Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum

Tussenrapportage 18 jaar na sluiting (situatie tot en met het jaar 2023)

S.T. Glorius, A. Meijboom, C. Sonneveld en B. van der Weide

WOT-technical report 266
WMR rapport C079/24

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum

Dit WOT-technical report is gemaakt conform het Kwaliteitsmanagementsysteem (KMS) van de unit Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research.

WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de minister van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) te ondersteunen. WOT Natuur & Milieu zorgt voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieu, biodiversiteit en bodeminformatie, en werkt mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOT-publicaties

De reeks 'WOT-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor WOT Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

WOT-technical report 266 is het resultaat van onderzoek dat gefinancierd is door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN).

Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum

Tussenrapportage 18 jaar na sluiting (situatie tot en met het jaar 2023)

S.T. Glorius, A. Meijboom, C. Sonneveld en B. van der Weide

Wageningen Marine Research

BAPS-projectnummer WOT-04-04-009-035.05

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu
Wageningen, december 2024

WOT-technical report 266
WMR-rapport C079/24
ISSN 2352-2739
DOI 10.18174/679639

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat
Glorius, S.T., A. Meijboom, C. Sonneveld en B van der Weide (2024). *Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage 18 jaar na sluiting (situatie tot en met het jaar 2023).* Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT technical report 266; WMR-rapport C079/24

Sinds november 2005 is een klein deel van de Nederlandse Waddenzee gesloten voor (potentieel) schadelijke menselijke activiteiten. Het gebied ligt ten zuiden van Rottumerplaat en Rottumeroog en beslaat zo'n 7.400 hectare. Doel van de sluiting is om de ongestoorde ontwikkeling van de natuur in de Waddenzee te kunnen volgen. Hiervoor wordt de sublitorale bodemdiergemeenschap in twee geulen, gelegen in het gesloten gebied, gemonitord en vergeleken met die van twee controlegeulen buiten dit gebied. Dit project wordt door Wageningen Marine Research (WMR) uitgevoerd binnen de Wettelijke Onderzoekstaken (WOT), thema Informatievoorziening Natuur, in opdracht van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN). Dit rapport beschrijft de tussentijdse resultaten, achttien jaar na sluiting. In lijn met wat eerder vastgesteld is: de verschillen zijn groot tussen monsters die in eenzelfde geul genomen zijn; en klein tussen de gemiddelden van de monsters in de geulen onderling. Een gevolg van de grote variatie in monsters is dat alleen grote verschillen statistisch aangetoond kunnen worden. Ook in de nieuwe onderzoekjaren 2022 en 2023 zijn de geul-verschillen statistisch niet verschillend voor de biodiversiteitsparameters soortenrijkdom, aantal individuen, diversiteit en evenness. Uit analyse van de hele onderzoeksperiode blijkt dat deze parameters zich niet anders hebben ontwikkeld in de gesloten geulen dan in de open geulen, waardoor er geen effect van sluiting van dit gebied aantoonbaar is voor deze parameters. Hiernaast is ook de ontwikkeling van de soortsamenstelling door de jaren heen in grote lijnen gelijk gebleven voor de verschillende geulen. De afgelopen periode (2017 tot en met 2023) wijkt vooral de open geul Zuidoost-Lauwers in samenstelling wat meer af van de andere geulen. Zo is de wormsamenstelling iets anders en komen er minder schelpdieren voor. Verder worden kokkels wat meer en vaker in de gesloten geul Boschwad aangetroffen; Amerikaanse zwaardschede wat meer en vaker in de gesloten geul Schild, zoals eerder vastgesteld is. Verschillen in de biotische samenstelling lijken beter verklaard te kunnen worden door abiotische verschillen die niet opgenomen zijn in de studie, zoals waterdiepte, bodem-samenstelling en de afstand tot het zeegat, dan door sluiting. Aanbevelingen voor de proefopzet zijn gedaan om de variabiliteit tussen monsters te verkleinen, verschillen beter te kunnen onderzoeken en in te spelen op de nieuwe gebiedssluiting voor garnalenvisserij.

Trefwoorden: bodemdieren, benthos, geulen, Waddenzee, referentiegebied Rottum, gesloten gebied.

Abstract
Development of benthic fauna in the gullies of the Rottum reference site: Interim report 18 years after closure (situation until 2023).

Since November 2005 a small part of the Dutch Wadden Sea has been closed to bottom disturbing anthropogenic activities. The area is situated just to the south of Rottumerplaat and Rottumeroog islands and covers about 7,400 hectares. The purpose of closing this area is to monitor the development of the sublittoral marine fauna in the Wadden Sea when they are not disturbed by human activities. The monitoring programme focuses on the development of the benthic communities present in the gullies. The benthic fauna in two gullies in the closed area are being monitored and compared with the fauna in two control gullies outside the closed area, which are under the influence of human bottom disturbing activities. This report describes the interim results eighteen years after the area was closed. Of the investigated gullies, the closed Boschwad gully is the smallest in surface area and has a lower water depth and finer sediment grain sizes than the other gullies. In line with what was previously observed, differences between samples, taken in the same gully, are large and differences between averages of samples in different gullies are small. Also in the new survey years 2022 and 2023, the small gully differences are not statistically different for the biodiversity parameters species richness, number of individuals, diversity. Analysis of the entire study period shows that these parameters did not develop differently in the closed gullies than in the open gullies so that no effect of closure was detectible for these parameters. In addition, the development of species composition over the years is also roughly the same for the different gullies. The last period (2017 to 2023), especially the open channel Zuidoost Lauwers deviates somewhat more from the other gullies in composition. For example, the worm composition is somewhat different and fewer shellfish are found. Furthermore, cockles are found somewhat more often in the closed gully Boschwad and American razor clams somewhat more often in the closed gully Schild, as was also observed earlier. Differences in composition are likely best explained by differences in location, water depth and bottom composition and distance to the sea inlet, instead of closure for human disturbance that is investigated here. Recommendations for the experimental design were made to reduce variability between samples, to better investigate differences and to respond to the new area closure for shrimp fisheries.

Foto omslag: Oscar Bos/Wageningen Marine Research

© 2024
Wageningen Marine Research
Postbus 57, 1780 AB Den Helder
Tel: (0317) 48 09 00; e-mail: sander.glorius@wur.nl

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (unit binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research),
Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 54 71, info.wnm@wur.nl, www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

Dit werk is gelicentieerd onder de Creative Commons CC-BY-NC licentie. Zie voor de licentievoorwaarden: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.nl

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

WOT Natuur & Milieu aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Het project ‘Referentiegebied Rottum’ wordt door Wageningen Marine Research (WMR) uitgevoerd binnen de Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) binnen het thema Informatievoorziening Natuur en wordt gecoördineerd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN). In het onderzoek wordt de bodemdiersamenstelling van de geulen, gelegen in het referentiegebied, vergeleken met die van twee geulen gelegen buiten het gebied. Dit rapport beschrijft de tussentijdse resultaten, achttien jaar na sluiting. Kennis over de natuurontwikkeling is onder andere essentieel om referentiesituaties te bepalen en om streefbeelden vast te stellen bij de ontwikkeling van beheerplannen (Natura 2000). Dit onderzoek zou niet mogelijk zijn zonder de hulp en inzet van de bemanning van de schepen van de Waddenunit van het ministerie van LVVN.

Sander Glorius

Inhoud

Woord vooraf **5**

Inhoud **7**

Samenvatting **9**

Summary **11**

1 Inleiding **13**

1.1 Omschrijving van het referentiegebied Rottum 13
1.2 Historisch gebruik van het gebied 14

2 Onderzoeksvraag **16**

2.1 Aanleiding 16
2.2 Onderzoeksvraag 16

3 Methoden **17**

3.1 Algemeen 17
3.2 Bemonstering met de Van Veen bodemhapper 18
3.2.1 Monstername 20
3.2.2 Laboratoriumanalyses 20
3.2.3 Data-analyses 20

4 Resultaten **23**

4.1 Bodemfauna in 2023 23
4.1.1 (Diversiteit)indices 23
4.1.2 Verschillen tussen geulen op soortniveau 26
4.2 Bodemfauna in 2022 28
4.3 Ontwikkeling sinds de start van het onderzoek 29

5 Discussie en conclusie **32**

6 Aanbevelingen **34**

Literatuur **36**

Verantwoording **38**

Bijlage 1 Monsterlocaties 39
Bijlage 2 Bodemdierfauna in 2022 42
Bijlage 3 Modeluitkomsten 46

Samenvatting

In navolging van trilaterale afspraken, waarbij in Duitsland en Denemarken referentiegebieden ingesteld werden, is sinds november 2005 een klein deel van de Nederlandse Waddenzee gesloten voor (potentieel) schadelijke menselijke activiteiten. Het Nederlandse referentiegebied (het gesloten gebied Rottum) betreft een geulsysteem ten zuiden van Rottumerplaat en Rottumeroog. Het gebied beslaat 7.400 hectare (circa 3% van de Nederlandse Waddenzee) en bevat een compleet zeegat en bijbehorende geul- en prielsystemen. Doel van deze sluiting is om de ongestoorde ontwikkeling van de natuur in de Waddenzee te kunnen volgen. In dit onderzoek wordt de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschappen in twee geulen, gelegen in dit referentiegebied (Schild en Boschwad), beschreven en vergeleken met de ontwikkeling in twee geulen die buiten het gebied liggen (Zuidoost-Lauwers en Spruit), achttien jaar na sluiting. Het onderzoek is niet opgezet als studie waarbij statistisch onderbouwde oorzakelijke verbanden aangetoond kunnen worden. Resultaten uit de monitoring kunnen mogelijke verbanden aantonen die gebruikt kunnen worden om hypotheses rond de oorzaak te fromuleren. De oorzakelijkheid kan eventueel verder getoetst worden in veld- dan wel met laboratoriumexperimenten. Kennis over de natuurontwikkeling is onder andere essentieel om referentiesituaties te bepalen en streefbeelden vast te stellen bij de ontwikkeling van beheerplannen (Natura 2000).

Het monitorprogramma is in 2002, drie jaar voor sluiting van het gebied in 2005, gestart. In die periode bestond de bemonstering uit het nemen van bodemmonsters voor het bepalen van de bodemdier-gemeenschap in de geulen en is de bodemvisgemeenschap bemonsterd met sleepnetten. Na de instelling van het referentiegebied (het gesloten gebied Rottum) is de nadruk op bemonstering van de bodemdieren komen te liggen. In de daaropvolgende jaren zijn ieder najaar bodemmonsters genomen. In 2016 heeft er weer een uitgebreidere bemonstering plaatsgevonden waarbij de bodemvispopulatie opnieuw bemonsterd is, de bodemstructuur in kaart gebracht werd en additionele bodemmonsters met de zuigkor genomen zijn om de grotere bodemdieren beter in kaart te brengen. Het resultaat van deze bemonstering is beschreven door Glorius et al. (2018). In de periode 2017 tot en met 2023 zijn wederom jaarlijks Van Veen-bodemmonsters genomen in het najaar (september-oktober).

Het aantal verschillende taxa, de dichtheid, evenness en diversiteit indices en de ontwikkelingen in de bodemdiersamenstelling zijn onderzocht. Zoals ook eerder gevonden is, zijn ook in de nieuwe onderzoeks-jaren 2022 en 2023 verschillen tussen monsters van eenzelfde geul groot en de verschillen tussen geulen (gemiddelden van de monsters in elk van de geulen) onderling klein. De analyses laten zien dat geul-verschillen statistisch niet verschillen voor bovengenoemde parameters voor beide jaren. Wanneer de ontwikkeling van deze parameters in de gesloten geulen vergeleken wordt met die in de open geulen, dan blijkt dat deze zich niet anders hebben ontwikkeld sinds de start van het onderzoek. Voor deze parameters is dan ook geen effect van sluiting aangetoond. Eerder uitgevoerde poweranalyses hebben uitgewezen dat met de huidige proefopzet verschillen van een factor 2 met statistische power van 80% en significantie van 0,05 aangetoond kunnen worden voor de meeste taxa (Fey et al., 2011). Kleinere verschillen (25%) hebben, afhankelijk van de soort, 56–632 monsters per geul nodig, wat als een onrealistisch hoog aantal gezien wordt. Ook de bodemdiersamenstelling ontwikkelt zich in grote lijnen gelijk voor de verschillende geulen. In de periode 2017 tot en met 2023 wijkt vooral de open geul Zuidoost Lauwers wat meer af in samenstelling van de andere geulen. Zo komen in deze geul de wormsoorten *Heteromastus filiformis* (rode draadworm), *Streblospio spec.* en *Nereididae* spec. wat meer voor dan in de andere geulen, terwijl de wormsoort *Scolelepis spec.* en de geleedpotige *Bathyporeia spec.*(vlokreeften) wat minder voorkomen dan in de geulen Spruit en Schild. Verder zijn er minder schelpdieren en dan vooral minder *Cerastoderma edule* (kokkel) en *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede) aangetroffen. Net zoals in eerdere analyses gevonden en gerapporteerd is, komen kokkels wat meer en vaker in de gesloten geul Boschwad en de Amerikaanse zwaardschede wat meer en vaker in de gesloten geul Schild voor. Verschillen in biotische samenstelling die hier gevonden zijn kunnen vermoedelijk het best verklaard worden door verschillen in waterdiepte, bodemsamenstelling en afstand tot het zeegat. Aanbevelingen voor de proefopzet zijn gedaan om de variabiliteit tussen monsters te verkleinen, waardoor het mogelijk wordt kleinere verschillen statistisch aan te tonen en in te spelen op de nieuw ingestelde gebiedssluiting voor garnalenvisserij.

Summary

Pursuant to trilateral agreements, under which reference sites were established in Germany and Denmark, a small part of the Dutch Wadden Sea was closed for potentially damaging anthropogenic activities in November 2005. The Dutch reference site (the closed Rottum area) consists of a system of gullies to the south of Rottumerplaat and Rottumeroog islands. The area covers about 7,400 hectares (approximately 3% of the Dutch Wadden Sea) and consists of a complete tidal inlet and associated gully and channel system. The purpose of closing this area is to monitor the undisturbed development of marine communities in the Wadden Sea. This study describes the development of the benthic communities in the two gullies in the closed area (Schild and Boschwad), eighteen years after its closure, and compares them with the development of the communities in two control gullies outside the closed area (Zuidoost Lauwers and Spruit). The research design does not allow for examination of causual relationships. Results from the monitoring conducted here may show possible links that can be used to formulate hypotheses around causation. Causality should possibly be further tested in field and/or laboratory experiments. Knowledge of the development of these communities is essential, among other things, for determining reference situations and target scenarios in management plans (Natura 2000).

The monitoring programme began in 2002, three years before closure of the area in 2005. During this initial period, the monitoring consisted of taking sediment samples to identify and describe the benthic fauna in the gullies and sampling the demersal fish using trawl nets. Since the reference site (the Rottum closed area) was established, samples have been taken mainly with a Van Veen sediment sampler. In each of the subsequent years sediment samples were taken in the autumn. In 2016 the survey was more extensive and included a second set of samples of the demersal fish, mapping of the sediment structure and additional sampling with a suction dredge to obtain more information about the larger benthic species. The results of this sampling are described in Glorius et al. (2018). In the period 2017 till 2023 every year Van Veen samples were taken in autumn.

The number of different taxa, the density, the evenness, and diversity indices, and trends in benthic composition were examined. As also found previously, in the new survey years 2022 and 2023, differences between samples from the same gully are large and differences between gullies itself are small. The analyses shows that gully differences are not statistically different for the above parameters for both years. Comparing the development of these parameters in the closed gullies, with those in the open gullies, shows that they have not developed differently since the start of the study. Therefore, no effect of closure has been demonstrated for these parameters. The bottom composition also develops in a broadly similar way for the different gullies. In the period 2017 to 2023 especially the open channel Zuidoost-Lauwers deviates somewhat more from the other channels in composition. For example, in this gully the worm species *Heteromastus filiformis* (red threadworm), *Streblospio* spec. and *Nereididae spec.* are somewhat more prevalent than in the other gullies and the worm *Scolelepis spec*. and the arthropod *Bathyporeia spec.* are somewhat less prevalent than in Schild and Spruit. Furthermore, fewer shellfish and especially *Cerastoderma edule* (cockle) and *Ensis leei* (American razor clam) were found. Similar to what was found and reported for previous years, cockles are somewhat more common and more frequent in the closed gully Boschwad and American razor clam somewhat more common and more frequent in the closed gully Schild. Differences in biotic composition are likely best explained by differences in location, water depth and bottom composition. Recommendations for the experimental design were made to reduce the variability between samples making it possible to statistically demonstrate smaller differences and to respond to the newly instituted area closure for shrimp fishing.

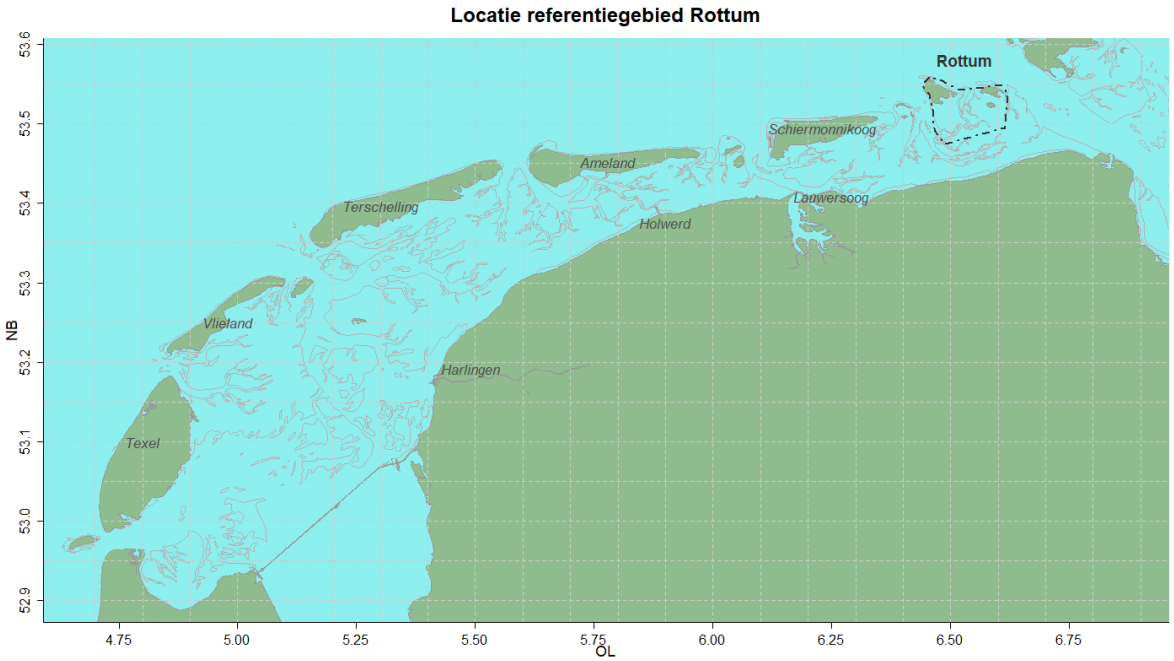
1 Inleiding

De Waddenzee is een natuurgebied van uitzonderlijke waarde. Het systeem kent een hoge biomassa-productie, wat zorgt voor hoge aantallen vissen, schelpdieren en vogels. In 2009 is de Waddenzee aangewezen als Natura 2000-gebied en in hetzelfde jaar 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 referentiegebieden in de Waddenzee, waarbinnen geen exploitaties en verstorende activiteiten plaats mogen vinden (Esbjerg Verklaring, § 33.3). Doel van het sluiten van het gebied is om de ongestoorde ontwikkeling van de natuur in de Waddenzee te kunnen volgen. Denemarken en Duitsland hadden al vóór de trilaterale conferentie in 2001 referentiegebieden aangewezen.

De Nederlandse staatssecretaris van het toenmalige ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) heeft in de Esbjerg Verklaring van 2001 toegezegd ook in Nederland een referentiegebied te zullen aanwijzen (artikel 11 van de Verklaring). In november 2005 is vervolgens het referentiegebied Rottum (figuur 1.1) ingesteld. De ontwikkelingen in zo'n referentiegebied kunnen een basis zijn voor toekomstig beleid. Kennis over de natuurontwikkeling is onder andere essentieel om referentiesituaties te bepalen en streefbeelden vast te stellen bij de ontwikkeling van het beheerplan (Natura 2000).

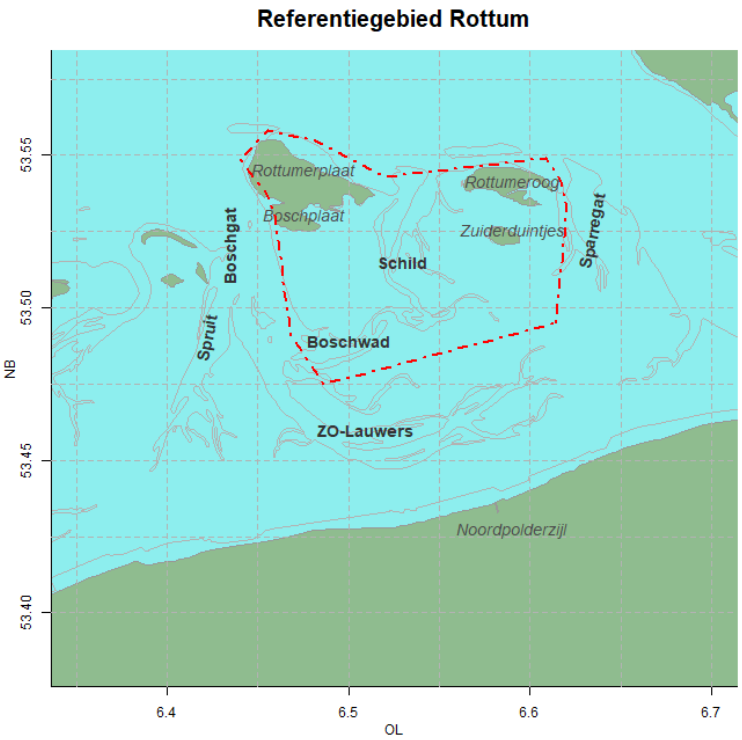
1.1 Omschrijving van het referentiegebied Rottum

In figuur 1.1 wordt de locatie van het referentiegebied in het oostelijk deel van de Nederlandse Waddenzee weergegeven. Het gebied is oorspronkelijk aangegeven in de Structuurnota Zee- en Kustvisserij (LNV, 1993) en in het beleidsbesluit Schelpdiervisserij van najaar 2004 als voor bodem beroerende activiteiten gesloten gebieden. In november 2005 (*Staatscourant* nr. 224, 17 november) is het gebied enigszins aangepast, zodat het binnen de reeds voor schelpdiervisserij gesloten gebieden (uit 1993) valt. Daardoor is een deel van het eiland Rottumerplaat buiten het gesloten gebied gebleven.



Figuur 1.1 *Nederlands deel van de Waddenzee met daarin referentiegebied Rottum dat gesloten is voor verstorende menselijke activiteiten met de gebiedsgrenzen zoals opgenomen in de beschikking van 2005 met kenmerk TRCJZ/2005/3167.*

Het referentiegebied Rottum bestaat uit een deel van het wad onder Rottumerplaat en Rottumeroog met het daarin liggende zeegat en geul- en prielsystemen, zie figuur 1.2. Het gebied omvat 7.400 ha en beslaat daarmee ongeveer 3% van de totale Nederlandse Waddenzee. In het gebied liggen ondiepe geulen die gezamenlijk circa 500 hectaren beslaan, wat overeenkomt met ongeveer 0,5% van het sublitoraal in de Waddenzee. Diepe geulen komen er niet voor. De hoofdgeulen die in het gebied liggen, Boschwad en Schild, vormen een dynamisch geulenpatroon, waarbij de ligging van de geulen continu verandert. Er is veel sedimentatie in het gebied (Lavaleije en Dankers, 1993).



Figuur 1.2 *Het referentiegebied Rottum met de gebiedsgrenzen zoals opgenomen in de beschikking van 2005 met kenmerk TRCJZ/2005/3167 en de geulen Boschwad, Schild (gelegen in het gesloten gebied) en de geulen Spruit, Zuidoost-Lauwers (aangeduid met 'Zuidoost-Lauwers'), Boschgat en Sparregat (gelegen buiten het gesloten gebied).*

1.2 Historisch gebruik van het gebied

Bevissing en recreatie vormen het belangrijkste (historisch) gebruik van het gesloten gebied, zoals ook eerder gerapporteerd is in onder andere Fey-Hofstede et al. (2015) en Glorius et al. (2018). Een samenvatting van het menselijke gebruik wordt hier gegeven.

Kokkels werden in de Waddenzee eeuwenlang handmatig verzameld (Ens et al., 2004). Sinds de jaren vijftig worden kokkels mechanisch verzameld en waarschijnlijk ook in het gesloten gebied Rottum, maar hiervan is geen kwantitatieve informatie beschikbaar. Na 1993 zijn er geen kokkels meer verzameld in het gebied nadat dit verboden werd in de structuurnota Zee- en Kustvisserij van januari 1993. Sinds ongeveer 1960 worden droogvallende mosselbanken bevist in de oostelijke Waddenzee. Behalve dat in 1985 en 1989 bevissing in het Rottum-gebied heeft plaatsgevonden (Dankers et al., 2006), is ook hiervan geen kwantitatieve informatie beschikbaar.

Garnalenvisserij is de meest intensieve visserij in de Waddenzee. Uit '*Vessel Monitoring through Satellite*' (VMS)-data blijkt dat in 2005 in de geulen van het gesloten gebied (Boschwad en Schild) gevist is (Glorius et al., 2018) en dat er na 2005 geen visserij meer heeft plaatsgevonden in deze geulen. Van bevissing voor 2004 in het gebied is weinig informatie beschikbaar.

De garnalenvisserij wordt uitgeoefend door boomkorkotters met veelal een maximale lengte van 24 meter en een maximaal vermogen van 221 kW (300 pk) (Quirijns et al., 2021). De garnalenvisserij op de Waddenzee wordt uitgeoefend door vaartuigen waarvoor een zogenaamde Garnalenvergunning Kustwateren (GK) is verleend. Om met een sleepnet te vissen op de Waddenzee is er ook een privaatrechtelijke toestemming nodig van de eigenaar van het water, in dit geval de Nederlandse overheid. In het beleid ten aanzien van de garnalenvisserij is vanuit het toenmalige ministerie van LNV vastgelegd dat geen nieuwe vergunningen meer worden uitgegeven. Vergunningen zijn echter wel overdraagbaar (Quirijns et al., 2021).

In het 'Convenant Viswad' zijn afspraken gemaakt over het uit de markt nemen van GK-vergunningen. Het Waddenfonds heeft voor dat doel € 10 miljoen gereserveerd. In april 2021 is een tenderregeling opengesteld en is voor negentien garnalenvissers de GK-vergunning uitgekocht en zijn op 1 januari 2022 gebieden aangewezen die gesloten zullen worden voor garnalenvisserij. Het betreft delen van het Eierlandse Gat en het Oostwad. De gebieden die in het Oostwad liggen grenzen voor een groot deel aan de grenzen van het referentiegebied en beslaan delen van de geul Zuidoost-Lauwers, die in deze studie opgenomen is als referentiegeul, waar menselijk gebruik wel toegestaan is (zie paragraaf 3.2). Omdat de vergunningen van een deel van de uitgekochte vergunninghouders nog niet verlopen was, is voor een deel van de vissers het voorlopig nog toegestaan te vissen in deze additionele gebieden. Het gaat hierbij om circa tien vergunning-houders. Vergunningen worden voor maximaal drie jaar afgegeven en op termijn (in 2025) zullen deze gebieden geheel gesloten zijn voor garnalenvisserij.

Een gelimiteerd aantal wadlooptochten (68 tochten met een boot, 43 toeristische wad-wandeltochten begeleid door een gids en 25 excursies) naar Rottumeroog en excursies zijn vergund (Provincie Groningen, 2017).

2 Onderzoeksvraag

2.1 Aanleiding

Het belangrijkste doel van de sluiting van het referentiegebied Rottum is om de natuurlijke ontwikkeling te kunnen volgen in een gebied waar geen exploitaties plaatsvinden en verstorende menselijke activiteiten tot een minimum gereduceerd zijn, zie hoofdstuk 1. Kennis over de natuurontwikkeling is onder andere essentieel om referentiesituaties te bepalen en streefbeelden vast te stellen bij de ontwikkeling van het beheerplan voor Natura 2000.

Om vast te kunnen stellen wat deze ontwikkeling is, en of deze anders is dan in gebieden waar deze activiteiten wel toegestaan zijn, is onderzoek nodig, in zowel het gesloten gebied als daarbuiten. De natuurlijke ontwikkeling van de flora en fauna op de droogvallende wadplaten en in de (permanent onder water staande) geulen zijn beide in principe relevant. Echter, omdat geulen meer dan wadplaten blootstaan aan verstorende menselijke activiteiten (zie hoofdstuk 1), is ervoor gekozen om met de beschikbare middelen voor het onderzoek prioriteit te leggen op het onderzoeken van het geul-ecosysteem.

2.2 Onderzoeksvraag

Voor dit onderzoek, dat zich primair op de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap (exclusief vissen) in de geulen richt, is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

Hoe ontwikkelt de bodemdiergemeenschap zich in geulen waar menselijke verstoring tot een minimum is teruggebracht en hoe verhoudt dit zich tot de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in geulen waar dit wel toegestaan is?

De gegevens van dit onderzoek zullen daarmee informatie leveren over eventuele verschillende ontwikkelingen van de bodemfauna tussen deze specifieke geulen, die dan mogelijk het gevolg zijn van afwezigheid van menselijk handelen, maar tevens net zo goed veroorzaakt kunnen worden door specifieke geuleigenschappen zelf. Het onderzoek voldoet dan ook niet aan de randvoorwaarden om het effect van specifieke vormen van menselijk handelen nader te onderzoeken. Voor dergelijk onderzoek zijn meer, en bovenal willekeurig gekozen onderzoekslocaties, nodig. Omdat bodemdiergemeenschappen verschillen tussen de westelijke en oostelijke Waddenzee, en daarnaast afhankelijk zijn van de afstand tot wadplaten en zeegaten, is het nodig om op al deze plekken onderzoeksgebieden aan te leggen. Daarnaast moet bij het interpreteren van de ontwikkeling in het gebied rekening worden gehouden met het dynamische karakter van dit specifieke geulensysteem (Lavaleije en Dankers, 1993). Sterke erosie en sedimentatie in de geulen kunnen grote invloed hebben op de ontwikkeling in het gebied en maakt vestiging van gevoelige soorten moeilijk.

3 Methoden

3.1 Algemeen

In het gesloten gebied liggen de geulen Boschwad en Schild (zie hoofdstuk 1 en figuur 1.2), die beide opgenomen zijn in het onderzoek. Rondom het gesloten gebied liggen verschillende geulen waar verstorende menselijke activiteiten wel toegestaan zijn en die dienst kunnen doen als referentie. Hoe meer deze geulen vergelijkbaar worden met de gesloten geulen wat betreft biotische en abiotische condities, hoe beter verschillen in ontwikkeling tussen de open en gesloten geulen gerelateerd kunnen worden aan sluiting. Het is de verwachting dat geulen, die zich dicht bij het gesloten gebied bevinden, beter vergelijkbaar zijn in soort-samenstelling dan geulen die zich verder van het gebied af bevinden. Geulen die zich dicht bij het gebied bevinden, zijn Zuidoost-Lauwers, Spruit, Boschgat en Sparregat. Ter vergelijking met de ontwikkeling van de bodemdieren in de geulen in het gesloten gebied worden in deze studie de bodemdieren in de geulen Zuidoost-Lauwers en Spruit bemonsterd.

Het monitorprogramma is in 2002, drie jaar voor sluiting van het gebied in 2005, gestart. In die periode bestond de bemonstering uit het nemen van bodemmonsters met een Van Veen bodemhapper voor het bepalen van de bodemfauna in en op het sediment en werd de bodemvisgemeenschap bemonsterd met sleepnetten. Deze bemonsteringen, uitgevoerd in de periode 2002 tot en met 2005, geven de startsituatie weer voor wat betreft de samenstelling van deze soortgroepen in de geulen Boschwad, Spruit, Zuidoost-Lauwers en Schild.

Na de instelling van het referentiegebied in november 2005 is de nadruk van het onderzoek op bemonstering van de bodemfauna in de geulen met de Van Veen bodemhapper komen te liggen. Hiervoor zijn ieder najaar bodemmonsters genomen.

In 2016 heeft er een uitgebreidere bemonstering plaatsgevonden, waarbij naast monsters met de Van Veen bodemhapper, ook monsters met sleepnetten genomen zijn om de bodemvispopulatie te bemonsteren. Daarnaast is in dat jaar de bodemstructuur in kaart gebracht en zijn additionele bodemmonsters met de zuigkor genomen om de grotere bodemdieren in kaart te brengen. Het resultaat van deze bemonstering is beschreven in het rapport van Glorius et al., 2018.

De bemonsteringslocaties die jaarlijks met de Van Veen bodemhapper bemonsterd zijn, zijn oorspronkelijk gestratificeerd naar bodemsamenstelling (zand of schelpengruis), zoals vastgesteld in 2003. Door sedimentatie en erosieprocessen is de topografische ligging van de geulen en wadplaten geleidelijk veranderd. Een aantal monsterlocaties, die oorspronkelijk in de geul lagen, is hierdoor op het droogvallende wad komen te liggen in meer recente jaren. Om te voorkomen dat monsters op het droogvallende wad genomen worden, zijn de monsterlocaties in het jaar 2018 herzien en verlegd, zodat ze allemaal in de geul liggen. De monsterlocaties zijn hierbij zo verlegd dat zowel het midden (diepere) deel van de geul als de (ondiepere) geuluitlopers bemonsterd worden en het aantal monsterpunten, dat per geul genomen wordt, nagenoeg gelijk is gebleven met eerdere bemonsteringen, zie ook Glorius et al., 2020.

In de periode 2018 tot en met 2023 zijn wederom jaarlijks Van Veen bodemmonsters genomen in de periode oktober-november. In dit hoofdstuk worden de procedures beschreven die gevolgd zijn tijdens het veld- en laboratoriumwerk en wordt beschreven hoe de verkregen soortendichtheidsgegevens uitgewerkt zijn. Eerst wordt in de paragraaf hieronder kort ingegaan op de eigenschappen van de bodemdiergemeenschap en de bemonstering ervan met verschillende tuigen.

3.2 Bemonstering met de Van Veen bodemhapper

De bodemdiersamenstelling is divers en bestaat uit soorten van verschillende grootte die zich diep, ondiep, op of gedeeltelijk in de bodem bevinden. Hiernaast verspreiden sommige soorten zich min of meer gelijkmatig over grotere oppervlaktes, terwijl andere meer geclusterd voorkomen. Omdat soorten afhankelijk zijn van voor hen specifiek geschikt substraat, zoals slibrijke of juist zandige bodems, en soms afhankelijk zijn van de aanwezigheid van andere soorten (zoals bijvoorbeeld zeepokken en bryozoa afhankelijk zijn van schelpdieren zoals mosselen), kan de soortensamenstelling van de bodemdieren erg wisselend zijn van plek tot plek.

Verschillende bemonsteringsapparaten kunnen worden ingezet om de bodemdiergemeenschap in kaart te brengen. Elk apparaat is in meer of mindere mate geschikt om bepaalde onderdelen van de gemeenschap in kaart te brengen. Zo kunnen onderwatercamera's gebruikt worden om soorten, die zich (gedeeltelijk) op de bodem bevinden, te detecteren. Voor dieren die zich op en in de bodem bevinden, zijn apparaten waarmee bodemmonsters genomen kunnen worden zoals boxcorer, de Van Veen bodemhapper, bodemschaaf en zuigkor, juist geschikt. Met 'environmental' DNA (eDNA) kan de aanwezigheid van soorten op grotere ruimtelijke schaal aangetoond worden, maar dichtheden en lokale voorkomens niet.

Door het troebele water van de Waddenzee zal een onderwatercamera zeer dicht op de bodem geplaatst moeten worden om een beeld te verkrijgen met voldoende resolutie om soorten te kunnen identificeren. Dit beperkt zeer de mogelijkheid om grote oppervlakten in de Waddenzee op te nemen. Het werkt bijvoorbeeld niet om de camera net boven de bodem te situeren en voort te bewegen zoals op de Noordzee, waar het water vaak helderder is. In de Waddenzee zal het cameraframe op het sediment geplaatst moeten worden. Vervolgens zal, voor het maken van bruikbare opnames, vaak gewacht moeten worden tot het in werveling gebrachte sediment weggespoeld is.

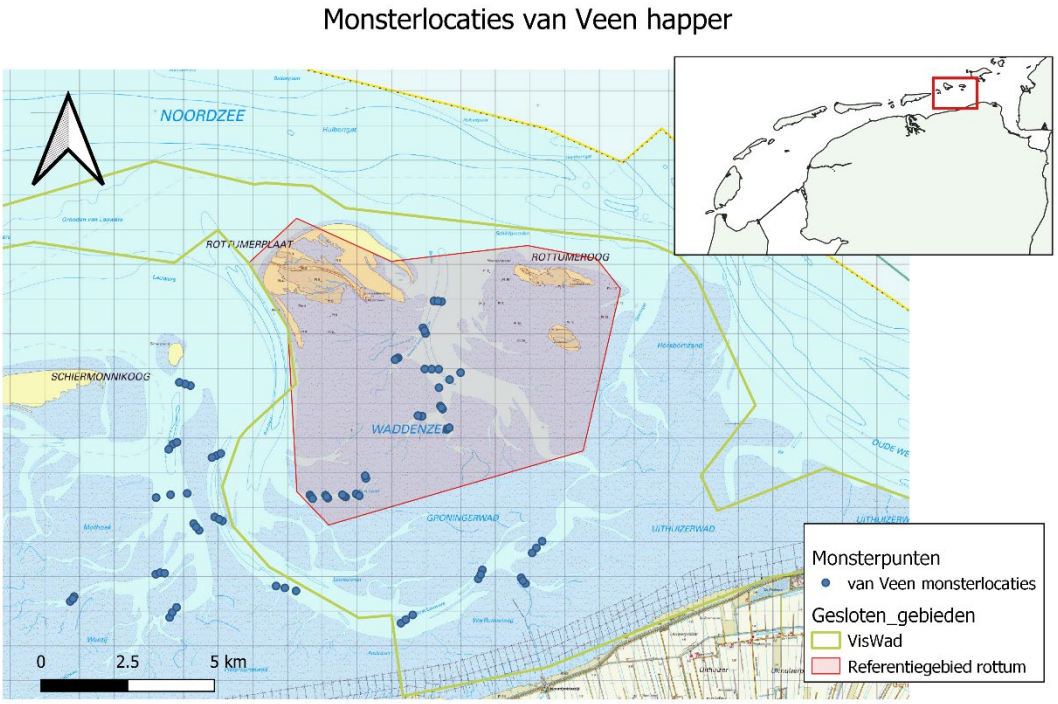
De apparaten waarmee bodemmonsters genomen kunnen worden om de gemeenschap in kaart te brengen verschillen onderling in bemonsteringdiepte, oppervlak en de mate waarop de bodem verstoord wordt. Met de Van Veen bodemhapper en boxcorer is het gangbaar om een oppervlak <<1 m^2 te bemonsteren tot een diepte van ongeveer 25 cm. Met een boxcorer kan het bodemmonster nagenoeg onverstoord genomen worden en intact aan boord worden gebracht. Aan boord wordt het monster verwerkt, wat inhoudt dat deze gespoeld wordt en geconserveerd. Een zeef met een maaswijdte van 1 mm is gangbaar. Het op de zeef achtergebleven materiaal wordt geconserveerd en identificatie vindt later in een laboratorium plaats. Voor het op naam brengen van de kleinere individuen wordt zo nodig een stereomicroscoop gebruikt. Voor het nemen van een bodemschaaf of zuigkor wordt het apparaat overboord gezet en over een bepaald afstand gesleept of getrokken. Een mes wordt in de bodem gestoken en in een zeef gebracht. Alleen het achtergebleven materiaal wordt aan boord gebracht voor het identificeren en tellen van de individuen. Bemonsteringsdiepte en oppervlak is afhankelijk van de positionering van het mes en de treklengte. De bemonsteringsdiepte bedraagt ongeveer 7–10 cm en een bemonsterd oppervlak van 15-30 m^2 is gangbaar, zie Troost et al., 2023 voor een meer uitgebreide beschrijving. Veel soorten worden met al deze tuigen bemonsterd, waarbij de trefkans voor elke soort anders is. Door verschillen in bemonsteringsoppervlak, bemonsteringsdiepte en verwerking, is een Van Veen bodemhapper/boxcorer vooral geschikt voor de wat kleinere en/of kwetsbare en/of dieper ingegraven soorten en de bodemschaaf/zuigkor is juist wat meer geschikt voor bemonstering van de grotere, minder diep ingegraven en minder kwetsbare soorten.

Omdat veel schelpdiersoorten geaggregeerd (in clusters) voorkomen kunnen ze gemakkelijk gemist worden (of juist in grote aantallen aangetroffen worden) wanneer een klein oppervlak bemonsterd wordt. Bovendien zijn deze soorten niet erg kwetsbaar en bevinden ze zich veelal ondiep in de bodem. Door een groter oppervlak te bemonsteren kan de dichtheid nauwkeuriger ingeschat worden. Voor deze soorten is een zuigkor of bodemschaaf beter geschikt dan een Van Veen bodemhapper of boxcorer. Wormen, kreeftachtigen en sommige schelpdieren (Amerikaanse zwaardschede bijvoorbeeld) kunnen juist beter met laatstgenoemde apparaten bemonsterd worden omdat deze zich dieper in de bodem bevinden, klein en/of kwetsbaar zijn.

In dit onderzoek wordt de Van Veen bodemhapper gebruikt en worden dus ook de kleinere en/of kwetsbare en/of dieper ingegraven soorten bemonsterd, met als keerzijde dat het bemonsterd oppervlak klein is en (grotere) soorten dus eerder gemist worden. De happer die in deze studie gebruikt wordt, bemonstert een

oppervlak van 0,18 m^2. De monsters worden geconserveerd en in het laboratorium in Den Helder uitgezocht. Er zijn geen sedimentmonsters voor korrelgrootte analyses genomen.

In iedere geul worden jaarlijks in de herfst zo'n 15-25 monsters genomen, zie tabel 3 en figuur 3.1. Zoals in paragraaf 1.2 beschreven staat zal, na een overgangsfase, een deel van Zuidoost-Lauwers op termijn gesloten worden voor alle garnalenvisserij. Ongeveer de helft van de monsterpunten in Zuidoost-Lauwers (12 van de 21) liggen in het gebied waar het in de toekomst niet meer toegestaan is om garnalenvisserij uit te voeren, zie ook figuur 3.1. Opgemerkt dient te worden dat de sluiting voor garnalenvisserij niet gelijk staat aan de status van het referentiegebied, waarin geen enkele vorm van menselijke verstoring toegestaan is. Garnalenvisserij vormt echter wel de belangrijkste verstoring van het bodemleven in het gebied en deze monsterlocaties hebben daarom speciale aandacht in dit rapport.



Figuur 3.1 *Kaart met de Van Veen monsterlocaties (blauwe stippen) sinds het jaar 2018, het referentie-gebied Rottum met de gebiedsgrenzen zoals opgenomen in de beschikking van 2005 met kenmerk TRCJZ/2005/3167 en de grenzen van het in het kader van Viswad voor garnalenvisserij gesloten gebieden weergegeven met gele lijnen.*

Tabel 3.1 *Aantal bodemmonsters dat per jaar met de Van Veen bodemhapper genomen is in de gesloten geulen Boschwad en Schild en de open geulen Spruit en Zuidoost-Lauwers. Bodemmonsters die voorafgaand aan sluiting van het gebied genomen werden, zijn schuin afgedrukt.*

	Gesloten geulen in het referentiegebied gelegen		**Open geulen buiten het Referentiegebied gelegen**	
Jaar	**Boschwad**	**Schild**	**Spruit**	**Zuidoost-Lauwers**
2002	*6*	*11*	*0*	*17*
2003	*14*	*24*	*20*	*23*
2005	*14*	*24*	*20*	*23*
2006	14	24	21	22
2007	14	24	18	23
2008	14	24	20	24
2009	14	25	21	22
2010	14	24	21	21
2011	14	24	21	23
2012	14	24	21	23
2013	14	24	21	23
2014	14	24	21	23
2015	14	24	21	23

	Gesloten geulen in het referentiegebied gelegen		Open geulen buiten het Referentiegebied gelegen	
Jaar	**Boschwad**	**Schild**	**Spruit**	**Zuidoost-Lauwers**
2016	14	24	21	23
2017	14	24	21	23
2018	15	24	21	21
2019	15	24	21	21
2020	15	24	21	21
2021	15	24	21	21
2022	15	24	21	21
2023	15	24	21	21

3.2.1 Monstername

Het schip MS Harder van het ministerie van LVVN en zijn bemanning hebben samen met medewerkers van Wageningen Marine Research (WMR) de bodemmonsters genomen. Nadat het schip in positie gebracht is, is de Van Veen bodemhapper overboord gezet en afgezakt tot de bodem, waarna de happer zich sluit en een bodemmonster genomen wordt. Op hetzelfde moment worden de tijd en de waterdiepte op het brugformulier ingevuld en de geografische coördinaten van het monsterpunt vastgelegd met een hand-gps. Vervolgens wordt het monstertuig terug aan boord gehesen en boven een zeef geopend om de inhoud ervan te inspecteren. Bij het onvolledig sluiten van de bodemhapper lekt er bodemmateriaal weg en wordt het monster afgekeurd. In dat geval wordt er een nieuw monster genomen.

Het bemonsterde materiaal van goedgekeurde monsters wordt gezeefd door een 1 mm-zeef met lokaal zeewater om zand en overig materiaal te verwijderen. Algemene informatie met betrekking tot het monster, zoals sedimenttype, aanwezigheid van schelpengruis en aanwezige soorten die tijdens het zeven al konden worden opgemerkt, zijn genoteerd op het dekformulier. Het op de zeef achtergebleven materiaal, zoals bodemdieren, schelpmateriaal, stenen en overig materiaal, wordt in een polyethyleen pot bewaard en geconserveerd in een zeewateroplossing met 6-10% gebufferde formaldehyde. De potten worden in kratten geplaatst, aan dek bewaard en bij terugkomst vanaf de haven direct getransporteerd naar het laboratorium van WMR in Den Helder voor analyse van de soortendichtheden.

3.2.2 Laboratoriumanalyses

De monsters zijn als volgt in het laboratorium verwerkt: eerst zijn de in het monster aanwezige bodemdieren gescheiden van het schelpengruis, eventueel aanwezige stenen en het overige materiaal. Daarna is het gewicht van het schelpengruis bepaald en genoteerd op het laboratoriumformulier. Vervolgens zijn de aanwezige bodemdieren geïdentificeerd tot het laagst taxonomisch niveau (WoRMS redactieraad 2022), waarbij standaard taxonomische sleutels en referenties gebruikt zijn., Zo nodig is hierbij gebruikgemaakt van een stereomicroscoop. Juveniele individuen waarvan de soort-specifieke kenmerken nog niet voldoende ontwikkeld waren en beschadigde individuen waarbij de soort-specifieke kenmerken niet goed te zien waren, zijn hierbij tot een hoger, maar wel zo laag mogelijk taxonomisch niveau gedetermineerd. Het aantal individuen is vervolgens geteld en genoteerd op het laboratoriumformulier. In de periode voor sluiting zijn alleen de grotere bodemdieren geïdentificeerd en geteld. Vanaf 2006 is het protocol aangepast en zijn alle aanwezige bodemdieren geïdentificeerd en geteld, met uitzondering van *hydrozoa* (hydroidpoliepen) en *bryozoa* (mosdiertjes), waarvan alleen de aanwezigheid gescoord wordt. Voorbeelden van aangetroffen soorten worden opgenomen in de Taxonomische Referentiecollectie die door WMR als onderdeel van het kwaliteitsprotocol bijgehouden wordt. Van de schelpdieren zijn naast het aantal individuen ook de individuele lengtes en het totaal schelpdierengewicht bepaald. De op deze wijze verkregen gegevens over soorten-dichtheden, schelpdieren- en schelpengruisgewichten zijn opgeslagen in een database die door WMR beheerd wordt.

3.2.3 Data-analyses

Per monster zijn de volgende biodiversiteitsindices bepaald: het aantal verschillende taxa per monster (verder in dit rapport aangeduid met soortenrijkdom), het totaal aantal individuen (verder in dit rapport aangeduid met dichtheid), evenness en diversiteit. Een taxon definieert een groep organismen die op basis

van gemeenschappelijke kenmerken tot een samenhangende groep gerekend worden. Taxa kunnen hierbij gegroepeerd worden op verschillende taxonomische niveaus, waarbij het laagste niveau de soort is. Hogere niveaus zijn bijvoorbeeld genus of stam. Voordat deze indices berekend zijn, is de dataset met soorten-dichtheden opgewerkt, waarbij soorten van verschillende taxa soms samengevoegd of buiten beschouwing gelaten zijn.

Verschillende soorten binnen de *hydrozoa*, *bryozoa* en pokken zijn samengevoegd, omdat deze gedurende het monitorprogramma niet altijd tot hetzelfde taxonomische niveau geïdentificeerd werden. Omdat niet alle individuen in het monster volledig (tot op soortniveau) geïdentificeerd konden worden, kan het voorkomen dat bij het eenvoudig optellen van het aantal taxa in een monster (om de soortenrijkdom te bepalen) registraties van individuen, die niet volledig geïdentificeerd konden worden, onterecht meegeteld worden. Als in een monster bijvoorbeeld individuen, behorend bij de taxon *Nepthys spec*. (geïdentificeerd tot op genusniveau), aanwezig zijn terwijl in hetzelfde monster ook individuen van *Nephtys hombergii* (geïdentificeerd tot op soortniveau) aanwezig zijn, dan bestaat de kans dat de *Nepthys spec*.-individuen in werkelijkheid *Nepthys hombergii* zijn en onterecht meegeteld worden in het bepalen van de soortenrijkom. Om dit te voorkomen is voor ieder niet volledig geïdentificeerd taxon bekeken of er individuen in het monster aanwezig waren, behorend bij een lagere taxonomische groep. Wanneer dit zo was, dan werden deze taxa niet meegeteld in de berekening van de soortenrijkdom; wanneer dit niet zo was, werden de taxa wel meegenomen in deze berekening.

De Shannon-Wiener-index (verder in dit rapport diversiteit genoemd) is een maat om de diversiteit van een monster uit te drukken en wordt berekend volgens vergelijking 1. Zowel het aantal verschillende taxa als de verdeling van de individuen over deze taxa wordt in deze berekening meegenomen. Het indexgetal neemt toe wanneer er meer verschillende taxa in de monsters aangetroffen worden, maar ook wanneer het aantal individuen gelijkmatiger over de verschillende taxa verdeeld is. Het getal neemt af bij lagere aantallen taxa en bij een schevere verdeling van het aantal individuen over de verschillende taxa.

Shannon-Wiener index:

$$H = -\sum P_i(\ln P_i)$$

Vergelijking 1.

H = Shannon-Wiener index
Pi = het relatieve voorkomen van een soort, uitgedrukt als het aantal individuen van een soort ten opzichte van het totaalaantal individuen

Evenness is berekend volgens Pielou's formule zoals weergegeven in vergelijking 2. Met deze index wordt aangegeven hoe homogeen of scheef de abundantie in een monster verdeeld is over de verschillende taxa. De index loopt van 0 tot 1. Lage waarden geven aan dat het aantal individuen gedomineerd wordt door enkele taxa, hoge waarden geven aan dat de individuen in een monster gelijkmatig verdeeld zijn over de verschillende taxa.

Evenness:

$$E = \frac{H}{\ln(S)}$$

Vergelijking 2.

E = Evenness
H = Diversiteit
S = Aantal taxa in een monster
Verschillen in de univariate parameters soortendichtheid, diversiteit en evenness tussen geulen en monsterlocaties binnen een geul (de uitlopers of het middendeel) voor eenzelfde jaar zijn statistisch onderzocht middels lineaire modellen.

Met *random effects*-modellen is onderzocht of de ontwikkeling van bovengenoemde parameters in de gesloten geulen zich anders hebben ontwikkeld dan in de open geulen. In random-effectmodellen is het

mogelijk te corrigeren voor datagroepen waarvan je wel weet dat ze van invloed zijn, maar waarin je niet geïnteresseerd bent (jaartal bijvoorbeeld) zonder dat hiervoor erg veel vrijheidsgraden nodig zijn (in het geval je ze als factor opgenomen zou hebben). Voor de modellen zijn drie periodes gedefinieerd: vóór sluiting (de onderzoeksjaren 2002 tot en met 2005), kort na sluiting (2006 tot en met 2016) en lang na sluiting (2017 tot en met 2023). De status van de geulen (open of gesloten voor menselijk gebruik) en de periode zijn apart en als interactie in het model opgenomen. Significante interactieterm duidt op een verschil in ontwikkeling tussen gesloten en open geulen en is daarom interessant in deze studie. Geul, genest in jaartal, is als random effect opgenomen om te kunnen corrigeren voor jaarlijkse verschillen in de gebieden. Verschillende modellen (zonder en met ruimtelijke autocorrelatie en waarbij de variatie voor periode zowel gelijk als verschillend beschouwd is) zijn opgesteld.

Op basis van 'Akaike Informatie Criteria' (AIC) is vastgesteld welk model de data het beste beschrijft, dat vervolgens is gebruikt. De finale modellen zijn weergegeven in bijlage 3

Door verschillende grafieken van de modelresiduen te maken is getoetst of deze normaal verdeeld waren en of er afwijkende patronen aanwezig waren tussen de geulen en locaties binnen een geul. Alle analyses zijn uitgevoerd in R (R Core Team 2018). Voor het random effect model is gebruikt gemaakt van het pakket 'lme4' (Bates et al., 2015) en 'lmerTest' (Kuznetsova et al., 2017) voor het verkrijgen van P-waarden. Voor de berekening van de diversiteit en evenness index waardes is gebruik gemaakt van functies die beschikbaar zijn in het 'vegan' pakket (Oksanen et al., 2017).

Door erosie- en sedimentatieprocessen verandert de topografische ligging van de geulen in de loop der tijd (zie paragraaf 3.1). Hierdoor zijn enkele monsterlocaties, die oorspronkelijk in de geul lagen, op enig moment op het droogvallende wad komen te liggen (zie bijlage 1). Het is aannemelijk dat de soort-samenstelling op het droogvallende wad afwijkt van die van de geul en deze locaties zijn daarom verwijderd voor de hier gepresenteerde analyses. Het aantal verwijderde monsterlocaties was niet gelijk verdeeld over de geulen. Door sedimentatie in vooral Boschwad zijn in deze geul de meeste locaties buiten beschouwing gelaten, namelijk elf van de veertien oorspronkelijke locaties. Er bleven slechts drie locaties over voor de analyses. In Schild zijn zes locaties buiten beschouwing gelaten, in Spruit vijf en in Zuidoost-Lauwers twee. Omdat Spruit pas vanaf 2003 bemonsterd werd, zijn gegevens voor 2002 niet meegenomen in het statistisch modellen. Vanaf 2018, toen de monsterlocaties geherpositioneerd zijn in de geul, was het niet nodig locaties te verwijderen.

De ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap is inzichtelijk gemaakt door gebruik te maken van de ordinatietechniek 'Nonmetric MultiDimensional Scaling' (NMDS). In een multivariate dataset zijn er evenveel dimensies als taxa. In ordinatietechnieken worden deze dimensies gereduceerd, op zo'n manier dat deze zo veel mogelijk variatie laten zien zoals aanwezig in de monster-soortenmatrix. NMDS maximaliseert hiervoor de rangordecorrelatie tussen afstandsmaten en afstand in de ordinatieruimte (tweedimensionaal vlak in het rapport). Hiermee wordt de variatie in de monstertaxa matrix inzichtelijk gemaakt en kan deze gemakkelijker geïnterpreteerd worden. Resultaten worden weergegeven in 'biplots' waarbij de posities van monsters en soorten op het gereduceerde vlak geprojecteerd worden. Monsters die dicht op elkaar geplaatst zijn in het tweedimensionale vlak lijken meer op elkaar dan monsters die ver uit elkaar staan. Wanneer de afstand in dit vlak tussen een monster en een soort klein is, betekent dit dat de aanwezigheid van de betreffende soort belangrijk is in het onderscheid van dat monster met de overige monsters. Soorten die in minder dan 5% van de data voorkomen, zijn buiten beschouwing gelaten. Berekeningen zijn uitgevoerd in R (R Core Team 2021) waarbij gebruikgemaakt is van functies die beschikbaar zijn in het 'vegan'-pakket (Oksanen et al., 2017).

4 Resultaten

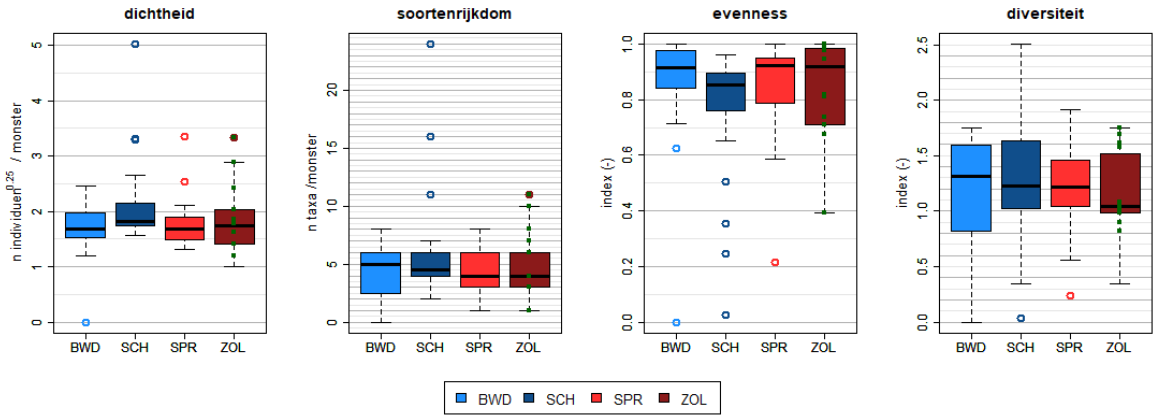
In dit hoofdstuk wordt de soortsamenstelling van de monsters, die in 2023 genomen zijn, besproken in paragraaf 4.1. Hierbij wordt ingegaan op verschillende indices (soortenrijkdom, dichtheid, diversiteit en evenness) alsmede op (verschillen in) soortsamenstelling tussen de geulen. Omdat de onderzoeksresultaten van 2022 niet apart gerapporteerd zijn worden deze tevens kort besproken in paragraaf 4.2. Figuren met gegevens van de monsters uit 2022 zijn opgenomen in bijlage 2. In paragraaf 4.3 worden de ontwikkelingen sinds de start van het onderzoek besproken.

4.1 Bodemfauna in 2023

In deze paragraaf wordt ingegaan op het aantal aangetroffen taxa , de dichtheid, de soortendiversiteit en evenness in de monsters van 2023. Daarnaast worden enkele taxa besproken die belangrijk zijn voor de verschillen in bodemdiersamenstelling tussen de geulen.

4.1.1 (Diversiteit)indices

In figuur 4.1 is per geul de dichtheid, soortenrijkdom, de evenness en de diversiteit weergegeven voor de in 2023 genomen monsters. In dit figuur is te zien dat de geulen onderling niet wezenlijk verschillen. De grootte van de boxen en de uitschieters (de ronde stippen in de figuren) laten zien dat er grote verschillen aanwezig zijn tussen de individuele monsters. Monsters met een waarde die >5x boven het geulgemiddelde liggen komen regelmatig voor. Een nadere inspectie van de monsterpunten die in Zuidoost-Lauwers liggen en op termijn gesloten zullen worden voor garnalenvisserij (zie paragraaf 3.2), liggen zowel boven als onder de mediane waarden voor deze geul en zijn daarom niet wezenlijk verschillend van de overige punten in deze geul, zie groene stippen in figuur 4.1.



Figuur 4.1 *De dichtheid, soortenrijkdom, evenness- en diversiteitindices voor de monsters genomen in 2023 in de geulen Boschwad (BWD), Schild (SCH), Spruit (SPR) en Zuidoost-Lauwers (ZOL). Met de groene stippen worden de monsterpunten weergegeven in Zuidoost-Lauwers die op termijn uitgesloten zullen zijn voor garnalenvisserij.*

Voor al deze parameters geldt dat statistische modellen (zie paragraaf 3.2.3) met alleen geul, de data het beste beschrijven. Er zijn geen statistisch significante verschillen gevonden tussen de geulen, zie tabel 4.1.

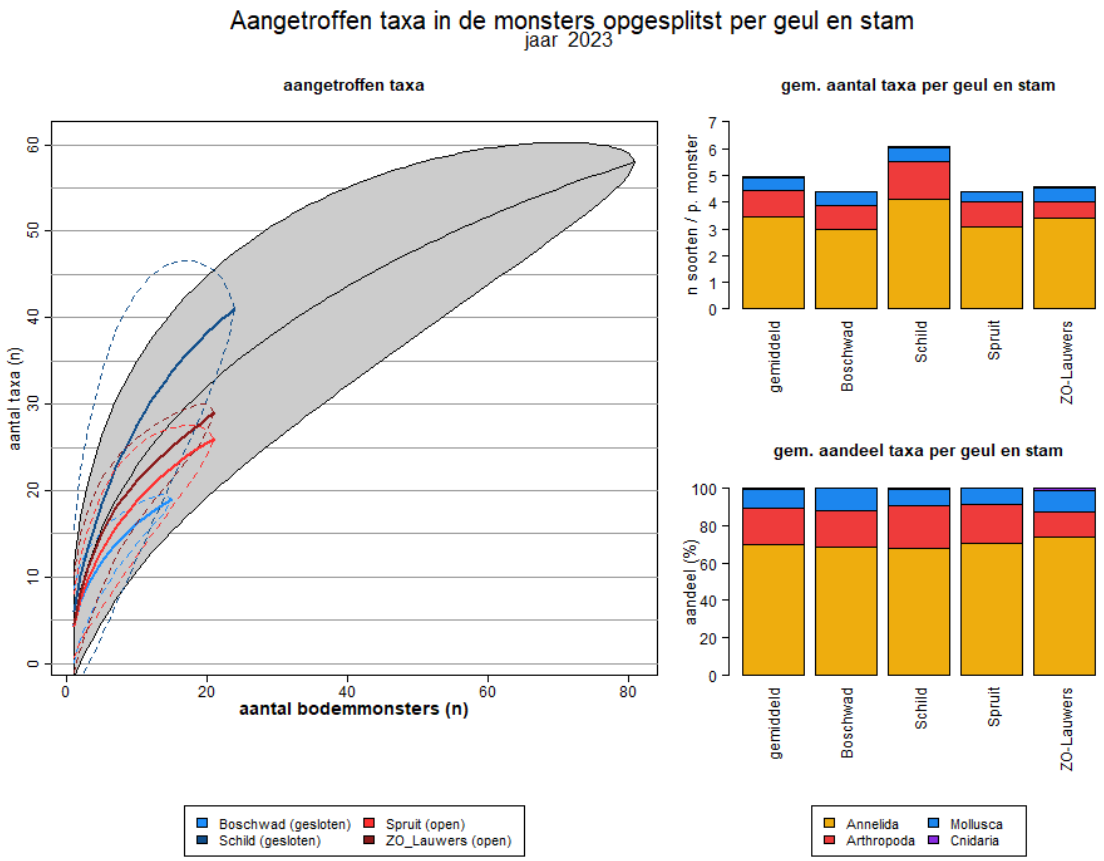
Tabel 4.1 *Uitkomsten van de statistische modellen voor de parameters dichtheden (aantal individuen in een monster voor alle taxa en voor taxa behorend bij de stam ringwormen apart), soortenrijkdom (aantal taxa in de monsters voor alle stammen en voor de stam ringwormen apart), diversiteit en evenness. P-waarden <0,05 duiden op statistisch significante verschillen en worden aangeduid met een'*.*

Parameter	Data transformatie	geul	
		F waarde	P waarde
(n Individuen) alle taxa	dubbele wortel	2.306	0.083
(n Individuen) ringwormen (annelida)	dubbele wortel	0.853	0.469
(n Taxa) alle taxa	wortel	1.333	0.270
(n Taxa) ringwormen (annelida)	wortel	0.614	0.608
(index) diversiteit (Shannon Wiener)	geen	0.215	0.886
(index) eveness (pielou)	geen	0.822	0.486

Het totaal aantal aangetroffen taxa neemt toe bij toename van het aantal monsters. Met een soorten-accumulatiecurve, weergegeven in het linkerpaneel van figuur 4.2, wordt inzichtelijk gemaakt hoe de relatie is tussen het totaal aantal taxa en het aantal genomen monsters. In dit diagram is te zien dat er in totaal 58 taxa aangetroffen zijn in de in 2023 genomen monsters. Verder is in dit diagram te zien dat het aantal taxa in de monsters, die in het Schild genomen, zijn wat sneller en in Boschwad juist wat minder snel toeneemt in vergelijking met de geulen Spruit en Zuidoost-Lauwers. Dit duidt op een (beta)diversiteit die in het Schild wat hoger en in het Boschwad wat lager is in vergelijking tot de open geulen. Tevens is te zien dat de betrouwbaarheidsintervallen groot zijn. Dit betekent dat verschillen in aantal taxa tussen de monsters, genomen in eenzelfde geul, groot zijn en dat vooral dit (en niet zozeer de geul waarin een monster genomen is) de (beta)diversiteit bepaalt. Dat monsters onderling erg verschillen in het aantal aangetroffen taxa is ook te zien in figuur 4.1 en reeds besproken.

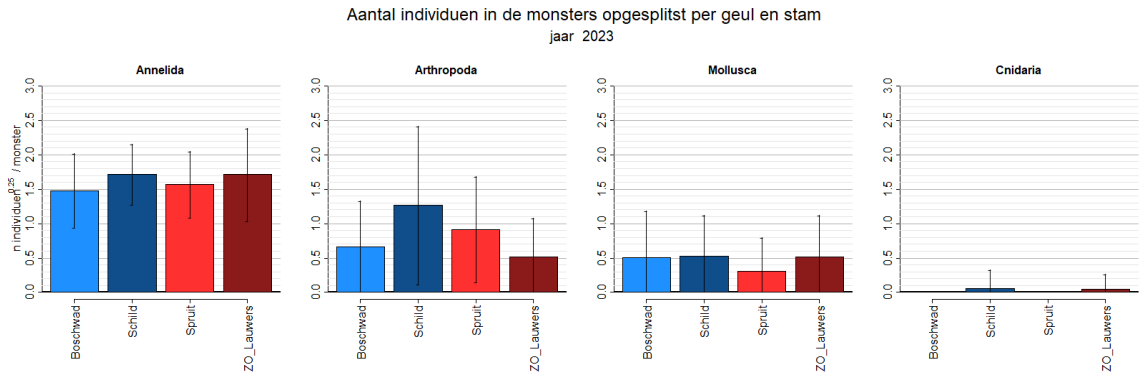
Géén van de soortenaccumulatiegrafieken vlakt af. Het daadwerkelijk aantal aanwezige taxa in het bemonsterde gebied is daarom hoger dan het aantal van 58 taxa dat nu gevonden is in de 81 monsters. Dit is een gangbaar verschijnsel voor bodemdierbemonsteringen en helemaal voor bemonsteringen die gericht zijn op kleinere en/of kwetsbare en/of dieper ingegraven soorten (zie ook paragraaf 3.2). In alle monsters die gedurende de gehele onderzoeksperiode genomen zijn, zijn veel meer (namelijk 187) verschillende taxa aangetroffen.

Ruim meer dan de helft van de aangetroffen taxa behoort bij de stam van de ringwormen, ongeveer 20% bij de geleedpotigen (zoals kreeften en krabben) en een kleine 10% bij de weekdieren. De neteldieren vertegenwoordigen een zeer klein aantal van de aangetroffen taxa, zie de linker balk in het diagram in het paneel rechts onder van figuur 4.2.



Figuur 4.2 *Aangetroffen taxa in de monsters van 2023. Het diagram in het linker paneel geeft de toename van het aantal verschillende taxa aan bij een toename van het aantal bodemmonsters (zgn. soorten-accumulatiegrafiek). De zwarte curve geeft de toename aan voor de gezamenlijke, in 2023, genomen monsters. Met verschillende kleuren wordt de toename in taxa bij een toenemend aantal monsters weer-gegeven per geul. Het diagram in het paneel rechts boven geeft het gemiddeld aantal taxa per stam weer voor alle monsters gezamenlijk en opgesplitst per geul. Het diagram in het paneel rechts onder geeft het aandeel van het aantal taxa per stam weer, wederom voor alle monsters gezamenlijk en opgesplitst per geul. (Annelida = wormen, Arthropoda = geleedpotigen, Mollusca = weekdieren, Cnidaria = neteldieren).*

In figuur 4.3 zijn de aantallen individuen, die aangetroffen zijn in de monsters, opgesplitst per geul en per stam. De weekdieren en neteldieren zijn numeriek in de minderheid. Afhankelijk van de geul behoren de meeste individuen in een monster tot de ringwormen (Boschwad, Spruit en Zuidoost-Lauwers) of de geleed-potigen (Schild). Hoge aantallen (>100) van de geleedpotige *Bathyporeia tenuipes*, een klein gravend kreeftje, in een klein aantal monsters bepaalt in grote mate het hoge gemiddeld aantal geleedpotigen in Schild en in mindere mate ook in Spruit (zie paragraaf 4.1.2).

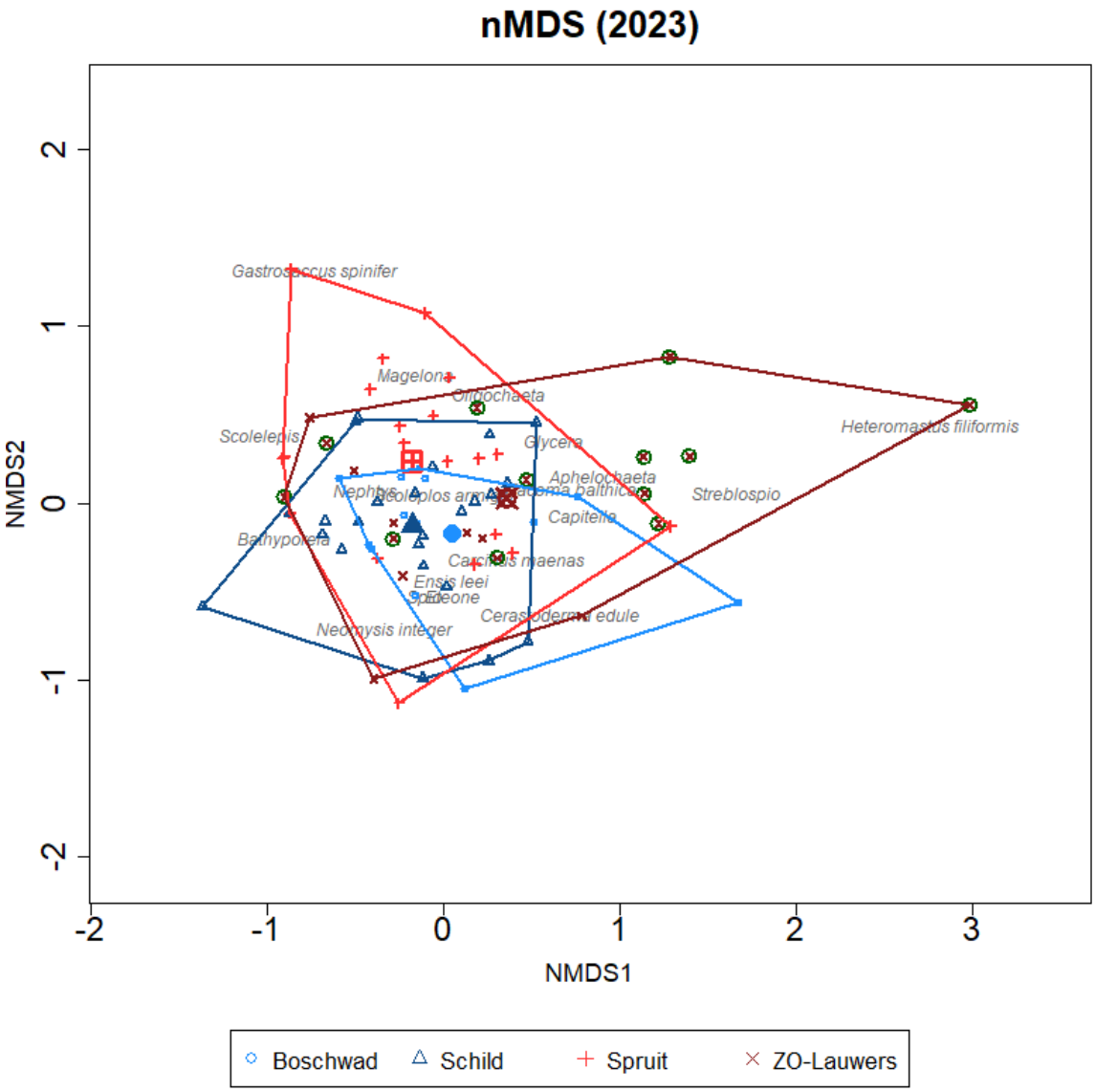


Figuur 4.3 *Diagrammen met het aantal individuen (dubbele wortel getransformeerd) in de Van Veen bodemhapper, genomen in 2023 per stam en opgesplitst per geul. (Annelida = wormen, Arthropoda = geleedpotigen, Mollusca = weekdieren, Cnidaria = neteldieren).*

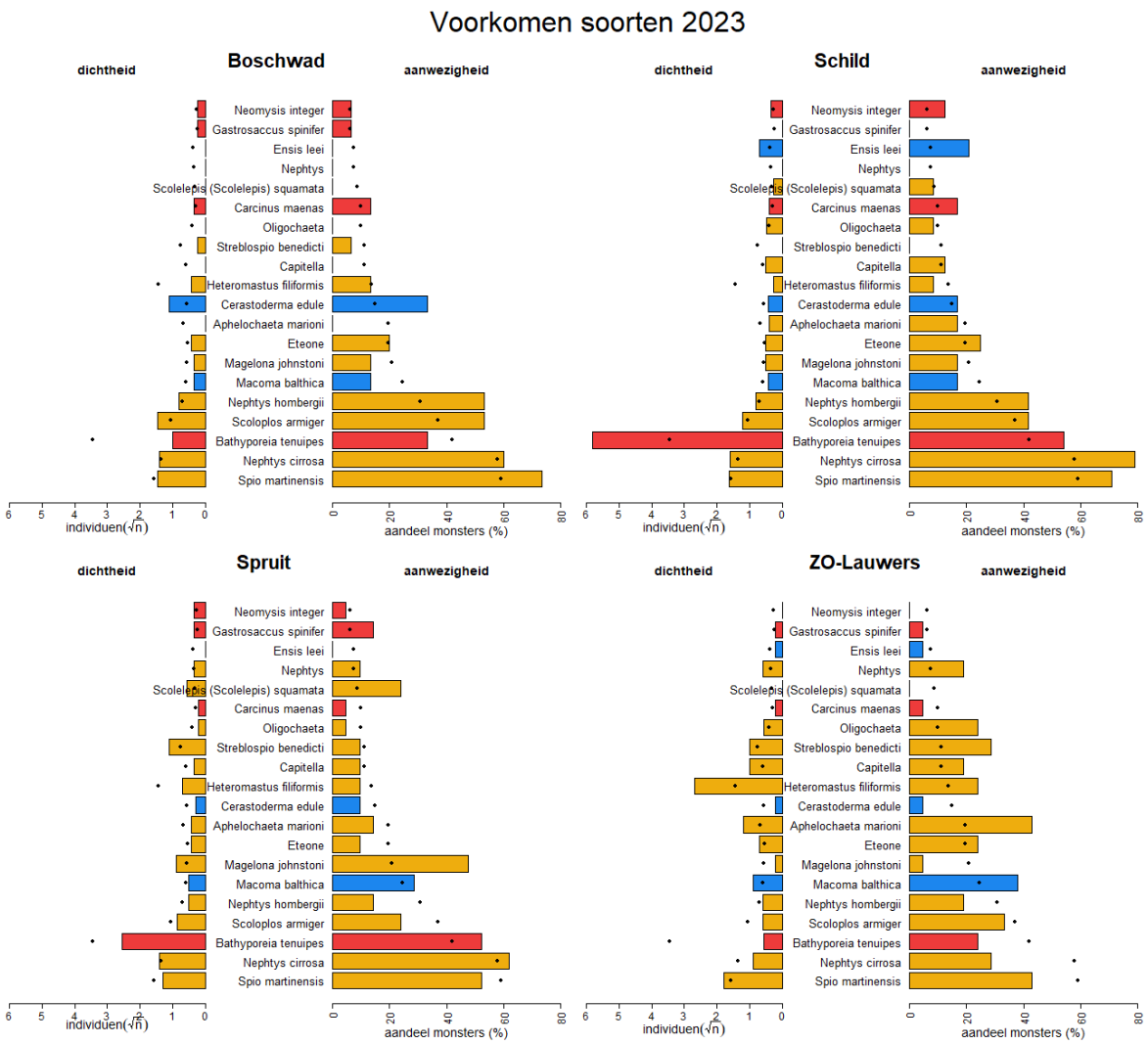
4.1.2 Verschillen tussen geulen op soortniveau

In figuur 4.4 wordt het ordinatiediagram weergeven en in figuur 4.5 het voorkomen en de dichtheid van de numeriek belangrijkste soorten in de monsters, opgesplitst per geul. In beide figuren is te zien dat de bodemdiersamenstelling niet duidelijk verschillend is voor de verschillende geulen. In het ordinatiediagram is dit te zien aan de ligging van de monsterpunten. De puntenwolk van monsters van elke geul overlapt met die van de andere en ligt niet duidelijk apart van de rest. In figuur 4.5 is te zien dat de staafdiagrammen van de meeste taxa nabij de zwarte punten liggen en dus niet sterk afwijken van het gemiddelde van alle monster-punten.

De beperkte verschillen bestaan voor een belangrijk deel uit de hoge dichtheid van de geleedpotige *Bathyporeia tenuipes* en het weekdier *Ensis Leei* (Amerikaanse zwaardschede) in het Schild, het weekdier *Cerastoderma edule* (kokkel) in Boschwad, de geleedpotige *Gastrosaccus spinifer* (een soort behorende bij de aasgarnalen) en de ringwormsoorten *Scolelepis squamata en Magelona johnstoni* in het Spruit en de ringwormsoorten *Aphelochaeta spec., Heteromastus filiformis (*rode draadworm*)*, en *Streblospio spec*. in Zuidoost-Lauwers. Deze laatste twee soorten komen vooral voor in de geuluitlopers van Zuidoost-Lauwers die op termijn gesloten zullen worden voor garnalenvisserij.



Figuur 4.4 *Ordinatiediagram die het resultaat van de Nonmetric multidimensional scaling weergeeft voor de in 2023 genomen monsters. Het diagram is gebaseerd op een Bray-Curtis ongelijkheidsmatrix van wortelgetransformeerde dichtheden, waarbij alleen taxa die in minimaal 5% van de monsters voorkwamen, meegenomen zijn. Het diagram kent een stresswaarde van 0,18. Met de grote symbolen worden de middelpunten van de verschillende geulen weergegeven en met de groen omcirkelde monsterpunten, monsterpunten die in de open geul Zuidoost-Lauwers liggen en op termijn geheel gesloten zullen zijn voor garnalenvisserij. De buitenranden van de puntenwolk behorende bij dezelfde geul zijn omkaderd met een lijn.*



Figuur 4.5 *Gemiddelde wortelgetransformeerde dichtheid (n) en voorkomen (% van de monsters) in de Van Veen monsters, genomen in Boschwad (paneel links boven), Schild (paneel rechts boven), Spruit (paneel links onder) en Zuidoost-Lauwers (paneel rechts onder) voor taxa die (gemiddeld) in ten minste 5% van de monsters voorkomen. Met de kleur van het staafdiagram wordt de stam, waartoe de taxa behoort, weergegeven. Ringwormen (Annelida) worden met gele, geleedpotigen (arthropoda) met rode en weekdieren (Mollusca) met blauwe staafdiagrammen weergegeven. Met de zwarte punten wordt het gemiddelde voorkomen en de dichtheid van ieder taxon weergegeven, waarbij alle monsters uit de verschillende geulen gezamenlijk beschouwd zijn.*

4.2 Bodemfauna in 2022

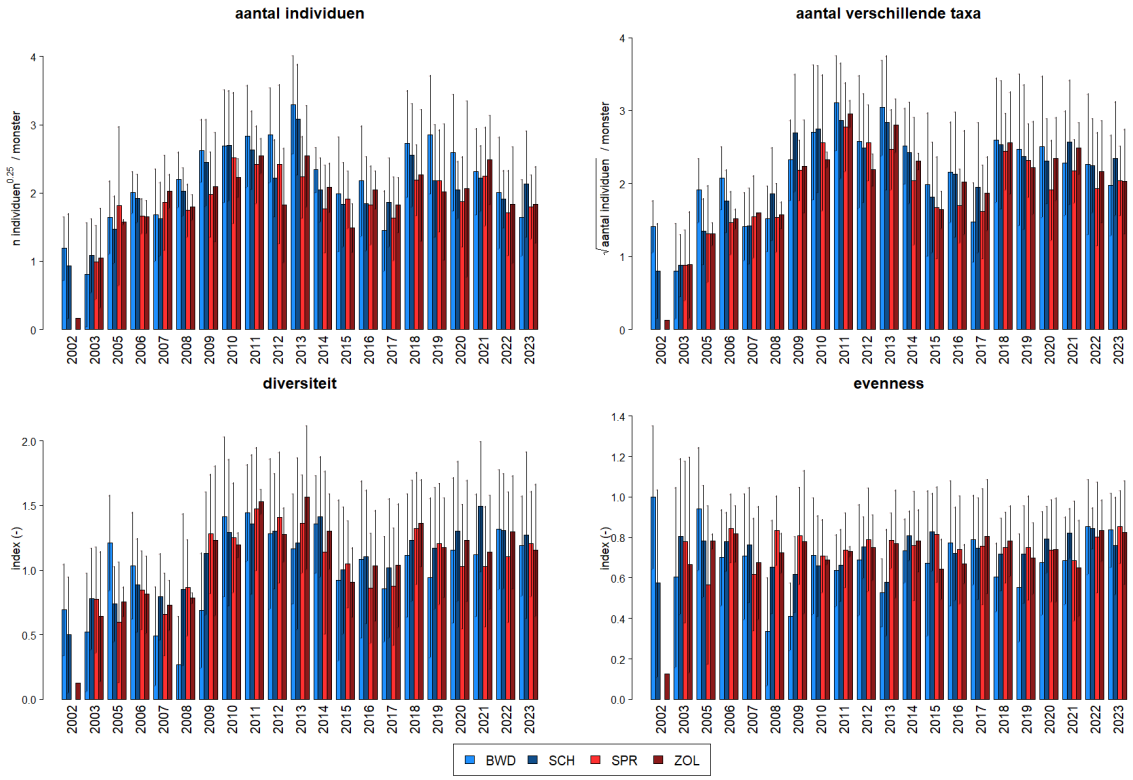
In de monsters van 2022 zijn in totaal 63 verschillende taxa aangetroffen, vijf meer in vergelijking met 2023, zie figuur B.3 in bijlage 2. Net als elk ander bemonsteringsjaar, vlakken de grafieken voor soorten-accummulatie van de geulen niet af wat erop duidt dat het werkelijk aantal taxa hoger is dan bemonsterd in 2022. Het verschil in aanwezige taxa tussen de monsters binnen eenzelfde geul is groter dan tussen de geulen. De (beta)diversiteit verschilt niet wezenlijk tussen de geulen. Net als de meeste jaren geldt ook in 2022 dat de meeste taxa bij de stam ringwormen behoren, gevolgd door taxa die bij de stam geleedpotigen horen en net als andere jaren is het aantal verschillende weekdieren en neteldieren beperkt (<5 soorten), zie rechter paneel van figuur B.3 in bijlage 2. Ten opzichte van 2023 zijn er in 2022 meer *Bathyporeia* taxa aanwezig zoals *B. elegans, B. pelagica* en *B. tenuipes*, zie figuur B.6 in bijlage 2. Ook de verschillen in soortsamenstelling tussen de geulen is vergelijkbaar met andere jaren, zie figuren B.5 en B.6 in bijlage 2. Zo wordt in Boschwad de meeste *Cerastoderma edule* (kokkel) gevonden en in Schild *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede). In Zuidoost-Lauwers zijn de ringwormsoorten *Heteromastus filiformis, Aphelochaeta marioni*

en *Streblospio benedicti* ten opzichte van de andere geulen meer abundant aanwezig en *Bathyporeia* soorten minder. In Spruit zijn *Bathyporeia tenuipes* wat abundanter (meer frequent en in hogere dichtheden aangetroffen) en zijn wat minder *macoma balthica* (nonnetje) en geen *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede) aangetroffen. Monsters verschillen onderling sterk in het aantal verschillende taxa en in soortaantallen, zie figuren B.2, B.4 en B.6. Er zijn geen statistisch significante geulverschillen aangetroffen voor soortenrijkdom (totaal van alle taxa en voor ringwormen apart), aantal individuen (totaal van alle taxa en ringwormen apart), Shannon-Wiener diversiteit index en Pielou's evenness index, zie tabel B.2 in bijlage 2.

4.3 Ontwikkeling sinds de start van het onderzoek

In deze paragraaf wordt de ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap sinds de start van het onderzoek beschouwd. Monsterlocaties die op enig moment op droogvallende platen zijn komen te liggen zijn verwijderd voor analyse (zie ook paragraaf 3.1 en 3.2.3).

In figuur 4.6 zijn de parameters soortenrijkdom, dichtheid, diversiteit en evenness weergegeven voor elk bemonsteringsjaar. Zoals eerder beschreven (Glorius, 2019) kan de toename na 2006 toegeschreven worden aan methodologisch verschillen, waarbij ook kleinere soorten meegenomen zijn in het identificatieproces en in de periode 2006 tot ongeveer 2009 door toegenomen taxonomische expertise.



Figuur 4.6 *Diagrammen met de gemeenschapsindices dichtheid (paneel links boven), soortenrijkdom (paneel rechts boven), diversiteit (paneel links onder) en evenness (paneel rechts onder) voor alle onderzoekjaren. Met de errorbars wordt ±1 standaarddeviatie weergegeven.*

Verschillen tussen geulgemiddelden binnen een jaar zijn over het algemeen beperkt en vallen ruim binnen de ±1 standaarddeviatie voor alle gemeenschapsindices, zie figuur 4.6. In 2015, 2016 en 2017 is zowel de soortenrijkdom, dichtheid als de diversiteit ten opzichte van de jaren ervoor en de jaren erna laag voor alle geulen. De verdeling van de individuen over de taxa (evenness) nam hierbij niet zichtbaar af in deze jaren, waardoor de dip in diversiteit in deze jaren toe te schrijven is aan een afname in het aantal aangetroffen taxa. In enkele jaren is het geulverschil in dichtheden wat groter. Zo zijn de dichtheden in 2009, 2013 en 2018 in Boschwad en in Schild wat hoger dan in Spruit en Zuidoost-Lauwers (zie figuur 4.6 links boven). Vanaf 2020 is de evenness in Boschwad en Schild gemiddeld wel iets toegenomen dan in de periode ervoor en in 2022 en 2023 nam deze voor alle geulen gemiddeld iets toe. De individuen zijn daarmee wat meer evenwichtig over

de verschillende taxa verdeeld komen te liggen. Het aantal individuen lag in 2022 en 2023 wat lager dan in de jaren ervoor.

Uit de resultaten van de statistische modellen blijkt dat de ontwikkeling in de loop der tijd voor de onderzochte parameters in de gesloten geulen gelijk is met de ontwikkeling in de open geulen, zie tabel 4.2.

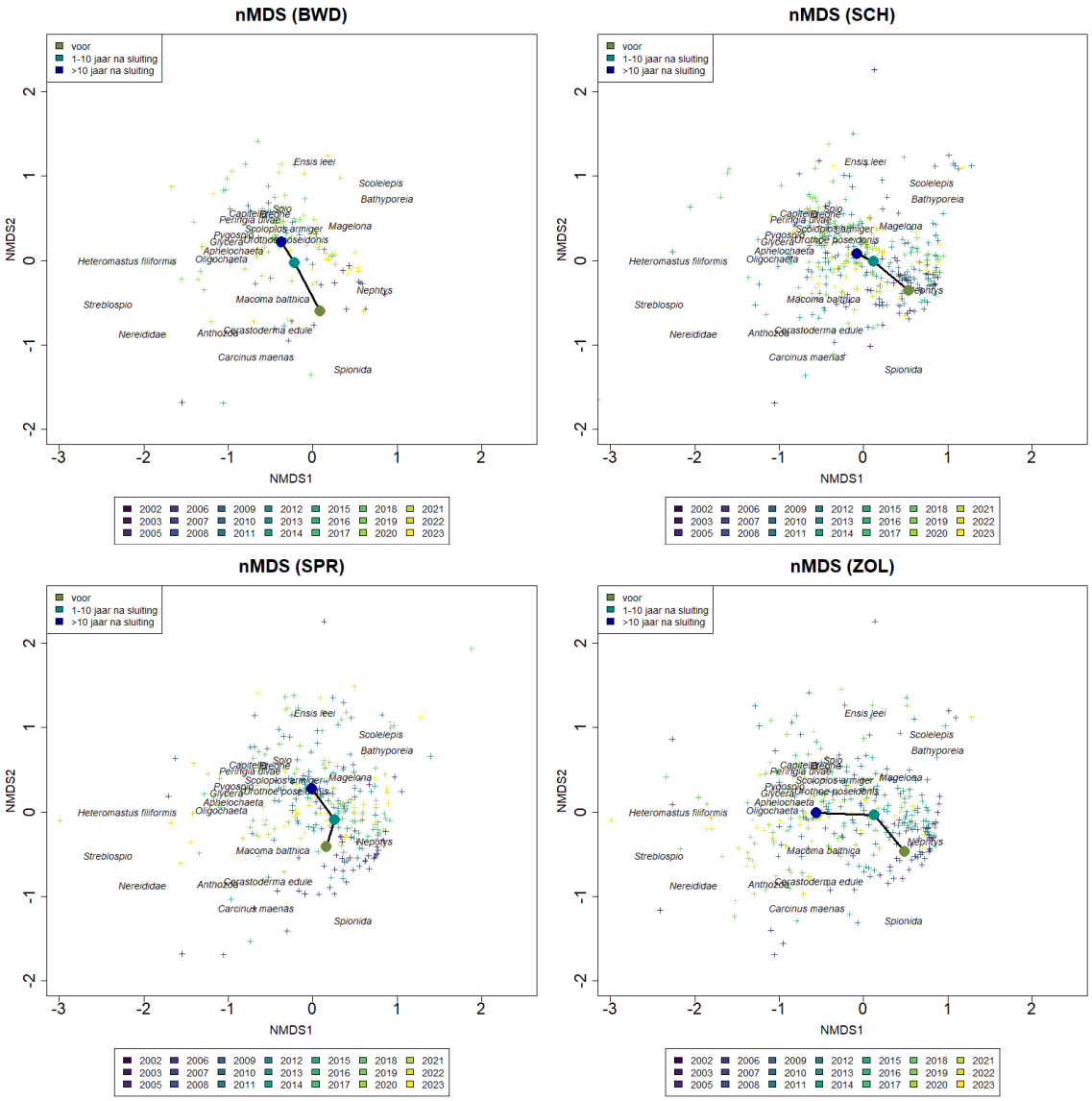
Tabel 4.2 *Uitkomsten van de statistische modellen voor de dichtheden (aantal individuen in een monster), soortenrijkdom (aantal taxa in een monster), diversiteit en evenness. Alleen modelwaardes voor de interactieterm periode x status is opgenomen in de tabel. Periode = voor sluiting, 1-10 jaar na sluiting en >10 jaar na sluiting. Status is open of gesloten. P waarden <0,05 duiden op statistisch significante verschillende ontwikkeling tussen de open en gesloten geulen en worden aangeduid met een *. Het bemonsteringsjaar 2002 is buiten beschouwing gelaten. In bijlage 3 zijn de modelresultaten voor alle ('fixed') variabelen weergegeven.*

Parameter	**Data transformatie**	**1-10 jaar na sluiting Interactieterm open tov gesloten**			**>10 jaar na sluiting Interactieterm open tov gesloten**		
		Estimate	**T-waarde**	**P-waarde**	**Estimate**	**T-waarde**	**P-waarde**
(n Individuen) alle taxa	dubbele wortel	-0.246	-1.381	0.176	-0.235	-1.355	0.187
(n Taxa) alle taxa	wortel	-0.100	-0.694	0.492	-0.095	-0.701	0.490
(index) diversiteit (Shannon Wiener)	geen	0.112	1.088	0.284	0.027	0.261	0.796
(index) eveness (pielou)	geen	0.137	1.573	0.124	0.097	1.220	0.234

In figuur 4.7 is te zien dat ook de ontwikkeling in de soortgemeenschapssamenstelling in de loop der tijd voor de geulen grofweg gelijk verloopt. Dit is te zien aan de middelpunten per periode en geul die zich grofweg op dezelfde positie bevinden. Voor alle geulen geldt dat voor sluiting (groene stippen in figuur) de middelpunten zich rechtsonder in het diagram bevinden. In de periode erna (één tot en met tien jaar na sluiting) bewegen de middelpunten voor alle geulen naar het midden van het diagram (lichtblauwe stippen) en voor de periode daarna (meer dan tien jaar na sluiting) verschuiven ze verder naar links/links boven (blauwe stippen in het figuur).

In de loop der tijd is hiermee de relatieve abundantie van verschillende soorten toegenomen in de monsters. Het gaat hierbij om de weekdiersoorten zoals *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede), *Cerastoderma edule* (kokkel) en *Peringa ulvae* (het wadslakje), de ringwormsoorten zoals *Scoloplos armiger* (wapenworm), *Heteromastus filiformis* (rode draadworm), soorten behorende bij de orde Spionida (*Spio spec., Pygospio spec., Scololepis spec., Capitella spec.*), de soorten behorende bij het geslacht van de *Bathyporei* (vlokreeften) en krabben (zoals de strandkrab *Carcinus maenes*). Ondanks dat in de opwerking van de data rekening is gehouden met veranderingen van de taxonomische classificatie en detail van uitzoeken (zie paragraaf 3.2) kan dit een (onbekend) deel van de geobserveerde verandering door de tijd heen verklaren.

Binnen eenzelfde periode spelen verschillen in taxonomische uitwerking niet. De verschillen tussen de geulen per onderzochte periode zijn klein, wat te zien is aan de positie van de monsterpunten van de geulen in de diagrammen van figuur 4.7 (ze liggen niet geïsoleerd maar vertonen onderling grote overlap). De soorten-samenstelling van Zuidoost-Lauwers wijkt de laatste periode nog het meest af van de andere geulen (meer dan tien jaar na sluiting, dus voor 2017 tot en met 2023). De lichtgroene en gele monsterpunten (meer recente jaren) liggen in het diagram van Zuidoost-Lauwers meer links onder dan voor de andere geulen, waarbij de monsterpunten uit die jaren zich meer (rechts)boven bevinden in de diagrammen. Dit laat zien dat in die periode in Zuidoost-Lauwers *Heteromastus filiformis* (rode draadworm), *Streblospio spec.* en *Nereididae* spec. wat meer abundant aanwezig zijn dan in de andere geulen en *Scolelepis spec. en Bathyporeia spec.* juist wat minder dan de geulen Schild en Spruit. Ook is te zien dat in deze geul de weekdieren *Cerastoderma edule* (kokkel) en *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede) minder abundant zijn, zie figuur 4.7 en paragrafen 4.1 en 4.2 van dit rapport.



Figuur 4.7 *Nonmetric multidimensional scaling ordinatiediagrammen voor de onderzoeksperiode 2002 tot en met 2023. De diagrammen zijn gebaseerd op een Bray-Curtis dissimilarities matrix van wortel-getransformeerde dichtheden voor de monsterpunten van alle geulen, waarbij alleen taxa die in minimaal 5% van de monsters voorkwamen, meegenomen zijn. Het diagram kent een stresswaarde van 0.18. Door grote hoeveelheid monsterpunten en overlap tussen de geulen, is het zelfde ordinatiediagram apart weergegeven per geul. Met de gekleurde stippen worden de centroiden (middelpunten) van de verschillende periodes weergegeven voor Boschwad (links boven), Schild (rechts boven), Spruit (linksonder) en Zuidoost-Lauwers (rechts onder).*

5 Discussie en conclusie

Dit rapport doet verslag van de monitoring van het gesloten gebied onder Rottumerplaat en Rottumeroog voor de periode 2002 tot en met 2023. De wens voor het instellen van gesloten gebieden in de Waddenzee komt voort uit het trilaterale overleg zoals gevoerd wordt binnen het 'Common Wadden Sea Secretariat' waarin Nederland, Duitsland en Denemarken vertegenwoordigd zijn. Het doel van het sluiten van gebieden is om te onderzoeken hoe een waddenecosysteem zich ontwikkelt bij afwezigheid van (verstorende) menselijke invloeden. In Nederland is in 2005 navolging gegeven aan deze wens en werd een gebied, gelegen onder Rottumerplaat en Rottumeroog, ingesteld waar beperkingen gelden voor (verstorend) menselijk gebruik. Het in 2005 ingestelde gesloten gebied bestaat uit zowel droogvallende wadplaten als permanent onder water staande geulen. In het onderzoek, dat door WMR uitgevoerd wordt, is de nadruk gelegd op het volgen van de ontwikkeling van de bodemfauna in het geulensysteem waar de garnalenvisserij een van de belangrijkste menselijke activiteiten was. Hiertoe zijn sinds 2002 jaarlijks bodemmonsters met een Van Veen bodem-happer genomen in de geulen Boschwad en Schild, gelegen in het gesloten gebied. Om autonome ontwikkelingen mee te kunnen nemen zijn in het onderzoek ook twee geulen die buiten het gesloten gebied liggen bemonsterd, namelijk Spruit en Zuidoost-Lauwers.

Het doel van de monitoring is van begin af aan geweest om de ontwikkeling te volgen in een gebied, gesloten voor menselijke verstoring. Het onderzoek is niet opgezet als studie waarbij statistisch onderbouwde oorzakelijke verbanden aangetoond kunnen worden van menselijk gebruik. Voor een dergelijk onderzoek is een andere aanpak nodig:

- onderzoeksgebieden moeten de variatie in biotische en abiotische omstandigheden van het gebied, waar uitspraken over gedaan moeten worden, weerspiegelen;
- er moeten voldoende replica's zijn (Underwood, 1992): het benodigde aantal replica's wordt bepaald op basis van de lokale variatie: hoe meer variatie, hoe groter het aantal benodigde replica's;
- de keuze in welke onderzoeksgebieden de behandeling plaatsvindt (in dit geval open of gesloten voor menselijk gebruik), dient willekeurig te worden bepaald.

In het geval van de monitoring in het gebied bij Rottum wordt aan geen van deze voorwaarden voldaan. Zo zijn de gesloten en open geulen niet willekeurig gekozen, is bijvoorbeeld de geul Boschwad duidelijk ondieper en ligt deze meer beschut dan de andere geulen, opgenomen in deze studie, en is het aantal replica's (geulen) dat opgenomen is/kan worden beperkt tot 2 x 2 = 4. Dit betekent dat niet met statistische zekerheid kan worden onderscheiden of eventueel waargenomen verschillen tussen open en gesloten geulen veroorzaakt worden door een verschil in behandeling of door toeval. Onderzoeksresultaten zeggen daarom alleen iets over dit specifieke gebied met zijn specifieke abiotische omstandigheden. Door het ontbreken van replica's kunnen veranderingen in potentie niet veroorzaakt worden door verschil in behandeling maar door geulspecifieke eigenschappen en/of door toevallige ontwikkelingen, zoals een zeer lokale broedval van schelpdieren. Experimenten zoals het garnalenexperiment (Glorius e.a., 2015) en PRODUS (Smaal e.a., 2013) met verspreid gelegen onderzoekvakken met voldoende replica's, waarvan door randomiseren is bepaald welk deel wel en welk deel niet wordt bevist, zijn beter geschikt om oorzakelijke verbanden te onderzoeken. Resultaten uit de monitoring kunnen wel leiden tot hypotheses over mogelijke oorzakelijke verbanden die eventueel verder onderzocht kunnen worden in veld- dan wel laboratoriumexperimenten.

Analyse en beperkingen

De uitgevoerde metingen en analyses zijn niet uitputtend, maar beperkt door de beschikbare middelen. Zo is de ontwikkeling in abiotische variabelen, zoals bijvoorbeeld korrelgrootteverdeling, niet gemeten en zijn er geen monsters genomen die beter geschikt zijn om (verschillen in) grotere (weekdier)soorten te onderzoeken. Verder is door verzanding en verschuiving van geulen gedurende de onderzoeksperiode een aantal monsterpunten op enig moment op droogvallende wadplaten komen te liggen. Inmiddels wordt de locatie van monsterpunten hierop aangepast, maar voor analyses over de gehele onderzoekperiode reduceert dit het aantal monsterpunten dat gebruikt kan worden met als resultaat dat kleine verschillen moeilijker statistisch aantoonbaar worden. Eerder uitgevoerde poweranalyses hebben uitgewezen dat met de huidige

proefopzet (ongeveer twintig Van Veen-monsters per geul en twee open en twee gesloten geulen) verschillen van een factor 2 met statistische power van 80% en significantie van 0,05 aangetoond kunnen worden voor de meeste taxa (Fey et al., 2011). Kleinere verschillen (25%) hebben, afhankelijk van de soort, 56–632 monsters per geul nodig, wat als een onrealistisch hoog aantal gezien wordt. Dit laat zien dat alleen grotere verschillen statistische aantoonbaar zijn. Het is mogelijk dat er wel een klein maar significant verschil aanwezig is, maar dat deze met de huidige bemonstering (monstertuig en monsteraantallen) niet opgemerkt wordt.

Op termijn zal een deel van Zuidoost-Lauwers (waar zich 12 van de 21 monsterpunten bevinden) gesloten zijn voor alle garnalenvisserij. Opgemerkt dient te worden dat de sluiting voor garnalenvisserij niet gelijk staat aan de status van het referentiegebied waarin geen enkele vorm van menselijke verstoring toegestaan is. Maar desondanks ontstaat er hierdoor in de toekomst een verschil met de andere monsterpunten in Zuidoost-Lauwers waar garnalenvisserij wel plaats blijft vinden.

Resultaten

Net als in voorgaande jaren geobserveerd en gerapporteerd (Glorius et al., 2019) zijn in de onderzoeksjaren 2022 en 2023 verschillen tussen monsterpunten van eenzelfde geul groot en verschillen tussen de geulen (gemiddelden van de monsters in elk van de geulen) zelf klein voor de onderzochte parameters (soortenrijkdom, dichtheid, diversiteit en evenness). Vanaf 2020 is de evenness in Boschwad en Schild gemiddeld wel iets minder scheef komen te liggen dan in de periode ervoor en in 2022 en 2023 nam deze voor alle geulen gemiddeld iets toe. De parameters verschilden echter niet significant tussen de geulen voor zowel het onderzoeksjaar 2022 als 2023. Ook de ontwikkeling gedurende de gehele onderzoeksperiode (2003-2023) is niet significant verschillend voor deze parameters tussen de gesloten en open geulen. Biogene structuren, zoals sublitorale mossel- dan wel oesterbanken of plekken met hoge dichtheid kokerwormen zoals *Lanice conchilega*, zijn net als in eerdere jaren niet aangetroffen in 2022 en 2023.

Zoals ook eerder geobserveerd en gerapporteerd (Glorius et al., 2019) zijn de verschillen in de bodemdier-samenstelling tussen de geulen klein en de veranderingen hierin in de loop der tijd voor de verschillende geulen in grote lijnen gelijk. Waar eerder de samenstelling in Boschwad wat meer afweek van de rest is in de recente periode (de onderzoeksjaren 2017-2023) Zuidoost-Lauwers vooral verschillend. In deze geul zijn *Heteromastus filiformis* (rode draadworm), *Streblospio spec.* en *Nereididae* spec. wat meer abundant (= meer frequent en/of in hogere dichtheden aangetroffen) dan in de andere geulen en *Scolelepis spec. en Bathyporeia spec.* wat minder dan in de geulen Schild en Spruit. Verder zijn de weekdiersoorten *Cerastoderma edule* (kokkel) en *Ensis leei* (Amerikaanse zwaardschede) wat minder abundant. Kokkels worden wat meer en vaker in Boschwad, en Amerikaanse zwaardschede wat meer en vaker in Schild aangetroffen.

Omdat de diversiteitsparameters zich gelijk ontwikkelen voor de open en gesloten geulen en ook de soort-samenstelling grofweg een gelijke ontwikkeling laat zien, is het vooralsnog de verwachting dat de verschillen in biotische samenstelling tussen de geulen door andere abiotische verschillen laten verklaren dan door sluiting zelf. Hierbij kan gedacht worden aan verschillen in waterdiepte, bodemopbouw en afstand tot de geul.

6 Aanbevelingen

Gezien het feit dat met de huidige opzet verschillen tussen monsterpunten erg groot zijn en tussen geulen klein, wordt aanbevolen om wijzigingen in de onderzoeksopzet door te voeren waarmee het beter mogelijk wordt (subtiele/kleine) verschillen aan te tonen. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden die ieder apart, maar gecombineerd het beste effect zullen hebben. Gedacht kan worden aan het inzetten van een ander type tuig. Hierbij wordt aanbevolen om het bemonsteringsmoment zo veel mogelijk aan te laten sluiten met relevante monitoring die elders uitgevoerd wordt, wat het mogelijk maakt resultaten in een groter ruimtelijk perspectief te plaatsten. Hiernaast kan abiotische informatie verzameld worden die een deel van de variatie kan verklaren. Als laatste kan mogelijk het aantal geulen, opgenomen in het onderzoek, vergroot worden. Theoretisch is het ook mogelijk om kleinere verschillen statistisch aantoonbaar te maken door meer Van Veen-monsters te nemen, maar dit wordt niet aanbevolen, zie onder.

De huidige bemonsteringen met de Van Veen bodemhapper hebben als voordeel dat zowel diepgravende soorten (zoals zwaardschedes) als kleinere soorten goed bemonsterd kunnen worden. Echter, door een beperkt bemonsterd oppervlak, in combinatie met het verspreid en/of geclusterd voorkomen van bodemdieren, is er grote variatie in de soortsamenstelling tussen monsters en kunnen (kleine) verschillen moeilijk aangetoond worden, zoals hierboven reeds aangegeven.

Aanbevolen wordt om in het onderzoek ook bemonsteringen met de bodemschaaf of zuigkor te gaan uitvoeren. Welk monstertuig ingezet wordt is afhankelijk van de waterdiepte (zuigkor voor ondiepe en bodemschaaf voor diepere delen, verder zijn ze identiek). Door inzet van deze tuigen wordt het mogelijk een oppervlak te bemonsteren van 15 tot 30 m^2 (versus 0,18 m^2 van de Van Veen die in deze studie gebruikt wordt). In 2016 heeft reeds eerder in het kader van dit onderzoek een bemonsteringen met dit tuigtype plaatsgevonden (Glorius et al., 2018), waardoor een eerste vergelijking in ontwikkeling in de loop der tijd mogelijk is. Het wordt aanbevolen deze data te gebruiken voor het uitvoeren van een statistische power-analyse, waarmee voor verschillende effectgroottes het benodigd aantal monsters berekend kan worden. Een gewenste effectgrootte (en dus monsteraantal) kan dan bepaald worden. Mochten er dan geen statistische effecten optreden, dan betekent dit dat het effect in ieder geval kleiner is dan de gekozen effectgrootte. Hiernaast worden deze tuigen al decennialang ingezet in de westelijke Waddenzee in het kader van het WOT-visserij onderzoek (Troost et al., 2024) en in het onderzoek naar sluiting van gebieden voor mosselzaad en/of garnalenvisserij (Troost et al., 2019). Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om resultaten in groter (ruimtelijk) perspectief te zetten. De vraag kan dan gesteld worden of bijvoorbeeld verschillen tussen geulen in het referentiegebied en daarbuiten ook waarneembaar zijn in de voor mosselzaad en garnalenvisserij gesloten gebieden, gelegen in de westelijke Waddenzee. Maar ook kan dan beter bekeken worden of de opkomst en/of grote zaadvallen van bepaalde soorten in en nabij het referentiegebied samenhangen met ontwikkelingen elders in de Waddenzee. Elk afzonderlijk onderzoeksprogramma profiteert van een meer gelijke onderzoeksopzet.

Het nadeel van de bodemschaaf/zuigkor is dat kleinere, kwetsbare en/of diepergravende soorten niet of minder goed worden bemonsterd. Om een vergelijking met historische data mogelijk te maken, en zeker ook om het effect van instelling van het referentiegebied te kunnen blijven onderzoeken, zijn daarom ook nieuwe Van Veen-bemonsteringen nodig. Het beste zou zijn om jaarlijks zowel bemonstering met een Van Veen bodem-happer als met een bodemschaaf/zuigkor uit te voeren. Als deze ruimte er budgettair niet is dan zouden er minder frequent Van Veen-monsters genomen kunnen worden; bijvoorbeeld elke drie jaar.

Hiernaast wordt aanbevolen om de bemonstering uit te breiden met geulen en abiotische metingen. Het beste zou zijn om geulen toe te voegen die eenzelfde status hebben als het referentiegebied, maar die zijn er niet. Alternatief is het Sparregat (dat gesloten is voor garnalenvisserij). Door Eilanderbalg toe te voegen kan het verlies van een deel van de monsters in Zuidoost-Lauwers, en die in het voor garnalenvisserij gesloten deel liggen, deels gecompenseerd worden. Een ander type uitbreiding is het nemen van bodemmonsters waarmee de bodemsamenstelling (korrelgrootteverdeling, maar ook organischstofgehalte) bepaald kan worden. Hierdoor kunnen verschillen in bodemdiersamenstelling, die veroorzaakt worden door verschillende bodemtypes,

verklaard worden waardoor een deel van de variatie reeds verklaard kan worden en zodoende overige verschillen eerder opgemerkt kunnen worden.

Omdat bodemschaaf/zuigkorbemonsteringen en korrelgrootte-analyses niet gedurende de hele onderzoeksperiode uitgevoerd zijn (beide alleen in 2016), wordt het met deze aanpassingen vooral mogelijk huidige en toekomstige verschillen beter aantoonbaar te maken en niet zozeer het verschil in ontwikkeling na instelling van het referentiegebied in 2005. Daarvoor moet teruggevallen worden op de Van Veen-bemonsteringen. Hierbij is het van belang om de positie van de monsterlocaties mee te laten bewegen met de eventuele veranderingen in de topografische ligging van de geul zoals inmiddels gebeurt.

Literatuur

Bates, D., M. Maechler, B. Bolker en S. Walker 2015. *Fitting Linear Mixed-Effects Models using lme4. Journal of Statistical Software* 61 (1), pp 1-48. Doi:10.18637/jss.vo67.i01.

Dankers, N.M.N.J.A., A. Meijboom, P-W. van Leeuwen, F.E. Fey, G. Rink, I. Tulp en 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*. IMARES rapport 06.010, pp 60.

Denderen van, D.P. 2015*. Ecosystem effects of bottom trawl fishing*. PhD thesis. Wageningen: Wageningen University. ISBN 978094-6257-346-8, pp 182.

Ens, B.J., A.C. Smaal en J. de Vlas 2004. *The effects of shellfish fishery on the ecosystem of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde. Final report on the second phase of the scientific evaluation of the Dutch Shellfish fishery policy* (EVA II). Alterra-rapport 1011, pp 212..

Fey, F., N. Dankers, I. Tulp en J. van der Meer 2011. *Onderzoeksplan: 'Tussenrapportage vijf jaar na sluiting Referentiegebied Rottum*. Rapport C060/11, pp. 38.

Fey-Hofstede, F.E., N.M.J.A. Dankers, A. Meijboom, C. Sonneveld, J.P. Verdaat, A.G. Bakker, E.M. Dijkman en J.S.M. Cremer 2015. *Ontwikkeling van enkele mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2014.*

Glorius, S.T., I. Tulp, A. Meijboom, L. Bolle en C. Chen 2018. *Developments in benthos and fish in an area closed for human use in the Dutch Wadden Sea: 2002 – 2016 Closed area Rottum.* WOT-technical report 129, pp. 83.

Glorius, S.T. 2019. *Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum. Tussenrapportage twaalf jaar na sluiting (najaar 2017).* WOT technical report 142/ WMR-Rapport C019/19, pp. 44.

Glorius, S.T., J. Craeymeersch, T. van der Hammen, A. Rippen, J. Cuperus, B van der Weide, J. Steenbergen I. Tulp 2015. *Effecten van garnalenvisserij in Natura 2000-gebieden*. IMARES Rapport C013/15.

Kuznetsova, A., P.B. Brockhoff en R.H.B Christensen 2017. *LmerTest Package: Tests in Lineair Mixed Effects Models. Journal of Statistical Software* 82 (13), 1-26. Doi: 10.18637/jss.v082.i13.

Lavaleije, M.S.S. en 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, pp 37.

LNV 1993. Vissen naar evenwicht. Structuurnota Zee- en kustvisserij. Ministerie van Landbouw, Natuurbehoud en Visserij. 's-Gravenhage.

McLachlan, A., 1983. Sandy beach ecology - a review. In Sandy beaches as ecosystems (ed. A. McLachlan & T. Erasmus), pp.321-381. The Hague: Dr W. Junk Publishers.

Oksanen, J., F. Guillaume Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, L.G. Simpson, P. Solymos, M. Henry, H. Stevens, E. Szoecs and H. Wagner 2017. *Vegan: Community Ecology Package*.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Smaal, A.C., J. Craeymeersch, J. Drent, J.M. Jansen, S.T. Glorius en M.R. van Stralen 2013*. Effecten van mosselzaadvisserij op de sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee: samenvattend eindrapport.* IMARES Rapport C006/13 PR1.

Quirijns, F., U. Beier, B. Deetman, G. Hoekstra, A. Mol en W. Zaalmink 2021. *Beschrijving garnalenvisserij. Huidige situatie, knelpunten en kansen.* WMR rapport C049/21a, pp 113.

Troost, K., M. van Asch, S. Breunesse, E. Brummelhuis, S. Cornelisse, S. Glorius, Y. van Es, K. Perdon, J. van der Pool, W. Suykerbuyk, C. van Zweeden en J. van Zwol 2024. *Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute Deltawateren in 2023*, pp, 83.

Troost, K., L. van der Bogaart en H. Jansen 2019. *Effecten van gebiedssluiting voor schelpdieren op ontwikkeling meerjarige mosselbanken en bodemdiergemeenschap*. Helpdeskvraag 1b in het kader van mosseltransitie (KD-20196-028). WMR rapport C074/19, pp. 41.

Troost, K., M. van Asch, E. Brummelhuis, D. van den Ende, J. Perdon, C. van Zweeden, J. van Zwol, J. van der Pool en Y. van Es 2023. *Handboek bestandsopnames schelpdieren.* WOT Versie 4, december 2022. CVO rapport 22.017, pp. 113.

Underwood A.J. 1992 *Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 161:145-178.

Verantwoording

WOT-technical report 266/WMR C079/24
BAPS-projectnummer: WOT-04-04-009-035.05

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research.

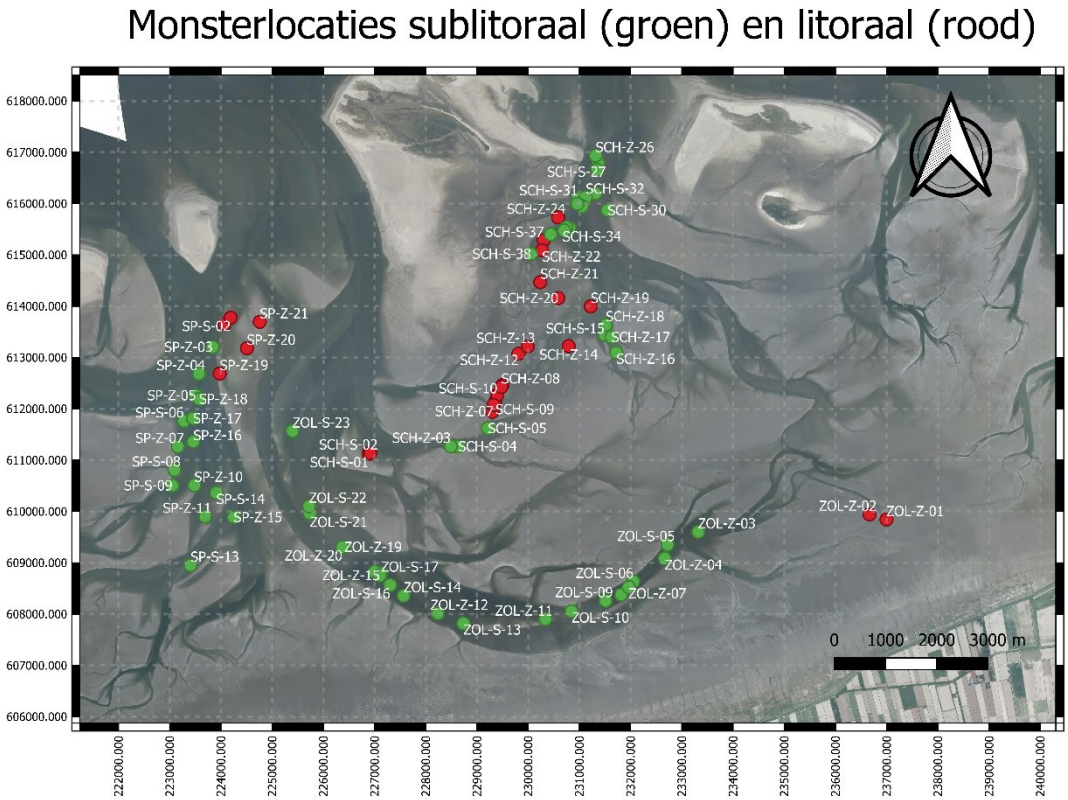
Akkoord Extern contactpersoon
functie: beleidsmedewerker LVVN
naam: Karst Jaarsma
datum: 25 november 2024

Akkoord Intern contactpersoon
naam: Martin Baptist
datum: 25 november 2024

Akkoord collega-onderzoeker
functie: senior onderzoeker
naam: Dr. Pepijn de Vries
datum: 8 januari 2025

Akkoord managementteam WMR
functie: Business Manager Projecten
naam: Dr. Maarten Mouissie
datum: 8 januari 2025

Bijlage 1 Monsterlocaties



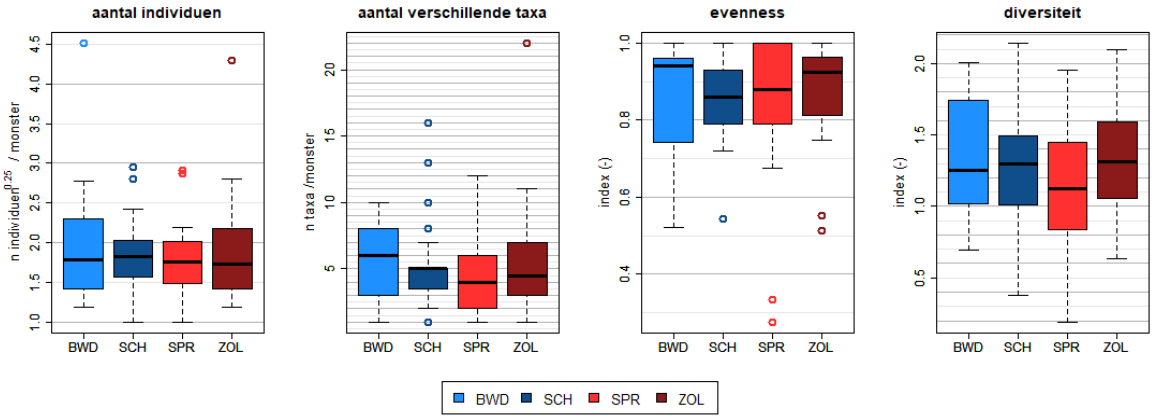
Figuur B.1 *Locaties waar Van Veen bodemhappen genomen worden in de geulen Zuidoost-Lauwers (aangeduid in figuur met ZOL), Spruit (aangeduid met SP) en Boschwad (aangeduid met SCH en de nummers 1 t/m 14) en Schild (aangeduid met SCH en de nummers 15 t/m 26), zoals vastgesteld in 2003. Locaties aangeduid met een 'S' bevinden zich op een schelpenbank, locaties aangeduid met een 'Z' bevinden zich op een ondergrond van zand. Ondergrond is een orthokaart van 2018 (PDOK). Met ronde, rode symbolen worden monsterlocaties aangeduid die op het droogvallende wad zijn komen te liggen en die buiten beschouwing zijn gelaten in de analyses.*

Tabel B.1 *Coördinaten van de monsterlocaties sinds het jaar 2018 in Rijksdriehoek (RD) en Noorderbreedte (latitude) en Oosterlengte (longitude). Monstercodes beginnend met 'BW' liggen in Boschwad, met 'SCH' in Schild, met 'SP' in Spruit en met 'ZOL' in Zuidoost-Lauwers. Ook is aangegeven of een monsterlocatie in het midden van de geul ligt of in een van de uitlopers.*

Monster-code	Geul	Geulsec-tie	RDYNEW	RDXNEW	Noorderbreedte (DD_MM.mmm)	Oosterlengte (DD_MM.mmm)
BW_01	Boschwad	midden	611353.69	227644.08	N 53 29.003	E 6 28.888
BW_02	Boschwad	midden	611302.81	227681.43	N 53 28.975	E 6 28.922
BW_03	Boschwad	midden	611246.98	227723.25	N 53 28.945	E 6 28.959
BW_04	Boschwad	midden	611347.66	228092.53	N 53 28.996	E 6 29.294
BW_05	Boschwad	midden	611298.99	228129.23	N 53 28.97	E 6 29.326
BW_06	Boschwad	midden	611262.39	228165.03	N 53 28.95	E 6 29.358
BW_07	Boschwad	midden	611359.90	228582.54	N 53 28.999	E 6 29.737
BW_08	Boschwad	midden	611323.27	228632.27	N 53 28.979	E 6 29.781
BW_09	Boschwad	midden	611293.82	228678.40	N 53 28.962	E 6 29.822
BW_10	Boschwad	midden	611382.85	228978.53	N 53 29.008	E 6 30.095
BW_11	Boschwad	uitloper	611361.80	229020.35	N 53 28.996	E 6 30.132
BW_12	Boschwad	uitloper	611330.26	229071.52	N 53 28.979	E 6 30.178
BW_13	Boschwad	uitloper	611832.09	229259.11	N 53 29.248	E 6 30.355
BW_14	Boschwad	uitloper	611871.76	229247.77	N 53 29.269	E 6 30.345
BW_15	Boschwad	uitloper	611906.60	229238.21	N 53 29.288	E 6 30.337
SCH_01	Schild	midden	616943.09	231221.52	N 53 31.986	E 6 32.202
SCH_02	Schild	midden	616936.78	231339.40	N 53 31.981	E 6 32.309
SCH_03	Schild	midden	616926.72	231443.71	N 53 31.975	E 6 32.403
SCH_04	Schild	midden	616169.02	230905.65	N 53 31.571	E 6 31.905
SCH_05	Schild	midden	616090.08	230950.12	N 53 31.528	E 6 31.944
SCH_06	Schild	midden	616007.27	230979.59	N 53 31.483	E 6 31.97
SCH_07	Schild	midden	614983.14	230959.37	N 53 30.932	E 6 31.937
SCH_08	Schild	midden	614978.94	231157.36	N 53 30.928	E 6 32.116
SCH_09	Schild	midden	614977.92	231358.35	N 53 30.925	E 6 32.297
SCH_10	Schild	midden	614443.39	231366.43	N 53 30.637	E 6 32.297
SCH_11	Schild	midden	614678.27	231674.19	N 53 30.761	E 6 32.579
SCH_12	Schild	midden	614879.43	231990.76	N 53 30.867	E 6 32.868
SCH_13	Schild	uitloper	613915.51	231409.99	N 53 30.352	E 6 32.329
SCH_14	Schild	uitloper	613874.29	231440.44	N 53 30.33	E 6 32.356
SCH_15	Schild	uitloper	613827.27	231473.12	N 53 30.304	E 6 32.384
SCH_16	Schild	uitloper	613637.74	230759.32	N 53 30.208	E 6 31.736
SCH_17	Schild	uitloper	613628.36	230820.04	N 53 30.203	E 6 31.791
SCH_18	Schild	uitloper	613623.59	230882.43	N 53 30.199	E 6 31.847
SCH_19	Schild	uitloper	613243.66	231599.44	N 53 29.988	E 6 32.49
SCH_20	Schild	uitloper	613265.77	231627.95	N 53 30	E 6 32.516
SCH_21	Schild	uitloper	613291.35	231662.84	N 53 30.014	E 6 32.548
SCH_22	Schild	uitloper	615303.51	230189.46	N 53 31.111	E 6 31.245
SCH_23	Schild	uitloper	615281.72	230144.80	N 53 31.099	E 6 31.204
SCH_24	Schild	uitloper	615249.76	230100.97	N 53 31.083	E 6 31.164
SP_01	Spruit	midden	614597.76	223880.27	N 53 30.782	E 6 25.53
SP_02	Spruit	midden	614553.53	224048.34	N 53 30.757	E 6 25.681
SP_03	Spruit	midden	614504.81	224200.15	N 53 30.729	E 6 25.818
SP_04	Spruit	midden	612671.93	223578.39	N 53 29.746	E 6 25.232
SP_05	Spruit	midden	612814.74	223691.98	N 53 29.822	E 6 25.336
SP_06	Spruit	midden	612872.81	223812.08	N 53 29.853	E 6 25.445
SP_07	Spruit	midden	611278.73	223211.90	N 53 28.998	E 6 24.882
SP_08	Spruit	midden	611361.45	223629.00	N 53 29.039	E 6 25.26
SP_09	Spruit	midden	611398.91	224108.39	N 53 29.056	E 6 25.694
SP_10	Spruit	midden	610530.14	224292.61	N 53 28.586	E 6 25.849
SP_11	Spruit	midden	610432.08	224366.00	N 53 28.533	E 6 25.914
SP_12	Spruit	midden	610335.71	224452.19	N 53 28.48	E 6 25.991
SP_13	Spruit	midden	609069.44	223202.08	N 53 27.807	E 6 24.845

Monster-code	Geul	Geulsec-tie	RDYNEW	RDXNEW	Noorderbreedte (DD_MM.mmm)	Oosterlengte (DD_MM.mmm)
SP_14	Spruit	midden	609114.20	223324.05	N 53 27.83	E 6 24.956
SP_15	Spruit	midden	609098.41	223457.49	N 53 27.821	E 6 25.076
SP_16	Spruit	uitloper	608116.72	223802.80	N 53 27.289	E 6 25.375
SP_17	Spruit	uitloper	607970.83	223678.32	N 53 27.211	E 6 25.261
SP_18	Spruit	uitloper	607823.76	223601.16	N 53 27.133	E 6 25.189
SP_19	Spruit	uitloper	608426.87	220848.56	N 53 27.479	E 6 22.711
SP_20	Spruit	uitloper	608362.92	220815.41	N 53 27.444	E 6 22.68
SP_21	Spruit	uitloper	608286.52	220735.08	N 53 27.404	E 6 22.607
ZOL_01	Zuidoost-Lauwers	midden	612430.92	224821.66	N 53 29.606	E 6 26.352
ZOL_02	Zuidoost-Lauwers	midden	612484.53	224948.78	N 53 29.634	E 6 26.468
ZOL_03	Zuidoost-Lauwers	midden	612548.57	225075.72	N 53 29.668	E 6 26.583
ZOL_04	Zuidoost-Lauwers	midden	610719.21	224899.58	N 53 28.683	E 6 26.4
ZOL_05	Zuidoost-Lauwers	midden	610655.35	225025.73	N 53 28.648	E 6 26.513
ZOL_06	Zuidoost-Lauwers	midden	610606.68	225125.41	N 53 28.621	E 6 26.603
ZOL_07	Zuidoost-Lauwers	midden	608731.09	226671.03	N 53 27.597	E 6 27.974
ZOL_08	Zuidoost-Lauwers	midden	608675.63	226923.96	N 53 27.566	E 6 28.201
ZOL_09	Zuidoost-Lauwers	midden	608589.58	227245.24	N 53 27.517	E 6 28.49
ZOL_10	Zuidoost-Lauwers	midden	607659.50	230270.77	N 53 26.99	E 6 31.209
ZOL_11	Zuidoost-Lauwers	midden	607759.35	230407.88	N 53 27.043	E 6 31.335
ZOL_12	Zuidoost-Lauwers	midden	607897.11	230610.99	N 53 27.115	E 6 31.52
ZOL_13	Zuidoost-Lauwers	midden	608938.13	232497.99	N 53 27.66	E 6 33.239
ZOL_14	Zuidoost-Lauwers	midden	609063.21	232573.40	N 53 27.727	E 6 33.309
ZOL_15	Zuidoost-Lauwers	midden	609193.30	232619.32	N 53 27.797	E 6 33.353
ZOL_16	Zuidoost-Lauwers	uitloper	608967.57	233735.46	N 53 27.665	E 6 34.357
ZOL_17	Zuidoost-Lauwers	uitloper	608879.73	233786.56	N 53 27.617	E 6 34.402
ZOL_18	Zuidoost-Lauwers	uitloper	608803.10	233860.63	N 53 27.575	E 6 34.468
ZOL_19	Zuidoost-Lauwers	uitloper	609683.99	234053.61	N 53 28.048	E 6 34.655
ZOL_20	Zuidoost-Lauwers	uitloper	609827.43	234176.38	N 53 28.125	E 6 34.768
ZOL_21	Zuidoost-Lauwers	uitloper	610019.39	234342.06	N 53 28.227	E 6 34.921

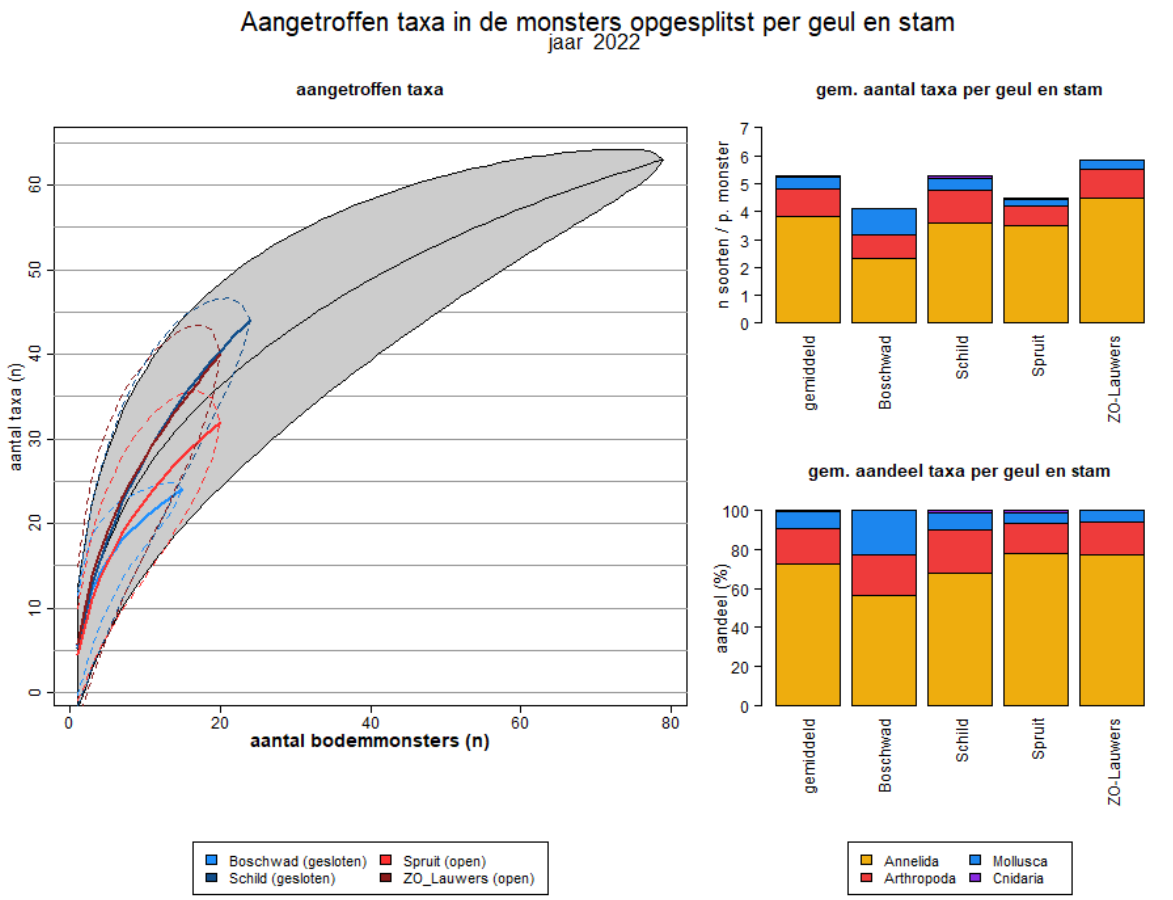
Bijlage 2 Bodemdierfauna in 2022



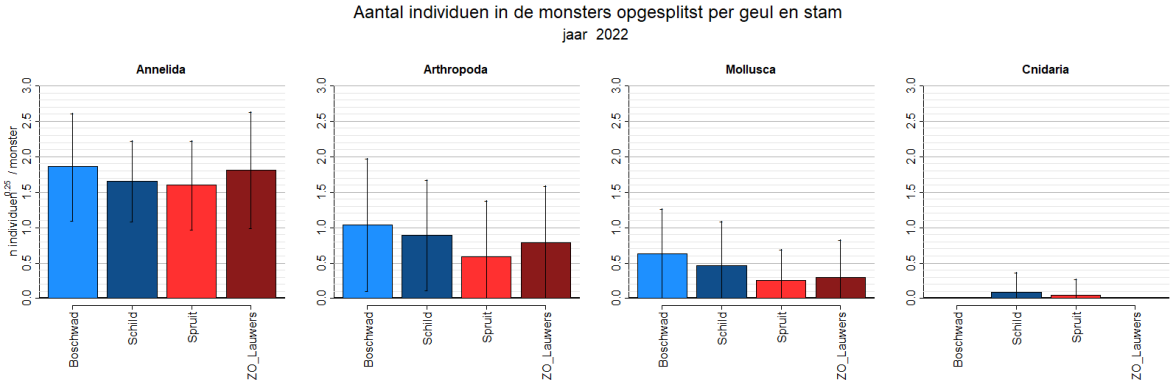
Figuur B.2 *Het aantal individuen, taxa en waarden voor de parameters evenness en diversiteit voor de monsters, genomen in 2022 in de geulen Boschwad (BWD), Schild (SCH), Spruit (SPR) en Zuidoost-Lauwers (ZOL).*

Tabel B.2 *Uitkomsten van de statistische modellen voor de in 2022 genomen monsters en voor de dichtheden (aantal individuen in een monster voor alle taxa en voor taxa behorend bij de stam ringwormen apart), soortenrijkdom (aantal taxa in de monsters voor alle stammen en voor de stam ringwormen apart), diversiteit en evenness. P-waarden <0,05 duiden op statistisch significante verschillen en worden aangeduid met een '*'.*

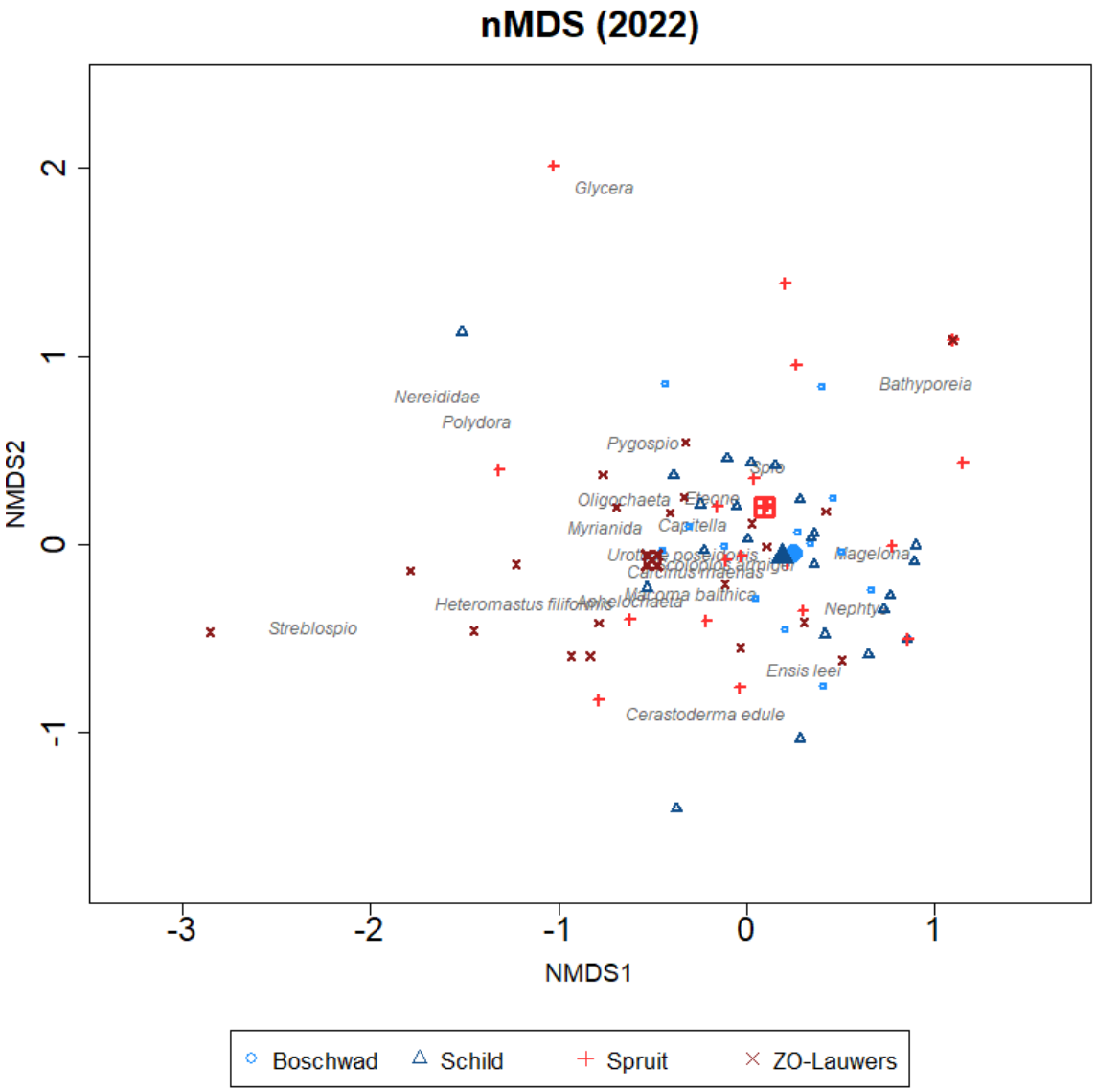
Parameter	Data transformatie	geul	
		F waarde	P waarde
(n Individuen) alle taxa	dubbele wortel	0.344	0.794
(n Individuen) ringwormen (annelida)	dubbele wortel	0.602	0.616
(n Taxa) alle taxa	wortel	0.495	0.687
(n Taxa) ringwormen (annelida)	wortel	0.460	0.711
(index) diversiteit (Shannon Wiener)	geen	0.823	0.485
(index) eveness (pielou)	geen	0.193	0.901



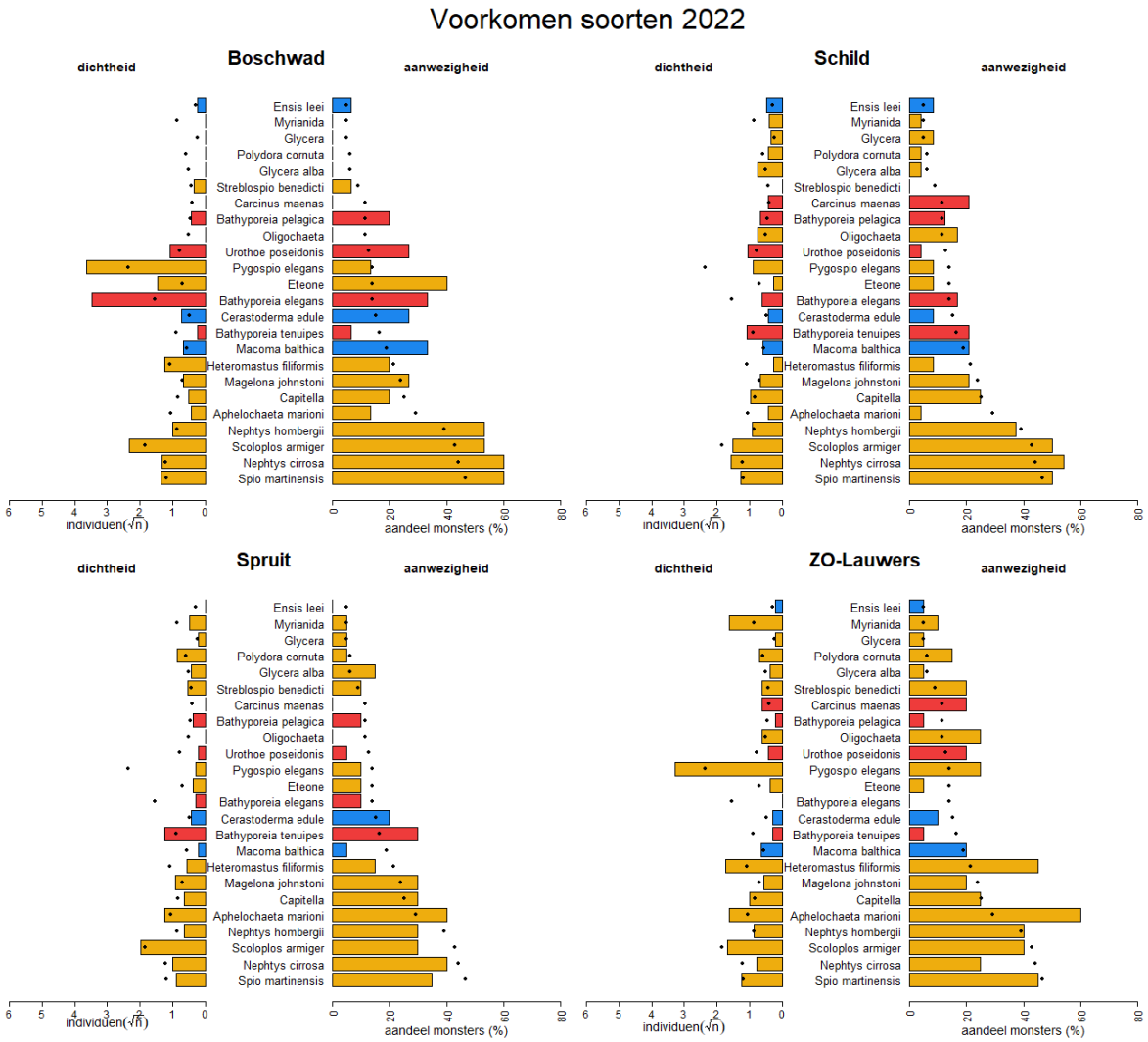
Figuur B.3 *Aangetroffen taxa in de monsters van 2022. Het diagram in het linker paneel geeft de toename van het aantal verschillende taxa aan bij een toename van het aantal bodemmonsters (zgn. soorten-accumulatiegrafiek). De zwarte curve geeft de toename aan voor de gezamenlijke, in 2022 genomen, monsters. Met verschillende kleuren wordt de toename in taxa bij een toenemend aantal monsters weergegeven per geul. Het diagram in het paneel rechts boven geeft het gemiddeld aantal taxa per stam weer voor alle monsters gezamenlijk en opgesplitst per geul. Het diagram in het paneel rechts onder geeft het aandeel van het aantal taxa per stam weer, wederom voor alle monsters gezamenlijk en opgesplitst per geul. (Annelida = wormen, Arthropoda = geleedpotigen, Mollusca = weekdieren, Cnidaria = neteldieren).*



Figuur B.4 *Diagrammen met het aantal individuen (dubbele wortelgetransformeerd) in de Van Veen bodemhapper, genomen in 2022 per stam en opgesplitst per geul. (Annelida = wormen, Arthropoda = geleedpotigen, Mollusca = weekdieren, Cnidaria = neteldieren).*



Figuur B.5 *Ordinatiediagram die het resultaat van de Nonmetric multidimensional scaling weergeeft voor de in 2022 genomen monsters. Het diagram is gebaseerd op een Bray-Curtis ongelijkheidsmatrix van wortelgetransformeerde dichtheden, waarbij alleen taxa die in minimaal 5% van de monsters voorkwamen, meegenomen zijn. Het diagram kent een stresswaarde van 0,16. Met de grote symbolen worden de middelpunten van de verschillende geulen weergegeven.*



Figuur B.6 *Gemiddelde wortelgetransformeerde dichtheid (n) en voorkomen (% van de monsters) in de Van Veen-monsters, genomen in 2022, in het Boschwad (paneel links boven), Schild (paneel rechts boven), Spruit (paneel links onder) en Zuidoost-Lauwers (paneel rechts onder) voor taxa die (gemiddeld) in ten minste 5% van de monsters voorkomen. Met de kleur van het staafdiagram wordt de stam waartoe de taxa behoort, weergegeven. Ringwormen (Annelida) worden met gele, geleedpotigen (arthropoda) met rode en de weekdieren (Mollusca) met blauwe staafdiagrammen weergegeven. Met de zwarte punten wordt het gemiddelde voorkomen en de dichtheid van ieder taxon weergegeven, waarbij alle monsters uit de verschillende geulen gezamenlijk beschouwd zijn.*

Bijlage 3 Modeluitkomsten

Tabel B.3 *Uitkomsten van de statistische modellen voor de parameters soortenrijkdom, dichtheid, diversiteit en evenness. P-waarden <0,05 voor de interactietermen kort x open en lang x open (dik afgedrukt in de tabel) duiden op statistisch significante verschillende ontwikkeling tussen de open en gesloten geulen. In de kolom def.model is aangegeven welk model het beste was (op basis AIC) en wat die was. Aanduiding 'var' is gebruikt voor modellen die verschillen in variatie tussen periode toelaat, at'XX' duidt op modellen met autocorrelatie. Hierbij zijn verschillende ruimtelijke structuren onderzocht namelijk CL = lineair, CE = exponenteel, CR= Rationale kwadratisch, CG = gaussisch, SF = sferisch.*

parameter	period	def. model	Variabele	transformatie	Value	Std.Error	DF	t.value	p.value
Soorten-rijkdom	**kort**	atCEvar	intercept	wortel	1.145	0.341	697	3.361	0.001
		atCEvar	kort (2006 - 2016)	wortel	1.115	0.372	11	2.997	0.012
		atCEvar	open	wortel	-0.063	0.127	37	-0.493	0.625
		atCEvar	**kort x open**	**wortel**	**-0.100**	**0.144**	**37**	**-0.694**	**0.492**
	lang	atCEvar	intercept	wortel	1.152	0.185	623	6.219	0.000
		atCEvar	lang (2017 - 2023)	wortel	1.151	0.211	7	5.444	0.001
		atCEvar	open	wortel	-0.058	0.114	25	-0.513	0.613
		atCEvar	**lang x open**	**wortel**	**-0.095**	**0.135**	**25**	**-0.701**	**0.490**
dichtheid	**kort**	atCR	intercept	dubbele wortel	1.251	0.261	697	4.798	0.000
		atCR	kort (2006 - 2016)	dubbele wortel	0.984	0.284	11	3.472	0.005
		atCR	open	dubbele wortel	0.052	0.164	37	0.318	0.752
		atCR	**kort x open**	**dubbele wortel**	**-0.246**	**0.178**	**37**	**-1.381**	**0.176**
	lang	atCR	intercept	dubbele wortel	1.265	0.222	623	5.695	0.000
		atCR	lang (2017 - 2023)	dubbele wortel	0.908	0.249	7	3.647	0.008
		atCR	open	dubbele wortel	0.057	0.157	25	0.364	0.719
		atCR	**lang x open**	**dubbele wortel**	**-0.235**	**0.173**	**25**	**-1.355**	**0.187**
diversiteit	**kort**	atCRvar	intercept	geen	0.770	0.179	697	4.296	0.000
		atCRvar	kort (2006 - 2016)	geen	0.319	0.196	11	1.631	0.131
		atCRvar	open	geen	-0.076	0.093	37	-0.814	0.421
		atCRvar	**kort x open**	**geen**	**0.112**	**0.103**	**37**	**1.088**	**0.284**
	lang	atCRvar	intercept	geen	0.771	0.081	623	9.551	0.000
		atCRvar	lang (2017 - 2023)	geen	0.433	0.091	7	4.761	0.002
		atCRvar	open	geen	-0.075	0.090	25	-0.839	0.409
		atCRvar	**lang x open**	**geen**	**0.027**	**0.103**	**25**	**0.261**	**0.796**
evenness	**kort**	atCRvar	intercept	geen	0.784	0.069	697	11.411	0.000
		atCRvar	kort (2006 - 2016)	geen	-0.090	0.071	11	-1.270	0.230
		atCRvar	open	geen	-0.081	0.084	37	-0.970	0.338
		atCRvar	**kort x open**	**geen**	**0.137**	**0.087**	**37**	**1.573**	**0.124**
	lang	atCLvar	intercept	geen	0.786	0.068	623	11.511	0.000
		atCLvar	lang (2017 - 2023)	geen	-0.041	0.072	7	-0.570	0.586
		atCLvar	open	geen	-0.082	0.077	25	-1.062	0.298
		atCLvar	**lang x open**	**geen**	**0.097**	**0.080**	**25**	**1.220**	**0.234**

Recent verschenen WOT-technical reports

237	Houtkamp, J.M. (2023). *Visualisatietechnieken voor kennisintegratie; Het gebruik van verschillende soorten kennis in de context van beleidsvraagstukken.*
238	Arets, E.J.M.M., S.A. van Baren, C.M.J. Hendriks, H. Kramer, J.P. Lesschen & M.J. Schelhaas (2023). *Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2023*.
239	Schalkwijk, L. van, E.T. Schotanus, M.J.L. Kik, A. Gröne & L.L. IJsseldijk (2023). *Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2022; Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken*.
240	Langers, F. (2023). *Recreatie in groenblauwe gebieden; Actualisatie van CLO-indicator 1258 op basis van data van het Continu Vrijetijdsonderzoek uit 2018*.
241	Schmidt, A.M., P.J.H. Mathijssen, R.H. Jongbloed, J.E. Tamis, A.B. Goutbeek, R. Reinartz, R. Vogel, M.E. Sanders, J.T. van der Wal en I. Woltjer (2023). *Advies over de Nederlandse pledges voor de Europese Biodiversiteitsstrategie 2030; Toelichting op het advies van Wageningen Research en Sovon Vogelonderzoek aan het ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit*.
242	Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, L.A. Lagerwerf, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2023). *Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021*.
243	Lerink, B.J.W., M.J. Schelhaas, F. Dolstra, J. Oldenburger, S. Teeuwen & A.P.P.M. Clerkx (2023). *Veldinstructie Achtste Nederlandse Bosinventarisatie (2022-2026); Versie 1.0.*
244	Kruijne, R. en D.W.G. van Kraalingen (2023). *Overdracht van meetresultaten van provincies naar de Grondwateratlas voor bestrijdingsmiddelen, versie 2022*.
245	Riel, M.C. van, R.C.M. Verdonschot, P.F.M. Verdonschot (2023). *Natuurherstel en klimaatbuffers in beekdalen; Een verkenning van de mogelijkheden tot integratie van wateropgaven in beekdalen.*
246	Sanders, M.E., H.J. Agricola, J.H. Faber, D.A. Kamphorst, F.H. Kistenkas, F. Langers, T. Selnes, M.J.M. Smits, G.B. Woltjer (2023). *De bijdrage en potentiële bijdrage van verschillende partijen aan de veranderingen in het natuur-, landbouw- en voedselsysteem; Achtergrondinformatie voor de Balans van de Leefomgeving 2023.*
247	Bouwma, I.M. & J. Frissel. (2023). *Analyse eerste tranche provinciale programma's Uitvoerings-programma Natuur.*
248	Delft, S.P.J. van, G.J. Maas (2023). *Landschappelijke Bodemkartering (LBK); Achtergronden, toepassingen en technische documentatie*.
249	Grashof-Bokdam, C.J., J.M. Houtkamp, B. de Knegt (2023). *Concept-denkmodel Basiskwaliteit Natuur; Discussiestuk Wageningen Environmental Research & Planbureau voor de Leefomgeving*.
250	Houtkamp, J.M., J. Sitters, J.B. Visser, A.M. Schmidt, N.A.C. Smits, R. Pouwels, S.W.M. Poppeliers (2023). *Toelichting op de monitoring- en beoordelingssystematiek van de Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn; Ten behoeve van de evaluatie van het Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering*.
251	Los, S., C. van Haren, A. Cormont (2023). *Rapportage Modelinventarisatie voor klimaat-effecten en adaptatie.*
252	Roebeling, P.C., R. Michels, N.B.P. Polman, H. Chouchane (2023). *Derde lerende evaluatie natuurpact: Reflectie en projectie voortgang ontwikkelingsopgaven natuur; Lessen voor de Derde Lerende Evaluatie Natuurpact (LEN3)*.
253	Pouwels R., I. Woltjer, B. de Knegt, H.D. Roelofsen & L. Biersteker (2023). *Achtergrondrapportage modelanalyses biodiversiteit en ecosysteemdiensten ten behoeve van de Ruimtelijke Verkenning.*
254	Groot, G.A. de, W. van 't Westende, D.R. Lammertsma, F. Warmer, H.A.H. Jansman & M. Laar (2023). *Status van de Nederlandse otterpopulatie in 2022: nieuwe inzichten in genetische uitwisseling, mortaliteit en verkeerssterfte.*
255	Baren, S.A. van, E.J.M.M. Arets, C.M.J. Hendriks, H. Kramer, J.P. Lesschen & M.J. Schelhaas (2024). *Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands; Methodological background, update 2024*.
256	Mathijssen P.J.H. en R.H. Jongbloed (2024). *Standaardlijsten drukfactoren en maatregelen; Voorstel voor een Nederlandse standaardlijst van drukfactoren en herstelmaatregelen en vertalingen naar de Europese codelijsten*.
257	Geelhoed, S.C.V., M.J. van den Heuvel-Greve, C.J.A.F. Kwadijk & M.J.J. Kotterman (2024). *Contaminantenonderzoek en vliegtuigtellingen van bruinvissen (Phocoena phocoena) in Nederland, 2023.*

258	Roo, N. de, S. Kristiaan, S.E.H. van Liere, B.C. Breman (2024). *Transitie of optimaliseren van het bestaande? Beleidsanalyse NPLG en WBS vanuit transitieperspectieven*.
259	Schalkwijk, L. van, A. Gröne & L.L. IJsseldijk (2024). *Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2023; Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.*
260	Henkens, R.J.H.G., Cormont, A., Van Swaay, C.A.M., Wamelink, G.W.W. en F.G.W.A. Ottburg (2024). *Risico's en kansen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur; Invloed van temperatuurstijging, extreme droogte of natheid, zeespiegelstijging en verzilting op de doelen voor VHR, KRW, ecosysteemdiensten en algemene biodiversiteit.*
261	Glorius, S.T. & A. Meijboom (2024). *Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; Periode 1995 tot en met 2022*.
262	Escaravage, V.L., M.J. Baptist, S. Wijnhoven (2024). *Indicatoren en maatlatten voor de beoordeling van structuur en functie van mariene habitattypen voor Natura 2000.*
263	Rooijen, N.M. van, S.M. Hennekens, M.E. Sanders, J. Holtland, G.W.W. Wamelink & W.A. Ozinga (2024). *Planten als indicatoren pH en GVG II; Een vergelijking van het ITERATIO- en Wamelink-indicatorsysteem voor pH en GVG vanuit ecologisch perspectief.*
264	Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2024). *Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2022.*
265	Aalbers, C.B.E.M. (2024). *Verkenning historisch verstedelijkingsbeleid in Nederland en haar doorwerking op groen in lage-inkomenswijken*.
266	Glorius, S.T., A. Meijboom, C. Sonneveld en B van der Weide 2024. Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage 18 jaar na sluiting (situatie tot en met het jaar 2023).
267	Cormont, A., J.M. Houtkamp, C. van Haren, P.J.F.M. Verweij en R. Pouwels (2024). *Methoden en technieken gebruikt bij de PBL-studie 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland'; Inventarisatie van de omgevings-ontwikkelingen.*

Thema Informatievoorziening Natuur
Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 54 71
E info.wnm@wur.nl
wur.nl/wotnatuurenmilieu

ISSN 2352-2739

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.