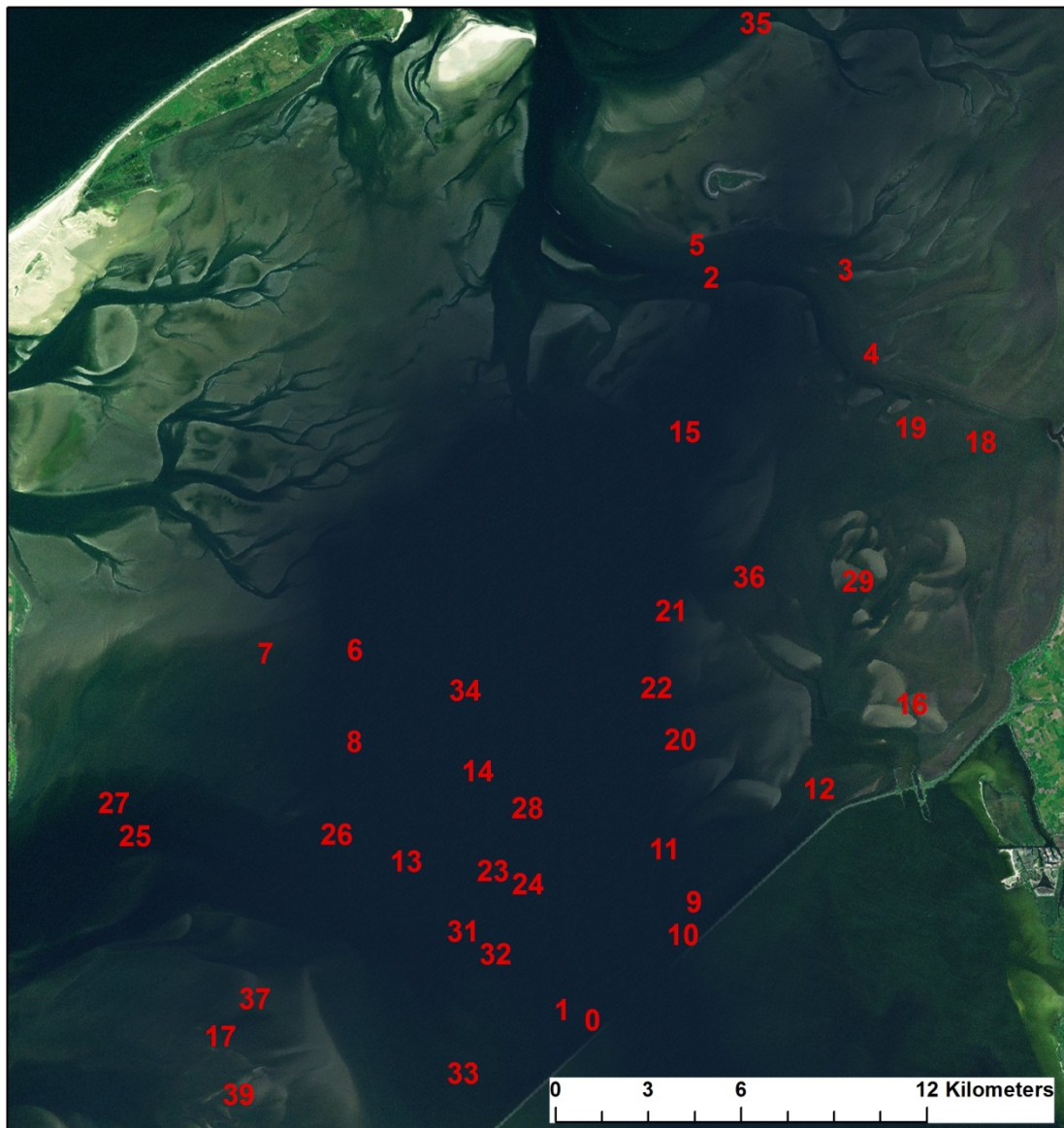
Voorafgaand aan de mosselvisserij worden de PRODUSvakken voor het eerst bemonsterd. Dit is de zogenaamde T_0 bemonstering voor de visserij. Het doel van deze bemonstering is vast te stellen in hoeverre het 'open' en 'gesloten' vak voor visserij van elkaar verschillen. Enkele weken later volgt de visserij en weer enkele weken later volgt een tweede bemonstering, de T_1 bemonstering. Het verschil tussen T_0 en T_1 is de ontwikkeling in de tijd. Het verschil in ontwikkeling tussen 'open' en het 'gesloten' vak is toe te schrijven aan de visserij. Een dergelijke experimentele benadering heet BACI, wat staat voor "Before-After, Control-Impact"; (Underwood, 1991; Green, 1979).

1.3 Locaties in de Waddenzee

In de periode 2006-2009 zijn er in totaal 40 PRODUSvakken gedefinieerd (Fig. 2). Naast een T_0 en een T_1 zijn veel vakken regelmatig bezocht (T_2 , T_3 , T_4 , etc.).



Locatie PRODUS vakken

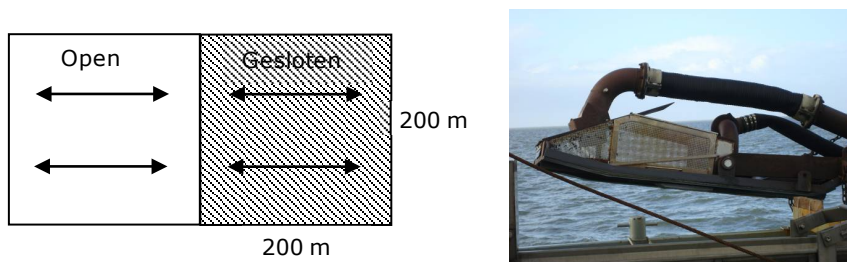


Figuur 2: Satellietopname van de westelijke Waddenzee met daarin de PRODUSvakken. De nummers corresponderen met de volgende locatienamen: 0 = Afsluitdijk AD10, 1 = Afsluitdijk west, 2 = Blauwe Slenk noord, 3 = Blauwe Slenk oost, 4 = Blauwe Slenk Pollendam, 5 = Blauwe Slenk west, 6 = Breesum, 7 = Breesum west, 8 = Breesum zuid, 9 = Breezanddijk, 10 = Gesloten gebied Breezanddijk, 11 = Doovebalg, 12 = Doovebalg oost, 13 = Gat van Stompe, 14 = Gat van Stompe noord, 15 = Inschot, 16 = Kornwerd, 17 = Lutjewaard, 18 = Molenrak oost, 19 = Molenrak west, 20 = Omdraai, 21 = Omdraai kant, 22 = Omdraai SO25, 23 = Stompe, 24 = Stompe percelen, 25 = Texelstroom oost II, 26 = Texelstroom-Scheurrak, 27 = Texelstroom west, 28 = Timmekesplaat, 29 = Verversgat, 30 = Visjagersgaatje, 31 = Vlieter noord, 32 = Vlieter zuid, 33 = Gesloten gebied Vlieter, 34 = Westkom, 35 = Westmeep, 36 = Zuidoostrak, 37 = Zuidwest, 38 = Zwin oost, 39 = Zwin west.

1.4 Bemonsteringen

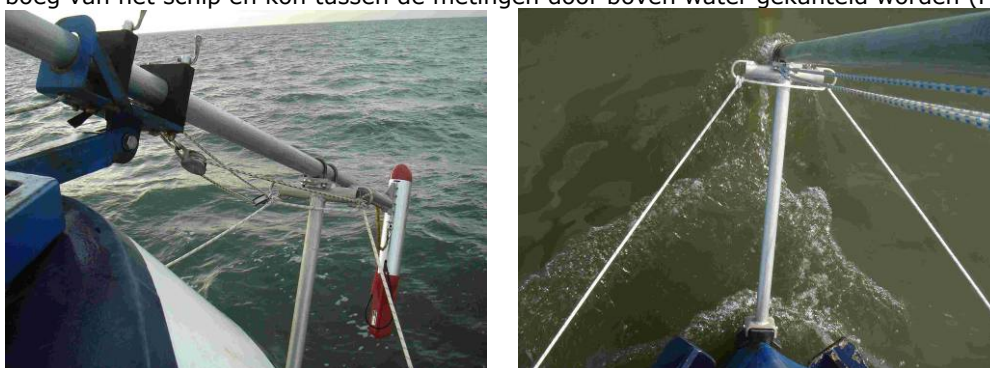
Om de effecten van de mosselvisserij op de bodemstructuur te bestuderen zijn bemonsteringen uitgevoerd met verschillende monstertuigen. De structuur van de zeebodem is ingemeten met de Sidescan sonar (Fig. 1). Daarnaast wordt het benthos bemonsterd met de zuigkor (Fig. 3) of de bodemschaaf (Glorius et al. in voorbereiding). In het huidige rapport zijn de benthosdata uit de zuigkor en bodemschaafbemonsteringen gebruikt om de door de sonar in beeld gebrachte bodemstructuur met het bodemleven op de zeebodem te vergelijken. Hierbij is met name aandacht besteed aan de relatie met de aanwezige mosselen.

De zuigkor is een aangepaste kokkelkor, waarvan het mes is versmald tot 20 cm. De spoel- en zeefinstallatie zijn van 5 mm² gaas voorzien. Het monster uit de kor wordt via een pijp naar boven gezogen en komt in een spoelmolen terecht. Het gespoelde monster valt via een lopende band in een zeefbak. In de zeefbak wordt nog nagespoeld waarna het volume van het monster wordt bepaald. Deze benthosmonsters worden aan dek uitgezocht, gedetermineerd en ingevoerd in een database. Na de survey wordt de data gecontroleerd en toegevoegd aan de CSO database van IMARES in Yerseke. Vanaf waterdieptes groter dan 8 meter wordt in plaats van de zuigkor de bodemschaaf gebruikt. Dit is een vergelijkbaar monstertuig met een smaller mes (10 cm breed) dat wordt voortgesleept aan een vislijn. De bodemschaaf vangt zijn monster op in een kooi die later aan dek geleeft wordt. Beide monstertuigen schaven ca. 7-10 cm diep door het sediment. Het bemonsterd oppervlak hangt af van de bemonsterde trek-lengte. Binnen het PRODUSonderzoek varieerde de trek-lengte tussen de 100 en 150 m (Fig. 3).



Figuur 3: Paarsgewijze opzet van de PRODUS onderzoeksvakken. De pijlen staan voor de bemonsteringen met de zuigkor. Voor iedere bemonstering is zoveel mogelijk over hetzelfde spoor heen gemonsterd. Daarnaast een foto van de zuigkor.

De zeebodemstructuur van de PRODUSvakken is in beeld gebracht met de Sidescan sonar. De metingen zijn verricht met het schip Phoca van het ministerie van EZ. De Sidescan sonar was bevestigd aan de boeg van het schip en kon tussen de metingen door boven water gekanteld worden (Fig 4).



Figuur 4: Positionering sonar aan de boeg van het schip. De linker foto is de zogenaamde rust positie en de rechter foto is de positie tijdens de metingen.

De gebruikte Sidescan sonar was van het merk IMAGINEX, model SportScan. De signaalbron en ontvanger waren geheel ingebouwd in de meettorpedo. De aansluiting was een RS232 9D aansluiting die op een seriële ingang van de laptop werd aangesloten. Een tweede seriële poort was nodig voor de aansluiting van een D-GPS. De sportscan werd gevoed met een 12 volt voeding. Op de computer was een programma geïnstalleerd (WIN881SS) om de signalen op te slaan. De computer en andere randapparatuur waren opgesteld in de stuurhut van de het vaartuig Phoca van het ministerie van EZ.

1.5 Sonardata verwerking

De dataverwerking gebeurde met het programma SonarWiz.map. Van elke deeltrack wordt de diepte onder de Sidescan bepaald aan de hand van een herkenbaar helderheidspatroon. Dit kan automatisch gebeuren, maar in moeilijke situaties (onduidelijke patronen in de helderheidsverdeling) kan het ook handmatig worden gedaan. De metingen zijn vervolgens gecorrigeerd voor een aantal artefacten:

- Hoe langer de geluidspuls onderweg is, hoe zwakker het signaal
- Hoe kleiner de hoek waaronder de bodem wordt geraakt, hoe zwakker het signaal
- De intensiteit van het gereflecteerde signaal is afhankelijk van de aard en oriëntatie van de bodem

De in SonarWiz.Map geproduceerde sonarbeelden zijn geo-gereferenciede TIFF files. In deze TIFF files zijn correcties uitgevoerd om gridlijnen te verwijderen, omdat deze invloed zouden hebben op de verdere analyse. Omdat de helderheid van de gridlijnen laag was, konden ze worden geselecteerd en uit het plaatje worden verwijderd. De 'lege' pixels zijn opgevuld met de gemiddelde waarde van de aansluitende pixels (Figure).

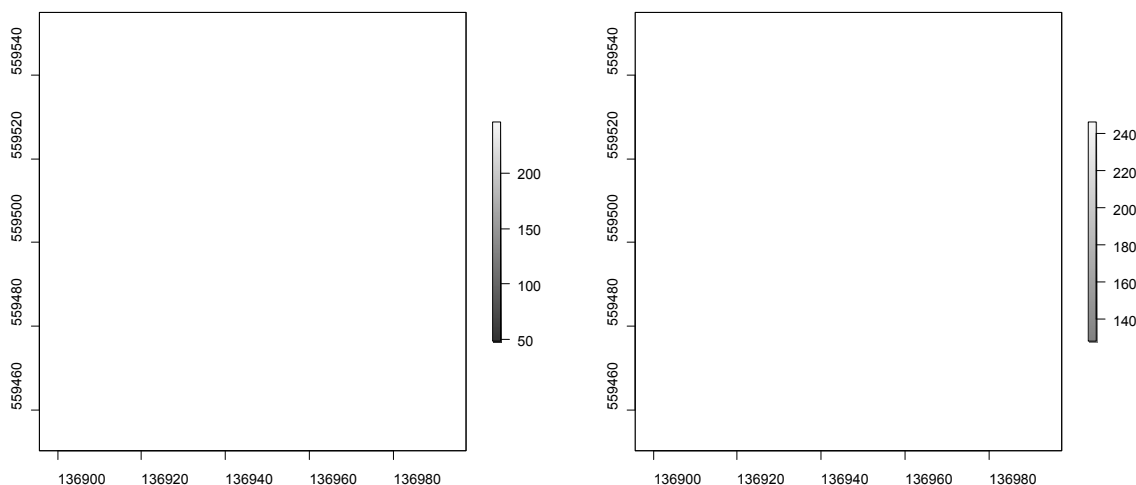


Figure 5: Links: sonarbeeld uit SonarWiz.Map met daarin zichtbare gridlijnen. Rechts: hetzelfde plaatje waaruit de gridlijnen verwijderd zijn.

Sommige van de door SonarWiz.Map geproduceerde sonarbeelden bleken een artificieel hoge resolutie te hebben. Voorafgaand aan de analyse zijn deze beelden eerst met een factor 4 gereduceerd (Figure).

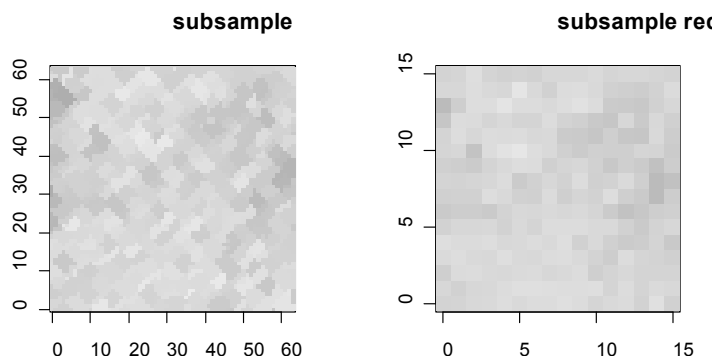
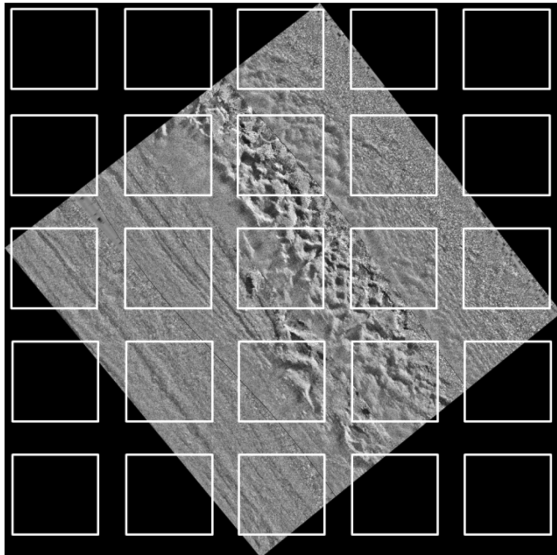


Figure 6: Een close-up van een deel van een sonarplaatje met artificieel hoge resolutie (links). Daarnaast (rechts) het zelfde plaatje na reductie van de resolutie.

1.6 Subsampling

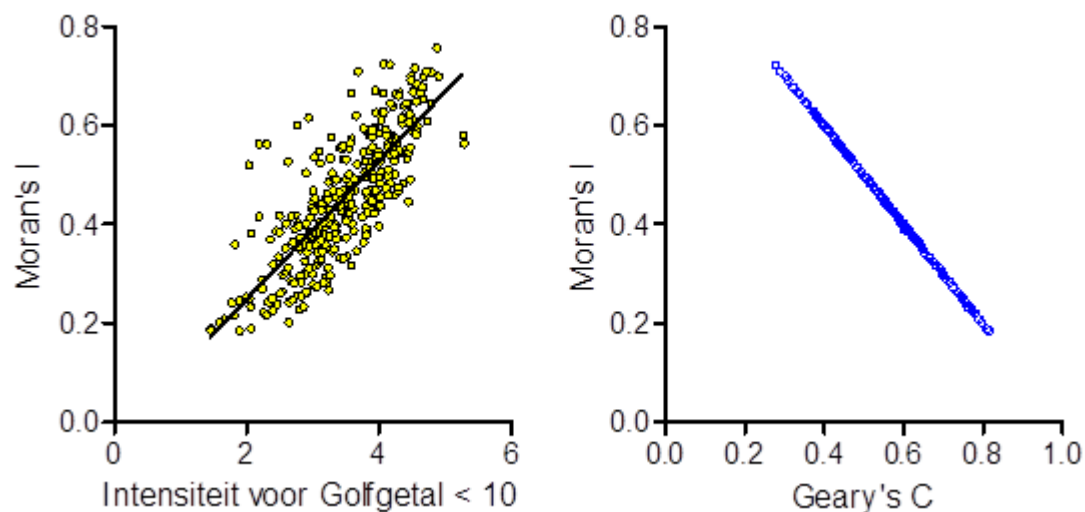
Voor de analyse van de sonarbeelden zijn submonsters genomen van 512x512 pixels. Dit waren de 100 x 100 meter grote binnenste delen van de PRODUSvakken. Tussen de submonsters is een afstand van 128 pixels aangehouden (Fig. 7). Alleen submonsters die volledig in het sonarplaatje vielen zijn bewaard voor verdere analyse. Gemiddeld zijn uit ieder 100x100 meter binnenvak 8 submonsters genomen, waarvoor de structuurindicatoren zijn berekend. Voor het nemen van de submonsters en het berekenen van structuurindicatoren is gebruik gemaakt van R (R Development Core Team) en de packages *raster* en *waved*.



Figuur 7: Geautomatiseerde subsampling van de sonarbeelden in het 100x100 meter binnenvak. In het bovenstaande voorbeeld symboliseren de witte vierkantjes de submonsters uit een sonarbeeld. In dit voorbeeld vallen slechts vijf submonsters volledig binnen het sonarbeeld.

1.7 Indicatoren voor structuur

Met als doel de structuur op de sonarbeelden te kwantificeren is het gebruik van verschillende structuurindicatoren geëvalueerd. Dit waren de golfpatronen en golfrichtingen in sonarbeelden en maten voor ruimtelijke autocorrelatie: Geary's C, Moran's I. Data-exploratie liet zien dat de richting van de golfpatronen in de sonarbeelden geen bruikbare informatie verschaftte in relatie tot de ground truth of visserij-effecten. De andere drie indicatoren voor structuur vertoonden sterke mate van correlatie met elkaar (Fig. 8). Daarom is ervoor gekozen om de verdere analyses uit te voeren aan de hand van 1 indicator: Moran's I.



Figuur 8: Correlatie tussen verschillende indicatoren voor structuur. Links: Moran's I als functie van de som van de intensiteit van golfgetallen < 10 uit het radiaal spectrum. Rechts, Moran's I als functie van de andere maat voor ruimtelijke autocorrelatie Geary's C.

1.8 Moran's I

Moran's I is een maat voor ruimtelijke autocorrelatie. In het geval van sonarbeelden gaat het om correlatie in de zwarte of grijs tint van nabij gelegen pixels in een plaatje. Deze ruimtelijke autocorrelatie simplificeert en kwantificeert de structuur in de afbeelding. Voor de sonarbeelden geldt dat Moran's I een beeld geeft van de mate van clustering van pixels. Deze geclusterde pixels weerspiegelen de driedimensionale structuur van de zeebodem. Moran's I is een waarde die kan variëren tussen -1 en +1. De betekenis van een betreffende waarde kan het best worden uitgelegd aan de hand van een zwart-wit plaatje met evenveel witte als zwarte pixels. Als alle zwarte pixels aan de ene kant en alle witte pixels aan de andere kant van het plaatje liggen dan is de waarde van Moran's I +1. Het ander uiterste zou zijn als de witte en zwarte pixels precies om en om zouden voorkomen, zoals de vakjes op een schaakbord. In dat geval zou de waarde van Moran's I -1 zijn. Bij een random verdeling van de pixels hoort een waarde van nul.

1.9 Data analyses

De gemiddelde waarden voor Moran's I per PRODUSvak is vergeleken met de aanwezige mosselbiomassa, leeftijd van mosselvoorkomens, soortenrijkdom aan ongewervelde bodemdieren, soortenrijkdom van de bodemvissen, aantallen bodemdieren en aantallen vissen. Omdat de variatie in de gemiddelde Moran's I normaal verdeeld was (Fig. 17) kon voor deze analyses gebruik worden gemaakt van random intercept modellen (R Development Core Team, packages nlme), met locatie als random effect.

Voor het bestuderen van de effecten van de mosselvisserij op de bodemstructuur is gebruik gemaakt van de paarsgewijze opzet van het PRODUSonderzoek. Per PRODUSvak is het verschil in Moran's I berekend tussen T_0 en T_1 . Per locatie zijn voor deze berekende waarden de 'open' en de 'gesloten' vakken met elkaar vergeleken in een gepaarde t-toets in GraphPad Prism.

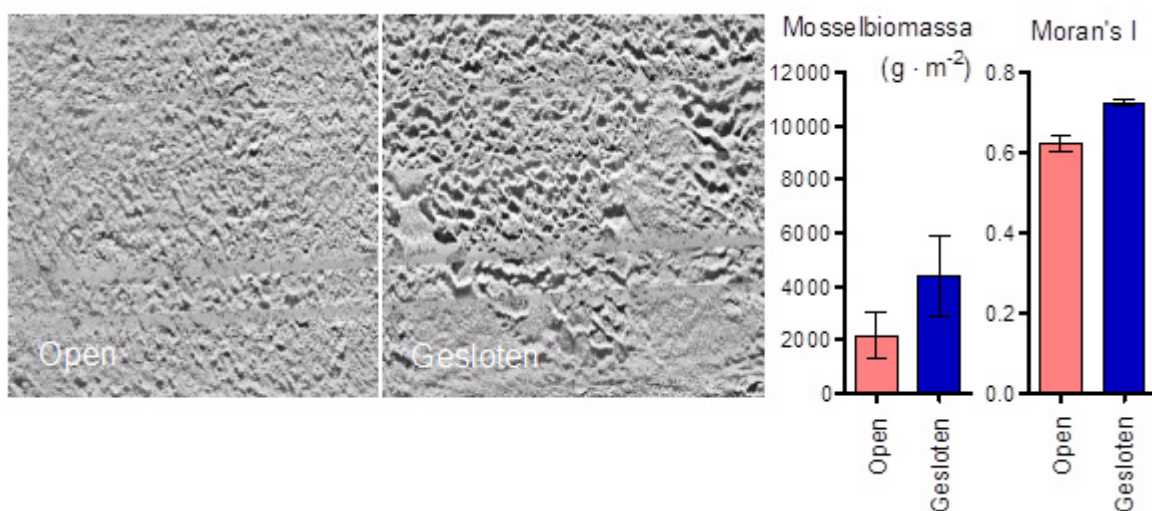
1.10 Paneltest

Op het oog zijn zeebodemstructuren op de sonarbeelden zichtbaar, maar moeilijk te kwantificeren. Met als doel te onderzoeken of de structuur op sonarbeelden samengevat als Moran's I aansloot bij de verwachting aan de hand van visuele interpretatie is een zogenaamde paneltest uitgevoerd. In de paneltest is geprobeerd de structuur van zeer uiteenlopende Sidescan sonarbeelden op het oog te kwantificeren (expert judgement) en die vervolgens te vergelijken met de bijhorende waarden voor Moran's I en de daadwerkelijk gemeten mosselbiomassa's. Het testpanel, bestaande uit 9 personen, heeft per sonarbeeld aangegeven hoeveel procent van het oppervlak bedekt was met "structuur" die mogelijk representatief is voor mosselvoorkomens. Elk van de personen had de opdracht voor 18 'beviste' en 'onbeviste' vakken deze mossel-bedekking te schatten op een schaal van 0-100%.

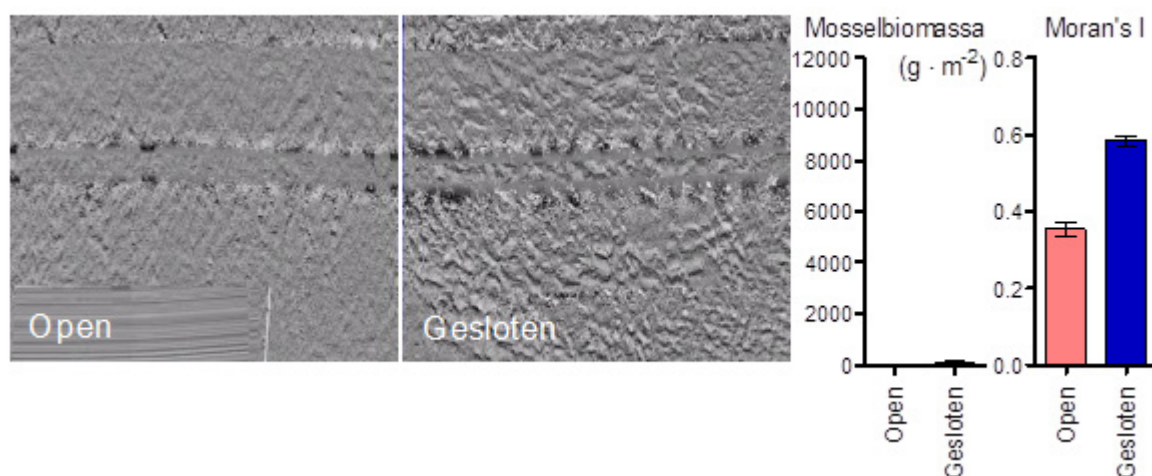
Resultaten

1.11 Structuur op de zeebodem

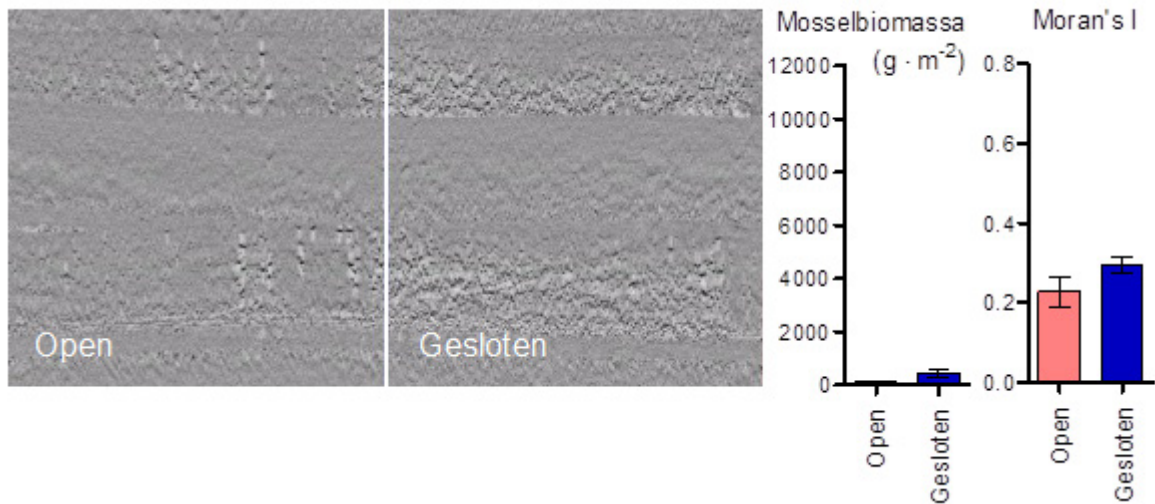
Sonarbeelden zijn een soort akoestische reflecties van de zeebodem. Op de sonarbeelden die binnen dit onderzoek zijn genomen zijn structuren waarneembaar. Enkele voorbeelden van sonaropnames van PRODUSvakken worden gepresenteerd in figuur 9-14. In de figuren 9-13 is voor 5 verschillende locaties het 'open' en het 'gesloten' geplot voor de situatie na de eerste zaadvisserij. Het gaat hier om de volgende locaties: het Visjagersgaatje, T1 in het voorjaar van 2009 (Fig. 9). De locatie Breesum zuid, T1 in het najaar van 2009 (Fig. 10). Timmekensplaat, T1 in het najaar van 2008 (Fig. 11). De locatie Breezand, T1 in het voorjaar van 2009 (Fig. 12). En de locatie Kornwerd, T1 in het voorjaar van 2009 (Fig. 13).



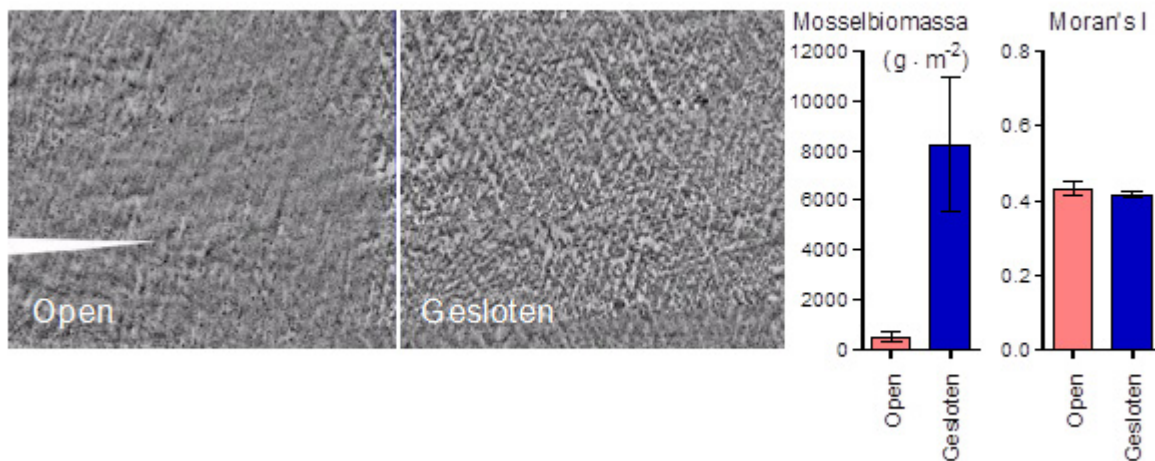
Figuur 9: Sidescan sonar opname voor de locatie Visjagersgaatje op T1 (na de mosselzaadvisserij) in het voorjaar van 2009. Links is het beviste vak te zien met rechts daarnaast het onbeviste vak. Naast de sonarbeelden staan twee grafieken waarin de gemiddelde mosselbiomassa en de gemiddelde waarde van Moran's I zijn geploteerd voor het 'open' en 'gesloten' vak. Error bars zijn standaard deviaties.



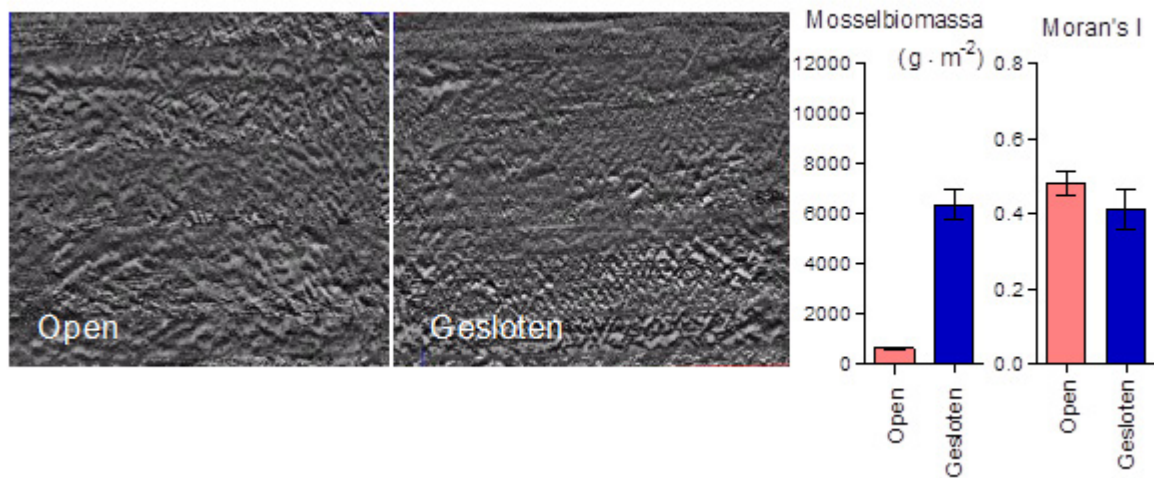
Figuur 10: Sidescan sonar opname voor de locatie Breesum zuid op T1 (na de mosselzaadvisserij) in het najaar van 2009. Links is het beviste vak te zien met rechts daarnaast het onbeviste vak. Naast de sonarbeelden staan twee grafieken waarin de gemiddelde mosselbiomassa en de gemiddelde waarde van Moran's I zijn geploteerd voor het 'open' en 'gesloten' vak. Error bars zijn standaard deviaties.



Figuur 11: Sidescan sonar opname voor de locatie Timmekensplaat op T1 (na de mosselzaadvisserij) in het najaar van 2008. Links is het beviste vak te zien met rechts daarnaast het onbeviste vak. Naast de sonarbeelden staan twee grafieken waarin de gemiddelde mosselbiomassa en de gemiddelde waarde van Moran's I zijn geplot voor het 'open' en 'gesloten' vak. Error bars zijn standaard deviaties.



Figuur 12: Sidescan sonar opname voor de locatie Breezand op T1 (na de mosselzaadvisserij) in het voorjaar van 2009. Links is het beviste vak te zien met rechts daarnaast het onbeviste vak. Naast de sonarbeelden staan twee grafieken waarin de gemiddelde mosselbiomassa en de gemiddelde waarde van Moran's I zijn geplot voor het 'open' en 'gesloten' vak. Error bars zijn standaard deviaties.



Figuur 13: Sidescan sonar opname voor de locatie Kornwerd op T1 (na de mosselzaadvisserij) in het voorjaar van 2009. Links is het beviste vak te zien met rechts daarnaast het onbeviste vak. Naast de sonarbeelden staan twee grafieken waarin de gemiddelde mosselbiomassa en de gemiddelde waarde van Moran's I zijn geplott voor het 'open' en 'gesloten' vak. Error bars zijn standaard deviaties.

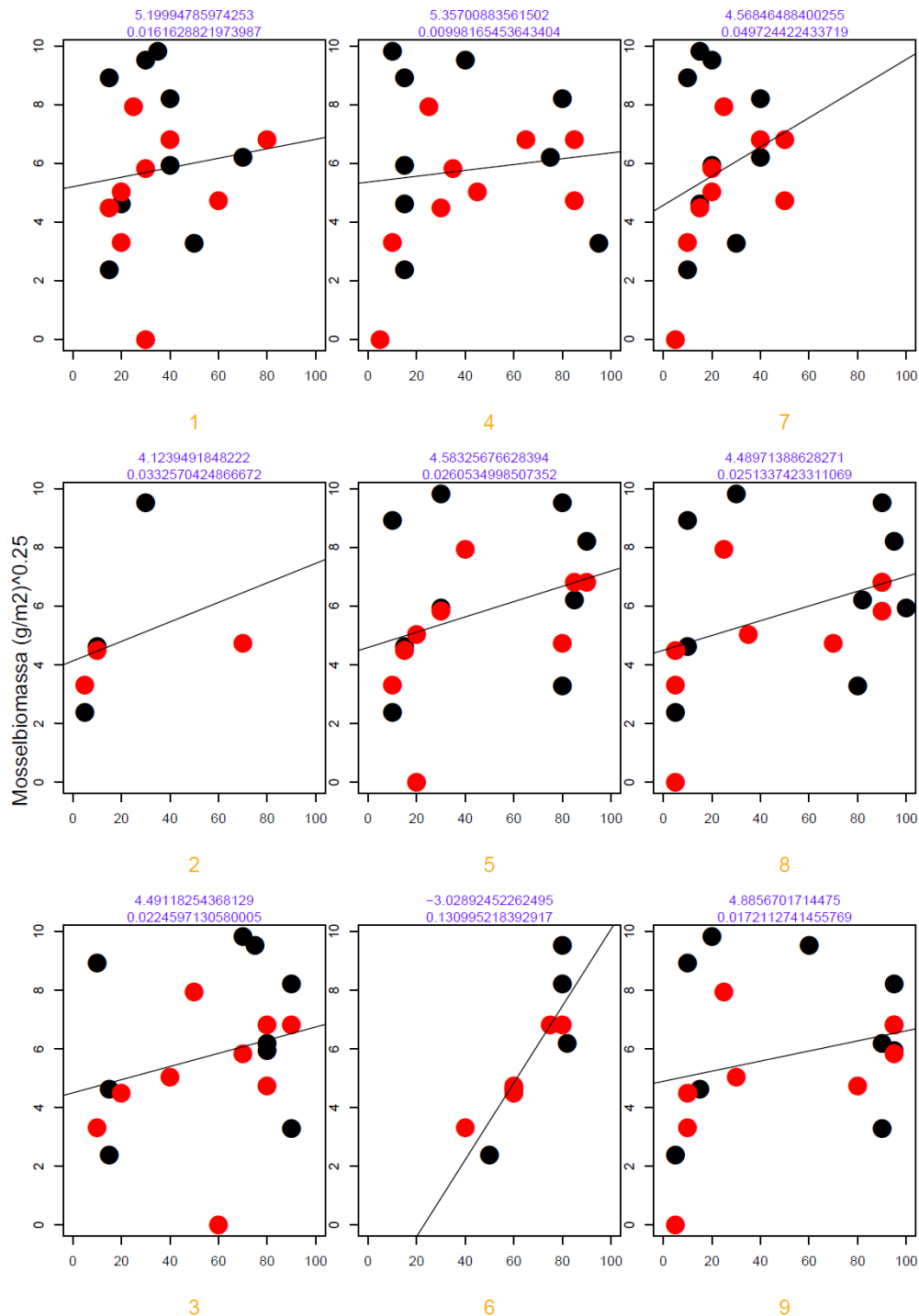
Wat opvalt in de bovenstaande 5 figuren is de sterke mate van variatie tussen de verschillende sonarbeelden. In de meeste gevallen zijn verschillen tussen het 'open' en het 'gesloten' vak op het oog waarneembaar. Dit is vooral duidelijk te zien in de figuren 9, 10 en 12. Naast de sonarbeelden is de gemeten mosselbiomassa's op die locaties en tijdstippen weergegeven. Voor figuur 9, 12 en 13 geldt dat ook daadwerkelijke een groot verschil in mossel biomassa is gevonden tussen het 'open' en 'gesloten' vak. Voor figuur 13 geldt dat op het oog in het beviste vak meer structuur aanwezig lijkt te zijn dan in het gesloten vak. Toch was de biomassa in het 'gesloten' vak veel hoger dan in het 'open' vak. Naast de gemeten mosselbiomassa's zijn voor de figuren ook berekende waarden voor Moran's I gegeven. Het Visjagersgaatje (Fig. 9) had relatief hoge waarden voor Moran's I, tussen 0.60 en 0.75, met een hogere waarden gemeten in het 'gesloten' vak dan in het 'open' vak. Ook het 'gesloten' vak van de locatie Breesum zuid (Fig. 10) had waarden voor Moran's I van rond de 0.60. Voor het 'open' vak van Breesum zuid was de berekende waarde voor Moran's I rond de 0.36. De gemeten mosselbiomassa's op deze locatie was laag. In het 'open' vak zijn op het betreffende tijdstip geen mosselen meer aangetroffen en ook in het 'gesloten' vak lag de mosselbiomassa beneden de zogenaamde visbare dichtheden, hetgeen toch nog vrij hoge waarden voor Moran's I opleverde. De in figuur 11 gepresenteerde sonarbeelden van Timmekensplaat (T1, najaar 2008) leveren erg lage waarden voor Moran's I op. De waarden in het 'gesloten' vak liggen rond de 0.3 en de waarden in het 'open' vak liggen rond de 0.22. Voor deze locatie corresponderen deze waarden ook met lage mosseldichtheden die inderdaad iets hoger zijn in het 'gesloten' vak. Voor de locatie Kornwerd (T1, voorjaar 2009) is het verschil in bodemstructuur tussen het 'open' en 'gesloten' vak moeilijk waarneembaar. Het lijkt er op dat er meer structuur te zien is in het 'open' vak dan in het 'gesloten' vak. De berekende waarden voor Moran's I duiden daar ook op. Dit correspondeert niet met de gemeten mosselbiomassa's die erg hoog zijn in het 'gesloten' vak en laag in het 'open' vak (Fig. 13).

1.12 Paneltest

De interpretatie van de structuur op de sonarbeelden is ook aan een paneltest onderworpen (zie laatste alinea van de methoden). De relatie tussen de op het oog geschatte mosselbedekking en de gemeten mosselbiomassa op locaties en tijdstippen leverde voor alle 9 proefpersonen een positief verband op (Fig. 14). Opvallend was dat 8 van de 9 personen de relatieve mosselbedekking overschatten (intercept >0). Hierdoor was het verband tussen geschatte bedekking en gemeten biomassa in de meeste gevallen niet significant, met richtingscoëfficiënten veel kleiner dan 0.1. Alleen proefpersoon 6 bleek de relatie tussen de door de sonar in beeld gebrachte structuur en de door de zuigkor gemeten mosselbiomassa goed te kunnen inschatten.

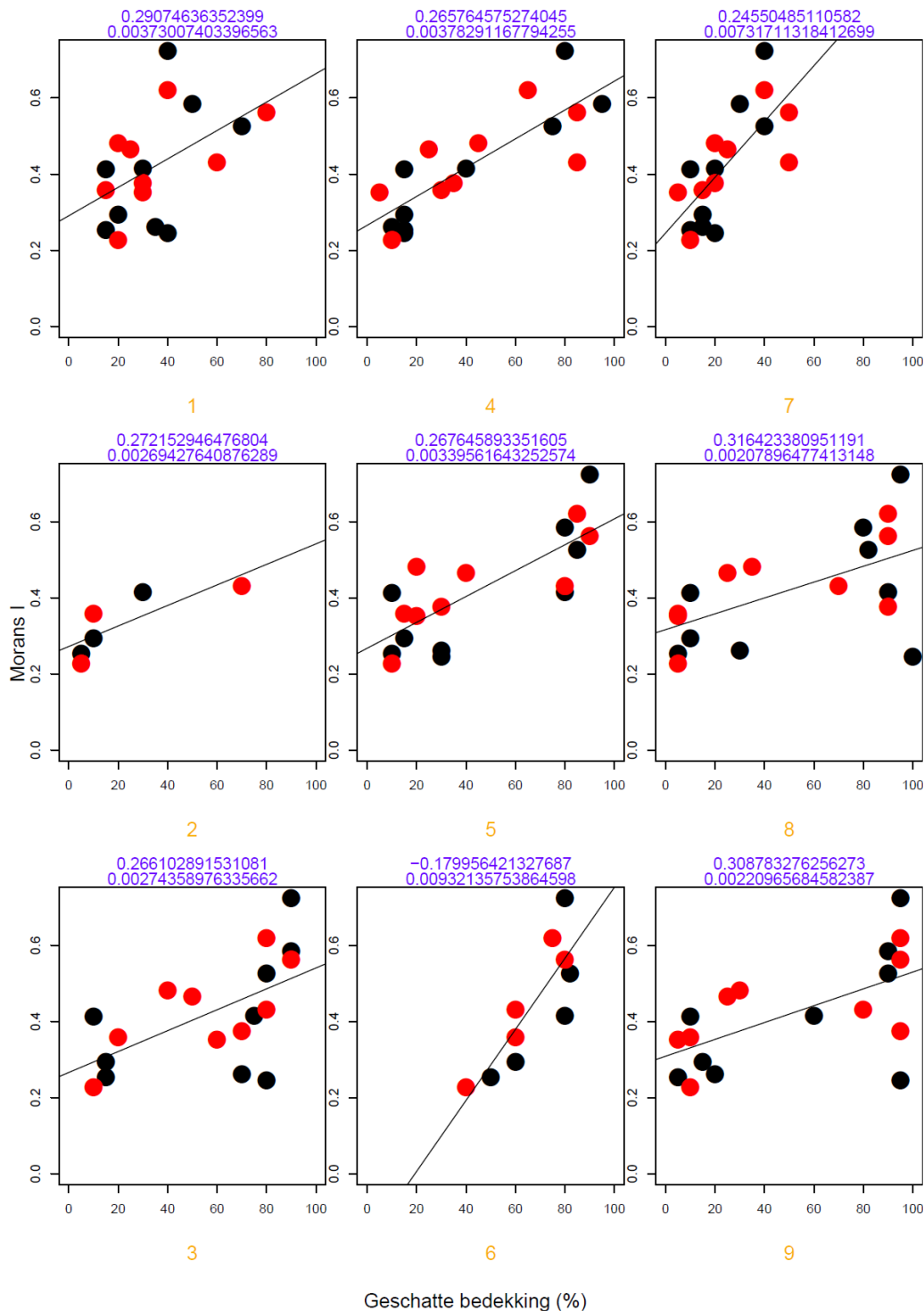
In figuur 15 zijn de resultaten van de paneltest uitgezet tegen de door de computer berekende structuur (Moran's I). Deze relatie leverde voor alle personen een positief verband op dat wel significant was. Omdat Moran's I berekend voor sonarbeelden varieerde tussen de 0.19 en 0.76 is een intercept van rond de 0.2-0.3 een heel aardige schatting. Maximale bedekking (nabij 100%) kwam voor een aantal proefpersonen ook overeen met maximale waarden voor Moran's I.

In figuur 16 zijn 15 voorbeelden gegeven van op bepaalde tijdstippen in beeld gebrachte locaties. In die figuur zijn locaties geselecteerd op opvallende waarden voor Moran's I. In de linker kolom staan 4 voorbeelden van sonarbeelden met relatief lage Moran's I waarden. In de middelste kolom staan 4 locaties met gemiddelde Moran's I waarden en in de rechter kolom staan 4 locaties met relatief hoge Moran's I waarden.

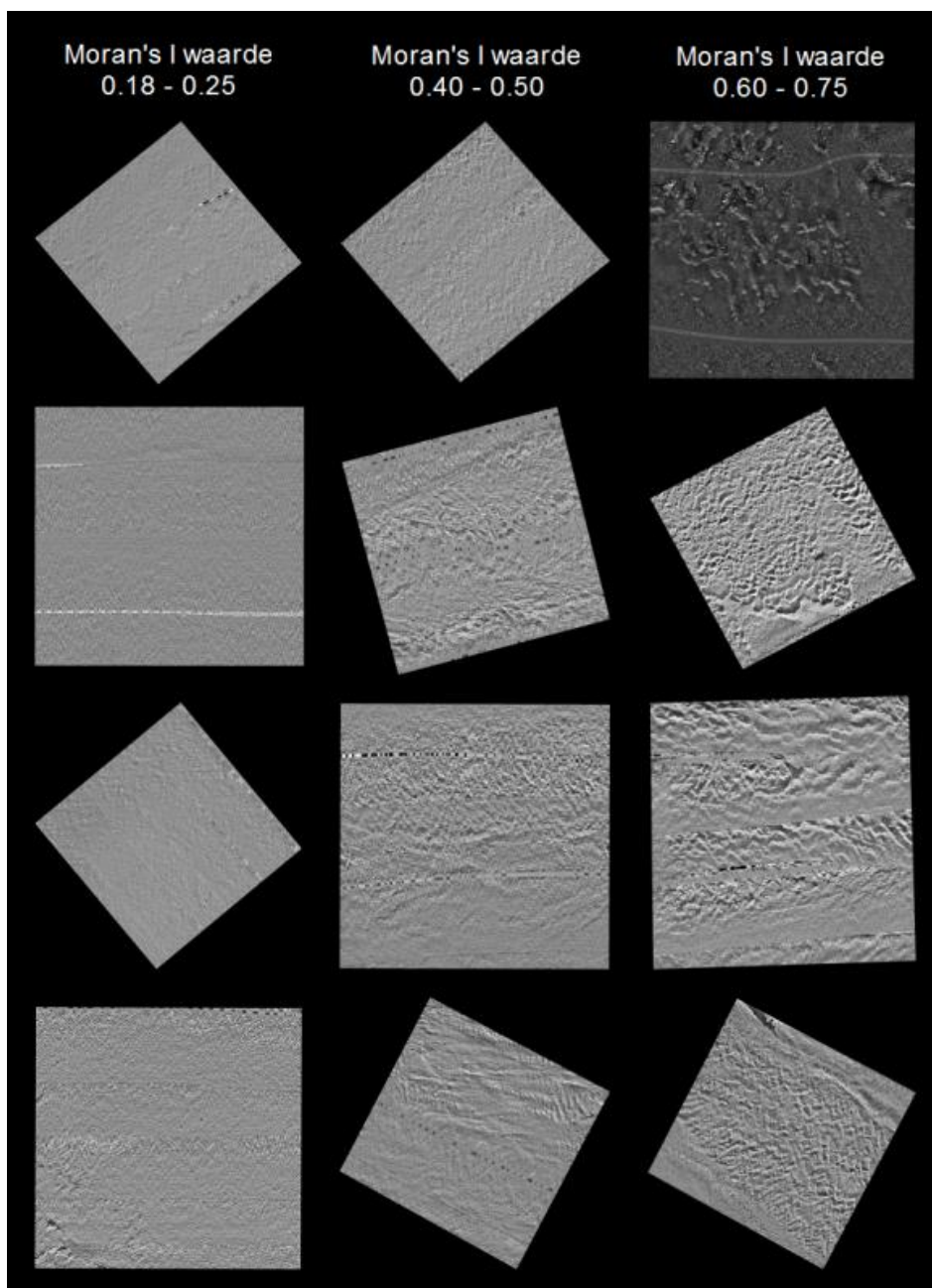


Geschatte bedekking (%)

Figuur 14: Paneltest voor sonarbeelden. De frames 1-9 staan voor 9 verschillende proefpersonen die voor maximaal 18 sonarbeelden de bedekking met mosselen op het oog hebben geschat. Deze geschatte bedekking kan variëren tussen 0 en 100% en staat uitgezet op de x-as van de grafieken. Op de y-as staat de gemeten (getransformeerde) mosselbiomassa die in deze plots kan variëren tussen 0 en 10. In de plots is een regressielijn geplot. De blauwe getallen boven elk plot zijn de coëfficiënten van die lijnen. De rode stippen zijn beviste locaties en de zwarte stippen zijn niet-beviste locaties.



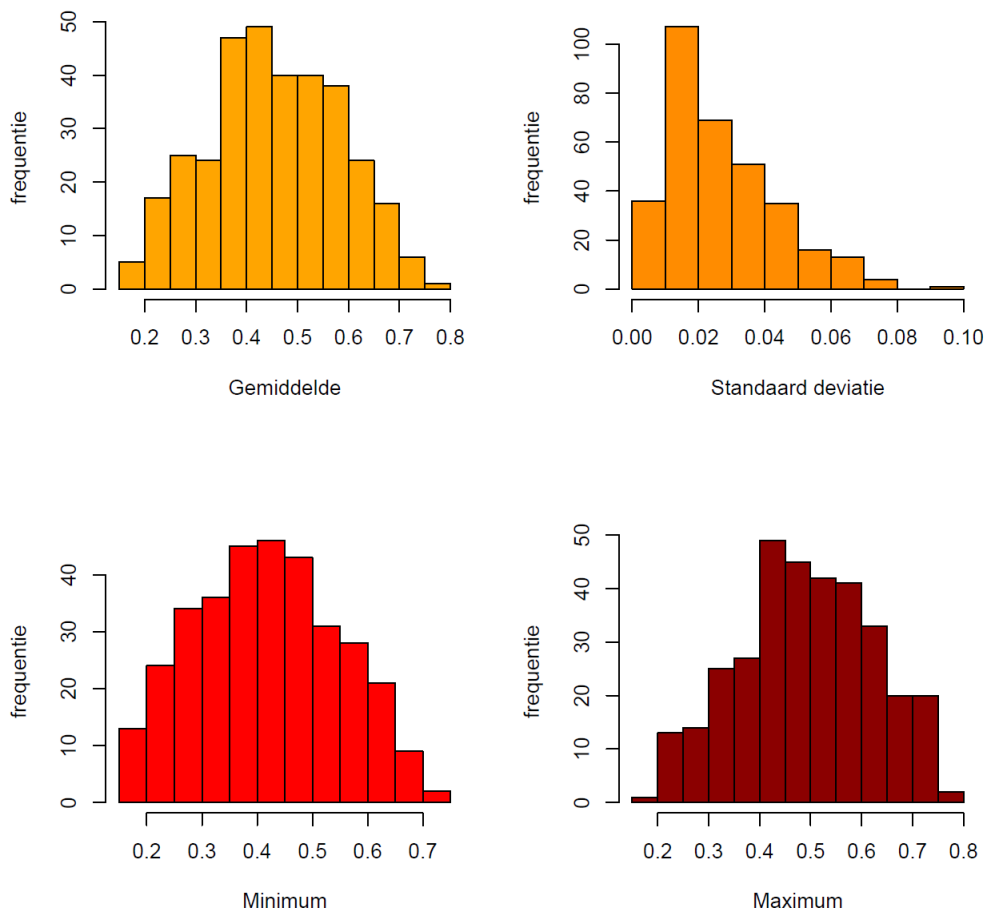
Figuur 15: Paneltest voor sonarbeelden. De frames 1-9 staan voor 9 verschillende proefpersonen die voor maximaal 18 sonarbeelden de bedekking met mosselen op het oog hebben geschat. Deze geschatte bedekking kan variëren tussen 0 en 100% en staat uitgezet op de x-as van de grafieken. Op de y-as staat de berekende Moran's I waarde uitgezet, die in deze plots kan variëren tussen 0.19 en 0.76. In de plots is een regressielijn geplot. De blauwe getallen boven elk plot zijn de coëfficiënten van die lijnen. De rode stippen zijn beviste locaties en de zwarte stippen zijn niet-beviste locaties.



Figuur 16: Voorbeelden van Sidescan sonarbeelden uit 3 verschillende categorieën Moran's I waarden: lage waarden (0.18-0.25), gemiddelde waarden (0.40-0.50) en hoge waarden (0.60-0.75).

1.13 Moran's I waarden van sonarbeelden

Zoals in de methodesectie van dit rapport is uitgelegd zijn de sonarbeelden van de individuele PRODUSvakken opgewerkt tot 1 waarde per bemonstering. Deze waarde is de gemiddelde Moran's I. Alle verzamelde sonarbeelden in het PRODUS onderzoek hebben een waarde voor Moran's I tussen 0.19 en 0.76 (Fig. 17), wat inhoudt dat de door de sonar in beeld gebrachte structuur op de zeebodem varieert tussen redelijk grote aaneengesloten patches tot afwisselende kleinere patches van pixels met altijd een zekere mate van correlatie in intensiteit van nabijgelegen pixels. De gemiddelde waarde ligt rond de 0.4-0.5. Het grootste deel van de variatie binnen een willekeurig sonarbeeld kent een standaard deviatie die kleiner is dan 30% van het gemiddelde.



Figuur 17: Variatie in Moran's I, berekend voor de PRODUSvakken. Linksboven: verdeling van de gemiddelde waarde per sonarbeeld (vak op een bepaald tijdstip). Rechtsboven: verdeling van de standaard deviatie voor de variatie tussen de submonsters uit een sonarbeeld. Linksonder: minimale Moran's I waarde voor submonsters per sonarbeeld. Rechtsonder: maximale Moran's I waarde voor submonsters per sonarbeeld.

1.14 PRODUS locaties

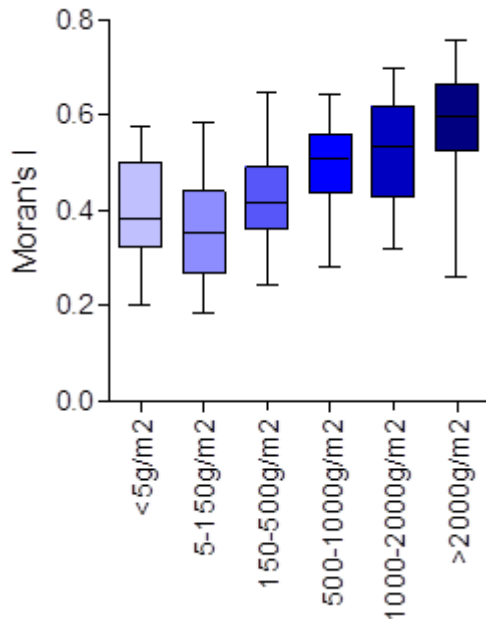
De waarde van Moran's I varieert tussen de verschillende PRODUS locaties (Fig. 18). Zeer lage gemiddelde waarden zijn aangetroffen op locaties als Westkom, Stompe en Breesum-west. Gemiddeld hoge waarden zijn gemeten op locaties als Blauwe Slenk – Pollendam, Inschot en het Visjaegersgaatje. De standaard deviatie voor Moran's I tussen de locaties was 0.09. Voor de meeste vakken had de standaard deviatie bepaald over verschillende tijdstippen van bemonstering een vergelijkbare waarde. Locaties met zeer lage temporele variatie in Moran's I waren Gat van Stompe, Westkom en Westmeep. Een hoge temporele variatie is gevonden voor Kornwerd, Visjagersgaatje en Stompe. Voor de meeste vakken geldt dat minimale (M_{\min}) en maximale (M_{\max}) waarden voor Moran's I een functie zijn van het gemiddelde (M_{gem}): $M_{\min} = 0.9575 M_{\text{gem}} - 0.0954$, $r^2 = 0.6985$ en $M_{\max} = 0.7584 M_{\text{gem}} + 0.2581$, $r^2 = 0.514$. Voor de standaard deviatie geldt dat in mindere mate: $sd = 0.11 M_{\text{gem}} + 0.0493$, $r^2 = 0.0713$. Met name de locatie Kornwerd had een relatief hoge standaard deviatie van 0.174, dat is 40% van de gemiddelde waarde die voor die locatie in de tijd is gemeten.



Figuur 18 Ruimtelijke verdeling in Moran's I over het onderzoeksgebied. Moran's I waarden zijn tot de derde macht verheven om de verschillen tussen locaties te accentueren.

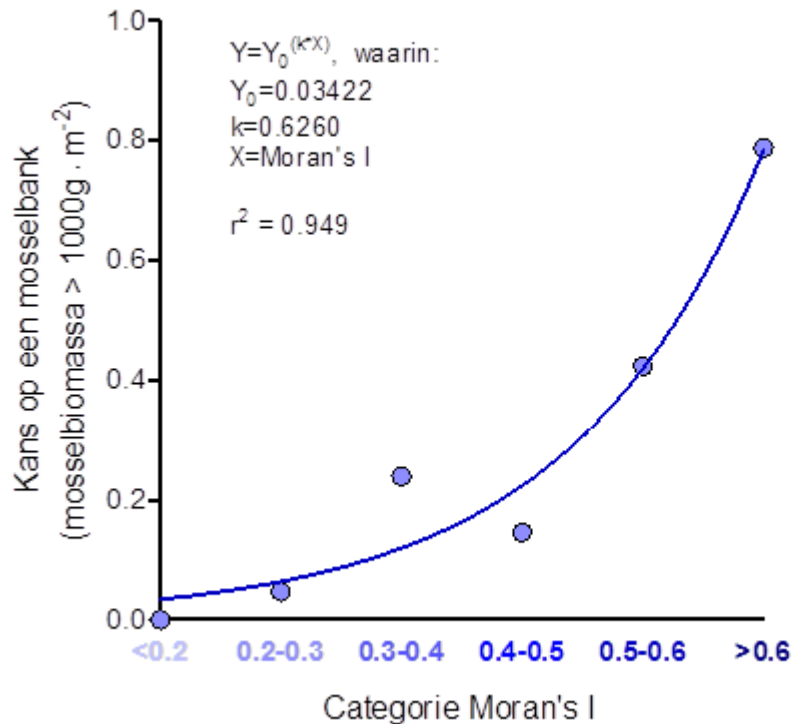
1.15 Relatie met mosselen

Er is een significante, positieve relatie tussen Moran's I en de biomassa mosselen op een locatie (Bijlage 3-4; Tab. 1). Figuur 19 laat de variatie in Moran's I zien voor 6 biomassa-categorieën mosselvoorkomens. Er is een duidelijke toename van Moran's I met een toenemende dichtheid mosselen. Onderzoeksvakken met mosselzaad hebben gemiddeld hogere waarden voor Moran's I dan vakken met oudere voorkomens, wat overeenkomt met de gemiddeld hogere mosselbiomassa in mosselzaadbanken (Fig. 21).



Figuur 19: Variatie in Moran's I voor sonarbeelden van mosselvoorkomens van verschillende mosseldichtheden.

Als we Moran's I inzetten als voorspeller voor de mosselbiomassa op de PRODUSvakken vinden we een positief verband (Fig. 19). De belangrijkste kanttekening hierbij is dat ook op locaties zonder mosselen de Moran's I hoge waarden kan bereiken (Fig. 19). Daarom is eveneens gekeken naar de kans dat de structuur op een sonarbeeld met een bepaalde waarde voor Moran's I daadwerkelijk hoge mosseldichtheden ($> 1000\text{g/m}^2$) laat zien. Figuur 20 laat zien dat er een (exponentieel) positief verband is tussen deze kans en de hoogte van Moran's I. In figuur 20 zijn de berekende Moran's I waarden in 6 categorieën onderverdeeld: <0.2 , $0.2-0.3$, $0.3-0.4$, $0.4-0.5$, $0.5-0.6$ en >0.6 . Per categorie is de kans op hoge mosselvoorkomens berekend als het aantal observaties waarvoor geldt dat de mosselbiomassa $> 1000\text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, gedeeld door het totale aantal observaties in een categorie. Dit leidt tot een kans waarvoor geldt: $\text{Kans}(Y) = 0.03422^{(0.6260 \cdot X)}$, waarin X staat voor een bepaalde Moran's I waarde (Fig. 20). De exponentiele curve in figuur 20 geeft aan dat voor gemiddelde waarden van Moran's I ($0.4 - 0.5$) de kans op hoge mosselvoorkomens ca. 20% is. Voor relatief hoge waarden ($0.5 - 0.6$) is die kans $>40\%$ en voor de hoogst gemeten waarden (>0.6) is die kans groter dan 80%.

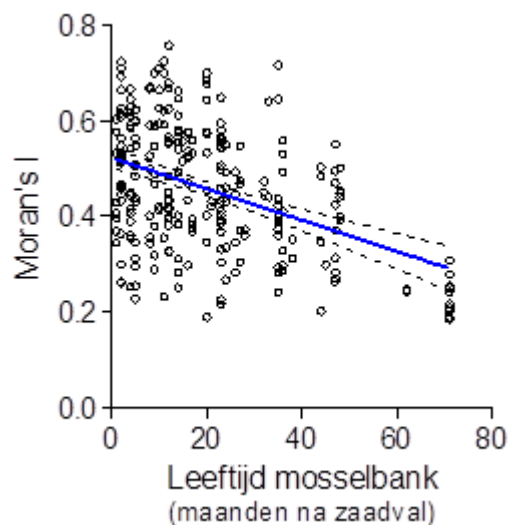


Figuur 20: Moran's I als voorspeller van een mosselbank op PRODUSvakken. De X-as bestaat uit 6 categorieën Moran's I waarden. Per categorie is de kans op een mosselbank > 1000 g/m² geplot. Door die punten is een exponentiele curve gefit.

Tabel 1: Mixed regressiemodel voor de mosselbiomassa als functie van Moran's I. Random effect is de locatie van de PRODUSvakken.

Mosselbiomassa	Waarde	Std. Error	DF	t-waarde	P-waarde
Intercept	-0.908127	0.5714883	229	-1.589056	0.1134
Moran's I	11.301622	1.1227314	229	10.066185	0.0000

Op de PRODUSvakken neemt de waarde van Moran's I af als functie van de leeftijd van een mosselvoorkomens (Fig. 21). Uit de resultaten blijkt dat voor mosselvoorkomens die variëren in leeftijd tussen 0 en 40 maanden oud, hoge en lage Moran's I waarden (0.15 – 0.75) kunnen worden gemeten. Voor mosselvoorkomens die ouder zijn dan 40 maanden neemt de maximale Moran's I af (<0.6). Voor mosselvoorkomens ouder dan 60 maanden lag de gemeten Moran's I altijd onder de 0.4.

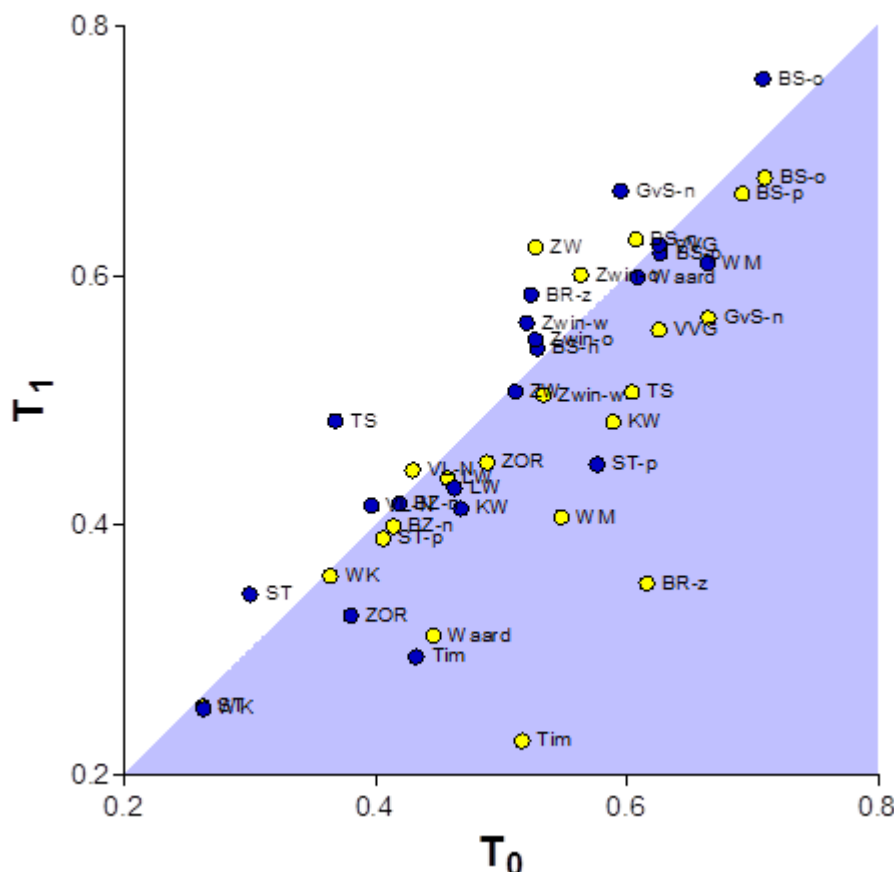


Figuur 21: Variatie in Moran's I als functie van de leeftijd van de mosselvoorkomens.

1.16 Visserij

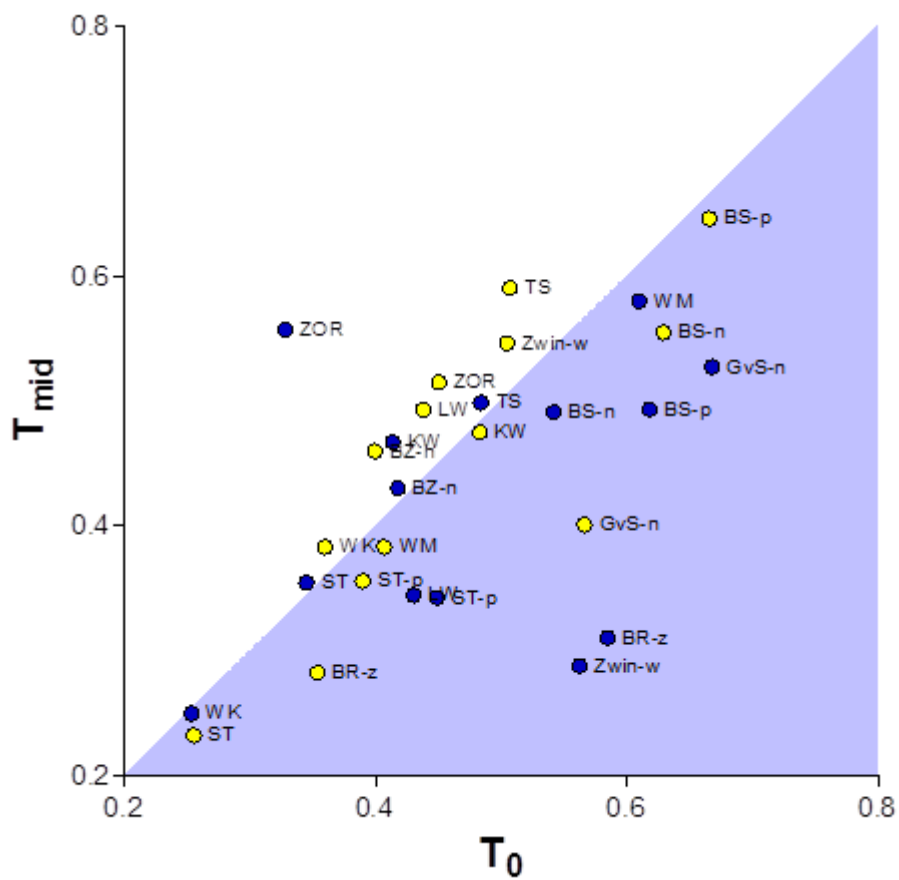
Voor het bestuderen van visserij-effecten gebruiken we de paarsgewijze opzet van de PRODUSvakken. Zoals in methode sectie van dit rapport is uitgelegd is er drie keer een gepaarde t-toets uitgevoerd waarin "open" en "gesloten" vakken met elkaar zijn vergeleken. In de eerste t-toets was de response variabele het verschil in Moran's I tussen T_0 en T_1 . In de tweede t-toets tussen T_0 en T_{mid} (situatie 1 jaar na impact) en in de derde t-toets tussen T_0 en T_{eind} (situatie twee jaar na impact). In figuur 22 is het verschil in de gemiddelde Moran's I tussen T_0 en T_1 voor alle 'open' en 'gesloten' PRODUSvakken weergegeven. Per locatie is de waarde op T_1 geplot als functie van de waarde op T_0 . In de figuur geeft een blauw vlak de scheiding aan tussen een toe- of afname in de gemiddelde Moran's I voor een bepaald vak. Zouden alle gele en blauwe stippen precies op de scheidingslijn van blauw en wit liggen, dan zou er niets veranderen tussen T_0 en T_1 . Voor punten in het blauwe vlak is Moran's I op T_1 lager dan op T_0 en voor de punten in het witte vlak van de grafiek zijn die juist hoger.

Figuur 22 laat zien dat er overwegend meer (gele) punten die staan voor open vakken in het blauwe vlak liggen, wat inhoudt dat Moran's I daarin is afgenomen. Uitzonderingen zijn de locaties Zwin oost (Zwin-o), Zuidwest (ZW) en Blauwe Slenk noord (BS-n) waarin ook in het 'open' vak Moran's I was toegenomen tussen T_0 en T_1 . De gesloten vakken laten een gemiddeld kleinere afname in Moran's I zien en in 9 vakken is een toename waargenomen (Fig. 22). Het verschil in Moran's I tussen T_0 en T_1 correleert niet met het verschil in mosselbiomassa op die locaties ($p=0.75$).

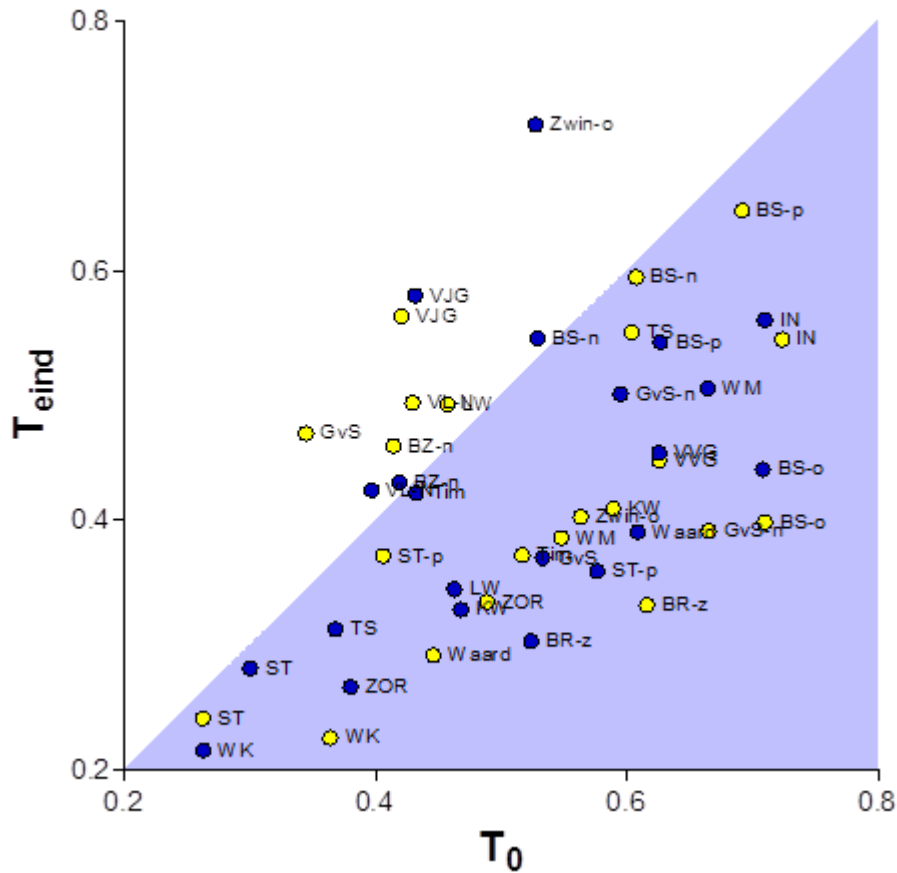


Figuur 22: Verandering in bodemstructuur (Moran's I) in "open" (geel) en "gesloten" (blauw) PRODUS vakken ($T_0 - T_1$). Voor punten die in het blauwe vlak liggen is Moran's I tussen T_0 en T_1 afgenomen, voor de punten die in het witte vlak van de grafiek liggen is die juist toegenomen.

Figuur 23 en 24 laten de vergelijkingen zien tussen T_0 en T_{mid} en tussen T_0 en T_{eind} . De vergelijking tussen T_0 en T_{mid} laat zien dat in veel beviste vakken er weer een toename in structuur (Moran's I) te zien is, terwijl de gesloten vakken nu een afname laten zien ten opzichte van T_0 . Twee jaar na visserij is voor bijna alle vakken de waarde van Moran's I gedaald (Fig. 24). Uitzonderingen zijn de vakken Zwin oost (Zwin-o), Visjagersgaatje (VJG) en Gat van Stompe (GvS). Ook de vakken op de locaties Vlieter en Breezanddijk lieten een lichte toename van Moran's I zien t.o.v. de situatie op T_0 .



Figuur 23: Verandering in bodemstructuur (Moran's I) in "open" (geel) en "gesloten" (blauw) PRODUS vakken, T_0 zien op de middellange termijn (één jaar na T_1). Voor punten die in het blauwe vlak liggen is Moran's I tussen T_0 en T_{mid} afgenomen, voor de punten die in het witte vlak van de grafiek liggen is die juist toegenomen.



Figuur 24: Verandering in bodemstructuur (Moran's I) in "open" (geel) en "gesloten" (blauw) PRODUS vakken, T_0 zien op de langere termijn (twee jaar na T_1). Voor punten die in het blauwe vlak liggen is Moran's I tussen T_0 en T_{eind} afgenomen, voor de punten die in het witte vlak van de grafiek liggen is die juist toegenomen.

Tabel 2 geeft het resultaat van de drie gepaarde t-toetsen. Daaruit blijkt dat alleen tussen T_0 en T_1 een significant effect van mosselzaadvisserij op Moran's I is gevonden. Het gaat om een afname in Moran's I in vakken die open zijn voor visserij. Vergelijking van T_0 met T_{mid} of T_{eind} leidt niet tot significante verschillen.

Tabel 2: Paarsgewijze (Student) t-toetsen voor het vergelijken van 'open' en 'gesloten' vakken voor Moran's I op T_0 min T_1 , T_0 min T_{mid} en T_0 min T_{eind} . Hierbij geldt dat T_{mid} staat voor ca. 1 jaar en T_{eind} voor ca. 2 jaar na visserij.

T-Toetsen	Verskil	t-waarde	DF	Paren (n)	P-waarde
T_0-T_1	-0.05531	2.497	20	21	0.0214
T_0-T_{mid}	-0.003086	0.09722	15	16	0.9238
T_0-T_{eind}	-0.009928	0.3672	21	22	0.7171

1.17 Biodiversiteit

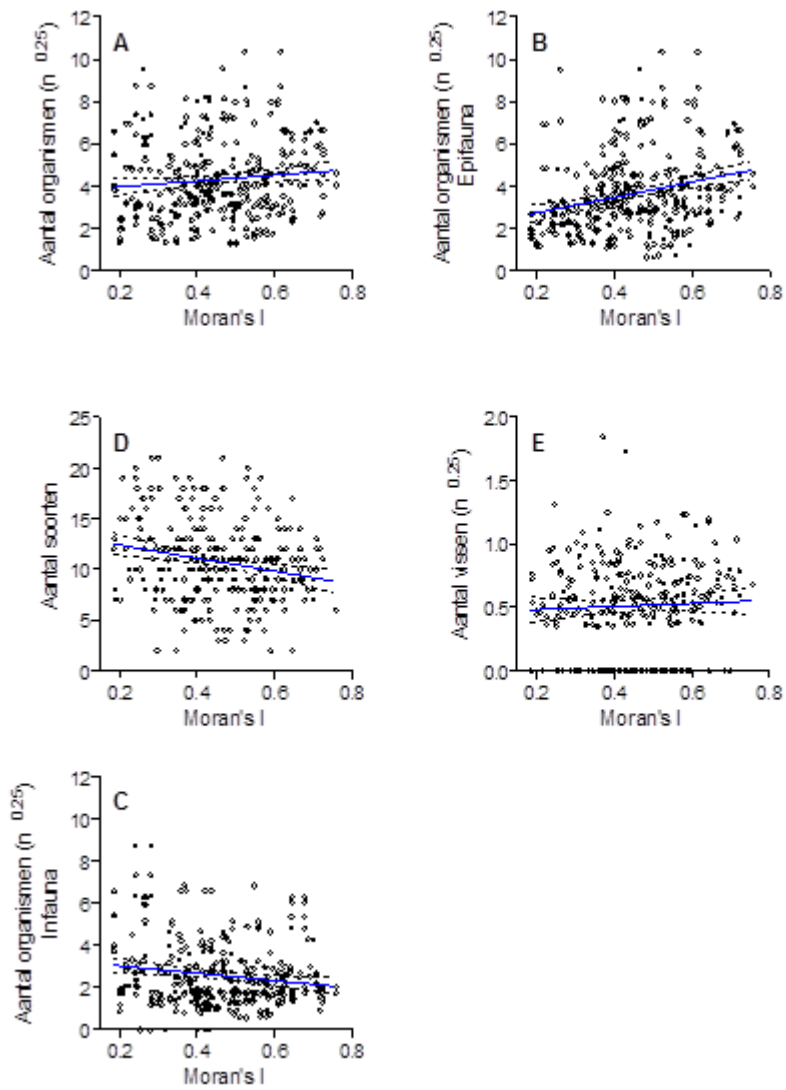
In deze paragraaf wordt een vergelijking gemaakt tussen structuur (Moran's I) en de abundantie en soortenrijkdom van macrobenthos en vissen uit de zuigkor. Uit de resultaten komt naar voren dat er een positieve correlatie bestond tussen het aantal organismen op een PRODUSvak en de structuur van de zeebodem ($r^2=0.0108$, $P=0.05$); (Fig. 25A.). Bijlage 5 laat de relatie tussen Moran's I en de abundantie van organismen zien per locatie. Hoge aantallen organismen zijn aangetroffen op de locaties Breesum west en Breesum zuid. Voor Breesum west nam het aantal organismen toe als functie van de Moran's I waarde. Dit gold ook voor locaties zoals Blauwe Slenk oost en Blauwe Slenk Pollendam.

De voorspellende waarde van Moran's I voor het aantal organismen op een locatie is sterker als er uitsluitend naar epifauna wordt gekeken ($r^2=0.0743$, $P<0.0001$); (Fig. 25B). Dit is het effect van de aanwezigheid van mosselvoorkomens, want op locaties zonder mosselen is deze relatie niet significant ($P>0.05$). Op de meeste locaties is er geen toename van het aantal epifauna organismen met een toename van Moran's I (Bijlage 6).

Voor de infauna is een negatieve relatie tussen de abundantie en de waarde van Moran's I significant ($r^2=0.0234$, $P=0.0042$); (Fig. 25C). Bijlage 7 toont deze relaties op het niveau van de afzonderlijke locaties. De locatie Stompe werd gekenmerkt door zeer hoge aantallen infauna. Het betrof hier de strandgaper (*Mya arenaria*). Ook op andere locaties met hoge aantallen infauna was de strandgaper het meest abundant.

De soortenrijkdom, gemeten in de zuigkormonsters, is negatief gecorreleerd met de waarde van Moran's I ($r^2=0.0462$, $P=0.0004$); (Fig. 25D). Verschillende locaties laten echter verschillende verbanden zien. Op locaties als Afsluitdijk-west, Molenrak-oost, Stompe en Gat van Stompe-noord is een duidelijke afname van het aantal gevonden soorten te zien bij een toenemende waarde voor Moran's I (Bijlage 8). Er zijn echter ook locaties waar een positief verband tussen het aantal soorten en Moran's I is geconstateerd. Dit zijn bijvoorbeeld het Zuidoostrak, Westmeep en Timmekensplaat.

Voor het aantal vissen is geen verband gevonden tussen Moran's I en abundantie ($r^2=0.0020$, $P>0.05$); (Fig. 25E).



Figuur 25: Biodiversiteitsparameters als functie van Moran's I.

Discussie en conclusies

Moran's I is een goede simplificatie en kwantificering van de structuur op sonarbeelden. Het feit dat Moran's I varieert van een bijna random verdeling van pixels tot een zeer sterke klustering van pixels leidde tot de vraag waarom geen negatieve waarden voor de bijna random verdeling in pixels zijn waargenomen. De verklaring hiervoor ligt in de verwerking van de sonar output in het programma SonarWiz.Map, waarin pixels geïnterpoleerd worden. Ook later in de voorbereiding van de sonarbeelden voor analyse worden rasterlijnen uit de sonarbeelden verwijderd en worden de verwijderde pixels opgevuld met geïnterpoleerde waarden. Dit leidt tot een bepaalde mate van ruimtelijke autocorrelatie tussen de pixels in de sonarbeelden en is een mogelijke verklaring voor de afwezigheid van waarden < 0 .

Hogere dichtheden mosselvoorkomens op de zeebodem leiden gemiddeld tot hogere waarden voor Moran's I. Voor de sonaropnames van de PRODUSvakken geldt dat waarden voor Moran's I > 0.6 met grote waarschijnlijkheid op de aanwezigheid van grote mosselbiomassa's duiden. Er is echter veel variatie tussen verschillende locaties. Op het niveau van de locaties is de correlatie tussen Moran's I en de gemeten mosselbiomassa's vaak erg sterk. Dit betekent dat het moeilijk is om voor een random gekozen sonaropname te bepalen of er sprake is van een mosselbank (vooral als de Moran's I waarde lager is dan 0.6), maar eenmaal op een mosselbank of mosselvoorkomen zijn variaties in Moran's I wel indicatief voor variaties in mosselbiomassa.

Naast een positieve relatie tussen Moran's I en mosselen vinden we ook relaties tussen Moran's I en de abundantie van andere epifauna en infauna. Mosselbanklocaties met veel bodemstructuur zijn relatief rijk aan epifauna. Dit geldt niet voor locaties waar geen mosselvoorkomens zijn aangetroffen. Voor de Infauna en de soortenrijkdom is echter een negatief verband met Moran's I gevonden. Op locaties zonder mosselen wordt een relatief hoge Moran's I waarde mogelijk veroorzaakt door ribbels in het zand die veroorzaakt worden door stroming. Dergelijke gebieden met een hoge mate van zandtransport worden vaak gekenmerkt door een lage soortenrijkdom en abundantie van het benthos (Borzzone et al. 1996; McLachen et al. 1993). Kendall et al (2005) beschrijven dat waar een vlakke zandige zeebodem vaak rijk is aan macrofauna, een geribbelde zandige zeebodem opvallend arm is in soorten en dichtheden.

Mosselvisserij leidt tot een afname in Moran's I rondom bevissing (T_0-T_1). Deze afname correleert niet met de afname van de mosselbiomassa, i.e. op locaties waar de meeste mosselen door visserij verdwijnen zijn, zijn de afnames in Moran's I niet per se het grootst. Uit de resultaten blijkt dat een vanaf ca. 500 g mosselen per meter² de gemiddelde Moran's I waarde nog maar langzaam toeneemt met de mosselbiomassa. Een jaar na visserij is de berekende Moran's I voor de gesloten vakken afgenomen, terwijl in een aantal open vakken enig herstel lijkt te zijn opgetreden. Vergelijking met de situatie twee jaar na impact laat zien dat voor bijna alle 'open' en 'gesloten' vakken de waarden voor Moran's I zijn afgenomen. Dit is direct gekoppeld aan de mosselbiomassa's op zowel op de 'open' als de 'gesloten' vakken sterk is afgenomen. Slechts op enkele vakken neemt de mosselbiomassa toe. Dat zijn ook de locaties die op T_{eind} nog steeds een toename in Moran's I laten zien t.o.v. de situatie op T_0 . Voor meer details over de ontwikkeling van de mosselpopulatie op de PRODUSvakken wordt verwezen naar Van Stralen et. al. (in voorbereiding).

De belangrijkste conclusie uit dit deel van het PRODUSonderzoek is dat rondom bevissing een afname van de structuur op de zeebodem waarneembaar is. Dit leidt tot een gemiddeld verschil tussen beviste en onbeviste locaties, wat een jaar na bevissing (en mogelijk eerder) weer is verdwenen. Door het verdwijnen van de mosselen neemt de structuur van de zeebodem op de onderzoekvakken af als functie van de leeftijd van de mosselvoorkomens. Daar waar mosselen blijven liggen blijft de mate van bodemstructuur hoog.

Referenties

- Agüera, A., M. Trommelen, F. Burrows, J. M. Jansen, T. Schellekens, A. Smaal. 2012. Winter feeding activity of the common starfish (*Asterias rubens* L.): The role of temperature and shading. *Journal of Sea Research* 72: 106-112
- Allen, Y. C., C. A. Wilson, H. H. Roberts and J. Supan (2005) High resolution mapping and classification of oyster habitats in nearshore Louisiana using Sidescan sonar. *Estuaries* 28: 435-446
- Bartholoma, A. (2006) Acoustic bottom detection and seabed classification in the German Bight, southern North Sea. *Geo-Mar Lett.* 26: 177-184
- Borzone, C. A., J. R. B. Souza, A. G. Soares (1996) Morphodynamic influence on the structure of inter and subtidal macrofaunal communities of subtropical sandy beaches. *Revista Chilena da Historia naturel* 69: 565-577.
- Brinkman, A. G., Dankers, N. and van Stralen, M. (2002) An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgoland Marine Research.* 56: 59-75
- Brown, C. J., K. M. Cooper, W. J. Meadows, D. S. Limpenny and H. L. Rees (2002) Small-scale Mapping of Sea-bed Assemblages in the Eastern English Channel Using Sidescan Sonar and Remote Sampling Techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54: 263-278
- Dankers, N., A. Meijboom, M. de Jong, E. Dijkman, E. Cremer, S. van der Sluis (2004) Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. *Alterra rapport* 921.
- Elner, R. W. (1978). The mechanics of predation by the shore crab, *Carcinus maenas* (L.), on the edible mussel, *Mytilus edulis* L. *Oecologia* 36, 333-344
- Ens, B. J., J.A. Craeymeersch, F.E. Fey, H.J.L. Heessen, A.C. Smaal, A.G. Brinkman, R. Dekker, J. van der Meer, M.R. van Stralen (2007) Sublitorale natuurwaarden in de Waddenzee Een overzicht van bestaande kennis en een beschrijving van een onderzoekopzet voor een studie naar het effect van mosselzaadvisserij en mosselkweek op sublitorale natuurwaarden. *IMARES Rapport C077/07*
- Glorius et al. (in voorbereiding) PRODUS 3 – Deelrapport bodemschaaf en zuigkordata, Effecten van mosselzaadvisserij op het bodemleven van de Waddenzee
- Green, R. H. (1979). *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*. New York John Wiley & Sons.
- Jansen, J. M., M. R. van Stralen, H. Sas en P. Kamermans (2012) Mosseltransitie in de Waddenzee. *De Levende Natuur* 3, 110-112
- Kaiser, M. J., K. R. Clarke, H. Hinz, M. C. V. Austen, P. J. Somerfield, I. Karakassis (2006) Global analysis of response and recovery of benthic biota to fishing. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES* 311: 1-14
- Lapointe, L. and Bourget, E. (1999) Influence of substratum heterogeneity scales and complexity on a temperate epibenthic marine community. *Marine Ecology Progress Series.* 189: 159-170
- Matthew S. Kendall, Olaf P. Jensen, Clark Alexander, Don Field, Greg McFall, Reed Bohne, and Mark E. Monaco (2005) Benthic Mapping Using Sonar, Video Transects, and an Innovative Approach to Accuracy Assessment: A Characterization of Bottom Features in the Georgia Bight. *Journal of Coastal Research:* 21, Issue 6: pp. 1154 - 1165.
- McLachlan, A., E. Jaramillo, T.E. Donn, F. Wessels (1993) Sandy beach macrofauna communities and their control by the physical environment: a geographical comparison. *Journal of coastal research* 15: 27-38.
- Moran, P.A.P. (1950) Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika* 37: 17-23
- Nehls, G., Hertzler, I. and G. Scheiffarth. 1997. Stable mussel *Mytilus edulis* beds in the Wadden Sea – They're just for the birds. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 51: 361-372.
- Reusch, T. B. H. and Chapman, A. R. O. (1995) Storm effects on eelgrass (*Zostera marina* L.) and blue mussel (*Mytilus edulis* L.) beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 192: 257-271
- Saier, B. (2002) Subtidal and intertidal mussel beds (*Mytilus edulis* L.) in the Wadden Sea: diversity differences of associated epifauna. *Helgoland Marine Research.* 56: 44-50
- Seed, R. and Suchanek, T. H., (1992). Population and community ecology of *Mytilus*. In: E. Gosling (Ed.), *The Mussel Mytilus: ecology, physiology, genetics and culture*. Elsevier, Amsterdam, pp. 87-157
- Stralen, M.R. van (2012a) Inventarisatie van het sublitorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het najaar van 2012. *MarinX-rapport* 2012.124.2
- Stralen, M.R. van (2012b) Passende beoordeling voor de mosselzaadvisserij in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in het najaar van 2012. *MarinX-rapport* 2012.121.
- Stralen, M.R. van et al. (in voorbereiding) Achtergronddocument PRODUS deelproject, het mosselbestand op de PRODUS-vakken en de effecten van de visserij daarop
- Tsuchiya, M. (2002) Faunal structures associated with patches of mussels on East Asian coasts. *Helgoland Marine Research.* 56: 31-36
- Underwood, A. J. (1991) Beyond BACI: Experimental Designs for Detecting Human Environmental Impacts on Temporal Variations in Natural Populations *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 42, 569-87
- Vlas, J. de, A. Nicolai, M. Platteeuw en K. Borrius (2011). *Natura 2000-doelen in de Waddenzee. Van instandhoudingsdoelen naar opgaven voor natuurbescherming. Eindconcept* 9c. Rijkswaterstaat Waterdienst / Rijkswaterstaat Noord

- Zajac, R. N., R. S. Lewis, L. J. Poppe, D. C. Twichell, J. Vozarik and M. L. DiGiacomo-Cohen (2003)
Response of Populations to Benthoscape Structure and the potential importance of Transition Zones.
Limnology and Oceanography 48: 829-842
- Zajac, R. N. (2008) Challenges in marine, soft-sediment benthoscape ecology. *Landscape Ecology* 23: 7-18

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 57846-2009-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2012. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Verantwoording

Rapportnummer : C164/12
Projectnummer : 4308501015

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

Akkoord: Dr. K. Troost
Onderzoeker



Handtekening:

Datum: 31 december 2012

Akkoord: Dr. B.D. Dauwe
Hoofd afdeling Delta



Handtekening:

Datum: 31 december 2012

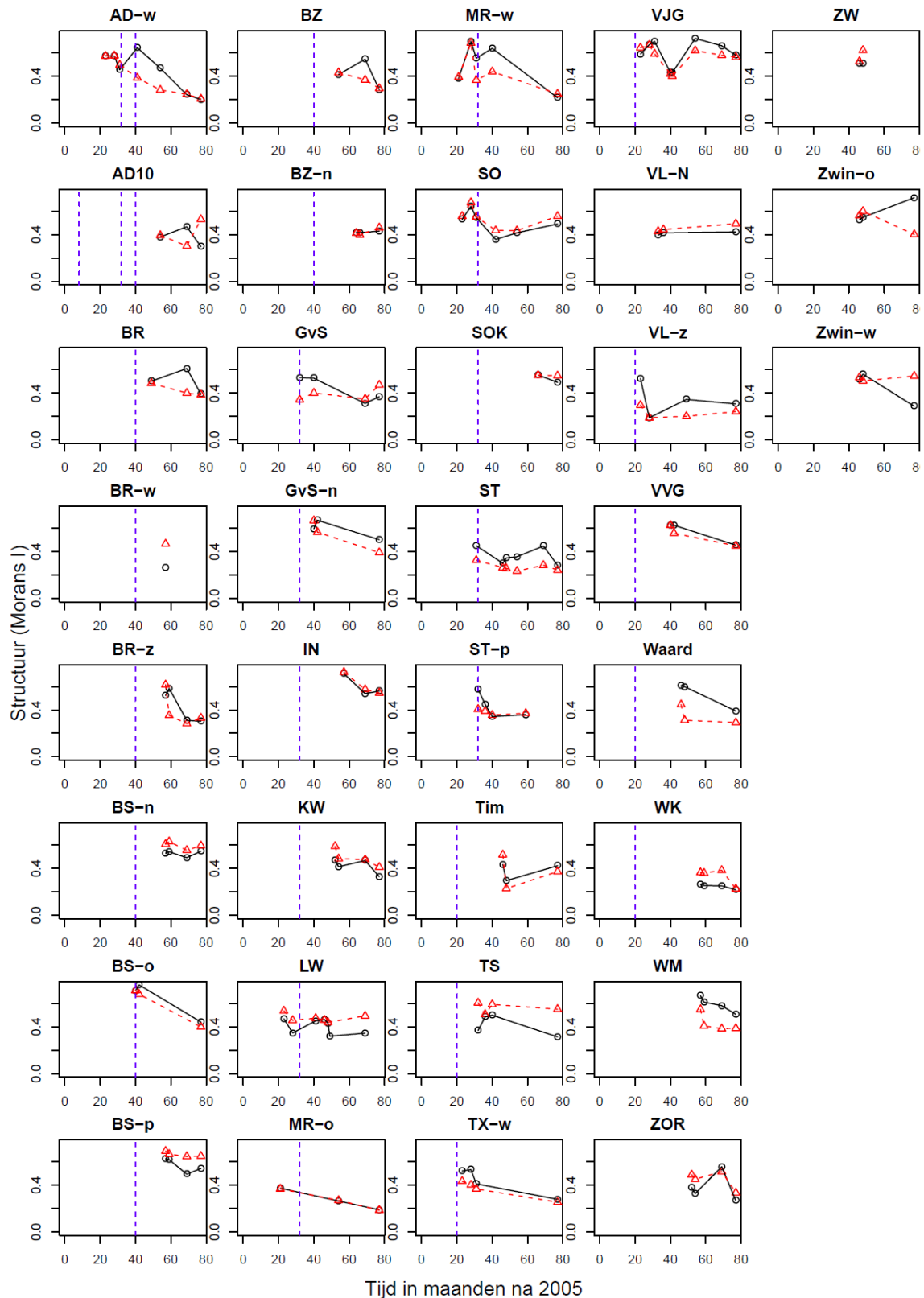
Bijlage 1: Moran's statistieken voor de verschillende PRODUSvakken.

Tabel 1: Moran's I statistieken voor de verschillende PRODUSvakken. De gepresenteerde waarden zijn gebaseerd op de gemiddelde waarde vak.

Locatie	Variatie in de tijd			
	Gemiddelde	sd	min	max
AD-w	0.423987058	0.162821	0.201815	0.644706
AD10	0.396100699	0.099621	0.298024	0.53061
BR	0.462266431	0.081273	0.385119	0.610357
BR-w	0.363615237	NA	0.261173	0.466057
BR-z	0.413283248	0.147046	0.282595	0.615732
BS-n	0.561501926	0.028031	0.490976	0.628849
BS-o	0.615275013	0.170793	0.398402	0.757271
BS-p	0.616308894	0.04234	0.493202	0.691431
BZ	0.391307086	0.099167	0.28626	0.54715
BZ-n	0.423331923	0.019287	0.399229	0.459801
GvS	0.413476732	0.084707	0.311973	0.532621
GvS-n	0.564267198	0.110739	0.391778	0.667446
IN	0.608825757	0.093943	0.539688	0.72313
KW	0.454090272	0.069849	0.328565	0.588851
LW	0.439201119	0.04938	0.319174	0.53557
MR-o	0.274994728	0.092327	0.185288	0.374178
MR-w	0.462816661	0.179119	0.216325	0.699344
SO	0.517357764	0.095539	0.35956	0.677149
SOK	0.53712945	0.023631	0.491598	0.554851
ST	0.314834652	0.052609	0.23253	0.449466
ST-p	0.406291769	0.064255	0.342748	0.576048
Tim	0.377578846	0.110507	0.227533	0.516505
TS	0.489252783	0.066926	0.312967	0.60384
TX-w	0.400137333	0.098348	0.254004	0.532264
VJG	0.57980438	0.106316	0.401783	0.72404
VL-N	0.434052622	0.024091	0.396647	0.494375
VL-z	0.287531048	0.094065	0.189321	0.525373
VVG	0.555702117	0.094059	0.448076	0.625444
Waard	0.441213932	0.103231	0.292076	0.608336
WK	0.289404761	0.046291	0.216192	0.383196
WM	0.510367348	0.072365	0.383341	0.664239
ZOR	0.415029917	0.102157	0.266909	0.55698
ZW	0.542005926	0.035273	0.507091	0.622838
Zwin-o	0.55975799	0.104375	0.402858	0.716538
Zwin-w	0.492462498	0.084498	0.288152	0.56223

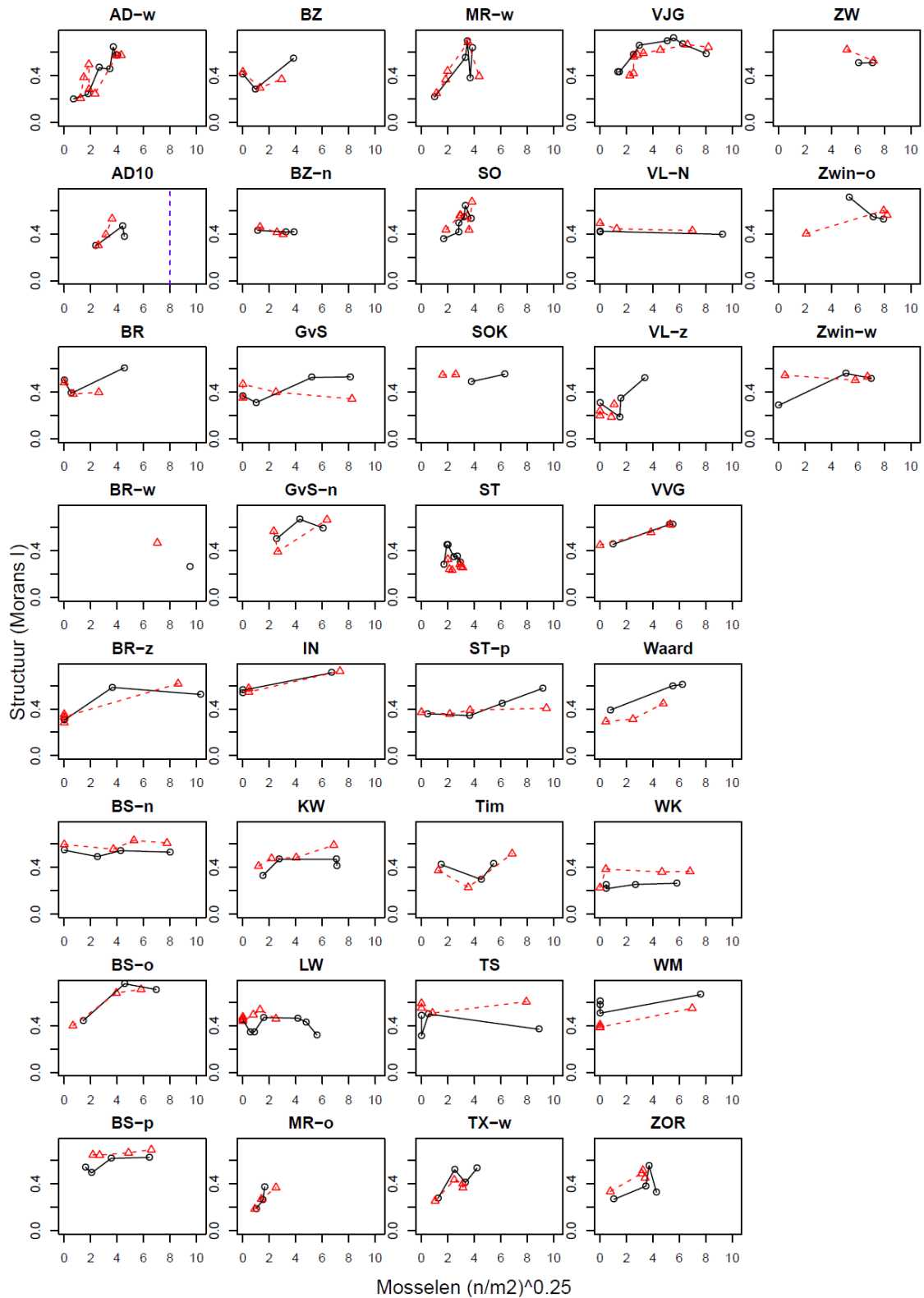
Bijlage 2: Moran's I als functie van de tijd in maanden na 2005 voor de afzonderlijke locaties.

In zwart voor 'gesloten' vakken en in rood voor 'open' vakken. Blauwe lijnen staan voor mosselzaadval.



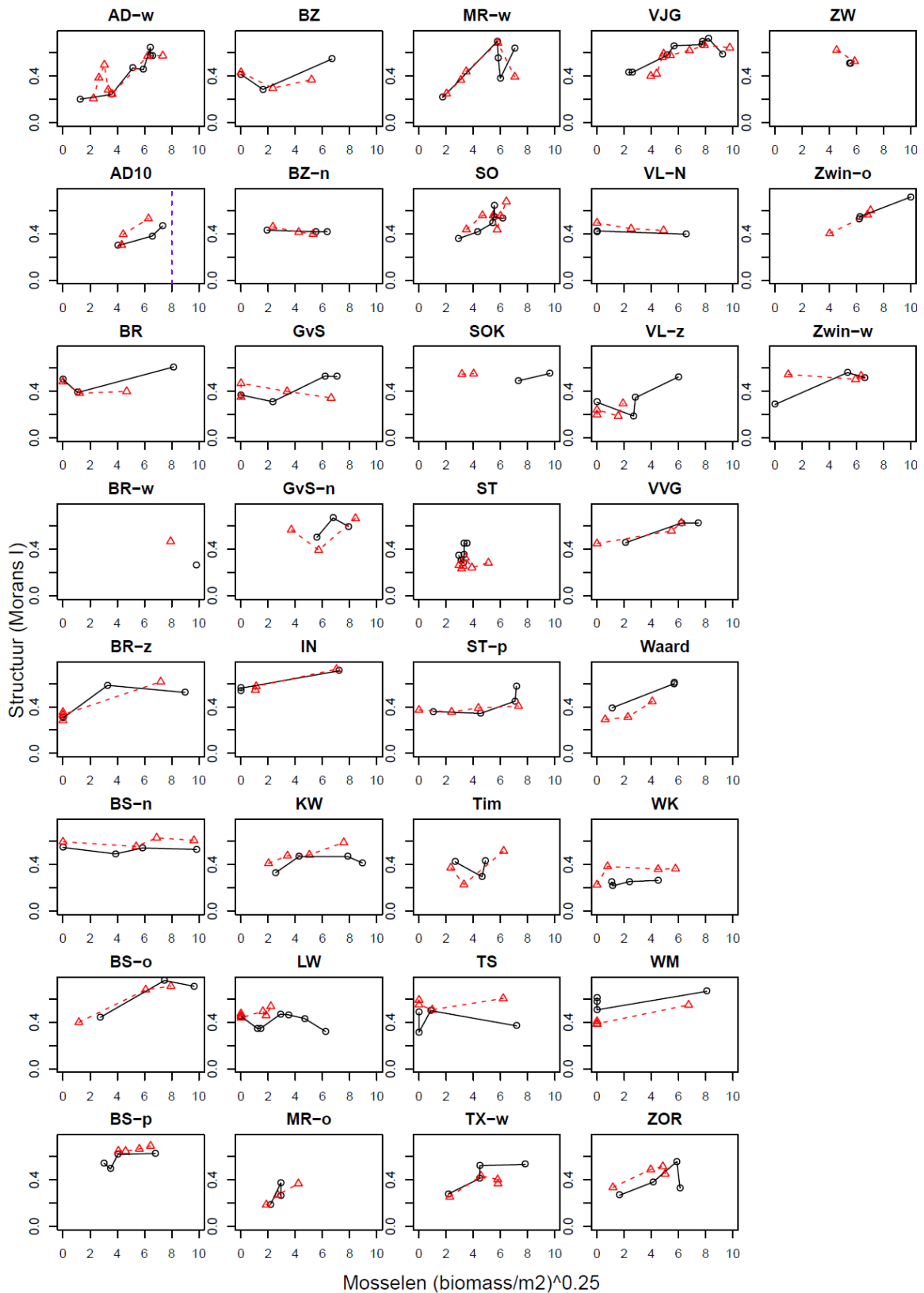
Bijlage 3: Moran's I als functie van mosselabundantie (n/m^2)^{0.25}.

In zwart voor 'gesloten' vakken en in rood voor 'open' vakken.



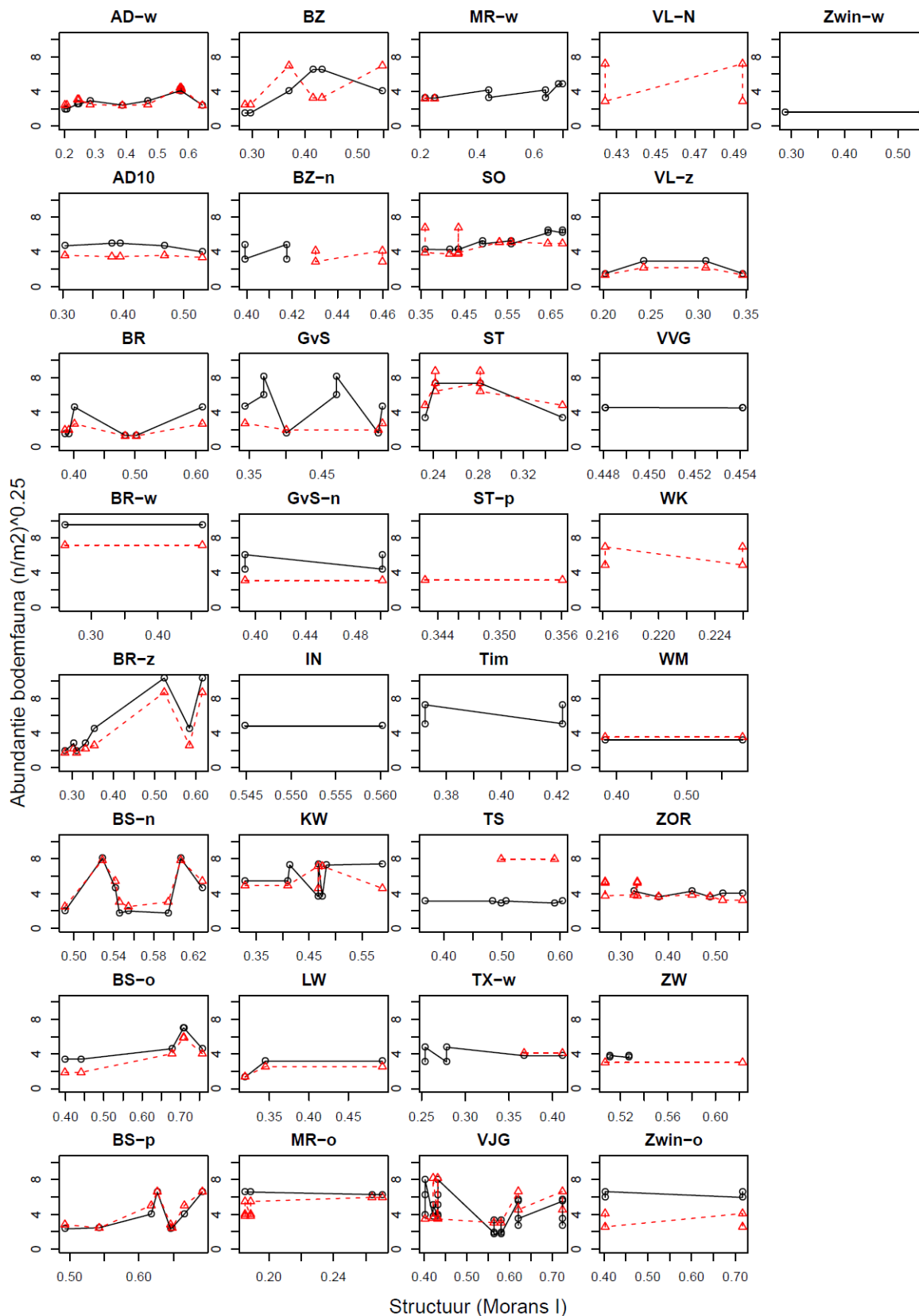
Bijlage 4: Moran's I als functie van de mosselbiomassa (g/m^2)^{0.25}.

In zwart voor 'gesloten' vakken en in rood voor 'open' vakken.



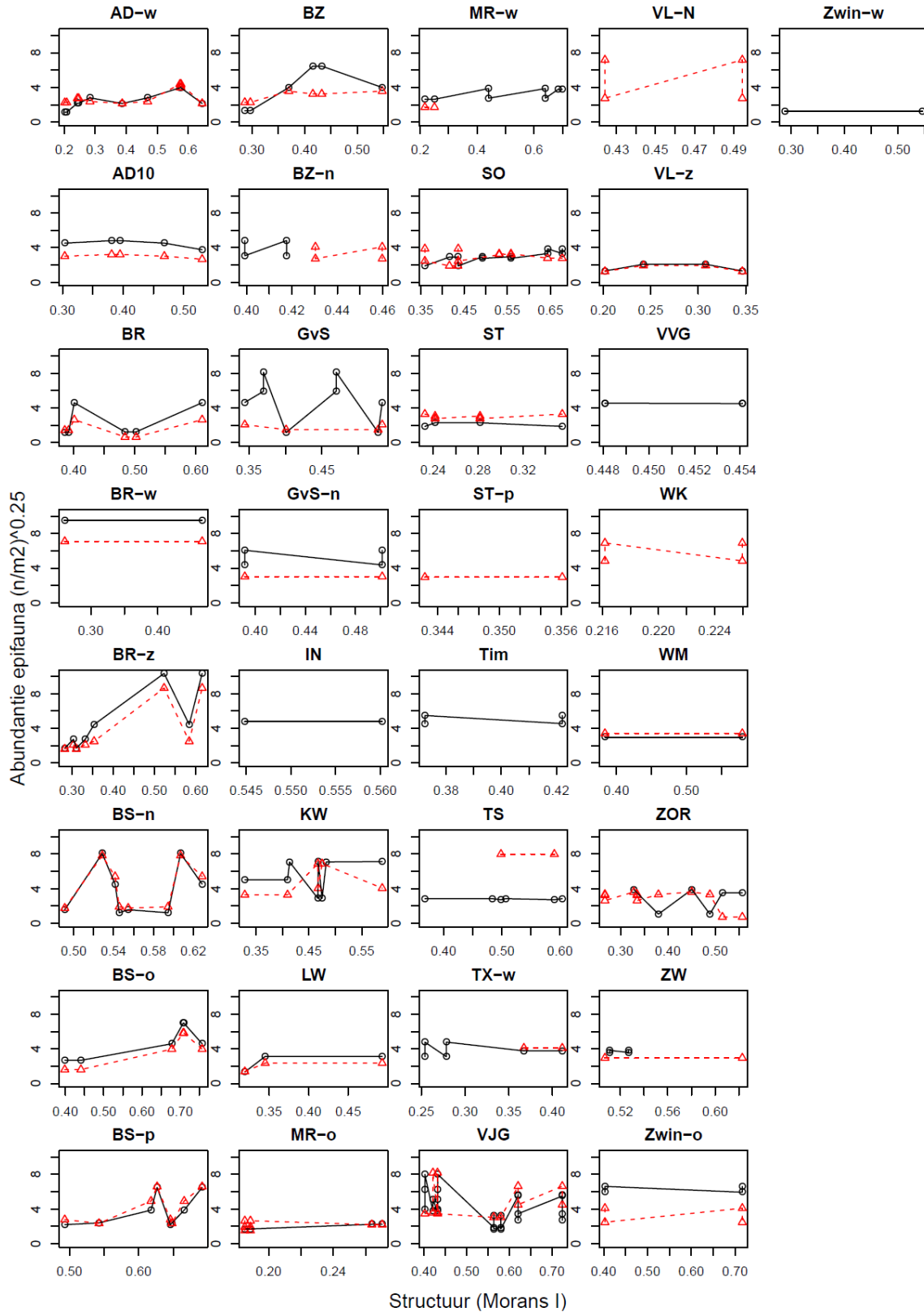
Bijlage 5: Aantal benthos organismen als functie van Moran's I voor de verschillende PRODUSlocaties.

In zwart voor 'gesloten' vakken en in rood voor 'open' vakken.



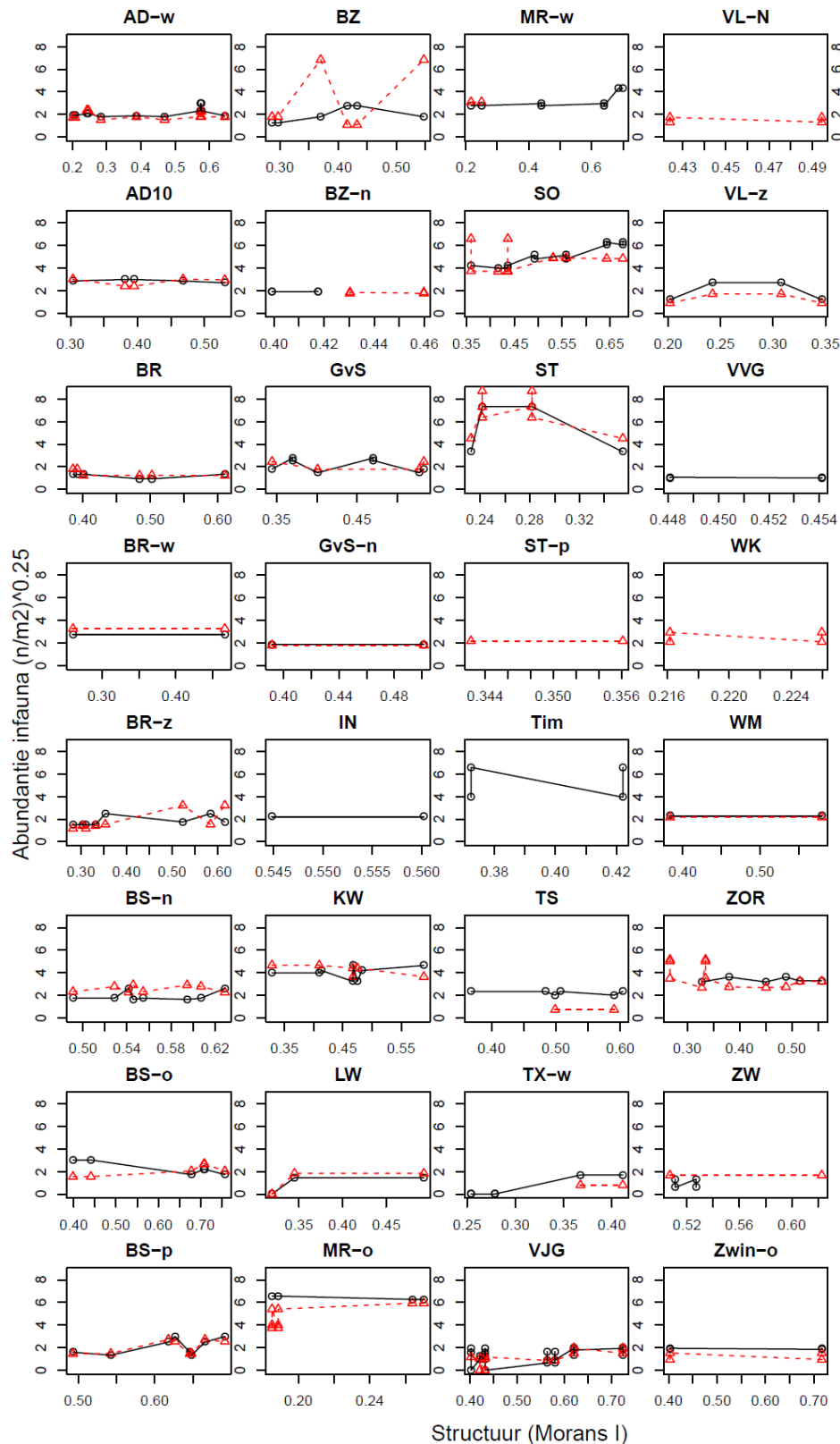
Bijlage 6: Aantal epifauna organismen als functie van Moran's I voor de verschillende PRODSlocaties.

In zwart voor 'gesloten' vakken en in rood voor 'open' vakken.



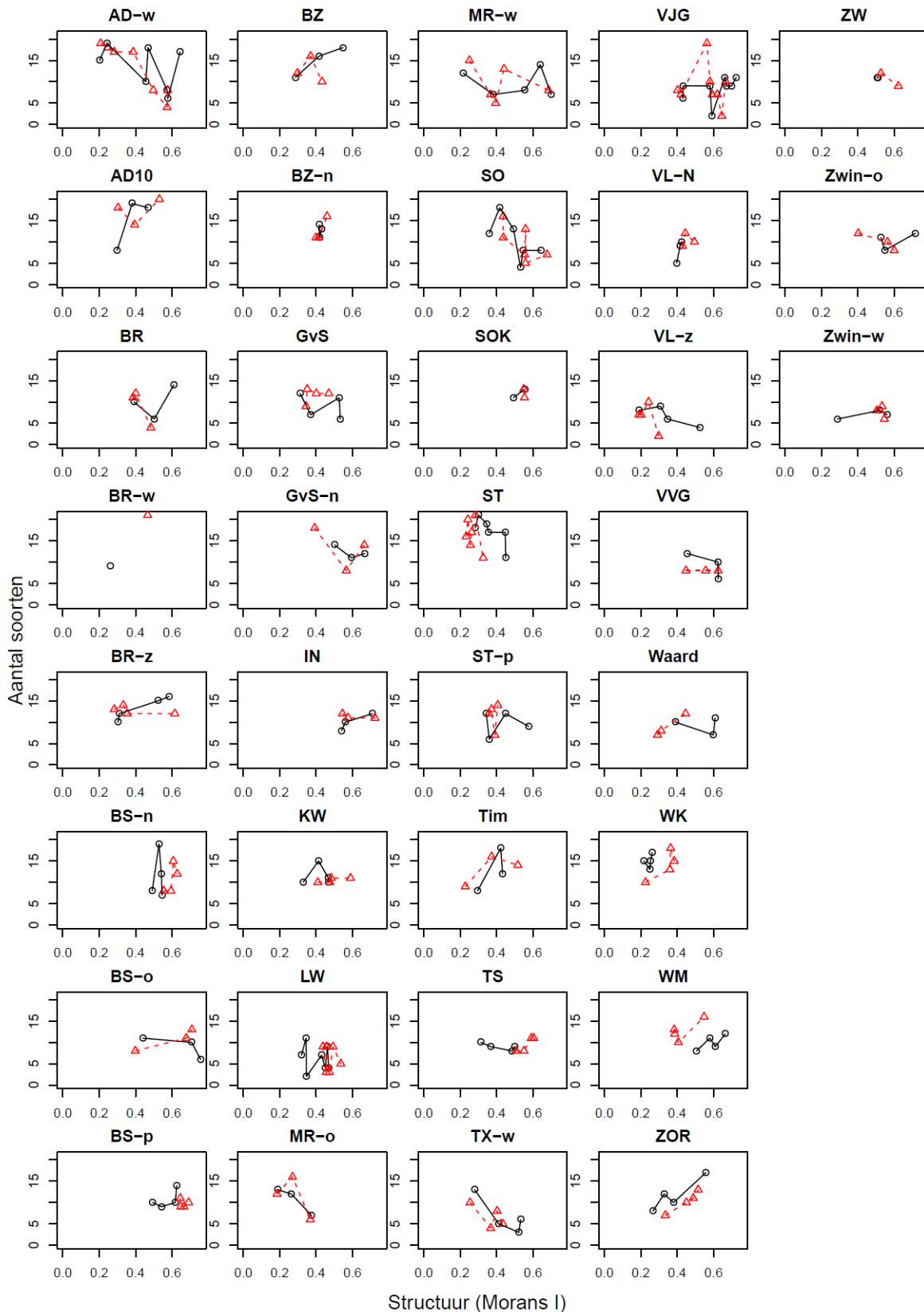
Bijlage 7: Aantal infauna organismen als functie van Moran's I voor de verschillende PRODSlocaties.

In zwart voor 'gesloten' vakken en in rood voor 'open' vakken.



Bijlage 8: Aantal soorten als functie van Moran's I voor de verschillende PRODSlocaties.

In zwart voor 'gesloten' vakken en in rood voor 'open' vakken.



4.5. PR5: Effecten van mosselvisserij op de bodemstructuur, een analyse van Sidescan sonar opnames

Dit rapport introduceert de sidescan sonar als een methode om sublitorale habitatstructuur te onderzoeken. De belangrijkste conclusies zijn dat mosselen de structuur van de bodem (gemeten als Moran's I) verhogen. Daarnaast worden er positieve relaties beschreven tussen bodemstructuur en mosselbiomassa, en tussen structuur en in- en epifauna. Bevissing leidt tot een onmiddellijke afname van bodemstructuur die nog per definitie gekoppeld is aan de afname in biomassa. Verschillen in habitatstructuur zijn met de sidescan sonar na een jaar niet meer te detecteren. De statistische analyse heeft waarschijnlijk uit de data gehaald wat er in zat. De keuze voor Moran's I is empirisch onderbouwd, al is het gevaarlijk om eerste-orde autocorrelatie te kwantificeren in een dataset waarin vooraf is geïnterpoleerd.

Bij de paarsgewijze vergelijking is gebruik gemaakt van linear mixed models. Het lijkt erop dat er een gaussian distributie (normale verdeling) in de modellen is gebruikt, maar dit wordt niet gespecificeerd of onderbouwd.

Dat klopt. De volgende tekst is aan de methodensectie toegevoegd: *“Omdat de variatie in de gemiddelde Moran's I normaal verdeeld was (Fig. 17) kon voor deze analyses gebruik worden gemaakt van random intercept modellen (R Development Core Team, packages nlme), met locatie als random effect.”*

De resultaten zoals besproken in dit rapport zijn niet in tegenspraak met andere deelrapporten, maar over het algemeen is het signaal zwak en de ruis groot. Het is niet duidelijk wat deze deelstudie bijdraagt aan het geheel. Ruimtelijke structuur, patchiness en schaalverhoudingen in de mosselbedden kunnen helaas niet duidelijk worden beschreven. Eerste-orde autocorrelatie is een beperkte statistische informatiebron, gezien de grote veldinspanning die in deze dataset is geïnvesteerd.

Hier zijn de auteurs het mee eens. Initieel waren de sidescan sonar opnames bedoeld om onverwacht hoge of lage metingen in de mosselbiomassa met de zuigkor te verklaren. Het idee was om, als daar aanleiding toe was, de zuigkormonsters in de sonarbeelden te plotten en zo te kijken of er een monster net binnen of buiten een mosselbank was genomen. Uiteindelijk is door het PRODUS team besloten dat het inderdaad zonde was om niet te proberen deze data op zichzelf te analyseren. Hiervoor zijn verschillende structuurparameters met elkaar vergeleken. Deze bleken in sterke mate met elkaar te correleren en is er uiteindelijk voor de begrijpbare Moran's I gekozen. De additionele hypothese was bijvoorbeeld dat de macrofauna biodiversiteit in sterke mate met Moran's I zou correleren. De analyse van deze dataset wordt voortgezet binnen het onderzoeksprogramma MOSSELWAD