

**Bodemdiergemeenschap
Ameland en Schiermonnikoog
T0-2014**



Bodemdiergemeenschap Ameland en Schiermonnikoog T0-2014

Sophie Vergouwen
Harriette Meijer - Holzauer

1220040-008

Bodemdiergemeenschap Ameland en Schiermonnikoog T0-2014

Sophie Vergouwen
Harriëtte Meijer - Holzauer

1220040-008

Titel

Bodemdiergemeenschap Ameland en Schiermonnikoog T0-2014

| | | |
|----------------|----------------------|-----------------|
| Project | Kenmerk | Pagina's |
| 1220040-008 | 1220040-008-ZKS-0006 | 69 |

Trefwoorden

Macrobenthos, vooroeversuppletie, Ameland, ecosysteem, ondiepe kustzone

Samenvatting

Om functies van de kust zoals veiligheid en recreatie te bewaren, wordt er sinds 1990 in het kader van Dynamisch Handhaven zand gesuppleerd langs de kust van Nederland. De kust van Ameland wordt geregeld gesuppleerd, doordat de kustlijn over het algemeen een negatieve trend laat zien. De effecten van zandsuppleties bij Ameland op de bodemdiergemeenschap, worden al sinds langere tijd gemonitord om het systeem beter te begrijpen en handvatten op te stellen voor ecologisch gericht suppleren. Het project is in opdracht van Rijkswaterstaat uitgevoerd in het kader van het project Beheer en Onderhoud Kust: Ecologisch gericht suppleren. Binnen dit project worden verschillende morfologische en ecologische vraagstukken rondom het beheer en onderhoud van het Nederlands kuststelsel onderzocht.

Het doel van deze rapportage is het in kaart brengen van de beginsituatie (T0₂₀₁₄) van de bodemdiersamenstelling, voorafgaand aan de suppletie van 2014-2015 op de vooroever van Ameland Midden. Daarnaast zijn verschillende analyses uitgevoerd om een verklaring te zoeken voor het patroon in de bodemdiersamenstelling, en de abiotische omstandigheden in onderzochte studiegebieden.

De resultaten uit dit onderzoek laten zien dat de bodemdiergemeenschap van Ameland Midden meer overeenkomt met een nabijgelegen studiegebied op Ameland (Ameland Impact) dan met Schiermonnikoog (nooit gesuppleerd). Dit was niet het geval in eerdere rapportages (2009-2012), waarin de overeenkomst met de vooroever van Schiermonnikoog ook groot was. De bodemdiersamenstelling vertoonde in alle studiegebieden een zeewaartse gradiënt. De analyses toonden een grove indeling in 3 gebieden aan: een ondiepe zone, een middengelegen zone en een diepe zone. Een indeling van de bodemdiersamenstelling in drie dieptezones werd ook gevonden in de rapportage van 2009-2012. Diepte en korrelgrootte waren in de meeste gevallen de best verklarende abiotische variabelen voor de gevonden overeenkomsten en verschillen in bodemdiersamenstelling. Een aanpassing van deze variabelen als gevolg van een suppletie zal daardoor waarschijnlijk ook gevolgen hebben voor de bodemdiersamenstelling.

Referenties

KPP B&O Kust

| Versie | Datum | Auteur | Paraaf | Review | Paraaf | Goedkeuring | Paraaf |
|--------|-----------|---|---|---------------|--|-----------------|---|
| | okt. 2015 | Sophie Vergouwen Harriette Meijer - Holzhauer |  | Tineke Troost |  | Frank Hoozemans |  |

Status

definitief

Inhoud

| | |
|---|------------|
| Samenvatting | 3 |
| 1 Inleiding | 5 |
| 1.1 Doel van de studie | 6 |
| 2 Methode | 7 |
| 2.1 Studiegebieden | 7 |
| 2.2 Monsternamestrategie | 8 |
| 2.3 Hypotheses | 13 |
| 2.3.1 Deelvragen | 15 |
| 2.4 Analyses | 17 |
| 2.4.1 Modificaties van de dataset | 17 |
| 2.4.2 Univariate analyses | 17 |
| 2.4.3 Multivariate analyses | 18 |
| 3 Resultaten | 21 |
| 3.1 Soortenaccumulatiecurve | 21 |
| 3.2 Verschillen Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog | 21 |
| 3.2.1 Dominante soorten | 21 |
| 3.2.2 Diversiteit, biomassa en dichtheid | 24 |
| 3.2.3 Soortgroepen | 25 |
| 3.2.4 Conclusies vergelijkingen tussen studiegebieden op basis van dichtheid, biomassa en diversiteit | 25 |
| 3.3 Ruimtelijke verschillen tussen en binnen studiegebieden | 28 |
| 3.3.1 Clustering monsters met ruimtelijke gradiënt | 28 |
| 3.3.2 MDS plot en ANOSIM op biomassa en dichtheid | 36 |
| 3.3.3 Conclusies ruimtelijke verschillen tussen en binnen studiegebieden | 38 |
| 3.4 Relatie abiotische variabelen en biota | 40 |
| 3.4.1 Abiotische variabelen | 40 |
| 3.4.2 Correlatie analyse abiotiek met biotiek | 43 |
| 3.4.3 Conclusies relaties tussen abiotische parameters binnen studiegebieden | 47 |
| 4 Discussie | 49 |
| 4.1 Hypotheses | 49 |
| 4.2 Vergelijking uitkomsten met rapportage 2009-2012 | 50 |
| 4.3 Belangrijkste bevindingen huidige rapportage | 51 |
| 5 Literatuur | 53 |
| | |
| Bijlage(n) | |
| A Suppletielocaties programma 2012-2015 | A-1 |
| B Totale dichtheid per monsterlocatie | B-1 |
| C Totale biomassa per monsterlocatie | C-1 |
| D Uitkomsten Global BEST analyse | D-1 |

Samenvatting

Om functies van de kust zoals veiligheid en recreatie te bewaren, wordt er sinds 1990 in het kader van Dynamisch Handhaven zand gesuppleerd langs de kust van Nederland. De kust van Ameland wordt geregeld gesuppleerd, doordat de kustlijn over het algemeen een negatieve trend laat zien. De effecten van zandsuppleties bij Ameland op de bodemdiergemeenschap, worden al sinds langere tijd gemonitord om het systeem beter te begrijpen en handvatten op te stellen voor ecologisch gericht suppleren. Hoewel het kustgebied een dynamisch gebied is waar de bodemdiergemeenschap grotendeels is aangepast aan veranderende omstandigheden, kunnen suppleties een effect hebben op de aanwezige soorten vanwege de grote aanpassing van abiotische omstandigheden. Uit eerdere rapportages is gebleken dat hoewel er initieel een verlies is aan soorten, er ook een proces van herstel plaatsvindt dat in ieder geval twee jaar duurt.

In deze rapportage is voor de suppletie van 2014-2015 op de vooroever van Ameland Midden de beginsituatie (T_{02014}) van de bodemdiergemeenschap vastgesteld. Dit is gedaan door de dichtheid, biomassa en soortensamenstelling te vergelijken tussen het studiegebied Ameland Midden, en de referentiegebieden Schiermonnikoog en Ameland Impact (zo genoemd vanwege eerdere rapportages). Deze referentiegebieden hebben een andere suppletiegeschiedenis: geen eerdere suppleties op Schiermonnikoog, wel suppleties voor de kust van Ameland Impact. Naast de bodemdiergemeenschap, zijn de abiotische omstandigheden die de randvoorwaarden van de habitat waarin soorten voorkomen scheppen, vergeleken tussen de gebieden. Doordat de abiotische omstandigheden (naast de biologische processen) in grote mate de aanwezigheid van soorten beïnvloeden, en daarom verklarend kunnen zijn voor verschillen of overeenkomsten tussen gebieden.

De resultaten uit dit onderzoek laten zien dat de bodemdiergemeenschap van Ameland Midden meer overeenkomt met Ameland Impact dan met Schiermonnikoog. Dit was niet het geval in eerdere rapportages (2009-2012), waarin de overeenkomst met de vooroever van Schiermonnikoog ook groot was. Een soort die als bepalend voor verschillen tussen de jaren is aangeduid, is de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*). In voorgaande jaren kwam deze soort in grotere aantallen voor op Schiermonnikoog, terwijl de soort in de huidige rapportage nagenoeg afwezig is. Echter, analyses zonder deze soort laten tevens verschillen zien tussen Schiermonnikoog en Ameland Midden. Gevonden waarden voor biomassa en dichtheid, lagen in dezelfde range als in voorgaande jaren (2009-2012).

De bodemdietsamenstelling vertoonde een zeewaartse gradiënt. De analyses toonden een grove indeling in 3 gebieden aan: een ondiepe zone, een midden-gelegen zone en een diepe zone. Een indeling van de bodemdietsamenstelling in drie dieptezones werd ook gevonden in de rapportage van 2009-2012. Diepte en korrelgrootte waren in de meeste gevallen de best verklarende abiotische variabelen voor de gevonden overeenkomsten en verschillen in bodemdietsamenstelling. Een aanpassing van deze variabelen als gevolg van een suppletie zal daardoor waarschijnlijk ook gevolgen hebben voor de bodemdietsamenstelling. De verschillen tussen de bodemdietsamenstelling van Schiermonnikoog en Ameland Midden kunnen deels verklaard worden door afwijkingen in de abiotiek. Doordat de vooroever van Schiermonnikoog flauwer is ten opzichte van Ameland en dus afwijkt in diepte per gemeten

monsterpunt, kan dit deels de verschillen in de aangetroffen bodemdiergemeenschap verklaren. Bevindingen uit de huidige rapportage beschrijven de beginsituatie voor de suppletie van 2014-2015 op Ameland Midden, en kunnen als vergelijking dienen om de gevolgen van de suppletie voor de ecologie in kaart te brengen.

1 Inleiding

De kust van Ameland wordt verdedigd tegen erosie door zowel harde kustverdedigingswerken op de westkop van het eiland als het herhaald uitvoeren van zandsuppleties voor de kust (Elias & Bruens, 2013). Sinds 1990 is er sprake van het dynamisch handhaven van de kust. Dit houdt in dat er ter bescherming van de kustlijn zandsuppleties worden uitgevoerd op de vooroever of op het strand waarbij het zand nadien door natuurlijke processen kustlangs en kustdwars herverdeeld wordt. De norm voor de ligging van de kustlijn is de basiskustlijn (BKL): een lijn die is vastgesteld langs de gehele kust van Nederland en veilig wordt geacht met betrekking tot overstromingen. Als aan de hand van de jaarlijkse toetsing blijkt dat de basiskustlijn overschreden (erosie landwaarts van de BKL) is of dreigt te worden, kan er een ingreep volgen, doorgaans een zandsuppletie op de vooroever (Rijkswaterstaat, 2014). Regelmatige zandsuppleties voorkomen dat de BKL overschreden wordt en dragen daardoor bij aan het behouden van de gebruiksfuncties en veiligheid van de kust. Suppleties kunnen op verschillende locaties langs de kust worden aangebracht zoals op het strand, langs een geulwand of op de vooroever. Eerdere studies hebben zich vooral gericht op de effecten van suppleties op de bodemgemeenschap (macrobenthos) op de vooroever en strand (Holzhauer et al., 2014).

Kustgebieden zijn over het algemeen een ecologisch productieve en diverse zone, doordat hier relatief veel nutriënten aanwezig zijn in combinatie met kust-dwarse gradiënten in hydrodynamiek, sedimentsamenstelling, organisch stofgehalte en diepte. Op de vooroevers van de Nederlandse kust komen o.a. macrobenthische gemeenschappen voor met verschillende schelpdieren, wormen en kreeftachtigen. Deze macrofauna vormt een belangrijke schakel in de voedselketen, vooral als prooi voor vogels en (juvenile) vissen. In het verleden is geconstateerd dat het ecologisch functioneren in samenhang met het relatief hoogdynamische kustfundament nog onvoldoende begrepen wordt voor een optimaal beheer van dit gebied (Van Dalen & Essink, 1997). Vanwege het belang van het ecologisch functioneren van dit gebied voor veel beschermde soorten vogels, vissen zeezoogdieren (en voor de mens), is het van belang om goede kennis te hebben van de effecten van zandsuppleties op de ecologie.

De vooroever is over het algemeen door de breking van golven en getijstromingen een erg dynamisch gebied in fysische zin. De relatief sterke waterbewegingen en zanddynamiek zorgen voor een faunagemeenschap met soorten die hierop zijn aangepast. De morfologie en hydrodynamiek wordt geacht in grote mate bepalend te zijn voor de samenstelling van macrobenthos van de vooroever. Een zandsuppletie dekt de bestaande habitats af met een laag sediment, en zorgt daardoor voor een plotselinge verandering van de habitats ter plaatse, met name door aanpassing van diepte, sedimentsamenstelling, morfologie en door het grotendeels begraven van aanwezige fauna. Hoewel macrobenthos in de vooroever aangepast is aan dynamische omstandigheden (en daardoor het effect wellicht beperkt zou kunnen zijn), is er nog geen eenduidig beeld over de impact van zandsuppleties zowel op de korte en op de lange termijn op het functioneren van de bodemdiergemeenschap, en het belang van verschillende (beheers)variabelen die hierin een rol spelen zoals grootte, timing en locatie van een suppletie, en de oorsprong van het gesuppleerde zand (sedimentsamenstelling) (Speybroeck et al., 2006).

Studies naar de effecten van vooroeversuppleties op de bodemdiergemeenschap vinden al sinds lange tijd plaats (Van Dalen & Essink, 1997). Om de kennis van de effecten van zandsuppleties op de ecologie van de vooroever te vergroten, heeft in het kader van het project Kennis voor Primaire Processen Beheer en Onderhoud kust (KPP B&O kust) onderzoek plaatsgevonden naar de bodemdiergemeenschap van het strand en de vooroever van Ameland specifiek in relatie tot zandsuppleties (Elias & Bruens, 2013; Goudswaard, Kesteloo, van Zweeden, & Vanagt, 2009; Holzhauer et al, 2014; Vanagt et al., 2011; Verduin, Leewis, & Tempelman, 2012). Omdat de kust van Ameland al jaren onderhevig is aan structurele erosie, zijn op het strand en op de vooroever verschillende suppleties aangebracht. Uit eerder onderzoek is gebleken dat herstel optreedt na de suppletie en dat twee jaar na de suppletie van 2010-2011 op de vooroever van Ameland er significant herstel was in totale dichtheid op de brekerbank (Holzhauer et al., 2014). Wanneer belangrijke sturende factoren zoals de diepte en de korrelgrootte veranderen, zal dit waarschijnlijk een effect hebben op de soorten die zich hebben aangepast aan de huidige omstandigheden. Mogelijk vindt er daardoor een verschuiving in aanwezige soorten plaats. Holzhauer et al (2014) lieten al zien dat sommige soorten positief of negatief reageerden op de zandsuppletie. Doordat de gemeenschap zich van voren af aan zal moeten herstellen. In de rapportage van 2009-2012 werd aangetoond dat de opportunistische wormensoort *Magelona johnstoni* profijt had van de zandsuppletie, terwijl andere soorten zoals *Macoma balthica* een negatief effect ondervonden. De snelheid waarmee het gebied zich zal herstellen naar de situatie voor de suppletie bepaald in grote mate verschillen over de jaren. Tevens kunnen er andere ontwikkelingen plaatsvinden in het gebied (zoals een grote storm of stochastische effecten) die effect kunnen hebben op de bodemdiergemeenschap van de vooroever.

In 2014-2015 zal op Ameland tussen de raaien RSP 1240-1700 opnieuw een vooroeversuppletie (2 miljoen m³) worden uitgevoerd, later nog aangevuld met een strandsuppletie (van totaal 1 miljoen m³). Deze suppleties worden uitgevoerd vanwege de landwaartse trend van de kustlijn ten opzichte van de BKL in het midden en oosten van Ameland, wat de veiligheid en recreatie kan beïnvloeden (Rijkswaterstaat, 2014). Om de situatie met betrekking tot de ecologie van de vooroever voorafgaand aan deze suppletie in kaart te brengen (T₀₂₀₁₄) zijn in 2014 monsters genomen van het benthos in de vooroever van het te suppleren gebied; de resultaten hiervan zijn in deze rapportage de T₀₂₀₁₄ situatie weergegeven.

Deze studie is onderdeel van het langjarige onderzoek wat als doel heeft het bieden van handvatten om toekomstige suppleties (locaties, timing, herkomst suppletiemateriaal) beter af te stemmen op de aanwezige natuur en de effecten op het ecologisch functioneren van de vooroever te minimaliseren.

1.1 Doel van de studie

Het doel van deze bemonstering is om de uitgangssituatie van de bodemgemeenschap van de vooroever van het te suppleren gebied voorafgaand aan de suppletie Ameland-Midden 2014-2015 (T₀₂₀₁₄) in kaart te brengen. Door te kijken welke soorten voorkomen, in welke biomassa en met welke dichtheden wordt inzicht verkregen in de uitgangssituatie voorafgaand aan de suppletie van gebied Ameland Midden ten opzichte van de referentiegebieden. Tevens wordt er een vergelijking gemaakt van Ameland-Midden met twee referentiegebieden met een andere suppletiehistorie (nooit gesuppleerd: Schiermonnikoog, 4 jaar geleden gesuppleerd: Ameland Impact en 5 jaar geleden gesuppleerd: Ameland Midden), en wordt er gekeken of er specifieke abiotische parameters aangewezen kunnen worden die sturend zijn voor mogelijke overeenkomsten en verschillen.

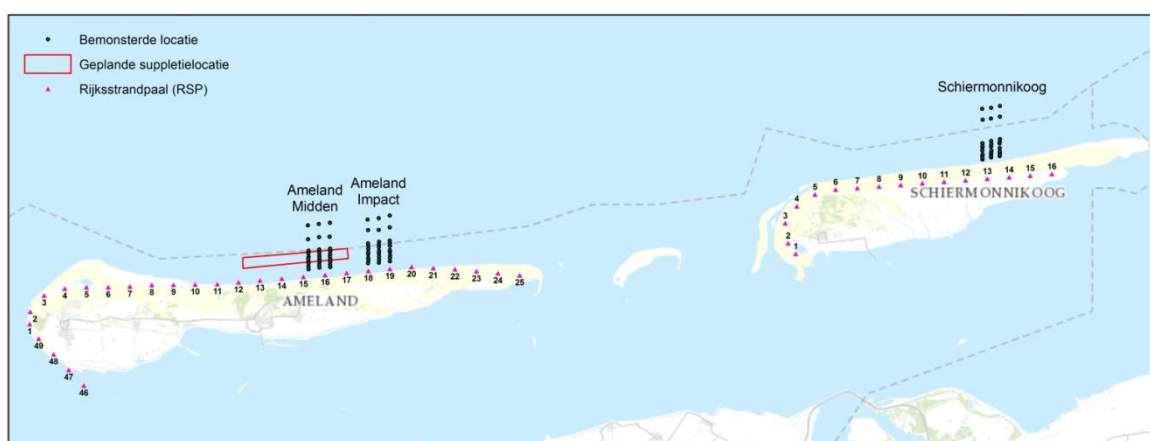
2 Methode

2.1 Studiegebieden

In dit onderzoek wordt er een vergelijking gemaakt tussen een deelgebied van het gebied waar gesuppleerd gaat worden (*Ameland Midden*), het referentie gebied (*Ameland Impact*) waar in 2011 de laatste suppletie heeft plaatsgevonden en waar eerder onderzoek is uitgevoerd en het referentiegebied (*Schiermonnikoog*) (Figuur 2.1 en tabel 4.1).

De gebieden zijn als volgt gedefinieerd:

- *Studiegebied Ameland Midden* (RSP¹ 14-17). Dit studiegebied ligt in het suppletiegebied van 2014-2015. Hierbij wordt opgemerkt dat het studiegebied kleiner is dan het gebied dat gesuppleerd wordt, wat RSP 11-17 beslaat. Dit studiegebied is voor het laatst gesuppleerd in 2010 en studiegebied wordt in de tekst 'Ameland Midden' genoemd.
- *Referentiegebied Ameland Impact* (RSP 17 - 20). Dit referentiegebied ligt ten oosten van Ameland Midden en is voor het laatst gesuppleerd in 2011. Er zal in 2014-2015 in dit gebied geen suppletie plaatsvinden. Hoewel dit gebied in dit onderzoek geen 'impact' gebied is van de suppletie 2014-2015, is de naamgeving afkomstig uit eerder onderzoek waarin dit gebied wel een suppletie onderging (Holzhauer et al., 2014). Aangezien het hier hetzelfde gebied betreft is ervoor gekozen de 'oude' benaming aan te houden.
- *Referentiegebied Schiermonnikoog* (RSP 12-14). Op Schiermonnikoog is nooit gesuppleerd. De kust van Schiermonnikoog is in eerdere studies aangewezen als geschikt referentiegebied voor Ameland omdat de bodemdiergemeenschap sterk overeenkomt (Vanagt et al, 2011). Opgemerkt wordt dat Schiermonnikoog een vooroever heeft die ondieper is en een flauwer profiel heeft dan Ameland. Tevens heeft het een minder uitgesproken bankensysteem dan Ameland (Van Dalfsen, Holzhauer, & Verduin, 2014).



Figuur 2.1 Overzicht ligging studiegebieden Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog en de geplande suppletielocatie.

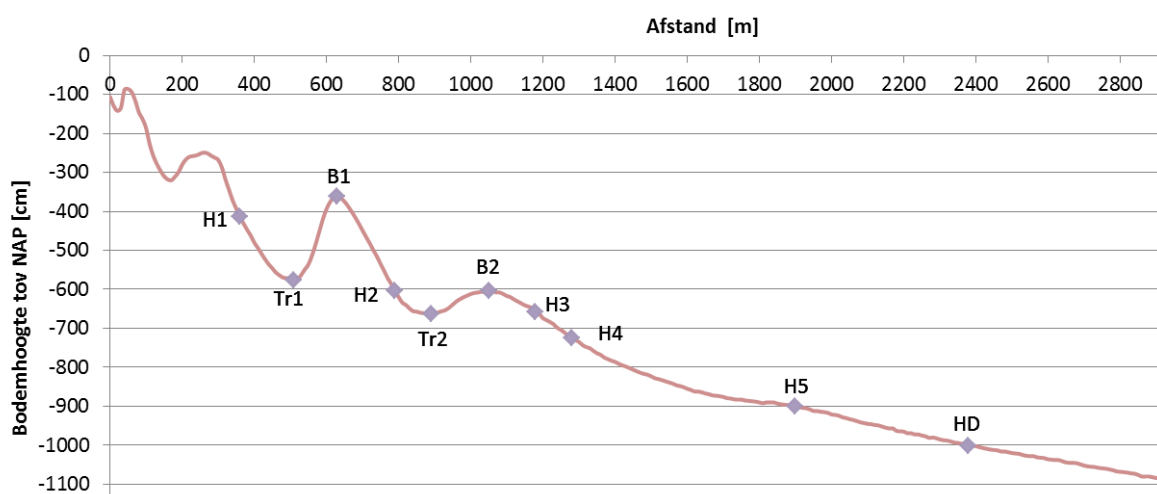
¹ RSP = Rijksstrandpaal en is de officiële kilometer aanduiding langs de kust van Rijkswaterstaat.

Tabel 2.1 Uitgevoerde onderwatersuppleties en bemonstering (rode vak is T_{2014}) op Ameland en Schiermonnikoog. Ameland Midden is het studiegebied (paars) in dit rapport, Ameland Impact en Schiermonnikoog zijn de referentiegebieden (oranje). Ameland Uitstraling en Ameland overig suppletiegebied zijn meegenomen in voorgaande studies en worden niet meegenomen in deze studie.

| Moment van bemonsteren/suppleren | Studiegebieden | | | | |
|--|--|--|--|--|-----------------------------|
| | Ameland overig suppletiegebied RSP 11-14 | Ameland Midden RSP 14 - 17 | Ameland Impact RSP 17 - 20 | Ameland Uitstraling ¹ RSP 20 - 23 | Schiermonnikoog RSP 11 - 14 |
| T0 ₂₀₀₉ 3 t/m 5 aug 2009 (grid) | 21 mb 5 sed | 20 mb 5 sed | 17 mb 6 sed | 6 mb 13 sed | |
| Mei t/m okt 2010 | RSP 11,4 t/m 14 (1,9 Milj m ³) | | | | |
| Mei t/m aug 2010 | | RSP 14 t/m 17 (1,1 Milj m ³) | | | |
| T0 ₂₀₁₀ 30 aug t/m 3 sept 2010 (6 * 3 raai) | | | 60 mb 19 sed | 60 mb 20 sed | 67 mb 13 sed |
| Jan t/m juli 2011 | | | RSP 17 t/m 20 (1,6 Milj m ³) | | |
| T1 24 t/m 30 sept 2011 (6 * 3 raai) | | | 64 mb 30 sed | 60 mb 29 sed | 60 mb 30 sed |
| T2 1 okt t/m 3 okt 2012 (6 * 3 raai) | | | 66 mb 33 sed | 61 mb 31 sed | 16 mb 7 sed |
| T3 3 t/m 6 sept 2013 (6 * 3 raai) | | | 66 mb 30 sed | 66 mb 30 sed | 60 mb 30 sed |
| T0 ₂₀₁₄ 4 t/m 5 aug 2014 (3*3 raai) | | 30 mb 10 sed | 30 mb 10 sed | | 30 mb 10 sed |
| Jan t/m aug 2015 | RSP 11,4 t/m 16 (2,0 Milj m ³) | | | | |
| Uitgevoerde bemonstering | | | | | |
| Suppletie | | | | | |

2.2 Monsternamestrategie

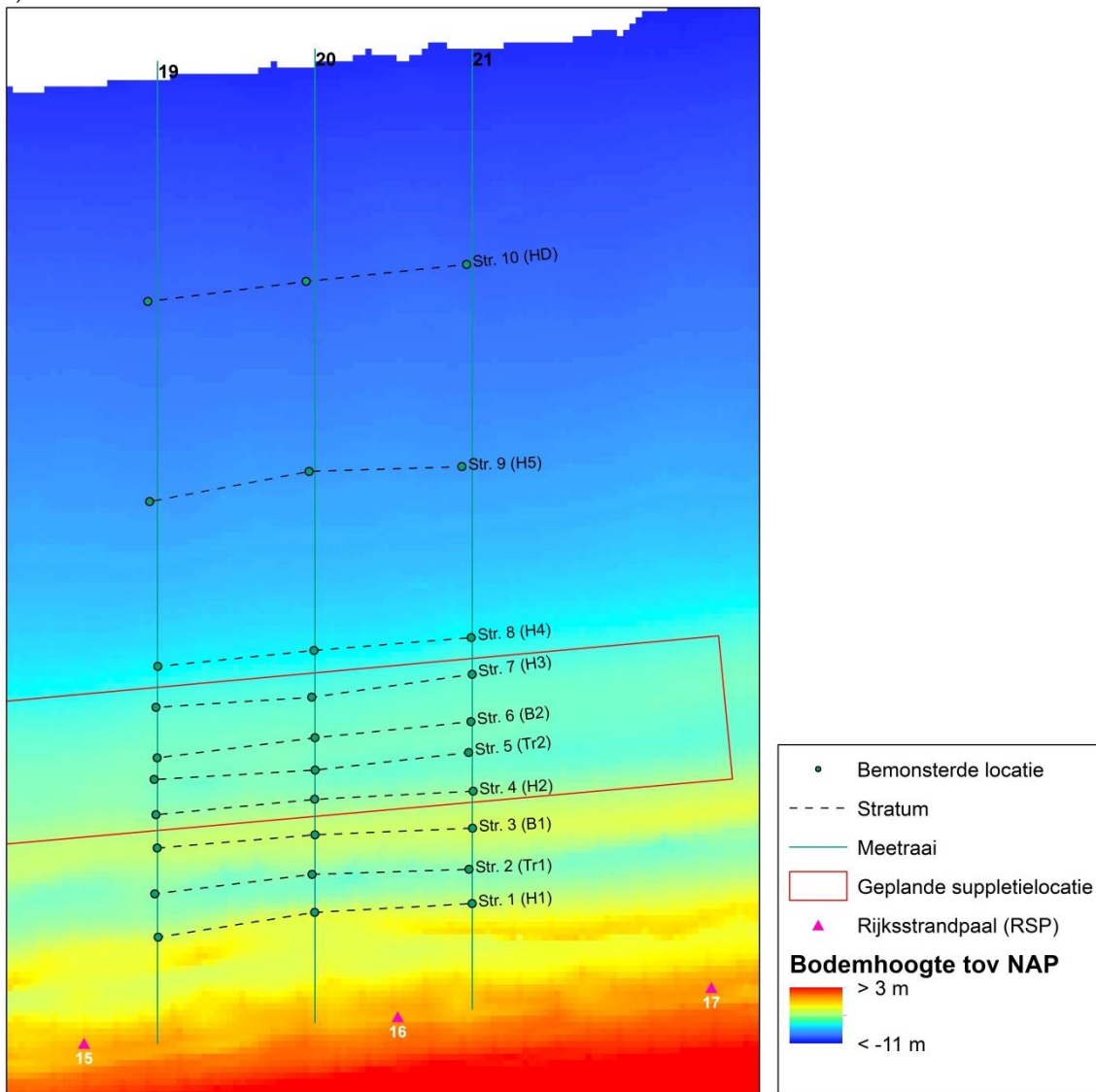
In ieder gebied zijn in totaal 30 monsters genomen, verdeeld over drie raaien met elk tien strata parallel aan de kust (Figuur 2.3). De ligging van deze strata zijn bepaald aan de hand van het bankenpatroon van de vooroever Figuur 4.2 waarbij er in ieder geval 4 strata in de geplande suppletie zone zijn gepositioneerd en 1 stratum direct erbuiten.



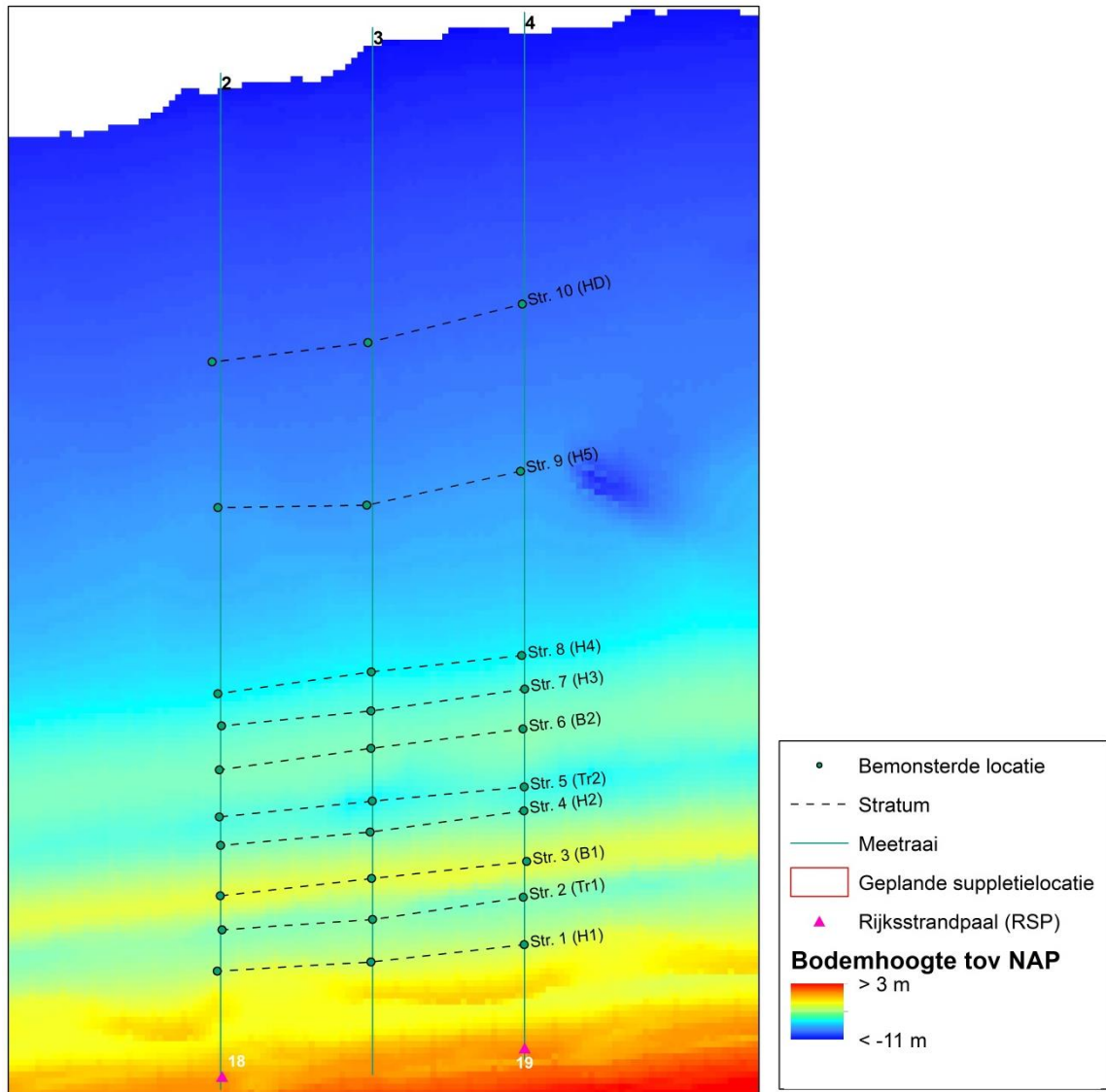
| Stratum Code | Omschrijving |
|--------------|---|
| 1 | H1 De kustwaarts gelegen helling tov van de eerste trog |
| 2 | Tr1 De bodem van de eerste trog |
| 3 | B1 De top van de eerste brekerbank |
| 4 | H2 De kustwaarts gelegen helling tov van de buitenste trog |
| 5 | Tr2 De bodem van de buitenste trog |
| 6 | B2 De top van de buitenste brekerbank |
| 7 | H3 De zeewaarts gelegen helling tov van de top van de buitenste brekerbank, binnen het suppletiegebied |
| 8 | H4 De buitenste helling, op circa 7 m diepte, net binnen het suppletiegebied |
| 9 | H5 De buitenste helling, op circa 9 m diepte |
| 10 | HD De buitenste helling, op circa 10 m diepte |

Figuur 2.2 Schematische dwarsdoorsnede van de vooroever van de kust met de monsterlocaties op het subtidaal en de morfologische beschrijving van de locatie. Het rode vak geeft de monsterlocaties in het geplande suppletiegebied weer.

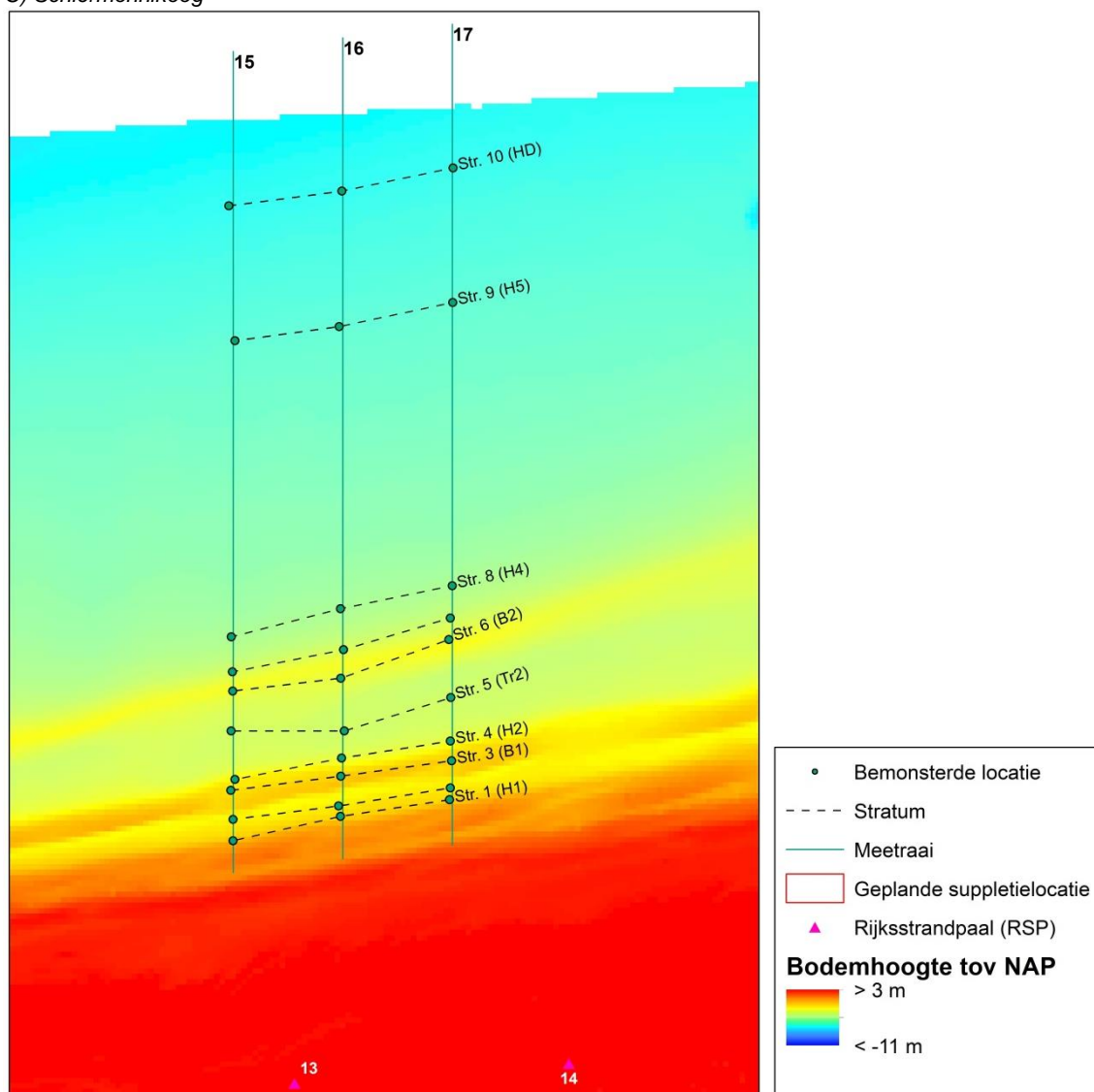
A) Ameland Midden



B) Ameland Impact



C) Schiermonnikoog



Figuur 2.3 Bankenpatroon Ameland en Schiermonnikoog met A) Ameland Midden, B) Ameland Impact en C) Schiermonnikoog met bijbehorende meetraaien en strata per monsterpunt aangegeven.

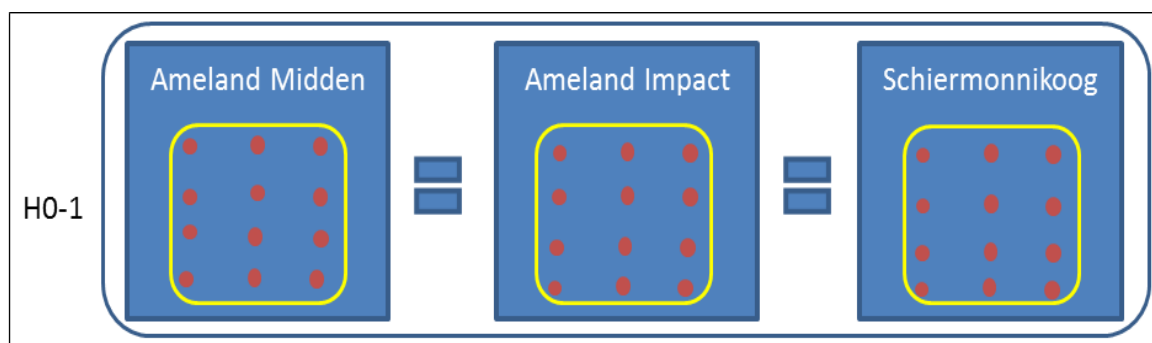
De bemonstering van het subtidale macrobenthos is op 4 en 5 augustus 2014 uitgevoerd vanaf een ondiep stekend schip met behulp van een 0,1 m² Van Veen happer (Van Dalen et al 2014). Hierbij is per station een enkel monster genomen en het hele monster is gezeefd en geconserveerd voor analyse in het laboratorium. Deze apparatuur is eveneens het tuig waarmee de monsternamen in 2009, 2010, 2011 en 2012 is uitgevoerd (Goudswaard et al., 2009; Vanagt et al., 2011; Verduin et al., 2012; Wijsman, Goudswaard, Meesters, & Vanagt, 2010). Van elk monster is de werkelijke geografische positie en de waterdiepte t.o.v. NAP geregistreerd. Sedimentmonsters zijn uit de Van Veen happer gestoken voor alle locaties langs één raai per studiegebied voor korrelgrootteanalyse. De weersomstandigheden waren zeer gunstig en de bemonstering is zonder problemen verlopen.

2.3 Hypotheses

Het doel van deze bemonstering is om de uitgangssituatie van de bodemgemeenschap van de vooroever van het te suppleren gebied voorafgaand aan de suppletie Ameland-Midden 2014-2015 (TO_{2014}) in kaart te brengen. Doordat de studiegebieden in bepaalde opzichten verschillen; zoals in suppletiehistorie en diepte, worden er verschillen verwacht in de samenstelling van de bodemdiergemeenschap. Zoals genoemd is de abiotiek vaak in grote mate bepalend voor het voorkomen van verschillende bodemdiersoorten op de vooroever (McLachlan & Dorvlo, 2005). De overeenkomsten en verschillen tussen gebieden kunnen op verschillende schalen geanalyseerd worden: op basis van vooraf vastgesteld studiegebied maar ook een ruimtelijke verdeling binnen een studiegebied bijvoorbeeld aan de hand van morfologische entiteiten (bank, stratum, trog). Doordat verwacht werd dat zowel studiegebieden kunnen verschillen in abiotiek, maar dat er ook binnen studiegebieden een ruimtelijke indeling gemaakt kan worden op basis in soortensamenstelling door verschil in abiotiek, is de vooroever van Ameland Midden vergeleken met de referentiegebieden Ameland Impact en Schiermonnikoog voor een TO_{2014} schets op verschillende schaalgroottes. Er zal in dit onderzoek een aantal hypothesen getest worden om antwoord te geven op de onderzoeksvraag.

Ten eerste wordt er een vergelijking gemaakt tussen de gebieden in zijn geheel, om vast te stellen of er op grote schaal verschillen tussen gebieden aangewezen kunnen worden. Hiertoe is de volgende hypothese geformuleerd:

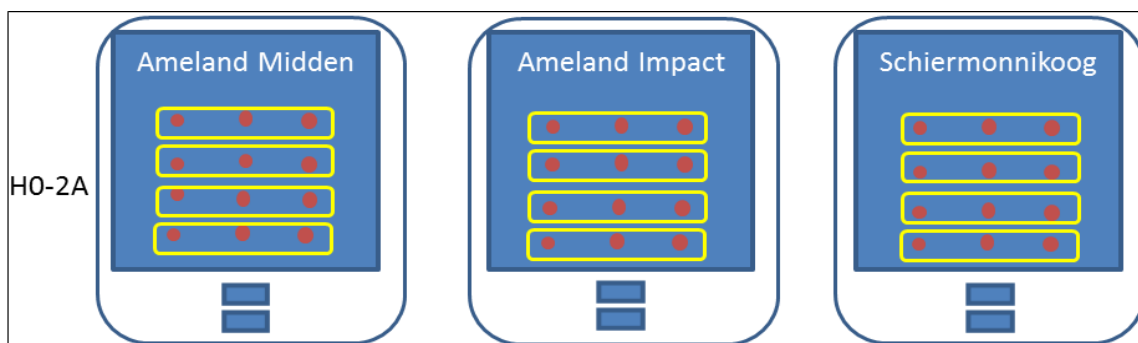
- **H0-1:** Er is geen verschil in totale biomassa, dichtheid en diversiteit en soortensamenstelling van macrobenthos tussen Ameland Midden en de referentiegebieden (Figuur 2.4).



Figuur 2.4 Overzicht H0-1 Er is geen verschil in biomassa, dichtheid, diversiteit en soortensamenstelling van macrobenthos tussen Ameland Midden en referentiegebieden.

Op kleinere schaal worden er binnen de studiegebieden ook verschillen verwacht in abiotiek en daardoor in soortensamenstelling. De ligging op een bank, helling of trog kunnen invloed hebben op het stromingspatroon en de blootstelling aan golfenergie. Ook kunnen aspecten als diepte en korrelgrootte bepalend zijn voor de soortensamenstelling (Martins, 2013; Speybroeck et al., 2006). Niet al deze abiotische variabelen zijn meegenomen in de bemonstering. Echter, er wordt wel een ruimtelijk patroon verwacht als gevolg van een ruimtelijk patroon in de abiotische variabelen. Daarom is in eerste instantie los van de abiotiek geanalyseerd of een dergelijk patroon in de samenstelling van het macrobenthos gevonden kan worden. De factoren stratum en morfologische entiteit worden in deze analyse meegenomen omdat verwacht wordt dat omstandigheden binnen een stratum overeen komen (zelfde diepte en ligging ten opzichte van de golven) en mogelijk tussen morfologische entiteiten ook. Hiertoe is de volgende hypothese opgesteld:

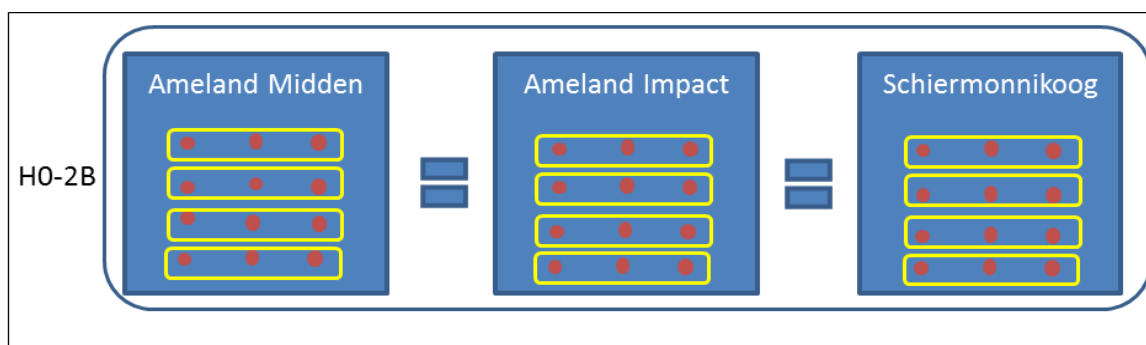
- **H0-2A:** Er is geen ruimtelijk patroon in soortensamenstelling van het macrobenthos binnen de afzonderlijke studiegebieden (Figuur 2.5).



Figuur 2.5 Overzicht H0-2A Er is geen ruimtelijk verschil in biomassa en dichtheid van macrobenthos binnen de afzonderlijke studiegebieden.

Mocht er een ruimtelijk patroon aanwezig zijn binnen de studiegebieden, dat waarschijnlijk het gevolg is van de onderliggende abiotiek, dan is het interessant om te vergelijken of dit patroon overeenkomt tussen de gebieden. Op deze manier wordt de T0₂₀₁₄ situatie en mogelijke verschillen tussen gebieden inzichtelijk gemaakt. Hiertoe is de volgende hypothese geformuleerd:

- **H0-2B:** De ruimtelijke patronen in soortensamenstelling komen niet overeen tussen de studiegebieden (Figuur 2.6).

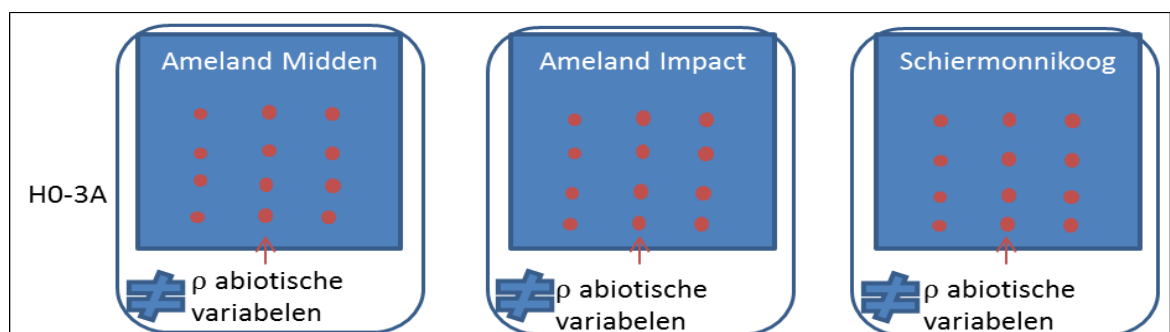


Figuur 2.6 Overzicht H0-2B Er is geen ruimtelijk patroon op basis van biomassa en dichtheid van macrobenthos dat overeenkomt tussen Ameland Midden en de referentiegebieden.

Doordat de abiotiek geacht wordt ten grondslag te liggen aan de bodemdiersamenstelling (McLachlan & Dorvlo, 2005), is het van belang om inzicht te krijgen in welke abiotische parameters de samenstelling in de verschillende studiegebieden het best verklaren. De zeer grootte jaarlijkse variatie die gevonden werd in Holzhauser et al (2014) toont aan dat veranderingen over jaren niet eenduidig te koppelen zijn aan de suppletie en dat er ook een jaareffect kan zijn die een effect hebben op bijvoorbeeld de broedval. Echter, door de abiotische variabelen inzichtelijk te maken kunnen de resultaten tussen de jaren mogelijk beter vergeleken worden. Door veranderingen in alle gebieden naast elkaar te leggen en te spiegelen aan de veranderingen in bijbehorende abiotische variabelen, kan inzichtelijk worden gemaakt in welke mate verschillen veroorzaakt worden door de zandsuppletie.

Dit is van belang omdat dit handvatten zou kunnen bieden voor het meer ecologisch gericht suppleren. Hoewel niet alle abiotische variabelen zijn gemonitord, kan er geanalyseerd worden of er mogelijk een relatie is tussen de gemeten abiotiek en het macrobenthos in de verschillende studiegebieden. Deze relatie zou ook een eventueel ruimtelijk patroon in macrobenthos kunnen verklaren. Hiertoe is de volgende hypothese opgesteld:

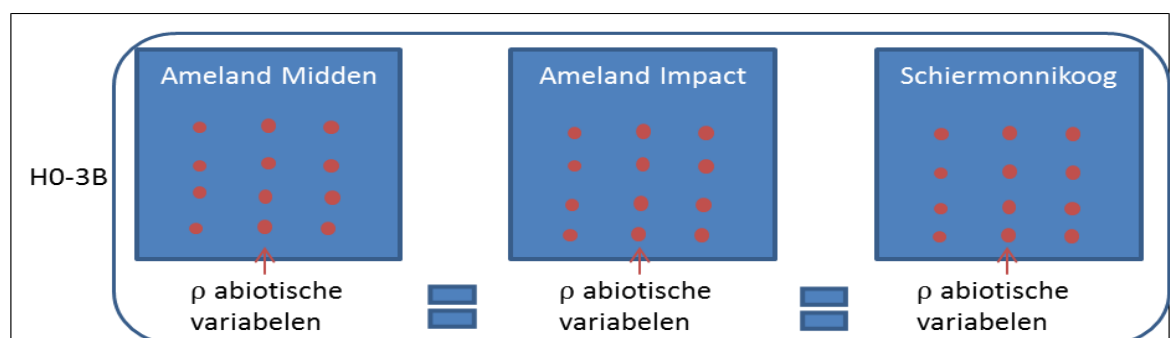
- **H0-3A:** Er is geen relatie tussen de soortensamenstelling van het macrobenthos en de abiotische factoren (diepte, afstand tot de laagwaterlijn, korrelgrootte en organische stofgehalte) binnen elk studiegebied (Figuur 2.7).



Figuur 2.7 Overzicht H0-3A Er is geen relatie binnen elk studiegebied tussen enerzijds de biomassa en dichtheid van het macrobenthos en anderzijds diepte, afstand tot de kust, korrelgrootte en organische stofgehalte. ρ staat voor een correlatiecoëfficiënt.

Hoewel gebieden mogelijk verschillen, is het van belang om inzicht te krijgen in de mate waarin abiotische parameters verklarend zijn in de verschillende studiegebieden en of deze relaties overeen komen tussen de studiegebieden. Hier is de volgende hypothese voor geformuleerd:

- **H0-3B:** De in H0-3A genoemde relaties tussen soortensamenstelling en abiotiek verschillen niet tussen de studiegebieden (Figuur 2.8).



Figuur 2.8 Overzicht H0-3B Er is geen verschil tussen de in H0-3A genoemde gebied specifieke relaties van elk studiegebied.

2.3.1 Deelvragen

Om deze hypothesen te kunnen testen zijn bij iedere hypothese deelvragen geformuleerd aan de hand waarvan analyses zijn gedaan. Tabel 2.2 geeft een overzicht van de hypothesen, bijbehorende deelvragen en analyses. De analyses worden nader beschreven in paragraaf 4.4.

Tabel 2.2 Overzicht hypothesen, bijbehorende deelvragen en uitgevoerde analyses. Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog zijn respectievelijk afgekort als 'AM', 'AI' en 'SR'. Analyses zijn nader beschreven in paragraaf 4.4. Hierin staat n voor aantal en ADG voor asvrij drooggewicht.

| Hypothesen | Deelvragen | Analyses |
|---|--|--|
| H0-1: Er is geen verschil in totale biomassa, dichtheid en diversiteit en soortensamenstelling van macrobenthos tussen Ameland Midden en de referentiegebieden | Zijn dezelfde soorten dominant in het macrobenthos van de verschillende studiegebieden op basis van dichtheid en biomassa? | Weergave 10 meest dominante soorten per studiegebied (AM, AI, SR) op basis van dichtheid (n/m^2) en biomassa ($g\ ADG/m^2$). |
| | Is er een verschil tussen de deelgebieden in dichtheid van het macrobenthos? | Dichtheid (n/m^2) per deelgebied (AM, AI, SR) in staafdiagram. One-way ANOVA (afhankelijk: gemiddelde dichtheid per monster (n/m^2); onafhankelijk: gebied AI, AR, SR). Levene's test voor homogeniteit. Post-Hoc Tukey Kramer paarsgewijze test. |
| | Is er een verschil tussen de deelgebieden in biomassa van het macrobenthos? | Biomassa ($g\ ADG/m^2$) per deelgebied (AM, AI, SR) in staafdiagram. One-way ANOVA (afhankelijk: gemiddelde biomassa per monster ($g\ ADG/m^2$); onafhankelijk: gebied AI, AR, SR). Levene's test voor homogeniteit. Post-Hoc Tukey Kramer paarsgewijze test. |
| | Is er een verschil tussen de deelgebieden in diversiteit van het macrobenthos? | Shannon-Wiener's index voor diversiteit per studiegebied (AM, AI, SR) op basis van dichtheid (n/m^2). Gemiddeld aantal soorten per monster (n/m^2). One-way ANOVA (afhankelijk: gemiddelde Shannon-Wiener diversiteit per monster; onafhankelijk: gebied AI, AR, SR). Levene's test voor homogeniteit. Post-Hoc Tukey Kramer paarsgewijze test. |
| | Is er een verschil tussen de gebieden in species richness van macrobenthos? | Aantal unieke soorten (n) per deelgebied (AM, AI, SR). |
| | Zijn dezelfde soortgroepen aanwezig in het macrobenthos van Ameland Midden, Schiermonnikoog, Ameland Impact? | Weergave van soortgroepen (% per phylum) per deelgebied (AM, AI, SR). |
| | H0-2 Er is geen ruimtelijke patroon in soortensamenstelling binnen elk studiegebied en dit patroon komt niet overeen tussen de studiegebieden. | Is er een ruimtelijke indeling te maken van alle macrobenthos monsters op basis van dichtheid? |
| Is er een ruimtelijke indeling te maken binnen elk deelgebied afzonderlijk (AI, AM, SR) op basis van dichtheid en komt deze ruimtelijke indeling overeen tussen de gebieden? | | Clusteranalyse in Primer op basis van dichtheid (n/m^2) per monster per afzonderlijk deelgebied (AI, AM, SR). Labelling clusters met ruimtelijke variabelen (stratum, ligging op helling/bank/trog) en weergave aan de hand van bankenpatroon. Minimale clusterovereenkomst 50%. Visuele analyse verklarende ruimtelijke variabelen voor clusters. Visuele vergelijking gebiedsspecifieke clustering tussen gebieden (AM, AI, SR). |
| Komen de monsters van vooraf gedefinieerde strata overeen tussen deelgebieden voor dichtheid en biomassa? | | Multi-dimensional-scaling plots van alle gebieden met als factor stratum en kleurweergave aan de hand afstand van de kust van strata voor alle gebieden (AM, AI, SR) voor biomassa ($g\ ADG/m^2$) en dichtheid (n/m^2) per monster. Two-factor nested ANOSIM tussen gebieden met de factor stratum nested in de factor gebied voor zowel dichtheid (n/m^2) als biomassa ($g\ ADG/m^2$) afzonderlijk per gebied (AI, AM, SR). |
| Is er een relatie tussen enerzijds de biomassa en dichtheid en anderzijds de abiotische variabelen (diepte, afstand tot de kust, korrelgrootte en organische stofgehalte) in alle monsters (AM, AI, SR)? | | BioENV+Stepwise (BEST) analyse van abiotische variabelen diepte (m t.o.v. NAP), afstand tot de laagwaterlijn (m), korrelgrootte (D50) en organisch stofgehalte (%) samen met resemblance matrix van biomassa ($g\ ADG/m^2$) en dichtheid (n/m^2) afzonderlijk op monsters van alle studiegebieden (AI, AM, SR) samen. Spearman correlatie methode, global test voor significantie correlatie. Weergave best verklarende abiotische variabelen in een MDS plot naast een MDS plot voor biomassa en dichtheid data afzonderlijk. |
| H0-3: Er is geen relatie tussen de soortensamenstelling van het macrobenthos en de abiotische factoren (diepte, afstand tot de laagwaterlijn, korrelgrootte en organische stofgehalte) binnen elk studiegebied en deze relatie verschilt niet tussen studiegebieden. | Is er een relatie tussen de biomassa en dichtheid afzonderlijk en abiotische variabelen binnen elk studiegebied (AM, AI, SR)? | BEST analyse, Spearman correlatie met best verklarende abiotische variabelen en global test voor significantie zoals bovenstaand beschreven. Weergave best verklarende abiotische variabelen in een MDS plot naast een MDS plot voor biomassa en dichtheid data afzonderlijk. |
| | Zijn de gevonden relaties tussen best verklarende abiotische variabelen voor de biomassa en dichtheid afzonderlijk binnen elk studiegebied (AI, AM, SR) gelijk tussen de verschillende studiegebieden? | Beschrijvende vergelijking tussen verklarende abiotische variabelen voor biomassa en dichtheid afzonderlijk per gebied (AM, AI, SR). |

2.4 Analyses

2.4.1 Modificaties van de dataset

Een aantal van de waargenomen soorten kan niet op een representatieve manier bemonsterd worden met de Van Veen Happer (Van Dalfsen, Holzhauer, & Verduin, 2014). Gevonden aantallen van deze soorten zullen daardoor naar waarschijnlijkheid niet representatief zijn voor het gebied. Om deze reden zijn de volgende soorten buiten de analyse gelaten: *Sagitta setosa*, *Anthozoa*, *Edwardsia*, *Hydrozoa*, *Hyperia galb*, *Urothoe poseidonis*, *Bodotria scorpioides*, *Cumopsis goodsir*, *Diastylis bradyi*, *Decapoda*, *Cancer pagurus*, *Crangon*, *Crangon crangon*, *Hemigrapsus*, *Liocarcinus*, *Portunidae*, *Carcinus maenas*, *Mysidae*, *Mesopodopsis slabberi*, *Schistomysis*, *Schistomysis kervillei*, *Pharidae*, *Nudibranchia*.

Daarnaast is *Ensis directus* slecht te bemonsteren met een Van Veen Happer dus zullen er analyses zijn waarin *Ensis directus* wel en niet meegenomen is. Doordat *Echinocardium cordatum* erg "patchy" verdeeld is over de bodem en daardoor een vertekend beeld kan geven van de relatieve aanwezigheid, afhankelijk van de monsterlocatie, worden ook enkele analyses zonder *Echinocardium cordatum* gedaan. Het ontbreken van deze soorten wordt bij de analyse vermeld.

2.4.2 Univariate analyses

Soortenaccumulatiecurve

Voorafgaande aan de analyses is gekeken of het aantal genomen monsters representatief is voor de bodemdiergemeenschap van de studiegebieden. Een soortenaccumulatiecurve geeft weer of het aantal genomen monsters representatief is voor de aanwezige soorten in een gebied. Voor elk gebied is een soortenaccumulatiecurve gemaakt in Primer v6. Bij een asymptotische soortenaccumulatiecurve zijn er voldoende monsters genomen om het gebied te representeren en zullen extra monsters niet veel nieuwe soorten bevatten.

Dominante soorten

Een rangschikking van de 10 meest dominante soorten dichtheid (n/m^2) en biomassa (g ADG/ m^2) geeft inzicht in de dominante soorten van een gebied. Daarnaast wordt het percentage soortgroepen (phylum) op basis van dichtheid (n/m^2) en biomassa (g ADG/ m^2) per gebied bepaald. Dit geeft informatie over het type soortgroepen dat voorkomt in de verschillende gebieden, zoals schelpdieren of wormen.

Diversiteit en species richness

De species richness geeft weer hoeveel unieke soorten er zijn gevonden in een gebied. De diversiteit van verschillende gebieden wordt weergegeven aan de hand van de Shannon-Wiener diversiteitsindex. Deze wordt bepaald op basis van dichtheid per soort (n/m^2) met behulp van de volgende formule:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Waarbij H' de Shannon Wiener diversiteitsindex is en p_i de proportie van individuen per soort. De Shannon-Wiener diversiteitsindex is tevens als maat voor diversiteit gehanteerd in voorgaande rapportages over macrobenthos van Ameland (Goudswaard 2009, Vanagt 2011, Verduin 2012, Holzhauer et al., 2014). Tevens is het gemiddeld aantal soorten per monster (n/m^2) bepaald (S) per gebied.

Verskil in diversiteit is statistisch getest op basis van de Shannon-Wiener diversiteitsindex per monster per gebied (Ameland Midden, Ameland Impact, Schiermonnikoog), met behulp

van een one-way Analysis of Variance (ANOVA) in IBM SPSS Statistics 22. Hierbij is de gemiddelde diversiteit de afhankelijke en het gebied de onafhankelijke factor. Waarden zijn vooraf getransformeerd met een log10 functie en getest op normaliteit. Homogeniteit van de varianties is getest met Levene's test voor homogeniteit. Een Tukey post-hoc paarsgewijze test tussen gebieden is uitgevoerd wanneer de varianties gelijk waren (betrouwbaarheidsinterval van 95%).

Biomassa en dichtheid

Zowel biomassa (g ADG/m²) als dichtheid (n/m²) van macrobenthos zijn vergeleken tussen de studiegebieden Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog door ze weer te geven in een staafdiagram. Beide parameters worden gehanteerd omdat er geen aanleiding is om aan te nemen dat een enkele parameter representatief is voor de samenstelling van macrobenthos.

Biomassa wordt uitgedrukt in gram as-vrij drooggewicht per monster (g ADG/m²) en dichtheid wordt uitgedrukt in aantal per vierkante meter (n/m²). De waarden zijn per monster, welke een afmeting van 0,1 m² hebben, echter dit wordt standaard uitgedrukt per m² voor zowel dichtheid als biomassa. Biomassa is weergegeven in een staafdiagram zowel zonder als met *E. directus* en *E. cordatum* om de impact van het betrekken van de soorten in de analyse weer te geven.

Verschil tussen de gebieden op basis van biomassa (g ADG/m²) en dichtheid (n/m²) is getest aan de hand van een one-way ANOVA in IBM SPSS Statistics 22 voor de variabelen afzonderlijk. Dichtheid data zijn vooraf getransformeerd met een log10 functie omdat de data niet normaal verdeeld was. Biomassa is getransformeerd met een wortelfunctie om de data normaal te kunnen verdelen. Homogeniteit van de varianties is getest met Levene's test voor homogeniteit. Een Tukey post-hoc paarsgewijze test tussen gebieden is uitgevoerd wanneer de varianties gelijk waren.

2.4.3 Multivariate analyses

Macrobenthos monsters van de vooroever hebben verschillende ruimtelijke factoren die het monster kunnen beïnvloeden; namelijk het studiegebied (Ameland Midden, Ameland Impact of Schiermonnikoog) en de ligging van het monsterpunt binnen een studiegebied. Om inzicht in de rol van variabelen te krijgen is een aantal multivariate analyses uitgevoerd.

Clustering monsters

De clusteranalyse van de monsters is uitgevoerd in Primer v6. Zowel de monsters van de studiegebieden afzonderlijk als van alle studiegebieden samen zijn geanalyseerd, om zowel op gebied specifieke als algemenere ruimtelijke patronen te herkennen. De clusteranalyse is gedaan op basis van dichtheid (n/m²) per soort per monster. *Ensis directus* en *Echinocardium cordatum* zijn hierin meegenomen. Vanwege de omvang van de analyse is ervoor gekozen om deze analyse alleen voor dichtheden uit te voeren en niet voor de biomassa. Er is voor dichtheid gekozen omdat in de univariate analyses de grootste verschillen op basis van dichtheid waren. Ook waren de soorten *Ensis directus* en *Echinocardium cordatum* vanwege hun grote individuele gewicht van grote invloed op de biomassa waarden. Dichtheden zijn vooraf getransformeerd met een wortelfunctie om de waarden per monster meer vergelijkbaar te maken. Er is gekozen voor een wortelfunctie om vooral de dominante en gemiddeld dominante soorten een grote rol te geven in de verschillen tussen gebieden ten opzichte van de meer zeldzame soorten. Vervolgens is er een Bray Curtis resemblance matrix in Primer v6 gemaakt.

Per clusteranalyse zijn monsters met een minimale overeenkomst van 50% gegroepeerd. Aan de hand van deze clustering en de (overeenkomst in) ruimtelijke eigenschappen per monster (gebied, stratum, ligging op een helling/trog/bank) is geanalyseerd welke ruimtelijke factoren het meest verklarend blijken voor groepering van de monsters.

MDS plots en ANOSIM

Om een mogelijke ruimtelijke gradiënt in de monsters verder te kunnen aantonen, zijn naast een clusteranalyse ook multi-dimensional scaling plots (MDS-plots) gemaakt in Primer v6. Een Principle Component Analysis (PCA) of een Unconstrained Correspondence Analysis (CA) waarbij ook de omgevingsvariabelen kunnen worden meegenomen was hier ook mogelijk geweest en had de vergelijking met abiotiek bevorderd. Er is echter gekozen voor een MDS omdat hierbij bij een biologische dataset kan worden uitgegaan van een Bray-Curtis similarity matrix die niet wordt beïnvloed door de nul-waarden van de biologische dataset. Bij de Euclidian distance die gebruikt wordt bij PCA gebeurt dit wel. Tevens laat een PCA verschillen tussen monsters 2-dimensionaal zien, terwijl er in een MDS-plot een multidimensionaal component zit. Het tweedimensionaal maken, kan een vertekend beeld opleveren over de verschillen tussen monsters (Clarke & Warwick, 2001).

MDS plots zijn geanalyseerd voor zowel dichtheid (n/m^2) als biomassa ($g\ ADG/m^2$) afzonderlijk. Voor biomassa worden de analyses zowel met als zonder de gewone hartegel *Echinocardium cordatum* en de Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus* gedaan en voor dichtheid alleen inclusief deze soorten. Data zijn vooraf getransformeerd aan de hand van een wortelfunctie en vervolgens in een Bray Curtis similarity matrix geplaatst. Monsterpunten zijn gekleurd weergegeven in de MDS plot aan de hand van de factor stratum (range 1-10), waarbij laag genummerde strata gekleurd zijn in het groene spectrum en hoog genummerde strata in het rode spectrum. Stratumnummers lopen vanaf de kust zeewaarts op in nummering.

Om gebieden te vergelijken en daarbij de ruimtelijke ligging van de monsters (stratum en gebied) in acht te kunnen nemen is een two-factor nested Analysis of Similarity (ANOSIM) uitgevoerd in Primer v6. Dit is gedaan op basis van de a priori gedefinieerde ruimtelijke factoren: gebied en stratum, waarbij de factor stratum (range 1-10) genest is in de factor studiegebied (Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog). Deze multivariate analyse is gekozen omdat er twee niveaus van ruimtelijke clustering hebben plaatsgevonden, namelijk de ruimtelijke factor gebied en daarbinnen de verdeling in strata (Clarke, Somerfield, & Gorley, 2008). Deze multivariate analyse is ook in voorafgaand onderzoek door Holzhauer et al (2014) gedaan.

Een one-factor ANOSIM is uitgevoerd voor zowel dichtheid (n/m^2) als biomassa ($g\ ADG/m^2$) data afzonderlijk. Voor biomassa worden de analyses zowel met als zonder *Echinocardium cordatum* en *Ensis directus* gedaan. Data zijn vooraf getransformeerd met behulp van een wortelfunctie en zijn vervolgens in een Bray Curtis resemblance matrix geplaatst. De ANOSIM is uitgevoerd op basis van deze resemblance matrix. Het aantal permutaties is gesteld op 999. De ANOSIM beperkt zich tot paarsgewijze vergelijkingen tussen studiegebieden en niet tussen strata. De reden hiervoor is dat een paarsgewijze vergelijking tussen strata te beperkt in het kunnen aantonen van significantie, vanwege het lage aantal mogelijke permutaties bij een monstergrootte per stratum per gebied van $n=3$.

Verklarende abiotische variabelen: Global BEST analyse

De algemene aanname is dat in de ondiepe, zandige vooroever van de Nederlandse Waddeneilanden de fysische omstandigheden en de soort specifieke reactie hierop bepalend

zijn voor de aanwezige soortgemeenschap en dat biologische interacties hierin een minimale rol spelen (McLachlan & Dorvlo, 2005). Als gevolg hiervan zouden de abiotische omstandigheden sterk moeten correleren met de gemeenschapskenmerken. Daarom is er een analyse gedaan naar de correlatie van abiotische variabelen met de gevonden soortensamenstelling. Deze analyse geeft de (combinatie van) abiotische variabelen weer die het sterkst correleren en dus het meest verklarend zijn voor de gevonden soortensamenstelling op basis van biomassa (g ADG/m²) en dichtheid (n/m²) afzonderlijk. Geteste abiotische variabelen zijn:

- *Diepte van het monster ten opzichte van NAP (m)*: Diepteligging kan een effect hebben op de hydrodynamica die het habitat beïnvloedt en op de lichtdoorlating in de waterkolom. Dit kan de patronen in het voorkomen van verschillende soorten beïnvloeden (Martins, 2013).
- *Afstand van het monster tot de laagwaterlijn (LWL) (m)*: Afstand tot de kust (laagwaterlijn) hangt samen met andere meer verklarende parameters zoals golfbreking en diepte.
- *Organische stof gehalte (%)*: Het organische stofgehalte kan bepalend zijn voor het voorkomen van soorten, doordat er een verband is tussen richness van de bentische gemeenschap en het organische stofgehalte. Dit komt doordat dit een belangrijke voedselbron is voor bentische organismen (Whitlatch, 1981).
- *Mediane korrelgrootte (D50)*: De mediane korrelgrootte hangt samen met de morfologie en het profiel van de vooroever, en wordt gezien als belangrijke abiotische parameter voor het functioneren van het ecosysteem (Speybroeck et al., 2006).

De best verklarende abiotische variabelen zijn geanalyseerd aan de hand van de Global BEST (BioEnv and STepwise) test in Primer v6. Deze analyse is in eerste instantie gedaan voor het gehele studiegebied (Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog) om een eventuele correlatie op grotere schaal vast te stellen. Ook is deze correlatie geanalyseerd per deelgebied. Ten slotte worden gevonden correlaties van een gebied vergeleken tussen de gebieden onderling om te zien of er consistente parameters zijn aan te wijzen die sterk correleren met de soortensamenstelling van de vooroever.

Abiotische variabelen zijn vooraf getransformeerd met een 10_{\log} functie om verschillen tussen de variabelen te verkleinen. Vervolgens zijn abiotische variabelen genormaliseerd en in een Euclidische afstandsmatrix geplaatst. Biomassa en dichtheid data voor corresponderende monsters zijn vooraf met een wortelfunctie getransformeerd en in een Bray Curtis resemblance matrix geplaatst.

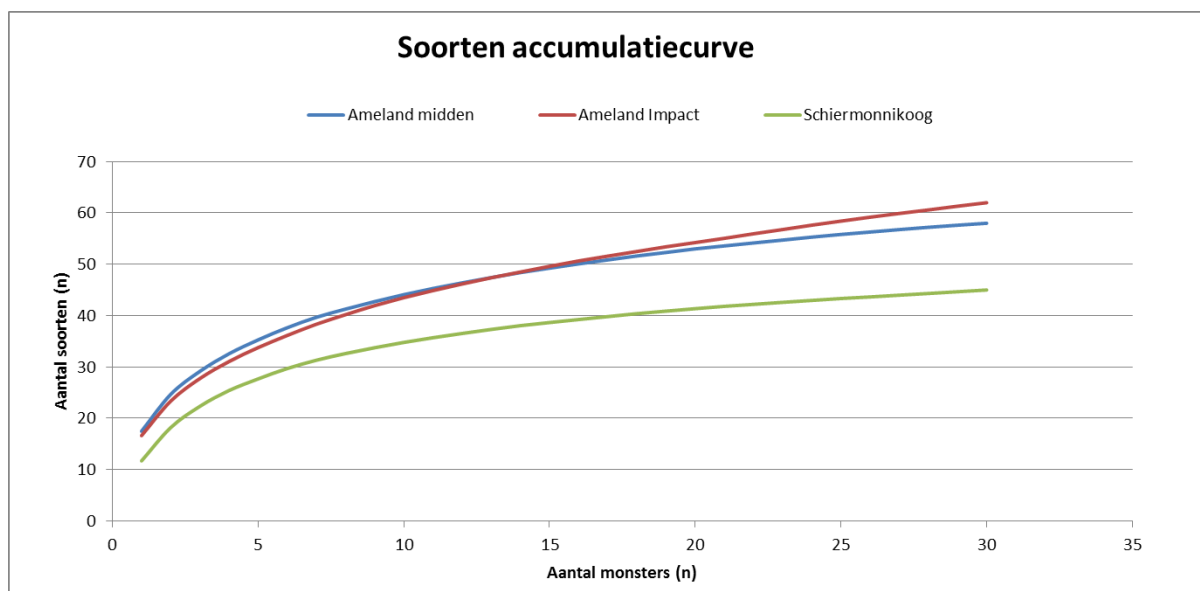
In de Global BEST test zijn de best verklarende abiotische variabelen voor het patroon in biotische data bepaald aan de hand van een Spearman correlatie tussen resemblance matrices van biotische en abiotische parameters (Clarke et al., 2008). Het aantal permutaties is op 999 gesteld en de Spearman correlatie is significant wanneer $p < 0,05$. Het MDS patroon van de best verklarende abiotische variabelen is weergegeven naast de MDS plots van bijbehorend de biomassa of dichtheid met als factor stratum. Tevens zijn de abiotische parameters als vectoren weergegeven in de plot.

Het organische stofgehalte (%) en de mediane korrelgrootte (D50) is slechts bepaald voor 1 raai per stratum. Hierdoor is de analyse naar de abiotisch meest verklarende variabelen gedaan op basis van een gereduceerde dataset voor de overige parameters, op basis van de monsters waarvan alle data beschikbaar waren.

3 Resultaten

3.1 Soortenaccumulatiecurve

Figuur 3.1 geeft de soortenaccumulatiecurve van studiegebied Ameland Midden en de referentiegebieden Ameland Impact en Schiermonnikoog weer.



Figuur 3.1 Soorten accumulatie curve van studiegebied Ameland Midden en de referentiegebieden Ameland Impact en Schiermonnikoog gebaseerd op het aantal geobserveerde soorten (S_{obs}).

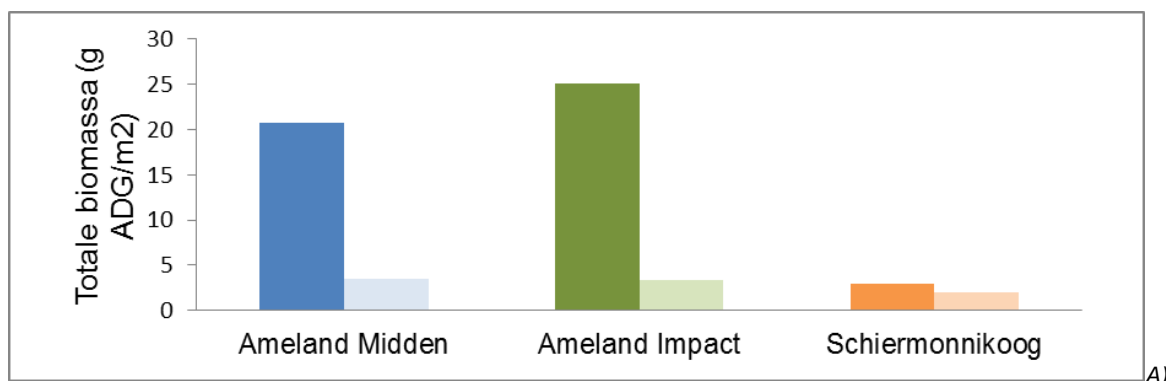
Figuur 3.1 laat zien dat in Schiermonnikoog waarschijnlijk voldoende monsters zijn genomen om de gemeenschap representatief weer te geven, doordat er nauwelijks nieuwe soorten gevonden zullen worden bij het nemen van meer monsters. De curve vlt minder af voor Ameland Midden en Ameland Impact dan voor Schiermonnikoog, waardoor het verschil in gevonden en aanwezige soortenaantal voor Schiermonnikoog kleiner zal zijn dan voor Ameland Midden en Ameland Impact.

3.2 Verschillen Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog

3.2.1 Dominante soorten

Op basis van biomassa

Figuur 3.2-A laat de absolute totale biomassa van alle soorten in de gebieden zien, zowel inclusief (donker gekleurd) als exclusief (licht gekleurd) de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) en de gewone hartegel (*Echinocardium cordatum*). Een overzicht van de tien dominante soorten per gebied op basis van biomassa is weergegeven in Figuur 3.2-B.



| Ameland Midden | | | Ameland Impact | | | Schiermonnikoog | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------|
| Dominante soorten | Totaal (g ADG/m²) | gem. individu (g ADG/m²) | Dominante soorten | Totaal (g ADG/m²) | gem. individu (g ADG/m²) | Dominante soorten | Totaal (g ADG/m²) | gem. individu (g ADG/m²) |
| <i>Echinocardium cordatum</i> | 10,54 | 5,648 | <i>Ensis directus</i> | 11,99 | 1,320 | <i>Ensis directus</i> | 0,94 | 2,163 |
| <i>Ensis directus</i> | 6,60 | 0,779 | <i>Echinocardium cordatum</i> | 9,82 | 7,555 | <i>Nephtys hombergii</i> | 0,77 | 0,216 |
| <i>Nephtys hombergii</i> | 1,13 | 0,262 | <i>Nephtys hombergii</i> | 1,25 | 0,252 | <i>Macoma balthica</i> | 0,70 | 0,108 |
| <i>Macoma balthica</i> | 0,84 | 0,149 | <i>Macoma balthica</i> | 0,96 | 0,107 | <i>Nephtys cirrosa</i> | 0,14 | 0,077 |
| <i>Donax vittatus</i> | 0,37 | 1,102 | <i>Magelona johnstoni</i> | 0,22 | 0,003 | <i>Nephtys longosetosa</i> | 0,08 | 0,475 |
| <i>johnstoni</i> | 0,24 | 0,002 | <i>Urothoe poseidonis</i> | 0,12 | 0,005 | <i>Magelona johnstoni</i> | 0,05 | 0,005 |
| <i>Abra alba</i> | 0,20 | 0,012 | <i>Nephtys cirrosa</i> | 0,10 | 0,126 | <i>Nephtys</i> | 0,04 | 0,008 |
| <i>Nephtys cirrosa</i> | 0,14 | 0,052 | <i>Mactra stultorum</i> | 0,09 | 2,625 | <i>Diogenes pugilator</i> | 0,04 | 0,039 |
| <i>Tellina fabula</i> | 0,10 | 0,046 | <i>Tellina fabula</i> | 0,08 | 0,065 | <i>Bathyporeia elegans</i> | 0,02 | 0,002 |
| <i>Lanice conchilega</i> | 0,10 | 0,053 | <i>Abra alba</i> | 0,08 | 0,013 | <i>Ophiura ophiura</i> | 0,02 | 0,546 |
| <i>Urothoe poseidonis</i> | 0,08 | 0,005 | <i>Nephtys longosetosa</i> | 0,07 | 0,459 | <i>Tellina fabula</i> | 0,02 | 0,095 |

Figuur 3.2 A) Totale biomassa per gebied (gemiddeld per monster, n=30) inclusief (donker gekleurd) en exclusief de gewone hartegel (*E. cordatum*) en de Amerikaanse zwaarschede (*E. directus*) (licht gekleurd) en B) rangschikking van dominante soorten op basis van biomassa en het gemiddelde as vrij drooggewicht per individu (g). Unieke dominante soorten voor biomassa zijn gekleurd weergegeven per gebied.

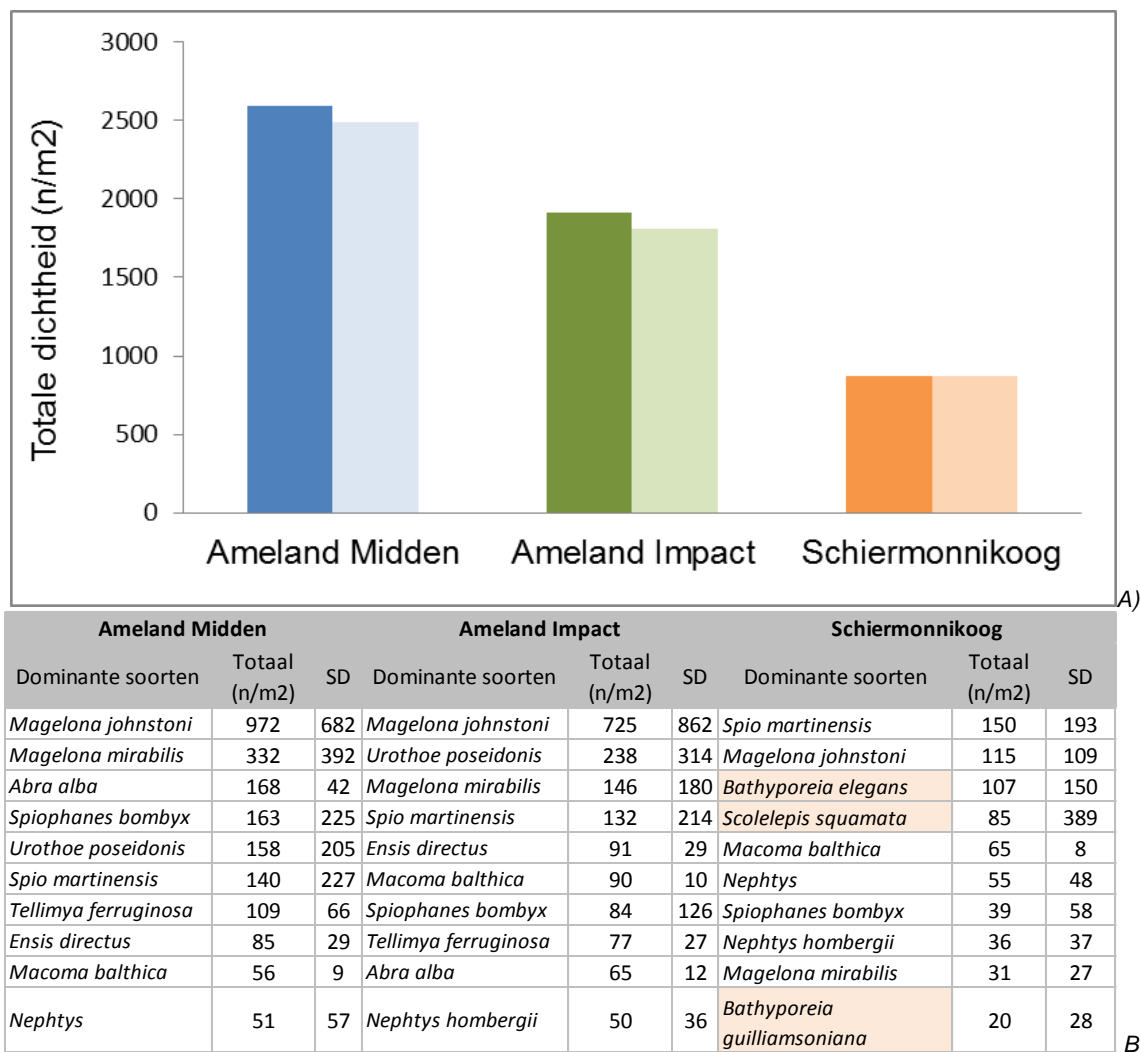
Figuur 3.2-A laat zien dat de totale biomassa in de gebieden van Ameland groter is dan in Schiermonnikoog. Het verschil in biomassa exclusief *Ensis directus* en *Echinocardium cordatum* toont aan dat deze soorten in grote mate verantwoordelijk zijn voor dit verschil.

Figuur 3.2-B toont tevens aan dat de gemiddelde biomassa per individu van deze soorten veel hoger is dan van andere soorten. Opmerkelijk is het gemiddelde gewicht van *Ensis directus* in Ameland ten opzichte van Schiermonnikoog. Op Ameland heeft *Ensis directus* een relatief laag gewicht ten opzichte van Schiermonnikoog, wat kan betekenen dat de gevonden individuen relatief jong zijn.

Dominante soorten vertonen veel overeenkomst tussen gebieden op basis van biomassa (Figuur 3.2-B). In alle gebieden zijn het nonnetje *Macoma baltica*, de worm *Nephtys hombergii* en de worm *Magelona johnstoni* verantwoordelijk voor een groot deel van de totale biomassa. Schiermonnikoog kent andere dominante soorten voor biomassa dan de studiegebieden van Ameland, zoals het heremietkreeftje *Diogenes pugilator*, het gravend knipsprietkreeftje *Bathyporeia elegans* en de gewone slangster *Ophiura ophiura*. In Ameland Impact is de grote strandschelp *Mactra stultorum* uniek als dominante soort voor biomassa. Dit is een soort met een relatief hoge biomassa per individu (2,6 g) en deze soort is maar 1 keer gevonden. Op Ameland Midden komen het zaagje *Donax vittatus* en de schelpkokerworm *Lanice conchilega* als enige voor als dominante soorten voor biomassa. *Lanice conchilega* is een kokerworm die structuren bouwt en daardoor bijdraagt aan de structuur van de bodem op de vooroever van Ameland Midden.

Op basis van dichtheid

In Figuur 3.3-A is de totale dichtheid van soorten op de vooroever van de gebieden weergegeven, zowel inclusief (donker gekleurd) als exclusief (licht gekleurd) de Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus* en de gewone hartegel *Echinocardium cordatum*. Een overzicht van de tien dominante soorten op basis van dichtheid is weergegeven in Figuur 3.3-B.



Figuur 3.3 Totale dichtheid (gemiddeld per monster, n=30) per gebied inclusief (donker gekleurd) en exclusief *E. cordatum* en *E. directus* (licht gekleurd) en B) rangschikking van dominante soorten op basis van dichtheid (gemiddeld per monster, n=30) met overeenkomstige soorten tussen gebieden in dezelfde kleur en de standaard deviatie (SD) van de totale dichtheid per soort van alle monsters van het gebied.

De totale dichtheid van macrobenthos is het hoogst in Ameland Midden, gevolgd door Ameland Impact en Schiermonnikoog (Figuur 3.3-A). De invloed van de Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus* en de gewone hartegel *Echinocardium cordatum* op de totale dichtheid is beperkt, en de bijdrage van deze soorten aan het totaal is lager voor dichtheid dan voor biomassa.

Er is grote overeenkomst tussen de gebieden met betrekking tot soorten die dominant zijn voor de dichtheid. De opportunistische worm *Magelona johnstoni* is de meest dominante soort voor dichtheid in alle gebieden. In Ameland Midden en referentiegebied Ameland Impact is de worm *Magelona johnstoni* met een factor 2 vaker aangetroffen dan de eerstvolgende soort.

Schiermonnikoog komt minder overeen met Ameland Midden dan referentiegebied Ameland Impact met betrekking tot dominante soorten. De soorten *Scolelepis* (borstelworm), *Bathyporeia guilliamsoniana* en *Bathyporeia elegans* (vlokreeftjes) zijn vooral dominant voor de totale

dichtheid van Schiermonnikoog en worden in Ameland niet aangetroffen onder de dominante soorten voor dichtheid.

3.2.2 Diversiteit, biomassa en dichtheid

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de biodiversiteit, dichtheid en biomassa en resultaten uit de paarsgewijze Tukey post-hoc tests. Statistische biomassa analyses zijn zowel inclusief als exclusief de gewone hartegel (*E. cordatum*) en de Amerikaanse zwaarschede (*E. directus*) vanwege de grote impact van deze soorten op de totale biomassa.

Zoals eerder gezien in Figuur 3.2 en Figuur 3.3 ligt de dichtheid en biomassa van Ameland Midden dichter bij die van Ameland Impact dan die van Schiermonnikoog. Een Levene's test toonde aan dat de varianties van biomassa, dichtheid en diversiteit data na transformatie gelijk zijn (respectievelijk $p=0,774$; $p=0,053$, $p=0,61$). Een one-way ANOVA gaf aan dat zowel de biomassa per monster als de dichtheid per monster significant verschilden tussen de drie gebieden ($P<0,001$).

Op basis van een Tukey post-hoc paarsgewijze test blijken Ameland Midden en referentiegebied Ameland Impact niet significant verschillend voor de gemiddelde biomassa per monster. Schiermonnikoog verschilt wel significant van Ameland Midden op basis van de biomassa per monster ($P<0,001$). Ook zonder de gewone hartegel (*E. cordatum*) en de Amerikaanse zwaarschede (*E. directus*), laat Schiermonnikoog een significant verschil zien met Ameland Midden, ondanks het ogenschijnlijk kleinere verschil tussen de gebieden zonder deze soorten (Figuur 3.2-A).

Op basis van dichtheid verschilden zowel Ameland Impact als Schiermonnikoog significant van Ameland Midden ($P<0,001$). Ameland Midden heeft een hogere gemiddelde dichtheid. De standaarddeviatie doet aannemen dat de verschillen in dichtheid tussen de monsters in Ameland Midden erg groot is.

Tabel 3.1 Overzicht van univariate analyses van Ameland Midden ten opzichte van Ameland Impact en Schiermonnikoog. P-waarden tonen de uitkomst van de paarsgewijze post-hoc (Tukey) uitkomsten ten opzichte van Ameland Midden aan na een ANOVA van de monsters per gebied.

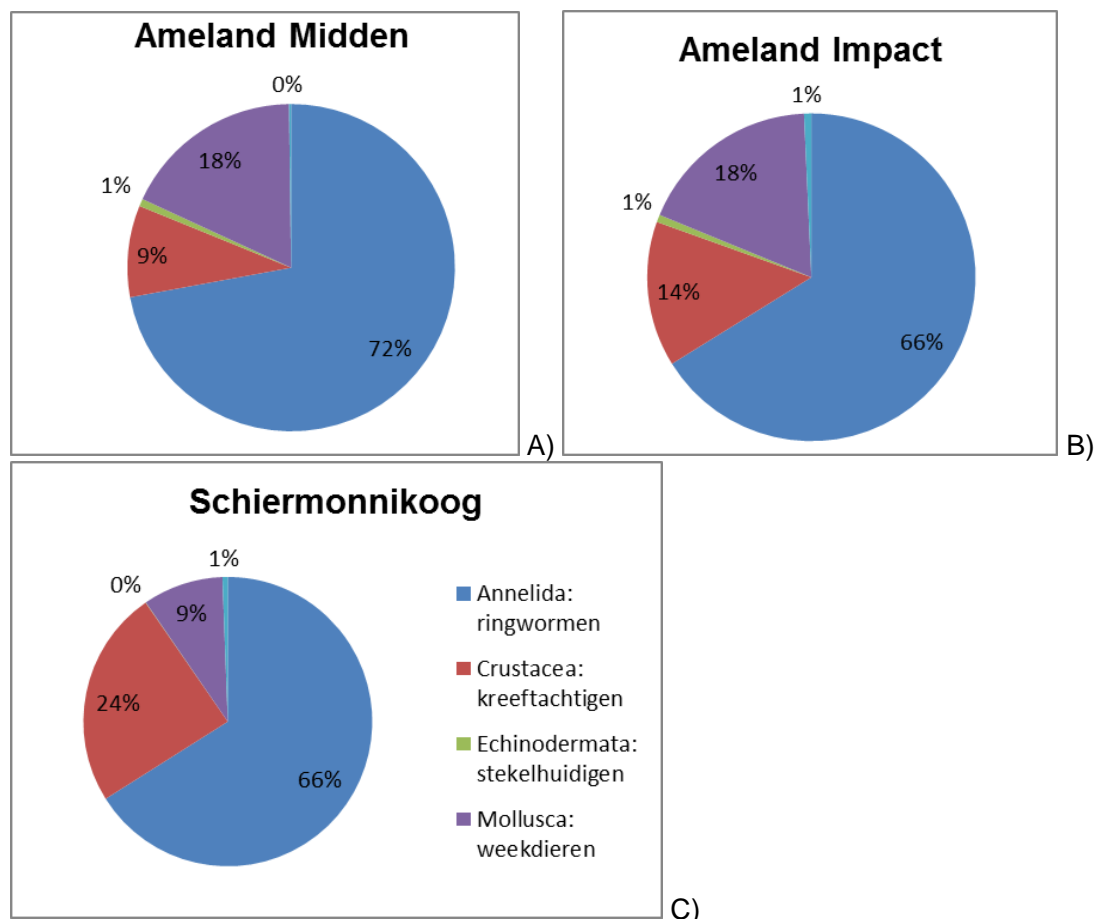
| Gebied | Monsters | | Biodiversiteit | | | Dichtheid | | | Biomassa | | |
|-----------------|----------|----------------------------------|--|---------------|------------------|---------------------------------------|------|--|---|--------------|------------------|
| | Aantal | Totaal aantal soorten (richness) | S (gem aantal soorten (n/m^2) per monster) | Shannon index | P-waarde (Tukey) | Gem dichtheid (n/m^2) per monster | SD | P-waarde (Tukey) (gebied gepaard met Ameland Midden) | Gemiddelde biomassa (g ADG/ m^2) per monster | SD | P-waarde (Tukey) |
| Ameland Midden | 30 | 58 | 32 | 2.4 | - | 2594.67 | 1325 | - | 20,69 ~ 3,54 | 21,87 ~ 1,90 | - |
| Ameland Impact | 30 | 62 | 33 | 2.4 | 0.974 | 1912.33 | 1412 | 0,017 | 25,15 ~ 3,34 | 22,81 ~ 1,74 | 0,770 ~ 0,746 |
| Schiermonnikoog | 30 | 48 | 20 | 2.8 | 0.47 | 873.167 | 384 | 0,000 | 2,94 ~ 2,01 | 4,35 ~ 1,72 | 0,000 ~ 0,000 |

Het hoogste aantal unieke soorten is gevonden in Ameland Impact en het laagste aantal in Schiermonnikoog. Het gemiddeld aantal soorten dat per monster gevonden is (n/m^2) ligt het hoogst in Ameland Midden. In Schiermonnikoog is een lager gemiddeld aantal soorten per monster gevonden, het aantal unieke soorten ligt ook lager in Schiermonnikoog. De Shannon-Wiener index voor diversiteit verschilt niet significant tussen de studiegebieden Ameland Midden,

Ameland Impact en Schiermonnikoog. Wel ligt de Shannon-Wiener index hoger voor Schiermonnikoog, wat een meer evenwichtige verdeling van de aantallen over de soorten weergeeft.

3.2.3 Soortgroepen

Figuur 3.4 geeft een overzicht van het relatief aantal aanwezige soortgroepen (phyla) op basis van dichtheid.



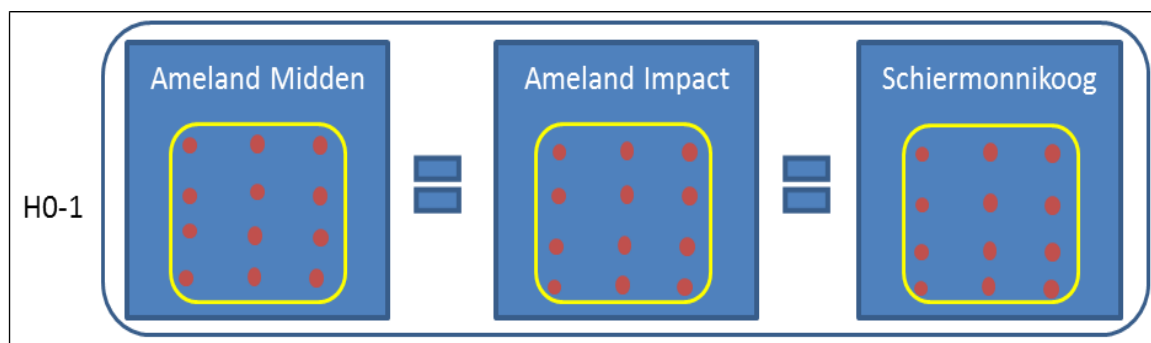
Figuur 3.4 Relatieve aanwezigheid van soortgroepen (phyla) op basis van dichtheid in A) Ameland Midden, B) Ameland Impact, C) Schiermonnikoog.

In alle gebieden zijn ringwormen dominant aanwezig (66-72%). Op de vooroevers van Ameland zijn relatief meer mollusken aanwezig dan op Schiermonnikoog. In Schiermonnikoog zijn relatief veel kreeftachtigen aanwezig. Ameland Midden lijkt qua samenstelling van soortgroepen meer op Ameland Impact dan op Schiermonnikoog vanwege de relatief grote aanwezigheid van weekdieren. Het verschil tussen Ameland Midden en Ameland Impact wordt grotendeels veroorzaakt door een relatief grotere aanwezigheid van ringwormen ten opzichte van kreeftachtigen in Ameland Midden.

3.2.4 Conclusies vergelijkingen tussen studiegebieden op basis van dichtheid, biomassa en diversiteit

In paragraaf 4.2 werden de resultaten bij de analyses van H0-1 beschreven.

- **H0-1:** Er is geen verschil in totale biomassa, dichtheid en diversiteit en soortensamenstelling van macrobenthos tussen Ameland Midden en de referentiegebieden.



De resultaten van de analyses beschreven in paragraaf 4.2 zijn samengevat in onderstaande tabel.

| Uitkomsten analyses H0-1 | | | |
|--------------------------|------------------------|---------|---------|
| Dominante soorten | Op basis van biomassa | AM ≠ AI | AM ≠ SR |
| | Op basis van dichtheid | AM = AI | AM ≠ SR |
| Dichtheid * | | AM ≠ AI | AM ≠ SR |
| Biomassa * | | AM = AI | AM ≠ SR |
| Diversiteit * | | AM = AI | AM = SR |
| Soortgroepen | | AM = AI | AM = SR |

* op basis van significantie ($p \leq 0.05$)

De conclusies per deelvraag van de hypothese H0-1 ("Er is geen verschil in totale biomassa, dichtheid en diversiteit en soortensamenstelling van macrobenthos tussen Ameland Midden en de referentiegebieden") zijn hieronder beschreven.

Zijn dezelfde soorten dominant in de verschillende studiegebieden op basis van dichtheid (n/ m²) en biomassa (g ADG/ m²)?

De tien dominante soorten op basis van biomassa vertonen veel overeenkomst tussen alle gebieden met uitzondering van een aantal soorten zoals het zaagje (*Donax vittatus*) en de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) die alleen dominant voorkomen in Ameland Midden. De grote strandschelp (*Mactra stultorum*) is alleen dominant voor biomassa in Ameland Impact. Het klein heremietkreeftje *Diogenes pugilator*, het gravend kniksprietkreeftje *Bathyporeia elegans* en de slangster *Ophiura ophiura* zijn dominant voor biomassa in Schiermonnikoog. Vooral de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) en de gewone hartegel (*Echinocardium cordatum*) zijn soorten die erg bepalend zijn voor de biomassa, vanwege hun grote biomassa per individu. Deze soorten zijn vooral gevonden bij Ameland Midden en Ameland Impact en niet (*Echinocardium*) of in mindere mate (*Ensis*) bij Schiermonnikoog.

Ook op basis van dichtheid vertoont Ameland Midden op het eerste gezicht meer overeenkomst met Ameland Impact dan met Schiermonnikoog. Ameland Midden en Ameland Impact verschillen niet in dominante soorten voor dichtheid. Schiermonnikoog verschilt met een aantal soorten van de gebieden van Ameland: de borstelworm (*Scololepis squamata*) en de vlokreeftjes *Bathyporeia guillamsoniana* en *Bathyporeia elegans*.

Kortom, hoewel grotendeels dezelfde soorten dominant zijn in de verschillende studiegebieden, zijn er verschillen in volgorde van dominantie tussen de gebieden; Ameland Impact vertoont vooral op basis van dichtheid meer overeenkomst met Ameland Midden dan met Schiermonnikoog.

Is er een verschil tussen de gebieden in dichtheid van macrobenthos?

Ameland Midden heeft de hoogste gemiddelde dichtheid, gevolgd door Ameland Impact en daarna Schiermonnikoog. Aanwezigheid van de soorten *Ensis directus* en *Echinocardium cordatum* speelt voor dichtheid geen grote rol. Statistische analyses tonen aan dat Ameland Midden significant verschilt van beide referentiegebieden. Er is dus een verschil tussen de studiegebieden Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog voor dichtheid van het macrobenthos op T0₂₀₁₄.

Is er een verschil tussen de gebieden in biomassa van macrobenthos?

Op basis van biomassa vertoont Ameland Midden op het eerste gezicht meer overeenkomst met Ameland Impact dan met Schiermonnikoog. Het verschil met Schiermonnikoog is minder expliciet zonder de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) en de gewone hartegel (*Echinocardium cordatum*), vanwege hun grote biomassa per individu. Statistische analyse van biomassa (zonder de soorten *E. directus* en *E. cordatum*) toont aan dat Ameland Midden qua biomassa niet verschilt van Ameland Impact, maar wel significant verschillend is van Schiermonnikoog. Er is dus een verschil tussen de studiegebieden in biomassa van macrobenthos.

Is er een verschil tussen de gebieden in diversiteit en richness van macrobenthos?

Met betrekking tot diversiteit is er geen significant verschil aan te tonen tussen de studiegebieden Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog. Bij de gebieden van Ameland is wel een groter aantal unieke soorten gevonden dan in Schiermonnikoog. De lagere standaarddeviaties en de hogere Shannon-Wiener index bij Schiermonnikoog ten opzichte van de studiegebieden van Ameland, duiden wel op een meer homogeen verdeelde soortengemeenschap. Op basis van diversiteit zijn de drie studiegebieden gelijk.

Zijn dezelfde soorten groepen aanwezig Ameland Midden, Schiermonnikoog, Ameland Impact?

Op basis van samenstelling van de soortsgroepen vertonen de drie gebieden veel overeenkomst. In alle drie gebieden domineren de ringwormen. In Ameland Midden komen meer ringwormen voor dan in de referentiegebieden. Er is meer overeenkomst tussen Ameland Midden en Ameland Impact vanwege de relatief grote hoeveelheid weekdieren die er voorkomen, terwijl Schiermonnikoog een relatief hoog aandeel kreeftachtigen kent ten opzichte van Ameland Midden en Ameland Impact.

3.3 Ruimtelijke verschillen tussen en binnen studiegebieden

3.3.1 Clustering monsters met ruimtelijke gradiënt

Om te testen of macrobenthos van de studiegebieden ruimtelijk van elkaar verschillen, is er een clusteranalyse gedaan op basis van de dichtheid van soorten van de monsters gebaseerd op ruimtelijke factoren: gebied, stratum en morfologische entiteit (helling/bank/trog).

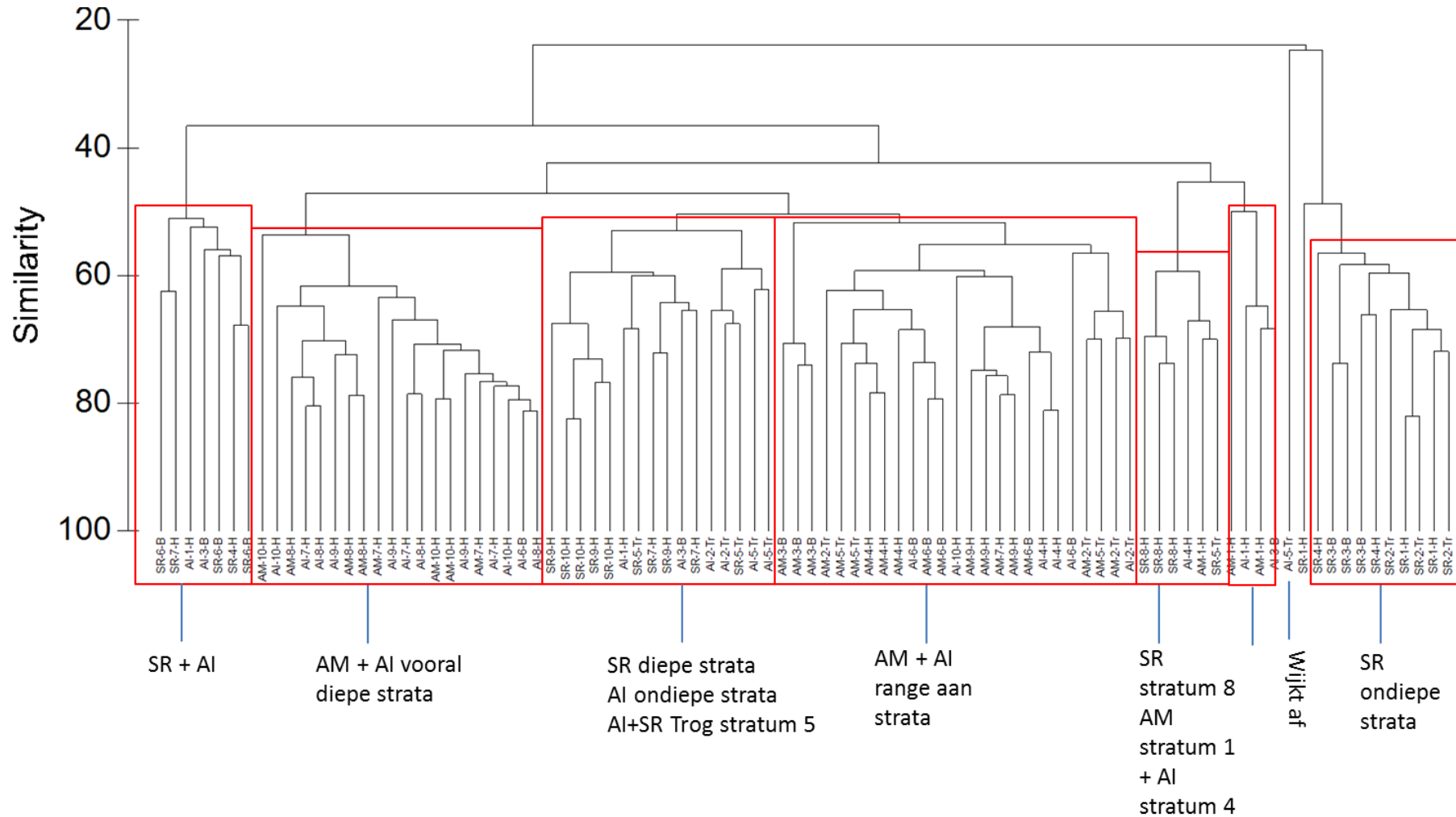
Gehele vooroever

Allereerst is er een clusteranalyse gedaan voor alle monsterpunten (Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog samen) om te analyseren of er een ruimtelijke clustering is op basis van alle monsters. De uitkomst van de clusteranalyse van alle gebieden samen is weergegeven in Figuur 3.5.

Aan de hand van deze clusteranalyse blijkt dat de morfologische entiteit van een monsterpunt (helling, bank of trog) niet bepalend is voor de overeenkomsten in de soortensamenstelling tussen monsters. Monsters van verschillende studiegebieden met verschillende strata (landwaarts en zeewaarts) zijn bij elkaar geclusterd. Voor de diepgelegen monsters van Ameland Midden en Ameland Impact (strata 7, 8, 9 10) is er wel relatief veel overeenkomst. Vooral het studiegebied blijkt de meest bepalende factor te zijn voor overeenkomsten tussen monsters.

Het stratum lijkt alleen een bepalende factor binnen eenzelfde gebied. Monsters van dezelfde studiegebieden vertonen binnen een stratum veel overeenkomst.

De soortensamenstelling van Schiermonnikoog op basis van dichtheid wijkt het meest af van die van andere studiegebieden. De kustwaartse strata (strata 1, 2, 3, 4) van referentiegebied Schiermonnikoog clusteren niet samen met monsters van andere studiegebieden. Verder vertonen diepe strata van Schiermonnikoog (strata 7, 9, 10 en 8) meer overeenkomst met nabij de kust gelegen strata van Ameland Midden (stratum 1) en Ameland Impact (strata 1, 2, 3, 4 en 5) dan met zeewaartse strata van Ameland. Doordat de helling van Schiermonnikoog flauwer is dan van Ameland Midden en Ameland Impact en de vooroever van Schiermonnikoog ondieper is dan die van Ameland, doet dit veronderstellen dat naast het studiegebied ook de diepte belangrijk is voor overeenkomsten tussen monsters. Verklarende abiotische factoren voor biota worden geanalyseerd in paragraaf 5.4.

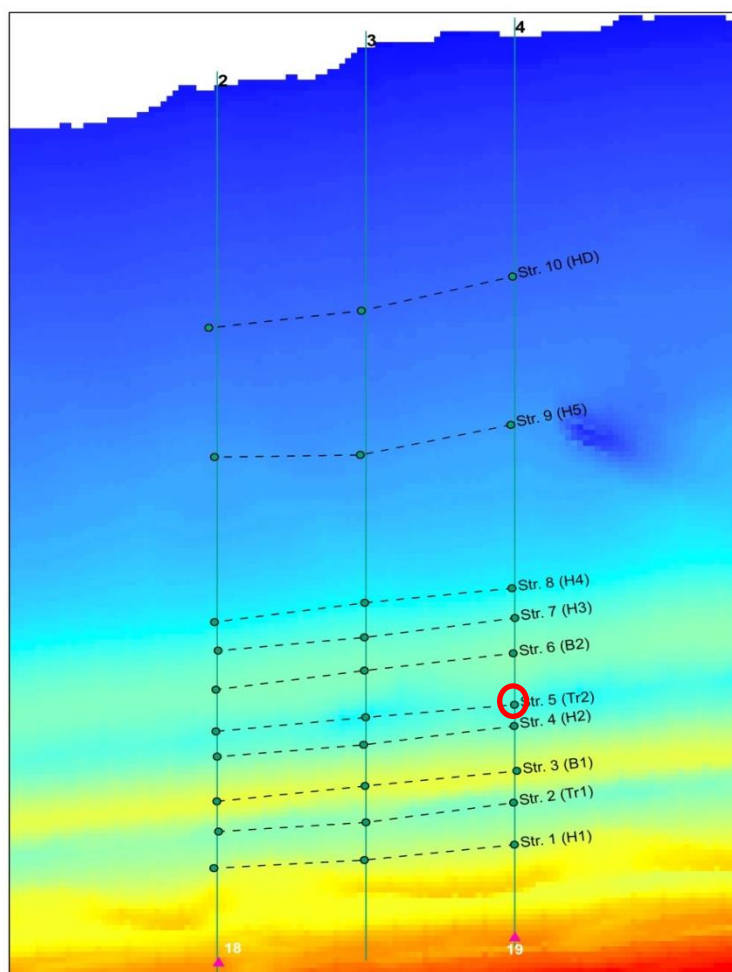


Figuur 3.5 Clusteranalyse (minimaal 50% overeenkomst) dichtheid (n/m^2) monsters van Ameland Midden (AM), Ameland Impact (AI) en Schiermonnikoog (SR), gelabeld met de gebiedscode (AM, AI, SR), het stratumnummer (range 1-10) en de ligging op een trog (Tr), bank (B) of helling (H). Data zijn vooraf getransformeerd met een wortelfunctie en vervolgens in een Bray-Curtis resemblance matrix geplaatst.

Een duidelijke afwijking is te zien in het monster van de trog op stratum 5 van Ameland Impact (Figuur 3.6). Op dit monsterpunt is erg weinig biota gevonden ten opzichte van andere monsterpunten, dit is echter ook het geval voor de andere monsterpunten in deze trog. Het is onduidelijk waarom het monsterpunt afwijkt.

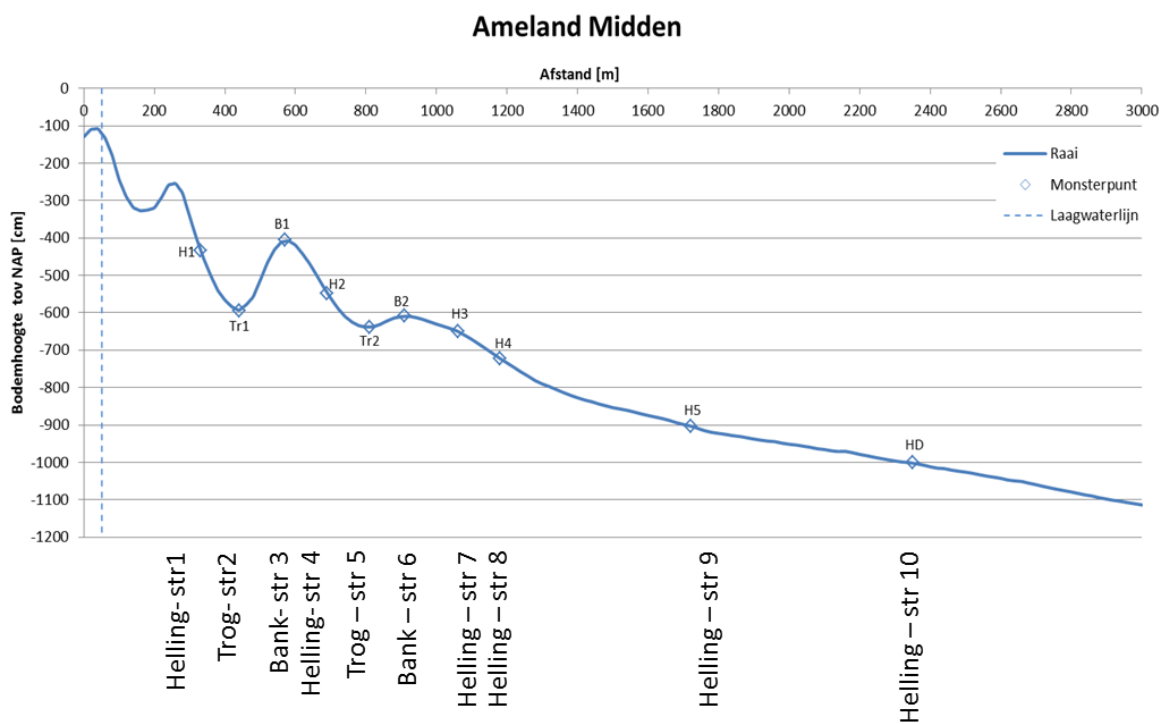
Uit de clusteranalyse van alle monsters samen bleek dat vooral het studiegebied en de diepte een bepalende factor was voor de overeenkomst tussen monsters. Naast een clusteranalyse van alle monsters is tevens een clusteranalyse per studiegebied gemaakt om meer gedetailleerd inzicht te krijgen de ruimtelijke clustering van monsters per studiegebied.

Figuur 3.6 Ligging afwijkend monsterpunt van Ameland Impact op stratum 5 in de trog.



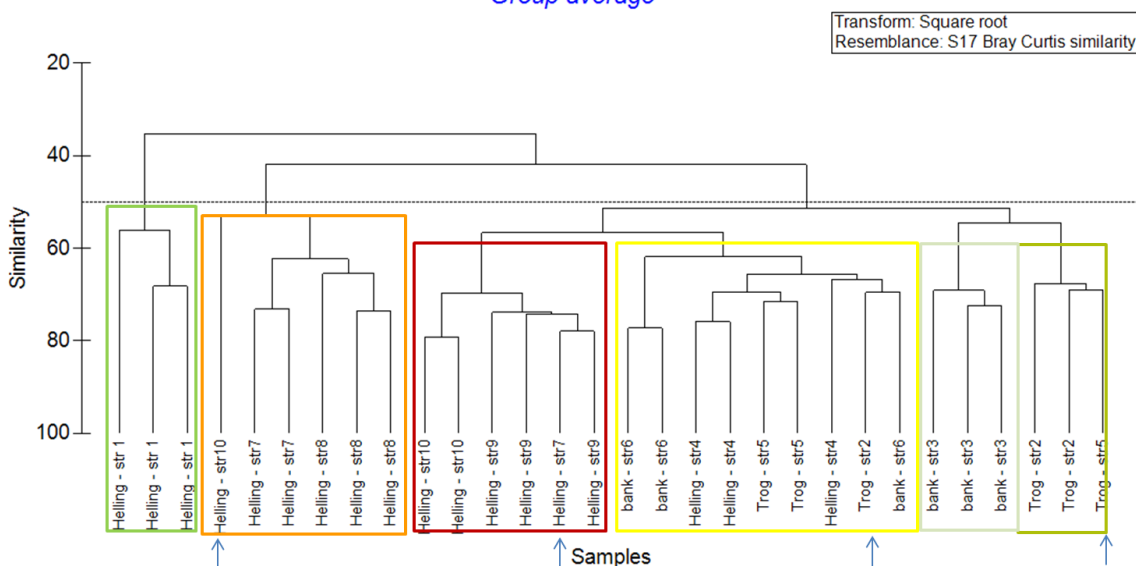
Ameland Midden

De clusteranalyse van Ameland Midden op basis van dichtheden (n/m^2) van soorten per monster, gelabeld met morfologische entiteiten (helling/trog/bank) en stratum (range 1-10) is weergegeven in Figuur 3.7.



A)

Clustering Ameland Midden
Group average



B)

Figuur 3.7 Dwarsdoorsnede bankenpatroon Ameland Midden (A) en Clusteranalyse (B) (minimaal 50% overeenkomst) op basis van dichtheid (n/m^2) monsters van Ameland midden, gelabeld met de ligging op een trog, helling of bank en het stratum (range 1-10). Data zijn getransformeerd met een wortelfunctie en vervolgens in een Bray-Curtis resemblance matrix geplaatst. Pijlen geven monsters aan die binnen een andere cluster verwacht werden op basis van stratum. Kleuren geven clusters aan (rood: zeewaartse strata, groen: kustwaartse strata).

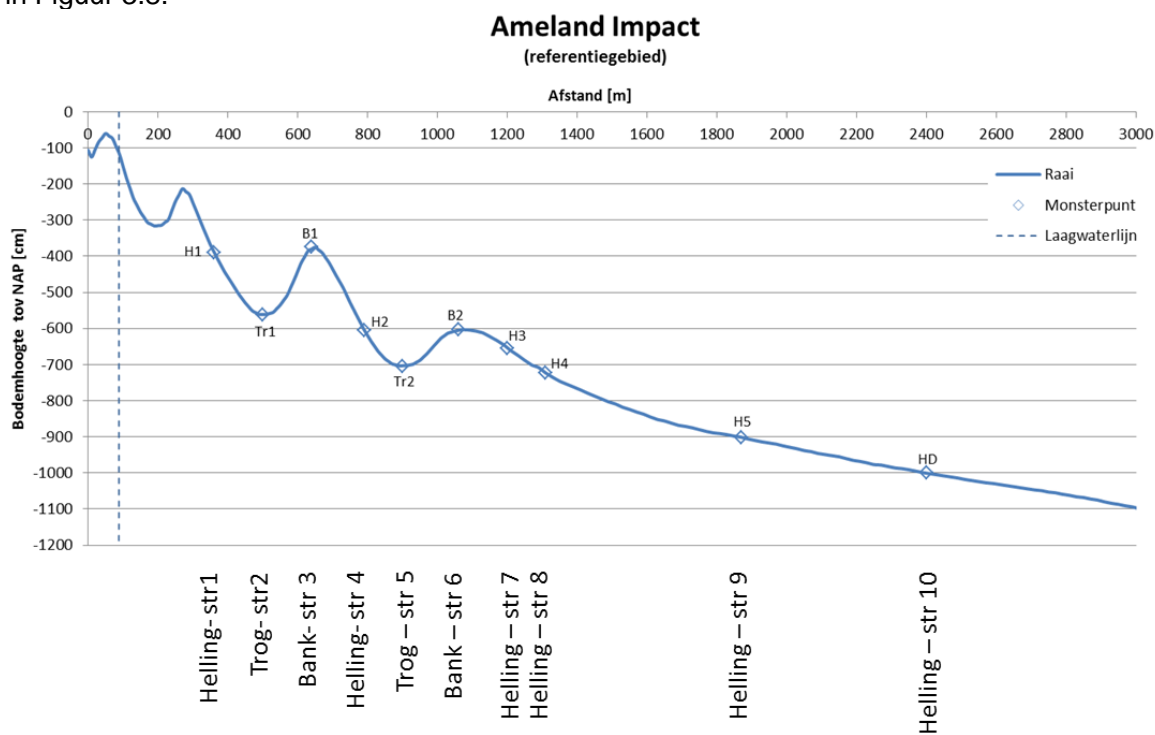
De clustering van Ameland Midden laat ten eerste zien dat de soortensamenstelling per monster van hetzelfde stratum veel overeenkomst vertonen. Dit zal grotendeels te wijten zijn aan sterk

vergelijkbare abiotische omstandigheden binnen een stratum. Een aantal monsters wijkt af van de overige monsters (wanneer we ervan uitgaan dat monsters binnen hetzelfde stratum bij elkaar horen) binnen het stratum en zijn aangegeven door een pijl. Mogelijk liggen deze monsters op punten waar strata in elkaar overlopen (muien). De monsters van de helling op stratum 1 wijken het meest af van de andere strata ($\pm 35\%$ overeenkomst met overige monsters). Ook zijn de meer zeewaarts gelegen strata (stratum 9-10 en stratum 7-8) duidelijk gegroepeerd en vertonen monsters onderling binnen deze strata weinig verschil. Er is een grote groep van de middelste strata (4-5-6) aanwezig.

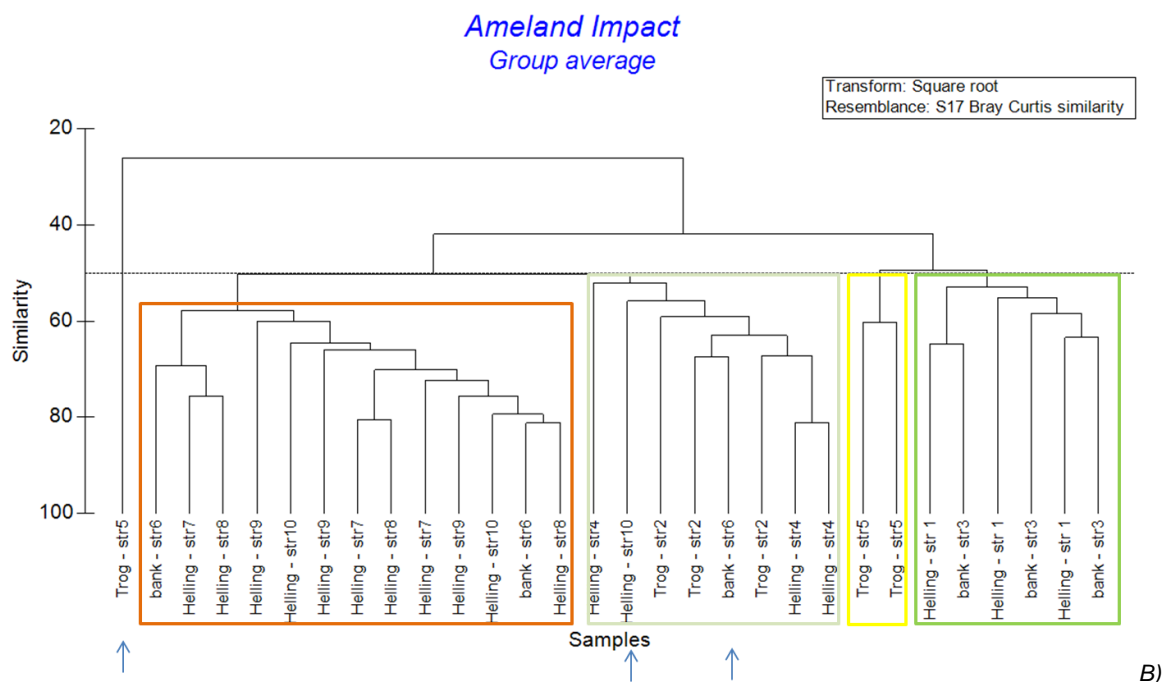
Tevens worden er drie hoofdgroepen waargenomen van monsters van dichtbij de kust gelegen strata (2-3), middelgelegen strata (4-5-6) en zeewaarts gelegen strata (7-8 en 9-10). Binnen deze groepen is veel overeenkomst in dichtheid van aanwezige soorten. Welke abiotische parameters hiervoor verantwoordelijk zouden kunnen zijn wordt nader geanalyseerd in paragraaf 5.4.

Ameland Impact

De clusteranalyse van Ameland Impact op basis van dichtheden (n/m^2) van soorten per monster, gelabeld met morfologische entiteiten (helling/trog/bank) en stratum (range 1-10) is weergegeven in Figuur 3.8.



A)



Figuur 3.8 Dwarsdoorsnede bankenpatroon Ameland Impact (A) en Clusteranalyse (B) (minimaal 50% overeenkomst) op basis van dichtheid (n/m^2) monsters van Ameland Impact, gelabeld met de ligging op een trog, helling of bank en het stratum (range 1-10). Data zijn vooraf getransformeerd met een wortelfunctie en in een Bray-Curtis resemblance matrix geplaatst. Pijlen geven afwijkende monsters binnen een cluster aan op basis van een enkel monster van een stratum. Kleuren geven clusters aan (rood: zeewaartse strata, groen: kustwaartse strata).

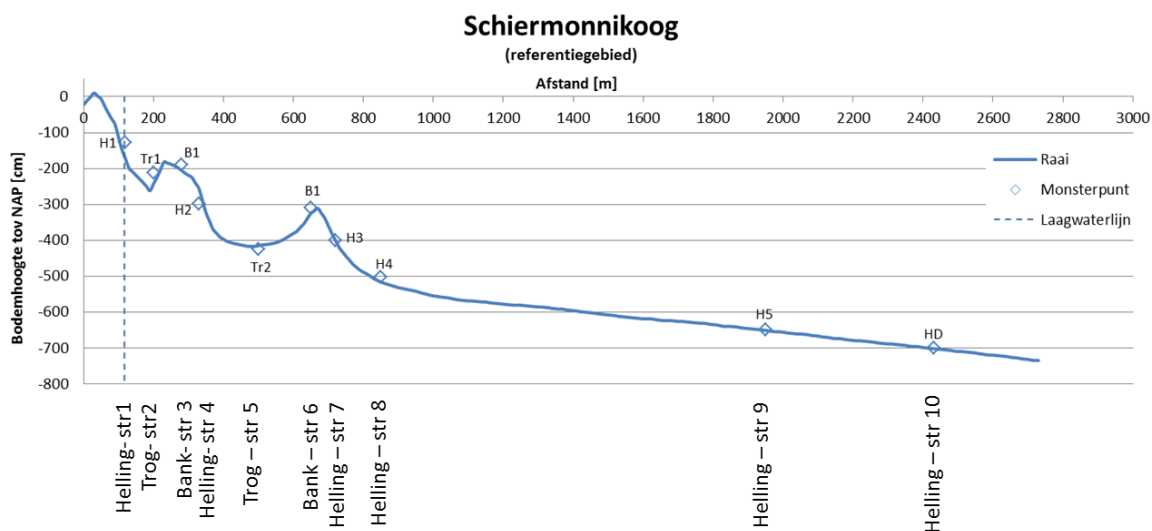
Uit de clusteranalyse lijken vooral de strata (grotendeels bepaald door diepte) bepalend te zijn voor overeenkomst in dichtheid van macrobenthos tussen monsterpunten. De morfologische entiteit (trog, helling of bank) blijkt niet bepalend te zijn voor de overeenkomst in soortensamenstelling tussen monsters, doordat troggen, hellingen en banken niet specifiek binnen dezelfde cluster vallen maar ook verschil laten zien tussen morfologische entiteiten. Het monster van de trog op stratum 5 wijkt af, en is eerder besproken aan de hand van de clusteranalyse van de hele vooroever.

Naast overeenkomst van monsters binnen strata zijn er ook overeenkomsten in soortensamenstelling op basis van dichtheid van monsters tussen strata. Figuur 3.8 laat zien dat de monsters van stratum 1 en stratum 3 veel overeenkomst vertonen op basis van dichtheid van aanwezige soorten. Wanneer deze monsterpunten bekeken worden op de dwarsdoorsnede van de vooroever, dan blijken deze monsterpunten ongeveer op dezelfde diepte te liggen. Echter bij Ameland Midden liggen deze monsters ook op dezelfde diepte en toch clusteren ze anders. Ook stratum 2 en stratum 4 lijken sterk op elkaar en hebben op basis van de dwarsdoornede ongeveer dezelfde diepteligging. De soortensamenstelling van monsters van de trog op stratum 5 wijken af van die van andere strata, echter twee van deze monsters vertonen nog de meeste overeenkomst met monsters van stratum 1 en 3. De diepteligging van stratum 5 komt niet overeen met stratum 1 en 3 (Figuur 3.8-A). Middel en meer zeewaarts gelegen strata (6, 7, 8, 9, 10) vertonen onderling veel overeenkomst op basis van dichtheid van de soorten. Deze monsters liggen niet allemaal op dezelfde diepte.

Er lijkt een zeewaartse gradiënt te zijn waarin monsters van diepe gebieden onderling meer overeenkomsten vertonen dan met ondiepe monsters. Tevens kan er een grove indeling worden gemaakt van ondiepe monsters (strata 1-4), middengelegen monsters (stratum 5) en diepgelegen monsters (6/7-10). Nadere analyse van onderliggende abiotische parameters en hun verklaring voor de variatie in macrobenthos wordt beschreven in hoofdstuk 5.4.

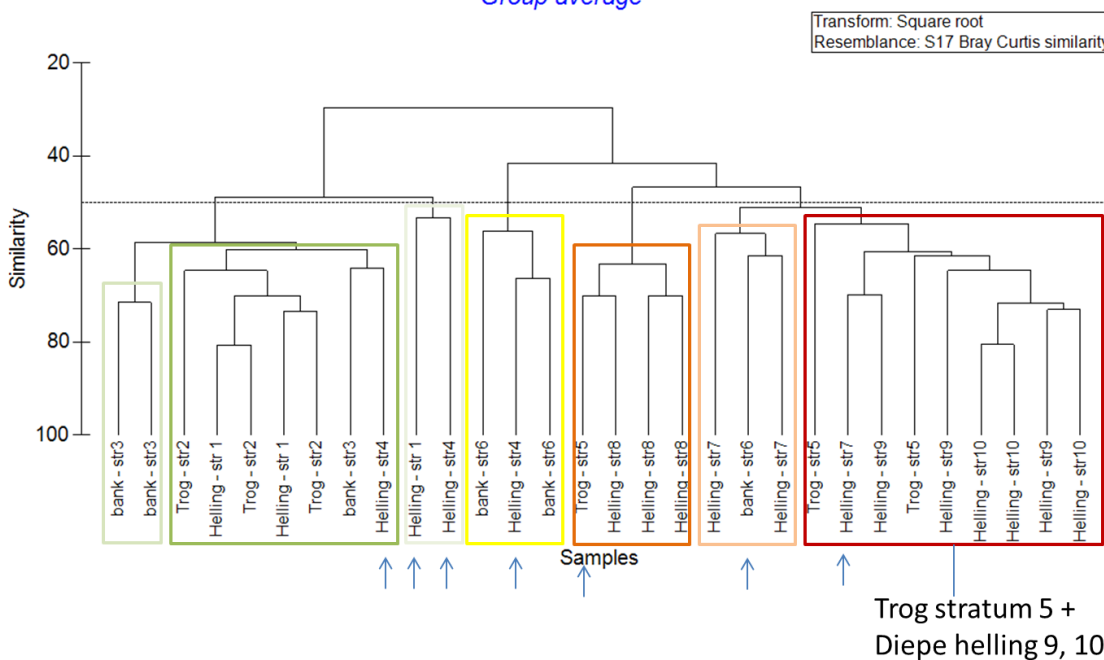
Schiermonnikoog

De clusteranalyse van Schiermonnikoog op basis van dichtheden (n/m^2) van soorten per monster, gelabeld met morfologische entiteiten (helling/trog/bank) en stratum (range 1-10) is weergegeven in Figuur 3.9.



A)

Schiermonnikoog
Group average

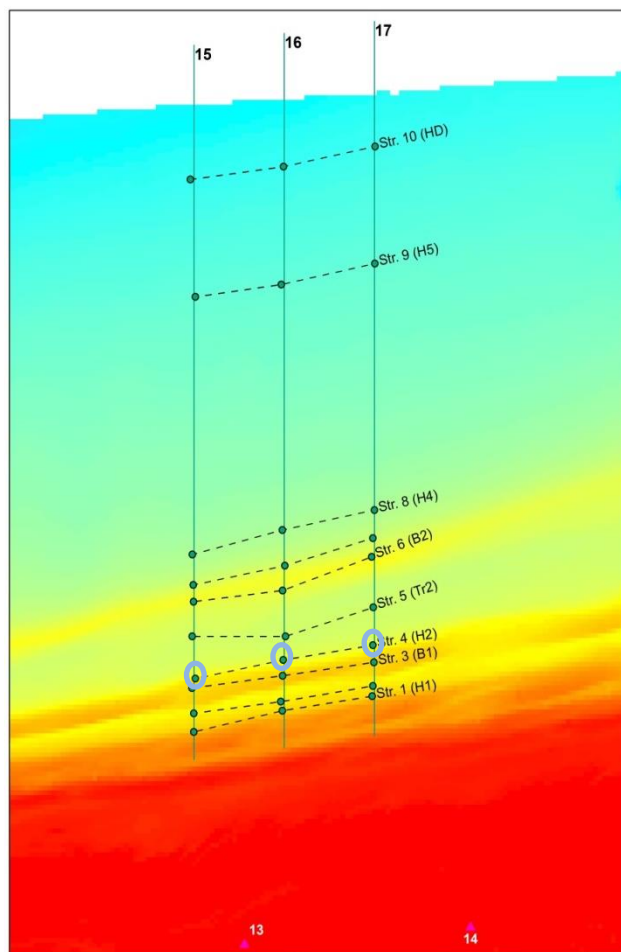


B)

Figuur 3.9 Dwarsdoorsnede bankenpatroon Schiermonnikoog (A) en Clusteranalyse (B) (minimaal 50% overeenkomst) op basis van dichtheid (n/m^2) monsters van Schiermonnikoog, gelabeld met de ligging op een trog, helling of bank en het stratum (range 1-10). Data zijn vooraf getransformeerd met een wortelfunctie en vervolgens in een Bray-Curtis resemblance matrix geplaatst. Pijlen geven afwijkende monsters binnen een cluster aan op basis van een enkel monster van een stratum. Kleuren geven clusters aan (rood: zeewaartse strata, groen: kustwaartse strata).

In referentiegebied Schiermonnikoog blijken overeenkomsten tussen de soortensamenstellingen van monsters vooral op basis van stratum te zijn. Verder vertonen strata overeenkomsten met dichtbij liggende strata zoals is gevonden voor stratum 1-2 en de relatief grote overeenkomst van stratum 1-2 met stratum 3 en stratum 4 (2 van de 3 monsters) ten opzichte van meer zeewaarts gelegen strata, doordat deze groepen al vroeg van elkaar splitsen met betrekking tot

overeenkomst (30%). De monsters van stratum 4 vallen niet binnen een cluster van een overeenkomst van 50%. Aan de hand van de ligging van dit stratum kan dit mogelijk komen door de sterke dieptegradiënt op dit stratum (sterke overgang van rood naar geel in de figuur) en de zeewaartse ligging ten opzichte van golven en stroming (Figuur 3.10; Figuur 3.9-A).



Figuur 3.10 Vooroever van Schiermonnikoog met de ligging van monsterpunten (zeewaartse optelling van strata). De monsterpunten van stratum 4 zijn blauw omcirkeld vanwege hun 'onderlinge afwijking' in de clusteranalyse.

Opmerkelijk is de overeenkomst van de monsters van strata 5-9-10. De monsters van stratum 5 liggen relatief diep ten opzichte van de andere monsters van de meer ondiep en midden gelegen strata (1, 2, 3, 4, 6) wat een verklaring voor de clustering van deze monsters bij de dieper gelegen strata 9 en 10 zou kunnen zijn.

Op basis van deze clusteranalyse lijkt er zoals ook gevonden in andere gebieden, een zeewaartse gradiënt te zijn met nabij de kust gelegen monsters die overeenkomst vertonen op basis van dichtheid, middelgelegen strata die afzonderlijk gegroepeerd zijn en zeewaarts gelegen strata. Er zijn grofweg weer drie groepen in te delen van ondiepe strata (1-3), middengelegen strata (4-8) en diepe strata (9-10). De uitzondering van de gradiënt is stratum 5, dat veel overeenkomst op basis van dichtheid vertoont met de monsters van de zeewaartse strata 9 en 10. Verdere analyse van onderliggende abiotische parameters die hiervoor verklarend zouden kunnen zijn wordt beschreven in paragraaf 5.4.

De verschillende clusteranalyses laten zien dat monsters behorende tot hetzelfde stratum vaak meer dan $\pm 50\%$ onderlinge overeenkomst vertonen op basis van dichtheid binnen hetzelfde studiegebied. Tussen verschillende studiegebieden vertonen de strata minder overeenkomst. Vooral Schiermonnikoog verschilt van de studiegebieden van Ameland. De dichtheid van de

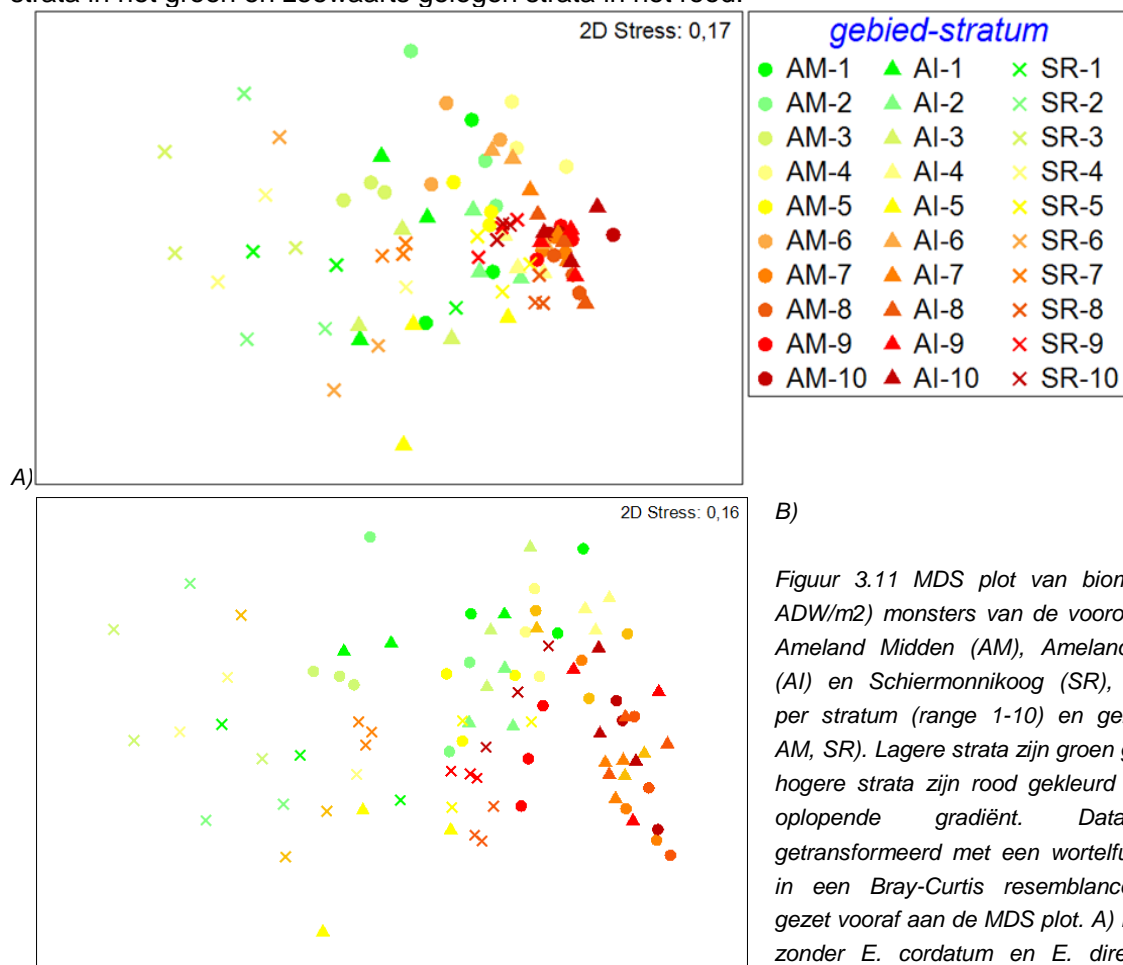
soorten in de meer zeewaarts gelegen monsters van Schiermonnikoog vertonen overeenkomst met de monsters van meer nabij de kust gelegen strata van Ameland. De soortensamenstelling op basis van dichtheid van zeewaarts gelegen strata van de gebieden Ameland Midden en Ameland Impact komen meer dan 50% overeen en vertonen daardoor relatief veel onderlinge overeenkomst. Afzonderlijk laten de gebieden allen in verschillende mate een zeewaartse gradiënt zien. De diepte lijkt een rol te spelen in overeenkomst tussen strata die niet direct naast elkaar liggen. Naar deze factor wordt onder anderen nader gekeken in relatie tot variatie in macrobenthos in paragraaf 5.4.2.

3.3.2 MDS plot en ANOSIM op biomassa en dichtheid

Uit de clusteranalyse van de verschillende studiegebieden bleken monsters van dezelfde strata binnen een studiegebied veel overeenkomst te vertonen en leek er een zeewaartse gradiënt te zijn van de monsters op basis van dichtheid van de soorten. Om deze mogelijke gradiënt nader te testen is aan de hand van multi-dimensional scaling plots (MDS-plots) inzichtelijk gemaakt hoe de monsters van verschillende strata zich tot elkaar verhouden binnen een studiegebied en tussen studiegebieden, door ze te kleuren aan de hand van het oplopen van de strata en te labelen op basis van stratum en gebied. Tevens zijn de uitkomsten van de ANOSIM analyses weergegeven die verschillen tussen gebieden, en tussen strata van Ameland Midden en de afzonderlijke referentiegebieden Ameland Impact en Schiermonnikoog laten zien. Ook voor biomassa zijn deze analyses uitgevoerd, zowel met als zonder *Echinocardium cordatum* en *Ensis directus*.

Biomassa

Figuur 3.11 geeft de MDS plot van biomassa van de drie gebieden weer met kustwaarts gelegen strata in het groen en zeewaarts gelegen strata in het rood.

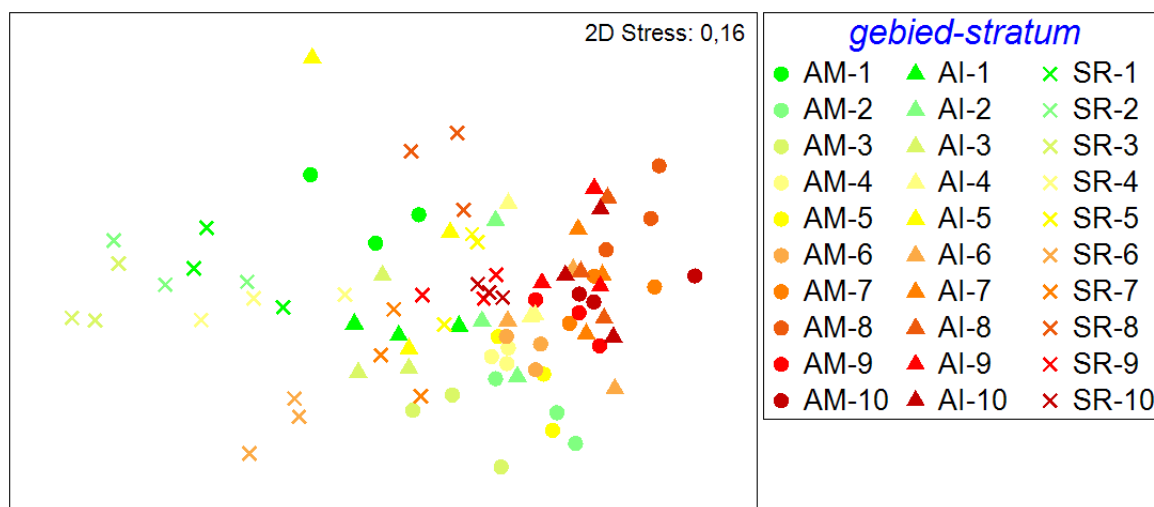


Figuur 3.11 MDS plot van biomassa (g ADW/m²) monsters van de vooroever van Ameland Midden (AM), Ameland Impact (AI) en Schiermonnikoog (SR), gelabeld per stratum (range 1-10) en gebied (AI, AM, SR). Lagere strata zijn groen gekleurd, hogere strata zijn rood gekleurd met een oplopende gradiënt. Data zijn getransformeerd met een wortelfunctie en in een Bray-Curtis resemblance matrix gezet vooraf aan de MDS plot. A) monsters zonder *E. cordatum* en *E. directus*. B) monsters met *E. cordatum* en *E. directus*.

Aan de hand van Figuur 3.11 blijkt er een duidelijke zeewaartse gradiënt te zijn waarbij monsters van dezelfde strata veel overeenkomst vertonen. Zoals ook zichtbaar werd uit de clusteranalyse van alle monsters samen (Figuur 3.5) vertonen de diepere monsters van Schiermonnikoog meer overeenkomst met de kustwaartse strata van de studiegebieden van Ameland. Zonder de aanwezigheid van *E. cordatum* en *E. directus* vertonen vooral de monsters van de zeewaartse (diepe) strata onderling veel overeenkomst (zowel op de x als op de y as). Dit is waarschijnlijk doordat vooral *E. cordatum* erg patchy voorkomt en daardoor voor verschillen tussen de monsters zorgt. De monsters nabij de kust vertonen relatief meer onderling verschil dan de zeewaarts gelegen monsters op basis van biomassa.

Dichtheid

Figuur 3.12 geeft de MDS plot van dichtheid van alle monsters weer.



Figuur 3.12 MDS plot van dichtheid (n/m^2) monsters van Ameland Midden (AM), Ameland Impact (AI) en Schiermonnikoog (SR), gelabeld per stratum (range 1-10) en gebied (AI, AM, SR). Lagere strata zijn groen gekleurd, hogere strata zijn rood gekleurd met een oplopende gradiënt. Data zijn getransformeerd met een wortelfunctie en in een Bray-Curtis resemblance matrix gezet vooraf aan de MDS plot.

Het MDS patroon voor dichtheid komt sterk overeen met het gevonden patroon voor biomassa. Ook hier is een sterke zeewaartse gradiënt aanwezig. Ook komen de diepere monsters van Schiermonnikoog meer overeen met de meer kustwaarts gelegen monsters van Ameland Impact. Dit zou mogelijk kunnen samenhangen met de diepte van Schiermonnikoog ten opzichte van de studiegebieden van Ameland. De studiegebieden van Ameland liggen op hun diepste punt op 9,5 t.o.v. NAP, terwijl dit voor Schiermonnikoog 6,5 meter is. Deze diepte komt ongeveer overeen met de diepte op stratum 7 van Ameland Midden en verklaart daardoor mogelijk deze overeenkomst tussen monsters. Of diepte ook de best verklarende abiotische factor is voor de soortensamenstelling van de vooroever, wordt geanalyseerd in paragraaf 5.4.2.

ANOSIM

Verschillen tussen studiegebieden met daarbinnen de factor stratum zijn statistisch getest en de uitkomsten van de ANOSIM zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Uitkomsten two-factor nested ANOSIM met als factor stratum nested in factor studiegebied. Zowel totale als paarsgewijze P en R-waarden zijn weergegeven. Data zijn vooraf getransformeerd met een wortelfunctie en in een Bray Curtis resemblance matrix geplaatst.

| | Biomassa (g ADG/m ²) | | | | Dichtheid | |
|---|--|----------|---|----------|--|----------|
| | Met <i>E. cordatum</i> en <i>E. directus</i> | | Zonder <i>E. cordatum</i> en <i>E. directus</i> | | Met <i>E. cordatum</i> en <i>E. directus</i> | |
| Vergelijkingen gebieden | p-waarde | R-waarde | p-waarde | R-waarde | p-waarde | R-waarde |
| Alle gebieden | 0,003 | 0,232 | 0,02 | 0,113 | 0,0001 | 0,242 |
| Ameland Midden - Ameland Impact | 0,71 | -0,043 | 0,67 | -0,03 | 0,49 | -0,012 |
| Ameland Midden - Schiermonnikoog | 0,002 | 0,347 | 0,0012 | 0,207 | 0,002 | 0,407 |

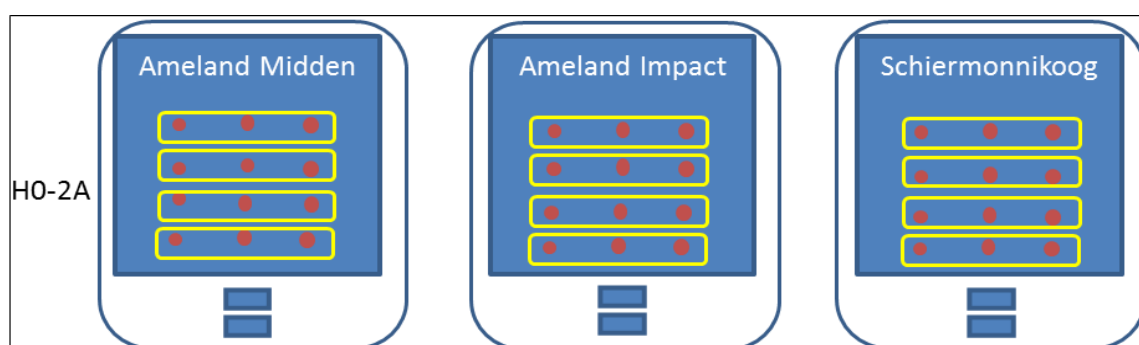
De eerste analyses van de biomassa en de dichtheid van Ameland Midden en referentiegebieden Ameland Impact en Schiermonnikoog (beschreven in paragraaf 4.2.3), lieten verschillen tussen de vooroever van de gehele gebieden zien. De clusteranalyse (beschreven paragraaf in 4.2.5) liet op het eerste gezicht een zeewaartse gradiënt zien in overeenkomst tussen monsters van Ameland Midden.

De two-factor nested ANOSIM toont aan dat Ameland Midden en Ameland Impact met daarbinnen de strata 1 t/m 10 niet significant verschillen voor zowel biomassa als dichtheid van de vooroever. Schiermonnikoog met daarbinnen de strata 1 t/m 10 verschilt echter wel significant van Ameland Midden voor zowel dichtheid als biomassa. Dit werd ook al inzichtelijk door de MDS plots waarbij de strata van Schiermonnikoog minder overeenkomen met die van Ameland Midden en Ameland Impact.

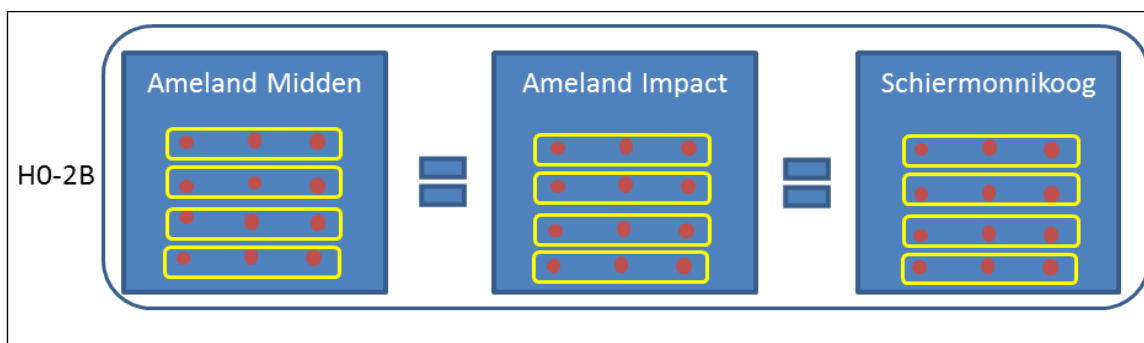
3.3.3 Conclusies ruimtelijke verschillen tussen en binnen studiegebieden

In dit hoofdstuk worden de resultaten bij de analyses van H0-2 beschreven.

- **H0-2A:** Er is geen ruimtelijk patroon in soortensamenstelling van het macrobenthos binnen de afzonderlijke studiegebieden.



- **H0-2B:** De ruimtelijke patronen in soortensamenstelling komen niet overeen tussen de studiegebieden.



De resultaten van de analyses beschreven in dit hoofdstuk zijn samengevat in onderstaande tabellen.

| Resultaten analyses H0-2A | | | |
|---|------------------|----------|---------------|
| Ruimtelijke indeling binnen gebieden | Aanwezig patroon | ≠ | Alle gebieden |
| | Aanwezig patroon | = strata | AM |
| | Aanwezig patroon | = strata | AI |
| | Aanwezig patroon | = strata | SR |

| Resultaten analyses H0-2B | | | |
|---|-----------------------|---------|---------|
| Ruimtelijke indeling tussen gebieden | Overeenkomend patroon | AM = AI | AM = SR |
| | Gelijke strata * | AM = AI | AM ≠ SR |

* Significant bepaald ($p \leq 0.05$)

De conclusies per deelvraag van de hypothese H0-2A ("Er is geen ruimtelijk patroon in soortensamenstelling van het macrobenthos binnen de afzonderlijke studiegebieden") en H02-B ("De ruimtelijke patronen in soortensamenstelling komen niet overeen tussen de studiegebieden") zijn hieronder beschreven.

Is er een ruimtelijke indeling te maken van alle monsters van de gehele vooroever op basis van dichtheid?

Er was geen consistente ruimtelijke indeling te maken van alle monsters van de gehele vooroever op basis van dichtheid van de soorten (paragraaf 5.3.1).

Is er een ruimtelijke patroon binnen elk studie gebied afzonderlijk (AI, AM, SR) op basis van dichtheid (n/m^2) per monster en komt dit patroon overeen tussen gebieden?

De clusteranalyse toonde aan dat binnen elk deelgebied het stratum een belangrijke factor was voor overeenkomst tussen monsters. De morfologische entiteit van monsters had geen

consistente rol in een patroon in soortensamenstelling over alle gebieden. Ook toonden de clusteranalyses voor de deelgebieden een groepering van ondiepe (grofweg strata 1-3), middeldiepe (grofweg 4 tot 6/7) en diepgelegen (grofweg 8-10) strata. Per gebied verschilt deze indeling in drie gebieden telkens enigszins. Dit patroon werd bevestigd door de MDS plots voor de afzonderlijke gebieden in de vorm van een zeewaartse gradiënt.

Het patroon van gevonden overeenkomsten van monsters binnen strata kwam overeen tussen deelgebieden. Ook de zeewaartse gradiënt van overeenkomst binnen monsters van ondiepe, middelgelegen en diepe strata kwam overeen tussen gebieden.

Komen monsters van vooraf gedefinieerde strata overeen tussen gebieden voor dichtheid en biomassa?

De ANOSIM toonde aan dat Ameland Impact en Ameland Midden voor zowel biomassa als dichtheid ruimtelijk (factoren strata en studiegebied) niet verschillen wanneer de studiegebieden en de ligging van monsters op een stratum vergeleken worden binnen dat studiegebied. Dit verschilt van de absolute vergelijking van dichtheid van soorten per gebied, waarbij er wel een verschil is tussen Ameland Midden en Ameland Impact (tabel 4.1). Op basis van de ruimtelijke verdeling in strata komt de soortensamenstelling op basis van dichtheid meer overeen dan wanneer het gebied als geheel beschouwd wordt Tabel 3.2.

Schiermonnikoog verschilde wel significant van Ameland Midden in soortensamenstelling op basis van biomassa en dichtheid van strata per studiegebied.

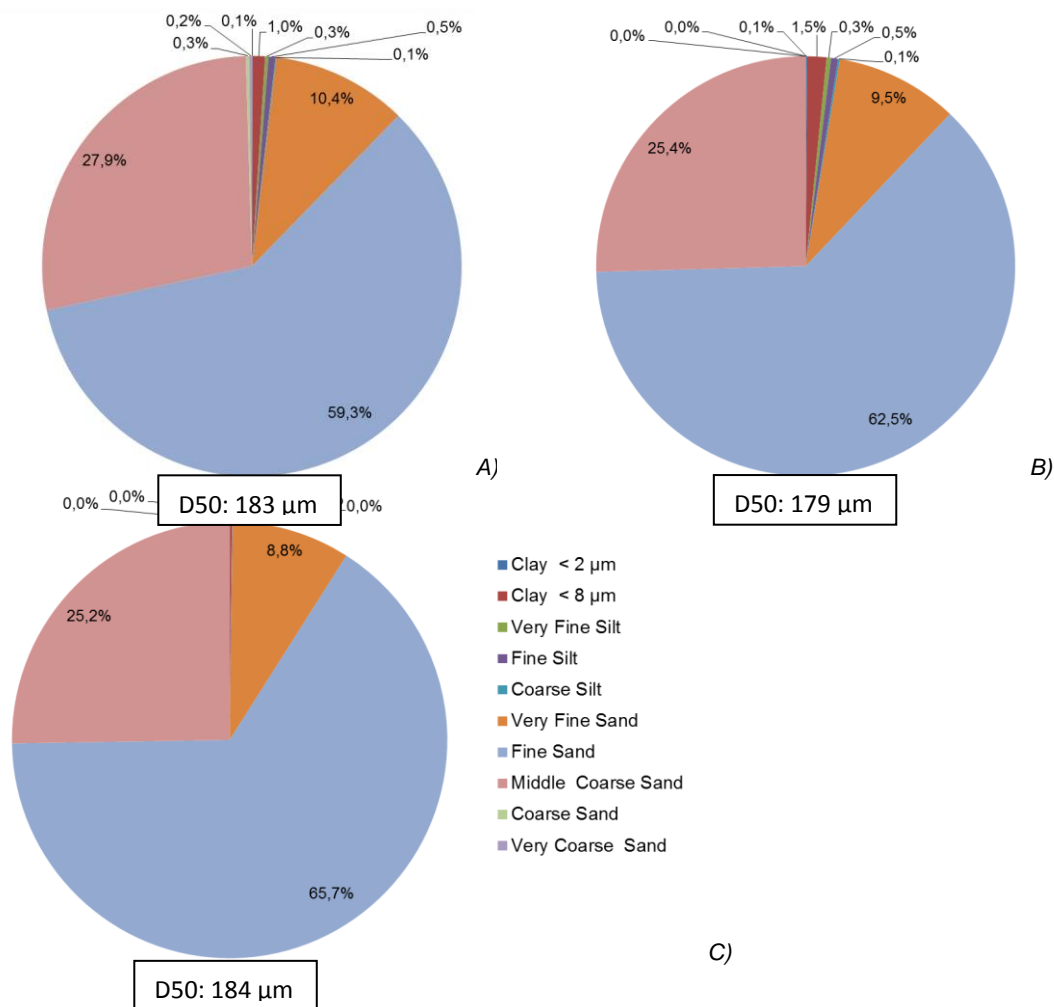
De soortensamenstelling van monsters van vooraf gedefinieerde strata komen dus overeen tussen Ameland Midden en Ameland Impact. De soortensamenstelling van monsters van vooraf gedefinieerde strata komen niet overeen tussen Ameland Midden en Schiermonnikoog.

3.4 Relatie abiotische variabelen en biota

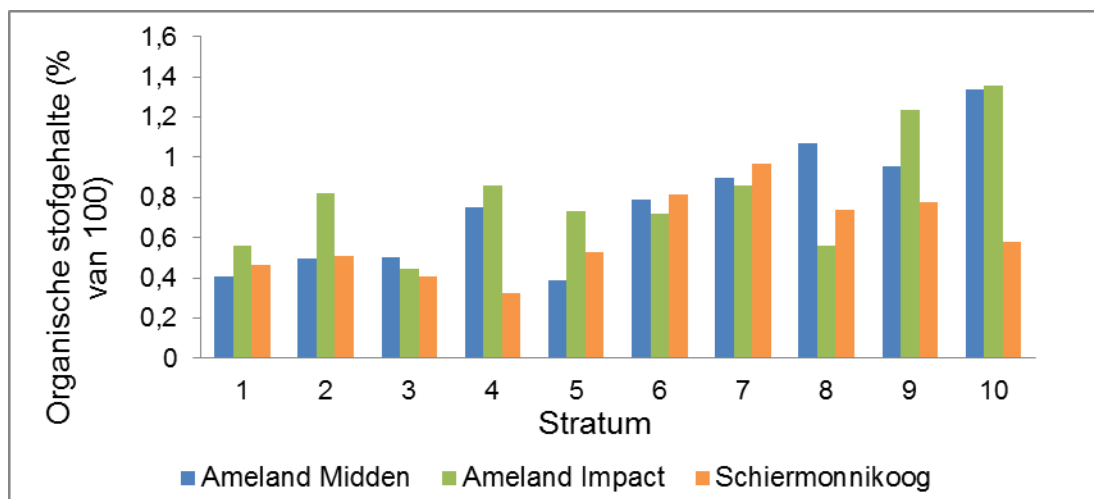
Paragraaf 3.4.1 geeft allereerst de abiotische variabelen in de verschillende studiegebieden weer. Bijlage D geeft de uitkomst van de analyse van de best verklarende abiotische parameters voor de biota aan de hand van de in 2.4.3 beschreven Global BEST analyse.

3.4.1 Abiotische variabelen

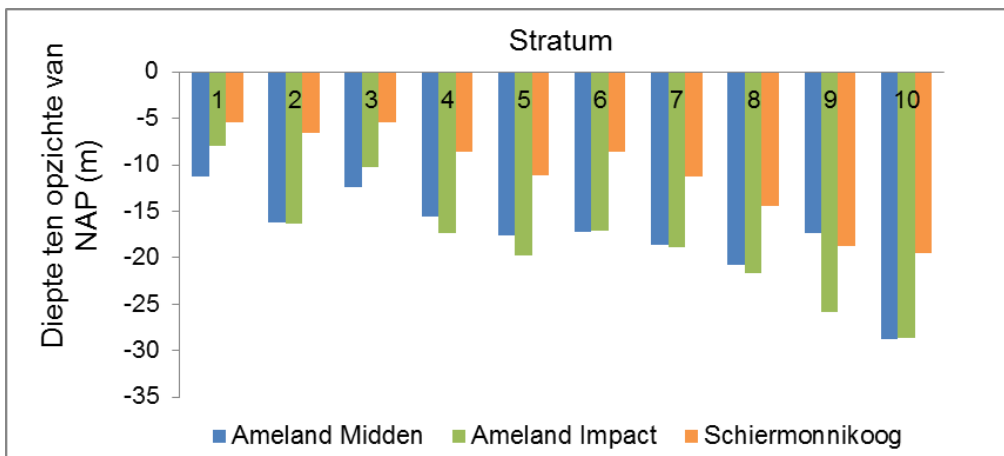
De abiotische variabelen organische stofgehalte (als percentage van 100%) en mediane korrelgrootte zijn in onderstaande grafieken weergegeven. De abiotische variabelen diepte en afstand tot de laagwaterlijn zijn niet weergegeven omdat deze al uit de profielen (Figuur 3.7, Figuur 3.8 en Figuur 3.9) duidelijk worden. Het organische stofgehalte ligt tussen de 0,4 en 1,3% van de totale sedimentsamenstelling.



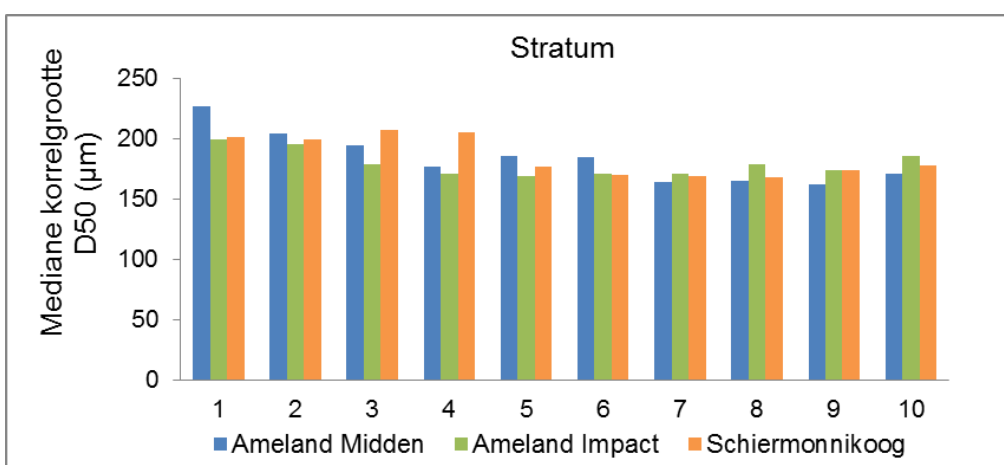
Figuur 3.13 Korrelgrootteverdeling in de vooroever gemiddeld per gebied en de gemiddelde mediane korrelgrootte (D50) per gebied: A) Ameland Midden, B) Ameland Impact, C) Schiermonnikoog. Gebaseerd op 1 monster per stratum per studiegebied.



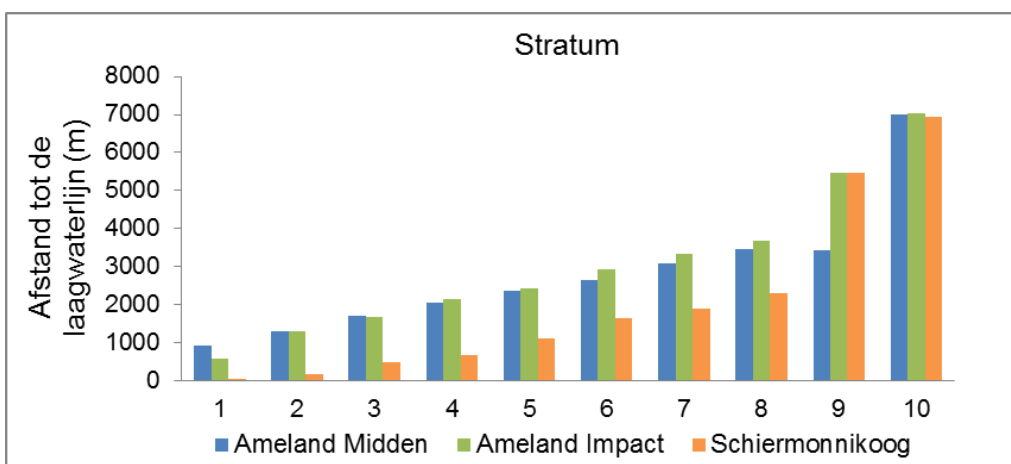
Figuur 3.14 Organische stofgehalte als percentage van 100 % van de totale sedimentsamenstelling, gebaseerd op 1 monster per stratum per studiegebied.



Figuur 3.15 Diepte ten opzichte van NAP (m), gebaseerd op het gemiddelde (n=3) per stratum per studiegebied.



Figuur 3.16 Mediane korrelgrootte D50 (µm) gebaseerd op 1 monster per stratum per studiegebied.



Figuur 3.17 Afstand tot de laagwaterlijn (m), gebaseerd op het gemiddelde (n=3) per stratum per studiegebied.

3.4.2 Correlatie analyse abiotiek met biotiek

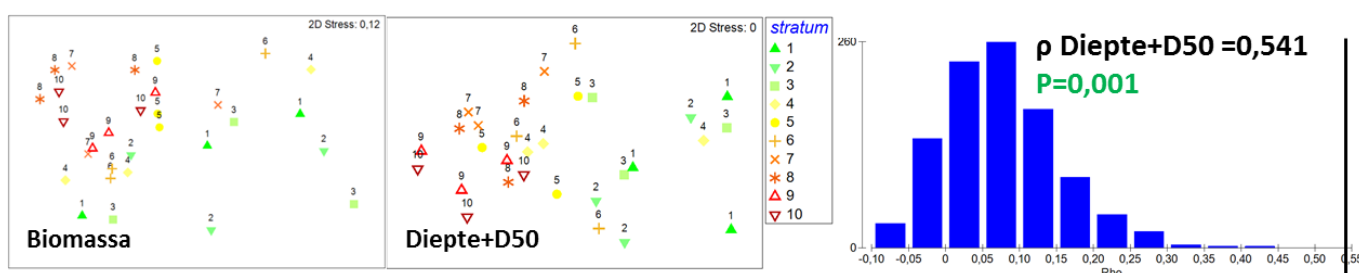
Een analyse van de meest verklarende abiotische variabele (diepte, afstand tot de laagwaterlijn, organisch stof gehalte of mediane korrelgrootte) voor de gevonden soortensamenstelling op basis van dichtheid en biomassa is beschreven per studiegebied en voor de studiegebieden samen. In de analyse wordt de resemblance matrix van abiotische variabelen en verschillende combinaties hiervan (sub-sets) vergeleken met het patroon van biota in de resemblance matrix, door middel van een permutatie test. De combinatie (sub-set) of individuele abiotische variabelen die het sterkst correleren met de biota worden de best verklarende abiotische variabelen genoemd.

MDS plots gebaseerd op de geteste resemblance matrices zijn weergegeven omdat deze de overeenkomst tussen het gevonden patroon in de abiotische variabelen en biota inzichtelijk kunnen maken. De monsters zijn in de MDS plots gelabeld met het stratum waar het monster toe behoort, om overeenkomsten tussen het abiotische en biotische patroon inzichtelijk te maken. Het stratum is echter niet als aparte factor meegenomen in de analyse. De analyse is gebaseerd op alle monsters zonder ruimtelijke structurering van de monsters (strata). De analyses op basis van de biomassa zijn zowel uitgevoerd zonder als met de gewone hartegel (*E. cordatum*) en de Amerikaanse zwaarschede (*E. directus*). Hieronder worden de analyses exclusief deze soorten beschreven; de analyses inclusief deze soorten zijn weergegeven in appendix D.

Biomassa en abiotische variabelen

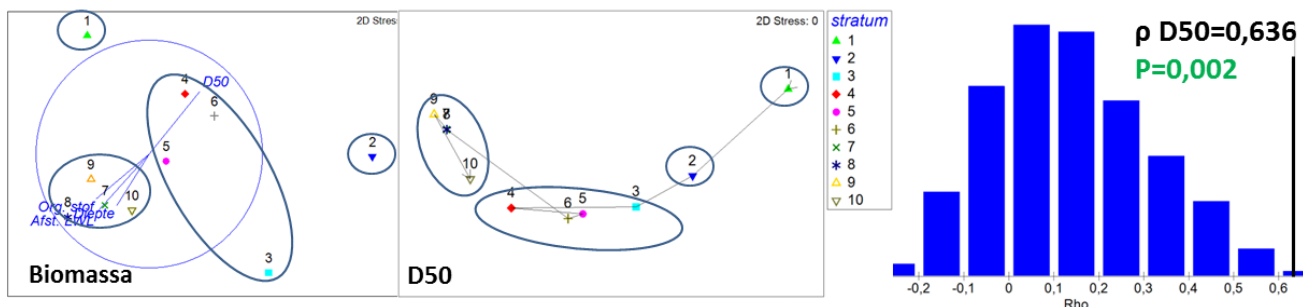
De uitkomsten van de best verklarende abiotische variabelen (of een sub-set hiervan) van de gehele vooroever (Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog) en de afzonderlijke gebieden voor biomassa zijn weergegeven in Figuur 5.18 t/m Figuur 3.21.

De soortensamenstelling op basis van biomassa van alle monsters zonder ruimtelijke structurering (strata) van alle studiegebieden samen correleren het best met de abiotische variabelen diepte en korrelgrootte (D50) ($p=0,541$). De correlatiecoëfficiënt is significant ($p=0,001$). Het MDS patroon van de soortensamenstelling op basis van biomassa en op basis van Diepte+D50 is gelabeld met het stratumnummer van de monsters ter informatie. Het MDS patroon (op basis van de getoetste resemblance matrices) van biomassa en Diepte+D50 laat zien dat de verdeling van de soortensamenstelling op basis van biomassa overeenkomt met het patroon gevonden voor diepte en korrelgrootte.



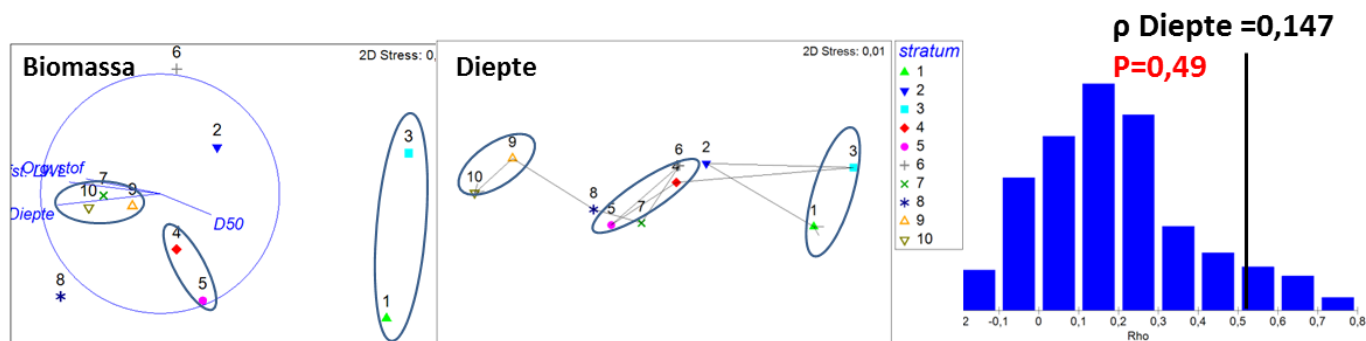
Figuur 3.18 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor biomassa ($g\ ADG/m^2$) van de hele vooroever (Ameland Midden + Ameland Impact+ Schiermonnikoog) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p -waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van biomassa en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek.

De soortensamenstelling op basis van biomassa van Ameland Midden wordt het best verklaard door de korrelgrootte (D50) met een correlatie van 0,636. Deze relatie is significant ($p=0,002$).



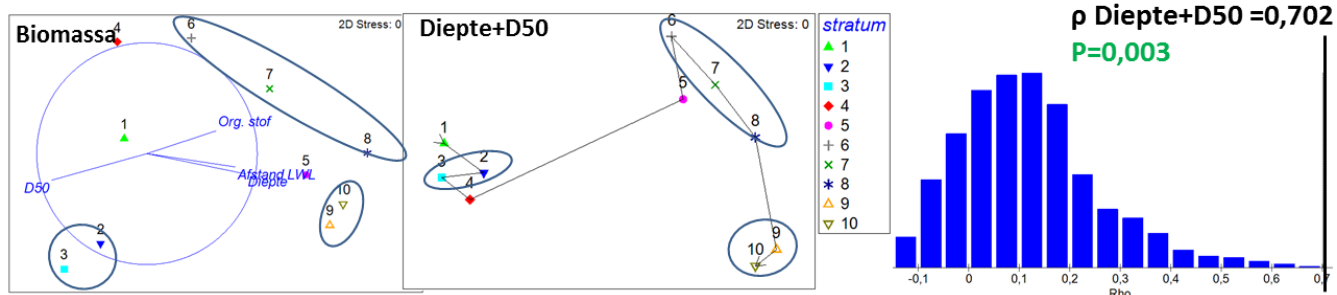
Figuur 3.19 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor biomassa ($g\ ADG/m^2$) van Ameland Midden (zonder *E. cordatum* en *E. directus*) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p-waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van biomassa en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek.

De soortensamenstelling op basis van biomassa van Ameland Impact wordt het best verklaard door de diepte ($\rho = 0,147$), echter deze correlatie is erg beperkt en niet significant volgens vastgestelde grens van een 95% betrouwbaarheidsinterval. Het MDS plot laat wel enige overeenkomsten in het patroon van diepte en biomassa zien voor Ameland Impact.



Figuur 3.20 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor biomassa ($g\ ADG/m^2$) van Ameland Impact (zonder *E. cordatum* en *E. directus*) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p-waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van biomassa en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek

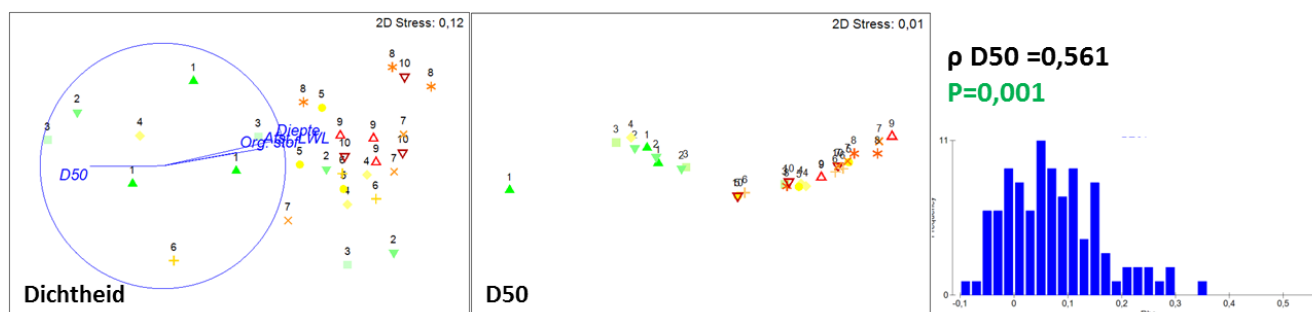
De soortensamenstelling op basis van biomassa van Schiermonnikoog zijn sterk gelinkt aan de abiotische variabelen diepte en korrelgrootte (D50). Het MDS patroon van biomassa en Diepte+D50 laat veel overeenkomst zien en de gevonden correlatie is significant. De verklarende factoren in Schiermonnikoog komen overeen met de verklarende factoren voor alle monsters samen.



Figuur 3.21 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor biomassa (g ADG/m²) van Schiermonnikoog (zonder *E. cordatum* en *E. directus*) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p-waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van biomassa en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek

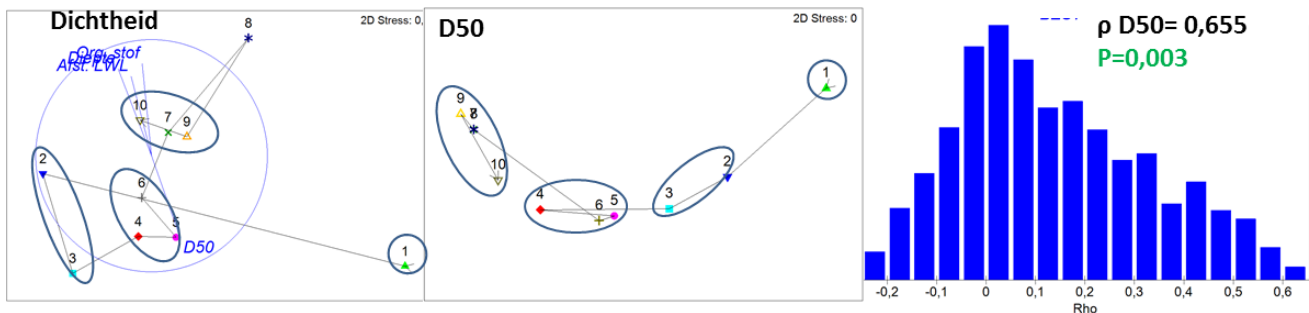
Dichtheid en abiotische variabelen

De uitkomsten van de best verklarende sub-set van abiotische variabelen van de gehele vooroever (Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog) en de afzonderlijke gebieden voor dichtheid zijn weergegeven in Figuur 3.22. Voor de monsters van alle studiegebieden samen is de dichtheid het meest gelinkt aan de korrelgrootte ($\rho=0,561$). Deze correlatie is significant ($p=0,001$). Uit de MDS plot blijkt de korrelgrootte eenzelfde zeewaartse gradiënt te vertonen als de dichtheid monsters van Ameland Midden, Ameland Impact en Schiermonnikoog.



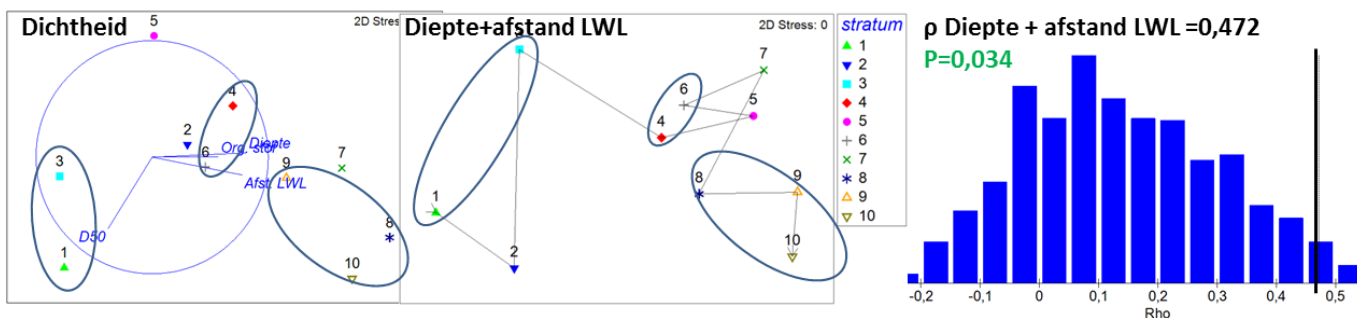
Figuur 3.22 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor dichtheid (n/m²) van de hele vooroever (Ameland Midden + Ameland Impact+ Schiermonnikoog) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p-waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van dichtheid en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek.

Het gevonden patroon in dichtheid monsters van Ameland Midden correleert het best met de abiotische variabele korrelgrootte (D50) ($\rho=0,655$). Deze link tussen de dichtheid op Ameland Midden en de korrelgrootte is significant.



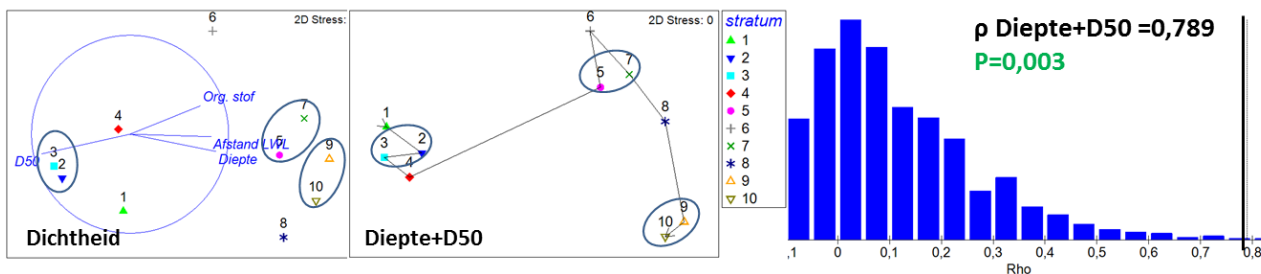
Figuur 3.23 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor dichtheid (n/m^2) van Ameland Midden (zonder *E. cordatum* en *E. directus*) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p-waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van dichtheid en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek

De dichtheid van de monsters van Ameland Impact wordt het best verklaard door de diepte en de afstand tot de laagwaterlijn. Deze correlatie is significant.



Figuur 3.24 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor dichtheid (n/m^2) van Ameland Impact (zonder *E. cordatum* en *E. directus*) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p-waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van dichtheid en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek

De diepte en de korrelgrootte samen hebben een sterke link met de dichtheid van Schiermonnikoog. Ook de MDS plot laat een overeenkomstig patroon zien voor deze abiotische variabelen en de dichtheid. De gevonden correlatie ($\rho=0,789$) is significant ($p=0,003$).

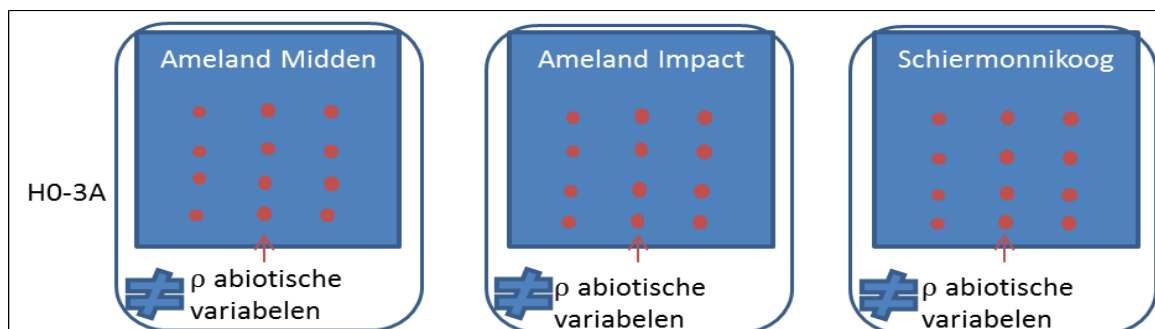


Figuur 3.25 Uitkomsten van de Global BEST analyse van abiotische variabelen voor dichtheid (n/m^2) van Schiermonnikoog (zonder *E. cordatum* en *E. directus*) op basis van een Bray Curtis resemblance matrix. Uitkomsten weergegeven aan de hand van Spearman correlatie ρ voor de best correlerende sub-set van abiotische variabelen, bijbehorende p-waarde voor de correlatiefactor en een weergave van een MDS plot van dichtheid en de best verklarende sub-set van abiotische variabelen, gelabeld met het stratum waar de monsters toe behoren ter vergelijking tussen het multi dimensionale patroon tussen de biotiek en abiotiek

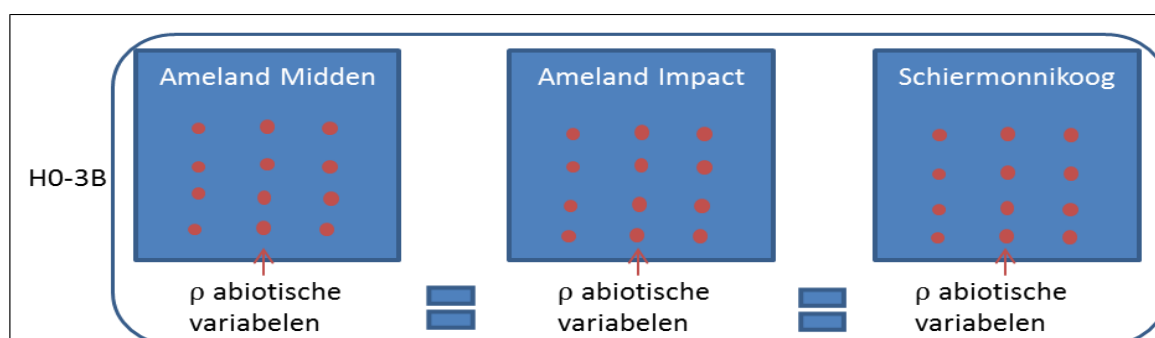
3.4.3 Conclusies relaties tussen abiotische parameters binnen studiegebieden

In dit hoofdstuk werden de resultaten bij de analyses van H0-3 beschreven.

- **H0-3A:** Er is geen relatie tussen de soortensamenstelling van het macrobenthos en de abiotische factoren (diepte, afstand tot de laagwaterlijn, korrelgrootte en organische stofgehalte) binnen elk studiegebied.



- **H0-3B:** De in H0-3A genoemde relaties tussen soortensamenstelling en abiotiek verschillen niet tussen de studiegebieden.



De resultaten van de analyses beschreven in dit hoofdstuk zijn samengevat in onderstaande tabellen.

| Resultaten analyses H0-3A | | | |
|--|------------------|-------------|----------------------|
| Correlatie best verklarende abiotische parameters in de vooroever | Gehele vooroever | Biomassa * | Diepte + D50 |
| | | Dichtheid * | D50 |
| | Ameland Midden | Biomassa * | D50 |
| | | Dichtheid * | D50 |
| | Ameland Impact | Biomassa | Diepte |
| | | Dichtheid * | Diepte + afstand LWL |
| | Schiermonnikoog | Biomassa * | Diepte + D50 |
| | | Dichtheid * | Diepte + D50 |

* Significant bepaald ($p \leq 0.05$)

| Resultaten analyses H0-3B | | | |
|---|-----------|---------|---------|
| Best verklarende abiotische parameters gelijk over de studiegebieden | Biomassa | AM ≠ AI | AM ≠ SR |
| | Dichtheid | AM ≠ AI | AM ≠ SR |

De conclusies per deelvraag van de hypothese H0-3A (“Er is geen relatie tussen de soortensamenstelling van het macrobenthos en de abiotische factoren (diepte, afstand tot de laagwaterlijn, korrelgrootte en organische stofgehalte) binnen elk studiegebied.”) en H0-3B (“De in H0-3A genoemde relaties tussen soortensamenstelling en abiotiek verschillen niet tussen de studiegebieden”) zijn hieronder nader beschreven.

Is er een relatie tussen de biomassa (g ADG/ m²) en dichtheid (n/ m²) afzonderlijk van alle monsters van de vooroever (AM, AI, SR) en abiotische variabelen (diepte, afstand tot de kust, korrelgrootte en organische stofgehalte)?

Er is een significante relatie tussen de combinatie van diepte ten opzichte van NAP (m) en mediane korrelgrootte (D50) en de biomassa van alle monsters van Ameland en Schiermonnikoog.

Er is tevens een significante relatie tussen de mediane korrelgrootte (D50) en de gevonden dichtheid van alle monsters van Ameland en Schiermonnikoog.

Is er een relatie tussen de biomassa en dichtheid (n/ m²) afzonderlijk en abiotische variabelen binnen elk studiegebied (AM, AI, SR)?

Binnen Ameland Midden is de korrelgrootte (D50) het meest verklarend van de geteste abiotische variabelen voor het ruimtelijk patroon in biomassa en dichtheid (respectievelijk $p=0,636$; $p=0,655$) van macrobenthos. In Ameland Impact is er de meest verklarende abiotische variabele de diepte. Voor Schiermonnikoog is de combinatie van diepte en korrelgrootte het meest verklarend voor het patroon in biomassa.

Zijn de gevonden relaties tussen best verklarende abiotische variabelen voor de biomassa (g ADG/ m²) en dichtheid (n/ m²) afzonderlijk binnen elk studiegebied (AI, AM, SR) gelijk tussen de verschillende studiegebieden?

Er kan geen specifieke parameter aangewezen worden die de soortensamenstelling in elk gebied verklaart, doordat de meest verklarende parameters verschillen tussen de studiegebieden. Om hier meer over te kunnen zeggen zouden afzonderlijke variabelen vergeleken moeten worden in alle mogelijke combinaties. Tevens zijn sommige variabelen (eg. D50 en diepte, afstand tot de laagwaterlijn en diepte) onderling afhankelijk.

Hoewel er geen specifieke parameters aangewezen kunnen worden die in alle gebieden het meest verklarend zijn voor de bodemdiergemeenschap, zijn de korrelgrootte (D50) en diepte ten opzichte van NAP (m) het vaakst de best verklarende factoren voor de gevonden patronen in biomassa en dichtheid

4 Discussie

4.1 Hypotheses

H0-1: Er is geen verschil in totale biomassa, dichtheid en diversiteit en soortensamenstelling van macrobenthos tussen Ameland Midden en de referentiegebieden.

Aan de hand van de uitgevoerde analyses en de beantwoorde deelvragen (paragraaf 5.2.4) wordt de H0-1 verworpen omdat er wel een verschil is in dichtheid en biomassa tussen Ameland Midden en Schiermonnikoog, en er een verschil is in dichtheid tussen Ameland Midden en Ameland Impact.

H0-2A: Er is geen ruimtelijk patroon in soortensamenstelling van het macrobenthos binnen de afzonderlijke studiegebieden.

Aan de hand van de uitgevoerde analyses en de beantwoorde deelvragen (paragraaf 5.3.3) wordt de H0-2A verworpen omdat er wel een ruimtelijk patroon is in biomassa en dichtheid binnen gebieden. Dit patroon bestaat uit het stratum en een zeewaartse gradiënt in soortensamenstelling.

H0-2B: De ruimtelijke patronen in soortensamenstelling komen niet overeen tussen de studiegebieden.

Aan de hand van de uitgevoerde analyses en de beantwoorde deelvragen (paragraaf 5.3.3) wordt H0-2B niet verworpen. Met in acht neming van de ruimtelijke factoren studiegebied en daarbinnen strata, komt de soortensamenstelling zowel op basis van biomassa als van dichtheid overeen tussen Ameland Midden en Ameland Impact. Echter, omdat het ruimtelijk patroon tussen Ameland Midden en Schiermonnikoog verschilt kan de H0-2B niet worden verworpen.

H0-3A: Er is geen relatie tussen de soortensamenstelling van het macrobenthos en de abiotische factoren (diepte, afstand tot de laagwaterlijn, korrelgrootte en organische stofgehalte) binnen elk studiegebied.

Aan de hand van de uitgevoerde analyses en de beantwoorde deelvragen (paragraaf 5.4) wordt de H0-3A verworpen omdat er wel een relatie is binnen elk studiegebied tussen enerzijds biomassa en dichtheid afzonderlijk en anderzijds een selectie van best verklarende abiotische variabelen. De best verklarende abiotische variabelen zijn over het algemeen de diepte en mediane korrelgrootte gebleken.

H0-3B: De in H0-3A genoemde relaties tussen soortensamenstelling en abiotiek verschillen niet tussen de studiegebieden.

Aan de hand van de uitgevoerde analyses en de beantwoorde deelvragen (paragraaf 5.4) blijkt er een verschil te zijn tussen de meest verklarende abiotische variabelen binnen studiegebieden.

4.2 Vergelijking uitkomsten met rapportage 2009-2012

Holzhauser et al. (2014) hebben een analyse van onder andere de macrobenthos van verschillende gebieden op Ameland en Schiermonnikoog beschreven voor meerdere jaren 2009-2012. Doordat in deze analyses ook de gebieden Ameland Impact en Schiermonnikoog mee zijn genomen en monsternamen op dezelfde manier heeft plaatsgevonden, maar ze gebaseerd zijn op andere jaren, is een vergelijking met de huidige rapportage interessant. Deze vergelijking kan inzicht bieden in het kader waarin de resultaten uit de huidige studie geïnterpreteerd kunnen worden. De belangrijkste bevindingen van de rapportage van de bemonstering van Ameland en Schiermonnikoog 2009-2012 (Holzhauser et al, 2014) worden hieronder beschreven, en vergeleken met de bevindingen in de huidige studie.

Vergelijking biomassa en dichtheid

De analyse van macrobenthos van Ameland en Schiermonnikoog laat significante jaarlijkse verschillen zien tussen zowel dichtheid als biomassa. Jaarlijkse variatie is vooral toe te schrijven aan *Ensis directus*, maar is ook zonder deze soort significant.

Verschillen in dichtheid liggen tussen 4518 n/m² in 2009 en 387 n/m² in 2012. Dit betreft een gemiddelde van alle studiegebieden. Daarnaast is tussen september 2010 en januari 2011 een suppletie uitgevoerd welke de dichtheden in ieder geval op korte termijn hebben beïnvloedt. Dichtheden die gevonden werden in het huidige onderzoek (T₀₂₀₁₄) waren 1133,9 n/m² in Ameland Midden, 761,2 n/m² in Ameland Impact en 463,9 n/m² in Schiermonnikoog. Hoewel dichtheden in dezelfde orde grootte liggen, is zijn er grote jaarlijkse verschillen. Dit zal de interpretatie van volgende jaren bemoeilijken, doordat verschillen met de huidige bemonstering ook een jaareffect zouden kunnen weergeven. Dominante soorten voor dichtheid gevonden in 2014 kwamen overeen met de in de rapportage van 2009-2012 gevonden dominante soorten. Belangrijke soorten voor dichtheid waren de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*), de worm (*Magelona johnstoni*), de worm (*Nephtys hombergii*), de borstelworm (*Spiophanes bombyx*) en het nonnetje (*Macoma baltica*). Er was geen significant verschil in dichtheid tussen gebieden aangetoond in de rapportage van 2009-2012. Dit was wel het geval in het huidige onderzoek (T₀₂₀₁₄) waar de dichtheid van Schiermonnikoog significant verschilde van Ameland Impact. Mogelijk is dit te wijten aan de grote hoeveelheid *Ensis directus* (Amerikaanse zwaardschede) die in Schiermonnikoog werd gevonden gemiddeld in de rapportage van 2009-2012. In de huidige rapportage (T₀₂₀₁₄) is er nagenoeg geen *Ensis directus* (Amerikaanse zwaardschede) gevonden op Schiermonnikoog.

Ook de variatie in de gemiddelde biomassa is groot tussen de jaren 2009-2012 met een minimum van 4,25 (g ADG/m²) in 2010 en een maximum van 24,46 (g ADG/m²) in 2011. In de 2009-2012 rapportage zijn de Amerikaanse zwaardschede (*E. directus*) en de gewone hartegel (*E. cordatum*) meegenomen in de analyse. In de huidige rapportage (T₀₂₀₁₄) liggen de biomassa waarden inclusief de soorten *E. directus* en *E. cordatum* tussen de 22,85 en 4,35 (g ADG/m²). Deze biomassa waarden liggen daarmee in dezelfde range als in de rapportage 2009-2012. Zonder de soorten *E. directus* en *E. cordatum* ligt de gemiddelde biomassa echter een stuk lager, rond de 1,80 (g ADG/m²). Deze soorten zijn dus erg bepalend voor verschillen tussen gebieden en jaren. Dit werd ook opgemerkt in de rapportage 2009-2012, waarin de soort *E. directus* vooral bepalend was voor verschillen tussen jaren. Naast eerder genoemde soorten was ook *Macoma balthica* een belangrijke soort voor biomassa in de rapportage van 2009-2012, wat overeen komt met de huidige rapportage (T₀₂₀₁₄).

Overige vergelijkingen

Vooraf aan suppletie werden er geen verschillen gevonden tussen Ameland en Schiermonnikoog op gemeenschap niveau voor macrobenthos op basis van dichtheid en biomassa. In de huidige rapportage is er vooral een verschil ten opzichte van Schiermonnikoog. Mogelijk is dit te wijten aan de suppletiehistorie van de gebieden van Ameland, er is hiervoor echter geen causaal verband aan te tonen.

In de rapportage van 2009-2012 werd op Schiermonnikoog veel *Ensis directus* gevonden ten opzichte van Ameland. In de huidige rapportage is dit juist niet het geval en wordt er meer *Ensis directus* gevonden op Ameland. Ook *Lanice* was in 2009-2012 gemiddeld meer aanwezig op Schiermonnikoog en had een groot effect op de dichtheid, in tegenstelling tot in het huidige onderzoek (T0₂₀₁₄).

De gemiddelde korrelgrootte ligt in de huidige rapportage iets hoger (182 µm) dan in voorgaande jaren toen hij gemiddeld 175 µm was (Holzhauer et al, 2014).

Zeewaartse gradiënt

Ook uit de bevindingen van de 2009-2012 rapportage blijkt dat er een duidelijke zeewaartse gradiënt aanwezig is in de gemeenschap van macrobenthos. Hierin zijn ook duidelijke verschillen gevonden tussen monsters die kustwaarts liggen van de ondiepe brekersbank van de diepe monsters. Er was (ook) geen duidelijke groepering aanwezig op basis van morfologische entiteiten zoals de troggen, banken en hellingen. Deze bevindingen komen overeen met de resultaten uit de huidige rapportage, waarin ook een sterke zeewaartse gradiënt gevonden werd. In de huidige rapportage lijkt een dergelijke groepering ook aanwezig te zijn aan de hand van de clusteranalyses. Hier is niet statistisch op getest.

4.3 Belangrijkste bevindingen huidige rapportage

Referentiegebieden

De resultaten van de T0₂₀₁₄ bemonstering van het te suppleren gebied Ameland Midden en aangewezen referentiegebieden Ameland Impact en Schiermonnikoog laten zien dat de gemeenschapssamenstelling van macrobenthos van Ameland Midden veel overeenkomst vertoont met Ameland Impact. De vooroevers van deze gebieden lijken ook sterk op elkaar met betrekking tot bankenpatroon en diepte. Ook zijn beide gebieden eerder gesuppleerd. Het is daarom niet verwonderlijk dat de gebieden qua bodemdieren overeenkomen. Ameland Impact is daardoor een geschikt referentiegebied voor het te suppleren Ameland Midden.

Er worden ook overeenkomsten met Schiermonnikoog gevonden vooral in aanwezigheid van dominante soorten en diversiteit, echter Schiermonnikoog verschilt voor zowel biomassa als dichtheid significant van Ameland Midden. Schiermonnikoog heeft een flauwer diepteprofiel dan Ameland. Dit kan mogelijk de verschillen tussen beide gebieden verklaren.

Het zou interessant zijn om na te gaan of in de rapportage van 2009-2012, waarin macrobenthos van Schiermonnikoog gemiddeld meer overeenkwam met die van Ameland, ook meer overeenkwam in abiotische variabelen. Echter, van jaar tot jaar kwam de macrobenthos van Schiermonnikoog ook niet altijd overeen met die van Ameland. Zoals ook bleek uit de rapportage van 2009-2012 is de jaarlijkse variatie tussen en binnen gebieden groot. Dit bemoeilijkt de interpretatie van de resultaten van een momentopname binnen een jaar.

Ruimtelijk patroon

Er is een ruimtelijk patroon gevonden in de soortensamenstelling. In 2014 was er veel overeenkomst in de soortensamenstelling op dezelfde strata. De overeenkomst in soortensamenstelling tussen strata kende een zeewaartse gradient. De morfologische entiteiten zoals banken, hellingen en troggen bleken minder van belang voor de soortensamenstelling, zoals ook werd gevonden in de rapportage van 2009-2012 (Holzhauer et al, 2014). Hoewel de 2009-2012 rapportage een duidelijke indeling in gebieden (diep – intergetijden – ondiep) kon traceren, is hier niet op getest in de huidige rapportage. De resultaten geven echter wel indicaties voor een dergelijke indeling.

Abiotiek

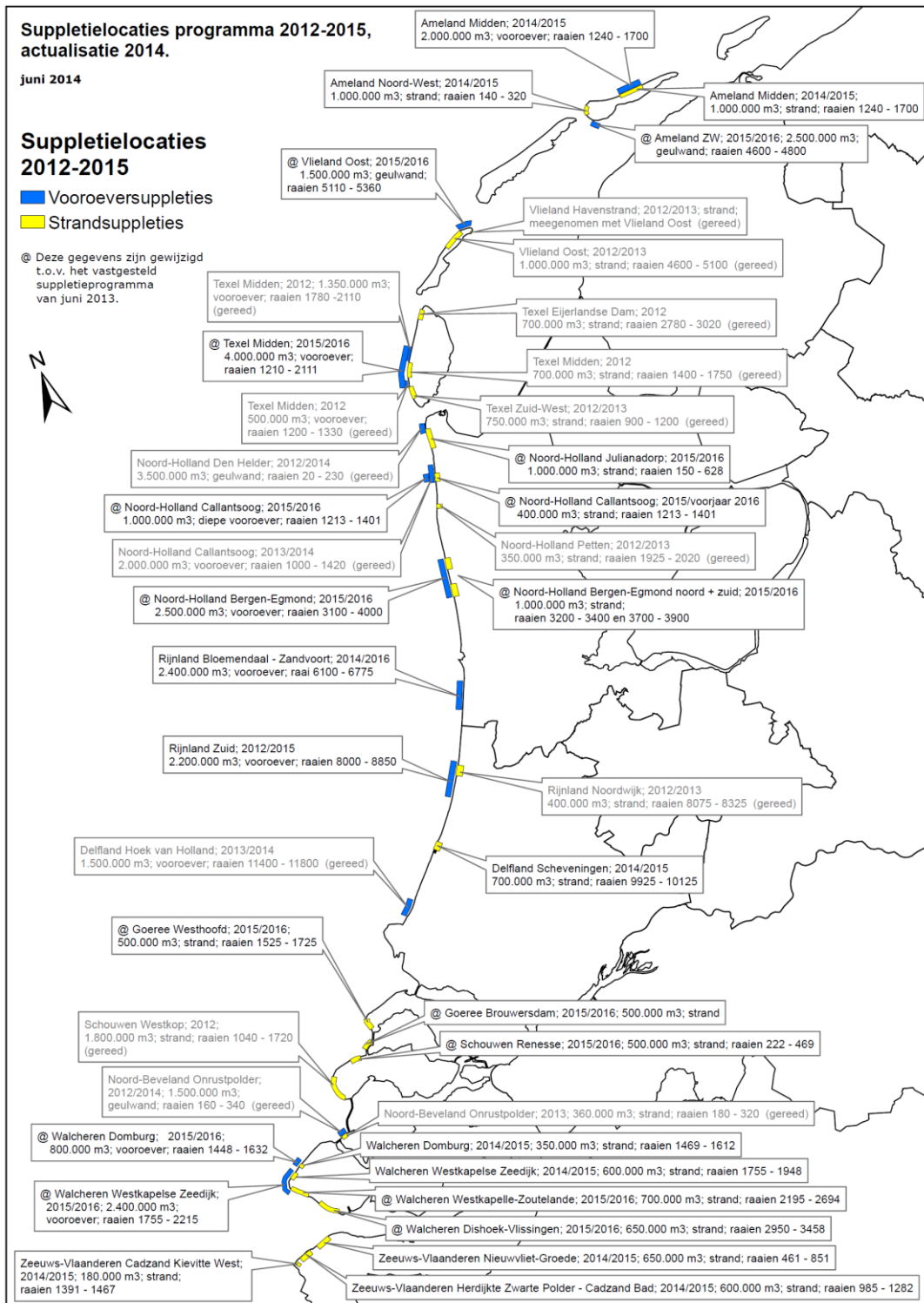
De variatie van abiotische parameters over de zandige vooroever wordt grotendeels bepaald door de korrelgrootte van het zand, het golfklimaat en het getij (McLachlan & Dorvlo, 2005). Deze variabelen samen bepalen in grote mate de steilheid van de vooroever, het bankenpatroon en de compactheid van het zand en de aanwezigheid van organisch materiaal en de dus de mate waarin de leefomgeving geschikt is voor verschillende soorten. Als gevolg van een suppletie zullen op korte termijn de heersende randvoorwaarden veranderen en daarom de leefomgeving van macrobenthos beïnvloeden.

Uit de resultaten bleken de korrelgrootte en de diepte het vaakst de best verklarende abiotische parameters te zijn voor het gevonden patroon in soortensamenstelling op basis van dichtheid en biomassa. Aan de hand van de analyses is het onmogelijk om aan te wijzen of deze variabelen altijd het meest verklarend zullen zijn voor de aanwezige gemeenschap van macrobenthos, aangezien de bemonstering een momentopname betreft en andere abiotische variabelen zoals de hellingsgraad of de getijdeslag niet zijn meegenomen. Ook betekent een correlatie niet automatisch dat deze causaal is voor het gevonden patroon. Om de verklarende abiotische factoren op lange termijn in kaart te kunnen brengen zal een lange termijnstudie noodzakelijk zijn waarbij abiotiek en biotiek gelijktijdig wordt gevolgd, ook om de natuurlijke variatie en rol van biologische interacties te kunnen vaststellen (McLachlan & Dorvlo, 2005).

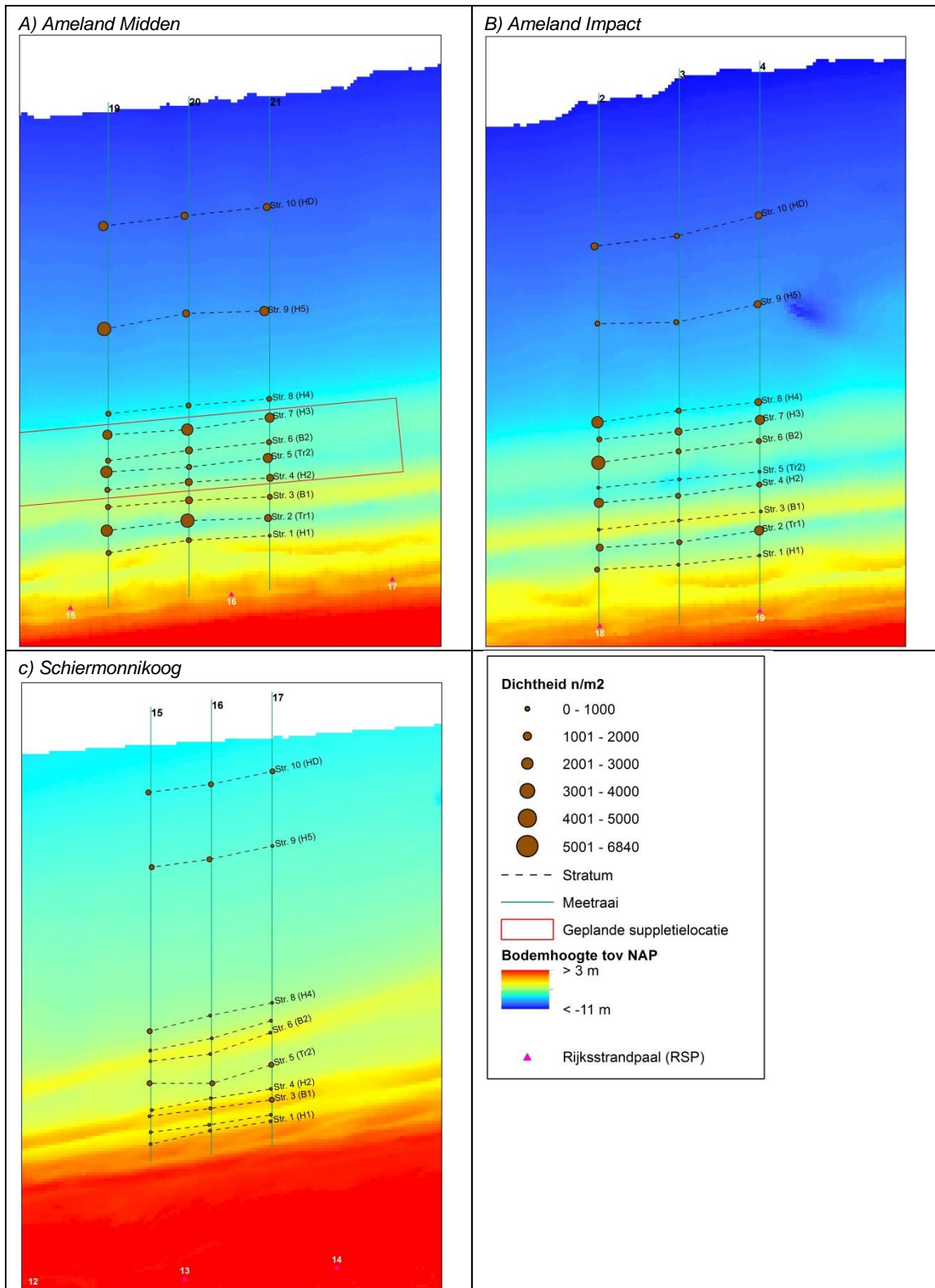
5 Literatuur

- Clarke, K. R., Somerfield, P. J., & Gorley, R. N. (2008). Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366, 56-69.
- Elias, E., & Bruens, A. (2013). Beheerbibliotheek Ameland - Feiten & cijfers ter ondersteuning van de jaarlijkse toetsing van de kustlijn: Deltares.
- Goudswaard, K., Kesteloo, J., van Zweeden, C., & Vanagt, T. (2009). Kwantitatieve bemonstering in het zandsuppletiegebied Ameland in 2009 op de aanwezigheid van schelpdierbanken. : Wageningen Imares.
- Holzhauser, H., Vanagt, T., Lock, K., Van Oeveren, M. C., De Backer, A., Hostens, K., . . . Reinders, J. (2014). Ecologische effecten suppletie Ameland 2009-2012 - Interim rapportage ihkv KPP B&O Kust Ecologie. Delft: Deltares.
- Martins, G. M., Patarra, R.F., Álvaro, N.V., Prestes, A.C.L., Neto, A.I. (2013). Effects of coastal orientation and depth on the distribution of subtidal benthic assemblages. *Marine Ecology*, 34(3), 289-297. doi: 10.1111/maec.12014
- McLachlan, A., & Dorvlo, A. (2005). Global patterns in sandy beach macrobenthic communities. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 674-687.
- Rijkswaterstaat. (2014). Kustlijnkaarten 2015 Rijkswaterstaat.
- Speybroeck, J., Bonte, D., Courtens, W., Gheschiere, T., Grootaert, P., Maelfait, J. P., . . . Degraer, S. (2006). Beach nourishment: An ecologically sound coastal defence alternative? A review. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16, 419-435.
- Van Dalftsen, J. A., & Essink, K. (1997). Risk analysis of coastal nourishment techniques in The Netherlands *RIACON*. Haren: RIKZ.
- Van Dalftsen, J. A., Holzhauser, H., & Verduin, E. C. (2014). Veldverslag Bemonstering Ameland & Schiermonnikoog 4 & 5 augustus 2014 - t.b.v. KPP B&O Kust Ecologie: Deltares.
- Vanagt, T., Van de Moortel, L., Heusinkveld, J., Vanden Eede, S., Van Steenbrugge, L., Van Hoey, G., & Vincx, M. (2011). Veldcampagne ecologie Ameland 2010: E-Coast.
- Verduin, E., Leewis, L., & Tempelman, D. (2012). Veldcampagne Ameland 2011 - Onderzoek naar de ecologische effecten van zandsuppleties op macrobenthos, epibenthos en demersale vis op Ameland: Deltares.
- Whitlatch, R. B. (1981). Animal-sediment relationships in intertidal marine benthic habitats: some determinants of deposit-feeding species diversity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 53, 31-45.
- Wijsman, J., Goudswaard, K., Meesters, E., & Vanagt, T. (2010). Macrofaunagemeenschap in het vooroeversuppletiegebied AmelandMidden tijdens de zomer 2009 (T0meting). Imares.

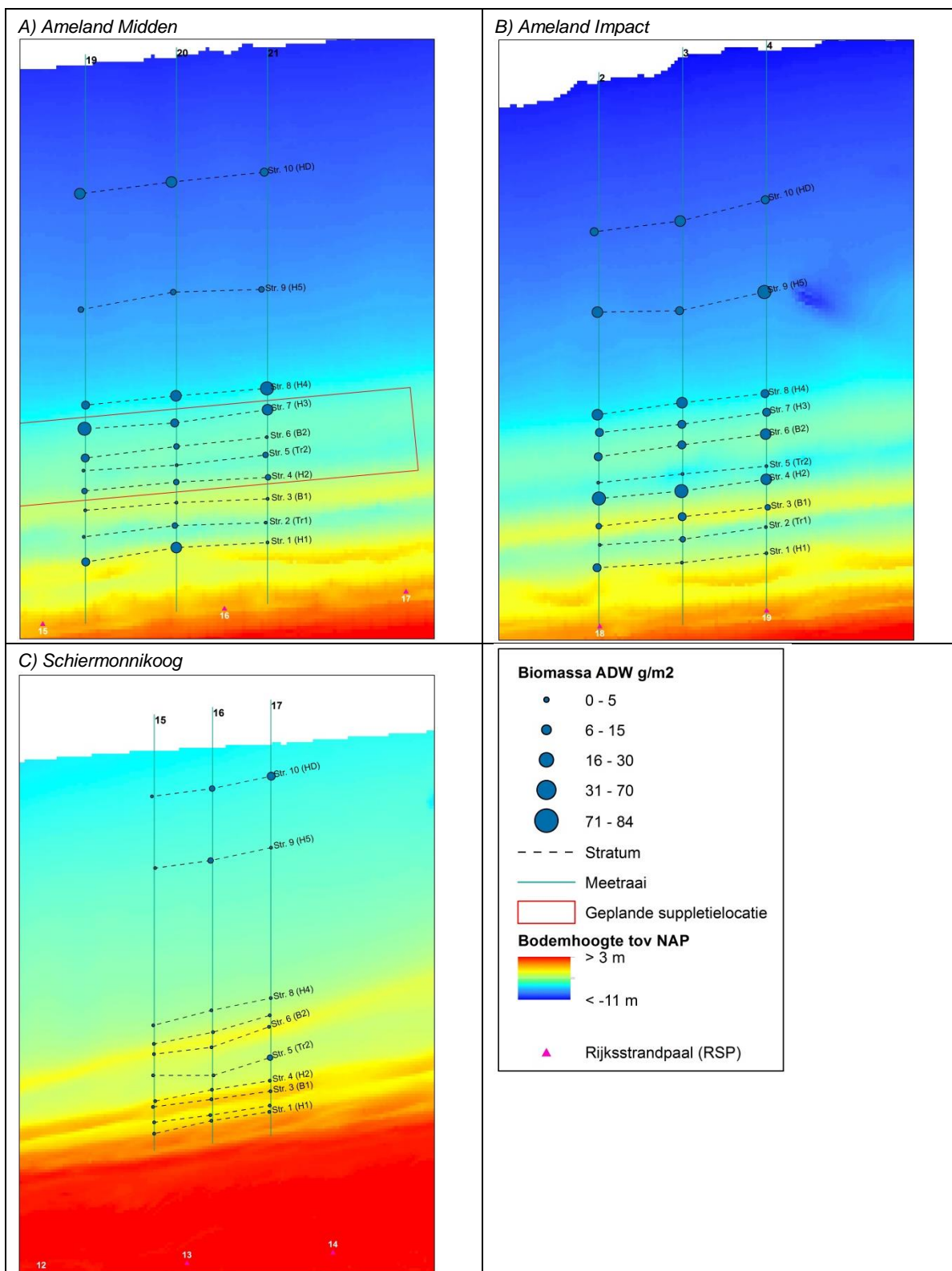
A Suppletielocaties programma 2012-2015



B Totale dichtheid per monsterlocatie

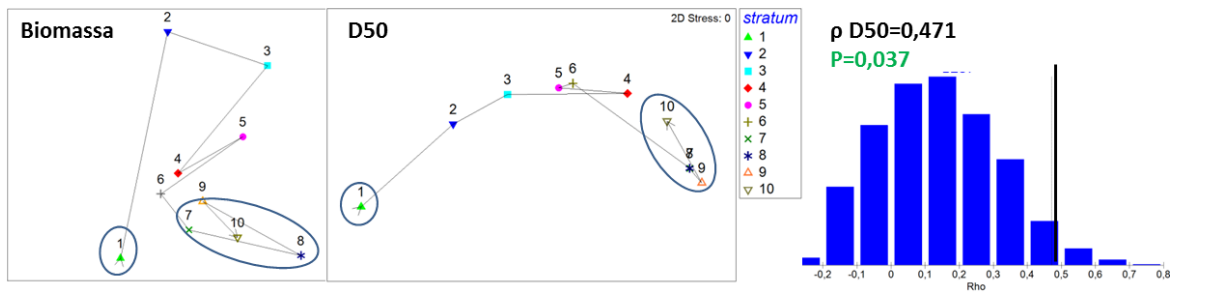


C Totale biomassa per monsterlocatie

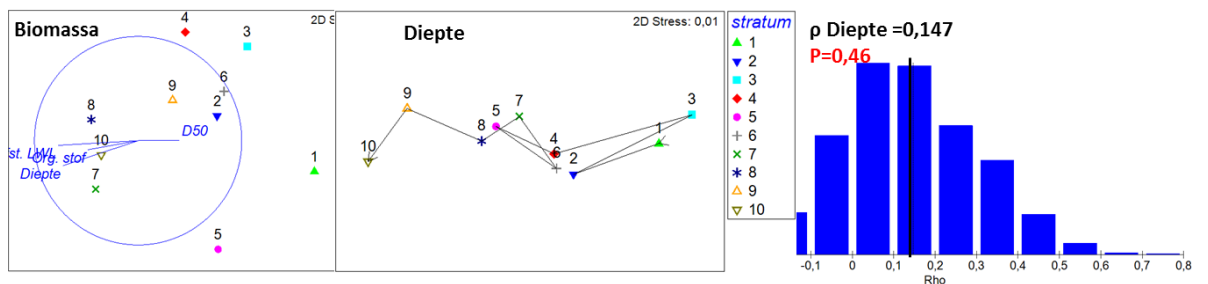


D Uitkomsten Global BEST analyse

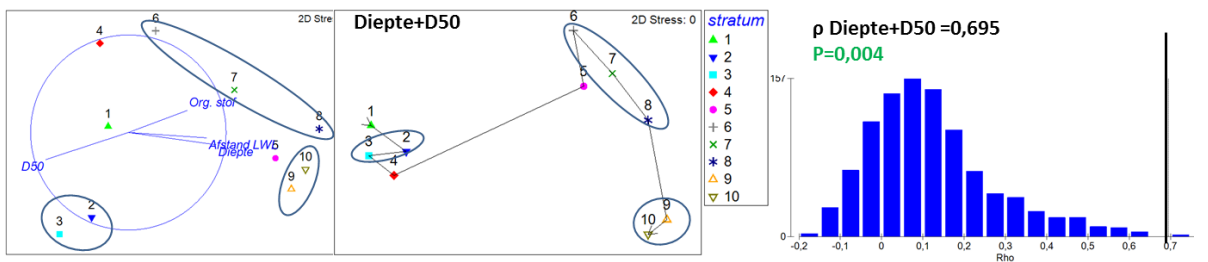
Resultaten voor biomassa inclusief *E. cordatum* en *E. directus*.



a) Ameland Midden



b) Ameland Impact



c) Schiermonnikoog