

Beïnvloeding bodemfauna en organisch koolstof door mosselzaadinvanginstallaties en transport van slib.

H.W.G. Meesters. A.G. Brinkman. A. Meiboom.
F. E. Fey-Hofstede, M.L. de Jong, P.W. van Leeuwen,
C.M. Niemeijer, H. Verdaat, W. Lewis

Rapport C135/07



Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies

Wageningen **IMARES**

Texel

Opdrachtgever: Producentenorganisatie van de Nederlandse Mosselcultuur
Postbus 116
4400 AC Yerseke

Publicatiedatum: December 2007

- Wageningen **IMARES** levert kennis die nodig is voor het duurzaam beschermen, oogsten en ruimte gebruik van zee- en zilte kustgebieden (Marine Living Resource Management).
- Wageningen **IMARES** is daarin de kennispartner voor overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties voor wie marine living resources van belang zijn.
- Wageningen **IMARES** doet daarvoor strategisch en toegepast ecologisch onderzoek in perspectief van ecologische en economische ontwikkelingen.

© 2007 Wageningen **IMARES**

Wageningen IMARES is een samenwerkingsverband tussen Wageningen UR en TNO.
Wij zijn geregistreerd in het Handelsregister
Amsterdam nr. 34135929,
BTW nr. NL 811383696B04.



A_4_3_1-V3

De Directie van Wageningen IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen IMARES; opdrachtgever vrijwaart Wageningen 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 van dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Kennisvraag

Doel van dit onderzoek was om te onderzoeken of de bodemstructuur en –fauna in de nabijheid van mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) verandert als gevolg van de aanwezigheid van de installaties.

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten beschreven van een onderzoek naar de samenstelling van de bodemfauna op verschillende afstanden van mosselzaadinvanginstallaties (MZI's). Van twee typen MZI's, korven en netten, zijn twee installaties bemonsterd; een installatie uitgebreid, de ander minder intensief. De Korven bevonden zich in het Oergat en op het Malzwin (beide in de Waddenzee), de netten alleen op het Malzwin. Bodemonsters zijn geanalyseerd op soorten en organisch koolstofgehalte en door middel van statistische testen vergeleken (non-metric MDS, hiërarchisch clusteren, ANOSIM en lineaire regressie). Statistisch significante verschillen werden gevonden tussen monsters uit het Oergat die tussen korven genomen waren en monsters die erbuiten lagen. In het algemeen worden monsters tussen korven gekenmerkt door de aanwezigheid van minder soorten, relatief meer wormen, en hogere percentages aan organisch koolstof. Het organisch koolstof lijkt bovendien af te nemen met toenemende afstand tot de korven. Deze verschillen waren het sterkst bij de korfconstructies op het Oergat en dan met name tussen monsters die tussen de korven genomen zijn en monsters ten noorden van de korven. Korven op het Malzwin leken een overeenkomstig patroon te tonen in organisch koolstof en aantal soorten, maar door de lagere bemonsteringsdichtheid kon dit niet met zekerheid vastgesteld worden. De twee locaties leken qua soortensamenstelling zeer duidelijk van elkaar te verschillen waardoor verschillen tussen locaties mogelijk effecten van de aanwezigheid van MZI's maskeren.

Verder is door middel van een model onderzocht hoe ver (pseudo)faeces afkomstig van MZI's zich kan verspreiden. Uit het model bleek dat de slibdeeltjes van de MZI's zich over grote afstand kunnen verspreiden en er onder normale omstandigheden relatief weinig op de bodem in de directe omgeving van de MZI terecht komt. Modelresultaten en bemonsteringsresultaten tonen dat de effecten van MZI's op de bodem in de directe nabijheid vooral beïnvloed worden door het stromings- en golfregime ter plekke en in het algemeen klein zijn. Echter, het onderzoek toont ook aan dat het zeer wel mogelijk is dat onder omstandigheden met lage stroomsnelheden de bodemfauna vlak bij de MZI verandert in een gemeenschap met minder soorten en meer wormen.

Inhoudsopgave

Kennisvraag	3
Samenvatting	3
Inhoudsopgave	5
Inleiding	7
Materiaal en methode	11
Studiegebied 11	
Bemonstering.....	12
Organisch koolstof.....	15
Statistische analyses.....	15
Verspreiding van (pseudo)faeces.....	15
Resultaten.....	16
Effecten op bodemfauna	16
Aanvullend onderzoek 2006	35
Resultaten Modelling	38
Discussie en conclusies	39
Dankwoord.....	41
Referenties	41
Bijlage A. Monsterplaatsen (gps files)	43
Bijlage B. Organisch koolstofbepaling NIOZ.....	47
Bijlage C. Modelling	51
Verantwoording	71

Inleiding

Dit onderzoek was gericht op de mogelijke effecten van MosselZaad-Invang-installaties (MZI's) op de bodemsamenstelling en -dieren. Mossels foerageren op fytoplankton, detritus en andere organische deeltjes die zij uit het water filtreren. Alle deeltjes tussen 3-200 μm worden in principe uit de waterkolom gehaald, maar slechts een klein deel wordt verteerd. De rest wordt verwijderd in de vorm van in slijm (mucus) gevatte organische en inorganische deeltjes, pseudofaeces genoemd (deze deeltjes gaan niet door het maag-darmkanaal en zijn dus geen echte faeces). In het vervolg zullen de termen faeces en pseudofaeces door elkaar gebruikt worden, behalve als het nodig is beide te scheiden.

Een MZI kan gezien worden als een mosselbank die zich niet op de bodem bevindt, maar in de waterkolom. De processen die op een mosselbank plaatsvinden, zoals het filtreren van het langsstromend water en het uitscheiden van faeces vinden eveneens plaats, maar nu zal de faeces eerst moeten bezinken voordat ze deel wordt van de bodem. De faeces bezinkt richting bodem maar wordt gedurende dit proces ook verplaatst in de richting van de overheersende waterbeweging. Deeltjes die op de bodem zijn beland, kunnen door stroming en/of golven weer opgewerveld en verplaatst worden. De groei van mosselen die in de waterkolom hangen is vaak hoger omdat men aanneemt dat de mosselen minder energie kwijt raken aan het verwijderen van (pseudo)faeces en daardoor relatief meer energie overhouden om te groeien.

Een deel van de faeces zal dus door de overheersende waterstroming geëxporteerd worden naar andere gebieden in de Waddenzee. Hierdoor zal het effect van een MZI zich over een groter gebied uitspreiden (en daardoor misschien wel niet te meten zijn). Een MZI vormt ook een leefomgeving voor allerlei andere organismen zoals kreeftjes, zeesterren, slakken, algen en vele andere organismen en kan op die manier (tijdelijk) ook een verrijking van de omgeving vormen. De mosselen die op een MZI groeien vormen ook voedsel voor zeesterren en duikende eenden als de eidereend.

Op basis van resultaten van ander onderzoek nemen we aan dat de pseudofaeces en faeces ten dele bezinken onder en vlak bij de MZI's en dat een deel naar andere locaties wordt getransporteerd (Dahlback et al. 1981, Kaspar et al. 1985, Mirto et al. 2000). Algen die door MZI-mossels worden opgenomen zijn niet meer beschikbaar voor andere organismen in de Waddenzee. Dit project heeft onderzocht of de bodemfauna onder en in de nabijheid van MZI's zich onderscheidt van de bodem op plaatsen die niet of minder onder invloed staan van een MZI. Omdat de verwachting was dat effecten op de bodemfauna vooral bij grotere MZI's gemeten kunnen worden, is het onderzoek in eerste instantie beperkt tot twee grotere typen MZI (Figuur 1 en *Figuur 2*): de korven zoals gebruikt door Wietex en de netten die door West 6 worden gebruikt.



Figuur 1. De korven van Wietex op locatie (links) en 4 netten van West 6 achter elkaar op het Malzwin.

Van de korven stonden er 16-17 per locatie in 2 rijen. Elke korf is 4,5 meter hoog met een diameter van 2,6 meter en biedt ruimte aan circa 300m touw waarop de mosselen kunnen groeien. Locatie West 6 bestond uit 17 netten van 110 meter lang en 3 m breed die in groepen van 4/5 netten naast elkaar hangen met een tussenruimte van ongeveer 20-60 meter. Gegevens over de hoeveelheden mosselen die op de korven en netten groeien worden niet gemonitord in het kader van PRODUS maar in projecten gefinancierd door bedrijven. Een schatting van de productie van de netten van West 6 en andere relevante water parameters wordt gegeven in Bijlage C waarin uitgebreid de modellering van het transport van pseudofaeces aan bod komt.



Figuur 2. Plaatsing van een korf (links) en een net van West 6 tijdens het oogsten (rechts).

De centrale vraag in dit project is of mosselzaadinvanginstallaties een effect hebben op de bodemfauna en de bodemstructuur in de buurt van de installaties. Op het moment zijn ongeveer 17 MZI's operatief (Kamermans 2005) op verschillende locaties in de Waddenzee. MZI's kunnen op verschillende niveaus effecten hebben: Lokaal, in het water of in de bodem direct bij de MZI; op enige afstand van een MZI in de bodem of waterkolom; als totaal van alle MZI's op het ecosysteem van de Waddenzee. Op het moment wordt door de vergunningverleners (LNV en Rijkswaterstaat) geëist dat de installatie voor november weer verwijderd is, zodat de MZI's in de praktijk slechts een goed half jaar in bedrijf zijn.

De potentiële effecten van mosselzaadinvanginstallaties zijn:

- Effecten op de nutriëntenkringloop (fytoplankton neemt nutriënten uit het water op; het fytoplankton wordt door de mossels geconsumeerd en (een deel van de) nutriënten komen weer vrij) waardoor de totale productie van de Waddenzee kan veranderen.
- Concentratie van organisch materiaal in de vorm van faeces en pseudofaeces in de nabijheid van de installatie (o.a. de bodem) waardoor nutriënten en organisch materiaal minder beschikbaar worden op andere plaatsen en de sedimentsamenstelling en de bodemfauna ter plekke kunnen veranderen. Schattingen geven aan dat 33% van de opgenomen nutriënten in de bodem terecht komt en 25% van het

opgenomen organisch materiaal wordt omgezet (en verwijderd) in mosselweefsel (Folke & Kautsky 1989).

- Gevolgen voor zooplankton. Mosselen kunnen ook zooplankton consumeren. Bovendien is er door de opname van fytoplankton door mossel minder voedsel voor het zooplankton.
- Effecten op andere organismen. Via fyto- en zooplankton zijn effecten hoger in de voedselketen (andere macrofauna, vissen en zeezoogdieren) mogelijk.
- MZI's kunnen er ook toe bijdragen dat er meer mosselen in de Waddenzee aanwezig zijn. Dit betekent meer voedsel in de vorm van mosselen voor organismen die hierop foerageren.

Een MZI verschilt van een mosselhangcultuur omdat het opgroeien van de mossels slechts tot een beperkte grootte aan de installatie plaatsvindt, alvorens de mosselen verplaatst worden naar de opgroeipercelen. Er zijn echter door MZI ondernemers ook al experimenten gedaan om mossels door te laten groeien tot consumptiemaat. De verwachting is dat effecten die bij hangcultures zijn geconstateerd ook kunnen optreden bij MZI's.

Effecten die direct onder of bij mosselhangcultures zijn geconstateerd (Mattsson & Lindén 1983 (Zweden), Kaspar et al. 1985 (Nieuw Zeeland), Tenore et al. 1985 (Spanje), Chamberlain et al. 2001 (Ierland), Hartstein & Rowden 2004 (Nieuw Zeeland) omvatten onder andere:

- Verrijking van de bodem met organisch materiaal
- Zuurstofloosheid onder de hangcultures
- Verandering bodemfauna (meestal van een gemeenschap gedomineerd door suspensievoeders naar sedimentvoeders).
- Verandering van bodemstructuur door depositie van schelpenmateriaal
- Afname van fytoplankton
- Toename van predatoren

Door sedimentatie van de faeces kan de sedimentsamenstelling van de bodem veranderen, lokaal en, door transport in de waterkolom, ook op andere plaatsen. De aanwezigheid van (pseudo)faeces heeft een invloed op de bodemstructuur en -fauna. Totale faecesproductie kan geschat worden met behulp van relaties (deels bekend, deel empirisch te bepalen), grootte-frequentieverdeling en totale aantallen/biomassa. Verder zullen er altijd mosselen van MZI's loslaten en op de bodem belanden. De gevolgen van dit loslaten zijn vooralsnog onbekend, maar onderzoek heeft wel aangetoond dat de verspreiding van schelpmateriaal bij een redelijke stroming over grote afstanden mogelijk is. Om uiteindelijk ook een berekening te kunnen maken over de effecten van opschaling van MZI aantallen is het noodzakelijk om modelberekeningen te doen om te onderzoeken wat de effecten van de totale filtreercapaciteit van alle MZI's samen op het ecosysteem is.

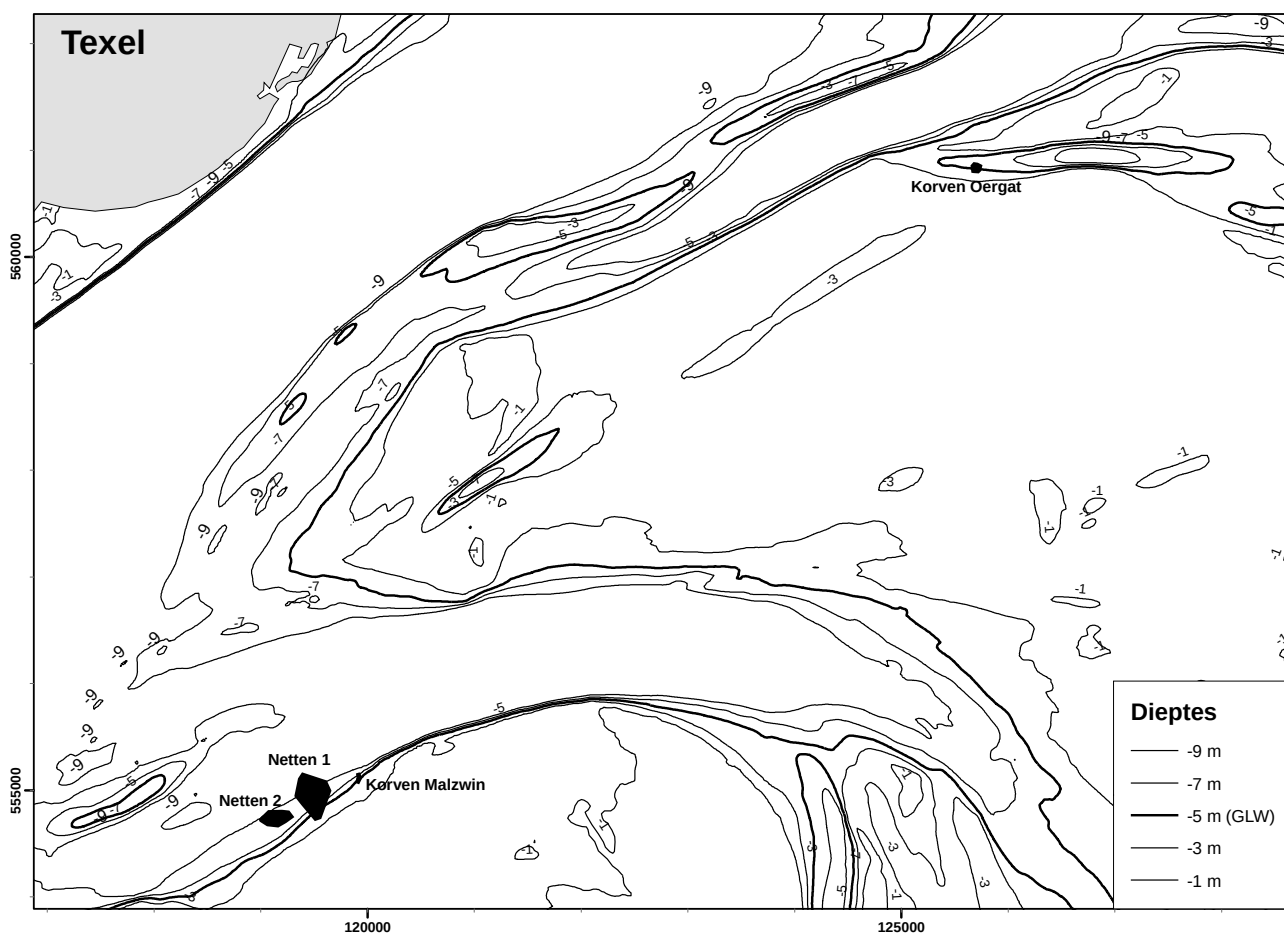
In 2005 zijn bodembemonsteringen uitgevoerd onder, in en nabij de netconstructies (West 6) en de korfconstructies (WIETEX) om te bepalen of er aan het eind van de groeiperiode van het mosselzaad een meetbaar effect op de bodem was. In 2006 is nog een bemonstering in het Oergat uitgevoerd om te onderzoeken of de gevonden effecten misschien het gevolg waren van de ligging van de MZI en of er eventueel hertstel was opgetreden sinds 2005. Via een eenvoudige modelberekening is tevens getracht de productie en verspreiding aan pseudofaeces door MZI's te simuleren om een indruk te krijgen van het gebied dat potentieel door de MZI's beïnvloed wordt en een inschatting te kunnen geven van de te verwachten effecten op de bodem.

Materiaal en methode

Studiegebied

De ligging van de bemonsterde MZI's wordt getoond in Figuur 3. Van elke type MZI (korven en netten) zijn in 2005 2 installaties bemonsterd waarbij steeds 1 installatie intensief bemonsterd is en de ander minder intensief. De korven zijn bemonsterd op twee locaties, namelijk het Oergat en het Malzwin. Van de installatie West 6 op het Malzwin die bestaat uit 4 groepen van elk 5/4 netten zijn 2 groepen netten bemonsterd. De netten kunnen enigszins bewegen en de ligging kan als gevolg van stroming en wind dan ook 20-40 m variëren in alle richtingen. Hierdoor wordt een eventueel effect ook over een groter oppervlak verspreid.

Naar aanleiding van de eerste bodembemonstering rond MZI's werd het noodzakelijk geacht in 2006 verder onderzoek te doen in het Oergat om nog openstaande vragen te beantwoorden. Een effect leek daar aanwezig, maar mogelijk konden ook andere oorzaken tot de gevonden verschillen geleid hebben. Onderzocht moest worden of a) herstel was opgetreden nadat de installatie was weggehaald en b) in hoeverre het mogelijk was dat de gevonden verschillen eerder het gevolg waren van de geografische positie van de MZI, aan de rand van een geul, dan van de aanwezigheid van een MZI.



Figuur 3. Ligging van bemonsterde MZI's in de westelijke Waddenzee.

Bemonstering

Op alle monsterplekken (West 6, 2 locaties op het Malzwin en Wietex in het Oergat (2005 1 locatie en 2006 2 locaties) en Malzwin) werden met behulp van een bodemhapper (boxcore, *Figuur 4*) van het Koninklijk NIOZ monsters genomen (0.06m², 0.5m diep). De monsters werden aan boord over een 1mm zeef gespoeld en het uitgespoelde materiaal werd meegenomen naar het laboratorium voor verwerking. Een deel van de monsters werd in het lab gefixeerd met een 10% formaline oplossing, het andere deel werd 'vers' uitgezocht. Van elk monster werd het natgewicht bepaald en een beschrijving gemaakt van de inhoud. Elk monster werd zo mogelijk tot op soort uitgezocht, waarna per soort de aantallen werden bepaald. In totaal zijn in 2005 92 boxcores genomen en 50 in 2006

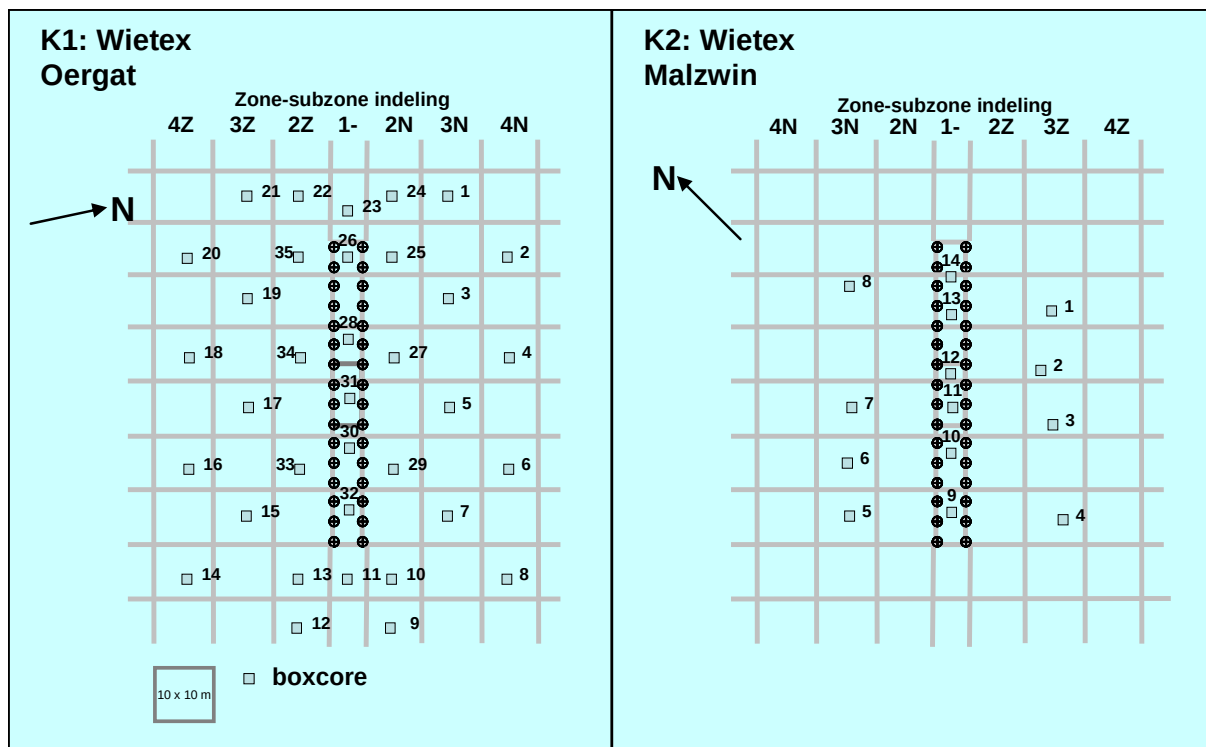


Figuur 4. Boxcore, de kraan van de TX63 en het boxcore-team AM en PWL.

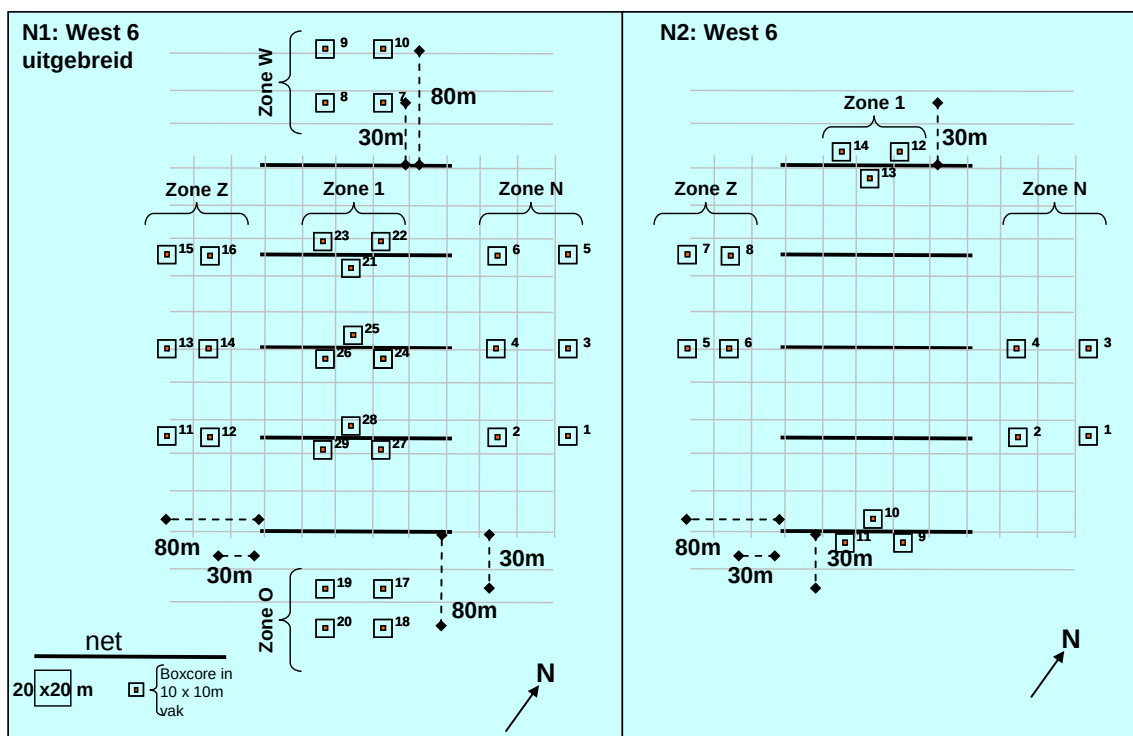
Relatieve monsterlocaties voor de monsters die tussen en bij de korven zijn genomen in het Oergat en op het Malzwin zijn te zien in *Figuur 5*. De monsternummers komen terug in de andere figuren. De zone-indeling is grofweg gebaseerd op de ligging van de monsters ten opzichte van het noorden (Z, zuid; N, noord; 1, centraal). De twee rijen korven op elke locatie staan ongeveer 5m uit elkaar.

Op het Malzwin zijn 2 groepen van netten bemonsterd. De netten liggen achter elkaar in 4 groepen: Achtereenvolgend 2 groepen van 5 netten, 1 groep van 4 en 1 groep van 3. De bemonstering heeft plaats gevonden bij de eerste 2 groepen. Bij de eerste groep, Locatie 1 genoemd, zijn 29 monsters genomen zijn en bij de 2^e groep 14 monsters (Locatie 2). Achtereenvolgens worden de resultaten van de uitgebreid bemonsterde netten (Netten 1) en de minder uitgebreid bemonsterde netten besproken.

Monsterlocatie en -nummer van bij netten staan in *Figuur 6*. In verband met slecht weer kon op de tweede monsterlocatie niet tussen de netten gemonsterd worden.

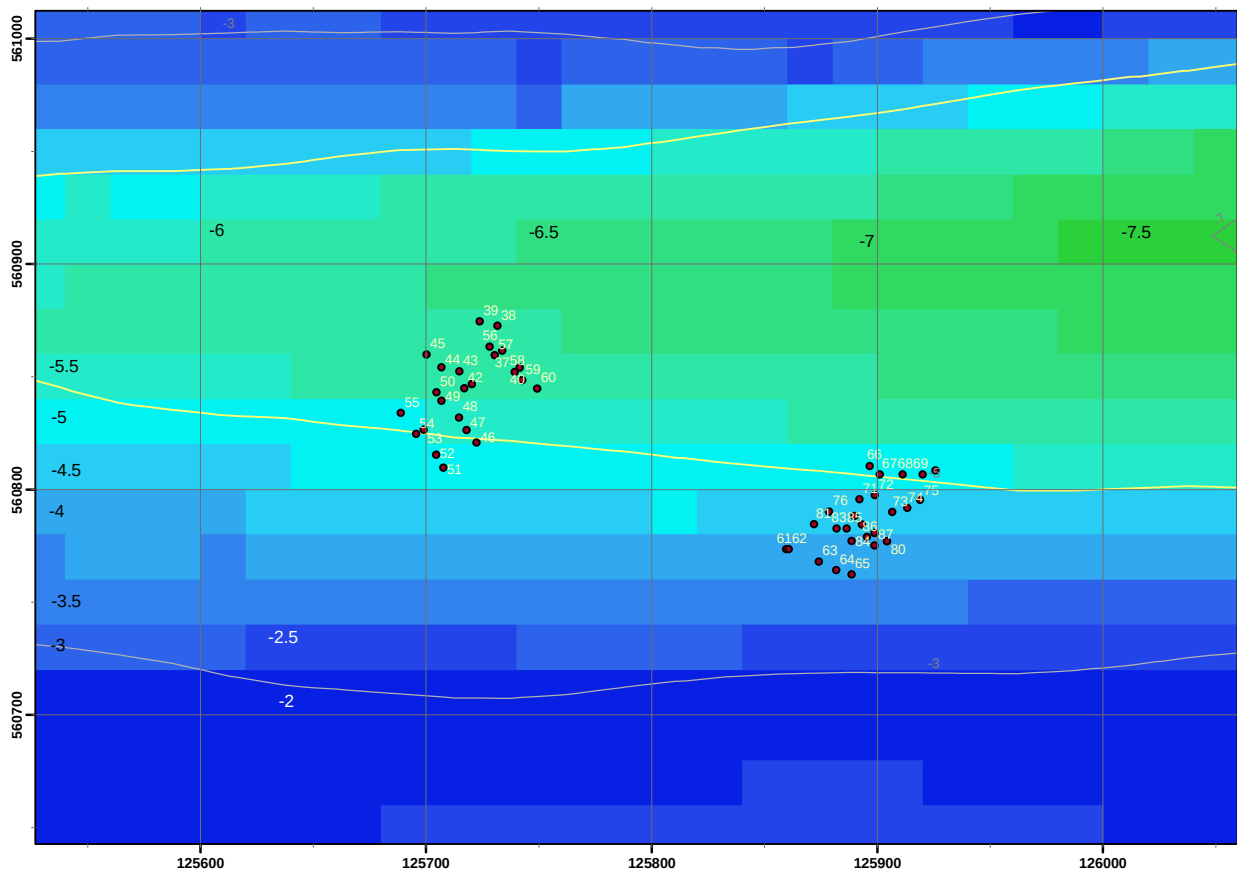


Figuur 5. Monsterpunten (bij benadering) van de korven op het Oergat en het Malzwin. De korven zijn weergegeven als cirkels, de boxcores als kleine vierkantjes. Het 10 x 10m grid is ter oriëntatie. Naast elke boxcore staat het nummer van het monster. De pijl geeft de ligging van het Noorden weer. Links de uitgebreid bemonsterde locatie (K1: Wietex Oergat), rechts de andere locatie (K2: Wietex Malzwin).



Figuur 6. Monsterpunten tussen de netten van de twee MZI's op het Malzwin. In verband met slecht weer kon op de tweede monsterlocatie (N2) niet tussen de netten gemonsterd worden. Links Locatie 1 (N1) en rechts Locatie 2 (N2). De monsters zijn qua ligging ingedeeld in Noord (N), Zuid (Z), West (W), Oost (O) en tussen de netten (Zone 1).

De eerste bemonstering was op 26-28 september 2005 aan het einde van het groeiseizoen. De korven hadden toen circa 5 maanden uitgestaan. De netten van West 6 hadden op het moment van monstern zo'n 5 maanden sinds de vorige oogst op dezelfde plek gehangen en daarvoor reeds 4 jaar. Beide installaties worden elk jaar voor de winter (oktober of november) verwijderd. De 2^e bemonstering was op 2 november 2006. In november 2006, ongeveer 1 jaar nadat de korven verwijderd waren, is de locatie Oergat opnieuw bemonsterd. Bovendien is ongeveer 100 meter verder eenzelfde monstern langs de geul uitgevoerd (verder de referentie locatie genoemd) om te onderzoeken of de eerder geconstateerde verschillen misschien door de ligging van de monsters langs de geul en niet door de korven veroorzaakt kan zijn. Bij beide monstern is gebruik gemaakt van een gps die aan boord bij de kraan werd gehouden om zo in ieder geval de positie van de voet van de kraan te noteren. De kraan had echter een arm van maximaal 12 meter en dat gekoppeld aan de hoek van de kraan ten opzichte van de boot en de onnauwkeurigheid van de gps maakt het vrij moeilijk om op dezelfde plaats een monster te nemen (bovendien stonden er in 2006 geen korven meer). De gps locaties uit 2006 zijn in *Figuur 7* weergegeven.



Figuur 7. Locatie van de monsters in het Oergat van 2006, de groep punten links zijn de monsters die genomen zijn op de locatie waar de korven in 2005 stonden en rechts de monsters die ter vergelijking genomen zijn als referentie. De assen zijn in meters (Rijksdriehoek projectie). Kleuren als mede enkele dieptelijnen geven de diepte aan.

Organisch koolstof

Organisch koolstof in de monsters werd bepaald door van iedere boxcore met een steekbuis een sedimentmonster van 5cm diep te nemen. Het sediment werd opgeslagen en in het lab gevriesdroogd. De hoeveelheid organisch koolstof werd bepaald door de afdeling Mariene Chemie en Geologie van het koninklijk NIOZ. De methode die gevolgd wordt, is een aangepaste versie van Verardo *et al.* (1990) en wordt standaard toegepast door het NIOZ. Ze wordt uitgebreid beschreven in Bijlage B.

Statistische analyses

Vergelijkingen op basis van soortensamenstelling zijn gemaakt door middel van multivariate analyses. De verschillende monsters zijn met elkaar vergeleken met behulp van de Bray-Curtis similariteitsindex (Legendre en Legendre 2004). Bij k stations resulteert dit in een driehoekige matrix (met $k-1$ rijen en kolommen) met similariteiten tussen de verschillende monsters. Een complete accurate weergave van deze matrix vergt een beeld in $k-1$ dimensies. Omdat dit praktisch gezien onmogelijk is, zijn er een aantal technieken ontwikkeld om een zo optimaal mogelijke weergave in 2 dimensies weer te geven. De hier gebruikte technieken zijn clustering en “nonmetric MultiDimensional Scaling”, verder MDS genoemd (voor een uitgebreide technische beschrijving van de technieken zie Legendre en Legendre 2004). MDS probeert de verschillen tussen de monsters zo goed mogelijk weer te geven in 2 dimensies of 3 dimensies. Monsters die qua samenstelling op elkaar lijken liggen dicht bij elkaar dan monsters die minder op elkaar lijken. De dichtheden van de verschillende soorten zijn vooraf getransformeerd (tot de vierdemachtswortel, oftewel $y^{0.25}$) om het effect van numeriek dominante soorten niet te laten overheersen in de analyse. Bij clustering zijn de monsters met elkaar verbonden door middel van “group average linking” waarbij de afstand tussen twee groepen gelijk is aan de gemiddelde afstand tussen alle monsters in de twee groepen. Een groep van monsters wordt met een andere groep verbonden als er geen andere groep is waarvan de ‘group average’ afstand kleiner is.

Verschillen tussen verschillende categorieën (zie Resultaten) zijn voor de multivariate datasets getest door middel van de ANOSIM (Analysis Of Similarities) procedure (Clarke 1993). Deze test is vergelijkbaar met een one-way ANOVA, maar hier wordt getest of de similariteit tussen monsters van *a priori* vastgestelde groepen (binnen groepen) verschilt met de similariteit tussen groepen. De gevonden waarde wordt via een permutatie-test getoetst op waarschijnlijkheid. Bij clusteranalyse is ook gebruik gemaakt van de SIMPROF test (“similarity profile”) om te onderzoeken of er significante clusters onderscheiden konden worden. Deze test onderzoekt eveneens via permutatietesten of er statistisch bewijs is voor clusters in de monsters die *a priori* ongestructureerd worden verondersteld. Hiertoe wordt op elk knooppunt van het dendrogram getest of de groep die op het punt staat onderverdeeld te worden een significante interne structuur heeft die afwijkt van de rest van de monsters. Voor de analyses is gebruik gemaakt van Primer (versie 6.1.5, Clarke & Gorley 2006) voor de multivariate analyses en R (R Development Core Team 2007) voor de univariate toetsen.

Verspreiding van (pseudo)faeces

Via modelberekeningen is geschat over welk gebied de effecten van een MZI zich zouden kunnen uitspreiden. Uitgaande van het idee dat het effect vooral veroorzaakt wordt door de faeces die door de MZI's geproduceerd wordt, kan de vraag gedefinieerd worden als “over welk gebied kan de faeces zich verspreiden en wat is de flux van deeltjes naar de bodem”? Een samenvatting van de resultaten wordt gegeven op pagina 38. Een uitgebreide uitleg staat in Bijlage C.

Resultaten

Effecten op bodemfauna

In eerste instantie zullen alleen de monsters uit 2005 besproken worden. De resultaten van de bemonstering in 2006 wordt vanaf pagina 35 besproken. In een aantal monsters uit het Malzwin werden geen levende organismen gevonden. In het Oergat zaten in alle monsters levende dieren (Tabel 1).

Tabel 1. Boxcores per locatie (2005)

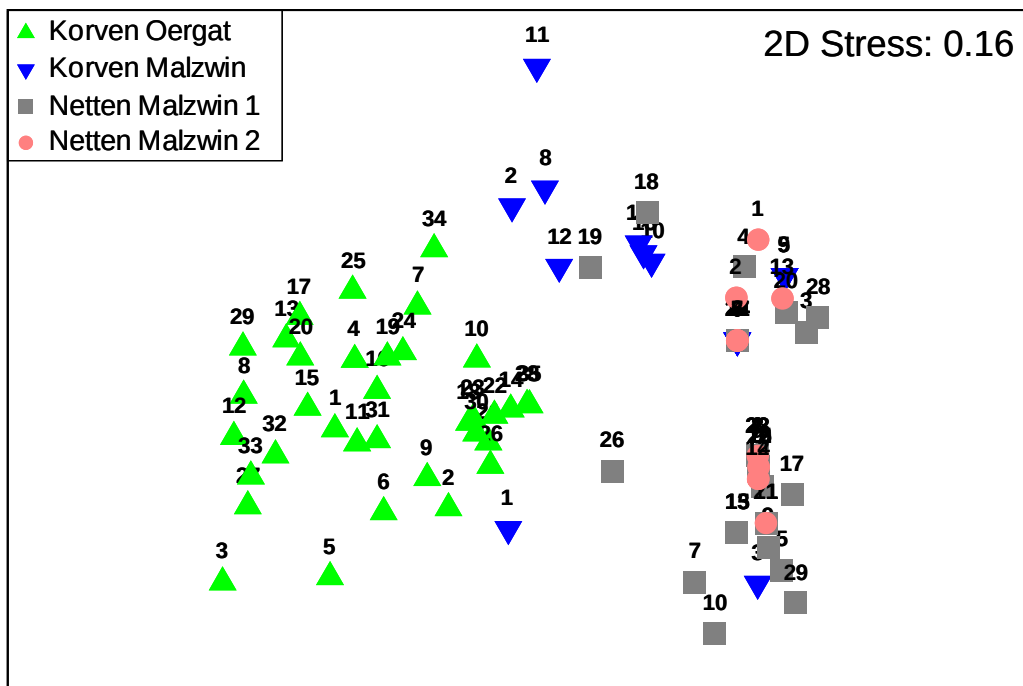
Locatie	MZI type en code	Aantal boxcores	Aantal zonder levende inhoud
Oergat	Korven 1	35	0
Malzwin	Korven 2	14	3
Malzwin	Netten 1	29	5
Malzwin	Netten 2	14	5

Het aantal individuen van elke soort staat in Tabel 2. Opvallend is de grote aantallen van *Ensis spec*, die vooral in het Oergat aangetroffen zijn en niet op het Malzwin.

Tabel 2. Totaal aantal individuen per groep/soort. Indien mogelijk is tot soortsniveau gedetermineerd.

Soort	n
<i>Abra alba</i> (Witte dunschaal)	1
<i>Amphipoda spec</i> (Vlokreeften)	8
<i>Anaitides spec</i> (Dieseltreinwormen)	7
<i>Asterias spec</i> (Zeesterren)	3
<i>Balanus spec</i> (Zeepokken)	2
<i>Capitellidae</i> (Borstelwormen)	255
<i>Carcinus meanas</i> (Strandkrab)	18
<i>Crangon crangon</i> (Gewone garnaal)	2
<i>Ensis spec.</i> (Mesheften)	1653
<i>Eteone spec.</i>	4
<i>Harmothoe spec.</i> (Schubbenwormen)	9
<i>Pagurus bernhardus</i> (Heremietkreeft)	2
<i>Hydrobia ulvae</i> (Wadslakje)	2
<i>Lanice spec.</i> (Schelpkokerwormen)	63
<i>Macoma balthica</i> (Nonnetje)	9
<i>Montacuta spec.</i> (Zeeklitschelpjes)	1
<i>Mya arenaria</i> (Strandgaper)	4
<i>Mytilus edulis</i> (Mossel)	52
<i>Nephtys hombergii</i> (Zandzager)	61
<i>Nereis diversicolor</i> (Veelkleurige zeeduizendpoot)	16
<i>Nereis spec.</i> (Zeeduizendpoten)	32
<i>Nereis virens</i> (Zager)	5
<i>Oligochaeten</i> (Borstelarme ringwormen)	137
<i>Pectinaria spec.</i> (Goudkammetjes)	4
<i>Scoloplos armiger</i> (Wapenworm)	17
<i>Spionidae</i>	4
<i>Spisula subtruncata</i> (Halfgeknotte strandschelp)	1
<i>Tellina spec.</i> (Platschelpen)	1
<i>Tellina tenuis</i> (Tere platschelp)	10
<i>Tharyx spec.</i>	97
<i>Actinaria</i> (Zee-anemoon)	137
Niet identificeerbare individuen	4

MDS en Clustering van alle locaties bij elkaar laat zien dat de monsters van het Oergat sterker op elkaar lijken dan op de monsters uit het Malzwin die bijna allemaal aan de rechter kant van de grafiek liggen (Figuur 8). Ook lijken de korven uit het Malzwin met uitzondering van monster 1 en 3 redelijk dicht bij elkaar te liggen en dichter bij de korven uit het Oergat. Dit zou kunnen samenhangen met de diepte waarop beide installaties staan (beide gemiddeld rond de 5 m), terwijl de netten meer aan de rand van de geul liggen. Tussen de twee korfconstructies is de gemiddelde similariteit ongeveer 10%, terwijl dit voor vergelijkingen tussen korven en netten tussen de 2-5% ligt en tussen de netten op 20%. Een ANOSIM-test tussen locaties geeft aan dat alle locaties onderling van elkaar verschillen ($p < 0.001$ voor alle paarwijze vergelijkingen) behalve de twee netconstructies ($p = 0.83$). De korven uit het Oergat lijken als groep duidelijk gescheiden van de andere MZI's.

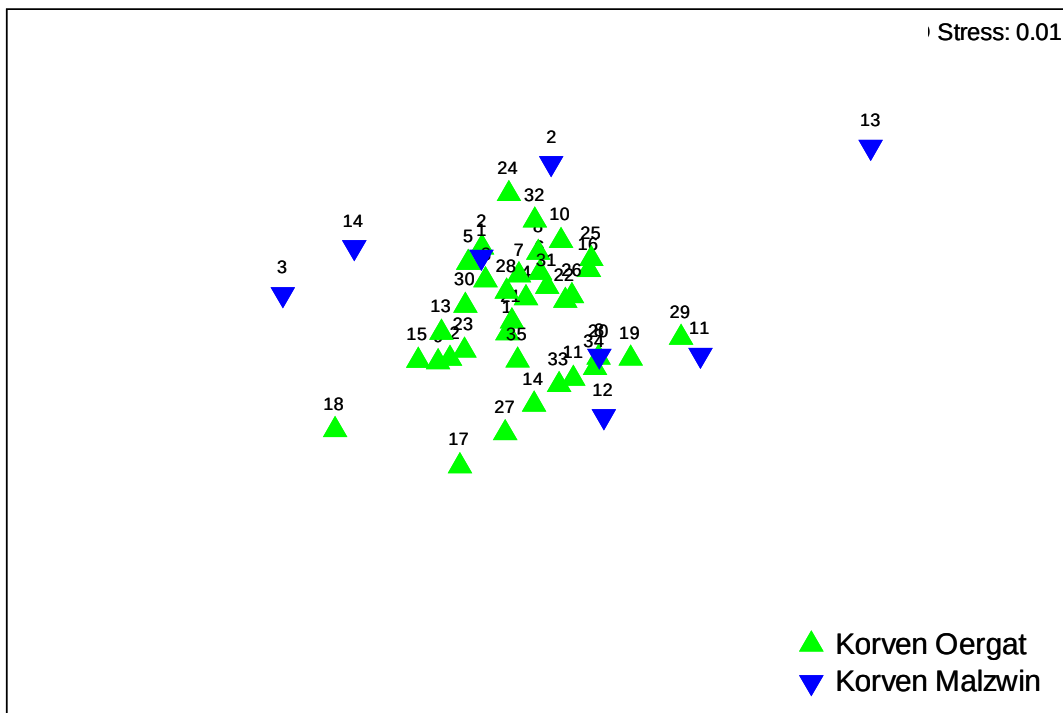


Figuur 8. Netten (Malzwin) en Korven (Oergat en Malzwin). MDS plot van alle monsters bij elkaar. Nummers verwijzen naar de monsternummers. Elk symbool representeert 1 monster. Monster die qua samenstelling op elkaar lijken, liggen dicht bij elkaar; hoe verder de symbolen uit elkaar liggen, hoe minder de monsters op elkaar lijken. De 'stress' waarde geeft aan hoe goed de (on)gelijkenis tussen de monsters in het platte vlak getoond kan worden; onder de 0.1 kan de structuur van de monsters zeer goed in 2 dimensies worden weergegeven, boven de 0.17 zijn 2 dimensies mogelijk te weinig om de structuur van de matrix duidelijk weer te geven.

Gezien de grote verschillen tussen korven en netten zullen beide typen MZI hieronder apart besproken worden.

KORVEN

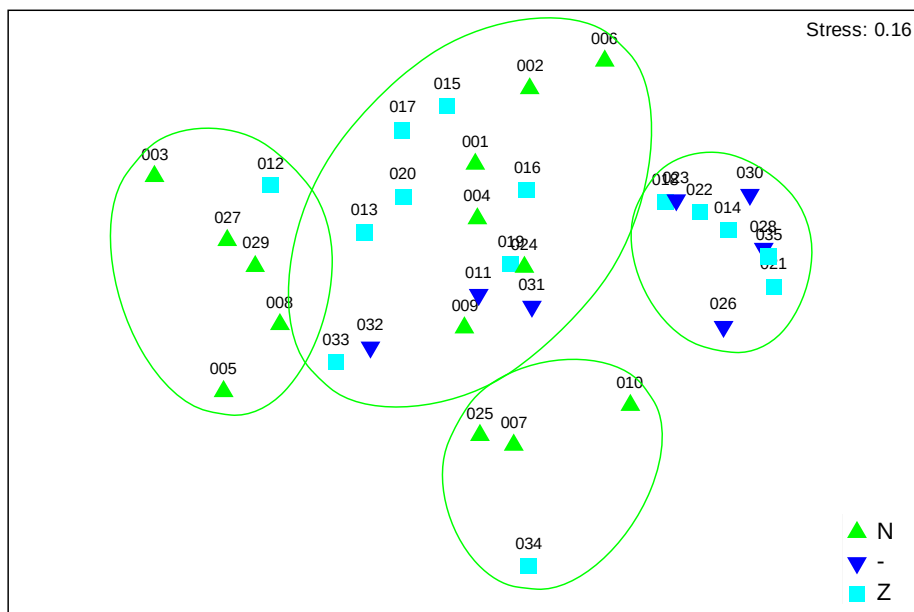
In een MDS grafiek van alle korven samen (Figuur 9) wordt meteen duidelijk dat de soortensamenstelling in de bodem bij de korven in het Oergat en op het Malzwin sterk van elkaar verschilt. Dit verschil in samenstelling is zeer significant (ANOSIM, $p < 0.01$) en wordt vooral veroorzaakt door grote aantallen mesheften (*Ensis*) die alleen in het Oergat gevonden werden en door de relatief grotere abundantie van zee-anemonen op het Malzwin. Ook verschillen de monsters op het Malzwin onderling meer dan de monsters van het Oergat: gemiddelde similariteit tussen de onderlinge monsters is 48,5 tegen 12,6 voor Oergat, respectievelijk Malzwin. Omdat de verschillen zo groot zijn, is besloten de verschillende gebieden verder apart te analyseren.



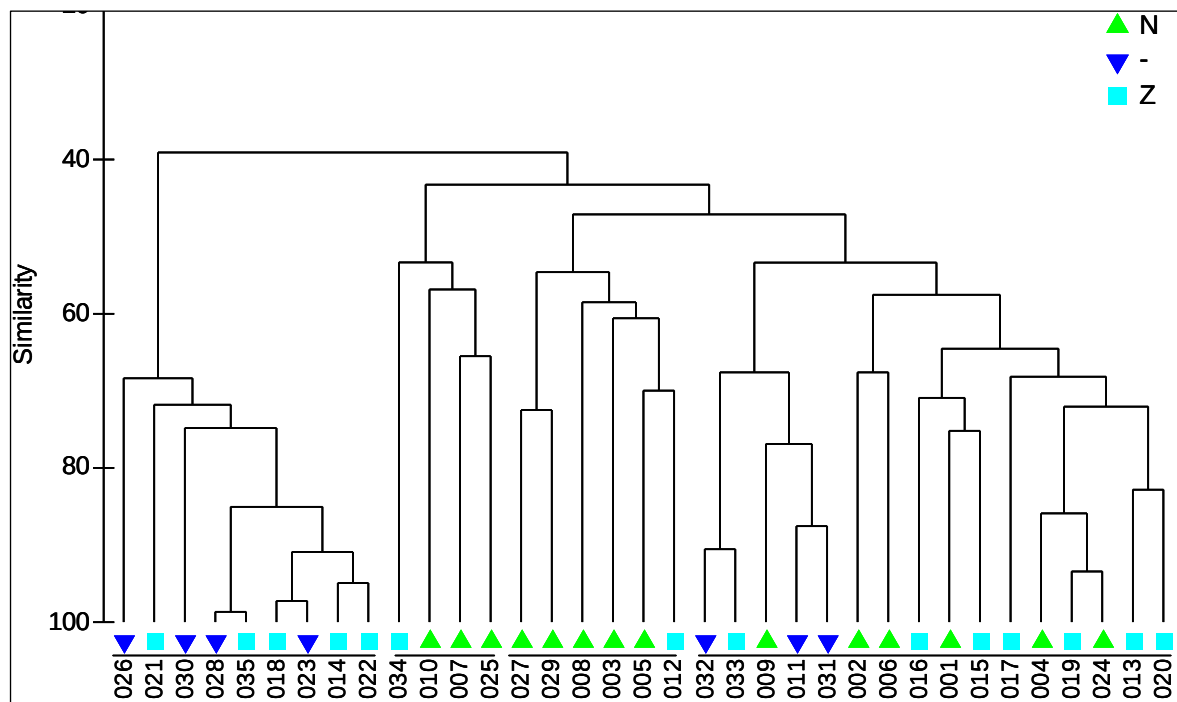
Figuur 9. MDS resultaten van de korven uit het Malzwin en het Oergat. Elk symbool representeert 1 monster en alle soorten en individuen die in dat monster gevonden zijn. Monster die op elkaar lijken, liggen dicht bij elkaar; hoe verder de symbolen uit elkaar liggen, hoe minder de monsters op elkaar lijken. De nummers zijn de monsternummers. De 'stress' waarde geeft aan hoe goed de (on)gelijkenis tussen de monsters in het platte vlak getoond kan worden; onder de 0.1 is er geen noodzaak om meer dimensies toe te voegen, boven de 0.17 zijn 2 dimensies mogelijk te weinig om de structuur van de matrix duidelijk weer te geven.

KORVEN OERGAT

De monsters uit het Oergat worden qua samenstelling met elkaar vergeleken in Figuur 10. Indien de monsters die tussen de korven genomen zijn een duidelijk andere samenstelling hebben dan de monsters erbuiten, dan zouden deze monsters dicht bij elkaar moeten liggen. In *Figuur 10* lijkt dit niet het geval te zijn en ook lijkt er geen duidelijke scheiding op te treden tussen monsters ten zuiden en ten noorden van de MZI (symbolen voor N en Z). De zuidelijke monsters liggen voor een groot deel dicht bij de centrale monsters, hetgeen duidt op een hoge mate van overeenkomst. Echter de stresswaarde van 0.16 (rechtsboven in figuur) geeft aan dat de structuur in de data niet optimaal in 2 dimensies getoond kan worden. Om te onderzoeken of eventuele verschillen beter te visualiseren zijn door middel van een andere techniek is de similariteitsmatrix ook onderzocht door middel van clustering (Figuur 11).



Figuur 10. Korven Oergat. MDS resultaten van de korven uit het Oergat. De symbolen in de grafiek geven aan of het monster tussen de korven (▼), ten noorden (▲) of ten zuiden (■), van de MZI genomen is. Nummers verwijzen naar monsternummers. De cirkels om de punten geven de verschillende clusters weer die door middel van clustering gevonden zijn (zie Figuur 11).



Figuur 11. Korven Oergat. Resultaten clusteranalyse van de bodemonsters. De doorgetrokken streep onder de symbolen geeft monsters weer die niet significant ($p > 0.05$) van elkaar verschillen; de 4 groepen verschillen onderling significant ($p < 0.05$). Zones en subzones als in Figuur 10.

Figuur 11 toont 4 duidelijke clusters. Van de 7 monsters die tussen de korven zijn genomen (▼) blijken er 4 bij elkaar te clusteren, hetgeen een indicatie is dat de samenstelling van deze monsters blijkbaar anders is dan die van de andere monsters, maar ook zijn er een aantal monsters ten zuiden van de korven (■) die qua

samenstelling op deze monster lijken. Er lijkt geen duidelijk verschil tussen de monsters uit de verschillende zones visueel aangetoond te kunnen worden.

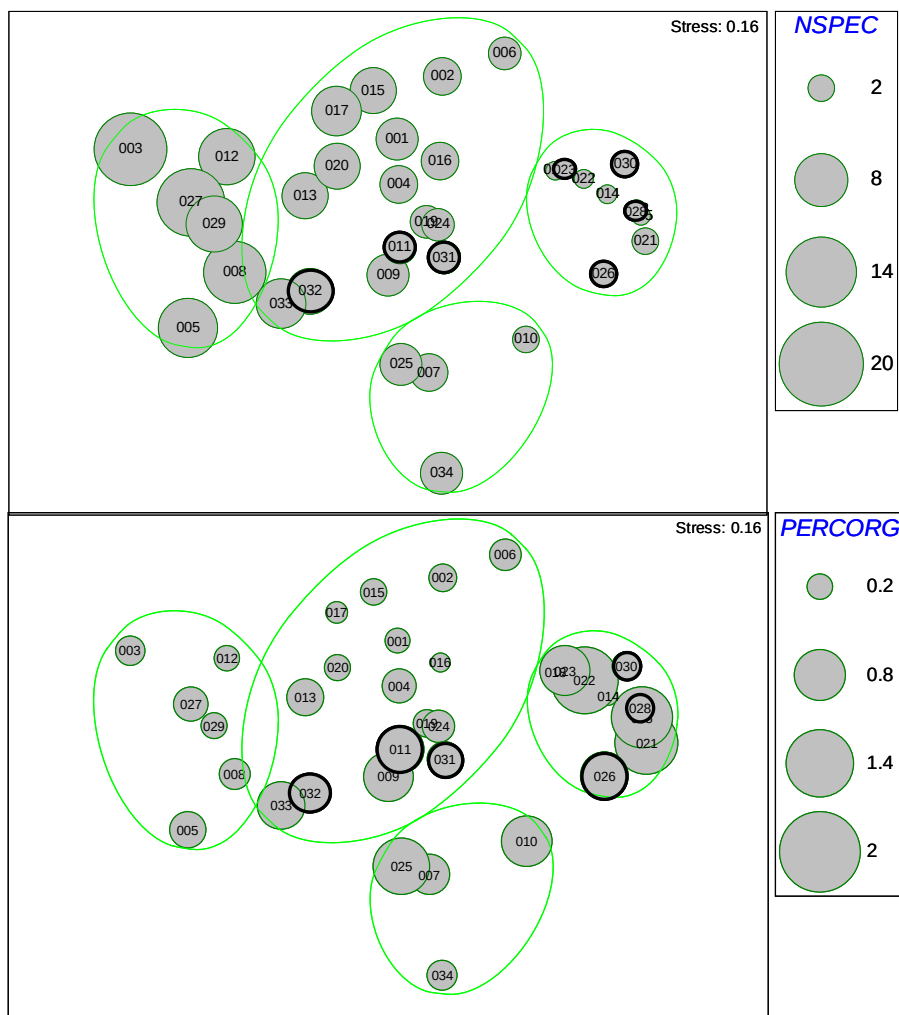
De MDS-ordinatie gaf aan dat een deel van de structuur van de data niet voldoende in 2 dimensies gevisualiseerd kon worden. Dit bezwaar valt weg als we een ANOSIM-analyse uitvoeren aangezien deze direct met de onderliggende similariteitsmatrix werkt (en dus alle dimensies gebruikt). Een ANOSIM-test om te onderzoeken of monsters op basis van ligging (noord-centraal-zuid) van elkaar verschillen geeft aan dat er een significant verschil tussen de centrale en de noordelijke monsters ($p = 0.03$) bestaat, maar niet tussen de andere zones. Vergelijken we ook de verschillende subzones met elkaar (Zone - Noord/Zuid combinaties) dan zijn er significante ($p < 0.05$) verschillen tussen de monsters die tussen de korven genomen zijn (zone 1, label "-") en de monsters uit 0-10m noord (zone 2, label "N"), 10-20m noord (zone 3, label "N"), 20-30m noord (zone 4, label "N", zie *Figuur 5* voor de ligging van de verschillende zones).

Het gebied tussen de korven wordt vooral gedomineerd door mesheften (*Ensis spec.*) en borstelarme ringwormen (*Oligochaeten*), samen goed voor 95% van de gemiddelde similariteit tussen de onderlinge monsters in deze zone. De belangrijkste relatieve verschillen tussen de zones worden in onderstaande tabel samengevat (N.B. De verschillen tussen het centrale en zuidelijke deel waren niet significant).

Tabel 3. Korven Oergat. Belangrijkste verschillen in samenstelling van de monsters tussen de centrale zone met korven (1) en de zones ten noorden en zuiden van de korven (zie *Figuur 5* voor de ligging van de zones). * duidt de significante ($p < 0.05$) vergelijkingen aan.

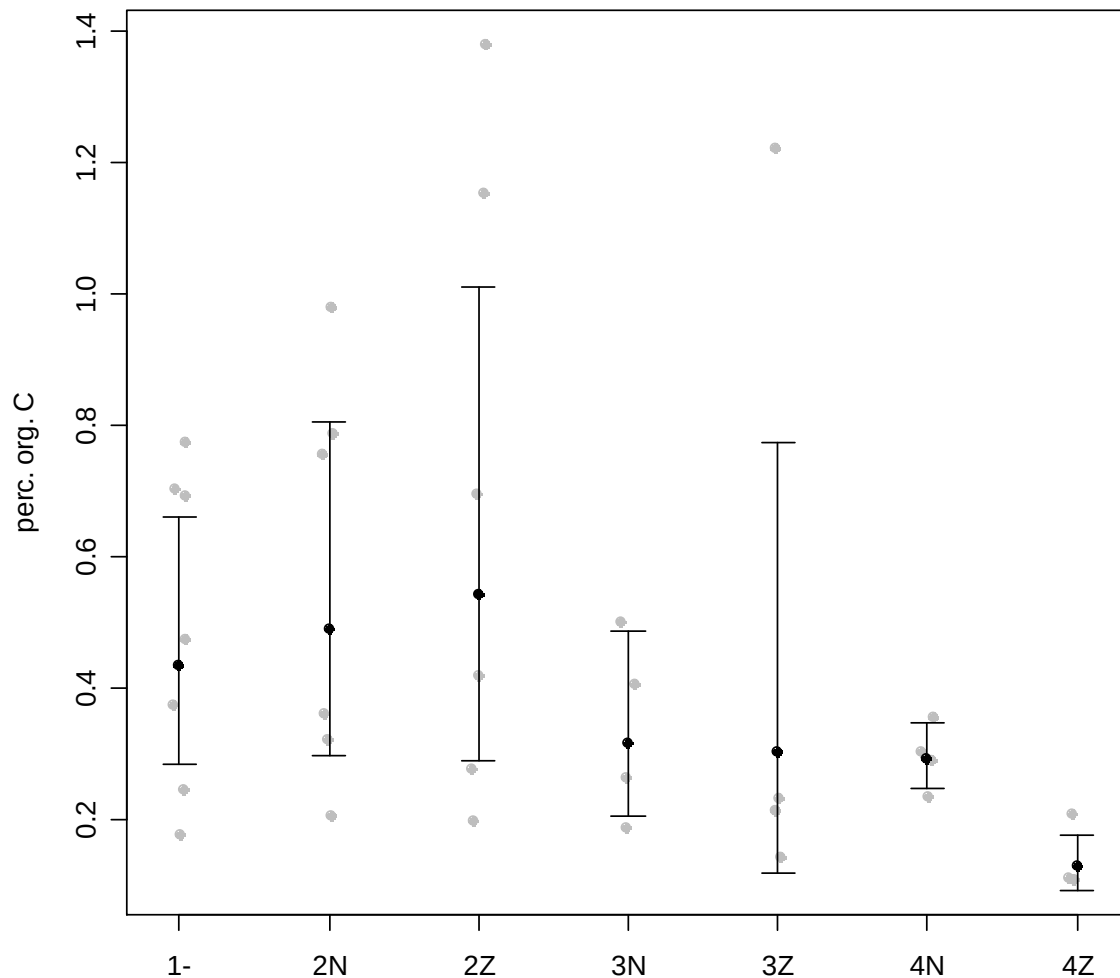
Zonevergelijking	Centrale zone	Andere zone
1 - 2N*	Meer oligochaeten en minder soorten.	Veel meer <i>Capitellidae</i> en zee-anemonen. Meer <i>Ensis</i> . Exclusieve soorten: <i>Carcinus</i> , <i>Nephtys</i> , <i>Nereis diversicolor</i> , <i>Asterias spec.</i> en <i>Macoma balthica</i> .
1 - 3N*	Minder soorten en lagere aantallen	Meer zee-anemonen, <i>Capitellidae</i> , <i>Ensis</i> , <i>Lanice</i> , <i>Tharyx spec.</i> en andere soorten
1 - 4N*	Meer oligochaeten	Meer <i>Lanice</i> , <i>Ensis</i> , <i>Capitellidae</i> , zee-anemonen en andere soorten.
1 - 2Z	Meer oligochaeten	Meer <i>Capitellidae</i> , zee-anemonen, <i>Tharyx spec.</i> en andere soorten
1 - 3Z	Meer oligochaeten	Meer <i>Capitellidae</i> , zee-anemonen, <i>Ensis</i> , <i>Lanice</i> , <i>Nereis diversicolor</i> en andere soorten
1 - 4Z	Meer oligochaeten	Meer <i>Ensis</i> , <i>Nereis diversicolor</i> en andere soorten.

De ordinatie zoals die op basis van de soortensamenstelling tot stand gekomen is (*Figuur 10*) kan nader onderzocht worden door in een 'bubbleplot' de hoeveelheid organisch koolstof van het sediment en het aantal soorten te laten zien (*Figuur 12*). Hierdoor kan een indruk verkregen worden of en hoe deze variabelen van invloed zijn op de ordinatie. De figuur laat precies dezelfde ordinatie zien, maar nu is de grootte van het symbool, de 'bubble', een maat voor de hoeveelheid soorten en het percentage organisch materiaal in het monster. Soms lijkt het alsof een station er niet is, maar dan ligt deze achter een van de grotere 'bubbles'. De hoeveelheid organisch koolstof zou als gevolg van depositie van pseudofaeces hoger kunnen zijn in de buurt van de mzi's. Duidelijk is te zien hoe het rechter cluster relatief veel organisch materiaal bevat en minder soorten. Dit cluster bevat ook een relatief groot aantal van de centrale monsters en een groot deel van de zuidelijke monsters.



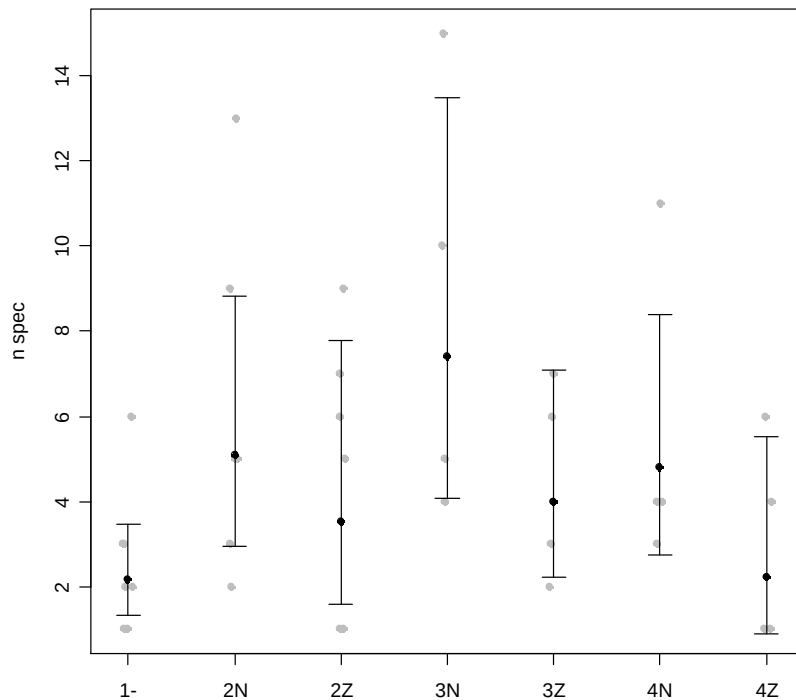
Figuur 12. Korven Oergat. MDS zoals in Figuur 10, maar nu voor elk monster het aantal soorten (NSPEC boven) en percentage organisch koolstof (PERCORG, onder) weergegeven. De ligging van de monsters is hetzelfde als in Figuur 10. De monsters die tussen de korven genomen zijn, zijn vet omcirkeld.

Een variantie-analyse van de hoeveelheid organisch materiaal in de monsters geeft aan dat de verschillende zone-oriëntatie groepen significant van elkaar verschillen ($F_{6,28} = 2.82$, $p = 0.028$). De significante verschillen liggen wel vooral tussen de monsters vlak bij de korven (zone 1, label “-“) en de verst verwijderde monsters ten zuiden van de korven ($p = 0.0037$; Figuur 13). De andere groepen verschillen niet significant met de monsters die tussen de korven genomen zijn. Ook lijken de zones die direct aan de centrale zone grenzen (2N en 2Z) gemiddeld een organisch koolstofgehalte te hebben dat sterk lijkt op dat in de centrale zone; verder weg neemt het organisch koolstof in de monsters dan sterk af. De hoeveelheid organisch koolstof neemt af met toenemende afstand tot de korven (Lineaire regressie: $\ln(\text{perc.org.C}) \sim \text{loodrechte afstand tot centrale zone}$, $p = 0.002$, $F_{1,33} = 11.5$).

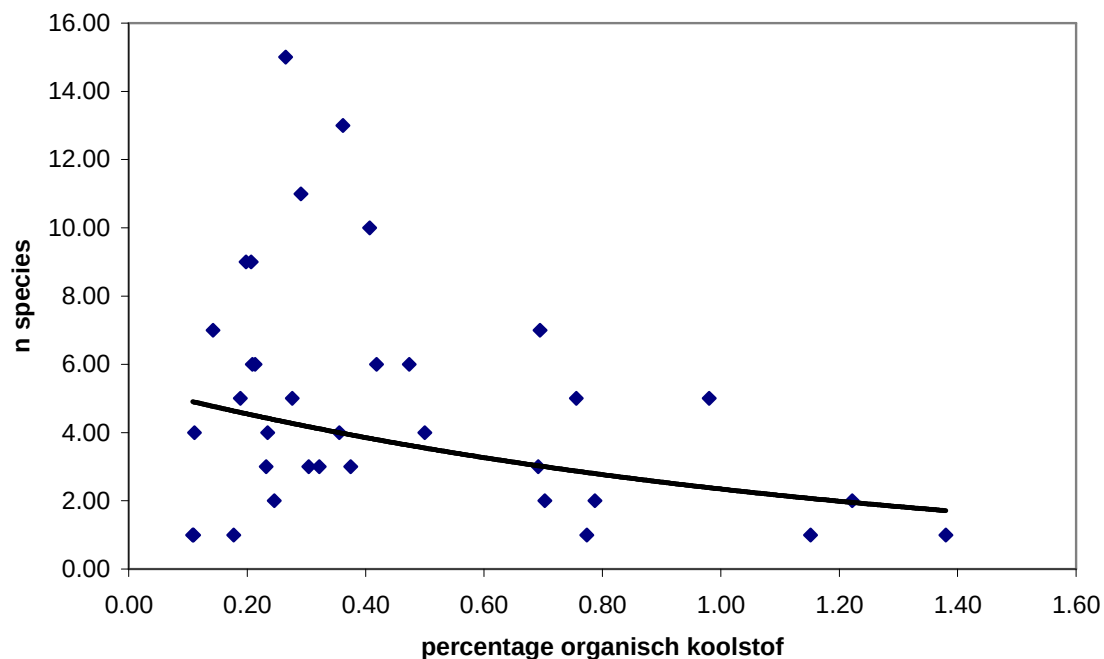


Figuur 13. Korven Oergat. Percentage organisch koolstof (individuele datapunten, grijs, en gemiddelde, zwart) en 95% betrouwbaarheidsintervallen in de verschillende. Zone-afkortingen: 1-, tussen de korven; 2N/Z, binnen 10m ten Noorden/Zuiden van de korven; 3N/Z tussen 10 en 20m ten Noorden/Zuiden; 4N/Z tussen 20 en 30m ten Noorden/Zuiden.

Wat betreft het aantal soorten in de monsters hebben de monsters die tussen de korven genomen zijn minder soorten dan de bodemonsters die ten noorden van de korven genomen zijn (p -waarden 0.047, 0.013, 0.097 voor respectievelijk zone 2N, 3N en 4N). Het aantal soorten in de monsters die ten zuiden van de korven genomen zijn, is gemiddeld niet meer dan in de monsters tussen de korven (Figuur 14).



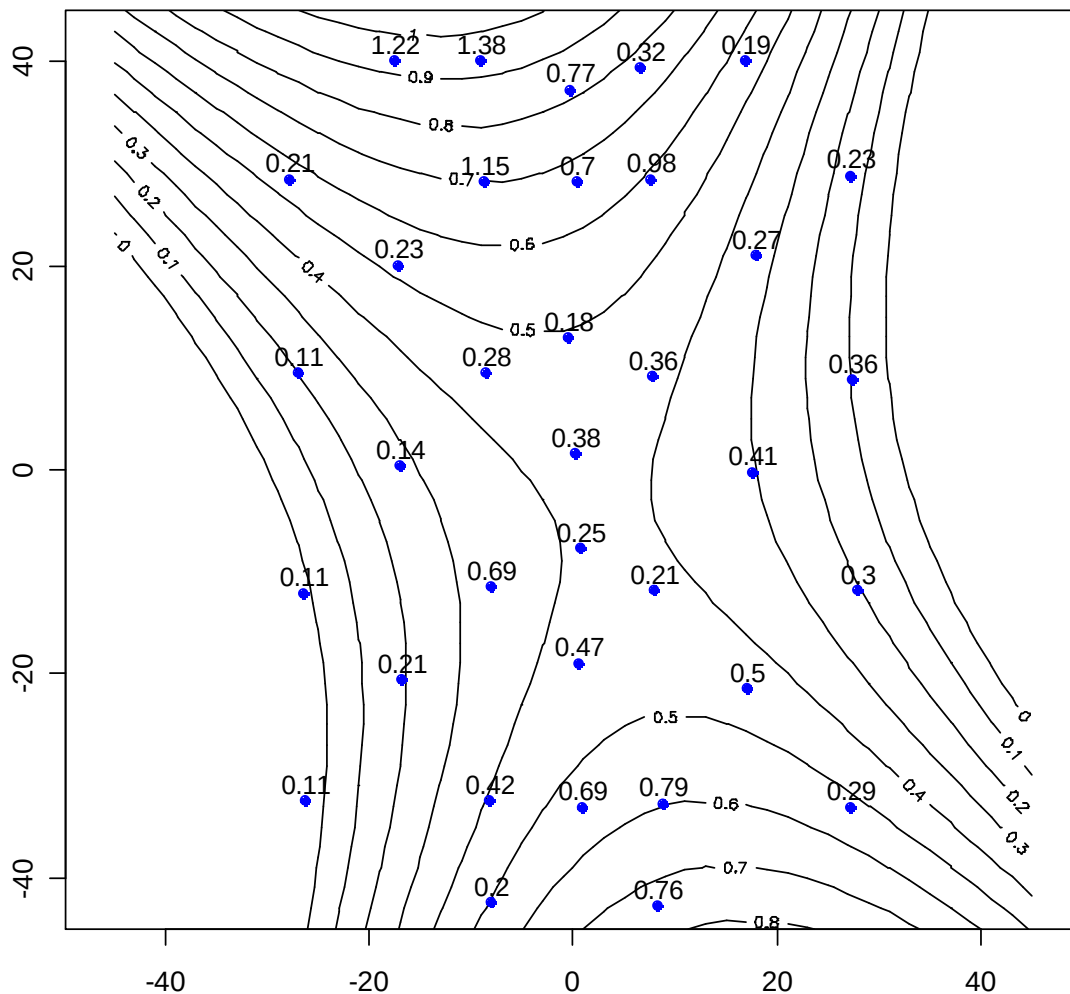
Figuur 14. Korven Oergat. Aantal soorten (individuele datapunten, grijs, en gemiddelde, zwart) per monster en 95% betrouwbaarheidsintervallen voor de verschillende. Zone-afkortingen: 1-, tussen de korven; 2N/Z, binnen 10m ten Noorden/Zuiden van de korven; 3N/Z tussen 10 en 20m ten Noorden/Zuiden; 4N/Z tussen 20 en 30m ten Noorden/Zuiden.



Figuur 15. Korven Oergat. Aantal soorten tegen het organisch koolstofgehalte met een exponentiële regressielijn. Regressie: $\log(n \text{ soorten}) = 0.73 - 0.36 * (\text{perc. C})$; $p = 0.04$, $r^2_{\text{adj}} = 0.096$.

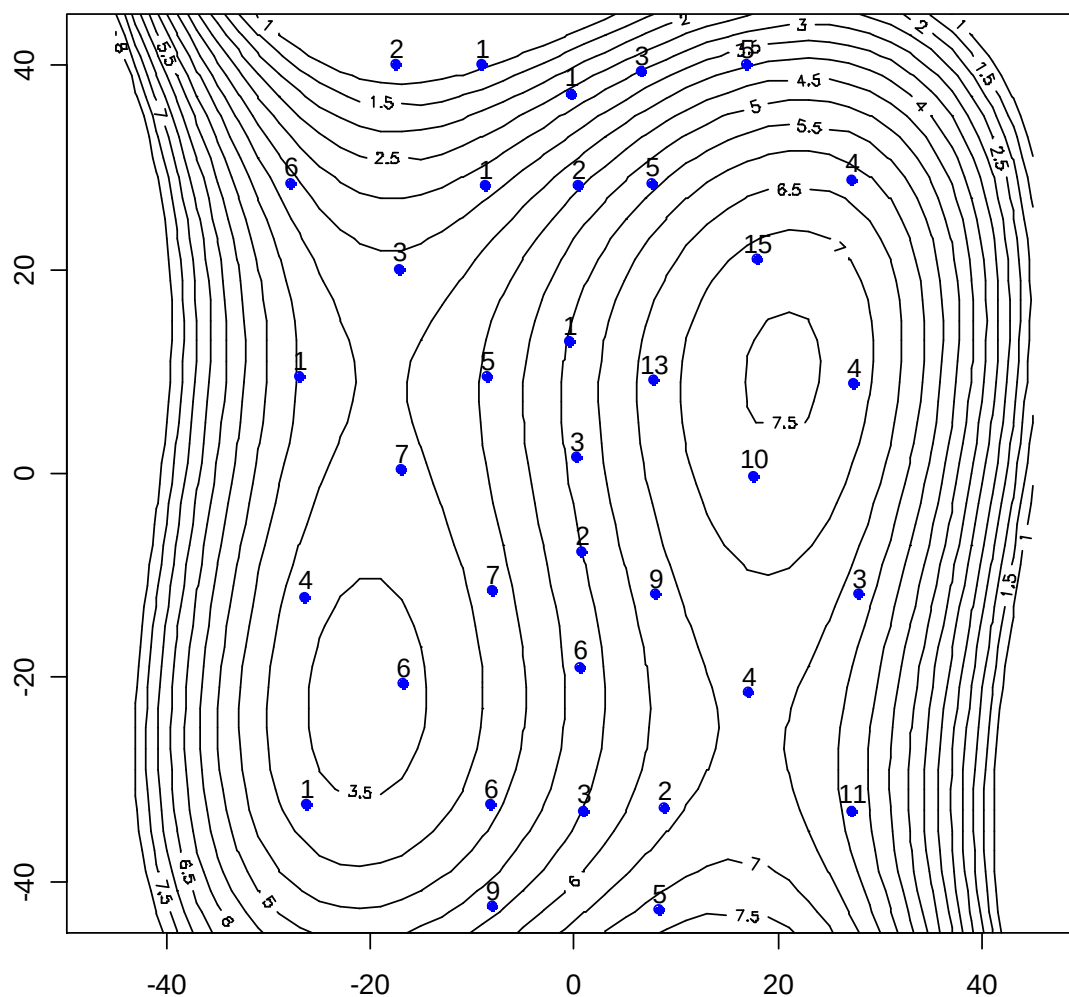
Er lijkt ook een significant omgekeerd verband te bestaan tussen organisch koolstofgehalte en het aantal soorten (Figuur 15). Dit betekent dat bij meer organisch koolstof, het aantal soorten afneemt.

De ruimtelijke verdeling van de gevonden percentages organisch koolstof en het aantal soorten kan het best getoond worden in een contourplot (*Figuur 16* en *17*). De contouren zijn gefit door middel van trendvlakken ook wel polynomiale vlakken genoemd. Andere mogelijkheden om contourlijnen te berekenen zijn 'Loess-smoothing' en 'Kriging'. Deze zijn wel uitgetoet, maar gaven geen betere contouren. De contourlijnen lijken ook te duiden op hogere concentraties organisch materiaal tussen de korven, vooral afnemend in concentratie naar links toe in het figuur. Dit komt overeen met de gemiddelde concentraties in de verschillende zones (*Figuur 13*).



Figuur 16. Korven Oergat. Contourplot van percentage organisch koolstof. De monsterpunten met de gevonden waarde staan ook in de grafiek. Assen in meters relatief ten opzichte van het centrale monsterpunt.

In *Figuur 17* wordt de contourplot voor het aantal soorten getoond. De gevonden relatie tussen het aantal soorten en de hoeveelheid organisch materiaal (*Figuur 15*) kan hierin teruggevonden worden; naar het noorden (naar rechts in de figuur) toe, neemt het aantal soorten toe. Dicht bij de korven lijkt het aantal soorten relatief klein.



Figuur 17. Korven Oergat. Contourplot van het aantal soorten. Bij elk monsterpunt staat de gevonden waarde. Assen in meters relatief ten opzichte van het centrale monsterpunt.

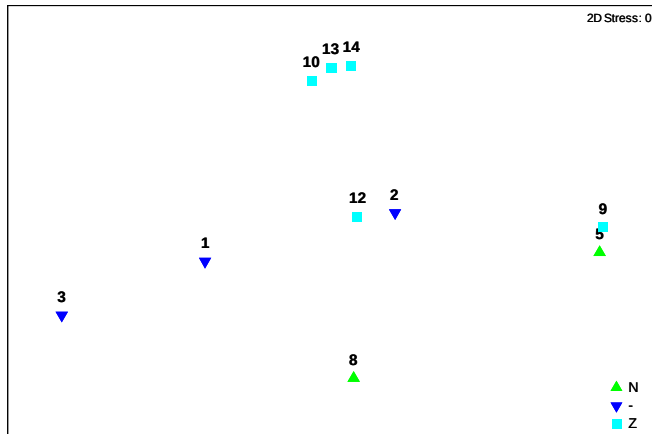
Conclusies korven Oergat

In het Oergat bestaat een significant verschil in bodemfauna tussen monsters die tussen de korven genomen zijn en monsters ten noorden van de korven. De monsters tussen de korven bevatten relatief meer Oligochaeten en in totaal minder soorten dan monsters die op verschillende afstanden ten noorden van de korven genomen zijn. Deze verschillen corresponderen met verschillen in organisch koolstofgehalte: relatief hogere koolstofgehalten tussen de korven en afnemend met toenemende afstand tot de korven. Ook zijn het aantal soorten van de monsters tussen de korven lager dan monsters die ten noorden van de korven genomen zijn.

KORVEN MALZWIN

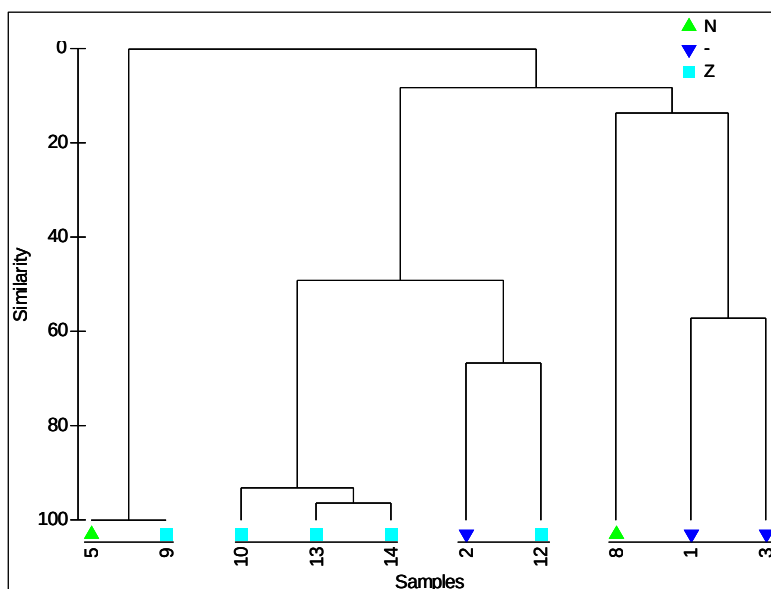
De Wietex korven op het Malzwin zijn minder intensief bemonsterd dan de korven in het Oergat (Figuur 5). In totaal zijn er 14 monsters genomen, maar in 3 monsters (no. 4, 6 en 7) werden geen organismen gevonden. Deze monsters konden niet gebruikt worden voor het vergelijken van de soortensamenstelling (Figuur 18) waardoor de verdeling van de monsters over de verschillende zones veranderde in 2 noordelijke, 3 zuidelijke en 6 centrale monsters. De soortenrijkdom was in het algemeen zeer laag met tussen de 1 en 4 soorten per monsters en het aantal individuen per monster varieerde tussen de 1 en 5 met als uitschieter monster 11 in het midden van de korven met 37 mossels en 20 zeeanemonen mogelijk van een of meerdere korven afgefallen. Dit monster was dermate extreem afwijkend van de andere monsters dat het in de verdere analyses niet is meegenomen omdat het monster anders de analyses disproportioneel zou hebben beïnvloed. Mogelijk is de boxcore tegen de korf aangekomen en heeft de mossels en zeeanemonen losgeslagen of zijn de organismen eerder van een korf losgeraakt. In de andere monsters werden zo weinig individuen gevonden dat de aantallen in dit monster hoogst

waarschijnlijk een uitzondering betreffen. Door de geringe soortenrijkdom zijn vergelijkingen van de monsters op grond van de soortensamenstelling gevoelig voor kleine veranderingen. Dit blijkt ook uit Figuur 18. Monsters 10, 13 en 14 liggen vlak bij elkaar, net als monsters 5 en 9. Deze laatste twee zijn door de mds-software bij elkaar gezet op grond van het feit dat in beide monsters slechts een enkele garnaal werd aangetroffen, afwezig in alle andere monsters. Monsters 10, 13 en 14 lijken op elkaar, maar alleen op grond van een taxon, de zeeanemoon, die de 3 monsters gemeenschappelijk hebben. Monster 11 met 57 individuen zou de analyse volledig gedomineerd hebben waardoor geen onderscheid tussen de andere monsters meer mogelijk zou zijn geweest.



Figuur 18. Korven Malzwin. MDS resultaten. De symbolen in de grafiek geven aan of het monster tussen de korven, ten noorden (N) of ten zuiden (Z) van de MZI genomen is. Nummers verwijzen naar monsternummers. Zie ook Bijlage 1 voor de exacte ligging van de monsters.

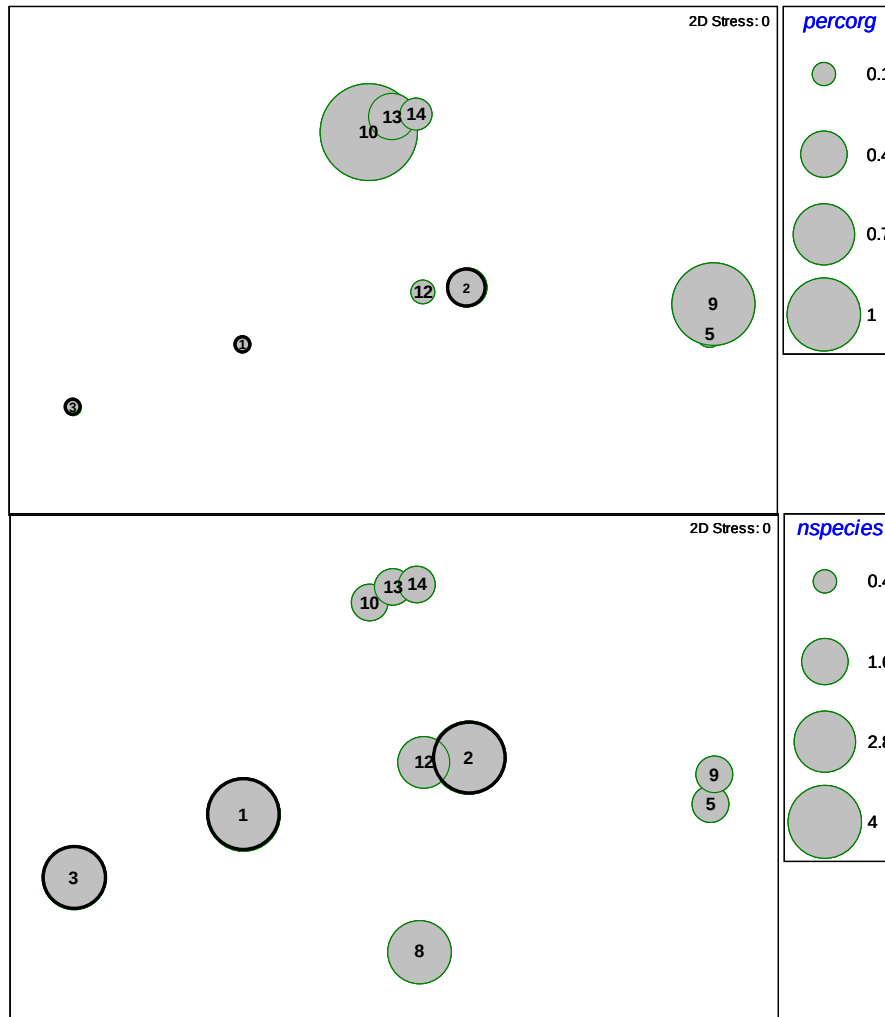
Op basis van de soortensamenstelling is er wel een significant verschil tussen de zuidelijke en monsters tussen de korven (ANOSIM, $p = 0.036$) waarbij de zuidelijke monsters meer soorten hebben, echter dit resultaat moet met enige scepsis betracht worden gezien het lage aantal monsters, soorten en individuen. In tegenstelling tot de monsters die tussen de korven van het Oergat genomen zijn, worden de centrale monsters hier gedomineerd door zee-anemonen. De twee noordelijke monsters (5 en 8) hebben geen soorten gemeen en liggen daarom ver uit elkaar.



Figuur 19. Korven Malzwin. Resultaten clustering. De doorgetrokken streep onder de symbolen geeft niet significant verschillende monsters weer; de 4 groepen verschillen dus significant van elkaar ($p > 0.05$).

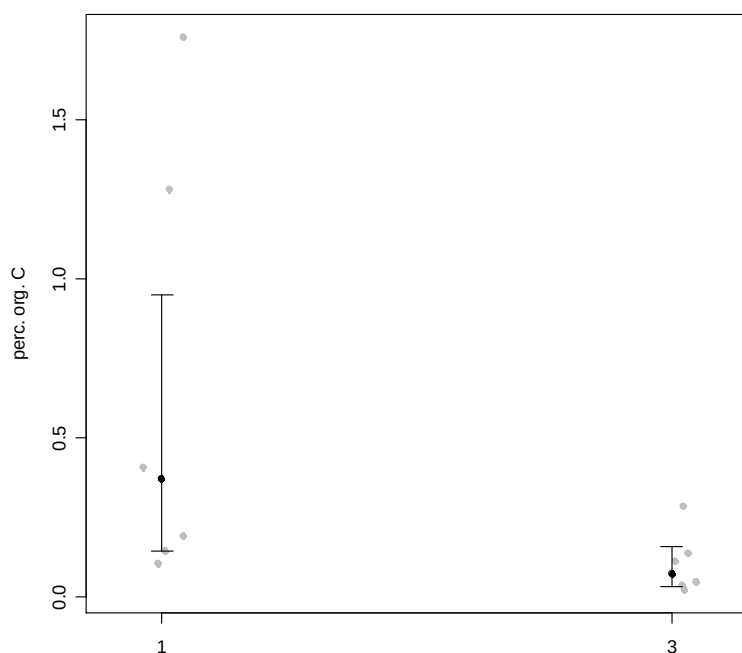
Ook clustering (Figuur 19) geeft aan dat de verschillen niet zeer consistent zijn. Zo lijkt monster 2 meer op monster 12 dan op monster 1 en 3.

Het aantal soorten en het percentage organisch koolstof (Figuur 20) lijken wel enig verband te houden met de gevonden ordinatie: organisch koolstof lijkt hoger in het rechter deel van de MDS grafiek en het aantal soorten lijkt juist hoger in de linker beneden hoek van de grafiek. Dus ook hier lijkt het aantal soorten omgekeerd evenredig met het percentage organisch koolstof alhoewel op basis van het zeer geringe aantal monsters statistisch weinig geconcludeerd kan worden.



Figuur 20. Korven Malzwin. MDS resultaten, maar nu voor elk monster het aantal soorten en percentage organisch koolstof weergegeven door middel van een 'bubble'. De monsters tussen de korven zijn vet omcirkeld.

De meeste monsters die tussen de korven genomen zijn (monster 9-14) hebben een hoger percentage organisch koolstof ($p = 0.026$; anova op ln-getransformeerde data $F_{1,10} = 6.8$; Figuur 21). Monster 4 is een uitzondering in het gehalte organisch koolstof omdat dat in dit monster 30 keer zo groot is als in de andere monsters. Dit monster bestond bijna geheel uit veen. Het monster wordt trouwens niet getoond in de figuur omdat het geen individuen bevatte (evenals monsters 6 en 7). Het aantal soorten verschilt niet tussen de 2 zones ($p = 0.74$; anova op wortelgetransformeerde data $F_{1,12} = 0.11$), maar deze conclusie is niet erg hard gezien de zeer lage aantallen die in de monsters gevonden zijn.



Figuur 21. Korven Malzwin. Procent organisch koolstof (individuele datapunten, grijs, en gemiddelde, zwart) en 95% betrouwbaarheidsintervallen. Afkortingen: 1, tussen de korven; 3 tussen 10 en 20m aan weerszijden van de korven.

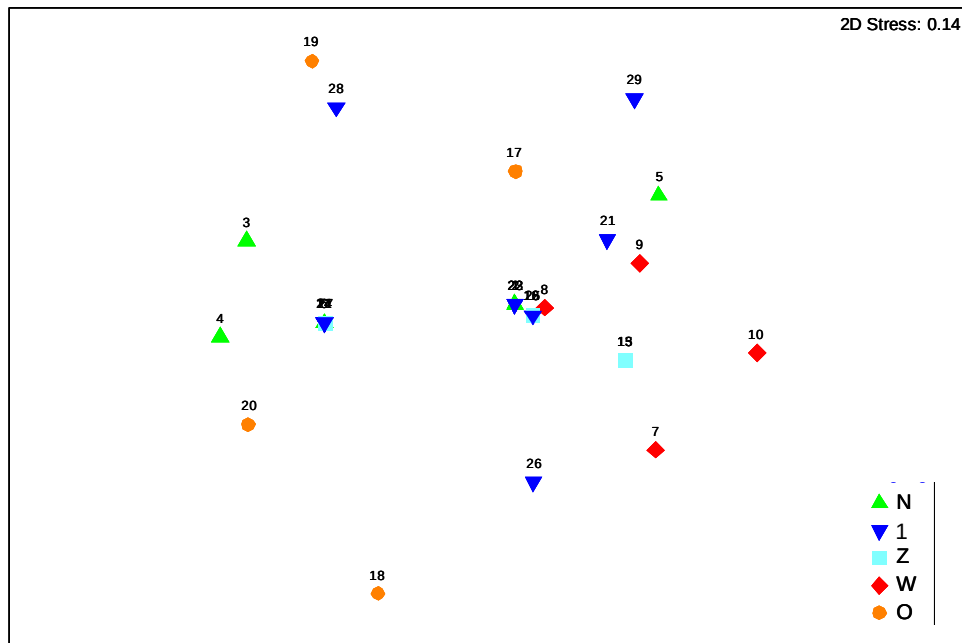
Conclusies korven Malzwin

De soortensamenstelling van de monsters die tussen de korven zijn genomen verschillen vooral met de noordelijke monsters, maar dit verschil is slechts klein omdat er per monster zeer weinig soorten gevonden zijn. Het percentage koolstof tussen de korven is iets hoger en vertoont dus hetzelfde patroon als de korven in het Oergat. Het lage aantal monsters beperkt het aantal harde conclusies dat getrokken kan worden.

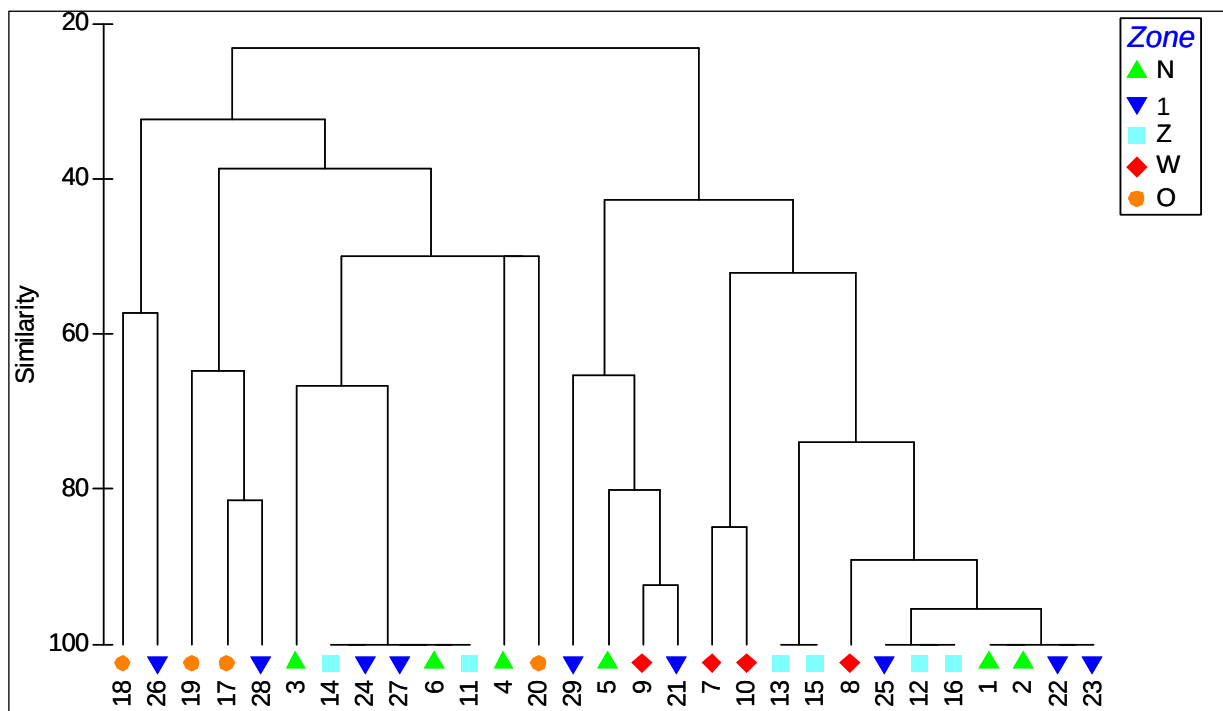
NETTEN

De aantallen soorten (0-5) en individuen (0-10) die in de monsters van het Malzwin werden aangetroffen, waren zeer laag. Van de twee groepen netten hadden 5 monsters helemaal geen levende inhoud.

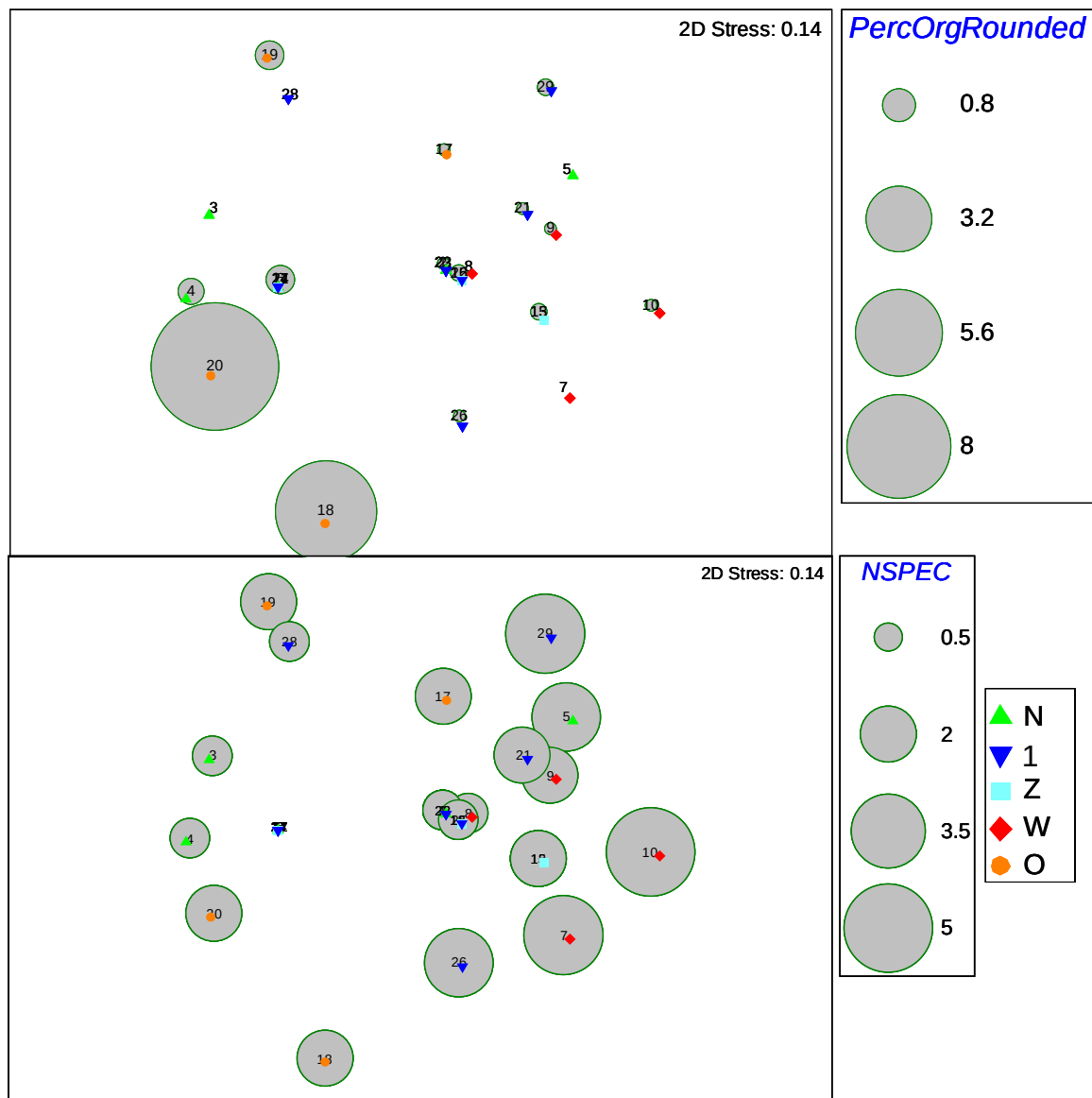
In de MDS grafiek en clustering van de monsters uit de uitgebreid bemonsterde locatie lijkt geen duidelijk patroon aanwezig (Figuur 22; Figuur 23). Alleen monsters 7, 8, 9 en 10 (zone W) lijken in Figuur 22 redelijk dicht bij elkaar te liggen en dus qua samenstelling vergelijkbaar. De SIMPROF test die bij de clustering gebruikt is om significante groepen te vinden, geeft aan dat er geen significant verschillende clusters onderscheiden kunnen worden. Deze test heeft een lager onderscheidend vermogen dan de ANOSIM test omdat bij de laatste uitgegaan wordt van structuur (bv. verschillende zones) en bij de 1^e niet. Significante verschillen in soortensamenstelling tussen de verschillende zones bestaan alleen tussen de monsters uit de westelijke zone (Zone W in Figuur 6) en de Noord, Zuid en Oost monsters (p respectievelijk 0.04, 0.04, 0.03 voor ANOSIM vergelijkingen) en tussen de Zuidelijke en Oostelijke monsters ($p = 0.043$) maar niet tussen de monsters in het midden van de netten en de andere monsters. Opvallend is verder dat het percentage organisch materiaal in enkele monsters veel hoger is dan in de rest van de monsters. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van veen hetgeen leidt tot een zeer hoog percentage organisch materiaal. Zo bestonden monsters 18 en 20 voornamelijk uit veen en waren de gehalten aan organisch koolstof met 7.6 en 12.1% respectievelijk twintig en zestig keer hoger dan van de andere monsters.



Figuur 22. Netten 1 van het Malzwin. MDS van de uitgebreid bemonsterde netten op het Malzwin. De symbolen geven de verschillende zones weer zoals aangegeven in Figuur 6 (Noord, Centraal, Zuid, West, Oost respectievelijk).



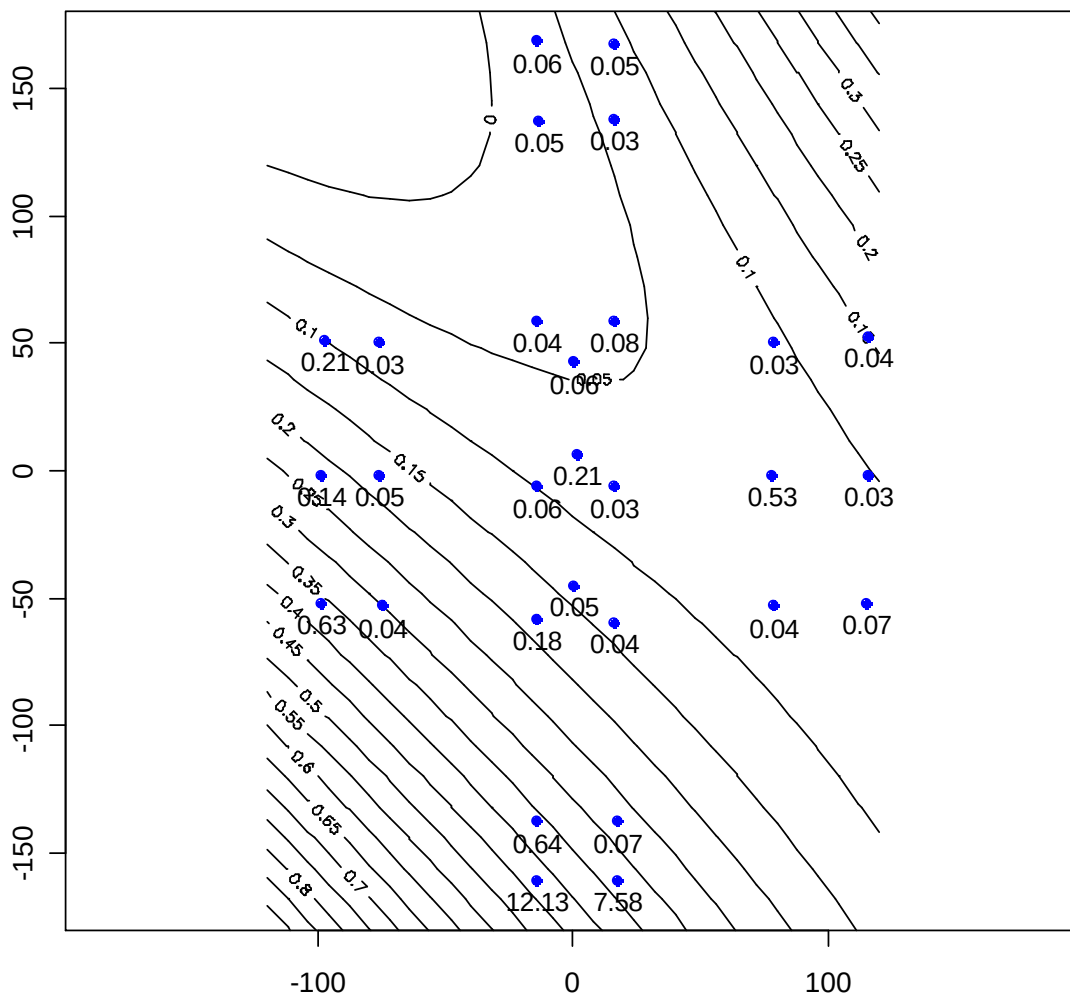
Figuur 23. Netten 1 van het Malzwin. Clustering van de uitgebreid bemonsterde netten op het Malzwin. Er kunnen geen significante clusters onderscheiden worden. De symbolen geven de verschillende zones weer zoals aangegeven in Figuur 6 (Noord, Centraal, Zuid, West, Oost respectievelijk).



Figuur 24. Netten 1 van het Malzwin. MDS plot uit Figuur 22, maar met percentage organische stof en aantal soorten eveneens aangegeven als 'Bubble'. De symbolen uit Figuur 20 zijn gebruikt om de verschillende zones aan te geven.

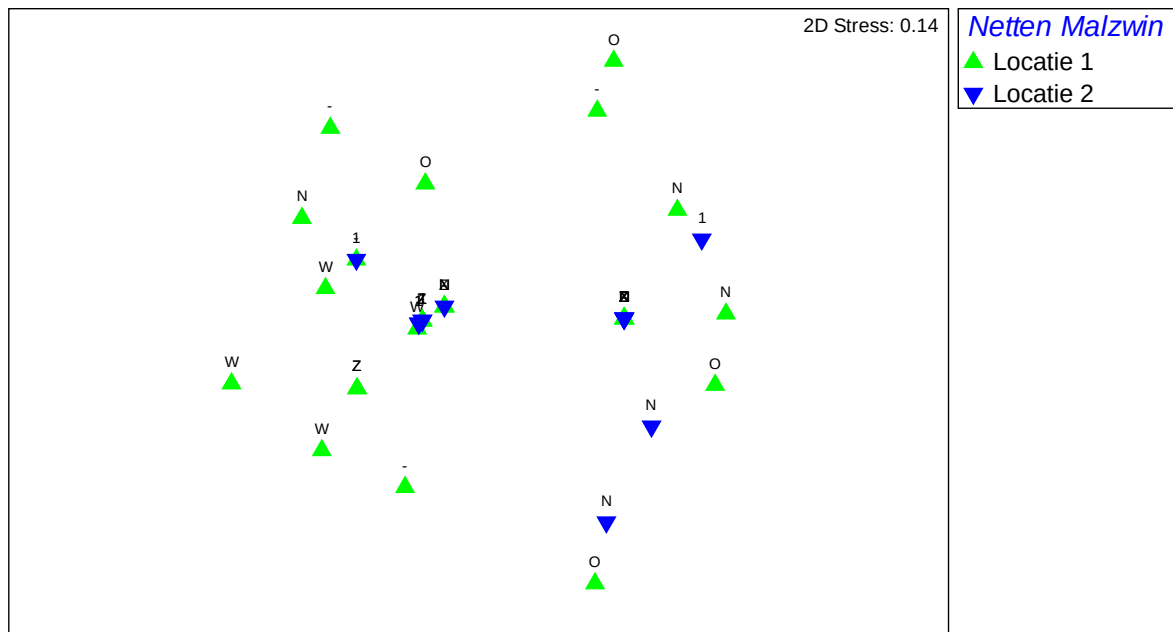
Hoewel bij de meeste monsters de toplaag uit een laagje sediment bestond, kan niet uitgesloten worden dat bij het monstern van de bovenste 5cm ook veen is meegenomen en in sommige monsters zoals nummer 18 en 20 was de toplaag waarschijnlijk dunner of zelfs afwezig, waardoor het sedimentmonster vooral uit veen bestond en het percentage organisch koolstof veel hoger was dan normaal. Een variantie analyse op de monsters uit de verschillende zones van deze uitgebreid bemonsterde netten, zonder monster 18 en 20, is niet significant ($F_{4,22} = 1.12$, $p = 0.37$), dus statistisch is er geen verschil in het gemiddeld percentage organisch koolstof van de verschillende zones. Er lijkt op het oog wel een verband te zijn tussen het percentage koolstof en het aantal soorten zoals in het Oergat, maar dit verband is niet significant, ook niet als de andere monsters op het Malzwin worden meegenomen. Ook in het aantal soorten per monster zijn er geen verschillen tussen de 5 zones (Anova met wortel-getransformeerde waarden, $p = 0.18$).

Een contourplot om de ruimtelijke verdeling van de organische koolstof percentages te bestuderen, wordt gegeven in Figuur 25. Hoewel de software een patroon suggereert, is dit gezien de gemeten concentraties bij de monsterpunten, niet overtuigend. Het lijkt alsof het percentage organisch koolstof naar de linker benedenhoek toeneemt, maar dit kan veroorzaakt worden doordat er meer veen in de monsters komt. Een contourplot voor het aantal soorten had gezien het geringe aantal gevonden soorten geen zin.



Figuur 25. Netten 1 van het Malzwin. Contourplot van het percentage organisch koolstof dat in de monsters werd gevonden. De twee onderste monsters zijn beschouwd als extremen als gevolg van veen en zijn niet meegenomen in de berekende contourlijnen.

De tweede groep netten waar slechts 14 monsters genomen werden, bevatte slechts 5 verschillende soorten. Vijf monsters bevatten geen enkel individu en in de andere monsters lag het aantal soorten tussen 1 en 3. Het heeft dan ook weinig zin om deze monsters apart te onderzoeken. In MDS-plots en clusterdendrogrammen liggen de 14 monsters van de tweede netteninstallatie tussen de monsters van de eerste locatie (Figuur 26). Statistisch kan er geen verschil aangetoond worden tussen de twee locaties (ANOSIM-test, $p = 0.37$) en ook een vergelijking tussen monsters die direct naast de netten genomen zijn en op verschillende afstanden levert geen significant verschil op.

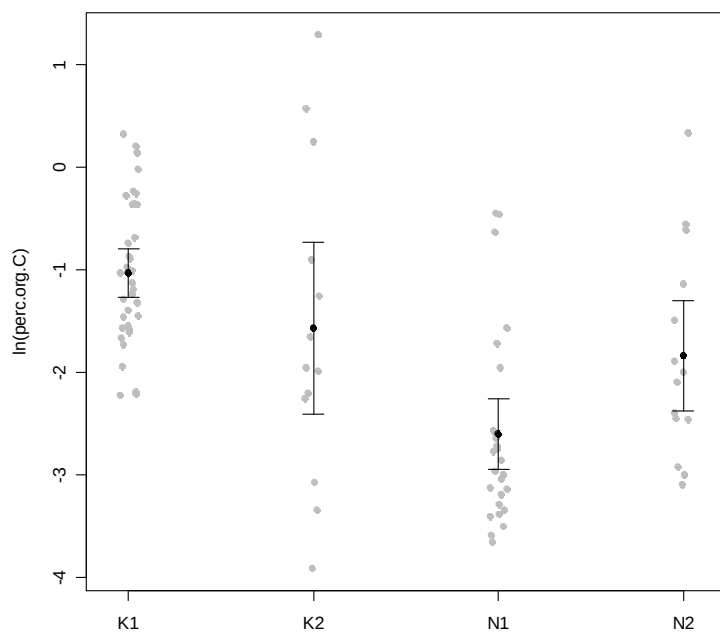


Figuur 26. Netten 1 en 2 Malzwin. MDS plot voor de verschillende netten. Er is geen duidelijke scheiding tussen de twee netten.

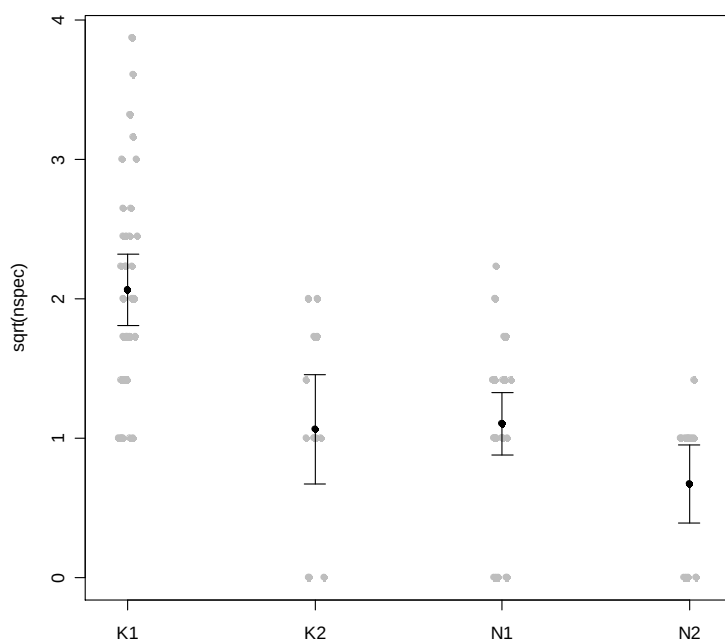
CONCLUSIES NETTEN

De bodem onder de MZI-netten vertoont geen verschil op verschillende afstanden van de MZI. Op grond van de resultaten lijken de netten geen aantoonbaar effect op de onderliggende bodem te hebben. De percentages organisch materiaal zijn erg variabel en het feit dat op sommige monsterpunten veen aan de oppervlakte komt, lijkt erop te wijzen dat ter plekke hoge stroomsnelheden kunnen voorkomen. De ligging van de netten aan de rand van het Malzwin en het steile diepteprofiel (Figuur 3) maken het waarschijnlijk dat de stroming bij de netten zo hoog is, dat organisch materiaal uit de MZI's ter plekke niet op de bodem terecht komt of er niet blijft liggen.

Het percentage organisch koolstof en het aantal soorten voor de 4 MZI's staan in respectievelijk Figuur 27 en Figuur 28. Het percentage organisch koolstof verschilt significant tussen de installaties (ANOVA, $p < 0.0001$; $F_{3,85} = 13.1$). Hetzelfde geldt voor het aantal soorten ($p < 0.0001$; $F_{3,85} = 19$). Vergelijkingen tussen de verschillen stations toont grote significante verschillen tussen korven en netten (Tabel 4). De relatie tussen het organisch koolstofgehalte en het aantal soorten kan nu echter niet gevonden worden. Zo hebben de korven van het Oergat gemiddeld het hoogste percentage koolstof, maar ook de meeste soorten. De monsters die bij de korven genomen zijn (Oergat en Malzwin samen), lijken gemiddeld iets meer organisch koolstof en meer soorten te hebben (ANOVA, beide $p < 0.001$). Mogelijk zijn er lokale verschillen die een invloed hebben op de soortenrijkdom onafhankelijk van de hoeveelheid organisch materiaal. Het veen dat veel in monsters van het Malzwin is aangetroffen kan een aanwijzing zijn voor hoge stroomsnelheden die mogelijk ervoor zorgen dat ter plekke geen duidelijke effecten van de MZI's gevonden konden worden. De korven op het Malzwin staan ook iets meer verwijderd van de geul dan de netten (Figuur 3).



Figuur 27. Netten en Korven. Percentage organisch koolstof in de monsters (individuele datapunten, grijs, en gemiddelde met 95% betrouwbaarheidsintervallen, zwart). Afkortingen: K1, Korven Oergat; K2, Korven Malzwin; N1, uitgebreid bemonsterde netten Malzwin; N2, 2^e groep netten Malzwin.



Figuur 28. Netten en Korven. Aantal soorten in de monsters. Afkortingen: K1, korven Oergat; K2, korven Malzwin; N1, uitgebreid bemonsterde netten Malzwin; N2, beperkt bemonsterde netten Malzwin. NB. Y-as is wortel van het aantal soorten (individuele datapunten, grijs, en gemiddelde met 95% betrouwbaarheidsintervallen, zwart).

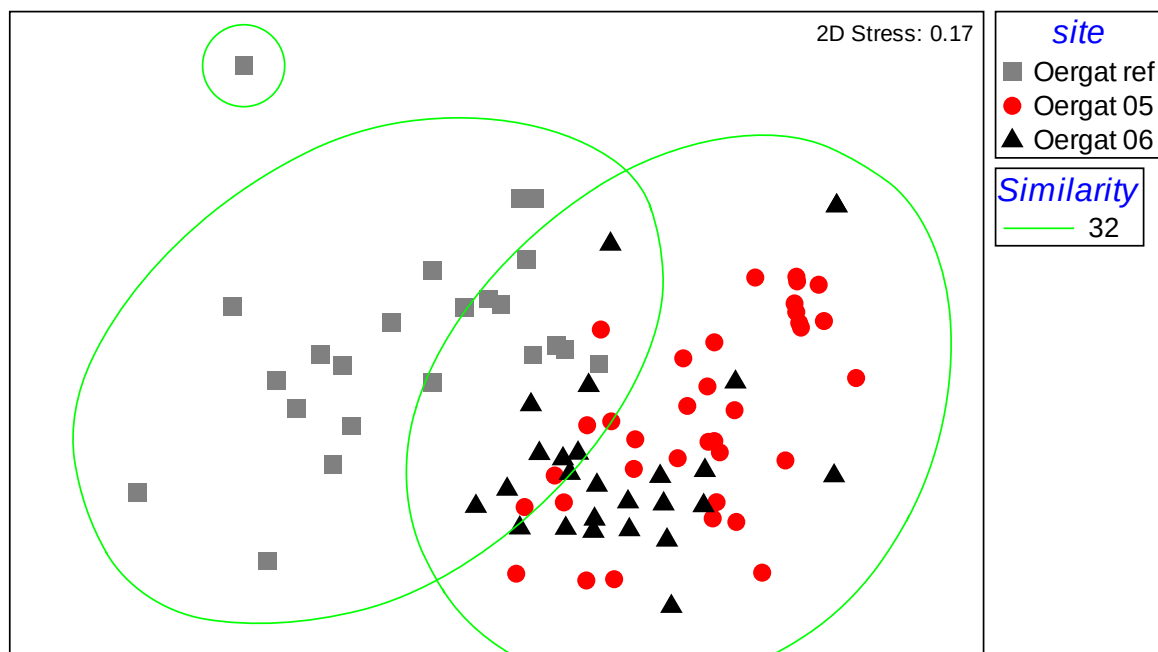
Tabel 4. P-waarden van post hoc vergelijkingen tussen gemiddelde percentage organisch koolstof en het aantal soorten per locatie (Bonferroni gecorrigeerd). K1, korven Oergat; K2, korven Malzwin; N1, netten Malzwin locatie 1; N2, netten Malzwin locatie2. Tussen haakjes het gemiddelde per monster.

Percentage organisch materiaal (logaritmisch getransformeerd).

	K1 (0.4)	K2 (0.2)	N1 (0.1)
K2	0.580	-	-
N1	$1.1 \cdot 10^{-7}$	0.016	-
N2 (0.2)	0.067	1.000	0.127
Aantal soorten			
	K1 (4.3)	K2 (1.1)	N1 (1.2)
K2	0.00014	-	-
N1	$1.7 \cdot 10^{-6}$	1.00000	-
N2 (0.5)	$4.4 \cdot 10^{-8}$	0.83586	0.34243

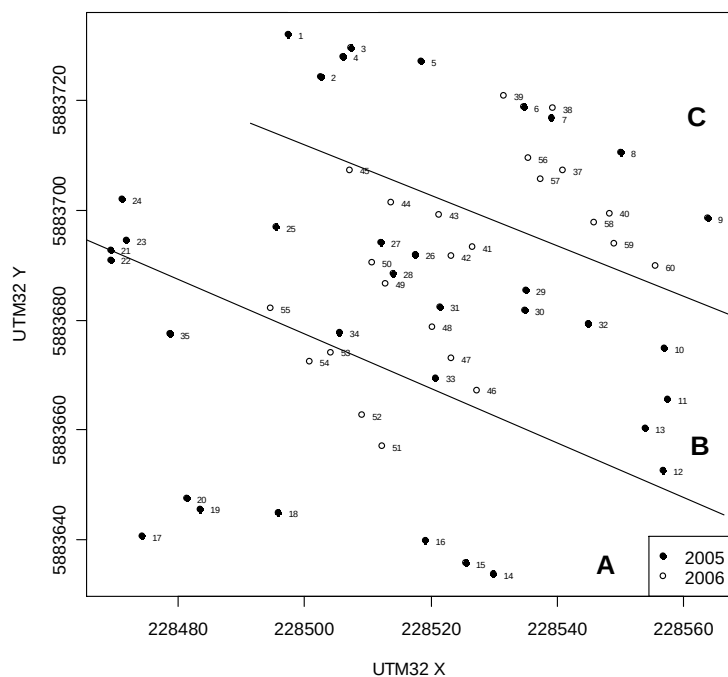
Aanvullend onderzoek 2006

De MDS analyse op de samenstelling van de monsters in beide jaren (*Figuur 29*) laat duidelijk zien dat de monsters die bij de korven genomen zijn meer op elkaar lijken dan op de monsters die iets verderop aan de rand van de geul genomen zijn. Een ANOSIM analyse bevestigt dat de drie groepen van elkaar verschillen in samenstelling ($p < 0.0001$). De verschillen tussen de referentie locatie en de locatie waar de korven stond lijkt vooral veroorzaakt te worden door de aanwezigheid van grote aantallen Ensis op de laatste, maar ook indien dezelfde analyse wordt uitgevoerd zonder Ensis, blijft het verschil tussen de groepen bestaan. Het enige verschil is dat nu tussen de monsters bij de korven van 2005 en 2006 geen significant verschil meer bestaat.



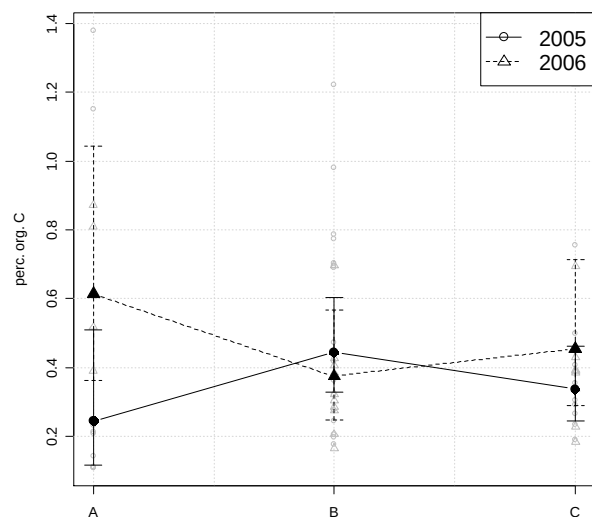
Figuur 29. MDS resultaten van de monsters die bij de locatie van de korven genomen zijn in 2005 en 2006 en 100 m verder naar het oosten (Oergat ref).

Het lijkt er dus op dat er met betrekking tot de soortensamenstelling in 1 jaar tijd niet veel veranderd is ter plekke van de korven en dat de locatie waar de korven stonden duidelijk anders is dan een locatie in vergelijkbare omstandigheden slechts een honderd meters verwijderd.

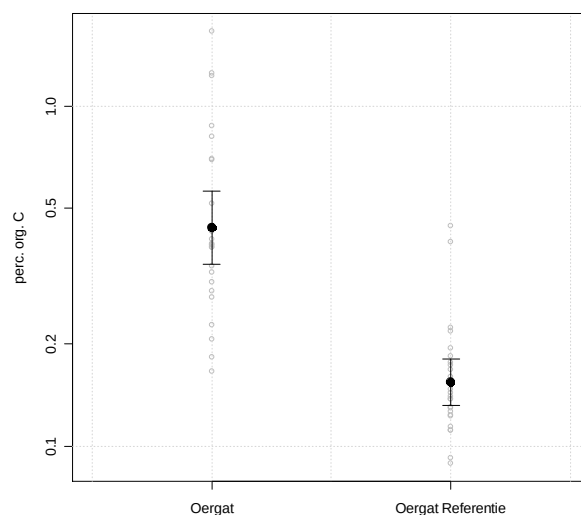


Figuur 30. Oergat. Monsters bij de korven 2005 en 2006.

De resultaten van de statistische analyse geven aan dat er geen significant verschil bestaat tussen de verschillende jaren ($p = 0.25$), of tussen de verschillende zones ($p < 0.6$; *Figuur 31*). Wel lijkt het alsof het gemiddelde in de centrale zone iets omlaag is gegaan en in de andere 2 zones iets omhoog, wat zou kunnen betekenen dat het organisch materiaal iets is verspreid, maar dit is slechts een hypothese die met de data niet bevestigd kan worden. Er lijkt dus weinig verandering te zijn getreden in 1 jaar tijd. Een vergelijking tussen de referentie locatie en de locatie waar de korven hebben gestaan (alleen 2006 data) geeft een significant hoger gehalte aan organisch koolstof ($F_{2,48}=204$, $p < 0.001$) op de laatste (gemiddelde concentraties 0.15 en 0.44% respectievelijk, *Figuur 32*). Dus de referentie locatie heeft een lagere hoeveelheid organisch koolstof, hetgeen nog steeds duidt op een mogelijk effect als gevolg van de MZI.

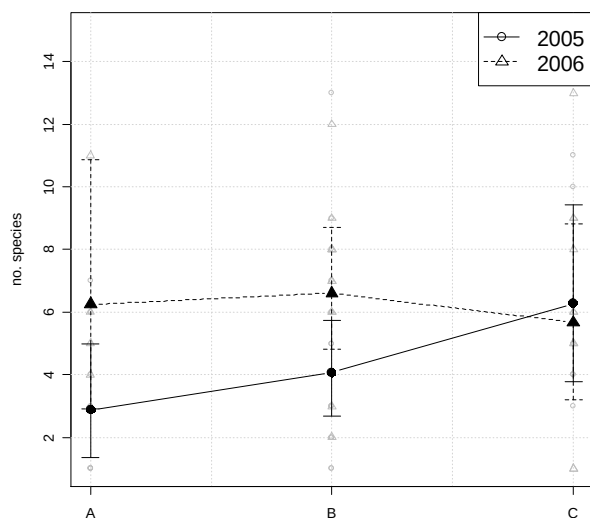


Figuur 31. Percentage organisch koolstof in de verschillende zones. In grijs de datapunten; in zwart de gemiddelden en het 95% betrouwbaarheidsinterval; circles voor 2005 en driehoeken voor 2006.

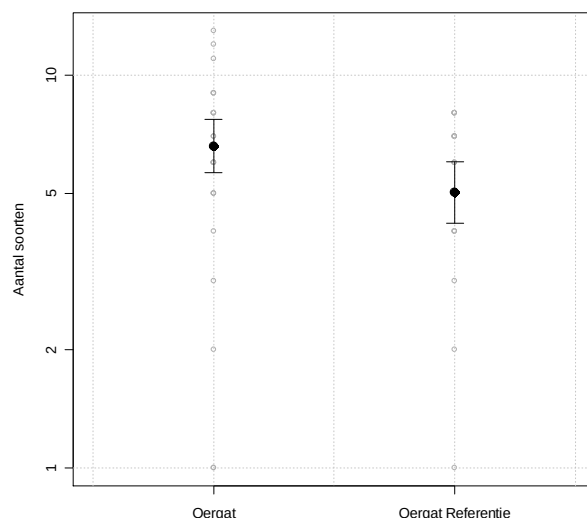


Figuur 32. Percentage organisch koolstof op de twee locaties van 2006. In grijs de datapunten; in zwart de gemiddelden en het 95% betrouwbaarheidsinterval.

We kunnen ook onderzoeken of er een verschil is ontstaan tussen het aantal soorten dat in de verschillende zones in 2005 en 2006 is gevonden (*Figuur 33*). Het lijkt alsof het gemiddelde in 2006 in de onderste en middelste zone iets hoger is, maar dat is niet statistisch significant ($p=0.3$).



Figuur 33. Aantal soorten in de verschillende zones. In grijs de datapunten; in zwart de gemiddelden en het 95% betrouwbaarheidsinterval; circles voor 2005 en driehoeken voor 2006.



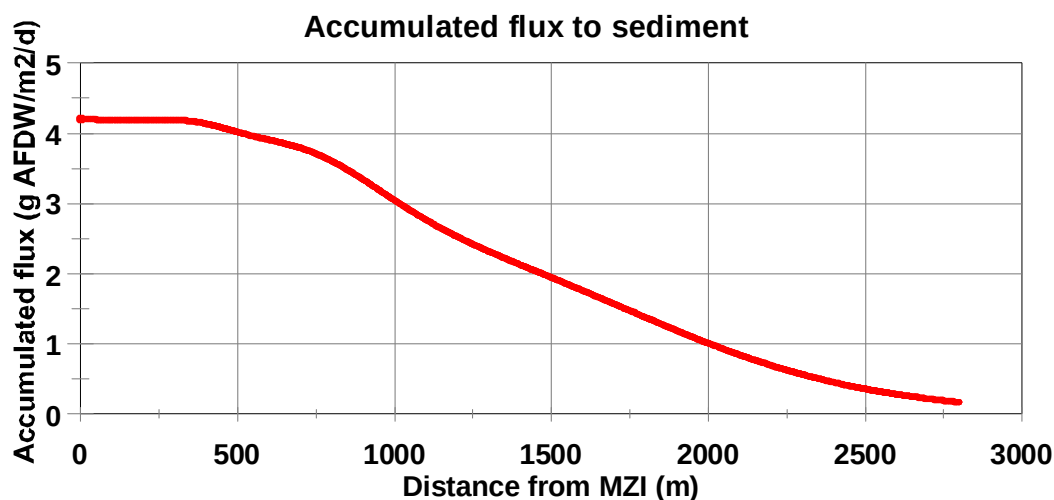
Figuur 34. Aantal soorten op de twee locaties van 2006. In grijs de datapunten; in zwart de gemiddelden en het 95% betrouwbaarheidsinterval.

Ook is er geen verschil tussen de verschillende jaren ($p=0.084$), maar deze waarschijnlijkheid is een stuk kleiner. Mogelijk is er een lichte mate van herstel, dat met meer monsters of een jaar later monsters nemen wel aangetoond zou kunnen worden. Tussen het referentiegebied en het gebied van de korven bestond in 2006 wel een significant verschil in het gemiddeld aantal soorten ($p = 0.022$, *Figuur 34*). Het aantal was iets lager in het referentiegebied (5 t.o.v. 6.6 soorten per monster).

Resultaten Modelling

In plaats van te meten wat de effecten van een MZI zijn op zijn omgeving, kan ook berekend worden wat de (mogelijke) verspreiding van deeltjes is die afkomstig zijn van de mosselen van de MZI. In bijlage C is aangegeven hoe de berekeningen zijn uitgevoerd. Cruciaal is dat de mosselen in de MZI faeces en pseudofaeces produceren, dat naar de bodem zakt met een zekere bezinkingsnelheid. Tegelijk wordt het materiaal verspreid in de omgeving van de MZI omdat er een stroming heerst die de bezinkende deeltjes verplaatst. Door wind (turbulentie) en stroming wordt tevens een mengproces gaande gehouden dat ervoor zorgt dat het verticale concentratieprofiel, dat ontstaat als gevolg van het bezinkingsproces, wordt tegengegaan. Daardoor vindt verspreiding over een groter gebied plaats. Ook vindt door de dispersie een verbreding plaats van de deeltjespluim stroomafwaarts achter de MZI. Dit laatste proces is hier niet beschouwd, evenmin als de resuspensie van bezonken materiaal.

Op basis van een aantal vereenvoudigingen is eerst een analytische oplossing gezocht voor de dispersie-advectie vergelijking die de verspreiding van de deeltjes beschrijft. Tenslotte is met behulp van een numerieke oplossing van die advectie-dispersie vergelijking geschat wat de geaccumuleerde en getijdengemiddelde flux van deeltjes naar het sediment is. Deze samenvatting is gegeven in Figuur 35.



Figuur 35. Getijden-gemiddelde flux van deeltjes naar het sediment. Bezinkingsnelheid 7 mhr⁻¹, maximum stroomsnelheid 1 ms⁻¹, verticale dispersie coëfficiënt 2.10⁴ m²s⁻¹ en geschatte numerieke dispersie 5.10⁵ m²s⁻¹. Het getij is symmetrisch verondersteld. Er is geen dispersie loodrecht op de stromingsrichting.

De dagelijkse flux moet worden afgezet tegen de samenstelling van het sediment ter plekke. Een niet ongewone sedimentsamenstelling bestaat voor ongeveer 0.1-1% uit organisch materiaal, en voor 0.5 tot 5% uit fijn materiaal, dat ook faeces en pseudofaeces kan bevatten. Dat houdt in dat er 7 tot 75 kg fijn materiaal per m³ aanwezig is, en 0.07 tot 0.7 kg fijn materiaal per m² per cm diepte. Een flux van maximaal 4 gAFDW m⁻²d⁻¹ zal in arme bodemomstandigheden (70 g fijn materiaal m⁻²cm⁻¹ diepte) zichtbaar moeten zijn in de metingen, maar in min of meer 'normale' gebieden (700 g fijn materiaal m⁻²cm⁻¹ diepte) nauwelijks. Over 100 dagen is de toevoer weliswaar 400 gAFDW m⁻², maar in de praktijk is dit getal dus een onbekende hoeveelheid lager door het resuspensieproces, plus de dispersie in de Y-richting (loodrecht op de stroming). Afhankelijk van de weersomstandigheden zou hooguit in de directe omgeving (c.q. onder) de MZI enig effect meetbaar moeten zijn. Een uitgebreide uitleg van de resultaten van het modelleren wordt gegeven in Bijlage C.

Discussie en conclusies

De vraag of MZI's de bodemsamenstelling beïnvloeden kan met redelijke zekerheid positief beantwoord worden. De resultaten die in dit rapport gepresenteerd worden geven aan dat het goed mogelijk is dat een MZI de bodemsamenstelling en daarmee de soortenrijkdom negatief beïnvloedt in de nabije omgeving van die MZI. De bewijzen hiervoor zijn vooral aangetroffen in de monsters die genomen zijn tussen de korven op het Oergat. In vergelijking met vooral de noordelijke monsters bevatten de monsters tussen de korven minder soorten en worden ze voornamelijk gedomineerd door *Ensis spec.* en wormen (o.a. Oligochaeten). Deze verschillen lijken samen te hangen met een hoger organisch koolstofgehalte tussen en vlak bij de korven. De korven zijn zulke grote constructies dat zeer waarschijnlijk een effect op de stroomsnelheden tussen de korven zal optreden. Het is nog altijd mogelijk dat de korven toevallig zo zijn opgesteld dat het effect dat gemeten is een resultaat is van de bodemgesteldheid die al aanwezig was voordat de korven geplaatst werden, maar de kans daarop lijkt klein, nu ook een 2^e monsterring 100m verder laat zien dat organisch koolstof bij de korven hoger is en dat ook de biologische samenstelling van de fauna ter plekke verschilt. De korven die op het Malzwin stonden, zijn minder intensief bemonsterd en verschillen op verschillende afstanden van de MZI zijn minder duidelijk. Toch werd hier eveneens een hoger percentage organisch koolstof tussen de korven gevonden en lijken er soortverschillen tussen de centrale monsters en de zuidelijke monsters te bestaan. Monsters die tussen de netten genomen zijn, laten weinig verschillen zien met monsters op enige afstand van de netten. Mogelijk spelen lokale verschillen in stroming een rol bij de sterkte van de effecten van de MZI's. Dit werd ook gevonden in ander onderzoek naar de effecten van mosselkweekinstallaties op de bodem (Chamberlain et al. 2001). Stromingspatronen in de buurt van de kweekopstellingen bleken van grote invloed te zijn op de effecten op de bodem. Bij deze mosselkweekinstallaties ging het om netten die per jaar een opbrengst realiseerden van 100-150 ton. De bodemdpte varieerde tussen 12-15m en de gemiddelde stroomsnelheid tussen de 2,3 en 3,1cm/sec. Verder werden deze netten niet in de winter weggehaald. Voor de stroomsnelheid in de Waddenzee wordt vaak een gemiddelde van 1m/sec genomen, dus een factor 32-43 hoger dan in bovenstaande studie. Bij stroomsnelheden zoals die dus gemiddeld in de Waddenzee voorkomen, lijkt het onwaarschijnlijk dat grote effecten op de bodem gevonden kunnen worden als gevolg van de depositie van organisch materiaal uit MZI's. Dat lokale stroomsnelheden een rol spelen in de Waddenzee kan ook verklaren waarom er bijna geen mosselschelpen gevonden werden in de monsters. Blijkbaar worden afgevalen mosselen over een grotere afstand verspreid. Toch blijken effecten die in ander onderzoek gevonden zijn ook op te treden bij de korven in het Oergat en, in mindere mate, op het Malzwin. Mogelijk wordt de stroomsnelheid tussen de korven door de opstelling van de korven vertraagd waardoor er meer sedimentatie optreedt. Ook is het mogelijk dat de gemiddelde stroomsnelheid bij de korven op het Oergat lager is dan 1m/sec als gevolg van de lokale topografie. De effecten die meestal gevonden worden, zijn het gevolg van een verrijking van de bodem met organisch materiaal waardoor er een verarming optreedt in de samenstelling van de bodemfauna (Tenore et al. 1982, Mattsson en Lindén 1983, Kaspar et al. 1985). In Nieuw-Zeeland werd als effect van de depositie van faeces een verandering gevonden in de bodemfauna naar een gemeenschap die meer gedomineerd werd door wormen (Hartstein en Rowden 2005). Een soortgelijk effect is gevonden tussen de korven van het Oergat. De meeste recente studies benadrukken het belang van het lokale stroming- en dispersieregime en ook uit de modeleringstudie in dit rapport lijkt er weinig reden om aan te nemen dat MZI's een groot effect op de bodemfauna kunnen hebben. De modelberekeningen geven ook aan dat de verspreiding van faeces en pseudofaeces over een groot gebied zal plaats vinden er de effecten die op de bodem zullen optreden een tamelijk locale verschijning zullen zijn. Om effecten op bodemfauna te minimaliseren is het dus verstandig om een zo goed mogelijke inschatting te geven van het te verwachten stromingsregime op de plek waar een MZI geplaatst gaat worden. Het koppelen van stromingsmodellen met een hoge resolutie dieptekaart kan gebruikt worden om optimale locaties (d.w.z. met minimale risico's voor het bodemleven) te selecteren. Bovendien kan de groei van mossels variëren als gevolg van het stromingspatroon. Mogelijk vormt een locatie met minimaal te verwachten effecten op het bodemleven een optimale locatie voor de groei van MZI mosselen.

De MZI's in de Waddenzee moeten in principe voor de winter verwijderd worden. Hierdoor is het mogelijk dat het gesedimenteerde organisch materiaal in de bodem als gevolg van winterstormen over een groter gebied verspreid gaat worden en gevonden effecten in het volgend voorjaar al niet meer aantoonbaar zijn. In dat geval zou het bodemleven zich misschien alweer enigszins hersteld kunnen hebben.

Het onderhavig onderzoek is slechts uitgevoerd aan enkele MZI's en het totale aantal MZI's in de Waddenzee is nog beperkt. Over optimale monsterschema's zijn reeds vele boeken en artikelen vol geschreven (bv. Green 1979, Manly 1992, Underwood 1991, 1992, 1994) en zoals bij alle monsterprogramma's is ook het hier gebruikte schema een compromis. Optimaal zou op meerdere plaatsen op meerdere tijdstippen bemonsterd zijn voordat MZI's geplaatst worden, waarna op een aantal van deze plaatsen MZI's geplaatst worden en de ontwikkeling van de bodemfauna op alle plaatsen in de tijd gevolgd worden gedurende meerdere jaren. Op deze manier kan men aantonen dat een geconstateerde ontwikkeling niet uniek is voor een bepaalde locatie of een tijdseffect betreft dat op alle locaties is opgetreden en dus niet uniek voor die ene locatie. Door middel van het uitgevoerde onderzoek is getracht zo goed mogelijk de vraag te beantwoorden hoe waarschijnlijk het is dat MZI's een effect op de bodemfauna in de Waddenzee hebben.

Uitbreiding van de productie en dus het aantal MZI's ligt voor de hand aangezien de korven van Wietex en de netten van Kees Groot en PD tot een hoge productie in staat zijn. Onderzocht zou moeten worden bij welke productie de MZI's een dusdanig effect op het systeem zouden kunnen hebben dat er concurrentie om voedsel (plankton) met de litorale en sublitorale mosselbanken zal optreden. Verminderde groei van mosselbanken kan een effect hebben op scholeksters en eidereenden die voor hun voedsel voor een groot deel afhankelijk zijn van mosselbanken. Daar tegenover staat dat onderzoek naar de positieve effecten van MZI's ook nodig is. Plaatselijk verrijken MZI's ook de fauna aangezien er tussen de mosselen ook kreeften, krabben en zeesterren leven. Incidentele waarnemingen geven aan dat MZI's een makkelijke voedselbank voor eidereenden zijn en ze kunnen daarom ook positief bijdragen aan de overleving van de eenden.

Dankwoord

Bij deze willen we de mensen die geholpen hebben in verschillende stadia van dit onderzoek bedanken voor hun hulp en inzet. Onder anderen de eigenaren van de verschillende invanginstallaties voor hun toestemming en medewerking. We willen vooral de bemanning van de TX63 onder leiding van Albert Schagen bedanken voor de hulp bij het nemen van de monsters en de gezellige tijd aan boord. Jack Schilling en Willem Polman van het NIOZ voor het op korte termijn beschikbaar stellen van de Boxcore. Johan Craeymeersch en Pauline Kamermans voor hun commentaar op eerdere versies van het rapport.

Referenties

- Chamberlain J, Fernandes TF, Read P, Nickell TD, Davies IM (2001) Impacts of biodeposits from suspended mussel (*Mytilus edulis* L.) culture on the surrounding surficial sediments. ICES J Mar Sci 58:411-416
- Dahlback, B. and Gunnarsson, L.A.H., 1981. Sedimentation and Sulfate Reduction Under a Mussel Culture. Marine biology , Heidelberg, 63: 269-275.
- Clarke KR, Gorley RN, 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMERE, Plymouth, United Kingdom.
- Green RH (1979) Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists. John Wiley & Sons, New York
- Hartstein ND, Rowden AA (2004) Effect of biodeposits from mussel culture on macroinvertebrate assemblages at sites of different hydrodynamic regime. Mar Environ Res 57:339-357
- Kaspar HF, Gillespie PA, Boyer IC, MacKenzie AL (1985) Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. Mar Biol 85:127-136
- Legendre L, Legendre P (1983) Numerical ecology, Vol. Elsevier, Amsterdam
- Manly BFJ (1992) The Design and Analysis of Research Studies. Cambridge University Press, Newcastle upon Tyne
- Mattsson J, Lindén O (1983) Benthic macrofauna succession under mussels, *Mytilus edulis* L. (Bivalvia), cultured on hanging long-lines. Sarsia 68:97-102
- Mirto, S., Rosam, R.L., Danovaro, R. and Mazzola, A., 2000. Microbial and meiofaunal response to intensive mussel-farm biodeposition in the coastal sediments of the Western Mediterranean. Mar. Poll. Bull., 40: 244–252.
- R Development Core Team (2007). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Tenore KR, Corral J, Gonzalez N (1985) Effects of intense mussel culture on food chain patterns and production in coastal Galicia, NW Spain. ICES CM F:62
- Underwood AJ (1991) Beyond BACI: Experimental designs for detecting environmental impact on temporal variations in natural populations. Aust J Mar Freshwater Res 42:569-587
- Underwood AJ (1992) Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable world. J Exp Mar Biol Ecol 161:145-178
- Underwood AJ (1994) On beyond BACI: Sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. Ecol Appl 4:3-15
- Verardo DJ, Froelich PN, McIntyre A (1990) Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo Erba NA-1500 Analyzer. Deep-Sea Res (A Oceanogr Res Pap) 37:157-165

Bijlage A. Monsterplaatsen (gps files)

Monster	Datum en tijd	Type	Positie ¹
1	26/09/2005 08:19	Korven Oergat	N53 02.044 E4 57.016
2	26/09/2005 08:30	Korven Oergat	N53 02.040 E4 57.021
3	26/09/2005 08:31	Korven Oergat	N53 02.043 E4 57.025
4	26/09/2005 08:31	Korven Oergat	N53 02.042 E4 57.024
5	26/09/2005 08:46	Korven Oergat	N53 02.042 E4 57.035
6	26/09/2005 09:03	Korven Oergat	N53 02.038 E4 57.050
7	26/09/2005 09:26	Korven Oergat	N53 02.037 E4 57.054
8	26/09/2005 09:36	Korven Oergat	N53 02.034 E4 57.064
9	26/09/2005 09:53	Korven Oergat	N53 02.028 E4 57.077
10	26/09/2005 10:05	Korven Oergat	N53 02.015 E4 57.072
11	26/09/2005 10:17	Korven Oergat	N53 02.010 E4 57.073
12	26/09/2005 10:23	Korven Oergat	N53 02.003 E4 57.073
13	26/09/2005 10:27	Korven Oergat	N53 02.007 E4 57.070
14	26/09/2005 10:42	Korven Oergat	N53 01.992 E4 57.050
15	26/09/2005 10:54	Korven Oergat	N53 01.993 E4 57.046
16	26/09/2005 10:59	Korven Oergat	N53 01.995 E4 57.040
17	26/09/2005 11:48	Korven Oergat	N53 01.994 E4 57.000
18	26/09/2005 11:52	Korven Oergat	N53 01.997 E4 57.019
19	26/09/2005 12:03	Korven Oergat	N53 01.997 E4 57.008
20	26/09/2005 12:18	Korven Oergat	N53 01.998 E4 57.006
21	26/09/2005 12:30	Korven Oergat	N53 02.022 E4 56.993
22	26/09/2005 12:35	Korven Oergat	N53 02.021 E4 56.993
23	26/09/2005 12:41	Korven Oergat	N53 02.023 E4 56.995
24	26/09/2005 12:46	Korven Oergat	N53 02.027 E4 56.994
25	26/09/2005 13:00	Korven Oergat	N53 02.025 E4 57.016
26	26/09/2005 13:11	Korven Oergat	N53 02.023 E4 57.036
27	26/09/2005 13:15	Korven Oergat	N53 02.024 E4 57.031
28	26/09/2005 13:21	Korven Oergat	N53 02.021 E4 57.033
29	26/09/2005 13:31	Korven Oergat	N53 02.020 E4 57.052
30	26/09/2005 13:35	Korven Oergat	N53 02.018 E4 57.052
31	26/09/2005 13:40	Korven Oergat	N53 02.018 E4 57.040
32	26/09/2005 13:49	Korven Oergat	N53 02.017 E4 57.061
33	26/09/2005 13:59	Korven Oergat	N53 02.011 E4 57.040
34	26/09/2005 14:05	Korven Oergat	N53 02.015 E4 57.026
35	26/09/2005 14:27	Korven Oergat	N53 02.014 E4 57.002
1	27/09/2005 07:58	Korven Malzwin	N52 58.896 E4 51.909
2	27/09/2005 08:04	Korven Malzwin	N52 58.892 E4 51.903
3	27/09/2005 08:08	Korven Malzwin	N52 58.889 E4 51.900
4	27/09/2005 08:13	Korven Malzwin	N52 58.890 E4 51.891
5	27/09/2005 08:34	Korven Malzwin	N52 58.928 E4 51.888
6	27/09/2005 08:39	Korven Malzwin	N52 58.930 E4 51.898
7	27/09/2005 08:43	Korven Malzwin	N52 58.930 E4 51.897

¹ Positie van de voet van de kraan van het schip waarmee de boxcore overboord werd gezet; de positie van het monster is afhankelijk van de lengte van de kraanarm en de hoek van de arm t.o.v. het schip (maximaal 12m loodrecht op het schip).

8	27/09/2005 08:47	Korven Malzwin	N52 58.931 E4 51.903
9	27/09/2005 09:48	Korven Malzwin	N52 58.907 E4 51.886
10	27/09/2005 09:30	Korven Malzwin	N52 58.909 E4 51.891
11 & 12	27/09/2005 09:37	Korven Malzwin	N52 58.910 E4 51.900
13	27/09/2005 09:58	Korven Malzwin	N52 58.916 E4 51.916
14	27/09/2005 10:02	Korven Malzwin	N52 58.915 E4 51.921
1	27/09/2005 10:15	Netten Noord	N52 58.847 E4 51.657
2	27/09/2005 10:20	Netten Noord	N52 58.842 E4 51.632
3	27/09/2005 10:26	Netten Noord	N52 58.866 E4 51.647
4	27/09/2005 10:32	Netten Noord	N52 58.860 E4 51.625
5	27/09/2005 10:38	Netten Noord	N52 58.884 E4 51.620
6	27/09/2005 10:44	Netten Noord	N52 58.873 E4 51.594
7	27/09/2005 10:53	Netten Noord	N52 58.893 E4 51.444
8	27/09/2005 14:16	Netten Noord	N52 58.876 E4 51.434
9	27/09/2005 14:20	Netten Noord	N52 58.903 E4 51.406
10	27/09/2005 14:23	Netten Noord	N52 58.932 E4 51.438
11	27/09/2005 12:16	Netten Noord	N52 58.782 E4 51.417
12	27/09/2005 12:22	Netten Noord	N52 58.788 E4 51.432
13	27/09/2005 13:49	Netten Noord	N52 58.797 E4 51.409
14	27/09/2005 13:55	Netten Noord	N52 58.803 E4 51.433
15	27/09/2005 14:02	Netten Noord	N52 58.813 E4 51.380
16	27/09/2005 14:09	Netten Noord	N52 58.820 E4 51.399
17	27/09/2005 11:16	Netten Noord	N52 58.750 E4 51.520
18	27/09/2005 11:02	Netten Noord	N52 58.704 E4 51.566
19	27/09/2005 11:23	Netten Noord	N52 58.747 E4 51.497
20	27/09/2005 11:08	Netten Noord	N52 58.695 E4 51.542
21	28/09/2005 07:59	Netten Noord	N52 58.809 E4 51.481
22	28/09/2005 08:04	Netten Noord	N52 58.823 E4 51.479
23	28/09/2005 08:08	Netten Noord	N52 58.821 E4 51.471
24	28/09/2005 09:17	Netten Noord	N52 58.809 E4 51.532
25	28/09/2005 09:22	Netten Noord	N52 58.807 E4 51.524
26	28/09/2005 09:26	Netten Noord	N52 58.805 E4 51.514
27	28/09/2005 10:01	Netten Noord	N52 58.766 E4 51.532
28	28/09/2005 10:06	Netten Noord	N52 58.760 E4 51.526
29	28/09/2005 10:11	Netten Noord	N52 58.755 E4 51.514
1	27/09/2005 12:45	Netten Zuid	N52 58.711 E4 51.342
2	27/09/2005 12:50	Netten Zuid	N52 58.706 E4 51.320
3	27/09/2005 12:58	Netten Zuid	N52 58.739 E4 51.302
4	27/09/2005 13:04	Netten Zuid	N52 58.733 E4 51.281
5	27/09/2005 13:14	Netten Zuid	N52 58.676 E4 51.115
6	27/09/2005 13:21	Netten Zuid	N52 58.673 E4 51.127
7	27/09/2005 13:33	Netten Zuid	N52 58.692 E4 51.083
8	27/09/2005 13:40	Netten Zuid	N52 58.695 E4 51.097
9	28/09/2005 10:23	Netten Zuid	N52 58.673 E4 51.257
10	28/09/2005 10:28	Netten Zuid	N52 58.671 E4 51.250
11	28/09/2005 10:33	Netten Zuid	N52 58.668 E4 51.237
12	28/09/2005 11:00	Netten Zuid	N52 58.743 E4 51.176
13	28/09/2005 11:05	Netten Zuid	N52 58.742 E4 51.163
14	28/09/2005 11:10	Netten Zuid	N52 58.740 E4 51.157

2006

37	2/11/2006 9:51	Korven Oergat	N53 02.032 E4 57.056
38	2/11/2006 9:58	Korven Oergat	N53 02.038 E4 57.054
39	2/11/2006 10:03	Korven Oergat	N53 02.039 E4 57.047
40	2/11/2006 10:10	Korven Oergat	N53 02.028 E4 57.063
41	2/11/2006 10:19	Korven Oergat	N53 02.024 E4 57.044
42	2/11/2006 10:23	Korven Oergat	N53 02.023 E4 57.041
43	2/11/2006 10:28	Korven Oergat	N53 02.027 E4 57.039
44	2/11/2006 10:34	Korven Oergat	N53 02.028 E4 57.032
45	2/11/2006 10:39	Korven Oergat	N53 02.031 E4 57.026
46	2/11/2006 11:19	Korven Oergat	N53 02.010 E4 57.046
47	2/11/2006 11:23	Korven Oergat	N53 02.013 E4 57.042
48	2/11/2006 11:26	Korven Oergat	N53 02.016 E4 57.039
49	2/11/2006 11:31	Korven Oergat	N53 02.020 E4 57.032
50	2/11/2006 11:36	Korven Oergat	N53 02.022 E4 57.030
51	2/11/2006 11:49	Korven Oergat	N53 02.004 E4 57.033
52	2/11/2006 11:54	Korven Oergat	N53 02.007 E4 57.030
53	2/11/2006 11:58	Korven Oergat	N53 02.013 E4 57.025
54	2/11/2006 12:02	Korven Oergat	N53 02.012 E4 57.022
55	2/11/2006 12:07	Korven Oergat	N53 02.017 E4 57.016
56	2/11/2006 12:23	Korven Oergat	N53 02.033 E4 57.051
57	2/11/2006 12:28	Korven Oergat	N53 02.031 E4 57.053
58	2/11/2006 12:32	Korven Oergat	N53 02.027 E4 57.061
59	2/11/2006 12:36	Korven Oergat	N53 02.025 E4 57.064
60	2/11/2006 12:42	Korven Oergat	N53 02.023 E4 57.070
61	2/11/2006 12:59	Oergat referentie	N53 01.985 E4 57.169
62	2/11/2006 13:05	Oergat referentie	N53 01.985 E4 57.170
63	2/11/2006 13:08	Oergat referentie	N53 01.982 E4 57.182
64	2/11/2006 13:12	Oergat referentie	N53 01.980 E4 57.189
65	2/11/2006 13:17	Oergat referentie	N53 01.979 E4 57.195
66	2/11/2006 14:07	Oergat referentie	N53 02.005 E4 57.202
67	2/11/2006 14:12	Oergat referentie	N53 02.003 E4 57.206
68	2/11/2006 14:16	Oergat referentie	N53 02.003 E4 57.215
69	2/11/2006 14:19	Oergat referentie	N53 02.003 E4 57.223
70	2/11/2006 14:24	Oergat referentie	N53 02.004 E4 57.228
71	2/11/2006 14:30	Oergat referentie	N53 01.997 E4 57.198
72	2/11/2006 14:33	Oergat referentie	N53 01.998 E4 57.204
73	2/11/2006 14:36	Oergat referentie	N53 01.994 E4 57.211
74	2/11/2006 14:40	Oergat referentie	N53 01.995 E4 57.217
75	2/11/2006 14:44	Oergat referentie	N53 01.997 E4 57.222
76	2/11/2006 14:50	Oergat referentie	N53 01.994 E4 57.186
77	2/11/2006 14:54	Oergat referentie	N53 01.993 E4 57.196
78	2/11/2006 14:57	Oergat referentie	N53 01.991 E4 57.199
79	2/11/2006 15:01	Oergat referentie	N53 01.989 E4 57.204
80	2/11/2006 15:06	Oergat referentie	N53 01.987 E4 57.209
81	2/11/2006 15:12	Oergat referentie	N53 01.991 E4 57.180
83	2/11/2006 15:17	Oergat referentie	N53 01.990 E4 57.189
84	2/11/2006 15:20	Oergat referentie	N53 01.987 E4 57.195
85	2/11/2006 15:23	Oergat referentie	N53 01.990 E4 57.193

86	2/11/2006 15:26	Oergat referentie	N53 01.988 E4 57.201
87	2/11/2006 15:30	Oergat referentie	N53 01.986 E4 57.204

Bijlage B. Organisch koolstofbepaling NIOZ

NIOZ aangepaste procedure voor het bepalen van organisch koolstof naar Verardo *et al.* (1990).

Analytical procedure for wt% C and wt% N for sediments

Sampling:

Sediment samples are collected in clean glass vials.

Sediment samples are freeze dried. Approx. 2 grams of dried sediment is put into a W-Carbide beaker. 2 W-C balls are added and the sample is homogenized in the Retch mm200 mill (5 min. 100%)

Analysis of Total C and Total N

Sample preparation

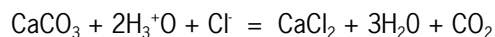
Approx. 30mg of homogenized sediment is weighed out in a tin cup. Sample size should depend on the N content of the sediment (at least 7 µg of N is needed for a reliable analysis). The tin cup should be folded into a tight ball, with all atmospheric N removed.

Analysis of Organic C

Approx. 30mg of homogenized sediment is weighed out into a silver cup. The sample is acidified with 2M HCl using increasing amounts of additions and placed in an oven at 60°C between additions to dry. After the last addition of acid, the sample is placed in the oven overnight to fully dry. The silver cup is then folded into a tight ball, with all atmospheric N removed.

Acidification:

We use 2M HCl acid to remove Carbonate for analysis of Organic Carbon



Analysis

Before the actual analysis can be started the flow rates through the columns have to be measured.

Carrier gas: 100 ml/min

Oxygen: 250 ml/min

Reference: 130 ml/min

Carrier gas and oxygen flow rates have to be right as discrepancies point at empty gas bottles or leaks in the system.

Before samples are analyzed a standard curve is measured. The experiment file for the standard curve starts with a baseline, a blank (empty tin cup) followed by a series of acetanilide standards ranging from approx. 0.01 to 0.7 mg and ends with a second blank.

If samples are measured as well, the standard curve is followed by groups of approximately 10 samples divided by a blank + standard combination. The whole series ends with a standard and finally a blank.

The C-N analyser

Organic carbon and nitrogen in marine samples can be analysed with the Thermo Elemental Analyser Flash EA 1112. The instrument has a configuration that is based on a gas-chromatograph and enables the processing of a sediment or particulate sample to measure its carbon and nitrogen content.

Because the instrument is in essence a gas chromatograph, solid samples have to be transferred to the gas phase. This process takes place in the oxidation column, where the sample is incinerated with excess oxygen at

900°C. The solid sample disintegrates and the components combine with oxygen to oxides. The carrier gas (helium) carries the oxides via the reduction column, the water trap to the GC column

Oxidation and reduction column

Oxidation column consists of a quartz tube filled with quartz wool, chromium oxide and silvered cobalt/copper oxide.

The sample in its tin or silver cup enters the oxidation column via the autosampler. Due to the high temperature and excess oxygen the tin cup is subjected to flash combustion resulting in temperatures that are high enough to oxidize the components in the sample.

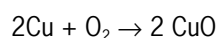
1010°C, O₂, Sn → 1800°C.

The oxides formed during flash combustion are transported with the carrier gas past the chromium oxide (Cr₂O₃). The Cr₂O₃ has some important properties:

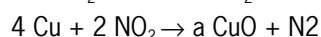
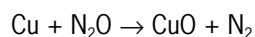
- It prevents the formation of Nitrous oxides (SOUNDS STRANGE, SEE BELOW)
- It is resistant to high temperatures and reacts somewhat with the quartz tube
- Cr₂O₃ does not absorb nitrogen

After the Cr₂O₃ the carrier gas with the oxides passes a layer of silvered cobalt oxide that blocks the passage of halogens. The mixture of CO, NO₂ and N₂O proceed to the reduction column.

The reduction column consists of a quartz tube filled with a mixture of reduced copper and quartz chips at a temperature of 650°C. Excess oxygen is removed in this tube.

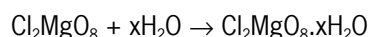


Furthermore, nitrous oxide is reduced:



N₂, together with CO₂ and H₂O, proceed to a (two) absorbing filters, a water trap (and a carbon dioxide trap)

The water trap consists of magnesium-perchlorate (Cl₂MgO₈), a highly hygroscopic substance. In this trap, all excess water is removed:

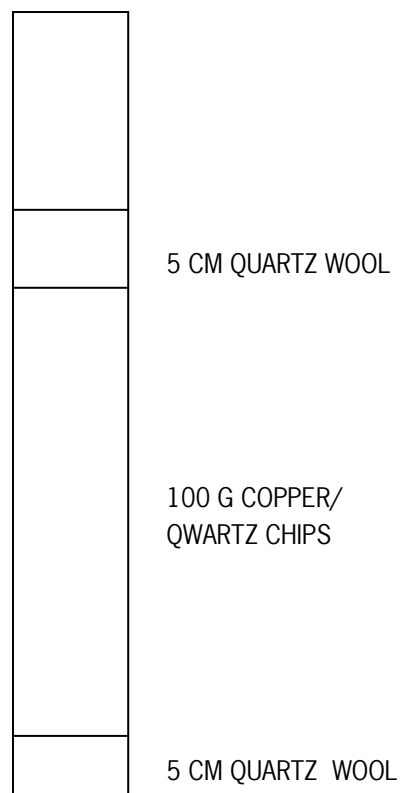
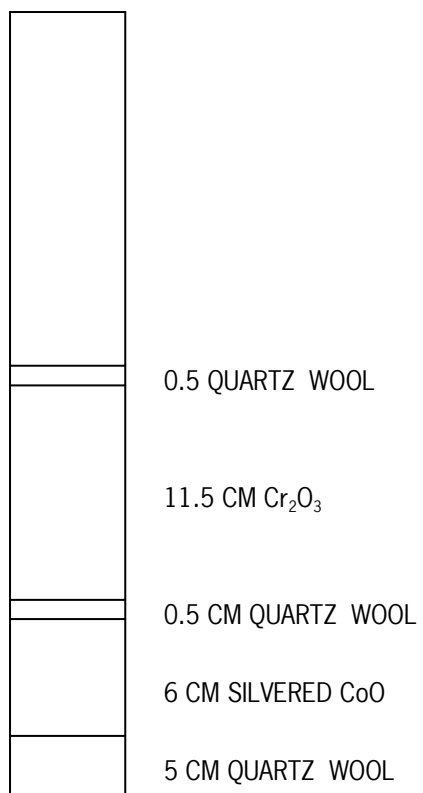


(The second trap contains ascarite, a sodium hydroxide-asbestos compound and dried magnesium perchlorate and removes carbon dioxide:



OXIDATION COLUMN

REDUCTION COLUMN



Effects of MZI's on their environment: a modelling approach.

Problem

MZI's consist of a couple of long nets, hanging beside each other in the water column. The mussels attached to the nets produce faeces and pseudofaeces. These particles settle on the sediment surface, but undergo, in the meantime, an advective transport as a result of the local currents. This advective transport is assumed to be in one direction, with a positive (flood) or negative (ebb) velocity. Additionally, waves induce a dispersive transport in all three possible directions (x, y, z).

A complicating factor may be that the matter deposited on the sediment may be resuspended again as a result of currents and waves.

Since the deposited matter partly consists of organic matter, there also is a breakdown component.

The situation is outlined in Figure 1.

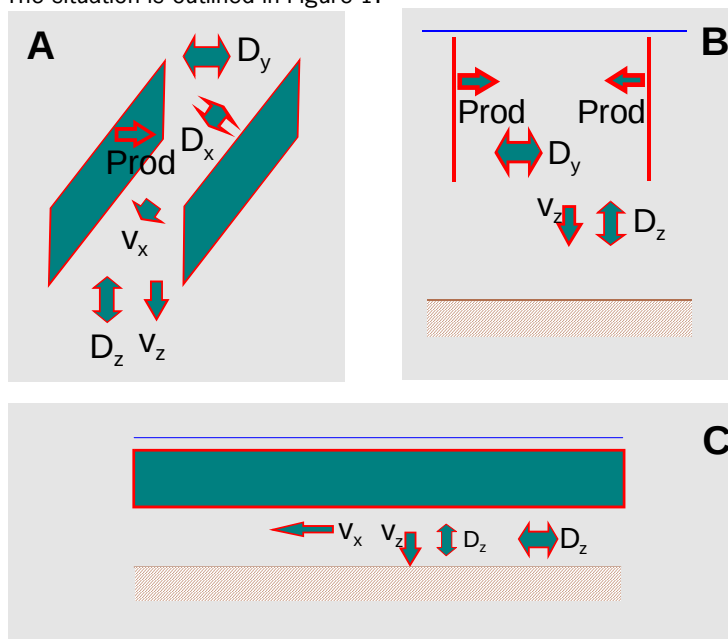


Figure 1 Schematisation of the MZI: a number of nets (A) is placed parallel with the currents (v_x). There is no other flow. Particles settle (v_z), and may be dispersed in all three directions (D_x , D_y , D_z).

Definition

The net:

Length	L	(m)
Height	H	(m)
Surface area of net	$A = L * H$	(m ²)
Production	Prod	(g DW m ² s ⁻¹)

The production is assumed to be the same everywhere on the net. Production is on both sides of the net.

The water column:

Depth	D	(m)
Flow velocity	v_x	(m s ⁻¹)
Dispersion coefficients	$D_x D_y D_z$	(m ² s ⁻¹)

The (pseudo-)faeces:

Settling velocity	v_z	(m s ⁻¹)
-------------------	-------	----------------------

DIMENSIONS (IN ORDER TO GET AN IDEA OF SIZES)

L	110	m
H	3	m
D	5-10	m
N	17	number of nets (see Figure 9 for details)
v_x	1	m s ⁻¹
v_z	1	m h ⁻¹
Prod	80	g AFDW m ² d ⁻¹ .

Computation of Prod is explained in Textbox 1.

The estimated concentration inside the MZI is roughly

$$\begin{aligned} \text{Prod} * \text{totalNetArea} / \text{CrossSectionArea} / v_x &= \\ &= 80 * 17 * 3 * 110 / (100 * 3) / (1 * 86400) = \\ &= 1.7 * 10^{-2} \text{ g AFDW m}^{-3} \end{aligned}$$

In case only one set of nets is regarded (5 nets instead of 17), the resulting concentration is $5 * 10^{-3} \text{ g AFDW m}^{-3}$

Basic equation

The basic equation reads

$$\frac{dC}{dt} = -v_z \frac{dC}{dz} - v_x \frac{dC}{dx} + D_x \frac{d^2C}{dx^2} + D_y \frac{d^2C}{dy^2} + D_z \frac{d^2C}{dz^2} \quad (\text{g m}^{-3} \text{ s}^{-1}) \quad (1)$$

C = particle concentration

v_z = settling velocity (m s^{-1})

v_x = current velocity (m s^{-1})

$D_{x,y,z}$ = dispersion coefficients ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) in x, y and z direction

T = time (s)

x,y,z = x is direction of currents, y= direction perpendicular to the nets and the current, z= depth (downwards is positive)

Boundary conditions

PRODUCTION

At the net surface, the production of matter has to be removed right away. Since the dispersion in y-direction is the only transport mechanism, it follows that

$$\text{Pr od} = -D_y \frac{dC}{dy} \quad \text{for } y=0 \quad (\text{g DW m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (2)$$

This condition is only valid for the MZI-area. Outside it does not exist.

THE WATER SURFACE

There is no transport through the surface. Thus

$$0 = v_z C - D_z \frac{dC}{dz} \quad \text{for } z=0 \quad (\text{g DW m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (3)$$

THE SEDIMENT SURFACE

This is a difficult one. In fact, the faeces settles on the sediment, and it may be resuspended again. The settlement enriches the sediment with faeces matter, and therefore, the resuspension flux is time dependent. This complicates the problem, since we would like to have a steady state solution for eq.1. Therefore the sediment is first treated like a sink, without any resuspension.

Production of feces and pseudofeces production by mussels

Two major processes are involved: the filtration rate of mussels, and their uptake rates. The filtration rate determines the maximum amount of water filtered per animal per unit of time. The maximum amount of food that can be caught is the filtration rate times the food content of the water. The uptake rate is the maximum amount of food a mussel can use, in g DW per animal. Pseudofeces is produced because part of the particles that are caught are not edible (silt or sand particles, large algae). This part is not just rejected (= not handled) by the animal, but mixed with mucus. Thus it is transformed into particles containing silt, organic matter not taken up by the animal and the mucus.

Feces production is the result of a not complete assimilation of ingested matter. Usually, an assimilation efficiency of about 60-80% is taken for algae as food source.

Quantification of processes

The filtration rate FR is described with

$$FR = aMass^b \quad (m^3 \text{ ind}^{-1} \text{ d}^{-1}) \quad (1)$$

and the maximum uptake rate UptR with

$$UptR = cMass^d \quad (g \text{ ind}^{-1} \text{ d}^{-1}) \quad (2)$$

The maximum amount (Catch) of food caught by an animal is

$$Catch = FR * [food] \quad (g \text{ ind}^{-1} \text{ d}^{-1}) \quad (3)$$

And thus, catch has to be compared with UptR in order to decide which of both is limiting the assimilation rate. For the present exercise this comparison is not very important. The amount of feces may be estimated by taking 30% of Catch:

$$feces = 0.3 * Catch$$

The amount of pseudofeces depends on FR and Catch. In case $UptR \gg Catch$, the animal cannot filter enough water to meet its food needs. In that case, pseudofeces production depends on the amount of inorganic particles in the water:

If $UptR \gg Catch$:

$$Psf \text{ Prod} = [silt] * FR \quad (g \text{ DW ind}^{-1} \text{ d}^{-1}) \quad (4)$$

In case Catch exceeds the amount an animal can handle, the filtering slows down, to $FR' = UptR/Catch * FR$, otherwise the animal would spoil energy. In that case the amount of pseudofeces is computed by taking FR' instead of FR. In a model like EcoWasp, it is assumed that PsfProd never is more than twice the UptR.

Values for a, b, c and d are given in table 1. A few other data necessary to compute the particle production by a MZI other given in table 2.

Length (m) and body mass (g AFDW) are related through

$$mass = ma * length^{mb} \quad (g \text{ AFDW ind}^{-1}) \quad (5)$$

With ma and mb as stoichiometric coefficients (see table 2)

Textbox 1 An estimate for the pseudofeces production by mussels on MZI's

Table 2 Mussel filtration and uptake parameters

a	0.05
b	-0.35
c	0.02
d	-0.35
ma	$2.57 \cdot 10^3$
mb	2.70

Table 2 Some MZI and water quality characteristics

MZI

Area of a net	330	m^2
Number of nets	17	-
Mussel density on net	20000	$\text{g fresh weight m}^{-2}$
	1000-1500	g AFDW m^{-2}
Volume of total MZI (17 nets)	10^5 (estimate)	m^3

The mussel density follows from some available data on mussel catch on the MZI's in 2005. The MZI of De Groot caught 120.000 kg mussels on 17 nets of $110 \times 3 \text{ m}^2$, thus 5610 m^2 together. The mussel density thus was $21.4 \text{ kg fresh weight m}^{-2}$, and about $1\text{-}1.5 \text{ kg AFDW m}^{-2}$. The mussels present were roughly 20-30 mm, and therefore had an individual mass of $6 \cdot 10^{-2}$ to $2 \cdot 10^{-1} \text{ g AFDW}$ (eq.5).

An individual mussel of 20 mm filters 0.13 m^3 per gram body mass per day, and $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ per individual mussel per day. The food catch may be up to $8 \cdot 10^{-3} \text{ g food d}^{-1}$ per individual mussel in case $[\text{food}] = 1 \text{ g m}^{-3}$. The maximum uptake is $5.3 \cdot 10^{-2} \text{ g AFDW d}^{-1} \text{ g}^{-1}$ body mass, and $3.2 \cdot 10^{-3} \text{ g food d}^{-1}$ per individual mussel. This implies that 1 g food per m^3 is more than enough to support maximum mussel growth (according to these data and parameters). Feces production may be up to 1 mg per individual mussel.

The MZI, with $1000 - 1500 \text{ g AFDW m}^{-2}$ mussels of 20 mm (or 16000 -25000 ind m^{-2}) thus produce about $20 \text{ g feces per m}^2$ per day, and in the order of $60 \text{ g pseudofeces per day per m}^2$, together $80 \text{ g AFDW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

For the complete MZI, this amounts up to $4.5 \cdot 10^5 \text{ g d}^{-1}$. The largest part of this matter is inorganic, and partly it concerns organic matter. Since this organic matter already passed the guts (at least the feces part of the organic matter), one may argue that the breakdown rate is relatively low.

Note that all data remain a rough estimate.

What is Prod?

The data above quantify the complete production of the MZI, but they have to be translated in term of Prod. The easiest way is to assume ideal horizontal mixing within the MZI-area. Thus, in terms of fig. 2, each of the three to five nets (see fig. 4 for a complete overview of the configuration), are supposed to be horizontally ideally mixed. The production per volume, divided by the cross-sectional area, gives Prod.

What is mean particle concentration inside MZI

An estimate for the mean particle concentration inside the MZI is given by the total production divided by the cross section area (roughly 300 m^2) and the current velocity. The latter is maximal about 1 ms^{-1} , thus 86400 m d^{-1}

$$C(\text{average}) = 4.5 \cdot 10^5 (\text{g d}^{-1}) / 300 (\text{m}^2) / 86400 (\text{m d}^{-1}) = 1.7 \cdot 10^{-2} \text{ g m}^{-3}.$$

Simplifications

1: PRODUCTION AS A POINT SOURCE

Condition A as described by equation 2 is a complex one. However, one may argue that $v_x \gg v_y$. A typical settling velocity is a few meters per hour, as a maximum; a typical current velocity is one meter per second. A (pseudo-)faeces particle produced at the top and at one end of a net takes 1.5 minute to reach the other end, and may be one hour to reach the lowest point of that net. Thus, the N nets together may be considered as a point source, producing $\text{Prod} \cdot A \cdot N$ (g DW s^{-1}).

In that case, condition (A) (eq.2) changes into

$$\text{Prod} \cdot A \cdot N = v_x C + v_y C - D_x \frac{dC}{dx} - D_y \frac{dC}{dy} - D_z \frac{dC}{dz} \quad (\text{g DW s}^{-1}) \quad (4)$$

Still, this is a complicated equation to solve, and therefore, a second approach is used.

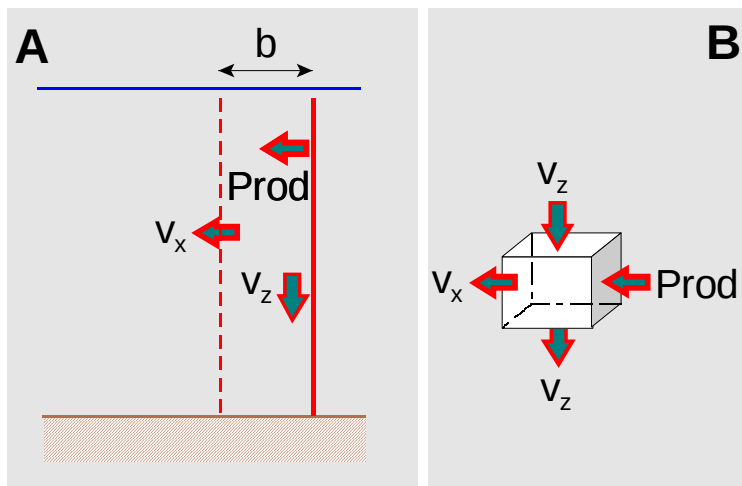


Figure 2. Schedule of the simplification: production of matter is concentrated in a plane. First the concentration profile in that plane is solved.

2: PRODUCTION AS A ONE-DIMENSIONAL LINE SOURCE: THE SHEET-APPROXIMATION

A probably easier approach is to assume a well-mixed sheet layer next to a vertical line-source. The line-source is sketched in Figure 2a. There is a production *Prod*, which is ideally mixed in the adjacent cell (Figure 2b).

The budget for a cell with width *b* is

$$\frac{v_x}{b} C_{0z} + v_z \frac{dC_{0z}}{dz} = \frac{\text{Prod}}{b} \quad (\text{g DW m}^{-3} \text{ s}^{-1}) \quad (5)$$

Or

$$\frac{dC_{0z}}{dz} = \frac{1}{v_z} \left\{ \frac{\text{Prod}}{b} - \frac{v_x}{b} C_{0z} \right\}$$

or

$$\frac{dC_{0z}}{dz} = \frac{1}{v_z} \frac{\text{Prod}}{b} - \frac{v_x}{v_z \cdot b} C_{0z} \quad (5a)$$

With

$$\alpha = \frac{1}{v_z} \frac{\text{Prod}}{b} \quad (\text{g m}^{-4}) \text{ and } \beta = -\frac{v_x}{v_z \cdot b} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (5b)$$

eq.5a gives:

$$\frac{dC_{0z}}{dz} = \alpha + \beta C_{0z} \quad (5c)$$

thus

$$\frac{dC_{0z}}{\alpha + \beta C_{0z}} = dz \quad (5d)$$

giving as general solution

$$\frac{1}{\beta} \ln(\alpha + \beta C_{0z}) = z + K \quad (6)$$

with *K* as integration constant, or

$$C_{0z} = -\frac{\alpha}{\beta} + \frac{1}{\beta} \exp(\beta z) \cdot K'' \quad (6a)$$

Boundary condition at *z*=0 is *C*_{0z}=0, thus *K*'' must be equal to *α*. The final solution thus is

$$C_{0z} = -\frac{\alpha}{\beta} + \frac{\alpha}{\beta} \exp(\beta z) \quad (\text{g DW m}^{-3}) \quad (6b)$$

This gives the concentration profile along the z-axis at $x=0$, as a result of production at the line, settling transport in a z-direction, and advective transport in the x-direction. This solution is a boundary condition for the solution of the transport equation outside the sheet from **Figure 2a**.

The limits can be checked: for $z=0$: $C_{0z}=0$. At the other hand: the maximum value for C_{0z} is reached when the influx (Prod/b) equals the outflux: $v_x * C_{0z}$. This is also the result of eq. 5 after setting $dC/dz=0$. Eq. 6b gives, for $z \rightarrow \infty$, $C_{0z} = -\alpha/\beta$, or Prod/v_x . So, both conditions (at $z=0$ and at $z \rightarrow \infty$) are met.

Results

THE BULK CONCENTRATION PROFILE

Now the boundary condition at the production side is known, the rest of the profile can be found. The outline is sketched in Figure 3.

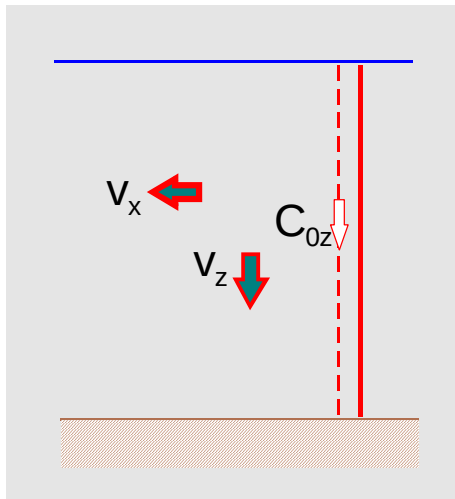


Figure 3 Processes affecting the bulk concentration of particles. The boundary condition C_{0z} is known, only flow (v_x) and settlement (v_z) takes place

For the rest of the bulk, the mass budget is

$$0 = -v_z \frac{\partial C}{\partial z} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} \quad (\text{g m}^{-3} \text{ s}^{-1}) \quad (7)$$

Or

$$\frac{\partial C}{\partial z} = -\frac{v_x}{v_z} \frac{\partial C}{\partial x} \quad (\text{g m}^{-4}) \quad (7a)$$

The general solution for this equation is

$$C_{xz} = A + B \exp(\gamma_1 x + \gamma_2 z) \quad (\text{g m}^{-3}) \quad (7b)$$

Since for $x=0$ this is reduced to

$$C_{xz} = A + B \exp(\gamma_2 z) \quad (8a)$$

it becomes clear –by comparing with eq. 6a- that

$$A = -\frac{\alpha}{\beta} \quad (8b)$$

$$B = \frac{\alpha}{\beta} \quad (8c)$$

$$\gamma_2 = \beta \quad (8d)$$

Also, it follows from eq. 7b that

$$\frac{\partial C_{xz}}{\partial x} = \gamma_1 B \exp(\gamma_1 x + \gamma_2 z) \quad (9a)$$

and

$$\frac{\partial C_{xz}}{\partial z} = \gamma_2 B \exp(\gamma_1 x + \gamma_2 z) \quad (9b)$$

and so

$$\frac{\frac{\partial C_{xz}}{\partial x}}{\frac{\partial C_{xz}}{\partial z}} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad (9c)$$

Combining eq.9c and 7a shows that

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = -\frac{v_x}{v_z} \quad (10a)$$

And thus

$$\gamma_1 = -\frac{v_x}{v_z} \gamma_2 \quad (10b)$$

Eqs.10b and 8d can be combined giving

$$\gamma_1 = -\frac{v_x}{v_z} \beta = \frac{1}{b} \quad (10c)$$

Fully written, the concentration profile in the bulk is

$$C_{xz} = -\frac{\alpha}{\beta} + \frac{\alpha}{\beta} \exp(-bx + \beta z) \quad (\text{g DW m}^{-3}) \quad (11)$$

FLUX THROUGH THE BOTTOM PLANE

Now the flux through the sediment plane, at $z=D$ can be computed, or better may be, $z=H$, being the lower position of the net. Then the difficulties of having no production at $x=0$ anymore, are got around. This flux is

$$flux_H = v_z \cdot C_{xH} \quad (\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (12)$$

or, with

$$C_{xH} = -\frac{\alpha}{\beta} + \frac{\alpha}{\beta} \exp\left(-\frac{v_z}{v_x} \beta x + \beta H\right) \quad (\text{g m}^{-3}) \quad (11a)$$

$$flux_H = v_z \left\{ -\frac{\alpha}{\beta} + \frac{\alpha}{\beta} \exp\left(-\frac{v_z}{v_x} \beta x + \beta H\right) \right\} \quad (\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (12a)$$

ACCUMULATED FLUX DURING A TIDAL CYCLE

The computed flux from eq.12a depends on the current velocity v_x . The value for v_x changes during a tidal cycle according to

$$v_x = v_{x\max} \sin(\omega t) \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (13)$$

Solving eqs 7 and 5 with eq.13 substituted for v_x can be done more easily by applying the so-called 4/90-interpolation rule (Newton-Cote; see eg. Engeln-Müllges & Reutter, 1987). It says that a fairly good approximation is obtained by taking

$$\overline{F(x)} = \frac{1}{90} [7F(x_0) + 32F(x_0 + dx) + 12F(x_0 + 2dx) + 32F(x_0 + 3dx) + 7F(x_0 + 4dx)] \quad (14)$$

With $F(x_0)$ the value of the flux at $v_x=0$, and dx one-fourth of $v_{\max}$. Then, half a tidal cycle is covered. The other half is obtained by simply mirroring the results into the opposite direction.

EXAMPLES

EXAMPLE OF BULK CONCENTRATION PROFILES

In

Figure 4, concentration profiles for 4 distances to the MZI's are shown. The point where no particles settle anymore is given by $\text{depth} \cdot v_x / v_z$. Thus, with $\text{depth}=3 \text{ m}$, $v_z=2 \text{ m h}^{-1}=5.5 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$, and $v_x=1 \text{ m s}^{-1}$, the last point of settlement is 5.4 km. With increasing sinking velocities, this point comes closer to the MZI.

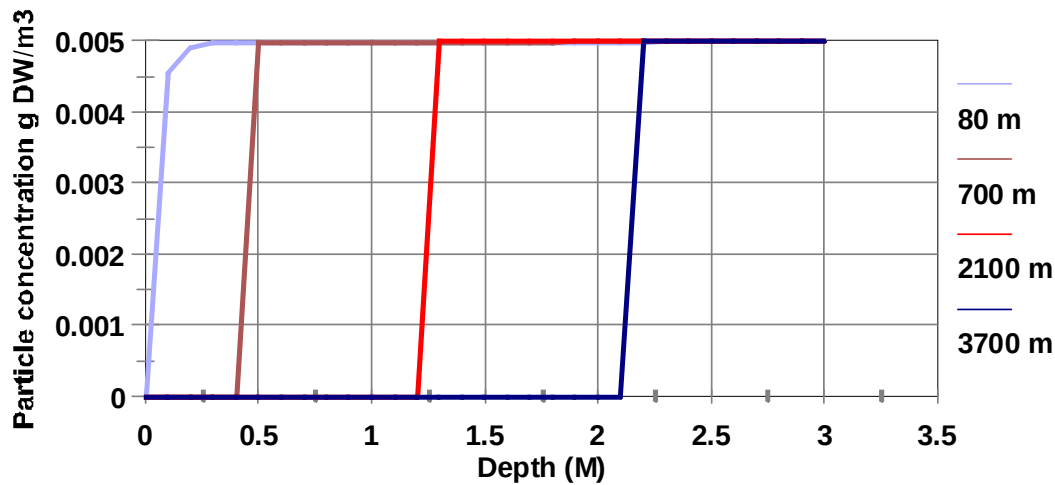


Figure 4 Example of concentration profile with depth. Sinking velocity of particles: 2 m h⁻¹, current velocity 1 ms⁻¹. Other parameters mentioned in textbox 1.

Production as a one-dimensional line source: the sheet-approximation, vertical dispersion included

Now, vertical dispersion will be included, to make the solution a bit more realistic.

The same sketch as in Figure 1Figure 2^a is used, but now an extra transport term is used in the transport equation. The budget for a cell with width b now is

$$D \frac{d^2 C_{0z}}{dz^2} - v_z \frac{dC_{0z}}{dz} - \frac{v_x}{b} C_{0z} + \frac{\text{Prod}}{b} = 0 \quad (\text{g DW m}^{-3} \text{ s}^{-1}) \quad (15)$$

This is a classical equation, and the general solution is

$$C_{0z} = E + A \exp(\lambda_1 z) + B \exp(\lambda_2 z)$$

with $\lambda_2 \geq 0$ and $\lambda_1 \leq 0$. One boundary condition is that for $z \rightarrow \infty$ C_{0z} is finite, and therefore $B=0$ and the second exponential part disappears.

The equation for λ_1 is (see eg Brinkman & Van Raaphorst, 1986)

$$\lambda_1 = \frac{v_z}{2D} - \sqrt{\left(\frac{v_z}{2D}\right)^2 + \frac{v_x}{bD}} \quad (\text{m}^{-1}) \quad (16)$$

and for E

$$E = C_0 + \frac{\text{Prod}}{v_x} \quad (\text{g DW m}^{-3}) \quad (17)$$

C_0 has the meaning of an equilibrium value, and that =0, in this case. Thus, $C_0=0$.

Written completely:

$$C_{0z} = \frac{Pr od}{v_x} + A \exp \left\{ \left(\frac{v_z}{2D} - \sqrt{\left(\frac{v_z}{2D} \right)^2 + \frac{v_x}{bD}} \right) z \right\} \quad (\text{g DW m}^{-3}) \quad (18)$$

Now, the previous condition ($C_{0z}=0$ for $z=0$) is not valid anymore; it is replaced by the condition that no flux through the plane $z=0$ is possible. Thus,

$$v_z * C_{0z} - D \frac{dC}{dz} = 0 \quad \text{for } z=0 \quad (19)$$

For $z=0$, the concentration C_{0z} is

$$C_{0z} = \frac{Pr od}{v_x} + A,$$

and dC/dz

$$\frac{dC}{dz} = +A\lambda_1 \exp\{\lambda_1 z\} = A\lambda_1 \quad (\text{voor } z=0)$$

Thus

$$v_z \left(\frac{Pr od}{v_x} + A \right) = DA\lambda_1 \rightarrow \frac{Pr od}{v_x} + A = \frac{DA\lambda_1}{v_z}$$

Rearranging gives for A:

$$A = -\frac{Pr od}{v_x} \left(1 - \frac{D\lambda_1}{v_z} \right)^{-1} \quad (\text{g DW m}^{-3}) \quad (20)$$

EXAMPLE OF SHEET CONCENTRATION PROFILE

An example of a concentration profile in the sheet is given in Figure 5.

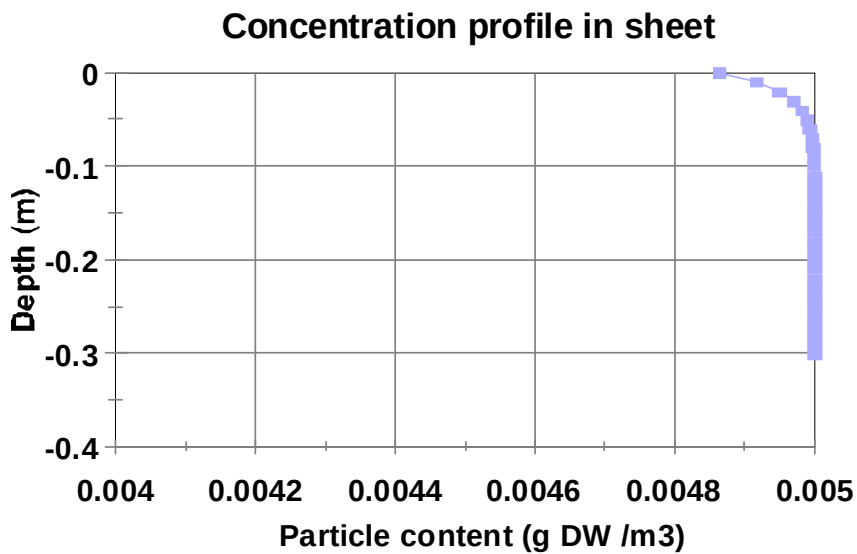


Figure 5 Example of concentration profile in a sheet. Dispersion and settlement occur. Same parameters as in fig. 4, with dispersion coefficient $D=4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, a common value for such systems.

THE BULK CONCENTRATION PROFILE, DISPERSION INCLUDED

The next case is to compute the concentration distribution in the bulk, in case of advection plus vertical dispersion. Boundary conditions are given by the concentration profile at $x=0$ (eq. 18) and the condition that there is no flux across $z=0$ (eq. 19).

The general equation is

$$D \frac{d^2 C_{0z}}{dz^2} - v_z \frac{dC_{0z}}{dz} - v_x \frac{dC_{0z}}{dx} = 0 \quad (\text{g DW m}^{-3} \text{ s}^{-1}) \quad (20)$$

This equation with its boundary conditions is not easy to solve analytically, and therefore, a numerical solution is used.

Details are given in Textbox 2.

Concentration profiles are shown in Figure 6. Note that the settling velocity is much higher than assumed in

Figure 4, and still, the particles are spread over a wide area.

Still, a flux of $10 \text{ g DW m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ is not really high, but also not negligible; the silt content in the upper 5 cm of the sediment ranges roughly up to 500 g m^{-2} .

Fluxes to sediment. Case: maximum current velocity (1 m/s), sink velocity 7 m/h

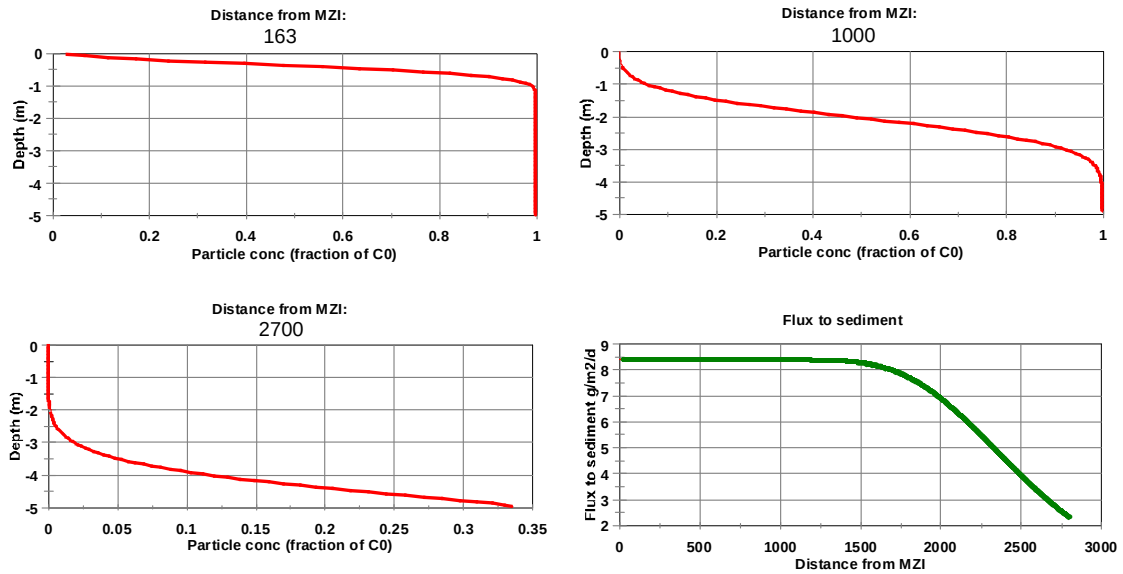


Figure 6 Upper and lower left: Concentration profiles at three distances from the MZI. Concentrations are given as fraction of the value at the MZI. Lower right: flux to the sediment, in real values. Parameters used are different from the previous examples: settling velocity = 7 m h^{-1} , flow velocity = 1 m s^{-1} , vertical dispersion coefficient = $2 \cdot 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. The numerical dispersion resulting from the discretisation is roughly $5 \cdot 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Taking resuspension into account lowers the amount of matter entering the sediment.

The applied numerical solution of the advection-dispersion equation

The general equation is

$$D \frac{\partial^2 C_{x,z}}{\partial z^2} - v_z \frac{\partial C_{x,z}}{\partial z} - v_x \frac{\partial C_{x,z}}{\partial x} = 0 \quad (\text{g DW m}^{-3} \text{ s}^{-1}) \quad (20)$$

or:

$$\frac{\partial C_{x,z}}{\partial x} = \frac{D}{v_x} \frac{\partial^2 C_{x,z}}{\partial z^2} - \frac{v_z}{v_x} \frac{\partial C_{x,z}}{\partial z} \quad (\text{g DW m}^{-4}) \quad (20^a)$$

But the situation can also be regarded as a water volume travelling along with the current. In that case, $x=v_x \cdot t$, and

$$\frac{\partial C_{z,t}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_{z,t}}{\partial z^2} - v_z \frac{\partial C_{z,t}}{\partial z} \quad (\text{g DW m}^{-3} \text{ s}^{-1}) \quad (20^b)$$

This eq. is solved numerically following

$$C_{z,t+\Delta t} = C_{z,t} + \frac{\left\{ D_z \frac{(C_{z-1,t} - C_{z,t})}{\Delta z} - D_z \frac{(C_{z,t} - C_{z+1,t})}{\Delta z} \right\} + v_z (C_{z-1} - C_z)}{\Delta z} \Delta t \quad (20^c)$$

As a result of this discretisation one introduces a numerical error, called numerical dispersion. This numerical dispersion Disp_{num} can be estimated by a further Taylor-series expansion. In eq. 20^c, the first derivative is approximated with

$$\frac{\partial C_{z,t}}{\partial z} = + \frac{(C_{z-1} - C_z)}{\Delta z} \quad (20^d)$$

But, the Taylor-series expansion says

$$C_z = C_{z-1} + \frac{\partial C_{z,t}}{\partial z} \Delta z + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 C_{z,t}}{\partial z^2} \Delta z^2 + \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 C_{z,t}}{\partial z^3} \Delta z^3 + \dots$$

and thus

$$\frac{\partial C_{z,t}}{\partial z} \Delta z = -(C_{z-1} - C_z) - \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 C_{z,t}}{\partial z^2} \Delta z^2 - \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 C_{z,t}}{\partial z^3} \Delta z^3 - \dots$$

Textbox 2 Continued

or, dividing by Δz , and omitting the third derivative:

$$\frac{\partial C_{z,t}}{\partial z} = -\frac{C_{z-1} - C_z}{\Delta z} - \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 C_{z,t}}{\partial z^2} \Delta z \quad (20^e)$$

Now it is clear that the approximation eq. 20^d contains higher order errors; of which the second derivative as formulated in eq. 20^e is supposed to be the largest. When eq. 20^e is substituted into eq. 20^b, it follows that

$$\frac{\partial C_{z,t}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_{z,t}}{\partial z^2} - v_z \left\{ -\frac{C_{z-1} - C_z}{\Delta z} - \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 C_{z,t}}{\partial z^2} \Delta z \right\}$$

And thus, after bringing the second derivatives together:

$$\frac{\partial C_{z,t}}{\partial t} = \left(D + \frac{1}{2!} v_z \Delta z \right) \frac{\partial^2 C_{z,t}}{\partial z^2} + v_z \left\{ \frac{C_{z-1} - C_z}{\Delta z} \right\} \quad (20^f)$$

The approximation for the first derivative introduces an extra dispersion term; the dispersion coefficient D in eq. 20^b becomes

$$D \Rightarrow D + \frac{1}{2!} v_z \Delta z \quad (20^g)$$

The numerical approximations for $\partial C / \partial t$ and $\partial C^2 / \partial z^2$ introduce numerical errors as well. Therefore, eq. 20^g only gives an idea of the numerical dispersion errors introduced by the numerical integration of the advection-diffusion equation.

Estimation of effects

In the previous section the flux to the sediment is computed for one condition only: the current velocity $v_x = 1 \text{ m s}^{-1}$. Eq. 14 is used to estimate the tidally integrated effect. A problem is that for low v_x -values, the concentration C_{0x} increases to unrealistic values. This can be solved by a complete simulation of the flow and settlement processes, but that is not at stake here. Therefore, we stick to the simple approximation of eq. 14, and use values for v_x from 1 m s^{-1} (the maximal value) down to $v_x=0.2 \text{ m s}^{-1}$.

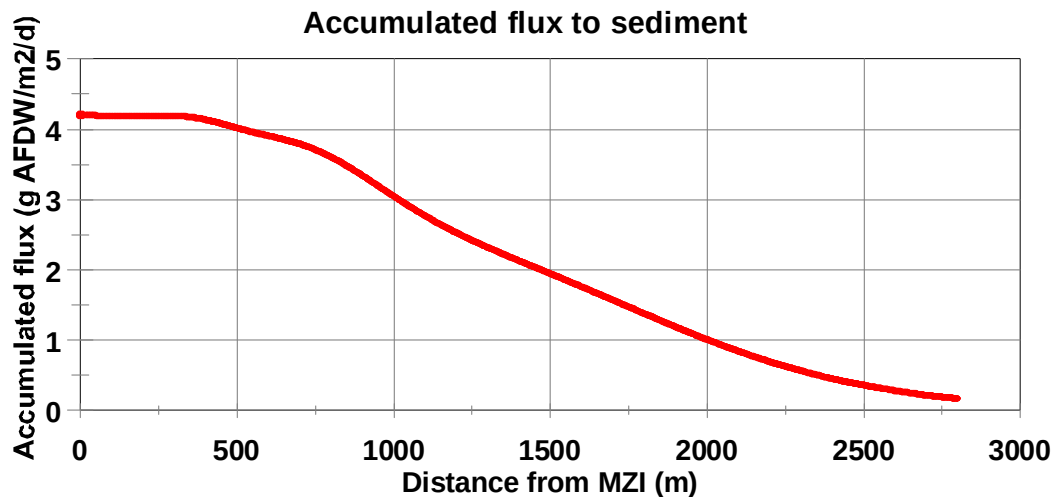


Figure 7 Accumulated flux of particles to the sediment. Settle velocity 7 m h^{-1} , maximum current velocity 1 m s^{-1} , vertical dispersion coefficient $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ and estimated numerical dispersion $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. The tide is assumed to be symmetrical. There is no dispersion perpendicular to the current.

In Figure 7, an estimate of the particle flux to the sediment is presented. No dispersion in the Y-direction, nor resuspension is assumed. The first will spread out the settlement plume in the Y-direction, and cause a wider settlement area with lower fluxes. The second process will cause a spread of particles over a larger X-distance; again lowering the local net fluxes.

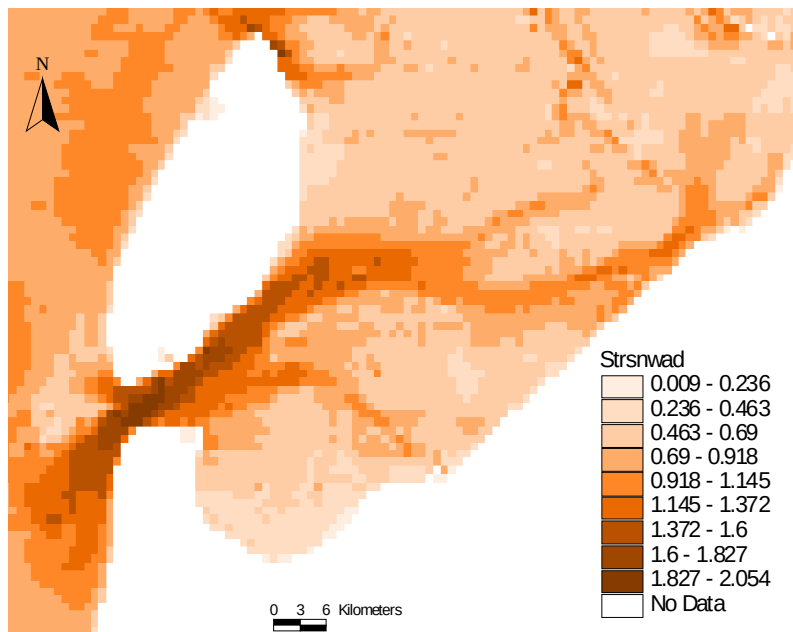


Figure 8 Current velocities in the Marsdiep area.

Values denote maximum velocities in m s^{-1} . Data from RIKZ.

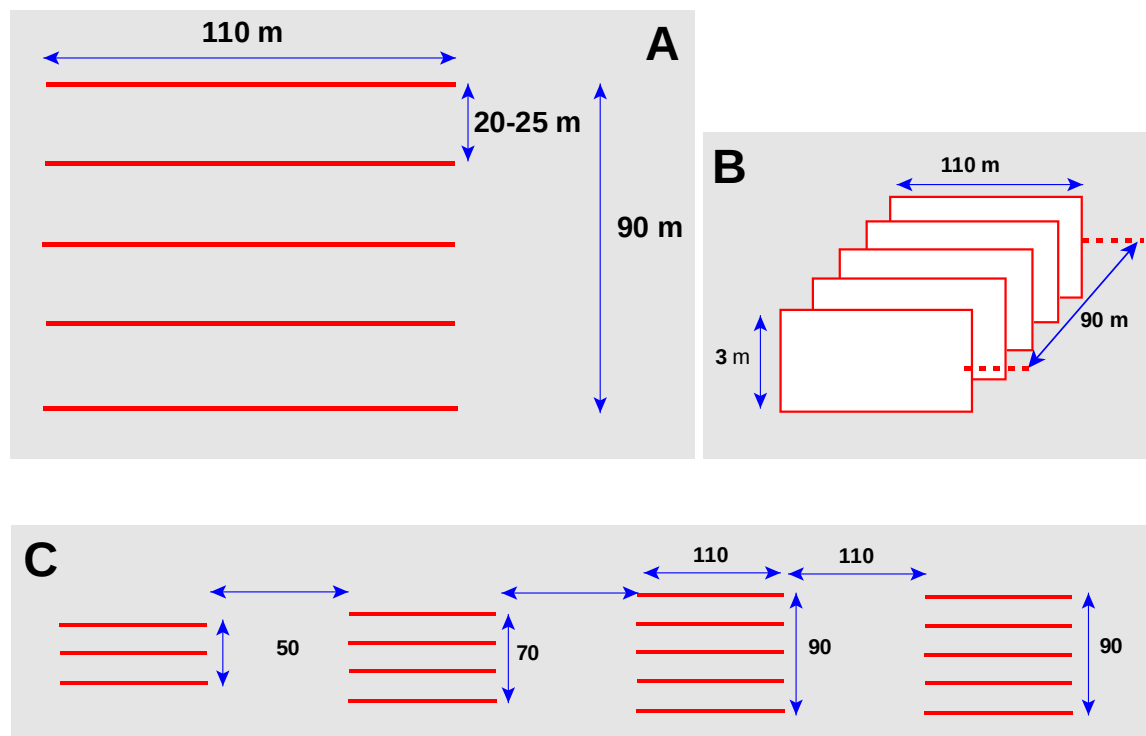


Figure 9 Configuration of MZI-nets at West 6 (see Figure 10)

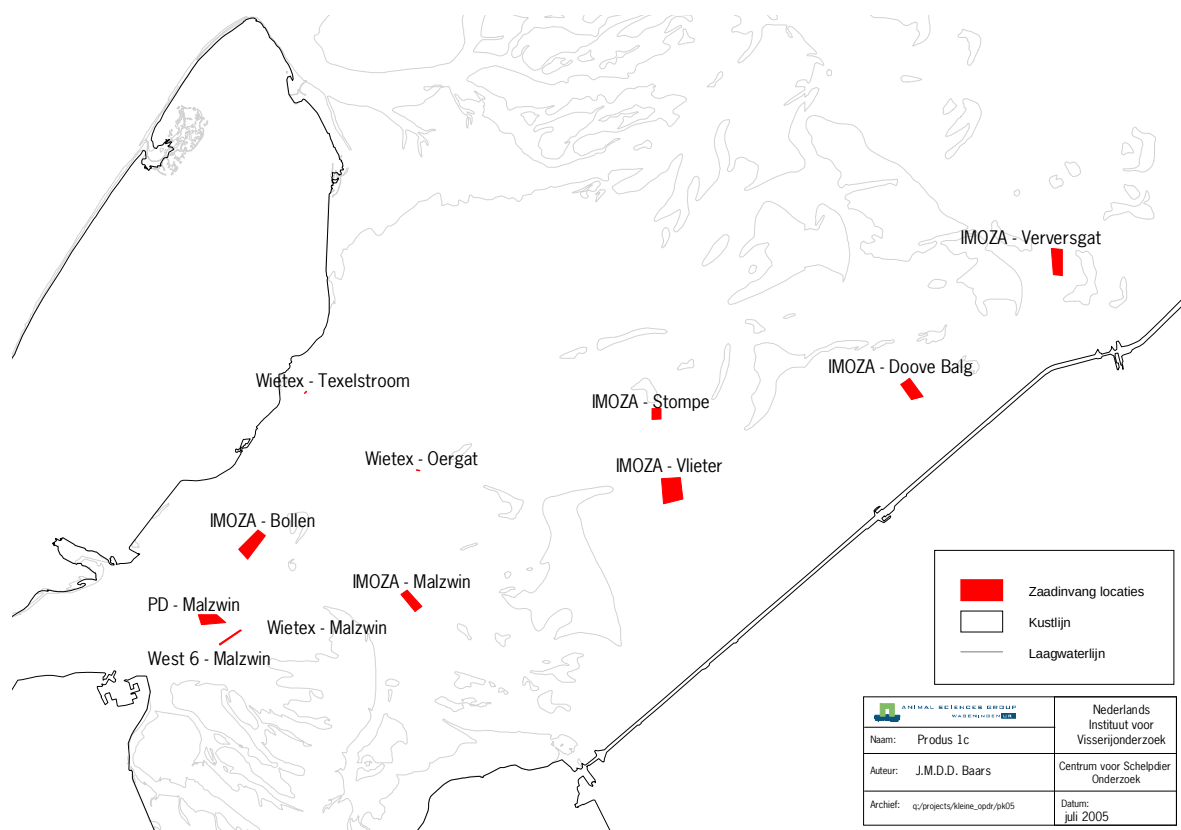


Figure 10 Sites in western Wadden Sea with MZI's:

- **West 6:** 17 nets of 110 meter length and 3 m depth; and 1 experimental line of 110 m length with a series of nets of 1 m². One net including anchors has a length of about 230 m.
- **PD:** About the size of West 6. More information will follow
- **WIETEX:** At each site 32 grounded poles with 4.5 m high and 2.6 m diameter baskets,.
- **IMOZA:** Each site one MZI consisting of a floating hexagonal frame, 2 m deep and 2 m diameter.

References

Engeln-Muellges G & Reutter F. 1987. Formelsammlung der Numerischen Mathematik mit MODULA-2 Programmen. B.I Wissenschaftsverlag Mannheim 509 pp.

Verantwoording

Rapport C135/07
Projectnummer: 4394100503

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en beoordeeld door of namens het Wetenschapsteam van Wageningen IMARES.

Akkoord: Dr. J.A.M. Craeymeersch
onderzoeker

Handtekening:

Datum: 18 december 2007

Akkoord: drs. F.C. Groenendijk
Afdelingshoofd Ecologie

Handtekening:

Datum: 18 december 2007

Aantal exemplaren: 60
Aantal pagina's: 71
Aantal tabellen: 4
Aantal figuren: 35
Aantal bijlagen: 3