

Onderzoeksplan: 'Tussenrapportage vijf jaar na sluiting Referentiegebied Rottum'

Frouke Fey, Norbert Dankers , Ingrid Tulp en Jaap van
der Meer (NIOZ)

Rapport C060/11



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Dhr. Sytze Braaksma
Beleidsmedewerker Waddengebied
Directie Regionale Zaken vestiging Noord
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en
Innovatie

BO-11-007-002

Publicatiedatum:

mei 2011

IMARES is:

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

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van het LNV-programma BO-11-007-002: Effecten Visserij ecosysteem Waddenzee

P.O. Box 68
1970 AB IJmuiden
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

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

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

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

© 2011 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V11.2

Samenvatting

Het referentiegebied Rottum is een voor menselijke activiteiten gesloten gebied in de Nederlandse Waddenzee. In het kader van internationale afspraken wordt de natuurontwikkeling in het gebied gevolgd. De basale jaarlijkse bemonstering die hiervoor sinds 2002 jaarlijks wordt uitgevoerd heeft het karakter van "vinger aan de pols". In 2011 staat een tussentijdse rapportage gepland om een uitgebreider beeld te krijgen van de korte termijn ontwikkelingen in het gebied. Hiervoor is een uitgebreide bemonstering van het bodemleven, de vissen, biogene structuren en de bodemstructuur noodzakelijk. In dit rapport wordt een plan ontwikkeld voor deze uitgebreidere bemonstering, waarbij gebruik wordt gemaakt van statistische analyse van de gegevens die tot nu toe verzameld zijn.

De huidige 'vinger aan de pols'-bemonstering geeft een beeld van de algemene ontwikkeling in het gebied in vergelijking met twee controle geulen daarbuiten. Door het beperkte karakter van de bemonsteringen, kunnen zelfs verschillen in dichtheden met een factor 2 in de meeste gevallen niet gemeten worden. Om eventueel optredende kleinere verschillen aan te kunnen tonen zal de jaarlijkse bemonstering eens in de vijf jaar uitgebreid moeten worden tot 71 monsters voor de bodemdieren en 30 monsters voor de visbemonstering. Voor de geaggregeerd voorkomende soorten zal een ander monstertuig ingezet moeten worden, net als voor het in beeld brengen van verschillen in structuur en morfologie van de geulbodem. Naast deze uitgebreide bemonstering blijft het nodig de basale informatie jaarlijks te verzamelen om te begrijpen hoe bepaalde ontwikkelingen plaatsvinden en om te voorkomen dat uitzonderlijke jaren een te grote rol gaan spelen in de analyse.

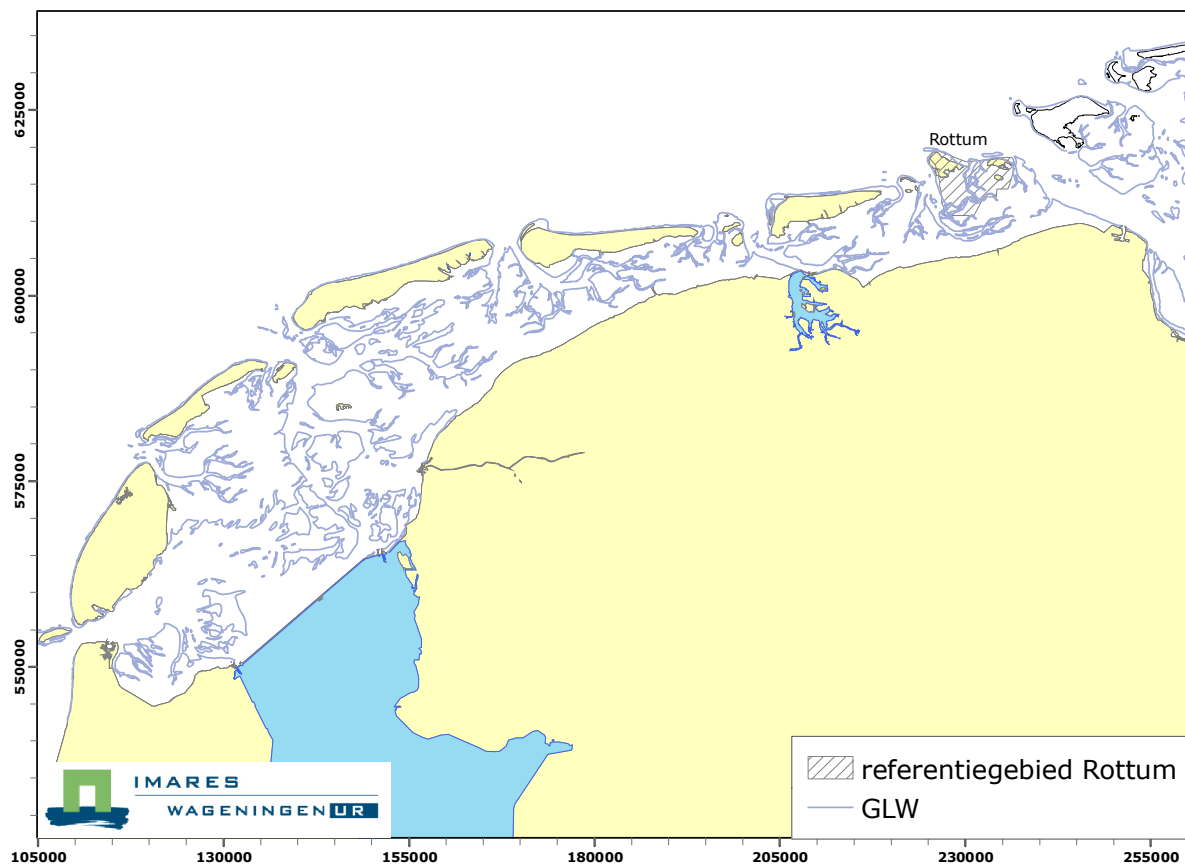
.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	5
1.1.	Inhoud van deze rapportage	6
2.	Specificatie onderzoeksvraag	6
2.1.	Het referentiegebied Rottum	7
2.1.1	Visserijdruk in het verleden	8
2.1.1.1	Kokkelvisserij	8
2.1.1.2	Mosselvisserij	8
2.1.1.3	Garnalenvisserij	8
2.2.	Mogelijke effecten bodemberoering	9
2.2.1	mogelijke effecten op bodemstructuur en troebelheid	9
2.2.2	mogelijke effecten op bodemdieren en bodemvissen	9
2.2.3	mogelijke effecten door verstoring	10
2.3.	Bijdrage aan onderzoek naar effecten garnalenvisserij	10
2.3.1	(On)mogelijkheid van referentiegebied Rottum t.b.v. kennis over effecten garnalenvisserij	10
2.3.2	Andere mogelijkheden om de effecten van garnalenvisserij te onderzoeken	12
2.3.3	Onderzoek naar herstel in een bevestigd systeem	12
3.	Analyses ter onderbouwing van het onderzoeksplan	14
3.1.	Analyses om de bemonsteringsintensiteit te bepalen	14
3.1.1	Bodemdierbemonstering met van Veen happer	14
3.1.1.1	Poweranalyse voor herkennen van verschil van factor 2 (100%)	14
3.1.2	Visbemonstering met het Demersal Fish Survey-vistuig	15
3.2.	Discussie huidige monstermethode	16
3.2.1	Bodemdierbemonstering met van Veen happer	16
3.2.2	Bodemvisbemonstering met het Demersal Fish Survey-vistuig	16
4.	Onderzoeksplan	17
4.1	Bodemstructuur	17
4.1.1	Tussentijdse bemonstering bodemstructuur	17
4.1.1.1	Schelpengruis (ongewijzigd)	17
4.1.1.2	Bodemsamenstelling (toevoeging)	17
4.1.1.3	Bodemstructuur en structuurvormende organismen (toevoeging) ..	17
4.1.1.3	Bodemstructuur (toevoeging)	18
4.2	Bodemdieren	18
4.2.1	Tussentijdse bemonstering bodemdieren	19
4.2.1.1	Epi- en infauna - van Veen happer (uitbreiding)	19
4.2.1.2	Geaggregeerde benthos - bodemschaaf (toevoeging)	19
4.3	bodemvissen (uitbreiding)	20
4.3.1	Tussentijdse bemonstering bodemvissen	20
4.3.1.1	Bemonstering bodemvissen - DFS (uitbreiding)	20
	Referenties	22
	Bijlage A. Intensiteit garnalenvisserij 2004-2010	24
	Bijlage B. Power analyse gegevens tot 2010	28

1. Inleiding

De Waddenzee is een natuurgebied van uitzonderlijke waarde. In 2009 is het gebied aangewezen als Natura 2000-gebied en in 2010 is het Werelderfgoed geworden. Toch wordt de Waddenzee intensief gebruikt voor toerisme, visserij en het winnen van delfstoffen. In 1991 hebben Denemarken, Duitsland en Nederland daarom afspraken gemaakt over het instellen van een referentiegebied in de Waddenzee waarbinnen geen exploitaties en verstorende activiteiten plaats mogen vinden (Esbjerg Verklaring §33.3). Doel van zo'n gebied is om de ongestoorde ontwikkeling van de natuur in de Waddenzee te kunnen volgen. Denemarken en Duitsland hebben al vóór de trilaterale conferentie in 2001 referentiegebieden aangewezen. De staatssecretaris van LNV heeft in de Esbjerg Verklaring van 2001 toegezegd dat ook Nederland een referentiegebied te zullen aanwijzen (artikel 11 van de Verklaring). In Nederland is in november 2005 daarom het referentiegebied Rottum (fig. 1) ingesteld. Dit gebied bestaat uit een deel van het wad onder Rottumerplaat en Rottumeroog met de daarin liggende zeegat-, geul- en prielsystemen. Dit deel is oorspronkelijk aangegeven in de Structuurnota Zee- en Kustvisserij (1993) en in het beleidsbesluit Schelpdiervisserij van najaar 2004. Het gebied onder Rottum is bovendien voor een groot deel art. 20 gebied (Natuurbeschermingswet). Het Referentiegebied Rottum beslaat 7400 ha, dit is ongeveer 3% van de totale Nederlandse Waddenzee. De ontwikkelingen in zo'n referentiegebied kunnen aanleiding zijn voor toekomstig beleid. Kennis over de natuurontwikkeling is onder andere essentieel voor het bepalen van referentiesituaties en vaststellen van streefbeelden. Referentiesituaties en streefbeelden zijn belangrijk bij de ontwikkeling van het beheerplan (NATURA 2000). Het volgen van de ontwikkeling in een voor menselijke activiteiten gesloten gebied is ook relevant voor het beleid ten aanzien van verduurzaming van de garnalenvisserij.



Figuur 1: Nederlandse deel van de Waddenzee met daarin het referentiegebied Rottum

Om de natuurontwikkeling in het referentiegebied te kunnen volgen is in 2002 gestart met een monitoringsproject. In het monitoringsproject referentiegebied Rottum (WOT-04-009-023) wordt door middel van regelmatige, jaarlijkse bemonstering gevolgd of zich specifieke eigenschappen ontwikkelen in het referentiegebied. In de periode vóór de sluiting van het referentiegebied is enkele jaren (2002, 2004 en 2005) de zogenaamde 0-situatie bestudeerd (T0). Opvallend was toen de grote spreiding in de resultaten en de problematiek om (statistisch) betrouwbare verschillen aan te tonen tussen gebieden. Hiervoor zijn uitgebreide bemonsteringen een minimale vereiste. De basale jaarlijkse bemonstering heeft daarom het karakter van 'vinger aan de pols'. Het onderzoek naar de ontwikkeling in het referentiegebied Rottum heeft een planning van 10 jaar, met halverwege (2011) een tussenrapportage (T5). Om statistische verschillen tussen de T0 en de T5 aan te kunnen tonen is een uitgebreidere bemonstering vereist dan de tot nu toe uitgevoerde basale jaarlijkse monitoring. Hierbij moeten het bodemleven, de vissen, vormen van biogene structuren en de bodemstructuur in het gebied betrokken worden. Voor een completer beeld van de natuurontwikkeling in het gebied zal in deze tussentijdse rapportage ook een analyse worden gemaakt van de ontwikkeling van wadvogels en zeezoogdieren en zal de intensiteit van de garnalenvisserij worden ingeschat.

1.1. Inhoud van deze rapportage

In dit rapport wordt een plan ontwikkeld voor de uitgebreide bemonstering voor de tussenrapportage in 2011. Deze uitbreiding zal zich richten op de bemonstering van het bodemleven, de vissen, structuurvormende organismen en de bodemstructuur in het referentiegebied en de controlegeulen daarbuiten. De analyse van de ontwikkeling van wadvogels en zeezoogdieren binnen en buiten het referentiegebied en de analyse van de intensiteit van de garnalenvisserij in de omgeving van het gebied zijn reeds uitgevoerd en worden gerapporteerd in de tussentijdse rapportage (2011), deze analyse komt in dit rapport dus niet meer aan de orde. Voor de bemonsteringen van het bodemleven is een statistisch onderbouwd onderzoeksplan gemaakt met een poweranalyse voor het aantal te nemen monsters in de geulen. Hiervoor is gebruik worden gemaakt van de monstergegevens uit voorgaande jaren. Voor de planning van de bodemvisbemonstering is gebruik gemaakt van de jaarlijkse Demersal Fish Survey (IMARES), waarmee bodemvissen in de Waddenzee worden geïnterpreteerd. Bij de planningen is ook gebruik gemaakt van de bestaande informatie over de visserij-intensiteit van de garnalenvisserij rond het referentiegebied.

Deze rapportage valt onder 'Deelproject fase 1 tussentijdse rapportage referentiegebied Rottum'. Deelproject fase 1 vormt een onderdeel van de tussentijdse rapportage binnen het monitoringsproject Referentiegebied Rottum.

2. Specificatie onderzoeksvraag

Een belangrijke reden voor het instellen van een referentiegebied was het creëren van de mogelijkheid om de ontwikkelingen in een gebied waar menselijke (bodemberoerende) activiteiten tot een minimum zijn teruggebracht te kunnen volgen en te vergelijken met gebieden waar nog wel activiteiten zijn toegestaan.

De onderzoeksvraag van het monitoringsproject referentiegebied Rottum (WOT-04-009-023) luidt dan ook: Hoe ontwikkelt zich een Waddenecosysteem waarin de menselijke invloed tot een minimum is teruggebracht?

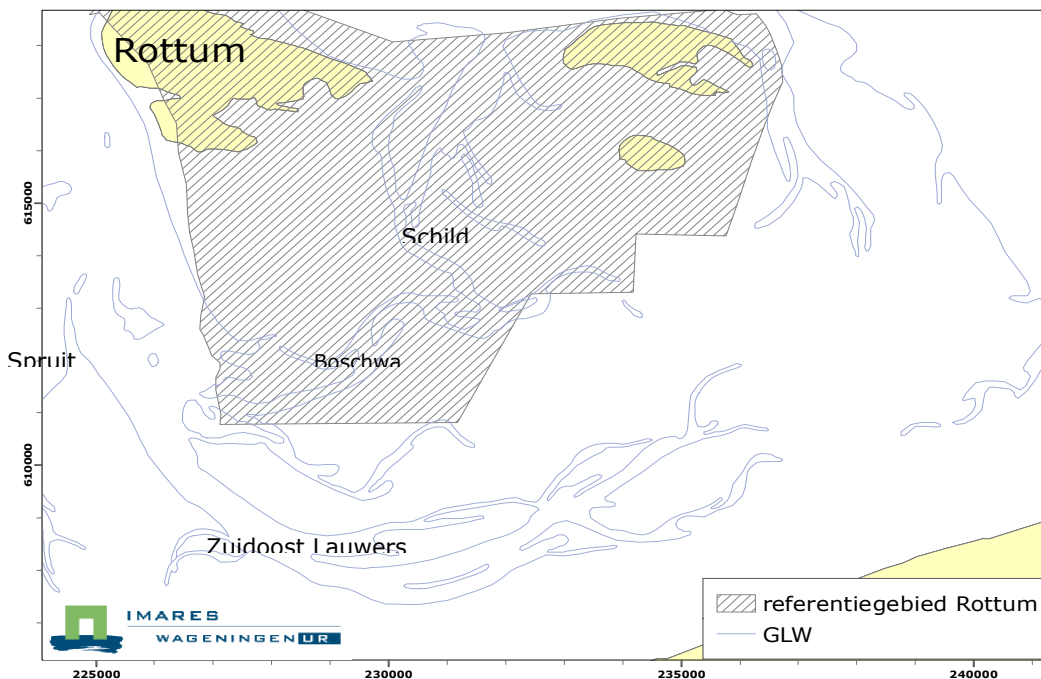
Het monitoringprogramma is opgezet om de ontwikkeling in structuur, bodemdieren en bodemvissen te kunnen volgen en te kunnen vergelijken met twee controlegeulen/gebieden. Doordat er samenwerking is gezocht met andere projecten is het ook mogelijk de ontwikkeling van wadvogels en zeehonden in het referentiegebied te volgen.

2.1. Het referentiegebied Rottum

Het referentiegebied Rottum (figuur 2) bestaat uit een deel van het wad onder Rottumerplaat en Rottumeroog met de daarin liggende complete zeegat-, geul- en prielsystemen. Het gebied is oorspronkelijk aangegeven in de Structuurnota Zee- en Kustvisserij (1993) en in het beleidsbesluit Schelpdiervisserij van najaar 2004 als voor bodemberoerende activiteiten gesloten gebieden. Het gebied is bovendien voor een groot deel art. 20 gebied (Natuurbeschermingswet). Het Referentiegebied Rottum beslaat 7400 ha, dit is ongeveer 3% van de totale Nederlandse Waddenzee.

In november 2004 (Staatscourant nr. 224, 17 november), is het gebied enigszins aangepast zodat het binnen de reeds voor schelpdiervisserij gesloten gebieden (uit 1996) valt. Daardoor is een deel van het eiland Rottumerplaat buiten het referentiegebied gebleven. Omdat deze studie zich hoofdzakelijk richt op het permanent onder water staande gebied (het sublitoraal) en in beperkte mate op het intergetijde gebied, is deze wijziging niet relevant voor het reeds uitgevoerde onderzoek vóór de sluiting van het gebied.

Binnen het gebied is een geulenstelsel van ca. 500 ha, met als hoofdgeulen het Boschwad en Schild, gesloten voor garnalenvisserij (minder dan 0.5 % van het sublitoraal van de Waddenzee). In deze geulen mag sinds november 2005 niet meer op garnalen gevist worden. De droogvallende platen in dat gebied worden al vanaf 1993 niet meer bevist door de schelpdiersector. De wadlooproute die door het gebied loopt, is blijven bestaan, aangezien hiervan geen wezenlijke effect op de bodem verwacht wordt. Het gebied bestaat vooral uit zandplaten en ondiepe geulen. Diepe geulen komen er niet voor. De ondiepe geulen vormen een dynamisch geulenpatroon, waarbij de ligging van de geulen continue verandert. Er is veel sedimentatie in het gebied (Lavaleije en Dankers, 1993). Het is bekend dat in de geulen schelpengruisbanken voorkomen, zodat het voorgenomen onderzoek naar ontwikkeling van ecotopen van hard substraat daar dus ook uitgevoerd kan worden. Schelpengruisbanken komen ook voor in de Lauwers en Zuidoost-Lauwers, maar deze banken liggen in een druk bevaren en beviste geul. Andere geulen die vergelijkbaar zijn met de gesloten geul zijn Spruit en Eilander Balg bij Simonszand. Als controle worden de geulen Zuidoost Lauwers en Spruit bemonsterd.



Figuur 2 Het referentiegebied dat gesloten is voor garnalen- en schelpdiervisserij met daarin de referentiegeul (Schild en Boschwad) en de twee controle geulen (Zuidoost Lauwers en Spruit) die buiten het referentiegebied liggen.

2.1.1 Visserijdruk in het verleden

In het referentiegebied kwamen vóór sluiting bodemberoerende visserijactiviteiten voor, zoals mechanische en handmatige kokkelvisserij, mossel(zaad)visserij en garnalenvisserij.

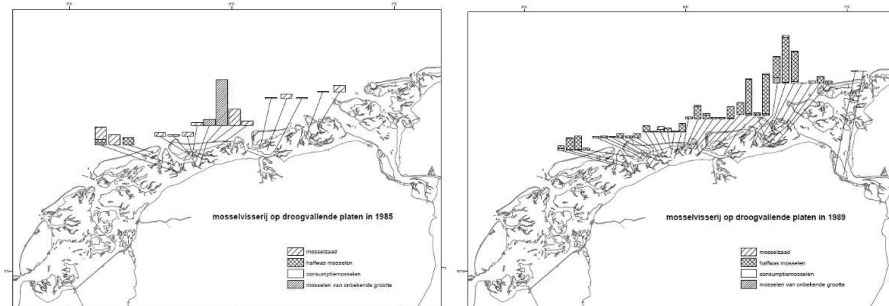
2.1.1.1 Kokkelvisserij

Vanaf de vijftiger jaren werd er in de Waddenzee mechanisch op kokkels gevist. Deze vorm van visserij kwam ook voor in het huidige referentiegebied, totdat het in 1993 gesloten werd voor alle vormen van schelpdiervisserij. Er is geen kwantitatieve informatie over de intensiteit van mechanische kokkelvisserij in het gebied.

2.1.1.2 Mosselvisserij



Hoewel vanaf de jaren vijftig in de westelijke Waddenzee op mosselen werd gevist, duurde het tot de jaren zestig voordat de mosselkotters uitweken naar de oostelijke Waddenzee. Dit had vooral te maken met de aanwezigheid van de mosselparasiet in de oostelijke Waddenzee in de periode daarvoor, waardoor daar voor die tijd niet op mosselen gevist mocht worden die bestemd waren voor de parasietvrije percelen in het westen. Er zijn weinig tot geen kwantitatieve gegevens bekend van de mosselvisserij op de droogvallende platen in het huidige referentiegebied. Wel is bekend dat er op die platen naar mosselen gevist werd, zo werd er met zekerheid in 1985 en 1989 op de aanwezige mosselbanken gevist (fig. 3).



Figuur 3. Mosselvisserij op de droogvallende platen in de Nederlandse Waddenzee in 1985 en 1989 (Dankers et al, 2003)

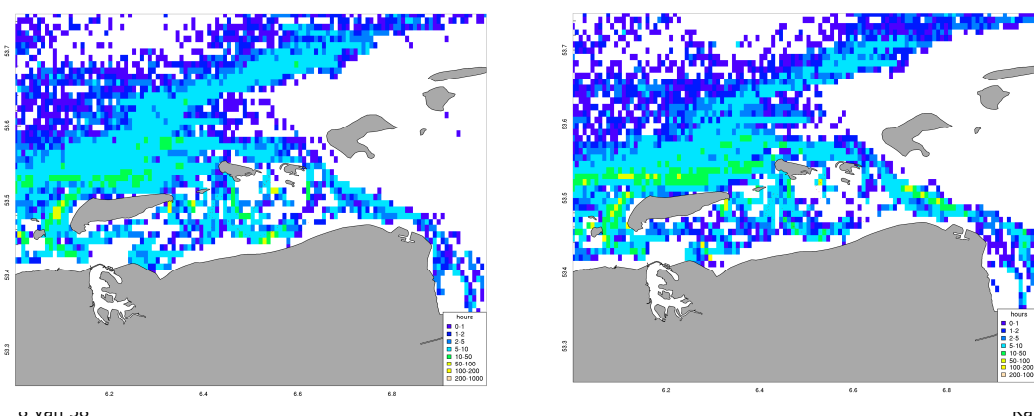
2.1.1.3 Garnalenvisserij



All Mobile Gears 2004

Garnalenvisserij is een activiteit die van oudsher wordt uitgeoefend in de Waddenzee en kustwateren. Er zijn nauwelijks kwantitatieve gegevens bekend van de garnalenvisserij in en rond het referentiegebied. Met behulp van het VMS-systeem en de logboeken van garnalenvissers is wel een inschatting te maken van de visserijdruk (fig. 4 en bijlage A). Er zijn geen aanwijzingen dat er in het referentiegebied in het verleden een uitzonderlijke (lage of hoge) visserijintensiteit was.

All Mobile Gears 2005



Figuur 4. Garnalenvisserij in en rond het referentiegebied in 2004 en 2005

2.2. Mogelijke effecten bodemberoering

In deze paragraaf worden kort de mogelijke effecten van bodemberoering op droogvallende platen en in geulen behandeld. Hierbij worden de mogelijke directe effecten meegenomen die kunnen optreden door contact met het vistuig en de mogelijke indirecte gevolgen, die weer veroorzaakt kunnen worden door een direct effect. Mogelijke effecten van bodemberoering zijn afhankelijk van het type vistuig, de intensiteit van de bodemberoering, de frequentie van de bodemberoering, de snelheid van het vaartuig waarmee gevist wordt, het type van de bodem, waterdiepte, de natuurlijke dynamiek in het gebied en de in het gebied voorkomende flora en fauna (Gillet, 2008).

2.2.1 mogelijke effecten op bodemstructuur en troebelheid

Doordat mogelijke effecten van bodemberoering afhangen van velerlei factoren (zie 2.2) is er geen eenduidigheid in de literatuur. In het algemeen kan gesteld worden dat bodemberoering de potentie heeft om de fysische structuur van de bodem aan te tasten door het ploegende, schrapende of vegende karakter (Gillet, 2008). Hierdoor kunnen structuurvormende organismen en stenen van de bodem verwijderd worden en kunnen oorspronkelijke bulten, ribbels en kuilen in de bodem afvlakken. Wanneer structuurvormende organismen, zoals mosselen, door bodemberoering geen kans krijgen om zich te vestigen, kunnen zij hun stabiliserende werking op sediment en mogelijke functie als substraat voor andere organismen ook niet vervullen. Hierdoor zal fijn sediment eerder in suspensie komen en kan het water troebeler worden. Maar ook door het beroeren van de bodem kan sediment opwervelen, met vertroebeling van het water tot gevolg (Gillet, 2008). Door vertroebeling van het water is er minder licht beschikbaar voor fotosynthese. Dit kan een indirect effect hebben op groeimogelijkheden voor algen en andere marine flora. Ook effecten van troebelheid op bodemdieren zijn in de literatuur bekend (Ierland & van der Veer, 1982). Langdurige vertroebeling kost hen extra energie en ook de periode dat zij voedsel kunnen opnemen zal kleiner worden (Wilbert, 1971). Het opwervelen van sediment kan er ook voor zorgen dat ingegraven fauna bloot komt te liggen (Gillet, 2008). Dit kan de predatiekansen verhogen. Wanneer het sediment weer neerdaalt kan het juist weer op de bodem levende, niet mobiele soorten begraven, waardoor verstikking op kan treden. Ook paaigebieden van vissen kunnen door opwervelend sediment begraven worden. Door het opwervelen van sediment kunnen ook veranderingen plaatsvinden in de samenstelling, de verspreiding en de korrelgrootte van het sediment (Gillet, 2008). De gemiddelde korrelgrootte kan toenemen door frequente bodemberoering. Door het mixen van sediment met het bovenliggende water kunnen voedingsstoffen eerder in de waterkolom terecht komen. Ditzelfde geldt voor chemische stoffen die in de bodem liggen opgeslagen. Door beroering van de bodem kunnen deze weer in de waterkolom terecht komen.

2.2.2 mogelijke effecten op bodemdieren en bodemvissen

Sinds het ontstaan van de Waddenzee zijn menselijke invloeden een steeds grotere rol gaan spelen op de aanwezige habitats en flora en fauna. Intensieve exploitatie heeft gezorgd voor de verdwijning van grote predatoren en structuurvormende soorten (Wolff 2000). Sinds de twintigste eeuw zorgen ook vervuiling, eutrofiëring, invasieve soorten en klimaatsverandering voor veranderingen in het Waddenzee-ecosysteem. Habitatverlies en overexploitatie zijn de twee belangrijkste factoren voor de verdwijning of enorme afname in aantallen van ongeveer 20% van de macrobiota van de Waddenzee (Lotze et al. 2005). In een geulensysteem bij Sleeswijk-Holstein is in de afgelopen 100 jaar bijna 50 % van de oorspronkelijke fauna verloren gegaan, waarvan het merendeel uit op de bodem levende dieren bestond (Buhs & Reise 1997). Buhs & Reise (1997) wijten deze achteruitgang in bodemdiersoorten aan de vele vormen van mechanische visserij in dat gebied.

Mogelijke effecten van bodemberoerende visserij kunnen veroorzaakt worden door schade door het vistuig en door schade door het opvissen van de doelsoort en bijvangst. Ook bij het beschrijven van deze effecten is de literatuur niet eenduidig en zijn de mogelijke effecten afhankelijk van velerlei factoren (zie 2.2.1).

In het algemeen kan gesteld worden dat door het bodemberoerende karakter van bepaalde vistuigen schade kan worden veroorzaakt aan structuurvormende organismen die complexe levensgemeenschappen vormen (Gillet, 2008). Bij schade aan deze structuurvormende organismen gaat het dus niet alleen om de afzonderlijke soorten, maar om een heel biotoop met zijn eigen flora en fauna. Voorbeelden van structuurvormende organismen in de trilaterale Waddenzee zijn; Japanse oesterriffen, Sabellaria-riffen, mosselbanken, zeegrasvelden en zeemosvelden (*Sertularia* sp.). Behalve directe schade aan deze organismen, kan bodemberoering ook hervestiging van reeds verdwenen structuren voorkomen.

Ook niet structuurvormende fauna kan bij bodemberoering beschadigd raken of opgevist worden door het vistuig (Gillet, 2008). Het gaat hierbij vooral om niet mobiele soorten die óp de bodem leven, maar afhankelijk van de diepte van de bodemberoering kunnen ook soorten die ín de bodem leven beschadigd raken. Mobiele soorten hebben een kleinere kans op schade, omdat zij de beroering in sommige gevallen kunnen ontwijken. Bij schade door vangsten in het vistuig gaat het niet alleen om de doelsoort, maar ook om soorten die 'per ongeluk' in het net zijn gekomen ((Tulp, 2009; Douksen, 2006). Hoewel deze soorten bij veel vormen van visserij levend overboord worden gezet, zorgt de aanwezigheid van predatoren zoals meeuwen voor een verhoogde predatie (Tulp, 2009; Douksen, 2006; Berghahn, 1990). Berghahn (1990) schat dat 90% van de over boord gezette bijvangst door vogels wordt opgegeten.

2.2.3 mogelijke effecten door verstoring

Door de aanwezigheid van een schip kunnen vogels en zeezoogdieren verstoord worden. Er kunnen echter ook positieve effecten optreden van bodemberoerende visserij. Door het opwervelen van de bodem en door het overboord zetten van bijvangst komt er meer voedsel beschikbaar voor met name vogels.

2.3. Bijdrage aan onderzoek naar effecten garnalenvisserij

In deze tijd staat de garnalenvisserij in de Waddenzee ter discussie, onder andere in verband met de mogelijke schadelijke effecten op de zeebodem. Tijdens deze discussies, nu en in het verleden, wordt regelmatig gekeken naar het monitoringsproject referentiegebied Rottum (WOT-04-009-023) als mogelijke methode om de effecten van garnalenvisserij te bepalen.

Hoewel de ontwikkelingen in het referentiegebied zeker kunnen bijdragen aan de discussie met betrekking tot de mogelijke effecten van garnalenvisserij, leveren de gegevens geen antwoord op de vraag; wat zijn de effecten van garnalenvisserij op de bodem van de Waddenzee? Er zijn verschillende redenen waardoor het monitoringsprogramma niet geschikt is om specifiek de mogelijke effecten van de garnalenvisserij te bepalen. Deze redenen hebben enerzijds te maken met de vraag om 'effecten' en anderzijds met de specificatie van de actor, namelijk alleen de garnalenvisserij.

2.3.1 (On)mogelijkheid van referentiegebied Rottum t.b.v. kennis over effecten garnalenvisserij

Een studie naar effecten van activiteiten in een van origine dynamisch gebied waar de aantallen dieren van nature grote schommelingen vertonen en bovendien grote ruimtelijke verschillen optreden, is moeilijk. Om statistisch betrouwbare resultaten te krijgen is een grootschalige en dikwijls kostbare onderzoeksofzet nodig. Ook al heeft een ingreep een groot effect, dan kan zelfs met een gedegen onderzoeksofzet toch vaak niet statistisch significant bewezen worden door gebeurtenissen als storm, ijsgang, of een andere gebeurtenis tijdens de onderzoeksperiode.

Een ander probleem is dat onderzoek opgestart is in een gebied dat al lange tijd onder invloed staat van menselijke activiteiten. Vóór de sluiting van de schelpdiervisserij in 1996 werd op de droogvallende platen ruim 30 jaar op mosselen en kokkels gevist, en vóór de instelling van het referentiegebied in

november 2005 werd er sinds mensenheugenis in de geul op garnalen gevist. Wanneer er door deze activiteiten effecten op bodemstructuur of aanwezigheid van bodemdieren zijn opgestreden is het niet meer mogelijk om eventuele effecten te bestuderen door het weglaten van de activiteiten, het gaat dan per definitie om herstel. Zelfs het onderzoeken van herstel is in zulke geïsoleerde referentiegebieden moeizaam. Allereerst is het onbekend of herstel zodanig snel kan optreden dat dit meetbaar is binnen de onderzoekstijd (10 jaar). Het herstel van litorale mosselbanken in de Waddenzee, bijvoorbeeld, is ruim 15 jaar na sluiting van de schelpdiervisserij op de droogvallende platen nog niet volledig (Goudswaard et al, 2010). Daarnaast is het de vraag of geïsoleerde en dynamische gebieden als het referentiegebied wel (volledig) kunnen herstellen en of grote veranderingen omkeerbaar zijn. Als bijvoorbeeld de wulk verdwenen is door bodemberoerende activiteiten in het verleden, en de dichtstbijzijnde populatie zodanig ver weg ligt dat het vele jaren kan duren voordat de dieren zich weer vestigen, of door visserijdruk of verontreiniging in tussenliggende gebieden helemaal niet meer terugkeren, dan zal herstel van de wulkenpopulatie niet binnen enkele jaren of zelfs helemaal niet kunnen optreden. De dynamiek in het gebied kan daarnaast ook de vestiging van soorten verhinderen die wel over een grote afstand het gebied kunnen bereiken. Sommige geaggregeerde soorten hebben leefomstandigheden nodig die door henzelf worden gecreëerd, zoals zeegras en in beperkte mate ook mosselbanken. Wanneer deze omstandigheden zijn verdwenen door bodemberoering is het in een dynamische omgeving moeilijk om deze soorten terug te krijgen.

Het referentiegebied is niet de 'Nederlandse Waddenzee in het klein' en kan daarom geen resultaten leveren die representatief zijn voor de hele Waddenzee. Het gebied bestaat voornamelijk uit platen en ondiepe geulen. Diepe geulen missen in het gebied. Ook vindt er veel sedimentatie plaats (Lavaleije en Dankers, 1993) en heeft het systeem een erg dynamisch karakter. In het rapport 'voorstudie naar de effecten van de garnalenvisserij op de bodemfauna, met advies over te sluiten gebieden en uit te voeren onderzoek' van Lavaleije en Dankers (1993) worden enkele gebieden genoemd die beter geschikt zouden zijn voor een onderzoek naar het herstel van door garnalenvisserij beschadigde gebieden.

Een en ander neemt niet weg dat het monitoringsprogramma mogelijke verschillen in ontwikkeling waar kan nemen tussen de geul in het referentiegebied (waar nauwelijks nog menselijke activiteiten plaatsvinden) en vergelijkbare geulen elders in de Waddenzee (waar deze activiteiten nog wel plaatsvinden). Het is met deze monitoringsopzet echter moeilijk aan te tonen of deze verschillen daadwerkelijk door bijvoorbeeld de garnalenvisserij worden veroorzaakt (of welke ander verschil in behandeling tussen de geulen dan ook). Dit komt allereerst door het feit dat niet alleen de intensiteit van de garnalenvisserij verschilt tussen de geulen. Er zijn nog meer, vaak oncontroleerbare, verschillen in geschiedenis en huidige invloeden tussen de referentiegeul en de controlegeulen. Uit het onderzoek voor de sluiting van het referentiegebied bleek al dat de geul in het toekomstige referentiegebied (Schild en Boschwad) en de twee controle geulen (Spruit en Zuid Oost Lauwers) grote verschillen in soortenaantallen en aantallen individuen lieten zien. Daarnaast is er in het referentiegebied maar één geul aanwezig (opgesplitst in twee delen). Hoewel er in deze geul meerdere monsters worden genomen, blijft het informatie over één geul. Omdat elke individuele geul zich waarschijnlijk anders ontwikkelt, kunnen mogelijke verschillen tussen deze geul in het referentiegebied en de twee controlegeulen altijd op toeval berusten. Een statistische ondersteuning van de resultaten wordt daarmee moeilijk.

Samengevat heb je voor een onderzoek naar de effecten van garnalenvisserij een gebied nodig waar geen bodemberoerende activiteiten hebben plaatsgevonden, heb je replica's nodig, voldoende tijd en voldoende ruimte. Met de huidige opzet is het onwaarschijnlijk dat significante verschillen in (aantals)ontwikkeling voor de voorkomende bodemfaunasoorten tussen het referentiegebied en de controlegeulen statistisch kunnen worden aangetoond en kunnen worden gekoppeld aan garnalenvisserij. Toch is het mogelijk conclusies te trekken indien specifieke en gevoelige soorten, zoals stuctuurvormende soorten of zeemos, zich wel in het ene en niet in het andere geulensysteem gaan

ontwikkelen. De mogelijke effecten kunnen in dat geval worden bediscussieerd op grond van de aard van de veranderingen die optreden. Het is echter niet zo dat bij het uitblijven van deze ontwikkelingen tijdens de duur van het onderzoek geconcludeerd kan worden dat er geen effecten van garnalenvisserij op de bodem zijn. Daarvoor is het huidige programma te beperkt.

2.3.2 Andere mogelijkheden om de effecten van garnalenvisserij te onderzoeken

Een mogelijkheid die vaak genoemd wordt in de discussies over de geschiktheid van het referentiegebied voor onderzoek naar de effecten van garnalenvisserij, is het bevissen van raaien in het referentiegebied. Door de beviste delen te vergelijken met onbeviste delen wil men een beeld krijgen van de effecten van garnalenvisserij op het bodemleven. Ook voor deze onderzoeksopzet geldt dat de geschiedenis van het gebied er voor zorgt dat deze methode niet geschikt is voor het bestuderen van effecten van garnalenvisserij. Omdat het gebied in het verleden lange tijd bevist is geweest en er nog niet duidelijk sprake is van herstel, zal het bevissen van raaien in het gebied geen inzicht kunnen geven in de mogelijke effecten van visserij. De bevissing hervat zich dan op de raaien, terwijl de rest van het gebied zich zonder bevissing verder kan ontwikkelen. Bij deze methode wordt dus gekeken naar de effecten van bevissing op mogelijkheden tot herstel in plaats van op de effecten van visserij op een onbeschadigd ecosysteem. Deze methode geeft daarmee ook geen antwoord op de vraag wat de mogelijke effecten zijn van garnalenvisserij op het bodemleven en de bodemstructuur van de Waddenzee.

Omdat in de Nederlandse Waddenzee geen onbeviste delen zijn, kan er in Nederland geen studie verricht worden naar de effecten van garnalenvisserij. In de Deense Waddenzee wordt binnen de zogenaamde shrimpline al meer dan dertig jaar niet meer door garnalenvissers (of andere bodemberoerende visserij) gevestigd. Hoewel dus ook bepaald niet pristine, komt dit waarschijnlijk wel het dichtst in de buurt van een onverstoord wadden ecosysteem. Dit gebied zou zich mogelijk kunnen lenen om een idee te krijgen hoe een oorspronkelijk Waddensysteem eruit ziet en kan onderzocht worden of er soorten voorkomen waarvan verwacht kan worden dat zij door bodemberoering worden beïnvloed (structuurvormende en langlevende soorten).

Omdat in de Deense Waddenzee nu helemaal niet gevestigd wordt, kan er ook geen bevist deel met onbevist deel in dezelfde omgeving vergeleken worden. Daarvoor zou experimenteel gevestigd moeten worden in het gebied. Het voordeel van dit soort experimenten is dat de factor (garnalenvisserij) specifiek onderzocht kan worden en dat er gevarieerd kan worden met de intensiteit. Ook kan het proces van het ontstaan van een eventueel effect goed gevolgd worden.

2.3.3 Onderzoek naar herstel in een bevist systeem

In Nederlandse wateren zijn geen gebieden die niet onder invloed zijn (geweest) van bodemberoerende activiteiten. Een onderzoek naar de effecten van garnalenvisserij op een ongestoord systeem is hier dus per definitie uitgesloten. De mogelijkheid om onderzoek uit te voeren naar het herstelvermogen van een beschadigd gebied blijft wel bestaan. Omdat er in de Waddenzee een enorme variatie is met betrekking tot habitats, en deze mogelijk verschillend herstellen van bodemberoering, is het belangrijk zo veel mogelijk relevante habitattypen mee te nemen in het onderzoek. Daarnaast zal rekening gehouden moeten worden met de andere bodemberoerende activiteiten die in het gebied hebben plaatsgevonden (kokkel- en mossel(zaad)visserij). Bij onderzoek naar herstel is de lengte van het onderzoek erg belangrijk. In een systeem dat decennia lang beïnvloed is door bodemberoerende activiteiten, zullen de ontstane effecten niet van de ene op de andere dag verdwenen kunnen zijn (Kaiser, 2006). Van veel soorten is de hersteltijd niet bekend en deze zal ook afhangen van de geschiedenis en de dynamiek van het gebied. In een onderzoek langs de zuidoost kust van Engeland werd de hersteltijd onderzocht van een gebied dat enkele jaren gebruikt was als zandwinninggebied. In een deel dat slechts weinig gebruikt

was, trad herstel van *Sabellaria spinulosa* na 7 jaar op (Cooper et al, 2007). Hierbij moet werd aangemerkt dat dit niet hoeft te gelden voor intensiever gebruikte gebieden of gebieden waar *Sabellaria* verder niet in de nabije omgeving voorkomt. Volledig herstel van een bepaald gebied kan ook alleen maar plaatsvinden als de daar horende soorten het gebied ook daadwerkelijk kunnen bereiken. De kans die een soort heeft om het gesloten gebied te bereiken bepaalt hiermee mede de tijd die het gebied nodig heeft om te herstellen. Voor sommige soorten zal het niet mogelijk zijn om op eigen kracht terug te keren in een gesloten gebied. Voor deze soorten zou aan herintroductie gedacht kunnen worden.

Samengevat heb je voor een onderzoek naar het herstelvermogen van een door garnalenvisserij beschadigd gebied voldoende ruimte nodig en meerdere gebieden/geulen waartussen voldoende variatie bestaat. Daarnaast is er veel tijd nodig om het gebied de mogelijkheid te geven zich te kunnen herstellen en zullen sommige soorten mogelijk geherintroduceerd moeten worden. Met de huidige beperkte opzet is het onwaarschijnlijk dat significante verschillen in (aantals)ontwikkeling voor de voorkomende bodemfaunasoorten tussen het referentiegebied en de controlegeulen statistisch kunnen worden aangetoond en kunnen worden gekoppeld aan effecten van garnalenvisserij.

3. Analyses ter onderbouwing van het onderzoeksplan

De huidige basale onderzoeksopzet is alleen geschikt om de algemene ontwikkeling in het referentiegebied te volgen als een soort 'vinger aan de pols'. Om een completer beeld te krijgen van de ontwikkelingen is eens in de vijf jaar een uitgebreider monitoringsplan nodig. Dit onderzoeksplan is zo veel mogelijk onderbouwd met statistische poweranalyses. In dit hoofdstuk worden deze analyses beschreven.

3.1. Analyses om de bemonsteringsintensiteit te bepalen

3.1.1 Bodemdierbemonstering met van Veen happer

In het huidige jaarlijkse programma wordt gebruik gemaakt van een van Veen happer voor het monitoren van de bodemdieren in de geulen. Om in te kunnen schatten hoeveel monsters er met de van Veen happer genomen moeten worden om een redelijk verschil in ontwikkeling van macro-benthos tussen de referentiegeul (Schild en Boschwad) en de twee controlegeulen (Spruit en zuid Oost Lauwers) aan te kunnen tonen is er een statistische power analyse uitgevoerd op de resultaten van het huidige 'vinger-aan-de-pols' monitoringsprogramma (bijlage B). De poweranalyse is uitgevoerd voor het aantonen van een verschil in dichtheden met een factor 2 (100%) (Bijlage B). Het huidige programma waarbij 13-24 monsters per geul worden genomen resulteerde in de meeste gevallen in een statistische 'power' van minder dan 40% bij het testen op verdubbeling van de dichtheden. Voor een sterke statistische analyse zou dit minstens 80% moeten zijn.

Voor de analyse zijn verschillende benaderingen gekozen. Allereerst is er een One-way Analysis of Variance (ANOVA) uitgevoerd, met geul als factor en de monsters als replica. Het probleem met de ANOVA-analyse is dat er getest wordt op verschillen tussen geulen zelf en niet perse op verschillen veroorzaakt door sluiting van een geul. Daarom is ook een t-test uitgevoerd. Deze test kijkt specifiek naar het verschil tussen het referentiegebied en het controlegebied. Het probleem bij deze analyse is dat er maar twee replica's zijn, namelijk Spruit en Zuid Oost Lauwers voor het controlegebied en Schild en Boschwad voor het referentiegebied. Dit maakt dat toeval een grote rol speelt.

Er zijn twee analyses gekozen om verschillen in ontwikkeling tussen de geulen te bekijken. Er is gekeken naar mogelijke verschillen in totale abundantie en abundantie per soort enkele jaren na sluiting van het referentiegebied (gemiddelde over 2009 en 2010) en naar mogelijke verschillen in de ratio vóór en ná sluiting.

Omdat voor de statistische analyse alleen gewerkt kan worden met algemeen voorkomende soorten, kon de analyse alleen uitgevoerd worden voor een beperkt aantal soorten (bijlage B).

3.1.1.1 Poweranalyse voor herkennen van verschil met factor 2 (100%)

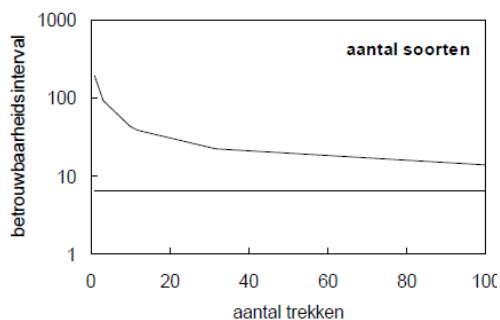
In deze analyse is berekend hoeveel monsters er in de geulen genomen moeten worden om een significant effect te kunnen vinden als er in een van de geulen een twee keer zo grote hoeveelheid individuen voorkomt.

Uit de analyse kwam naar voren dat er, om een verschil in totale abundantie van een factor 2 enkele jaren na sluiting aan te kunnen tonen, per geul minimaal 29 monsters nodig zijn. Om een verschil in abundantie per soort aan te kunnen tonen zijn per geul 7-71 monsters nodig, afhankelijk van de soort. Om een verschil in ontwikkeling vóór en ná sluiting aan te kunnen tonen in totale abundantie, zijn 13 monsters per geul noodzakelijk. Om een verschil in abundantie per soort aan te kunnen tonen zijn per geul 19-42 monsters nodig, afhankelijk van de soort. De mediaan ligt bij 31 monsters per geul.

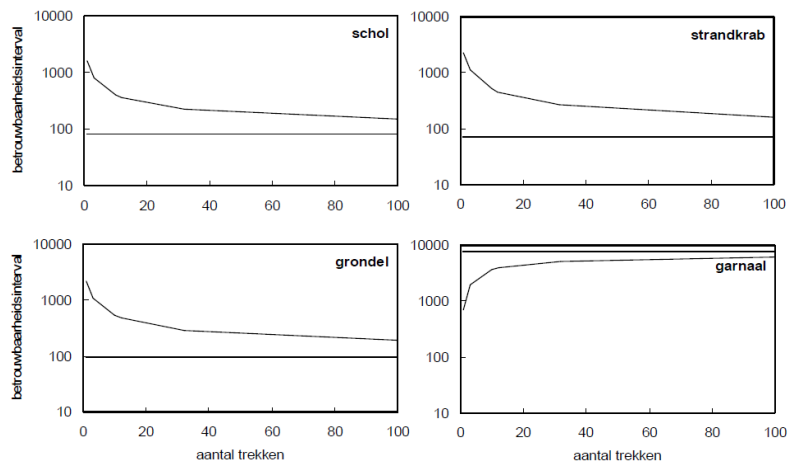
De poweranalyse is uitgevoerd voor het aantonen van een verschil van een factor 2. Dit betekent dat er in een van de geulen minstens twee keer zoveel van een bepaalde soort aanwezig moet zijn dan in de andere drie geulen. Dit is een behoorlijk groot verschil en zulke verschillen zijn niet erg waarschijnlijk in de vergelijking tussen de controlegeulen en het referentiegebied. Omdat er zoveel variatie is tussen de monsters binnen een geul, vraagt het verkleinen van het aan te tonen effect direct een extreem hoog aantal monsters. Om een effect met een factor 1.25 (25%) aan te kunnen tonen zijn 53-632 monsters nodig, afhankelijk van de soort.

3.1.2 Visbemonstering met het Demersal Fish Survey-vistuig

Om in te kunnen schatten hoeveel monsters er genomen moeten worden in het programma voor de tussentijdse rapportage om een redelijk verschil in ontwikkeling van bodemvissen tussen de referentiegeul (Schild en Boschwad) en de twee controlegeulen (Spruit en zuid Oost Lauwers) aan te kunnen tonen is er een statistische power analyse uitgevoerd op de resultaten van het huidige 'vinger-aan-de-pols' monitoringsprogramma (Dankers et al, 2005). Met de huidige bemonsteringsinspanning (12 trekken) kunnen veranderingen in dichtheden van schol, garnaal, strandkrab en grondel met respectievelijke factoren van 4, 2, 6 en 5 aangetoond worden. Dit betekent dat alleen wanneer er een effect zou zijn waarbij 4 keer zoveel schol in het referentiegebied zou voorkomen in vergelijking met de controlegeulen, er een significant effect gevonden zou kunnen worden. Het is echter te verwachten dat mogelijke effecten van garnalenvisserij niet zó hoog zullen liggen, zeker niet in het korte tijdsbestek dat de referentiegeul nu gesloten is en het feit dat vissen weg kunnen trekken naar de omgeving waar ze alsnog gevangen worden. Daarom is een poweranalyse uitgevoerd om te berekenen hoeveel trekken er nodig zouden zijn om ook een kleiner verschil te kunnen vinden. Wat betreft de dichtheden van de individuele soorten, varieert de power afhankelijk van de variatie die in de bemonsteringen voorkomt. Voor een aantal soorten, schol, garnaal, strandkrab en grondel is berekend welk verschil met de huidige bemonstering en variatie aangetoond zou kunnen worden. Hierbij is uitgegaan van de aantallen soorten en dichtheden in het Schild in najaar 2002. Uit de 'power'curves (figuur 5 en 6) kan afgelezen worden hoe het betrouwbaarheidsinterval afneemt met het aantal trekken. Voor het aantal soorten en de dichtheden van de meeste soorten (schol, garnaal, strandkrab en grondel) stabiliseert dat rond de 30 trekken tot een factor 1,5-3. De meeste winst is te boeken in het traject daarvoor.



Figuur 5. Betrouwbaarheidsmarge voor de schatting van aantal soorten als functie van het aantal trekken (data 2002 en 2003).



Figuur 6. Betrouwbaarheidsmarge voor de schatting van dichtheden van vier soorten als functie van het aantal trekken (data 2002 en 2003).

3.2. Discussie huidige monstermethode

3.2.1 Bodemdierbemonstering met van Veen happer

De van Veen happer hapt per monster een relatief klein oppervlakte van de bodem. Wanneer met de happer ook nog een klein aantal monsters wordt genomen is de kans groter dat zeldzame of geaggregeerd voorkomende soorten worden gemist. Voor deze soorten, die juist belangrijk zijn in deze studie omdat ze extra gevoelig kunnen zijn voor bodemberoering, zou, naast de van Veen happer, ook gemonsterd moeten worden met een bodemschaaf. Dit monstertuig bemonstert een groter oppervlakte en de trefkans voor zeldzame of geaggregeerde soorten neemt daarmee toe.

Omdat met de van Veen happer alleen soorten die verspreid en regelmatig voorkomen in voldoende mate te vinden zijn in de monsters, spelen deze soorten ook een veel grotere rol in de statistische analyse. Statistische analyses kunnen niet goed uitgevoerd worden op soorten die maar een enkele keer worden gevonden in de monsters. Hierdoor gaat (waardevolle) informatie verloren. Hoe groter het aantal monsters hoe groter de kans om vaker soorten te vangen die een kleinere trefkans hebben. Hierdoor kunnen meer soorten worden meegenomen in de statistische analyses.

Uit de poweranalyse kwam naar voren dat er 7 tot 71 monsters (mediaan 31) nodig zijn om een verschil met een factor twee aan te kunnen tonen en er zelfs 52 tot 632 monsters nodig zijn om een verschil met een factor 1.25 aan te kunnen tonen.

Omdat de trefkans voor de soorten die extra gevoelig kunnen zijn voor bodemberoering relatief klein is en er veel monsters nodig zijn om een klein verschil in ontwikkeling aan te kunnen tonen, stellen wij voor om te kiezen voor een uitbreiding tot 71 monsters per geul zodat tenminste een verschil met factor 2 kan worden aangetoond, waarbij daarnaast zal gemonsterd moeten worden met de bodemschaaf om beter inzicht te krijgen in de ontwikkeling van zeldzame en geaggregeerde soorten.

3.2.2 Bodemvisbemonstering met het Demersal Fish Survey-vistuig

Uit de vis- en bodemvangsten blijkt dat er al in de uitgangssituatie grote verschillen zijn tussen de verschillende geulen. Ook zijn er binnen een geul grote verschillen tussen de verschillende jaren. Om verschillen in ontwikkeling tussen de controlegeulen en de referentiegeul in de toekomst statistisch aan te tonen moeten meer monsters genomen worden. Bij een dertigtal trekken zijn er in ieder geval voor een aantal soorten verschillen aantoonbaar. Wanneer dergelijke verschillen gevonden worden blijft het echter moeilijk om een (eventuele) causale relatie met bijvoorbeeld de garnalenvisserij aan te tonen, ook omdat er maar één referentiegebied is. Echter wanneer zulke veranderingen zich wel in het referentiegebied en niet in het controlegeulen voordoen, kan dit een sterke áánwijzing zijn voor effecten van de visserij. De ultieme test voor een BACI-opzet (Before-After, Control-Impact) is de interactie tussen gebied en periode (naast een eventueel gebieds- en periode-effect), dus als de ontwikkeling in het ene gebied de andere kant op gaat dan in het andere gebied.

In een klein gebied als het Schild is het niet mogelijk jaarlijks veel trekken met het bodemvistuig te nemen zonder het risico te lopen om door de bemonstering een visserijeffect te laten optreden. Daarom stellen wij voor om alleen voor de tussentijdse rapportage en de eindbemonstering te bemonsteren in het referentiegebied en het aantal monsters in de referentiegeul en de controlegeulen uit te breiden van 12 monsters naar 30. Daarmee zou in ieder geval de vergelijking tussen T5 en T10 beter gemaakt kunnen worden (het aantal monsters genomen in T0 is vanzelfsprekend niet meer te veranderen).

4. Onderzoeksplan

Voor de tussentijdse rapportage is het nodig om een beter beeld te krijgen van de ontwikkeling in het gebied dan nu mogelijk is aan de hand van het 'vinger aan de pols' monitoringsproject (zie ook hoofdstuk 3 en bijlage B). Hiervoor is een grotere bemonsteringsinspanning nodig op het vlak van de bodemstructuur, de bodemdieren en de bodemvissen in de geul. Om hieraan te kunnen voldoen is een uitgebreider onderzoeksplan opgesteld, opgebouwd uit aanvullingen op het huidige programma (toevoeging) en uitbreiding van de inspanning in het huidige programma (uitbreiding). De meeste winst valt te halen uit het uitbreiden van het aantal referentie- en controlegebieden. Dit is echter politiek op dit moment niet haalbaar. Het uitgebreide onderzoeksprogramma is er daarom op gericht om mogelijke verschillen in ontwikkeling tussen de bestaande open en gesloten geulen aan te kunnen tonen. Dit uitgebreide onderzoeksplan dat één keer in de vijf jaar gepland staat is echter geen vervanging voor het huidige 'vinger aan de pols' monitoringproject. De jaarlijkse bemonsteringen zijn nodig om het proces te kunnen volgen en om te voorkomen dat uitzonderlijke jaren een te grote rol gaan spelen in de analyse. Bij zowel schelpdieren als vissen is de jaar op jaarvariatie enorm.

4.1. Bodemstructuur

In het huidige monitoringprogramma wordt de structuur van de bodem bekeken door de hoeveelheid schelpengruis in elk monster te wegen. Schelpengruis kan een geschikte vestigingsplaats zijn voor soorten die zich graag hechten aan hard substraat, zoals zeepokken, zeeanemonen, hydroiden en mosdiertjes, maar kan ook als basis dienen voor jonge mosselbanken of oesterriffen. In het huidige monitoringprogramma wordt echter niet specifiek gekeken naar de ontwikkeling van organismen die ook voor hard substraat kunnen zorgen, zoals mosselbanken, oesterriffen of schelpkokerwormaggregaties. Door hun geaggregeerde voorkomen kunnen deze organismen makkelijk gemist worden in het huidige monsterprogramma. Daarnaast wordt in het huidige programma geen informatie verzameld over de bodemsamenstelling, zoals de korrelgrootteverdeling, waardoor geen informatie beschikbaar is over de hoe zandig of slikkig de bodem is.

4.1.1 Tussentijdse bemonstering bodemstructuur

Om een beter beeld te krijgen van de ontwikkeling in de bodemstructuur in de geul in het voor menselijke invloeden gesloten structuur is het nodig om informatie te verzamelen over de aanwezigheid van schelpengruis, de bodemsamenstelling en de aanwezigheid van structuurvormende organismen of andere structuren op de bodem.

4.1.1.1 Schelpengruis (ongewijzigd)

Het in de van Veen happer (zie 4.2.1.1) aanwezige schelpenmateriaal wordt gewogen. De genomen monsters worden hiervoor gezeefd over een 1mm zeef. Zand en slib worden weggespoeld en het overgebleven materiaal wordt verzameld. Daarna wordt het overgebleven materiaal gezeefd over een 5 mm zeef. Uit beide delen worden de organismen verwijderd. Hierna wordt het overgebleven materiaal gewogen in twee delen; het fijne gruis (tussen 5mm en 1 mm) en het grove gruis (> 5 mm).

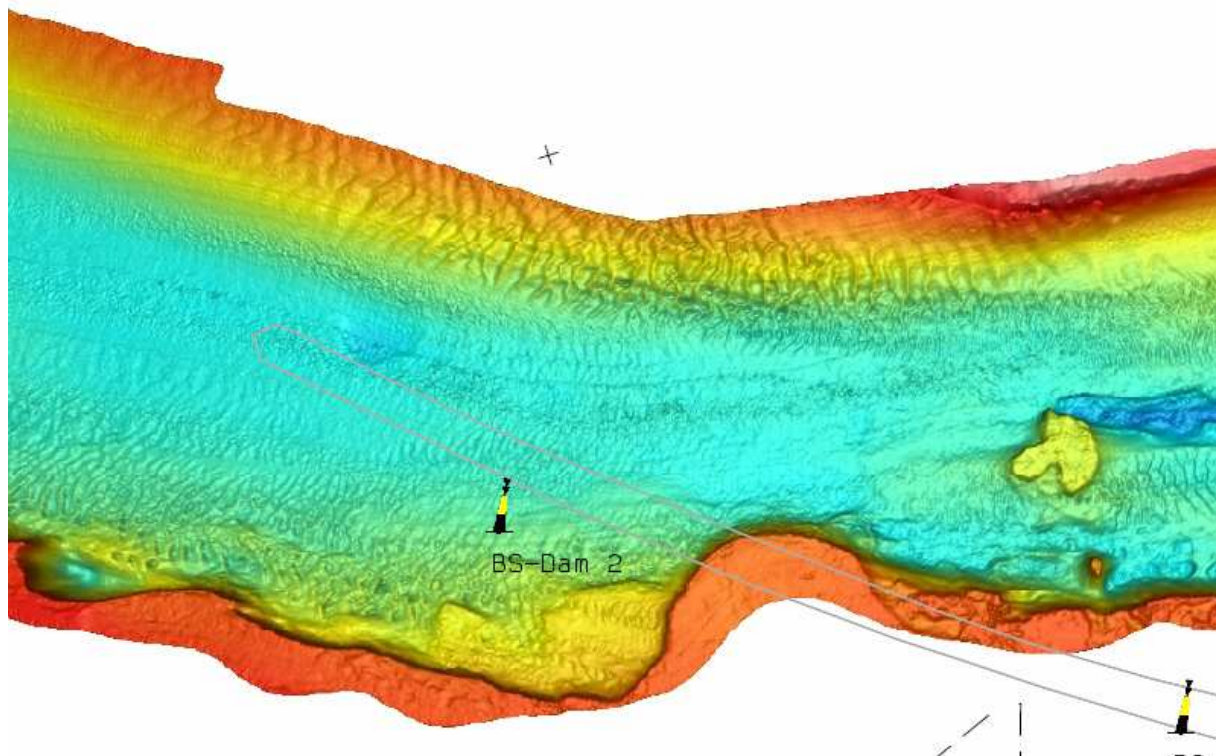
4.1.1.2 Bodemsamenstelling (toevoeging)

Tijdens het nemen van monsters met de van Veen happer (zie 4.2.1.1), zal van elk monster een steekbuismonster (23,9 mm doorsnede) genomen worden van 10 cm lengte. De samenstelling van het sediment zal op het oog beschreven worden (zand, zand-slib, slib). De bovenste 5 cm van het sediment zal apart gehouden worden voor de korrelgrootteanalyse (Laser Particle Analyser, Malvern).

4.1.1.3 Bodemstructuur en structuurvormende organismen (toevoeging)

Met GeoSwath of Multibeam kunnen beelden (fig. 7) gemaakt worden van de structuur van de bodem en biogene structuren. Op deze beelden kunnen zandribbels zichtbaar worden gemaakt, maar ook andere

structuren zoals stenen. Daarnaast kan het de verspreiding van geaggregeerde structuurvormende organismen in beeld brengen, zoals mosselbanken en oesterriffen. Met GeoSwath zullen de geul in het referentiegebied (Schild en Boschwad) en de twee controle geulen (Spruit en zuid Oost Lauwers) in beeld worden gebracht.



Figuur 7. Driedimensionaal beeld met bodemstructuur van de vaargeul langs de Pollendam, de kleuren geven diepte categorieën aan.

4.1.1.3 Bodemstructuur (toevoeging)

Op locaties waar met behulp van de GeoSwath/Multibeam interessante structuren gelokaliseerd zijn, kunnen detail opnamen gemaakt worden met de onderwatervideo. Deze video is speciaal geschikt om opnamen te maken in troebel water, zoals vaak het geval is in de Waddenzee. De videobeelden kunnen vervolgens kwantitatief geanalyseerd worden (o.a. dichtheden van mossel/oester-banken).

4.2. Bodemdieren

In het huidige monitoringprogramma wordt de soortensamenstelling van bodemdieren in de geulen bekeken door enkele tientallen monsters te nemen met een van Veen happer in het gesloten gebied (Schild en Boschwad) en in de controlegeulen (Spruit en Zuid Oost Lauwers). De bemonstering is gestratificeerd naar bodemsamenstelling, zodat zowel zandige als schelpenrijke bodem bemonsterd wordt. De analyse richt zich op grotere bodemfauna (grotere wormen en schelpdieren), met extra aandacht voor soorten die structuurvormend zijn en organismen die hard substraat als habitat hebben. In het huidige monitoringprogramma wordt echter niet specifiek gekeken naar de ontwikkeling in locatie en oppervlakte van organismen die ook voor hard substraat kunnen zorgen, zoals mosselbanken, oesterriffen of schelpkokerwormaggregaties. Door hun geaggregeerde voorkomen kunnen deze organismen ook makkelijk gemist worden in het huidige monsterprogramma. Hiervoor zal een ander monstertuig ingezet moeten worden.

4.2.1 Tussentijdse bemonstering bodemdieren

Om een beter beeld te krijgen van de ontwikkeling van de bodemdieren in de geul in het voor menselijke invloeden gesloten structuur is het nodig om informatie te verzamelen over de soortensamenstelling en de aanwezigheid en verspreiding van structuurvormende organismen als mosselen, oesters en schelpkokerwormen.



4.2.1.1 Epi- en infauna - van Veen happer (uitbreiding)

Met een van Veen bodemhapper van 0.18 m² worden 71 monsters (uitbreiding, zie paragraaf 3.1.1) genomen in elk deel van de geul in het gesloten gebied (Schild en Boschwad) en in de twee controle geulen (Spruit en zuid Oost Lauwers). De genomen monsters worden gezeefd over een 1 mm zeef, waarbij zand en slib worden weggespoeld. Het overgebleven materiaal wordt gezeefd over een 5 mm zeef, waarbij de twee delen apart worden geanalyseerd. Alle organismen worden uit het materiaal gehaald en gedetermineerd. Van elke soort worden de aantallen bepaald. Aanhechtende soorten zoals Mosdiertjes (*Bryozoa*), zeepokken (*Cirripedia*), zeeanemonen (*Actinaria*), hydroidpoliepen (*Cnidaria*) en zakpijpen (*Chordata*) zullen worden meegenomen in de analyses (uitbreiding).

Tabel 1. Uitbreiding monsterprogramma bodemdieren (zie paragraaf 3.1.1)

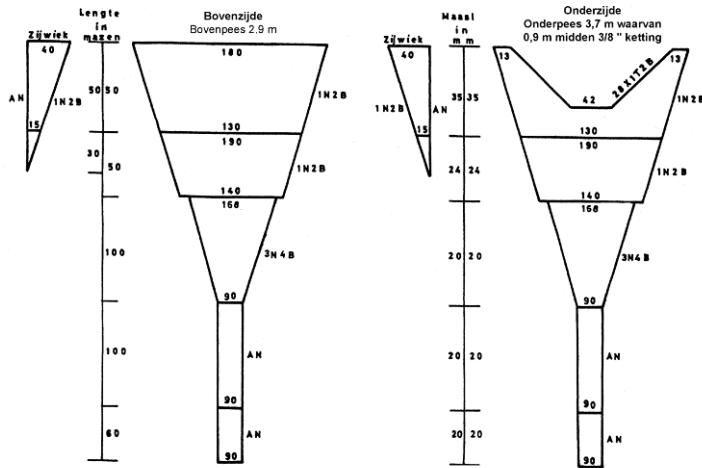
Geul	Huidige programma	Uitbreiding
Schild	24 monsterpunten	71 monsterpunten
Boschwad	13 monsterpunten	71 monsterpunten
Spruit	21 monsterpunten	71 monsterpunten
Zuid Oost Lauwers	23 monsterpunten	71 monsterpunten

4.2.1.2. Geaggregeerde benthos – bodemschaaf (toevoeging)



In de voorstudie van Lavalije en Dankers (1993) wordt aangegeven dat een minimaal programma zou moeten bestaan uit het bemonsteren van drie raaien dwars op de geul, één aan het begin, één in het midden en één aan het eind. De raaien lopen van -0,5 m LLWS tot maximaal -10 m LLWS. Op elke raai liggen maximaal 5 stations, verdeeld over de dieptelijnen. Per station worden drie monsters genomen. In totaal wordt zo met de bodemschaaf (10 cm (breedte) x 7 cm (diepte)) op 45 locaties per geul een trek van 150 m. uitgevoerd. De genomen monsters worden gezeefd over een 1 mm zeef, waarbij zand en slib worden weggespoeld. Het overgebleven materiaal wordt gezeefd over een 5 mm zeef, waarbij de twee delen apart worden geanalyseerd. Alle organismen worden uit het materiaal gehaald en van elke soort worden de aantallen bepaald. Aanhechtende soorten zoals Mosdiertjes (*Bryozoa*), zeepokken (*Cirripedia*), zeeanemonen (*Actinaria*), hydroidpoliepen (*Cnidaria*) en zakpijpen (*Chordata*) zullen worden meegenomen in de analyses .

4.3. Bodemvissen (uitbreiding)



In het huidige monitoringprogramma wordt de soortensamenstelling met betrekking tot bodemvis in de geulen bekeken door een twaalfstal trekken uit te voeren per geul met het DFS-vistuig. De trekken zijn gestratificeerd naar diepte en naar tij. Vóór de sluiting van het gebied zijn in het programma alle drie de geulen bemonsterd (referentiegebied en twee controlegeulen). Na sluiting zijn alleen de controlegeulen bemonsterd om in het referentiegebied geen viseffecten te krijgen door het DFS-visnet. Met de gegevens uit 2002 en 2003 is een poweranalyse uitgevoerd (Dankers et al.

2006). Daaruit bleek dat er 30 trekken per geul nodig zijn om een verschil van factor 1,5-3 in het voorkomen van schol, garnaal, strandkrab en grondel tussen de geulen aan te kunnen tonen.

4.3.1 Tussentijdse bemonstering bodemvissen

Om een beter beeld te krijgen van de ontwikkeling van de bodemvissen in de geul in het voor menselijke invloeden gesloten gebied is het nodig om informatie te verzamelen over de hoeveelheid soorten en de aantallen per soort in de drie geulen (referentiegebied en controlegeulen) door tenminste 30 trekken per geul te nemen.

4.3.1.1. Bemonstering bodemvissen – DFS (uitbreiding)

In de drie geulen worden 3 stations gekozen verdeeld over de diepterange. De diepte van de stations (t.o.v gemiddeld LLW) worden zo gelijk mogelijk gekozen in gebied X en Y. De bemonstering wordt gestratificeerd naar diepte en tij en alle trekken worden in vijfmaal uitgevoerd (hierbij is niet exact hetzelfde traject bevist.), waardoor in elk gebied vijftien trekken tijdens eb en vijftien tijdens vloed zijn uitgevoerd, telkens op drie verschillende dieptes (stations). De trekduur bedraagt 7.5 min (i.p.v. 15 min wat gebruikelijk is bij de DFS survey). De reden hiervoor is dat door kortere, maar een groter aantal trekken de resolutie vergroot wordt. Alle trekken worden voor 'tij' (in de richting van het tij) gedaan. De visvangsten zijn op dezelfde wijze verwerkt als de DFS vangsten. De epibenthos monsters worden aan boord uitgezocht en geteld. Van elk monster wordt een foto genomen, zodat achteraf nog een inschatting gemaakt kan worden van hoeveelheid zeesla en schelpresten.

Geul	Huidig programma	Uitbreiding
Schild en Boschwad	12 trekken (2002, 2003 en 2005)	30 trekken
Spruit	12 trekken (2002, 2003, 2005-2010)	30 trekken
Zuid Oost Lauwers	12 trekken (2002, 2003, 2005-2010)	30 trekken

5. Kwaliteitsborging

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

Referenties

- Berghahn R. (1990) On the potential impact of shrimping on the trophic relationships in the Wadden Sea. In: M. Barnes & R.N. Gibson (ed.), *Trophic relationships in the marine environment. Proceedings of the 24th European Marine Biology Symposium*. Aberdeen University Press, Aberdeen; 130-140.
- Buhs F. & Reise K. (1997) Epibenthic fauna dredged from tidal channels in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein: spatial patterns and a long term decline. *Helgol Meeresunters* 51:343-359
- Cooper K, Boyd S, Eggleton J, Limpenny D, Rees H & Vanstaen K (2007) Recovery of the Seabed following Marine aggregate dredging on the Hasting Shingle Bank of the coast of England. *Estuarine Coastal and Shell Science*, 75; 547-558
- Dankers, N., A. Meijboom, P.W. van Leeuwen, F. Fey, I. Tulp, G. Rink & M. de Vries (2006) Ecologische ontwikkelingen in een voor menselijke activiteiten gesloten gebied in de Nederlandse Waddenzee: rapportage over de situatie tussen 2002 en 2005, voorafgaand aan de sluiting. Wageningen IMARES Rapport 06.010
- Doeksen, A. (2006) Ecological perspectives of the north Sea C. Crangon fishery. An inventory of its effects on the marine ecosystem. Natural Resources Management. Wageningen university, Wageningen.
- Fey-Hofstede, F.E. ; Dankers, N.M.J.A. ; Meijboom, A. ; Leeuwen, P.W. van; Lewis, W.E. ; Hoppe, M. van; Jong, M.L. de; Dijkman, E.M. ; Cremer, J.S.M. (2010) Ecologische ontwikkeling in een voor menselijke activiteiten gesloten gebied in de Nederlandse Waddenzee tussenrapportage vier jaar na sluiting. IMARES rapport C136/10
- Gillet R. (2008) Global study on shrimp fisheries. FOA Fisheries Technical Paper 475
- Ierland E.T. & van der Veer H.W. (1982) Literatuuronderzoek naar de mogelijke gevolgen van zandwinning in de Waddenzee. Interne verslagen NIOZ 1982-5. Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Texel, 56 p.
- Kaiser, M.J., Clarke, K.R., Hinz, H., Austen, M.C.V., Somerfield, P.J. & Karakassis, I. (2006) Global analysis of response and recovery of benthic biota to fishing. *Marine Ecology-Progress Series*, **311**, 1-14.
- Lavaleije M.S.S. & N. Dankers (1993) Voorstudie naar de effecten van de garnalenvisserij op de bodemfauna, met advies over te sluiten gebieden en uit te voeren onderzoek. IBN rapport 001. 37 pgs
- Lotze H.K. (2005) Radical changes in the Wadden Sea fauna and flora over the last millennium. *Helgol Mar Res* 59
- Tulp, I (2009) Onderzoeksagenda 'duurzame garnalenvisserij'. Rapport C102/09
- Wilber C.G. (1971) turbidity. In O. Kinne (ed), *Marine ecology* 1 (2): 1181-1189

Verantwoording

Rapport C060/11

Projectnummer: 4308201035

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

Akkoord:

Dr. J.A. Craeymeersch
Onderzoeker

Handtekening:

Datum:

19-05-2011



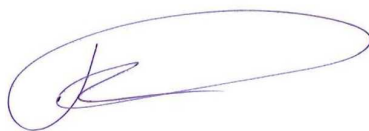
Akkoord:

Drs. F.C Groenendijk
Afdelingshoofd Ecosystemen

Handtekening:

Datum:

26-5-2011



Bijlage A. Intensiteit garnalenvisserij 2004-2010

In deze bijlage wordt een inschatting gemaakt van de visserijdruk rond het referentiegebied Rottum in de periode 2004-2010. Deze inschatting is gemaakt op basis van VMS-data en logboek informatie:

Methode:

1. Extract all VMS data (2000-2010) from VISSTAT (IMARES database).
2. Extract EU logbook data (2000-2010) from VISSTAT.
3. Extract Dutch flag vessels from both VMS and logbook data.
4. Remove duplicates in both datasets.
5. Remove VMS positions within 0.5km of 'official' harbours.
6. Remove VMS positions recorded in land (errors).
7. Identify fishing activity with a simple speed rule (≥ 1 & < 6 knots are fishing). Note: we are working to improve this but many sensitivity studies suggest this is a reasonable approximation, see CEFAS publication.
8. Remove non-fishing positions.
9. Merge logbook and tacsat based on the time of departure and arrival in the logbooks, ie. select VMS positions that occur between the dates in the logbooks.
10. Use logbook records to add gear codes etc. to VMS data.
11. Calculate time intervals between successive VMS positions.
12. Remove 'inspection vessels'
13. Select data for vessels < 300 Hp working mobile gears ('BEAM', 'OTTER', and "DEMERSAL_SEINE") for each year.
14. Create 0.00833 long x 0.00833 lat grid.
15. Sum intervals between VMS positions over this grid for each year.
16. Plot data on maps, ie. hours fishing per grid cell per year for all mobile gear categories < 300 HP with VMS transmitters. Note: there should not be vessels > 300 hp fishing anywhere within the 12nm zone.

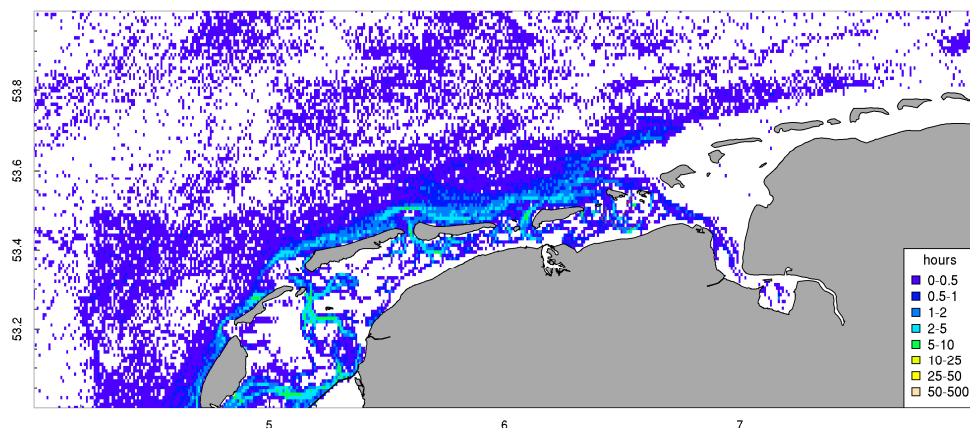
Resultaat:

Uit de informatie blijkt dat de visserij in de drie geulen voor de sluiting van het referentiegebied vergelijkbaar was, waarbij Zuid Oost Lauwers wat meer en het Spruit wat minder bevist werd dan de geul in het huidige referentiegebied (Schild en Boschwad). Na sluiting stopt de visserij in het referentiegebied en blijft de visserij in de referentiegeulen doorgaan (fig. 1). Hierbij valt op dat de visserij in het Spruit in het jaar na sluiting van het Schild enorm lijkt toe te nemen. In de visserijintensiteit in Zuid Oost Lauwers lijken geen opvallende veranderingen plaats te vinden in die periode. De visserijintensiteit in de twee controlegeulen (Spruit en Zuid Oost Lauwers) lijkt in 2010 opvallend lager dan in de voorgaande jaren. Het is onduidelijk hoe dit komt.

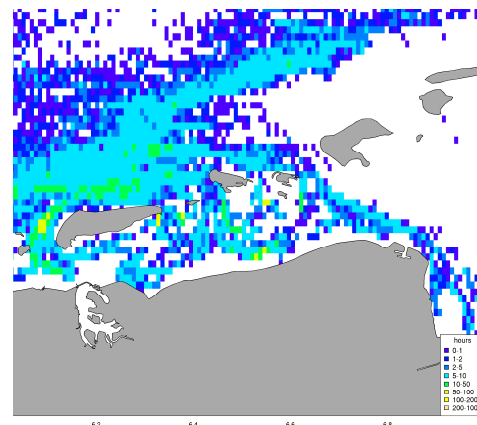


Figuur 1 Berekende visintensiteit in visuren voor het referentiegebied (Schild en Boschwad) en de controlegeulen (Spruit en Zuid Oost Lauwers) in de periode 2004-2010.

All Mobile Gears 2004

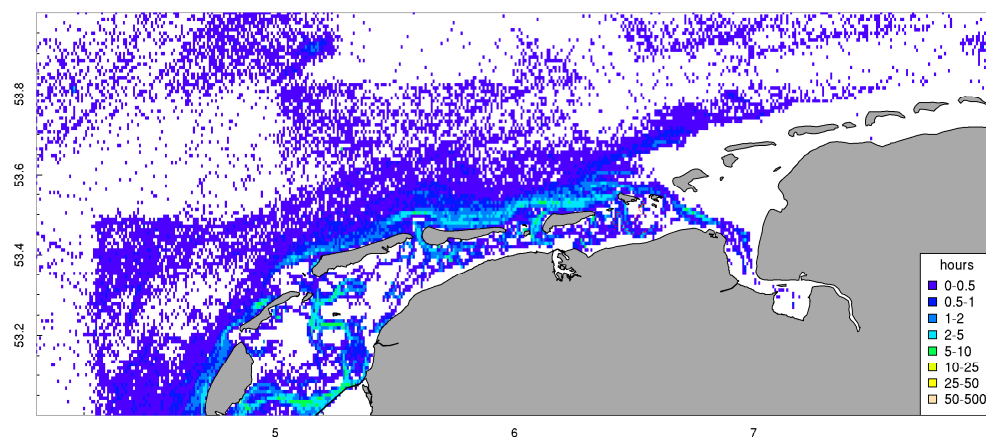


All Mobile Gears 2004

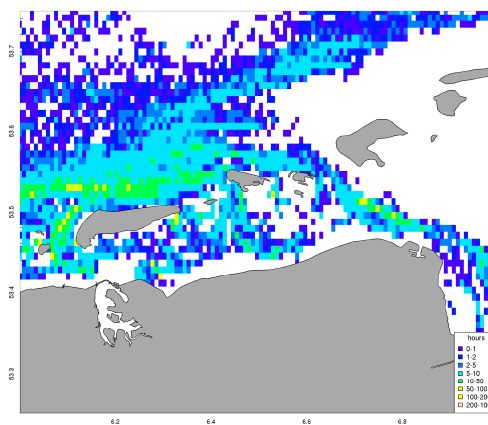


Figuur 2. Berekende visintensiteit in visuren in de Waddenzee (links) en rond het huidige referentiegebied Rottum (rechts) in 2004.

All Mobile Gears 2005

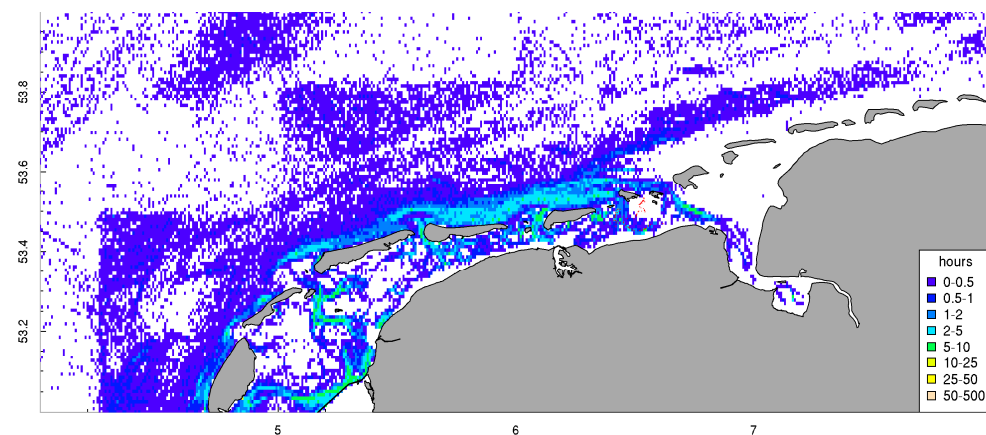


All Mobile Gears 2005

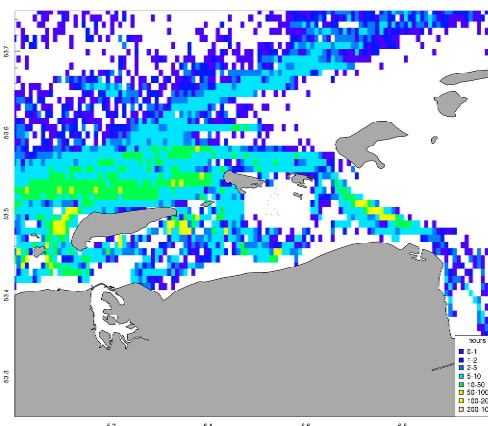


Figuur 3. Berekende visintensiteit in visuren in de Waddenzee (links) en rond het huidige referentiegebied Rottum (rechts) in 2005.

All Mobile Gears 2006

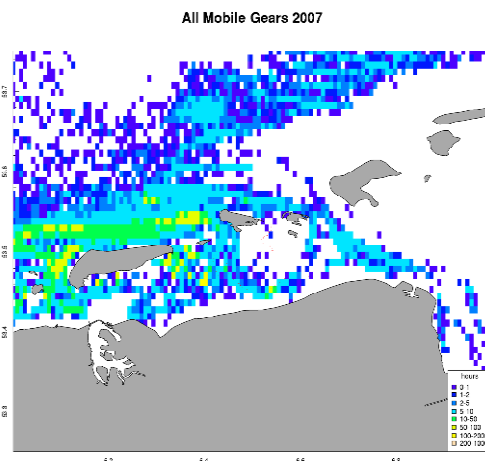
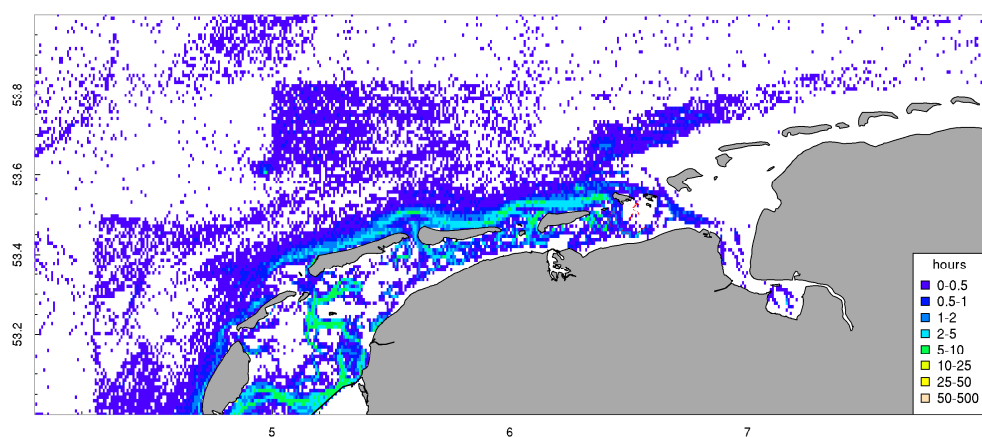


All Mobile Gears 2006



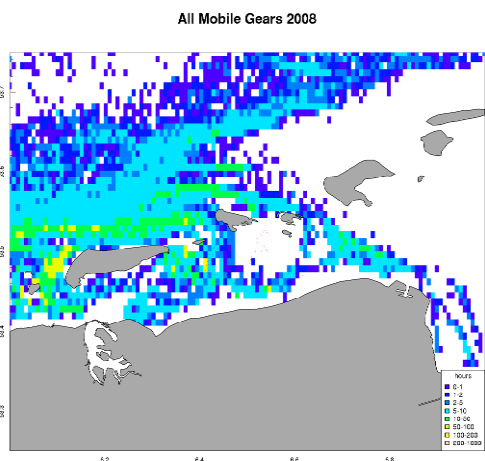
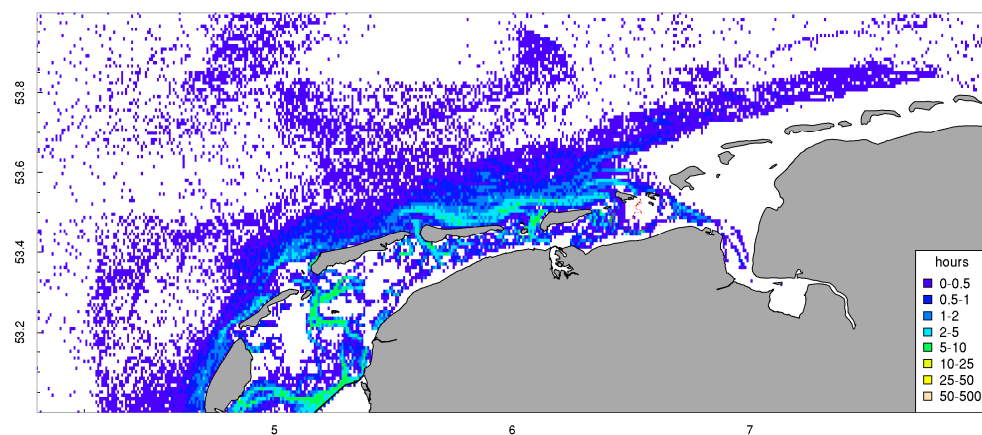
Figuur 4. Berekende visintensiteit in visuren in de Waddenzee (links) en rond het huidige referentiegebied Rottum (rechts) in 2006.

All Mobile Gears 2007



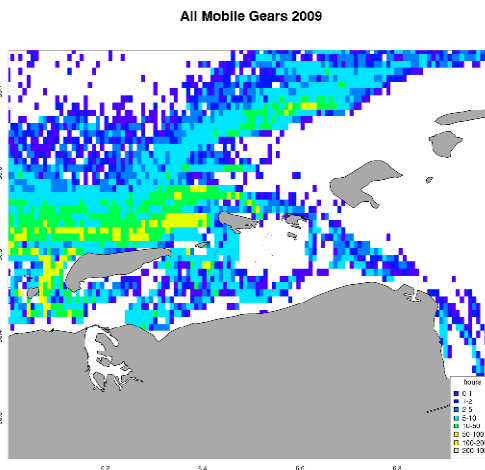
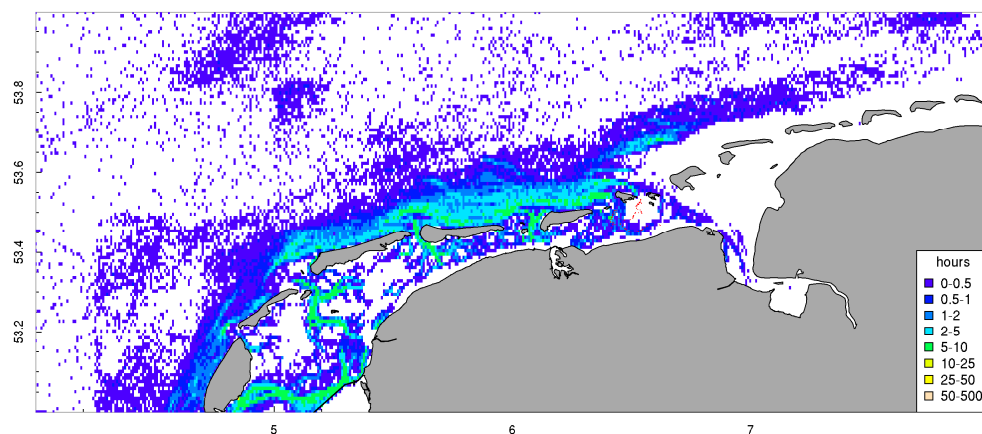
Figuur 5. Berekende visintensiteit in visuren in de Waddenzee (links) en rond het huidige referentiegebied Rottum (rechts) in 2007.

All Mobile Gears 2008



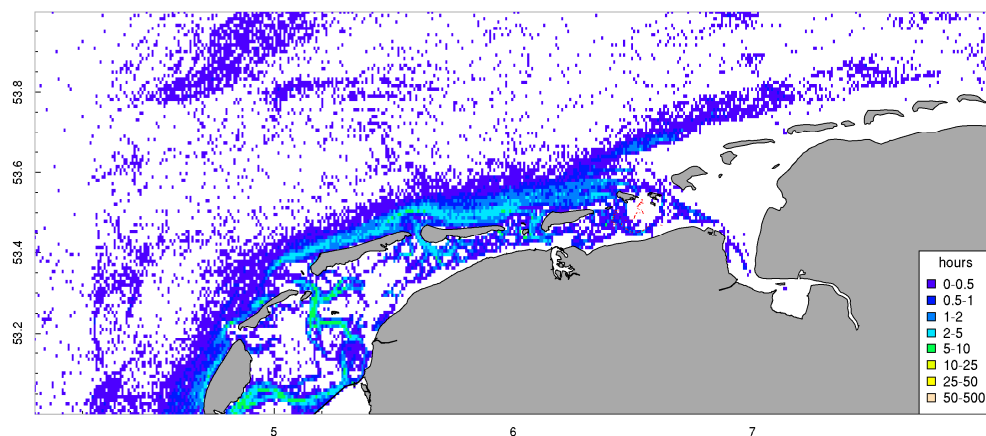
Figuur 6. Berekende visintensiteit in visuren in de Waddenzee (links) en rond het huidige referentiegebied Rottum (rechts) in 2008.

All Mobile Gears 2009

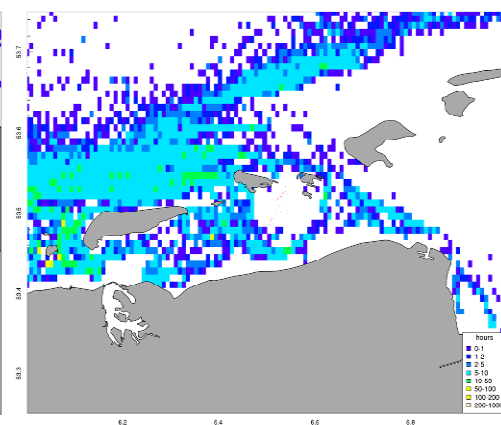


Figuur 7. Berekende visintensiteit in visuren in de Waddenzee (links) en rond het huidige referentiegebied Rottum (rechts) in 2009.

All Mobile Gears 2010



All Mobile Gears 2010



Figuur 8. Berekende visintensiteit in visuren in de Waddenzee (links) en rond het huidige referentiegebied Rottum (rechts) in 2010.

Bijlage B. Power analyse gegevens tot 2010

A power analysis of the Rottum fishery impact study

Jaap van der Meer

April 29, 2011

Abstract

A statistical power analysis was performed of the Rottum study on the impact of fisheries on the benthic fauna. No significant effects of the closure for fisheries could be detected, but the power to detect a doubling in abundance was in most cases lower than 40%.

1 Introduction

In November 2005 the Dutch government closed the areas Schild and Boschwad for all shrimp and shellfish fisheries. In order to study the effects of such closure on the macrozoobenthic community, benthic surveys were performed both in the closed areas as well as in two reference areas, Zuidoost Lauwers and Spruit. In each area around 12-24 grabs were taken once a year. The surveys started in 2002, that is several years before the closure, and were performed annually (except for 2004) until 2010, five years after the closure. The study might be characterized as a so-called Before-After Control-Impact (BACI) study [3]. All four areas are situated near the Wadden island of Rottum. See for further information on the areas and details on the sampling program [2].

To study whether the macrofauna has been effected by the closure, several approaches were followed. One-way Analyses of Variance (ANOVA), with area as factor and grab as replicate, were performed on the total abundance and on the abundance per species, both averaged over the years 2009 and 2010, in order to test whether the fauna differs among the four areas several years after the closure. To see whether changes in abundance differ among areas, similar ANOVAs were performed, but now with the ratio between the

abundance before and after closure as the response variable. In fact, all these ANOVAs test for differences between areas and not for the effect of the closure itself. Strictly speaking, it is not the treatment *area*, but the treatment *closure*, with the two levels *yes* or *no*, that should be tested, and areas should play the role of replicates. The appropriate t-test, with only two replicates per level, was performed on both the 2009-2010 abundance as well as on the before-after ratio in abundance. In the literature more complicated tests have been proposed for the analysis of similar data [4], but since they all suffer from the dependency among years, distrust is warranted. Yet, in the light of the very few replicates, one might question whether the power of the tests used here is sufficient for a non-significant result to be informative [1]. This short note gives the results of the statistical tests, but focuses on the accompanying power analyses.

2 Material and methods

The surveys started in 2002, when a limited number of grabs were taken in only three areas. From 2003 onwards, though not in 2004, around 13-24 Van Veen grabs were taken in each of the two closed areas, and around 17-24 grabs in each of the reference areas. In total 561 grabs have been sampled, but at three occasions a duplicate was taken, which was left out in the present analysis (Table 1). A total of 39 different taxa were distinguished. Some groups were identified to the species level, but many genera, families, orders and even classes were not split up. A list of all taxa is provided in Table 2. In the first two years only the large and conspicuous specimens were selected and identified, and only in the last two years all specimens were identified. Hence, taxa were split up in two categories. The selected taxa were reliably counted since 2005, and the non-selected taxa were only reliably counted from 2009 onwards (Table 2, Figs. 1 and 2). For this reason, two types of response variables were chosen, average abundance over 2009 and 2010 for all groups, and the ratio between the average abundance from 2006-2010 divided by the abundance in 2005 for the selected taxa only. Many taxa were quite rare, resulting in very few non-zero observations. Statistical analyses were only performed for those taxa that showed a reasonable number of non-zero observations, i.e. more than 15 percent (Table 2), resulting in 12 different response variables.

Statistical tests and power analyses were performed with the package R, using the functions *lm*, *power.anova.test*, and *power.t.test*.

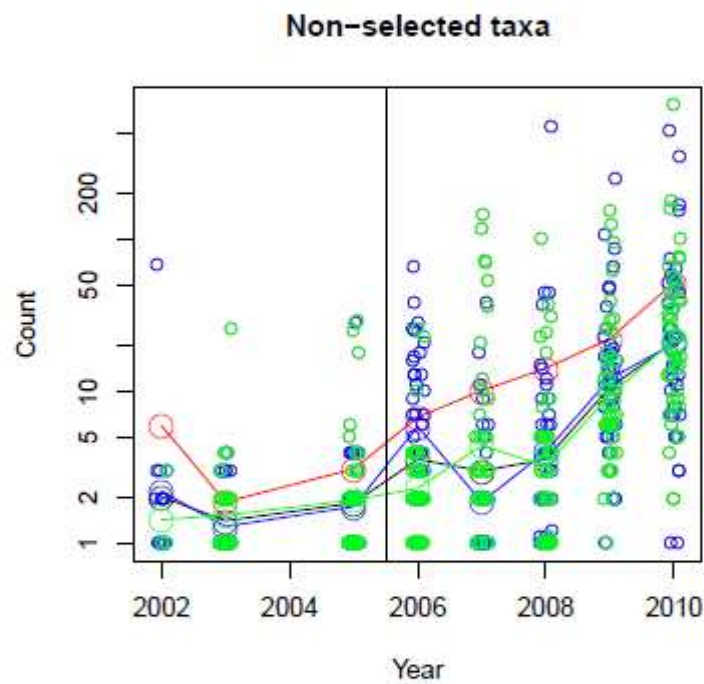


Figure 1: Time trend of the counts per grab for those taxa that were not reliably counted before 2009. Red line gives the annual arithmetic means. The other lines presents geometric means. Black line refers to overall annual means, green means for the first two areas and blue for the other two areas. Note the logarithmic scale.

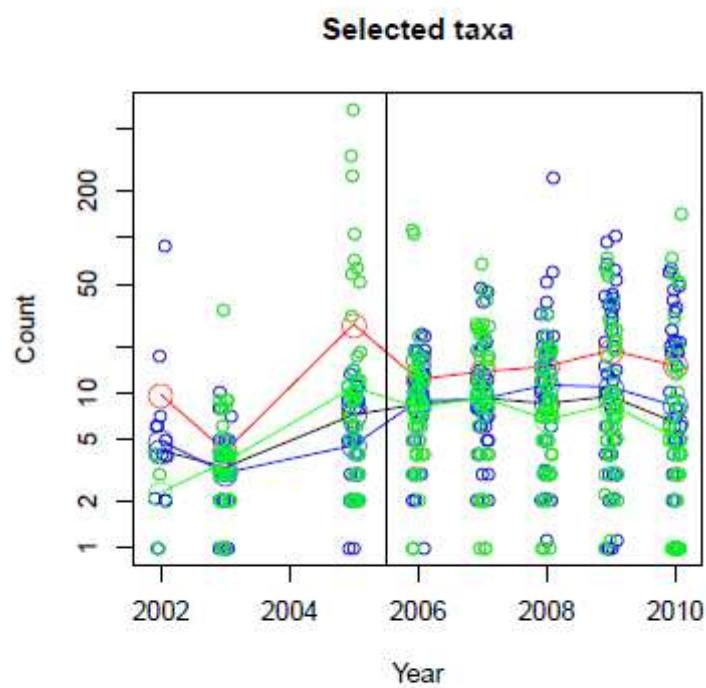


Figure 2: As Fig. 1, but for those taxa that were reliably counted since 2005.

Table 1: The number of Van Veen grabs per year and per area. Fisheries was forbidden in the first two areas (Boschwad and Schild) since 2006. The other two areas (Zuidoost Lauwers and Spruit) remained open for fisheries.

Year	Area 1 Boschwad	Area 2 Schild	Area 3 ZO Lauwers	Area 4 Spruit	Sum
2002	4	9	0	3	16
2003	13	21	18	17	69
2005	14	21	17	22	74
2006	14	24	21	22	81
2007	12	22	18	23	75
2008	14	24	20	24	82
2009	14	24	21	22	81
2010	14	24	21	21	80
Sum	99	169	136	154	558

3 Results and discussion

Areas differed significantly for three of the twelve response variables that were examined (Table 3). For the Capitellidae, the significant result was due to the relatively low numbers in 2009-2010 in the Spruit area, whereas the closed areas hardly differed from the open area Zuidoost Lauwers (Fig. 3). For *Scoloplos armiger* the closed areas showed a higher After/Before ratio than the two open areas, but the t-test resulted in a non-significant result for the effect of the closure treatment. This cosmopolitan deposit-feeding polychaete is generally considered to be a generalist species, and a causal relationship exists between the observed differences in this study and fishing activities is not to be expected. The abundance of the Magelonidae and *Nephtys* was lower in only one or in both closed areas, but here too the t-test resulted in a non-significant result. Significant results for the effect of the closure treatment were not obtained for any other species either, with one exception. The only significant result of the t-tests concerned *Crangon*, but this result is entirely due to an unreliably low estimate of the within-treatment mean square related to the extremely skewed distribution. This result should be disregarded.

The required number of grabs per area to get a power of 90% for an effect size of a factor 2 for the one-way ANOVA varied between 7 and 71, with a median of 31. The actual number taken, which equalled 16 for the Before-After comparison and 20 for the 2009-2010 average, was somewhat lower. For a lower effect size, a even larger number will be required. For example, for an effect size of a factor 1.25, the required number varies between 52 and 632.

Table 2: Taxon, selection category, where 1 refers to the non-selected and 2 to the selected group, and the percentage of all grabs with at least one individual.

Taxon	Category	Percentage non-zeros
<i>Abra alba</i>	2	1
<i>Abra tenuis</i>	2	0
<i>Actiniaria</i>	1	3
<i>Amphipoda</i>	1	25
<i>Anthozoa</i>	1	3
<i>Spionide</i>	1	44
<i>Arenicola</i>	2	3
<i>Asterias rubens</i>	2	0
<i>Autolytus</i>	1	3
<i>Capitellidae</i>	1	22
<i>Carcinus maenas</i>	2	14
<i>Cerastoderma edule</i>	2	13
<i>Crangon</i>	1	24
<i>Crepidula fornicata</i>	2	1
<i>Ensis</i>	2	9
<i>Eteone</i>	1	18
<i>Isopoda</i>	1	3
<i>Gammarus</i>	2	1
<i>Mysidae</i>	2	3
<i>Harmothoe</i>	1	2
<i>Hydrobia ulvae</i>	2	2
<i>Lanice conchilega</i>	2	3
<i>Macoma balthica</i>	2	15
<i>Magelonidae</i>	1	20
<i>Marenzelleria</i>	1	4
<i>Mya arenaria</i>	2	1
<i>Mytilus edulis</i>	2	4
<i>Nephtys</i>	2	72
<i>Nereis</i>	2	6
<i>Nereis virens</i>	2	0
<i>Ophiura</i>	2	0
<i>Pagurus</i>	2	1
<i>Phyllodoce</i>	1	1
<i>Porifera</i>	2	1
<i>Portunidae</i>	2	0
<i>Scoloplos armiger</i>	2	36
<i>Scrobicularia</i>	2	0
<i>Tellina</i>	2	2
<i>Urothoe</i>	1	4

Table 3: P-values for the one-way ANOVA (P_1), testing the effect of the treatment *area*, and the t-test (P_2), testing the effect of the treatment *closure*; required number of grabs per area to obtain a power of 0.9 in the ANOVA; and the power of the t-test if two areas per treatment were surveyed. Effect size equals 0.3 on the log scale, which is equivalent to a factor 2 on the ordinary scale. Upper part refers to the 2009-2010 averages, where on average 26 grabs per area could be used; lower part to the After-Before ratio, where 21 grabs were used.

Species	P_1	P_2	n_{req}	Power
All species	0.11	0.57	29.00	0.22
Amphipoda	0.04	0.50	55.36	0.12
Spionide	0.08	0.41	43.22	0.18
Capitellidae	0.02	0.72	48.58	0.10
Crangon	0.96	0.04	6.76	1.00
Eteone	0.64	0.34	18.82	0.84
Magelonidae	0.00	0.08	32.06	0.31
Nephtys	0.00	0.53	24.97	0.12
Scoloplos	0.20	0.12	71.11	0.36
All species	0.32	0.08	12.74	0.95
Nephtys	0.10	0.47	19.62	0.22
Scoloplos	0.05	0.07	42.71	0.42

The power of the t-test was in three out of the twelve cases higher than 80%, implying that the non-significant results point to a true absence of an effect of the closure in the order of a doubling or halving in abundance. Of course, the probability to detect smaller effects, if present, will have been smaller (Fig. 4). However, the t-test estimate of the between-area variance (MS_2 in Table 4) was in all these three cases much smaller than expected from the ANOVA estimate of the within-area variance (MS_1 in Table 4). The ratio between the two should not be larger than the actual number of grabs taken within each area, since the within-area variance divided by the number of grabs must contribute to the between-area variance. One should realize that the between-area variance estimates are only based on two degrees of freedom and could easily be rather imprecise. This will of course have affected the power calculations, which should therefore be interpreted with caution.

References

- [1] Cohen, J (1992). A power primer. Psychological Bulletin 112: 155159

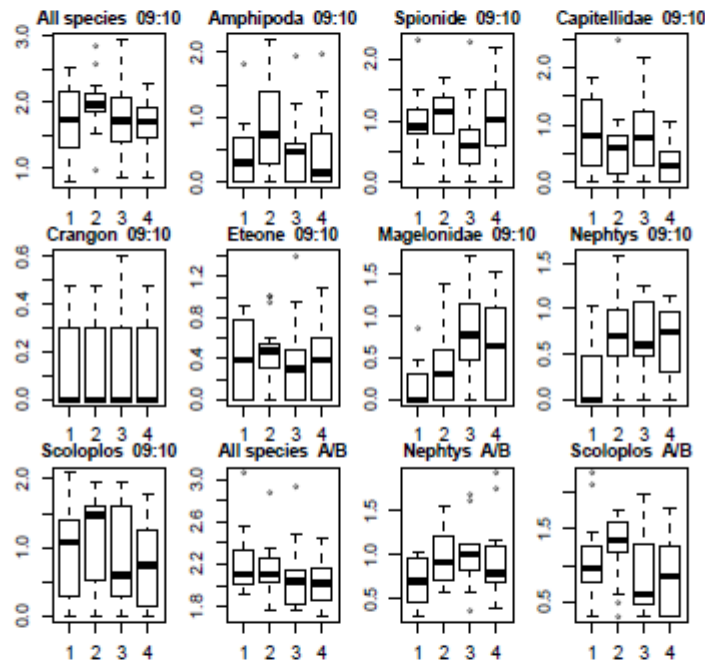


Figure 3: Boxplots of the $^{10}\log$ -transformed average counts plus one per grab over the years 2009 and 2010 versus area (upper nine panels), and log-ratio of the average count over the years 2006 to 2010 divided by the 2005 count (lower-right three panels). The taxon *Scoloplos* actually means *Scoloplos armiger*.

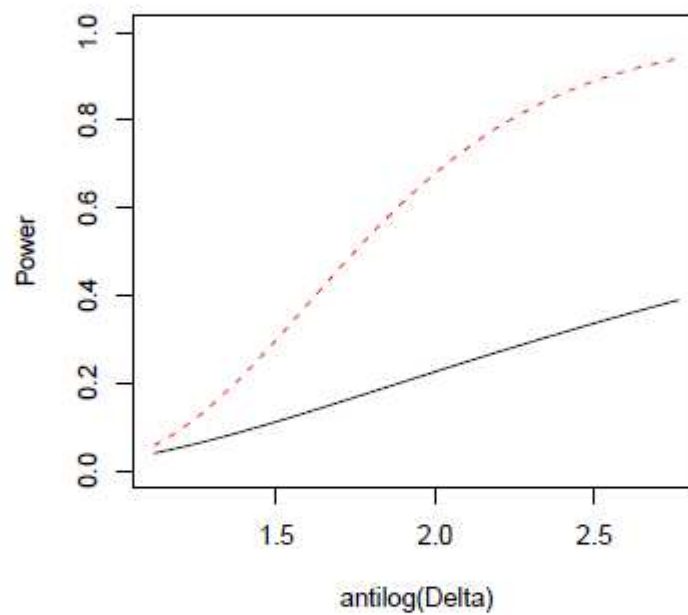


Figure 4: Power curve 2009-2010 average abundance of all species, where the power is related to the effect size, expressed as the factor by which the abundance differs between the treatment *closure* and the treatment *open*; t-test with two (black solid line) or four (red dashed line) areas per treatment.

Table 4: Error Mean Square of the one-way ANOVA (MS_1), of the t-test (MS_2), and the ratio between both.

	MS_1	MS_2	Ratio
All species	0.178	0.0215	8
Amphipoda	0.345	0.0528	7
Spionide	0.268	0.0291	9
Capitellidae	0.302	0.0761	4
Crangon	0.036	0.0000	1579
Eteone	0.113	0.0025	45
Magelonidae	0.197	0.0135	15
Nephtys	0.152	0.0553	3
Scoloplos	0.445	0.0111	40
All species	0.074	0.0015	49
Nephtys	0.118	0.0218	5
Scoloplos	0.265	0.0088	30

- [2] Frouke Fey, Norbert Dankers, André Meijboom, Piet Wim van Leeuwen, Hans Verdaat, Martin de Jong, Elze Dijkman, and Jenny Cremer (2010) *Ecologische ontwikkeling in een voor menselijke activiteiten gesloten gebied in de Nederlandse Waddenzee: Tussenrapportage vier jaar na sluiting (najaar 2009)*. IMARES rapport, Wageningen
- [3] Stewart-Oaten, A, Murdoch, WM, and Parker, KR (1994) Environmental impact assessment: 'pseudo-replication' in time? *Ecology* 67:929-940
- [4] Underwood, AJ (1994) On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications* 4:3-15

