



Ecologische effecten van het incident met de MSC Zoe op het Nederlandse Waddengebied, met focus op microplastics

E. Foekema, J. van der Molen, A. Asjes, A. Bijleveld, S. Brasseur, K. Camphuysen, J.A. van Franeker, S. Holthuijsen, R. Kentie, S. Kühn, M. Leopold, L. Kleine Schaars, T. Lok, H. Niemann, en J. Schop

NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee



Ecologische effecten van het incident met de MSC Zoe op het Nederlandse Waddengebied, met focus op microplastics

NIOZ

Johan van der Molen*
Allert Bijleveld
Kees Camphuysen
Sander Holthuijsen
Rosemarie Kentie[1]
Loran Kleine Schaars
Tamar Lok
Helge Niemann

WMR

Edwin Foekema#
Afra Asjes
Sophie Brasseur
Jan Andries van Franeker
Susanne Kühn
Mardik Leopold
Jessica Schop

* johan.van.der.molen@nioz.nl

edwin.foekema@wur.nl

In samenwerking met:



Graag als volgt citeren:

Foekema, E., van der Molen, J., Asjes, A., Bijleveld, A., Brasseur, S., Camphuysen, K., van Franeker, J.A., Holthuijsen, S., Kentie, R., Kühn, S., Leopold, M., Kleine Schaars, L., Lok, T., Niemann, H., Schop, J. (2021). Ecologische effecten van het ongeluk met de MSC Zoe op het Nederlandse Waddengebied, met focus op microplastics. NIOZ Rapport 2021-03. NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research, 't Horntje, Texel, The Netherlands. 99pp. DOI: 10.25850/nioz/7b.b.mb

Inhoudopgave

1	Samenvatting.....	6
2	Inleiding.....	9
2.1	MSC Zoe ongeluk.....	9
2.2	Doelstellingen van het onderzoek.....	9
2.3	Karakterisering van microplastics.....	10
2.4	Verspreiding van microplastics.....	10
2.5	Opname van microplastics door individuele zeedieren en mogelijke effecten op de gezondheid 10	
2.6	Ecologische effecten van microplastics.....	11
3	Opzet van het onderzoek.....	12
3.1	Inleiding.....	12
3.2	Karakterisering van de verloren microplastics.....	12
3.3	Verspreiding van microplastics.....	12
3.3.1	Veldmonsters.....	12
3.3.2	Computersimulaties.....	13
3.4	Opname door biota.....	13
3.5	Ecologische effecten.....	13
3.6	Overzicht onderzochte monsters.....	14
4	Karakterisering van de verloren microplastics.....	16
4.1	HDPE-pellets.....	16
4.1.1	Uiterlijk en formaat.....	16
4.1.2	Polymeersamenstelling: FTIR.....	16
4.1.3	Additieven.....	17
4.2	PS-korrels.....	17
4.2.1	Uiterlijk en formaat.....	17
4.2.2	Polymeersamenstelling.....	18
4.2.3	Additieven.....	18
4.3	Identificatie van polymeren met Raman en FTIR spectroscopie met microscopie.....	19
5	Verspreiding van plastics.....	20
5.1	Zwerfvuil.....	20
5.2	Aangespoelde HDPE-pellets.....	20
5.2.1	Publiekswaarnemingen.....	20
5.2.2	Strandmonsters Schiermonnikoog.....	21
5.3	Deeltjesverspreidingsmodel.....	23
5.4	Microplastics in zeewater.....	26
5.5	Microplastics in de zeebodem.....	27
5.5.1	SIBES sedimentmonsters Waddenzee.....	27
5.5.2	Boxcores Noordzee.....	29
5.5.3	Boxcores rond Terschelling en in de Waddenzee.....	29
6	Opname plastics door biota.....	31
6.1	Schelpdieren in de Waddenzee.....	31
6.2	Spisula in de Noordzee.....	31
6.3	Noordzeevissen.....	32
6.4	Individuele vissen uit fuiken in de Waddenzee.....	34
6.5	Scholen haring uit fuiken in de Waddenzee.....	35

6.6	Plastics in dood gevonden vogels	35
6.7	Plastics in braakballen van de kleine mantelmeeuw	37
6.8	Plastics in braakballen van lepelaars	39
6.9	Plastics in uitwerpselen van kanoeten	39
6.10	Plastics in Zeehonden	40
6.11	Plastics in Bruinvissen	41
7	Ecologische effecten van microplastics	43
7.1	Mesocosm experimentele opzet.....	43
7.2	Doseringen PS-korrels	43
7.3	Resultaten	44
7.3.1	Fysisch-chemische waterkarakteristieken	44
7.3.2	Gedrag van de PS-korrels	44
7.3.3	Ontwikkeling van biota en interacties met PS-korrels	44
7.3.3.1	Planktongemeenschap	44
7.3.3.2	Benthos gemeenschap	45
7.3.3.3	Geïntroduceerde soorten	47
7.4	Conclusies mesocosm onderzoek.....	49
8	Discussie	51
8.1	HDPE-pellets	51
8.1.1	Karakterisering.....	51
8.1.2	Verspreiding.....	51
8.1.3	Opname door biota	52
8.1.4	Ecologische effecten	53
8.1.5	Aandeel mogelijk afkomstig van MSC Zoe.....	53
8.2	PS-korrels.....	54
8.2.1	Karakterisering.....	54
8.2.2	Verspreiding.....	54
8.2.3	Opname door biota	55
8.2.4	Ecologische effecten	55
8.2.5	Aandeel mogelijk afkomstig van MSC Zoe.....	57
8.3	Verspreiding van andere soorten aangetroffen microplastics.....	57
8.4	Bredere relevantie	58
9	Conclusies	61
9.1	HDPE-pellets	61
9.2	PS-korrels.....	61
9.3	Overblijvende vragen	62
10	Aanbevelingen.....	63
10.1	Opties voor toekomstige monitoring	63
10.2	Advies en beschrijving van eventueel nader onderzoek.....	63
10.2.1	Interacties van microplastics met het sediment	63
10.2.2	Effecten van microplastics op kleine vogels.....	64
10.2.3	Effecten van microplastics op pelagische vis.....	64
10.3	Beschrijving van eventueel verder onderzoek.....	64
10.3.1	Karakterisering.....	64
10.3.2	Verspreiding.....	64
10.3.3	Opname door biota	65

10.3.4	Ecologische effecten	65
11	Dankbetuiging	67
12	Overzicht projectgerelateerde deelrapporten en bijlages	68
13	Literatuur	69
14	Appendices	71
14.1	Appendix: Opportunistische vondsten van HDPE-pellets op de kwelders van Schiermonnikoog in 2020/21	
14.2	Appendix: Details deeltjesverspreidingsmodellen	73
14.2.1	Modelbeschrijving	73
14.2.2	Modelexperimenten	75
14.2.3	Modelresultaten	75
14.2.3.1	HDPE-pellets: startlocaties op traject MSC Zoe.....	75
14.2.3.2	HDPE-pellets: startlocaties op container locaties NWES model	76
14.2.3.3	HDPE-pellets: startlocaties op container locaties Waddenzee model.....	78
14.2.3.4	PS-korrels: startlocaties op traject MSC Zoe NWES model.....	78
14.2.3.5	PS-korrels: startlocaties op traject MSC Zoe Waddenzee model	81
14.3	Appendix: Detailresultaten visfinken	82
14.4	Appendix: Resultaten Raman analyse van vermoedelijke plastics aangetroffen in de verschillende soorten monsters.	83

1 Samenvatting

Wat was de aanleiding voor het onderzoek?

Tijdens een storm op 1 januari 2019 verloor het containerschip MSC Zoe een deel van haar lading ten noorden van de Nederlandse en Duitse Waddeneilanden. In totaal sloegen 342 containers overboord. Een deel van de inhoud kwam in zee terecht, en de volgende dagen spoelde veel materiaal aan op de Waddeneilanden. Hieronder bevonden zich ook grote aantallen drijvende witte plastic pellets van Hoge-Dichtheid-Polyethyleen (HDPE) met een gemiddelde doorsnede van 4 mm. Het is aannemelijk, maar niet uit ladinglijsten bevestigd, dat deze pellets van de MSC Zoe afkomstig zijn. Vast staat wel, dat er bolvormige polystyreen (PS) korreltjes met een diameter van 0,7 mm zijn verloren. Deze kleine kleurloze korrels zijn met het blote oog nauwelijks zichtbaar en iets zwaarder dan zeewater. Ze zijn niet teruggevonden, maar het ligt voor de hand dat een deel van de circa 11.250 kg die werd verloren in de Waddenzee terecht is gekomen.

Wat was het doel van het onderzoek?

Rijkswaterstaat Noord-Nederland heeft eind 2019 aan het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) en Wageningen Marine Research (WMR) gevraagd onderzoek te doen naar de (mogelijke) effecten van de door MSC Zoe verloren materialen op het ecosysteem met een speciale focus op de microplastics, en op de Nederlandse Waddenzee. Het Waddengebied heeft namelijk een beschermde status als Werelderfgoed, en omvat verschillende Natura-2000 gebieden.

Hoe is het onderzoek uitgevoerd?

Op advies van de Waddenacademie en in samenspraak met RWS is kort na het incident gestart met het nemen van extra monsters tijdens bestaande biologische monitoringsprogramma's. Dit betrof monsters van water, sediment, schelpdieren, vissen, braakballen en uitwerpselen van vogels, en langs de kust aangetroffen dode zeevogels en zeezoogdieren. Hierin werd gezocht naar de aanwezigheid van microplastics in het algemeen en de plastics die aan de MSC Zoe gelinkt kunnen worden in het bijzonder. Waar mogelijk is de totale hoeveelheid microplastics in deze monsters uit 2019 vergeleken met monsters van vóór het ongeluk. Na een voorbehandeling om de plastics vrij te maken, zijn de meeste monsters gezeefd over 0.3 mm. Deze zeefmaat is voldoende om de HDPE-pellets en PS-korrels uit de monsters te halen. Kleinere deeltjes dan 0.3 mm zijn dus niet meegenomen in dit onderzoek. Om een verder beeld te krijgen van de mogelijke verspreiding van de HDPE-pellets en de PS-korrels in het Waddengebied is ook gebruik gemaakt van computermodellen die het gedrag van de deeltjes in zee simuleren. Daarnaast zijn de mogelijke milieueffecten van de PS-korrels onderzocht in experimentele zoutwatervijvers (mesocosms) waarin plankton, bodemdieren en vissen op min of meer natuurlijke wijze samenleven. In deze mesocosms werd het effect van een oplopende concentratie van de PS-korrels onderzocht. Daarbij kan de hoogste concentratie (80 gram PS-korrels /m²) als een extreme worst-case situatie beschouwd worden, die alleen kan ontstaan als alle verloren korrels geconcentreerd liggen op 0.01% van het oppervlak van de Nederlandse Waddenzee. Mogelijke effecten van de HDPE-pellets zijn niet op deze wijze onderzocht, omdat deze drijvende pellets geen direct gevaar opleveren voor de soorten die in mesocosms onderzocht kunnen worden. Tenslotte zijn chemische analyses uitgevoerd om te testen of de PS-korrels en de HDPE-pellets gifstoffen bevatten die een potentieel milieurisico vormen.

Waar zijn de microplastics terecht gekomen?

De 4 mm grote HDPE-pellets drijven op water. Modellsimulaties geven aan dat de pellets onder invloed van noordelijke winden in de weken na het incident snel naar de kust zijn gedreven en daar zijn aangespoeld. Op de stranden van met name de oostelijke Nederlandse Waddeneilanden en langs de vastelandskust en kwelders van Groningen en Friesland zijn de pellets inderdaad aangetroffen in hoge aantallen.

De kleine PS-korrels zijn iets zwaarder dan water, en zullen dus langzaam zinken. Deze korrels zijn nauwelijks teruggevonden in water en sedimentmonsters die in 2019 werden verzameld. Op basis van de enkele korrels die wel in sedimentmonsters zijn aangetroffen kan geschat worden dat op die locaties ten tijde van de monsternamen gemiddeld niet meer dan 10 PS-korrels per m² aanwezig waren. De modellsimulaties suggereren dat de PS-korrels langer op zee zijn gebleven dan de HDPE-pellets en door waterstromen in oostelijke richting werden gevoerd. Dit kan geleid hebben tot hogere dichtheden in de Duitse of Deense Waddenzee.

Hebben dieren de microplastics ingeslikt?

In totaal zijn ruim 2000 schelpieren, bijna 5000 vissen, 200 zeevogels en 1000 uitwerpselen en braakballen van vogels, alsmede 44 bruinvissen en 18 zeehonden uit 2019-2020 onderzocht op de aanwezigheid van (micro)plastics. Alleen in twee meeuwenbraakballen afkomstig van de kwelders van Schiermonnikoog werden HDPE-pellets aangetroffen die mogelijk aan de MSC Zoe gelinkt kunnen worden. De PS-korrels zijn in geen van de biologische monsters gevonden. Andere typen kleine plastic korrels werden wel aangetroffen in het maag-darmkanaal van haring en schar, en van noordse stormvogels en zeekoeten, en pellets vergelijkbaar met de HDPE-pellets werden gevonden in het maag-darmkanaal van noordse stormvogels, roodkeelduikers en een zeekoet, en in de braakballen van kleine mantelmeeuwen. Dit geeft aan dat beide typen microplastics die met MSC Zoe in relatie worden

gebracht, wel door organismen kunnen worden ingeslikt, ook al zijn ze in de onderzochte dieren niet teruggevonden. Het onderstreept verder dat microplastics al voor het MSC Zoe incident in het leefgebied van deze dieren aanwezig waren. Het percentage dieren met plastics in het maag-darmkanaal lag na januari 2019 niet hoger dan in voorgaande jaren. Met uitzondering van de twee braakballen die werden aangetroffen op Schiermonnikoog kon dus geen invloed van de door MSC Zoe verloren lading op de hoeveelheid microplastics in de onderzochte zeedieren worden vastgesteld.

Zijn er negatieve effecten voor het ecosysteem aangetoond?

In de HDPE-pellets en de PS-korrels zijn geen giftige additieven aangetoond. Er bestaat daarom geen concreet risico op vergiftiging van dieren die deze pellets inslikken.

Inslikken van slecht verteerbaar materiaal zoals plastic kan wel vertraging van de darmassage of, in het ergste geval, verstopping van het maagdarmkanaal veroorzaken. Gezien het kleine formaat van de HDPE-pellets is de kans hierop gering voor grotere dieren als zeezoogdieren en volgroeide vissen en zeevogels. De kans dat een vis de drijvende HDPE-pellets zal inslikken lijkt zeer gering, mede vanwege de korte verblijftijd van deze pellets op zee.

De kleinere PS-korrels die wel onder water zakken kunnen makkelijker door vissen worden ingeslikt. In de mesocosms leidde dit tot een geringe verlaging van het lichaamsgewicht van de platvisjes (jonge tong). Daarnaast werden in de mesocosms ook subtiele effecten gevonden bij zeepokken en in de dichtheden van bodembewonende wormen en schelpdieren. Deze effecten ontstonden bij meer dan 300 PS-korrels per m². Deze dichtheden zouden ontstaan als alle verloren (11.250 kg) PS-korrels homogeen over 10% van de Nederlandse Waddenzee worden verspreid. De sedimentbemonsteringen suggereren dat het aantal PS-korrels in het gebied niet hoger is dan ca. 10 stuks per m². Het lijkt daarom niet waarschijnlijk dat de door de MSC Zoe verloren PS-korrels effecten op het ecosysteem veroorzaken in het onderzochte gebied.

Er zijn in de periode na het incident dan ook geen meldingen gemaakt van opvallende toenames in het aantal op de kusten gestrande verzwakte of dode dieren in de Nederlandse Waddenzee of langs de Nederlandse kusten. Een uitzondering hierop vormden de zeekoeten die massaal strandden in januari-februari 2019. Hiervan werd vastgesteld dat zij het slachtoffer waren van verhongering en het slechte weer. In de onderzochte monsters van schelpdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren zijn ook geen aanwijzingen gevonden voor effecten van de mogelijk door MSC Zoe verloren microplastics.

Weten we nu alles?

Het is onduidelijk waar de PS-korrels zich nu bevinden.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot het Nederlandse deel van de Waddenzee en het veldwerk is zoveel mogelijk uitgevoerd aan de hand van monsters die reeds voor andere doeleinden waren verzameld. Vooral de monstergrootte van de sedimentmonsters bleek te klein om een goed beeld te kunnen vormen van de verspreiding van de PS-korrels, maar de resultaten suggereren dat zich geen grote hoeveelheden in het onderzochte deel van de Waddenzee bevinden. De modelsimulaties suggereren dat de PS-korrels met de zeestromen naar het oosten richting Duitsland en Denemarken zijn getransporteerd, maar in dat gebied zijn geen monsters verzameld in het kader van dit project. Het is ook mogelijk dat (een deel van) de PS-korrels in het sediment van de Noordzee terecht is gekomen, een proces waar nog geen goed inzicht in is en dat in de gebruikte modellen ontbreekt.

Het is onduidelijk of het risico van de PS-korrels voor pelagische plankton-etende jonge vissen goed is ingeschat.

Omdat ervan werd uitgegaan dat de PS-korrels snel naar de bodem zouden zinken, werd in de mesocosms voor een vis (tong) gekozen die zijn voedsel nabij de bodem verzamelt. Een substantieel deel van de korrels bleef echter zweven in de waterkolom. Deze korrels kunnen als voedsel (bijv. viseieren) worden gezien door pelagische vissen, die nu niet in de mesocosm aanwezig waren. Wellicht kunnen plankton-etende vissen, gewend aan licht verteerbaar voedsel, minder goed omgaan met niet verteerbare plastics dan bodemvissen die ook schelpdieren in het dieet hebben. Het risico betreft vooral kleine vis waarvan de grootte van de PS-korrels kritisch is in relatie tot de darmdiameter. Dit soort kleine vis komt in grote aantallen in de Waddenzee voor (bijv. jonge haring en sprong, of stekelbaars).

Het risico van de HDPE-pellets voor kleine vogels is niet duidelijk.

Bij kleine vogels kunnen mogelijk verstoppingen ontstaan als zij de HDPE-pellets inslikken. Dit zou vooral spelen voor soorten die langs de vloedlijn of op kwelders foerageren. In welke mate dit gebeurt en welke consequenties dit dan heeft, is in het kader van dit project niet onderzocht. Er zijn bij ons evenwel geen meldingen bekend van waargenomen verhoogde sterfte onder (deze) vogels in de periode na het incident.

Aanbevelingen voor monitoring van microplastics

Het is duidelijk dat het meeste microplastic in de Waddenzee niet afkomstig is van MSC Zoe. Monitoring van specifiek de MSC Zoe plastics is daarom weinig zinvol, en het lijkt beter om microplastics in het algemeen te monitoren in het Waddengebied. Het is daarbij aan te raden ook kleinere fracties te analyseren.

Monitoring van drijvende pellets (HDPE of andere samenstelling) lijkt het meest zinvol langs de vloedlijn op stranden en kwelders, waarbij ook diepere sedimentlagen worden meegenomen.

Daarnaast kan overwogen worden om monitoringstijdreeksen te starten van microplastics in water en sediment op een aantal vaste locaties en/of transecten. Geadviseerd wordt om daarbij nadrukkelijk ook het slib van mosselbanken te bemonsteren omdat deze dieren grote hoeveelheden zeewater filteren en vaste deeltjes daaruit gebundeld uitscheiden.

Opname door biota kan gemonitord worden door analyse van braakballen en/of faeces van vogels. Van zeevogels is vooral de noordse stormvogel interessant omdat meer dan 90% van de gestrande vogels microplastics in zich dragen, en monitoring reeds langere tijd volgens een standaardprotocol (OSPAR) wordt uitgevoerd. Dan moet er wel rekening mee worden gehouden dat noordse stormvogels meer op de Noordzee foerageren dan in de Waddenzee, maar ook bij veel andere vogels (o.a. meeuwen) is de foerageerlocatie moeilijk vast te stellen. Er zijn echter weinig alternatieven omdat in schelpdieren, vissen en zeezoogdieren microplastic slechts met een zeer lage frequentie wordt aangetroffen.

Waar mogelijk zou braakballen/faeces onderzoek bij vogels kunnen worden aangevuld met monitoring van het broedsucces om eventuele effecten te onderzoeken.

2 Inleiding

2.1 MSC Zoe ongeluk

In de nacht van 1 januari 2019 verloor het containerschip MSC Zoe een deel van haar containers ten noorden van de Nederlandse en Duitse Waddeneilanden. Eind december 2019 waren 299 van de 342 overboord geslagen containers opgeruimd (RWS Update 25). De inhoud van een deel van de containers is aangespoeld op de Waddeneilanden. Ook is er materiaal in de Waddenzee terechtgekomen. Hieronder bevonden zich grote aantallen industriële pellets van Hoge-Dichtheid-Polyetheen (HDPE). Deze HDPE-pellets zijn ovale schijfjes van 4-5 mm doorsnede en ca. 2 mm dik die drijven op water. Juridisch staat niet vast dat de op de stranden aangespoelde HDPE-pellets afkomstig zijn van de MSC Zoe, omdat de beschikbare ladinglijsten van de verloren containers onvoldoende gedetailleerde informatie bevatten. Er bestaat echter weinig twijfel dat deze plastics, die tegelijkertijd aanspoelden met andere materialen, ook uit verloren MSC Zoe containers afkomstig zijn. Daarnaast heeft een opengescheurde, maar aan boord gebleven container naar schatting 11.250 kg polystyreen (PS) korrels (bolvormig, 0,5-1 mm, zweven/zinken in water), verdeeld over 15 bigbags, verloren (RWS LCM, 2019). Het is niet bekend waar de PS-korrels precies in het water terecht zijn gekomen, noch in welke mate de bigbags intact zijn gebleven. Deze korrels zijn tot nu toe nog niet op stranden waargenomen. Dat is mogelijk het gevolg van het onopvallende uiterlijk; kleurloze balletjes met het formaat van een grove zandkorrel, en het feit dat er tot de aanvang van dit onderzoek niet gericht naar is gezocht.

Meer informatie over het incident is te vinden in het *position paper* van de Waddenacademie (Philippart e.a. 2019). Op basis van het daarin opgenomen advies heeft Rijkswaterstaat aan het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) en Wageningen Marine Research (WMR) de opdracht gegeven voor het starten van onderzoek naar de ecologische effecten van het incident met de MSC Zoe, met een focus op microplastics. Het nu voor u liggende rapport presenteert de resultaten van dit onderzoek. Naast de resultaten van de analyses, en conclusies bevat het een schets van mogelijke verdere 'vinger aan de pols' monitoring.

2.2 Doelstellingen van het onderzoek

De nadruk van het onderzoek ligt op het Nederlandse Waddengebied, vanwege de beschermde status als Werelderfgoed, en de aanwezigheid van Natura-2000 gebieden.

Het hier beschreven onderzoek heeft de volgende doelstellingen:

1. Beschrijving van de situatie vóór (T0) en na het ongeval (T1) voor microplastics, met focus op HDPE-pellets en polystyreenkorrels op basis van de monsteranalyses.
2. Beschrijving van de impact van het incident (T1-T0) situatie voor het voedselweb op basis van de analyse van monsters van NIOZ en WMR van verschillende (soort)groepen alsmede van de experimenten van WMR met focus op HDPE-pellets en polystyreenkorrels. In het verlengde daarvan, beschrijving van mogelijke effecten op het ecosysteem van de Waddenzee als gevolg van het incident.
3. Formuleren van aanbevelingen, adviezen voor vinger aan de pols monitoring en advies en beschrijving van eventueel nader onderzoek.

Hoewel dit onderzoek zich richt op de Waddenzee i.v.m. de status van Werelderfgoed en Natura-2000-gebied, is dit onderzoek niet specifiek opgezet om te toetsen of de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen negatief zijn beïnvloed zijn door het incident met de MSC Zoe. Er is voornamelijk gewerkt met monsters die in bestaande onderzoeksprogramma's al verzameld werden. Daaronder bevonden zich een beperkt aantal soorten die relevant zijn voor de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen.

Het onderzoek richt zich op de volgende onderzoeksvraag:

Wat zijn de (mogelijke) effecten van de door MSC Zoe verloren materialen op het ecosysteem van de Nederlandse Waddenzee, in het bijzonder die van de microplastics?

Deze hoofdvraag is opgesplitst in de volgende vier deelvragen:

1. Karakterisering: Hoe zien de microplastics die de MSC Zoe verloren heeft eruit, hoe gedragen ze zich (in zeewater/ zeebodem/ biota) en bevatten ze stoffen die een milieurisico vormen?
2. Verspreiding: Op welke geografische locaties zijn de microplastics uit de MSC Zoe terecht gekomen?
3. Opname door biota: Is er (plastic) materiaal afkomstig uit MSC Zoe terug te vinden in dieren die zich in 2019 in de omgeving van het incident bevonden? En hoe verhouden de microplastics gevonden in veldmonsters van biota van voor het incident (T0) zich tot de situatie erna (T1)?
4. Ecologische effecten: Wat zijn de mogelijke effecten van de PS-korrels op plankton, bodemdieren en vissen?

2.3 Karakterisering van microplastics

Microplastics kunnen worden gekarakteriseerd op basis van vorm/formaat, kleur en samenstelling. 'Plastic' is immers een verzamelnaam, en microplastics kunnen bestaan uit een range van polymeren, elk met hun eigen eigenschappen. Het kennen van het polymeertype van een plastic deeltje is daarom van belang om te voorspellen hoe dit deeltje zich in het water zal gedragen, simpelweg omdat het soortelijk gewicht van polymeren kan verschillen. Karakterisering is ook van belang om vast te stellen of aangetroffen microplastics afkomstig zouden kunnen zijn uit de lading van MSC Zoe. Bovendien kunnen (micro)plastics hulpstoffen bevatten die bij de productie zijn toegevoegd zoals bijvoorbeeld weekmakers of brandvertragers, die in potentie, bij hoge concentraties, de gezondheid kunnen schaden. Met chemische analyses is onderzocht of dergelijke stoffen in de met MSC Zoe in relatie gebrachte microplastics aanwezig waren.

2.4 Verspreiding van microplastics

Als (micro-)plastics in zee terecht komen, worden ze meegenomen door de stroming. Deze stroming ontstaat door het getij, door wind, en (met name dicht bij de kust) door windgolven. Dicht bij de zeebodem is deze stroming veel zwakker dan nabij het zeeoppervlak. Ook zal, door de draaiing van de aarde, de stroomrichting in dieper water zoals op de Noordzee nabij de zeebodem anders zijn dan nabij het oppervlak. Turbulentie (kleinschalige wervelingen van het water) verspreidt (plastic)deeltjes in de verticaal over de waterkolom, en ook in enige mate in horizontale richting. De turbulentie bepaalt samen met het drijf- of zinkvermogen van een deeltje waar het zich in de waterkolom bevindt, en dus met welke stroomsnelheid en -richting het verplaatst wordt. Deze processen hangen af van de locatie, en veranderen voortdurend in de tijd. Daarbij kunnen deeltjes met een sterk drijfvermogen, die gedeeltelijk boven water uitsteken, ook door de wind voortgeblazen worden.

Het drijf/zinkvermogen van plastics is dus heel belangrijk voor waar ze terecht komen. Het drijf/zinkvermogen van plastics kan in de loop van de tijd veranderen door degradatie of aangroei met algen of zeedieren. Aangroei kan plastics ook er ook voor zorgen dat plastics eerder voor voedsel worden aangezien door biota. Plastics met een zeker drijfvermogen zullen veelal ergens aanspoelen, tenzij ze in een grootschalige, permanente oceaantwervel terechtkomen. Dergelijke wervels zijn er niet in de zuidelijke Noordzee. Plastics die zinken, kunnen bij zwakke stroming tijdelijk op de zeebodem liggen, of zelfs, door verplaatsing van zandribbels of graafgedrag van bodemdieren, tijdelijk of permanent worden begraven in het sediment. Het is niet onwaarschijnlijk dat ze zich daarbij door hun lage soortelijk gewicht anders gedragen dan de omringende zandkorrels; hierover is echter nog weinig bekend.

Als plastics aanspoelen op het strand, komen ze in eerste instantie langs de vloedlijn terecht. Daar kunnen ze door de wind meegenomen worden, of door stuifzand begraven. Het is ook mogelijk dat ze bij een volgende hogere vloed weer verplaatst worden. Als dit bij rustig weer gebeurt is te verwachten dat dit voornamelijk lokaal naar hoger op het strand zal zijn. Bij storm en erosie van het strand zijn grotere verplaatsingen te verwachten. Daarbij is het waarschijnlijk dat plastics met een zeker drijfvermogen elders weer aanspoelen. Plastics die zinken kunnen door de onderstroom mogelijk weer naar zee gebracht worden.

2.5 Opname van microplastics door individuele zeedieren en mogelijke effecten op de gezondheid

Bij veel in het wild levende diersoorten zijn microplastics, en soms grotere stukken, aangetroffen in het maag-darmkanaal. Maar het effect hiervan op de gezondheid van de individuele dieren is grotendeels onbekend (Kühn et al 2020). In het algemeen wordt aangenomen dat inname van microplastics op drie manieren tot effecten op individuele organismen kunnen leiden (zie bijvoorbeeld Besseling et al., 2018):

1. Veroorzaken van verstopping van maag-darmkanaal
2. Uitlogen van giftige additieven
3. Als vector van in het milieu aanwezige contaminanten

Kleinere voorwerpen, zoals de met de MSC Zoe in verband gebrachte HDPE-pellets en PS-korrels, kunnen door dieren worden ingeslikt. Als dit leidt tot permanente verstoppingen, dan zijn de gevolgen voor het individu lethaal. Maar ook plastics die het maag-darmstelsel wel verlaten, kunnen in theorie effect hebben op de normale voedselopname en daarmee de conditie van het dier aantasten.

Indien de microplastics chemische additieven bevatten, zoals vlamvertragers of weekmakers, dan kunnen deze tijdens het verblijf in het lichaam uit de plastic deeltjes vrijkomen. In hoge concentraties kunnen deze stoffen leiden tot gezondheidseffecten.

Welke bovenstaande processen relevant zijn bij de door de MSC Zoe verloren microplastics is in dit project onderzocht.

Er is geen aandacht besteed aan de rol van de microplastics als vector van in het milieu aanwezige slecht wateroplosbare contaminanten (zoals PCB's). Hoewel deze optie nog steeds veelvuldig wordt geopperd is inmiddels aangetoond dat deze rol van microplastics in het waterig milieu onder realistische omstandigheden nihil is. Dit is het gevolg van het feit dat dezelfde contaminanten ook accumuleren in het voedsel (Herzke et al., 2015) en sediment (Besseling et al., 2017) waar de dieren in veel grotere mate aan worden blootgesteld dan aan plastics. Bovendien komen de contaminanten slechts weinig vrij tijdens passage van het maagdarmkanaal (Nordland et al., 2020).

2.6 Ecologische effecten van microplastics

In de vorige paragraaf is kort ingegaan op mogelijke effecten van ingeslikt plastic op individuele organismen. Wanneer inslikken van plastic incidenteel tot schade leidt bij een individu dan zal dit geen ecologische effecten tot gevolg hebben. Dit risico is wel aanwezig wanneer schade aan individuen op grote schaal onstaat, zeker als het een soort(groep) betreft met een duidelijke ecologische functie.

Ook zonder dat het direct wordt ingeslikt kunnen microplastics het functioneren van een ecosysteem beïnvloeden. Zo kunnen hoge concentraties kleine onverteerbare deeltjes in de waterkolom de filterefficiëntie, en dus de voedselopname van schelpdieren negatief beïnvloeden waardoor deze minder hard groeien, en mogelijk verzwakken. Bij wadpieren is aangetoond dat verdunning van voedselrijk sediment met grote hoeveelheden microplastics kan leiden tot minder voedselopname (Besseling et al., 2013).

3 Opzet van het onderzoek

3.1 Inleiding

Bij het ontwerp van het onderzoek is, het advies van de Waddenacademie volgend, zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande bemonsterings-, monitoring- en meetprogramma's verspreid over het jaar 2019 (T1, Philippart et al., 2019). Daarom zijn waar mogelijk monsters gebruikt die toch al genomen werden, of extra monsters genomen waar/wanneer er voor andere doelen gemonsterd werd. Deze aansluiting bij bestaande programma's maakt het mogelijk om snel na het ongeluk te beginnen met het verzamelen van monsters, en voor een zo groot mogelijk aantal typen monsters een vergelijking met het jaar voor het ongeluk (T0) te maken. Bij het onderzoek lag de focus op de HDPE-pellets en PS-korrels die in relatie worden gebracht met MSC Zoe.

In de volgende sub-paragrafen wordt kort de opzet van het onderzoek rond de vier onderzoeksvragen geschetst, en een overzicht gegeven van de onderzochte monsters. Details over de gevolgde methoden en de onderzoeksresultaten worden in de volgende hoofdstukken beschreven.

3.2 Karakterisering van de verloren microplastics

NIOZ medewerkers konden een kleine hoeveelheid PS-korrels verwerven uit de op de MSC Zoe achtergebleven containers waaruit dit materiaal op zee verloren werd. Medewerkers van WMR hebben op 15 januari 2019 op het strand van Schiermonnikoog een monster verzameld van de daar ruim aanwezige HDPE-pellets. Iets later werd tijdens onderzoek op een Groninger kwelder een zak met 25 kg van dezelfde pellets aangetroffen (Figuur 1). Daardoor was voldoende basismateriaal beschikbaar voor de karakterisering van de microplastics. Hierbij werd het uiterlijk beschreven en het gemiddelde formaat bepaald, de polymeersamenstelling vastgesteld mbv Raman spectrometrie en FTIR (Fourier Transform Infrarood Spectroscopie) (voor uitleg van deze twee methoden zie Hoofdstuk 4), en een chemische analyse uitgevoerd naar de aanwezigheid van additieven, waarbij vooral gekeken werd naar vlamvertragers en weekmakers.



Figuur 1. Zak met 25 kg HDPE-pellets aangetroffen op een Groninger kwelder in januari 2019 (foto: Cor Sonneveld, WMR) en losse HDPE-pellets op de vloedlijn van Schiermonnikoog in dezelfde periode (foto: Jan Andries van Franeker).

3.3 Verspreiding van microplastics

3.3.1 Veldmonsters

Om inzicht te krijgen in de ruimtelijke verspreiding van HDPE-pellets en PS-korrels zijn monsters genomen op stranden en van het sediment van het Nederlandse deel van de Waddenzee. Ook zijn enkele monsters genomen nabij de kust op de Noordzee. De monsters zijn geanalyseerd op macro-plastics en microplastics groter dan 300 micrometer. Analyse op deeltjes kleiner dan 300 micrometer is zeer arbeidsintensief, en kon niet worden uitgevoerd binnen het tijdsbestek en budget van dit project.

In januari 2020 besloot gemeente Schiermonnikoog om HDPE-pellets op de stranden van het eiland op te gaan ruimen. Om de situatie voor de opruimactie vast te leggen is in het kader van dit project een extra survey uitgevoerd.

3.3.2 Computersimulaties

Computersimulaties zijn uitgevoerd van de mogelijke verspreiding van de HDPE-pellets en PS-korrels met twee deeltjesverspreidingsmodellen: een relatief grof en grootschalig model van de noord-west Europese zeeën (NWES) voor verspreiding op de Noordzee (zie bv. Van der Molen et al., 2018), en een fijn gedetailleerd model (Waddenzeemodel) voor verspreiding in de Nederlandse Waddenzee Duran-Matute et al. (2014). Beide modellen maken voor de hydrodynamica gebruik van GOTM (gotm.net) en GETM (getm.eu), en voor deeltjesverspreiding van GITM (opvraagbaar via de auteurs). Dergelijke computermodellen berekenen hoe deeltjes worden verplaatst door zeestromingen en waar zij uiteindelijk terecht komen. Omdat niet bekend is waar en wanneer de HDPE-pellets en PS-korrels precies in zee terecht zijn gekomen zijn deze simulaties geen nauwkeurige weergave van de verspreiding na het ongeluk, maar geven in plaats daarvan een algemeen beeld van de mogelijke verspreiding van deze pellets en korrels.

3.4 Opname door biota

Om te onderzoeken of er (plastic) materiaal afkomstig uit MSC Zoe terug te vinden is in dieren die zich in 2019 in de omgeving van het incident bevonden, zijn de ingewanden onderzocht van schelpdieren, vissen, zeevogels en bruinvissen en zeehonden, ook zijn braakballen en uitwerpselen van vogels onderzocht. Het onderzoek aan zeevogels, bruinvissen en zeehonden werd uitgevoerd aan exemplaren die dood langs de kust werden angetroffen. De vissen werden verzameld tijdens lopende onderzoeken. Verschillende soorten schelpdieren werden in de Waddenzee verzameld tijdens de SIBES en Waddenmozaiek programma's. Ook werden *Spisula*'s verzameld nabij de route van MSC Zoe.

3.5 Ecologische effecten

De potentiële effecten van de PS-korrels op de levensgemeenschap van de Waddenzee zijn onderzocht in experimentele ecosystemen, ook wel mesocosms genoemd, van ruim 5 m³. Mesocosms laten zich het eenvoudigst omschrijven als proefvijvers, in dit geval gevuld met zoutwater, sediment en een mariene levensgemeenschap. Elke mesocosm vormt een *stand-alone* mini ecosysteem waarin de basis van de mariene voedselketen (primaire producenten: fytoplankton, perifyton, macroalgen, en primaire en secundaire consumenten: zoöplankton, schelpdieren, kreeftachtigen, wormen en kleine vis) vertegenwoordigd is. In een mesocosm studie worden niet alleen de directe effecten van een verstoring zichtbaar maar ook indirecte effecten als gevolg van interacties tussen soorten onderling en met hun omgeving. De omvang en de stabiliteit van de gebruikte mesocosms maken het mogelijk de impact gedurende langere tijd te volgen onder condities die de omstandigheden in het veld benaderen.

In de microplastics-literatuur worden inschattingen van mogelijke effecten van microplastics op het mariene ecosysteem tot dusverre vooral gemaakt aan de hand van veelal relatief kortdurende laboratorium-assays met individuele soorten. Dit levert inzichten op in hoe microplastics effecten kunnen veroorzaken, maar de extrapolatie naar de veldsituatie is lastig. Zo worden deze bioassays uitgevoerd met soorten die zonder grote problemen in het laboratorium gehouden kunnen worden. Dit zijn niet per definitie de meest gevoelige soorten. In een mesocosmstudie is een veelheid van soorten aanwezig, inclusief soorten die mogelijk gevoeliger zijn.

De plastic deeltjes ondergaan in de mesocosms processen die ook in het veld spelen. Zo zullen zij begroeid raken met microorganismen en algen, en 'besmeurd' raken met slibdeeltjes en dood organisch materiaal, waardoor ze door de dieren mogelijk eerder als eetbaar worden beschouwd. Het is moeilijk om deze processen in laboratoriumtesten op realistische wijze na te bootsen.

Tenslotte worden dieren in laboratoriumtesten kunstmatig gevoerd, terwijl zij in een mesocosm op natuurlijke wijze hun dieet zelf kunnen samenstellen en daar een groot deel van de dag mee bezig zijn. Als er in een laboratorium test, bijvoorbeeld met vissen, tijdens een voerperiode voedselnijd ontstaat kan dit tot minder selectieve voedselopname leiden met dus een hogere plastic inname tot gevolg. Anderzijds kan het, vanwege het over het algemeen eenduidige dieet in een laboratorium test makkelijker zijn voor het proefdier om het oneetbare plastic van voedsel te onderscheiden. In een mesocosm is geen sprake van perioden van voedselnijd, en moeten de dieren een grote variatie van deeltjes die zij tegenkomen op eetbaarheid onderzoeken. De opname van de plastic deeltjes zal daarom anders zijn dan wat in een laboratoriumtest wordt gevonden.

Bovenstaande redenen maken dat de resultaten uit een mesocosmonderzoek meer relevant zijn voor de veldsituatie dan een laboratorium test.

3.6 Overzicht onderzochte monsters

Een overzicht van de geanalyseerde monsters voor het bepalen van de verspreiding en opname door biota voor 2018 en eerder (T0) en 2019 (T1) is te vinden in Tabel 1. Gaande het onderzoek is besloten de T0 monsters van wadden sediment niet te analyseren omdat in de T1 monsters nauwelijks microplastics werden aangetroffen.

Tabel 1. Overzicht van de geanalyseerde monsters. *=dood aangetroffen op deze locatie

T1 (2019-2020)	Locatie omschrijving	Bemonsteringsperiode	Dataset	Totaal aantal monsters/ individuen
Water	Westelijke Waddenzee	feb, apr, jul, nov 2019	NIOZ grant, ERC Vortex project	95
Sediment				
Strand Schiermonnikoog	Schiermonnikoog	jan 2020	Dit project	114
Sediment	Nederlandse Waddenzee	juni-sept 2019	SIBES	376
Boxcores Noordzee	Ten noorden van Terschelling en Ameland	24 jan 2019	Project 'Ruimte voor vogels en vissers'	10
Boxcores Terschelling	Rond Terschelling	feb, apr, jul, nov 2019	NIOZ grant, ERC Vortex project	16
Schelpdieren				
Schelpdieren	Nederlandse Waddenzee	maart-sept 2019	SIBES en Waddenmozaiek	997
Spisula Noordzee	Ten noorden van de kop van Ameland		Project 'Ruimte voor vogels en vissers'	1447
Vissen				
Vissen	Texel, Schiermonnikoog	febr-nov 2019	NIOZ fuik tijdreeks	945
Haring scholen	Texel	maart-nov 2019	NIOZ fuik tijdreeks	2947
Vissen IBTS survey	Noordzee ten noorden van Nederland en Duitsland	jan-febr 2019	International Bottom Trawl Survey	224
Vissen Discards	Noordzee ten noorden en westen van Nederland	jan-dec 2019	Netherlands Discards Survey	854
Vogels				
Noordse stormvogel	Waddenzee, Noordzeekust*		OSPAR/KRM	44
Drieteenmeeuw	Ameland, Zeeland*	Jan-feb 2019	NSO	4
Zee-eend	Waddenzee*	Jan-mei 2019	NSO	15
Zeekoet	Waddenzee, Noordzeekust*	Jan-febr 2019	LNV	120
Alk	Waddenzee, Noordzeekust*	Jan-febr 2019	LNV	12
Roodkeelduiker	Texel*	maart 2020	Dit project	1
Uitwerpselen kanoeten	Griend, Rottum, de Robbenbank, de Schorren, Balgzand	aug-okt 2019	WATLAS	240
Braakballen kl. mantelmeeuw	Texel, Vlieland, Schiermonnikoog	mei-juli 2019	Diet of Gulls	704
Braakballen lepelaar	Texel, Vlieland, Terschelling, Schiermonnikoog, Rottumerplaat	mei-juli 2019	How do migratory birds find their way	25
Zoogdieren				
Bruinvissen	Waddenzee, Nooordzeekust*	jan-dec 2019	Dit project	44
Zeehonden	Waddenzee, Nooordzeekust*	jan 2019-jan 2020	LNV/Dit project	18

T0 (<2019)	Locatie omschrijving	Bemonsterings- periode	Dataset	Totaal aantal individuen
Vogels				
Noordse stormvogel	Waddenzee, Noordzeekust*	2014-2018	OSPAR/KRM	116
Roodkeelduiker	Voorname Waddenzee en Noord-Nederland*	1991-2015	Dit project	263
Uitwerpselen kanoeten	Griend, Rottum, de Robbenbank, de Schorren, Balgzand	aug-okt 2018	WATLAS	150
Braakballen kl. mantelmeeuw	Texel, Vlieland, Schiermonnikoog	mei-juli 2018	Diet of Gulls	244
Braakballen lepelaar	Texel, Vlieland, Terschelling, Schiermonnikoog, Rottumerplaat	mei-juli 2018	How do migratory birds find their way	25
Zoogdieren				
Bruinvissen	Waddenzee, Noordzeekust*	2014-2018	Dit project	213
Zeehonden	Waddenzee, Noordzeekust*	2009-2014	Dit project	47

4 Karakterisering van de verloren microplastics

Identificatie van de aangetroffen HDPE-pellets en PS-korrels is gedaan op basis van uiterlijk (formaat, vorm en kleur) en polymeersamenstelling. Omdat deze identificatie nooit 100% zekerheid biedt dat een deeltje van de MSC Zoe afkomstig is, worden aangetroffen microplastics met een 'positieve match' hieronder aangeduid als PosMa HDPE-pellets of PosMa PS-korrels.

4.1 HDPE-pellets

4.1.1 Uiterlijk en formaat

De HDPE-pellets uit de zak die op het Groninger wad werd aangetroffen zijn wit en ovaalvormig, met een gemiddelde maximale diameter $4,5 \pm 0,42$ mm, en een minimale diameter van $3,95 \pm 0,17$ bij een gemiddelde dikte van ca. 2,3 mm (Figuur 2).

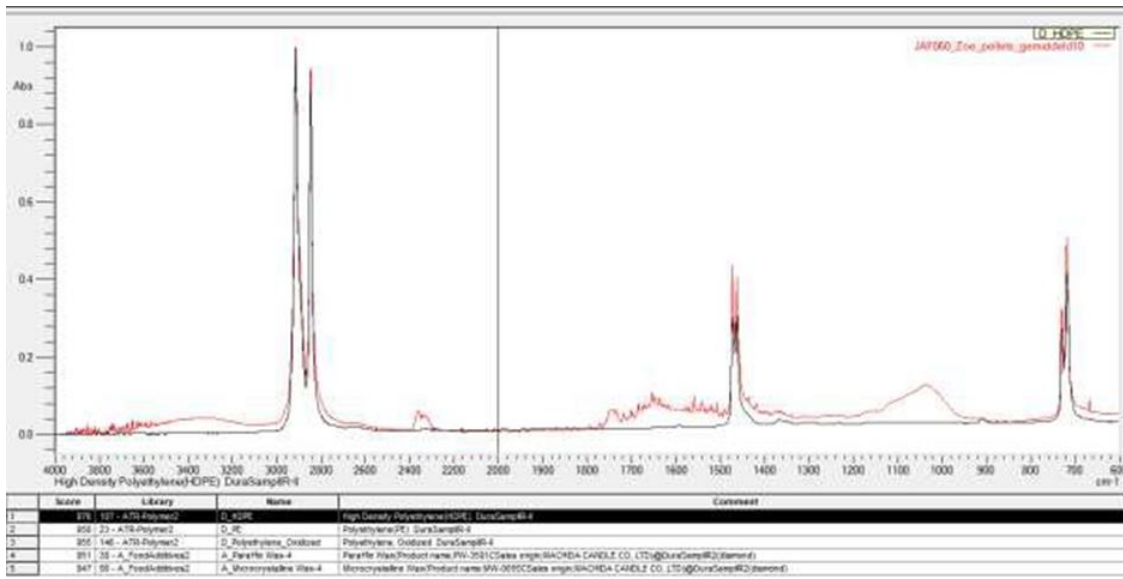


Figuur 2. HDPE-pellets.

4.1.2 Polymeersamenstelling: FTIR

De polymeersamenstelling van de pellets is, als referentie voor identificatie van in monsters aangetroffen pellets, met behulp van FTIR (Fourier Transform Infrarood Spectroscopie) vastgesteld. Bij de FTIR methode wordt een voorwerp beschenen met een infrarood (IR) lichtbron en wordt het reflecterende licht van een voorwerp opgevangen en in een spectrum weergegeven. Dit spectrum wordt vergeleken met een interne bibliotheek en de stoffen met de meeste overlap worden getoond, samen met een indicatie van de betrouwbaarheid van de identificatie met een betrouwbaarheidscode. Om een betrouwbaar beeld van de pellets te krijgen, zijn 21 verschillende pellets aan de buitenzijde (mogelijk verweerd/vervuild) doorgemeten, en tevens na doorsnijden aan de binnenzijde gemeten. Tien verschillende spectra van de buitenkant en tien spectra van de binnenkant werden achteraf samengevat in twee gecombineerde spectra voor de interne bibliotheek die gebruikt kunnen worden als indicatie of in zee of in dieren gevonden pellets mogelijk van MSC Zoe afkomstig zijn. De analyse bevestigde de beschrijving op de zak met pellets die werd aangetroffen op de Groninger kwelder (Figuur 1): de pellets bestaan uit High Density Polyethylene (HDPE, Figuur 3). HDPE (CASnr 9002-88-4) is één van de meest geproduceerde plastic types wereldwijd. Het is een thermoplast, een kunststof die bij verhitting zacht wordt en daardoor eenvoudig is te verwerken in uiteenlopende producten. Met een soortelijk gewicht van 0.96 g/cm^3 (<https://polymerdatabase.com/Commercial%20Polymers/HDPE.html>, bezocht op 09 dec'20) is HDPE lichter dan water, daarom zullen in zee verloren pellets dus drijven.

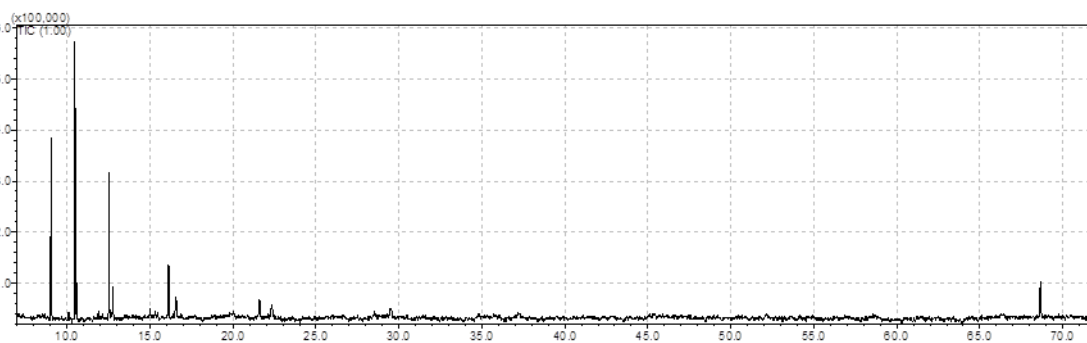
Om te onderzoeken of er verandering optreedt aan het FTIR spectrum wanneer de pellets door vogels zijn ingeslikt, werden tien pellets blootgesteld aan eerder verzameld maagolie van noordse stormvogels, bij de typische lichaamstemperatuur van 40°C . Na een week blootstelling werden deze tien pellets aan de buitenkant gemeten met FTIR. De simulatie van het verblijf in de vogel had geen invloed op de 'fingerprint' van de pellet.



Figuur 3. Spectrum van HDPE uit de interne FTIR bibliotheek (zwart) en het gecombineerd spectrum van de buitenkant van 10 Zoe HDPE-pellets (rood).

4.1.3 Additieven

Om te onderzoeken of de pellets chemische additieven bevatten zoals vlamvertragers of weekmakers is 1 gram pellets gedurende 3 dagen geëxtraheerd in 10 ml hexaan. Het hexaan is daarna geconcentreerd tot 1 ml en geïnjecteerd op een gaschromatograaf met massaspectrometer (GC-MS; full scan op een scan range van 50-850). De pieken zijn vervolgens per stuk bekeken en waar mogelijk zijn geëxtraheerde stoffen geïdentificeerd aan de hand van de NIST 2017 database. Er werden geen bekende vlamvertragers of weekmakers aangetroffen, wel vertoonde het chromatogram (Figuur 4) een aantal lage pieken, die duiden op lage concentraties, van stoffen die niet met zekerheid geïdentificeerd konden worden, maar die gezien de spectra allemaal tot de groep van 'esters' behoren. Esters zijn organische stoffen die onder andere gebruikt worden als oplosmiddel, en van nature voorkomen in bijvoorbeeld fruit. In het algemeen zijn deze stoffen niet giftig.

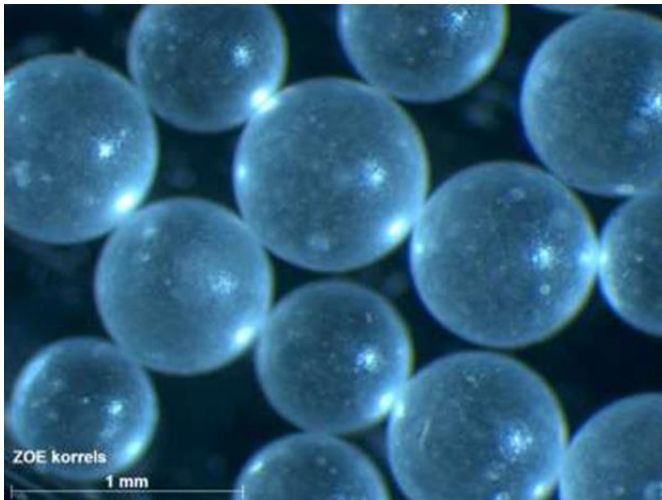


Figuur 4. GC-MS chromatogram van het concentreerde hexaan extract van de HDPE-pellets.

4.2 PS-korrels

4.2.1 Uiterlijk en formaat

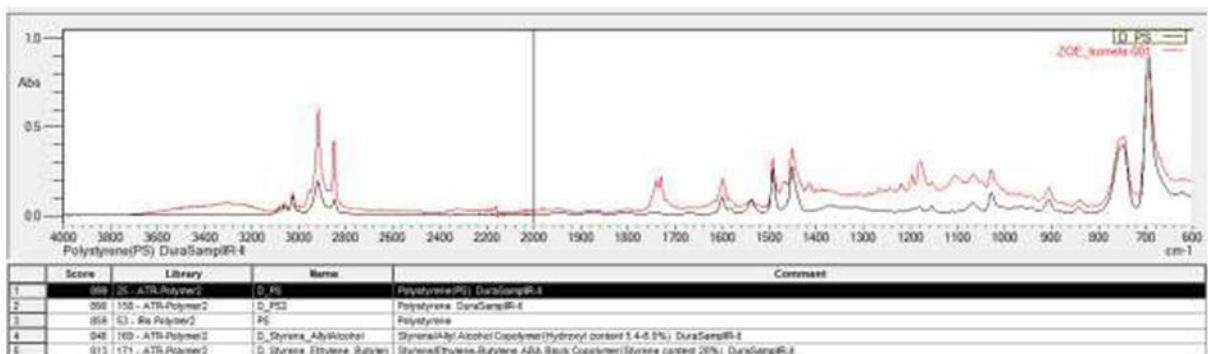
De korrels zijn bolvormig, en troebel transparant. Onder de microscoop zijn in sommige korrels kleine ingesloten gasbubbel zichtbaar (Figuur 5). De gemiddelde diameter was $0,695 \pm 0,053$ mm.



Figuur 5. Detailopname van de PS-korrels afkomstig uit de Zoe containers.

4.2.2 Polymeersamenstelling

Vanwege het kleine formaat kunnen de PS-korrels niet individueel met de FTIR geanalyseerd worden (dit is echter wel mogelijk met Raman-FTIR microscopie, zie Sectie 4.3). Daarom is bij aanvang van dit onderzoek een groot aantal korrels tegelijkertijd gemeten. De spectra worden daardoor iets onnauwkeuriger omdat de lucht tussen de korrels enigszins verstrendend werkt. Maar toch geven alle metingen duidelijk aan, dat het materiaal uit polystyreen (PS) bestaat (Figuur 6).

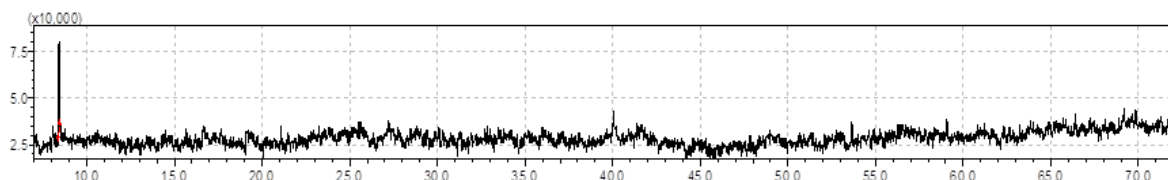


Figuur 6. Spectrum van polystyreen (PS) uit de FTIR bibliotheek (zwart) en het gecombineerd spectrum van de door de Zoe verloren PS-korrels (rood).

Polystyreen (CASnr. 9003-53-6) is in deze vorm de basis voor piepschuim. In de korrels is een gas (niet geanalyseerd, maar pentaan is gebruikelijk) in nauwelijks zichtbare belletjes ingesloten. Bij verhitting wordt het polystyreen zacht en neemt het gas in volume toe, waardoor het transparante korreltje zich 'ontpopt' tot een wit balletje piepschuim (Expanded Polystyreen, EPS) dat vele malen groter is dan het basismateriaal. In geëxpandeerde vorm heeft het materiaal een zeer groot drijfvermogen. Zeker in vergelijking met niet geëxpandeerd polystyreen waarvan het soortelijk gewicht van $1,05 \text{ g/cm}^3$ (<https://polymerdatabase.com/polymers/polystyrene.html>, bezocht op 09 dec 2020) net iets groter is dan dat van zeewater (ca. $1,02 \text{ g/cm}^3$). Deze niet geëxpandeerde korrels zinken dus in zeewater.

4.2.3 Additieven

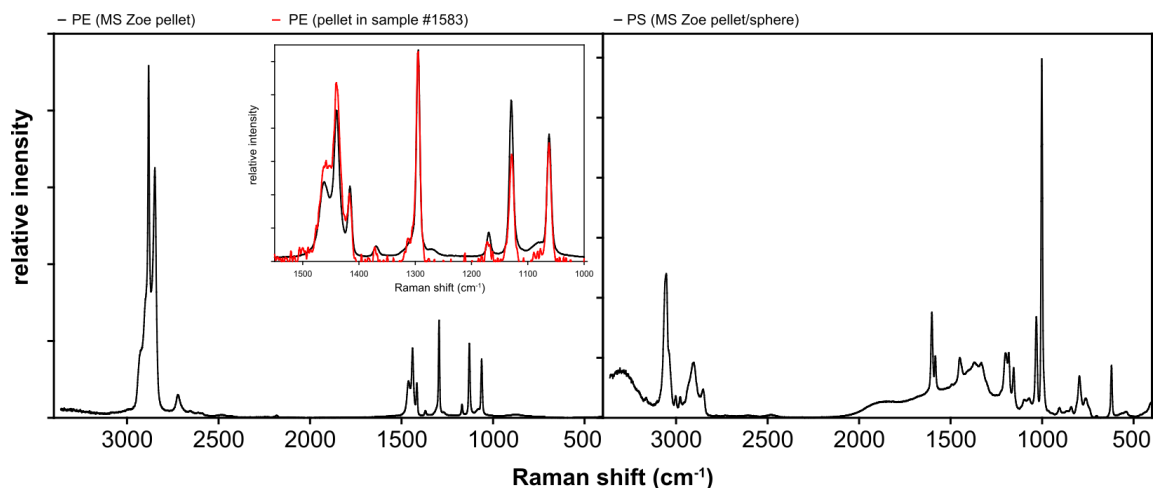
De PS-korrels zijn op dezelfde wijze onderzocht op chemische additieven als de HDPE-pellets. Het monster bevatte geen bekende vlamvertragers of weekmakers. Het chromatogram toonde één duidelijke piek die geïdentificeerd kon worden als Acetophenone (CASnr. 98-86-2) (Figuur 7). Dit is een 'photopolymerization initiator' die wordt toegepast bij de productie van polymeren (https://www.tcichemicals.com/assets/brochure-pdfs/Brochure_F2037_E.pdf, bezocht op 09 dec 2020). Acetophenone wordt ook toegepast in de farmaceutische en voedingsindustrie vanwege het amandel/fruit aroma. De stof komt ook van nature voor in bijvoorbeeld appels, abrikozen, banaan en rundvlees, en staat niet als giftig bekend (https://www.chemicalbook.com/CASEN_98-86-2.htm, bezocht op 18 nov 2020).



Figuur 7. GC-MS chromatogram van het concentreerde hexaan extract van de PS-korrels. De piek duidt op de aanwezigheid van acetophenone, een hulpstof bij het productieproces van polymeren.

4.3 Identificatie van polymeren met Raman en FTIR spectroscopie met microscopie

Voor de identificatie van de microplastics is ook gebruik gemaakt van Raman en FTIR spectroscopie gecombineerd met microscopie. Dit zijn niet-destructieve en complementaire technieken, die optische spectra genereren voor het identificeren van de chemische samenstelling van stoffen, waarbij zeer kleine individuele deeltjes, zoals de PS-korrels, geanalyseerd kunnen worden. Bij Raman spectroscopie belicht een laser het materiaal, waarbij het monochromatische licht interacteert met de trillingen van de moleculen waaruit het monster bestaat. Dit leidt tot inelastische verstrooiing van fotonen: een molecuul wordt aangeslagen naar een hoger energieniveau door de inkomende fotonen. Als het vervolgens vervalt naar de basistoestand zendt het fotonen uit van een andere golflengte dan de inkomende fotonen - de Stokes Raman verschuiving. Deze worden gedetecteerd, en het resulterende spectrum wordt gebruikt voor de identificatie van de hoofdstructuur van de plastic polymeren. Bij FTIR spectroscopie wordt een infrarood (IR) lichtbron gebruikt om het monster te belichten. Daarbij zorgt het vibratiegedrag van atoomverbindingen in de moleculen voor specifieke absorptiepatronen van het IR licht. FTIR is met name geschikt voor het detecteren van verbindingen tussen verschillende typen atomen (bv. C-O verbindingen). Het NIOZ gebruikt een Thermo Fisher DXR3 Raman and Nicolet iN10MX FTIR microscope, de laatste in reflectie mode. Het monster wordt gescand, en de Raman/FTIR spectra worden vergeleken met spectra uit een referentie database, inclusief spectra van HDPE-pellets en PS-korrels aangetroffen na het MSC Zoe ongeluk. Een monster werd gezien als een 'positieve match' (PosMa) als de geometrie (vorm en afmeting) overeenkwam (Feret diameter = $4,5 \pm 0,42$ mm, min. Feret diameter = $3,95 \pm 0,17$) en de PS-korrels (diameter = $0,695 \pm 0,053$ mm), en het Raman/FTIR spectrum voor meer dan 95% overeenkwam.



Figuur 8. Raman spectra van HDPE-pellets (links) en PS-korrels (rechts). Zwart: referentie samples. Rood: veldmonster.

5 Verspreiding van plastics

5.1 Zwerfvuil

Tijdens een aantal surveys die WMR jaarlijks uitvoert is in 2019 ook de aanwezigheid van zwerfvuil geregistreerd. Het betreft hier de volgende surveys waarvan de resultaten individueel zijn gerapporteerd: WOT-schelpdiersurvey (Van Zwol & Troost, 2019), de Beam Trawl Survey (BTS) Noordzee en Duitse bocht, en de Demersal Fish Survey (DFS) Nederlandse Waddenzee en Noordzeekustzone (Volwater & van Hal, 2019).

Tijdens de schelpdiersurvey werd in 2019 op 56 van de 983 (5.7%) bezochte locaties in de Noordzee, en op 121 van de 1434 (8.4%) bezochte locaties in de Waddenzee zwerfvuil gevonden. De hoofdmoot van het aangetroffen afval bestond uit monofilament draden. Geen van de aangetroffen objecten leek afkomstig van de MSC Zoe. Tijdens het inmeten van droogvallende mossel- en oesterbanken in de Waddenzee is een traject van 600-700 km afgelegd, waarbij de aanwezigheid van zwerfvuil dat vanuit stand direct met het blote oog zichtbaar was werd genoteerd. Hierbij werd op 7 locaties zwerfvuil aangetroffen. Op 4 van deze locaties, rond Ameland en Schiermonnikoog, werd materiaal gevonden dat mogelijk afkomstig was uit de verloren lading van de MSC Zoe (4 schoenen, 2 mandjes en 1 achterzijde van een router).

Tijdens de BTS en DFS survey in 2019 werd respectievelijk in 99% en 41% van de trekken afval gevonden. Dit afval is hoofdzakelijk plastic, bestaande uit voornamelijk monofilamenten, vel/blad en synthetisch touw (90% BTS en 96% DFS afval). Op de meeste afvalitems die qua type eventueel gerelateerd zouden kunnen worden aan de MSC Zoe werd aangroei van organismen aangetroffen die duiden op een langer verblijf in zee dan vanaf januari 2019. Een uitzondering hierop waren een luchtfilter en een schoenzool. Die werden echter niet in de buurt van de incidentlocatie gevangen.

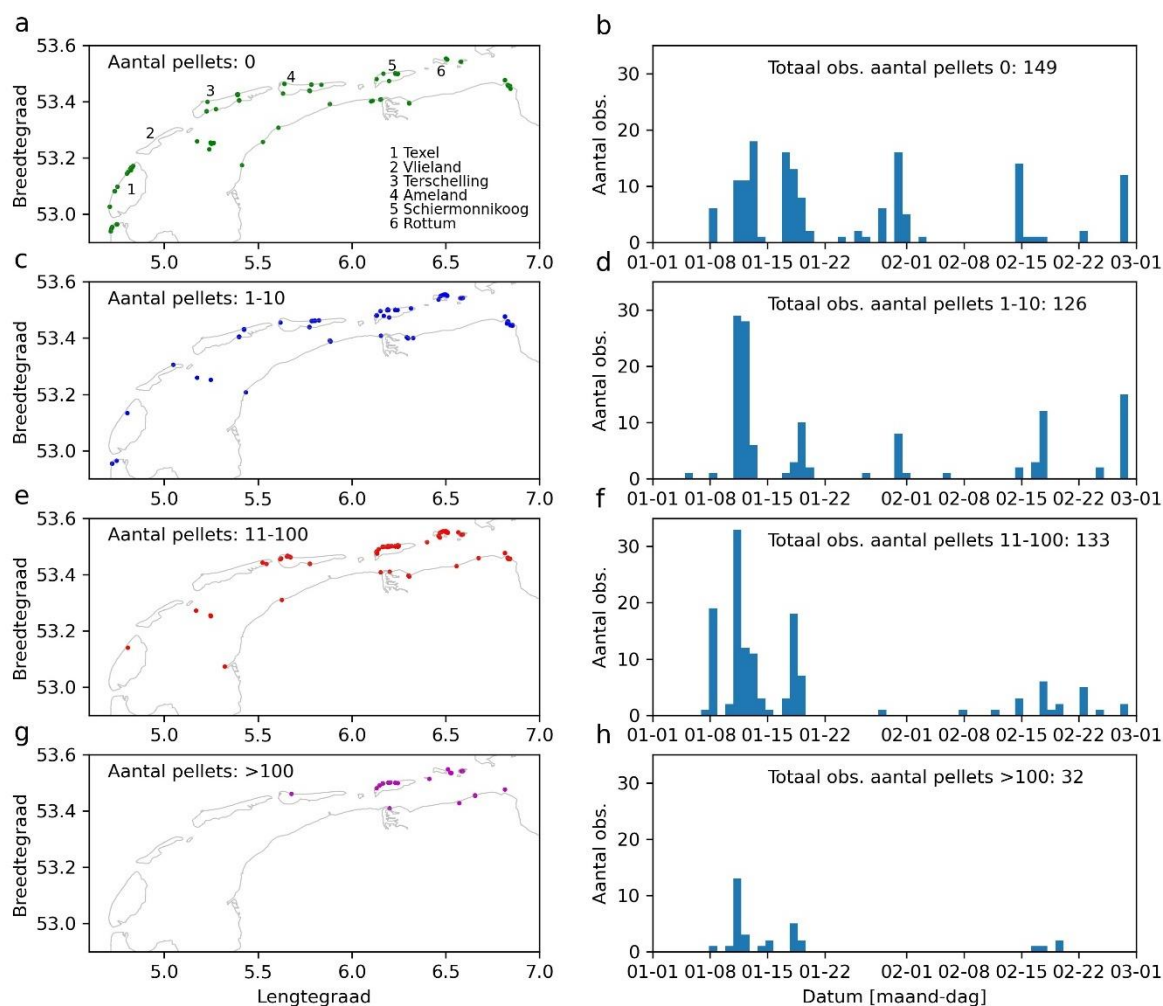
Het zwerfvuilonderzoek uit de drie surveys richtte zich op de inventarisatie van grover afval, waarbij de kleine HDPE-pellets en PS-korrels niet werden meegenomen. Daarnaast heeft Natuurmonumenten op 9 september 2019 met vrijwilligers strandafval verzameld op Griend. In totaal werden meer dan 3500 items verzameld. RWS Noord-Nederland heeft opdracht gegeven dit materiaal vervolgens te categoriseren. Eén procent hiervan kon worden herleid naar de MSC Zoe. Dit betrof voornamelijk speelgoed, kussens, schoenen, beschermingsfolie en piepschuim (Strietman et al., 2020). Het zwerfvuil onderzoek toont aan dat de Waddenzee niet plastic vrij was voor het incident met MSC Zoe.

5.2 Aangespoelde HDPE-pellets

5.2.1 Publiekswaarnemingen

Door Rijksuniversiteit Groningen (RUG) is in samenwerking met NIOZ in een vroeg stadium na het incident een website opgezet waarop het publiek vondsten van pellets kon rapporteren met een grove schatting van aantallen (waddenplastic.nl). Deze actie is geen onderdeel van de opdracht van RWS aan NIOZ en WMR, maar wordt vanwege de relevantie voor dit onderzoek hier toch beschreven.

Onderzoekers van RUG/NIOZ hebben zelf ook waarnemingen gemeld op de website. Er zijn vooral in januari en februari pellets gemeld in het hele Waddengebied, maar met name tussen de oostpunt van Terschelling en de Eems-Dollard. De meeste meldingen betreffen de stranden van de eilanden, maar er zijn ook meldingen van de waddenkant van Ameland en Schiermonnikoog, en langs de Friese en Groningse kust (van der Heide, 2019, Figuur 9). Deze meldingen geven een eerste indicatie van de aanwezigheid van pellets, maar er zijn ook grote stukken kust zonder gegevens. De meeste meldingen zijn gedaan in de eerste drie weken na het incident. In september en oktober 2019 is het strand van Schiermonnikoog meer systematisch onderzocht op aanwezigheid van plastic pellets (Gaal, 2019). Graal trof langs het hele strand pellets aan, de hoogste concentraties werden gevonden rond het midden van het eiland. In vergelijking met de meldingen op waddenplastic.nl werden lagere aantallen per waarneming aangetroffen. Het is mogelijk dat een deel van de pellets weer is weggespoeld, weggewaaid, of begraven onder het zand. Overigens is van de aangetroffen pellets niet vastgesteld welk deel mogelijk afkomstig was van de MSC Zoe: er kunnen kleine aantallen pellets van andere bronnen aanwezig zijn in het gebied. Midden januari 2020 is het strand van Schiermonnikoog opnieuw bemonsterd op HDPE-pellets, waarbij 114 zandmonsters zijn verzameld voor analyse op PS-korrels. Naast tellingen van HDPE-pellets zijn deze extra monsters ook geanalyseerd op type plastic en aanwezigheid van PS-korrels (zie Sectie 5.2.2).



Figuur 9. Waarnemingen van HDPE-pellets in een 0,4x0,4 m rechthoek, gemeld op waddenplastic.nl in januari en februari 2019. Van boven naar beneden: het aantal waargenomen pellets per 0,4x0,4 m rechthoek in vier categorieën: geen pellets, 1-10 pellets, 11-100 pellets, meer dan 100 pellets. Links de monsterlocaties (N.B. vanwege de schaal van de kaartjes is niet elke monsterlocatie apart te onderscheiden), en rechts het aantal waarnemingen (inventarisaties van een 0,4x0,4 m rechthoek) per dag. waddenplastic.nl is georganiseerd door Laura Govers (RUG/NIOZ), Tjisse van der Heide (RUG/NIOZ) en Han Olf (RUG).

5.2.2 Strandmonsters Schiermonnikoog

Bemonstering

NIOZ heeft in januari 2020 op het strand van Schiermonnikoog, tussen strandpalen 2 en 16, de vloedlijnen bemonsterd (Figuur 10c). Bij elke strandpaal werden 1-3 vloedlijnen geselecteerd, resulterend in een totaal van 38 monsterpunten. Deze bemonstering vond plaats vlak voor een grote opruimactie georganiseerd door gemeente Schiermonnikoog. Op elk monsterpunt werd driemaal het bovenste laagje zand verzameld van een 40 x 40 cm rechthoek. Op vlak strandoppervlak was dit ongeveer 3-5 mm, op ruwer oppervlak variabel tot enkele cm. Gemiddeld werd per monster ongeveer 1,5 l sediment verzameld, overeenkomend met een gemiddeld laagje van 1 cm. De rechthoeken werden midden over de vloedlijnen geplaatst, met een willekeurige afstand van 2-20 m tussen de drie monsters. In sommige gevallen bestonden de vloedlijnen uit kaal zand, maar hoger op het strand werden soms grote hoeveelheden drijfmateriaal aangetroffen, zoals bv. los zeewier. De monsters werden gekoeld bewaard in afwachting van verdere verwerking in het laboratorium.

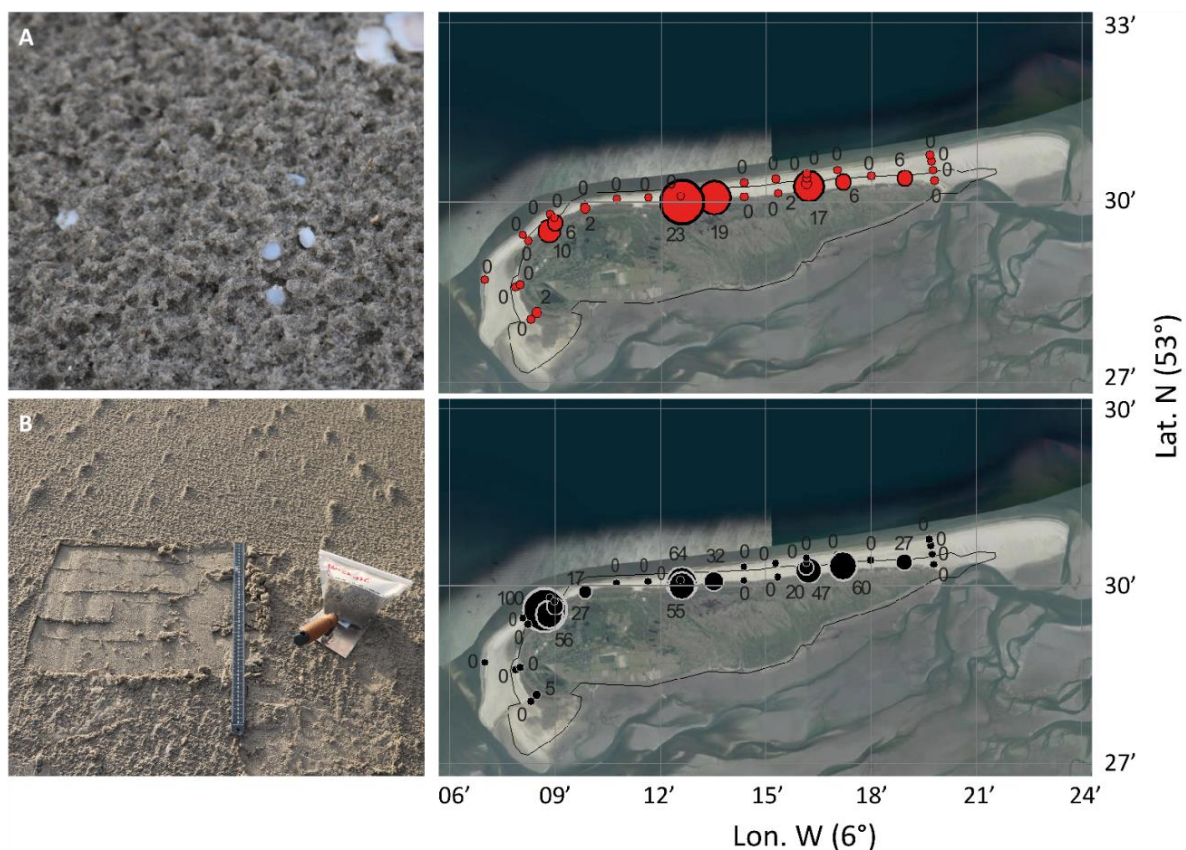
Analyse

Alle 114 strandmonsters zijn geanalyseerd op de aanwezigheid van microplastics en op samenstelling geanalyseerd met de Raman spectrometer. Microplastics werden gescheiden van het achtergrondmateriaal met 2 scheidingsstappen op soortelijk gewicht, en vervolgens met 2 afbraakstappen om organische coatings die kunnen interfereren met Raman/FTIR spectroscopie te

verwijderen (Blair-Crawford, 2017). De monsters werden achtereenvolgens gezeefd door een 1000µm en een 100µm roestvrijstalen zeef (water) of 335µm (sediment). Het verzamelde materiaal werd met gedemineraliseerd water gespoeld en verzameld in een bekerglas. Vervolgens werd vast ZnCl₂ aan dit mengsel toegevoegd in een verhouding van 1:1 (gewicht/volume), resulterend in een vloeistof met een soortelijk gewicht van meer dan 1,6 g cm⁻³. Dit mengsel werd 15 minuten geroerd met een PTFE gecoate roerstaaf om het ZnCl₂ op te lossen, en vervolgens 15 minuten in glazen cylinders gecentrifugeerd met 1800 omw/min om een scheiding van plastic (drijvend) en materiaal met hoger soortelijk gewicht te verkrijgen. Het mengsel werd afgeschonken in een 100µm RVS zeef, en de deeltjes werden uitgewassen met MilliQ water en verzameld in een bekerglas. Vervolgens werd H₂O₂ (30%) toegevoegd aan het deeltjes-water mengsel in een verhouding van 1:1 (volume/volume). Het bekerglas werd bedekt met aluminiumfolie, en de reactie werd gedurende 12 uur bevorderd bij 60°C. Het mengsel werd gezeefd door een 100µm RVS zeef en de deeltjes werden uitgespoeld met MilliQ water en verzameld in een bekerglas. Vast ZnCl₂ werd toegevoegd in een 1:1 verhouding (gewicht/volume) en 15 minuten geroerd met een PTFE gecoate roerstaaf. Het mengsel werd afgeschonken in een scheidingstrichter en gedurende 1 uur met rust gelaten. Het onderste deel met deeltjes met hoog soortelijk gewicht (ongeveer de helft van de vloeistof) werd verwijderd en de bovenlaag met plastic deeltjes werd verzameld in een bekerglas. Dit werd nogmaals onderworpen aan de H₂O₂ behandeling en opnieuw gezeefd zoals boven beschreven. Het gezeefde materiaal werd verzameld in een bekerglas en gefilterd op Anodisc filters. De filters werden gedroogd op 60°C en onderworpen aan de Raman/FTIR analyse, met nadruk op HDPE-pellets en PS-korrels.

Resultaten

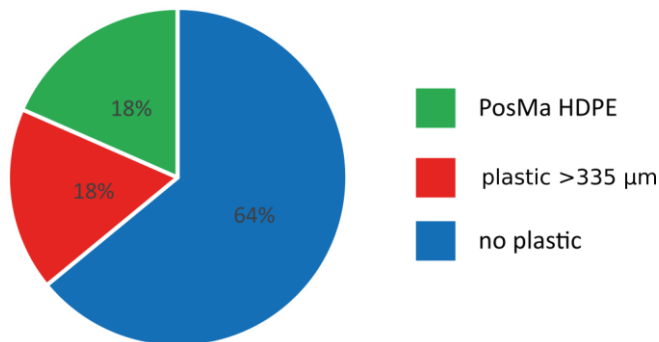
Van alle monsters bevatte 36% ten minste 1 stukje plastic polymeer, en 50% daarvan (18% van het totaal) bevatte ten minste 1 HDPE-pellet zoals gevonden op de stranden na het MSC Zoe incident (Figuur 11). Er werden in deze monsters geen PS-korrels aangetroffen.



Figuur 10. Strandmonsters van Schiermonnikoog, januari 2020. A. Zichtbare HDPE-pellets zoals aangespoeld in de dagen na het MSC Zoe incident op de vloedlijn. B. Per monsterpunt werd, van 3 rechthoeken van 40x40 cm, het bovenste laagje afgeschraapt met een RVS troffel. C. De hoogste concentraties HDPE-pellets (23 pellets per m²) werden gevonden in de buurt van het midden van het eiland tussen paal 8 en paal 12. D. HDPE-pellets maakten een belangrijk deel uit van de aangetroffen plastic deeltjes (ongeveer 50% in het midden van het eiland).

De ruimtelijke verdeling van de HDPE-pellets langs het strand had de hoogste aantallen, tot 23 pellets per m⁻² in het midden van het bemonsterde gebied (Figuur 10C). Rond die locatie was het aandeel HDPE-pellets op het totaal aantal plastic deeltjes met ~50% relatief hoog (Figuur 10D). Dit geeft aan dat, ook

een jaar na het ongeval, deze pellets een belangrijke bron van plastic afval zijn op het strand van Schiermonnikoog. Het ruimtelijk patroon van onze resultaten komt in grote lijnen overeen met een eerdere studie uit oktober 2019 (Graal, 2019), waarin echter de aangetroffen aantallen hoger waren.



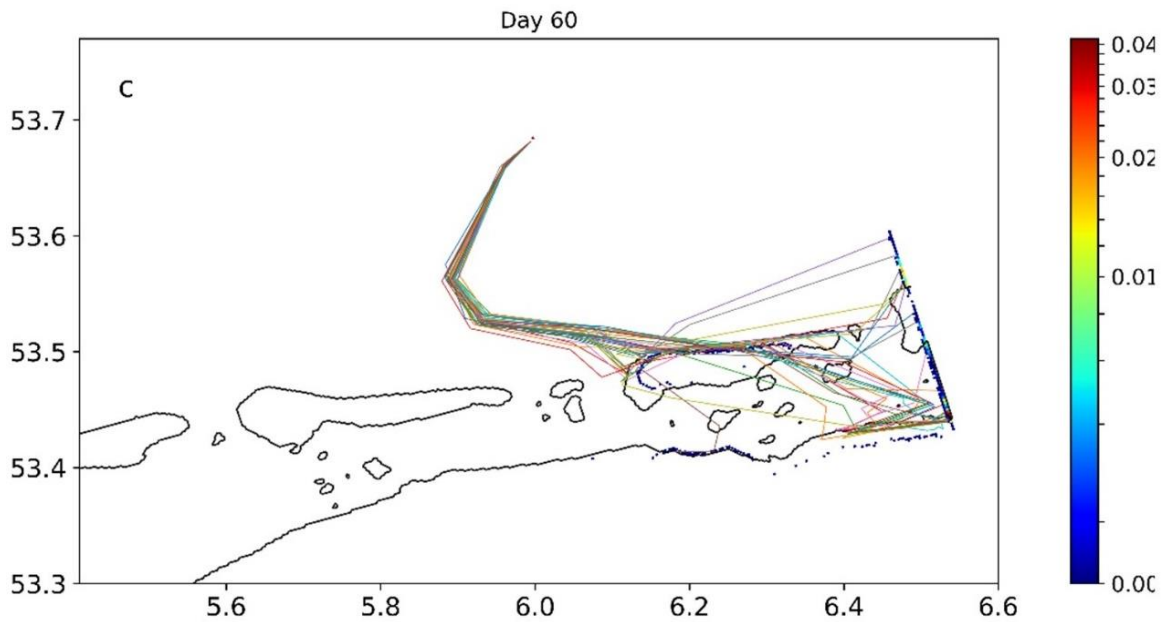
Figuur 11. Analyse van plastics in strandmonsters van Schiermonnikoog. De getallen geven het percentage van het aantal monsters weer. Meer dan 1/3 van de verzamelde monsters bevatte plastics. De helft van deze monsters bevatte mede HDPE-pellets met een positieve match (PosMa). Er zijn in deze monsters geen PS-korrels gevonden.

5.3 Deeltjesverspreidingsmodel

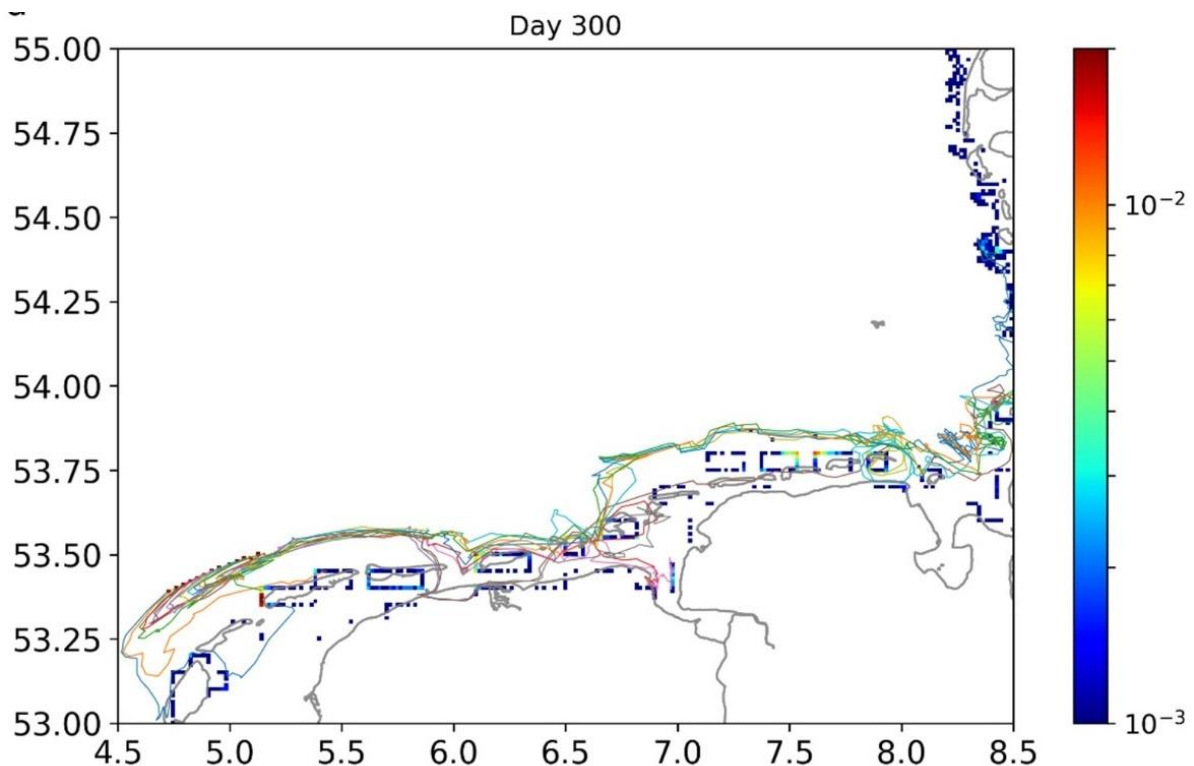
Computersimulaties zijn door het NIOZ uitgevoerd met twee deeltjesverspreidingsmodellen: een relatief grof en grootschalig model van de noord-west Europese zeeën (NWES) voor verspreiding op de Noordzee, en een fijn gedetailleerd model voor verspreiding in de Nederlandse Waddenzee (Waddenzeemodel, zie Appendix 14.2 voor een uitgebreide beschrijving). Een dergelijk computermodel berekent hoe deeltjes worden verplaatst door zeestromingen. In de simulaties zijn eerst deeltjes losgelaten langs het hele kustnabije traject van MSC Zoe, en daarna op geselecteerde locaties waar containers zijn aangetroffen. Ook is de gevoeligheid voor de drijf/zinksnelheid van de deeltjes, en de horizontale diffusie bepaald. De berekeningen laten verschillen zien tussen de verspreiding van de gesimuleerde drijvende HDPE-pellets en de zinkende PS-korrels. Het overgrote deel van de drijvende HDPE-pellets spoelde in de modellen binnen drie weken aan. Door de aangespoelde modeldeeltjes uit het gebied met de meeste meldingen op waddenplastic.nl terug te volgen naar waar ze losgelaten waren kon worden herleid dat de HDPE-pellets waarschijnlijk langs een deel van het traject ten noorden van de Zoutkamperlaag door MSC Zoe zijn verloren (Appendix 14.2.3.1, Figuur 43). De hoogste concentraties aangespoelde pellets bevonden zich in beide modellen rond de koppen van de Schiermonnikoog en Rottum. De modellen wijzen ook op verhoogde concentraties op de Friese en Groningse kust, met name ten zuidoosten van de zeegaten (het NWES model in hogere mate dan het Waddenzeemodel). Dit beeld komt op hoofdlijnen overeen met de meldingen op waddenplastic.nl. De drijfsnelheid van de modeldeeltjes maakte niet veel uit voor de modelresultaten. Verhoogde horizontale diffusie zorgde voor wat meer spreiding, en eerdere stranding van de modeldeeltjes, maar de verdeling van aangespoelde modeldeeltjes was op hoofdlijnen vergelijkbaar tussen de modelexperimenten.

Er zijn met beide modellen ook experimenten gedaan waarbij modeldeeltjes die HDPE korrels representeren zijn losgelaten op locaties langs het traject van MSC Zoe waar concentraties lading zijn gevonden. Deze lieten zien (Appendix 14.2.3.2, Figuur 44 t/m Figuur 46) dat een locatie direct ten noorden van de Zoutkamperlaag de beste overeenkomst gaf met de waarnemingen van waddenplastic.nl, maar niet de meer westelijke vondsten kon verklaren (Figuur 12).

De zinkende PS-korrels bleven in het grootschalige model langer op zee dan de drijvende, en sterk door de wind-gedreven oppervlaktestroming beïnvloede HDPE-pellets. De eerste PS-korrels spoelden in het model pas na 2-5 weken aan (Figuur 14). In vergelijking met de HDPE-pellets verspreidden de gesimuleerde PS-korrels zich ook veel verder naar het oosten, langs de waddenkust tot Denemarken (zie Figuur 13 voor een voorbeeld, en Appendix 14.2.3.4, Figuur 47 t/m Figuur 50 voor alle resultaten). Uiteindelijk spoelden in de simulaties de meeste PS-korrels het begin van de volgende winter aan, voornamelijk op de eilanden, maar ook elders in het Waddengebied van Nederland, Duitsland en Denemarken. Afhankelijk van waar de gesimuleerde PS-korrels losgelaten zijn, de zinksnelheid van de deeltjes en de gebruikte diffusiecoëfficiënt spoelde in het model 5-77% van de gemodelleerde deeltjes aan in het Nederlandse Waddengebied, 23 tot 95% in het Duitse waddengebied, en 0-5% langs de Deense kust (Tabel 2). De verspreiding van de PS-korrels kon niet goed gesimuleerd worden met het Waddenzee model omdat het modeldomein te klein was.



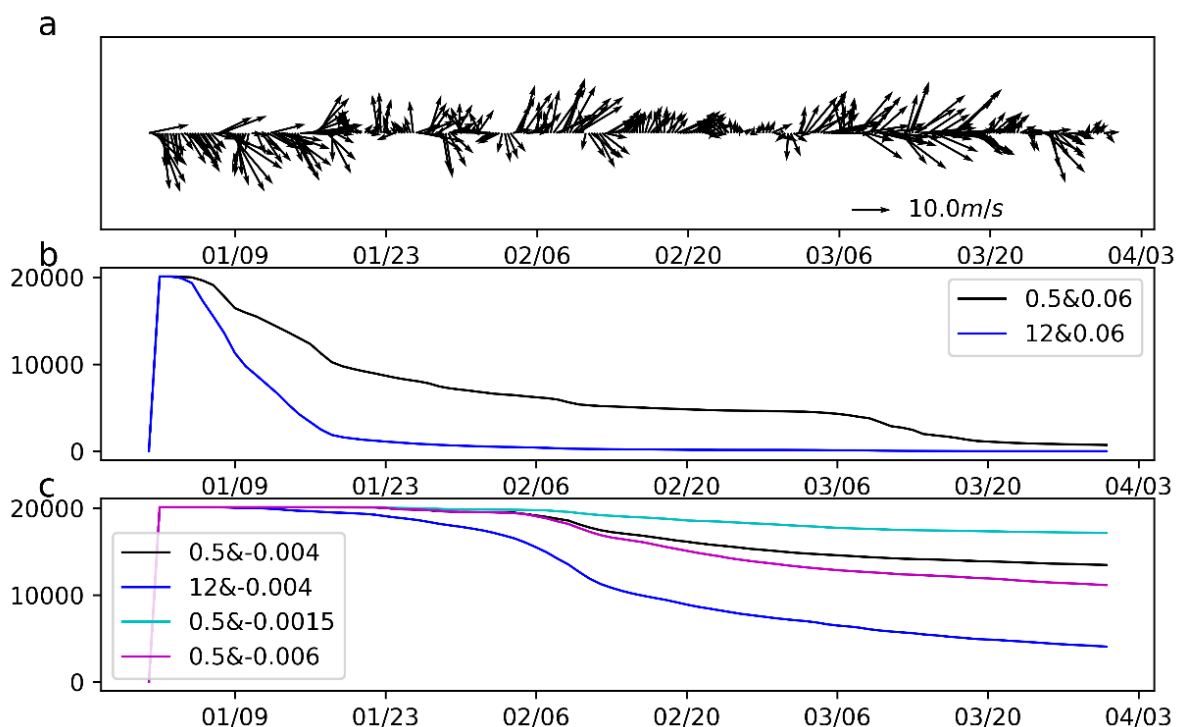
Figuur 12. Voorbeeld van verspreiding van gemodelleerde HDPE-pellets met het Waddenzee model: enkele deeltjestrjecten (gekleurde lijnen) en dichtheden van aangespoelde deeltjes (gekleurde vlakjes). De kleurenschaal hoort bij de ingekleurde vlakjes met aangespoelde pellets, geeft de fractie van het aantal losgelaten modeldeeltjes aan. De zwarte lijnen zijn de nul-meter contouren, hierdoor worden ook hooggelegen platen weergegeven. De dichtheden van deeltjes aan de rechterkant komen overeen met deeltjes die het modeldomein verlieten.



Figuur 13. Voorbeeld van gesimuleerde verspreiding na 300 dagen van PS-korrels losgelaten op het eerste kwart van het traject van MSC Zoe in het NWES model. Gekleurde lijnen: trajecten van enkele deeltjes. De kleurenschaal geeft de fractie van het aantal losgelaten deeltjes aan in de vakjes.

Een kanttekening bij deze simulaties is dat een model altijd een vereenvoudiging is van de werkelijkheid, en niet alles exact kan voorspellen. Zo kan dit model geen deeltjes opnieuw verplaatsen die al zijn 'aangespoeld', iets wat door eb en vloed mogelijk in het veld wel gebeurt. Ook zijn interacties met de zeebodem (waardoor zinkende deeltjes mogelijk tijdelijk begraven kunnen raken, bijvoorbeeld in zich

verplaatsende zandribbels of door de graafactiviteiten van bodembewonende organismen) niet gesimuleerd. Ook kan dit model niet het na verloop van tijd uiteenvallen van groter afval in kleinere delen weergeven (bv. vertering, of stukgaan van zakken met korrels). De grootste onzekerheid voor dit modelonderzoek is dat de plaats en tijd waar de HDPE-pellets en PS-korrels in zee terecht zijn gekomen niet bekend is. Hierdoor zullen de modelresultaten afwijken van wat er in werkelijkheid is gebeurd.



Figuur 14. Aantal van de 20000 gesimuleerde deeltjes dat nog niet is aangespoeld in januari t/m maart 2019 voor de verschillende modelexperimenten (1 t/m 6, zie Appendix 14.2.2, Tabel 15). a) wind sterkte en richting; b) HDPE-pellets; c) PS-korrels. Legenda: eerste getal is de diffusiecoëfficiënt, tweede getal de verticale deeltjessnelheid.

Tabel 2. Percentage van het gemodelleerde aantal PS-korrels aangespoeld per land.

Deel van trajectory	Experiment	Diff. coëff. (m^2s^{-1})	Vert. snelh. (ms^{-1})	Nederland (%)	Duitsland (%)	Denemarken (%)
1	3	0.5	-0.0015	24	75	1
	4		-0.004	38	62	0
	5		-0.006	52	48	0
	6	12	-0.004	77	23	0
2	3	0.5	-0.0015	6	93	1
	4		-0.004	17	82	1
	5		-0.006	29	71	0
	6	12	-0.004	57	43	0
3	3	0.5	-0.0015	5	94	1
	4		-0.004	23	77	0
	5		-0.006	32	68	0
	6	12	-0.004	40	60	0
4	3	0.5	-0.0015	2	94	5
	4		-0.004	4	95	1
	5		-0.006	4	95	0
	6	12	-0.004	5	95	0

5.4 Microplastics in zeewater

Bemonstering

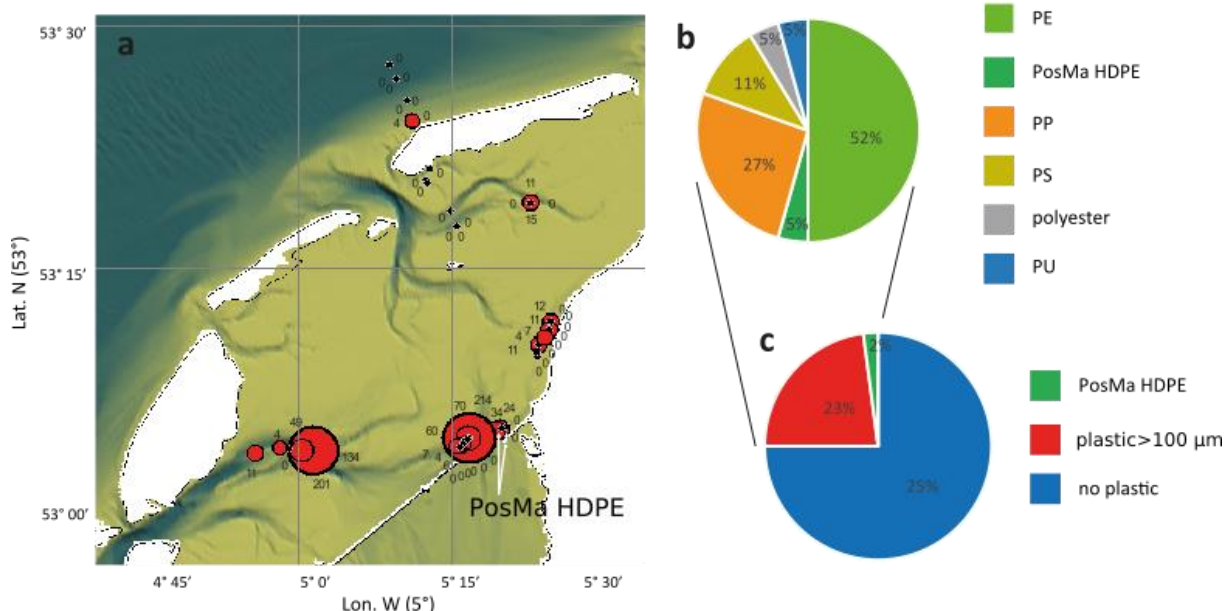
Als onderdeel van een veldonderzoek naar methaandynamica in de Waddenzee heeft NIOZ op een aantal locaties drijvend microplastic verzameld: rond Terschelling, nabij Harlingen, bij de IJsselmeersluizen van Kornwerderzand, en langs de Afsluitdijk. Dit is gedaan gedurende vier cruises met RV Navicula in 2019, begin februari (winter), eind april (voorjaar), midden juli (zomer) en begin november (herfst). In totaal zijn 295 trawls uitgevoerd met een neuston net (100 µm maaswijdte) over een lengte van ongeveer 200 m (afhankelijk van hoe snel het net zich vulde met materiaal). Hierbij is de bovenste 10 cm van de waterkolom bemonsterd. Voor de analyses zijn monsters geselecteerd uit het hele gebied. Om veranderingen door het jaar heen te kunnen detecteren zijn herhaalde monsters (winter, voorjaar, zomer, herfst) van locaties langs een transect nabij Terschelling, en monsters nabij Harlingen geanalyseerd, evenals monsters uit de winter en het voorjaar genomen langs de afsluitdijk. De monsters werden bevroren in afwachting van analyse in het laboratorium. In totaal zijn 95 trawl monsters geanalyseerd, met de nadruk op HDPE-pellets en PS-korrels.

Analyse

De monsters zijn op dezelfde manier geanalyseerd als de strandmonsters (Sectie 5.2.2).

Resultaten

Ongeveer een kwart van de trawls bevatte tenminste 1 deeltje microplastic groter dan 300 µm (Appendix 14.4, Tabel 17). Dit vertaalt zich in een plastic concentratie voor oppervlaktewater tot 214 deeltjes km⁻² (gemiddelde: 10 ±34 deeltjes km⁻²). De verdeling van microplastics was echter zeer variabel in ruimte (Figuur 15) en tijd. Op basis van deze eerste inventarisatie kunnen we geen conclusies trekken over spatio-temporele patronen (daarvoor zijn veel meer monsters nodig, alsmede analyse van de fractie kleiner dan 300 µm), hoewel wel meer microplastics groter dan 300 µm zijn gevonden in het noordoostelijk deel van het onderzochte gebied. De trawls bevatten ook kleinere microplastics, naar het zich laat aanzien in grotere aantallen, maar konden binnen de beschikbare tijd in dit onderzoek niet worden geanalyseerd. De verhouding waarin verschillende polymeren (meest polyethyleen [PE], gevolgd door polypropyleen [PP] en PS) zijn gevonden is vergelijkbaar met andere studies in kustgebieden (Zhu et al., 2018; Erni-Cassola et al., 2019; Asensio-Montesinos et al., 2020), hoewel bij een andere studie in de zuidelijke Noordzee meer PP dan PE is aangetroffen (Lorenz et al., 2019). HDPE-pellets met een positieve match (PosMa) waren zeldzaam (5%), en er zijn geen PosMa PS-korrels gevonden.



Figuur 15. Analyse van microplastics in Waddenzee water van monstercampagnes in winter, voorjaar, zomer en herfst 2019 met een neuston net (100 µm maaswijdte). A. De dichtheid van microplastics was zeer variabel in de ruimte, met hoogste dichtheden tot 214 plastic deeltjes per km² nabij de IJsselmeersluizen bij Kornwerderzand. B, C: Ongeveer een kwart van de trawls bevatte ten minste 1 deeltje plastic groter dan 300 µm, met PE het meest voorkomende plastic type, gevolgd door PP en PS. Er zijn 2 HDPE-pellets gevonden. PE: polyethyleen, PP: polypropyleen, PS: polystyreen, PU: polyurethaan, HDPE: hoge dichtheids polyethyleen.

5.5 Microplastics in de zeebodem

5.5.1 SIBES sedimentmonsters Waddenzee

Bemonstering

Jaarlijks worden enkele duizenden sedimentmonsters genomen in het SIBES programma van het NIOZ. De SIBES monsters worden genomen tussen juni en september. Er wordt gemonsterd vanuit een rubberboot of lopend, afhankelijk van het getij. Met behulp van hand GPS worden de monsterposities tot op een honderdste minuut nauwkeurig bepaald. Met een monsterbuis wordt een monster gestoken van ~25 cm diep. Het sediment monster is van de bovenste 4 cm van het monster en wordt bewaard in een 60 ml sediment buis en voorzien van een uniek identificatienummer (Poskey). De rest van het sediment wordt gezeefd. Eventuele schelpdieren worden uit de zeef genomen en in een plastic zak gedaan voorzien van een uniek identificatienummer (Poskey). De schelpdieren en sedimentmonsters worden bewaard bij -20°C. Voor details zie Compton et al. (2013).

Monsterselectie

376 sedimentmonsters afkomstig uit het SIBES programma zijn geanalyseerd op microplastics groter dan 300 µm. De monsters voor analyse zijn geselecteerd in groepen in de volgende volgorde om de kans om PS-korrels te vinden zo groot mogelijk te maken:

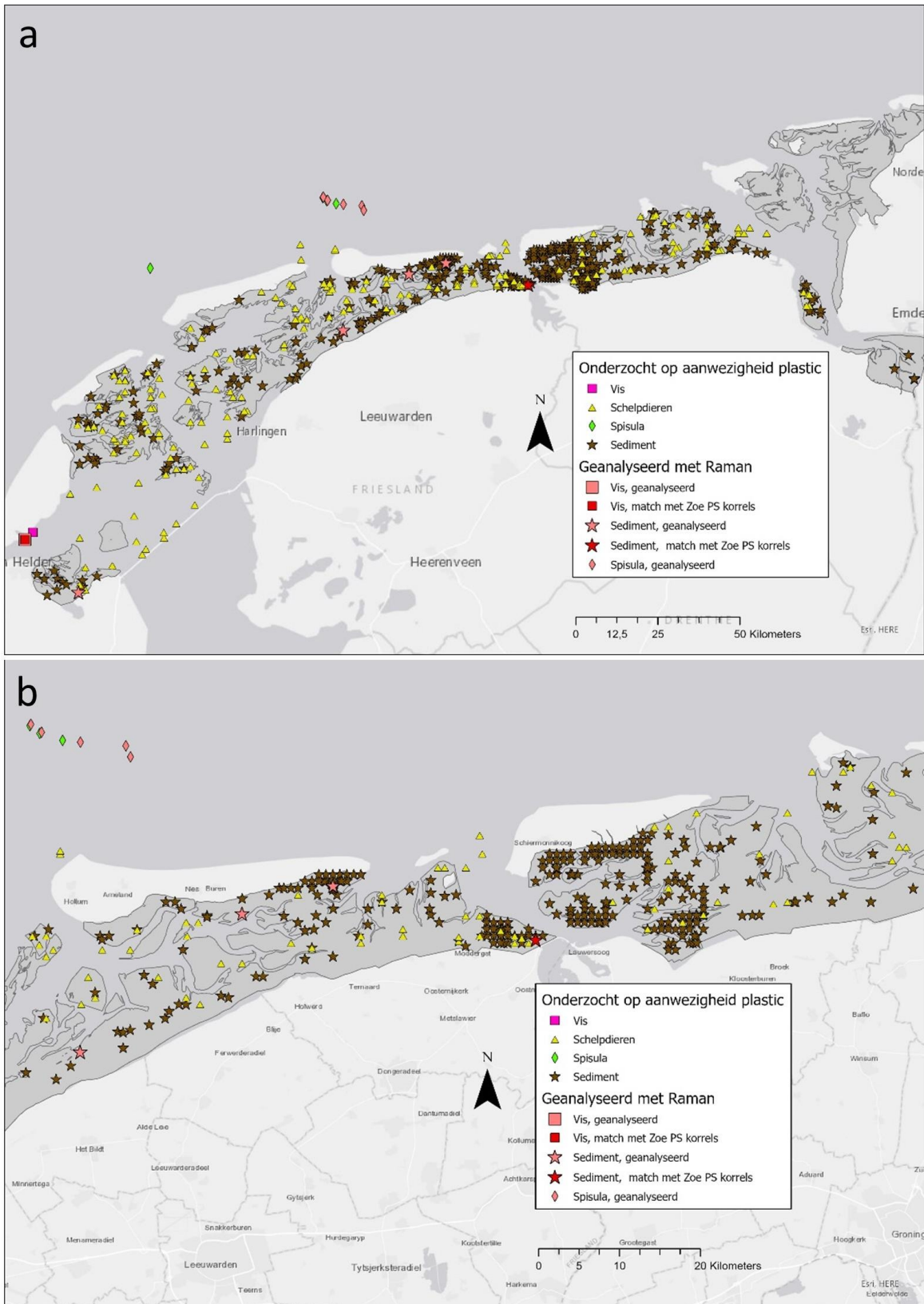
1. monsters uit de hele Nederlandse Waddenzee waarvan de beschikbare korrelgrootteanalyse (die op alle SIBES monsters wordt uitgevoerd) fracties aangaf overeenkomend met de afmetingen van PS-korrels, maar afwijkend van en grover dan het grootste deel van het monster;
2. op basis van de resultaten van het grootschalige deeltjesverspreidingsmodel monsters uit het oostelijk deel van de Nederlandse Waddenzee, met nadruk op ondiepe locaties en locaties met lage stroomsnelheden;
3. op basis van de vondsten van PS-korrels in uitwerpselen van mossels en wadpieren in de mesocosms (zie Hoofdstuk 7), monsters uit mosselbanken en wadpiervelden in de hele Nederlandse Waddenzee;
4. op basis van een PS-korrel aangetroffen bij de analyse van een monster nabij de Lauwersmeer (zie Appendix 14.4 Tabel 19), alsmede de resultaten van de deeltjesverspreidingsmodellen, monsters op een dicht rooster nabij en verder ten oosten van de Lauwersmeerdijk, en langs de zuidoost kust van Ameland en de zuidwest kust van Schiermonnikoog (Figuur 16).

Analyse

De gevriesdroogde monsters worden gezeefd over een 300µm zeef. Het residu, de fractie > 300µm, wordt overgebracht in een bekersglas en hieraan wordt een zinkchloride oplossing van 500 gram per liter toegevoegd, zodanig dat het sediment is bedekt met een laag vloeistof. De zinkoplossing heeft een soortelijk gewicht van 1,6 g/cm³. Het bekersglas wordt gezwenkt zodat de wat lichtere deeltjes boven kunnen drijven. De bovenstaande vloeistof wordt afgeschonken in een gemodificeerde Bogorov telkamer en bekeken onder een binoculair microscoop. Het bekersglas wordt nagespoeld met water, en deze vloeistof wordt ook in de telkamer bekeken onder de binoculair microscoop. Deeltjes waarvan vermoed wordt dat ze plastic bevatten worden overgebracht in een glazen flesje en nader geanalyseerd op chemische samenstelling met een Raman microscoop.

Resultaten

In totaal zijn in de 376 onderzochte monsters slechts vijf niet-natuurlijke deeltjes aangetroffen, grotendeels op ondiepe locaties. Eén daarvan was een PosMa PS-korrel, maar dit was mogelijk contaminatie van het monster: de analist had kort voor de analyse met referentiemateriaal gewerkt. De overige deeltjes waren hoofdzakelijk verfschilfers.



Figuur 16. Locaties van geanalyseerde monsters van vis, schelpdieren, Spisula en sediment. a) Nederlandse Waddenzee; b) uitvergroting omgeving Schiermonnikoog.

5.5.2 Boxcores Noordzee

Bemonstering

Op 24 januari 2019 zijn door het NIOZ met een NIOZ-boxcorer 10 boxcores met sediment genomen ten noorden van Terschelling en Ameland (Figuur 16). Het sediment wordt aan boord opgeslagen bij -20°C in afwachting van analyse.

Analyse

De monsters worden 2 dagen ontdooid in een koelkast. Daarna wordt het materiaal nat gezeefd in twee stappen: eerst over een 1 mm zeef en daarna over een 300µm zeef. Beide fracties zijn onderzocht op plastic, waarbij de fractie die achterbleef op de 300µm zeef op dezelfde wijze is geanalyseerd als sediment monsters (Sectie 5.5.1). In vier van de tien boxcores werd *Spisula* aangetroffen, deze zijn ook onderzocht op plastic op dezelfde wijze als *Spisula* monsters (zie Sectie 6.2).

Resultaten

In 3 van de sediment monsters zijn niet-natuurlijke deeltjes aangetroffen (zie Appendix 14.4, Tabel 21), hierbij zijn geen PS-korrels aangetroffen. De aangetroffen deeltjes waren voornamelijk schilfers, vermoedelijk van verf. In 1 *Spisula* monster werd plastic aangetroffen, maar geen PS-korrels (Appendix 14.4, Tabel 21).

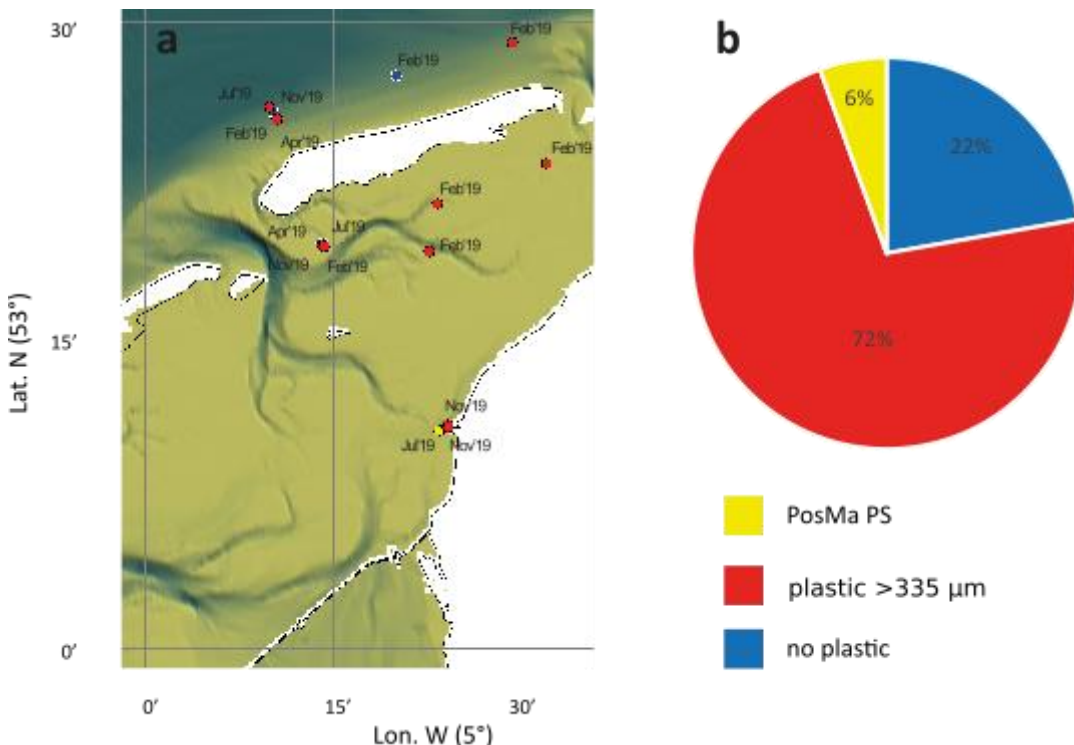
5.5.3 Boxcores rond Terschelling en in de Waddenzee

Bemonstering

Tijdens veldwerk naar methaandynamica in de Waddenzee heeft NIOZ ook boxcore monsters genomen tijdens 4 opeenvolgende cruises met RV Navicula (winter, voorjaar, zomer en herfst 2019). Van het box core monster van 40x40 cm zijn de bovenste 10 cm bemonsterd met twee kerntjes van 10 cm diameter. 56% van deze monsters zijn geanalyseerd op aanwezigheid van plastic polymeren, met de nadruk op HDPE-pellets en PS-korrels. Bij de selectie van de monsters voor analyse op polymeren is rekening gehouden met een grote ruimtelijke spreiding in het studiegebied rond Terschelling met referenties nabij Harlingen, en herhaalde bemonstering in de tijd (Figuur 17).

Analyse

De monsters zijn op dezelfde wijze geanalyseerd als de strandmonsters (Sectie 5.2.2).



Figuur 17. a. Sedimentmonsters verzameld met de boxcore rond Terschelling en nabij Harlingen in 2019. Monsters met microplastics groter dan ongeveer 335 µm zijn aangegeven in rood. b. Percentage van het aantal monsters zonder microplastics, met PosMa PS-korrels (1 korrel gevonden nabij Harlingen in november 2019), en met anderssoortige polymeren.

Resultaten

Van de geanalyseerde sedimentmonsters bevatte meer dan driekwart microplastic groter dan 300 µm. Daaronder bevond zich 1 PosMa PS-korrel (nabij Harlingen in een monster uit november 2019). Sedimenten met vergelijkbare hoeveelheden microplastics zijn eerder gevonden in de zuidelijke Noordzee (Lorenz et al., 2019). Ongeveer een kwart van de monsters bevatte geen detecteerbare microplastics groter dan 300 µm. In de herhaalde replica's door het jaar heen, ten zuidwesten en noordwesten van Terschelling, vonden we veranderingen in de polymeersamenstelling: in de zomer en herfst vonden we geen detecteerbare plastics groter dan 300 µm, maar wel in de winter en het voorjaar. Dit kan gedeeltelijk komen doordat de monsters niet op exact dezelfde locatie genomen zijn. Maar het is ook zeer goed mogelijk dat stroming en golven materiaal verplaatst hebben.

6 Opname plastics door biota

6.1 Schelpdieren in de Waddenzee

Bemonstering

Tijdens het SIBES programma van 2019 en tijdens de Waddenmozaiek bemonstering zijn door het NIOZ monsters van schelpdieren verzameld in de Waddenzee (zie Sectie 5.5.1) en geanalyseerd op microplastics.

Analyse

In totaal zijn 192 monsters geanalyseerd (zie Figuur 16). Individuen zijn per monster op soort gesorteerd, en per soort als groep (zie Tabel 3 voor een overzicht van aangetroffen soorten) behandeld en geanalyseerd zoals *Spisula* (Sectie 6.2).

Resultaten

In geen van deze monsters zijn microplastics aangetroffen.

Tabel 3. Aangetroffen soorten in de monsters van schelpdieren in de Waddenzee en aantal per soort gegroepeerde geanalyseerde monsters.

Soort	Latijnse naam	Aantal aangetroffen individuen	Aantal geanalyseerde soortgroep monsters
Kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	51	13
Zaagje	<i>Donax vittatus</i>	1	1
Amerikaanse zwaardschede	<i>Ensis leei</i>	423	93
Nonnetje	<i>Limecola balthica</i>	21	18
Tere plaatschelp	<i>Macomangulus tenuis</i>	1	1
Japanse oester	<i>Magallana gigas</i>	1	1
Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	215	53
Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	195	13
Amerikaanse boormossel	<i>Petricolaria pholadiformis</i>	5	1
Filippijnse tapijtschelp	<i>Ruditapes philippinarum</i>	1	1
Platte slijkgaper	<i>Scrobicularia plana</i>	4	4
Halfgeknotte strandschelp	<i>Spisula subtruncata</i>	79	4

6.2 Spisula in de Noordzee

Bemonstering

Aan boord van een vissersschip dat *Spisula* oogstte door het NIOZ monsters van de vangst genomen, in totaal 27 *Spisula* monsters met elk 30-40 individuele schelpdieren (zie Figuur 16).

Rond 26 februari 2019 zijn door het NIOZ monsters zijn genomen met een Ensiszuiger langs een zuigtraject met een commercieel vissersschip, in de buurt van het traject van MSC Zoe. Start en eindpositie van het traject werden bijgehouden. De monsters werden van de lopende band met oogst genomen. Als de band begon te lopen en er *Spisula*'s op lagen werd ongeveer om de 20 sec. een klein handje *Spisula*'s van de band genomen en in een emmer gedaan. Dit gebeurde typisch gedurende 5 minuten. Hierdoor ontstond een monster dat was genomen over een deel van het traject van de Ensiszuiger. Dit werd een aantal maal per traject herhaald. Als de zuiger uit het water was en er geen *Spisula*'s meer over band liepen werden de *Spisula*'s in de emmer goed gemengd. Vervolgens werden er willekeurig 30-40 uit de emmer gehaald. Deze werden in een plastic zakje gedaan en bewaard in de diepvries.

Analyse

Spisula monsters bevatten meerdere bivalves, het aantal werd geteld. Het weefsel van de *Spisula*, zonder de voet, werd overgebracht in een bekersglas. Er werd een 10% oplossing van KOH toegevoegd aan het verzamelde weefsel. Het organisch materiaal loste op in de kaliloog oplossing. Na minimaal 2 dagen werd de kaliloog gefiltreerd over een 300µM zeef. De fractie >300µM werd overgepoeld in een gemodificeerde Bogorov telkamer en bekeken onder een binoculair microscoop. Deeltjes waarvan vermoed werd dat ze plastic bevatten werden overgebracht in een glazen vial en nader geanalyseerd met een Raman microscoop. Er wordt, vanwege het lage aantal aangetroffen deeltjes, geen gebruik gemaakt van de density methode zoals voor de sedimentmonsters, zodat de verder geanalyseerde deeltjes ook zwaardere deeltjes zoals zandkorrels konden zijn.

Resultaten

In 17 monsters werden plastics aangetroffen (Appendix 14.4, Tabel 20), maar geen van deze monsters bevatte PS-korrels.

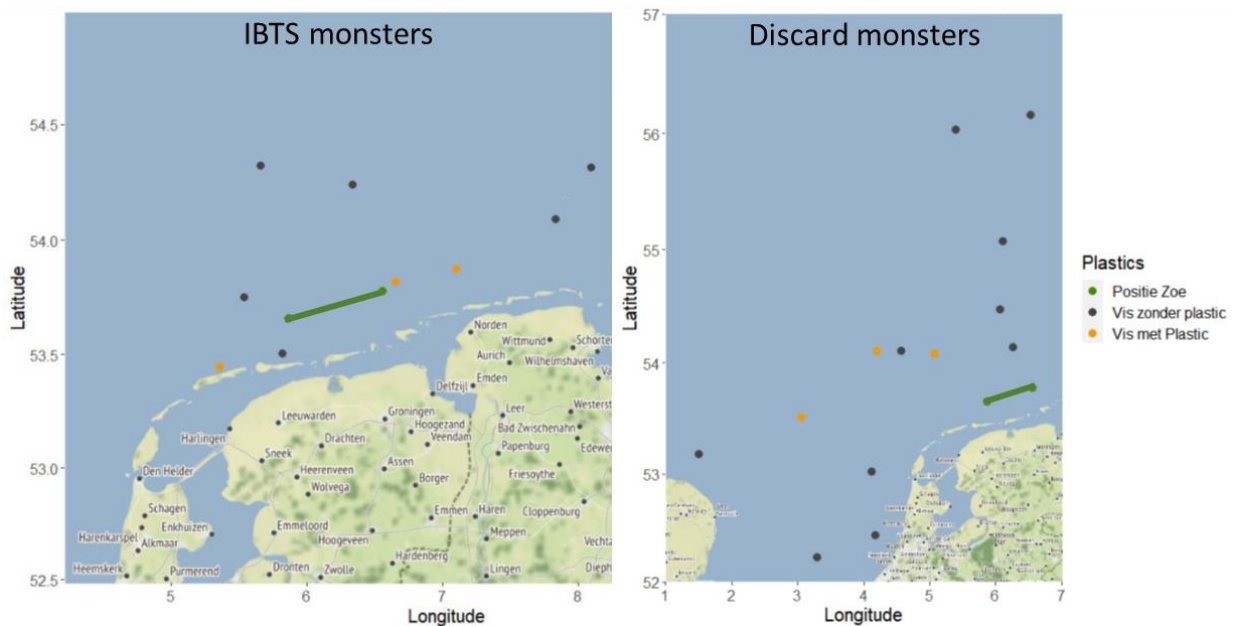
6.3 Noordzeevissen

Bemonstering

Bij WMR zijn maag-darmsystemen van verschillende Noordzee-vissoorten uit 2019 onderzocht op de aanwezigheid van microplastics. Het volledige, in deze paragraaf samengevatte onderzoek is gerapporteerd in Kühn et al., 2020.

In totaal werden 1087 vissen onderzocht:

- 224 vissen (5 soorten) van de International Bottom Trawl Survey (IBTS) uit januari/februari 2019, afkomstig van negen locaties op de Noordzee nabij het MSC Zoe incident (Figuur 18). Deze vissen werden individueel op plastic onderzocht;
- 854 vissen (7 soorten) uit de Nederlandse Discard Survey, verzameld over heel 2019 op locaties op de Noordzee nabij de plaats van het incident (Figuur 18). Vanwege het grote aantal beschikbare vissen, werden deze gegroepeerd (in batches) onderzocht.
- 9 scharren (*Limanda limanda*) die op 4 Januari 2019 dood werden aangetroffen bij Paal 15.5 op het Noordzeestrand van Ameland. Vanwege het tijdstip als ook locatie werden deze vissen in dit onderzoek meegenomen en individueel geanalyseerd.



Figuur 18. Locaties waar de voor dit onderzoek gebruikte vissen verzameld zijn tijdens de IBTS survey (links) en tijdens de Discard bemonsteringen (rechts), met indicatie waar plastic in de vissen werd aangetroffen. De groene lijn geeft een indicatie van het traject waarop de MSC Zoe een deel van haar lading verloor. Het in de vis aangetroffen plastic was niet te relateren aan de MSC Zoe.

Analyse

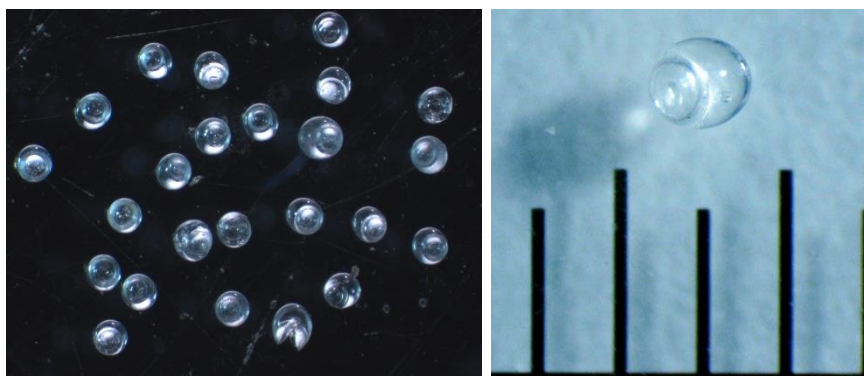
Voor het onderzoek werd het gehele maag-darmstelsel uit de vissen verwijderd en overgebracht in een 10% kaliumhydroxide (KOH) oplossing om het organisch materiaal op te lossen. Eerder is aangetoond dat deze behandeling geen invloed heeft op de plastics (Kühn et al., 2017). De restanten werden over een 300 µm zeef gespoeld zodat ook de kleine PS-korrels erop achter zouden blijven.

Resultaten

Van de in totaal 224 onderzochte vissen uit de IBTS survey werd in 3 haringen (*Clupea harengus*; n=124) plastics aangetroffen. Dit betrof 1 plastic draad, en 2 plastic korrels van vergelijkbare grootte, maar met een duidelijk ander uiterlijk (Figuur 19) dan de PS-korrels verloren door MSC Zoe (Figuur 5). Gemiddeld had dus 1,3% van de onderzochte IBTS vissen plastic in het maag-darmstelsel (Tabel 4).

In de vissen verzameld tijdens de Nederlandse Discard Survey werden in totaal 28 stuks plastic aangetroffen: één exemplaar in schol (*Pleuronectes platessa*; n=213 vissen) en 27 in schar (269 vissen)

(Tabel 5). De onderzochte scharren waren verdeeld in twee batches; één batch bevatte twee plastic velletjes, de andere 25 plastic korrels. Deze korrels leken qua grootte en uiterlijk op de korrels die tijdens de IBTS survey in haring werden aangetroffen (Figuur 19), en waren, ondanks het gelijke formaat dus duidelijk anders dan de door MSC Zoe verloren PS-korrels (Figuur 5). Omdat deze vissen als batch werden geanalyseerd is niet duidelijk over hoeveel van de vissen de gevonden plastic korrels verdeeld waren. Bij een aanname dat geen enkele vis meer dan 1 stukje plastic in de maag had, wijst dit op een maximale frequentie van voorkomen in de Dischard vissen van 3,3%. In de negen aangespoelde scharren werden geen plastics aangetroffen.



Figuur 19. Plastic korrels zoals gevonden in een batch van 50 scharren (links) en in twee haringen (rechts, sterk vergroot, de afstand tussen twee streepjes is 0.5 mm). Deze korrels hebben hetzelfde formaat maar een ander uiterlijk (meer transparant en een grote ingesloten gasbel) dan de door MSC Zoe verloren PS-korrels.

Tabel 4. Soort en aantal vissen afkomstig uit de IBTS die geanalyseerd werden, samen met het aantal plastics en de frequentie van voorkomen (%FO) die per soort gevonden zijn. De vissen zijn verzameld in januari-februari 2019. Als geen van de dieren plastics bevatte is tussen haakjes de detectie limiet (1/monstergrootte) weergegeven.

Soort	N	N plastics	vis met plastic (%FO)	Opmerking
Haring	124	3	2%	2x plastic korrel (Figuur 19); 1x draadje
Wijting	47	0	0 (<2%)	
Sprot	27	0	0 (<4%)	
Schol	23	0	0 (<5%)	
Kabeljauw	3	0	0 (<34%)	
Totaal	224	3	1.3%	0.01 plastics per vis

Tabel 5. Soort en aantal vissen afkomstig uit de Discards die geanalyseerd werden, samen met het aantal plastics die per soort gevonden zijn. Als geen van de dieren plastics bevatte is tussen haakjes de detectie limiet (1/monstergrootte) weergegeven.

Soort	N	N plastics	Opmerking
Schar	269	27	2 batches: één met 2 vellen; één met 25 plastic korrels (Figuur 19)
Grauwe Poon	219	0 (<0.5%)	
Schol	213	1	1 batch met een plastic stuk
Wijting	65	0 (<2%)	
Schurftvis	36	0 (<3%)	
Tong	34	0 (<3%)	
Lange Schar	18	0 (<6%)	
Totaal	854	28	0.03 plastics per vis

Geen van de gevonden plastic deeltjes gaf een positieve match (PosMa). De resultaten uit dit onderzoek verschillen niet substantieel met de gegevens uit eerder onderzoek van Wageningen Marine Research in de Noordzee: daarbij werd in 4389 vissen van verschillende soorten noordzeevis, gevangen in de periode 2009 tot 2018, in 1,8% van de individuen plastic in het maag-darmsysteem aangetroffen (Kühn et al. 2020). Daarmee kan geen verhoging van plastic in vis door het MSC Zoe incident aangetoond worden. De vissen met plastics in het huidige onderzoek foerageren zowel in de waterkolom (haring) als ook op de zeebodem (schol en schar). De aanwezigheid van plastic korrels in haring en schar wijst erop dat dergelijke korrels op verschillende plekken in de waterkolom terecht kunnen komen. De vergelijkbare

grootte en vorm van de in vis gevonden korrels wijst erop, dat de PS-korrels die bij het Zoe incident overboord zijn geslagen, door vis kunnen worden ingeslikt.

6.4 Individuele vissen uit fuiken in de Waddenzee

Bemonstering

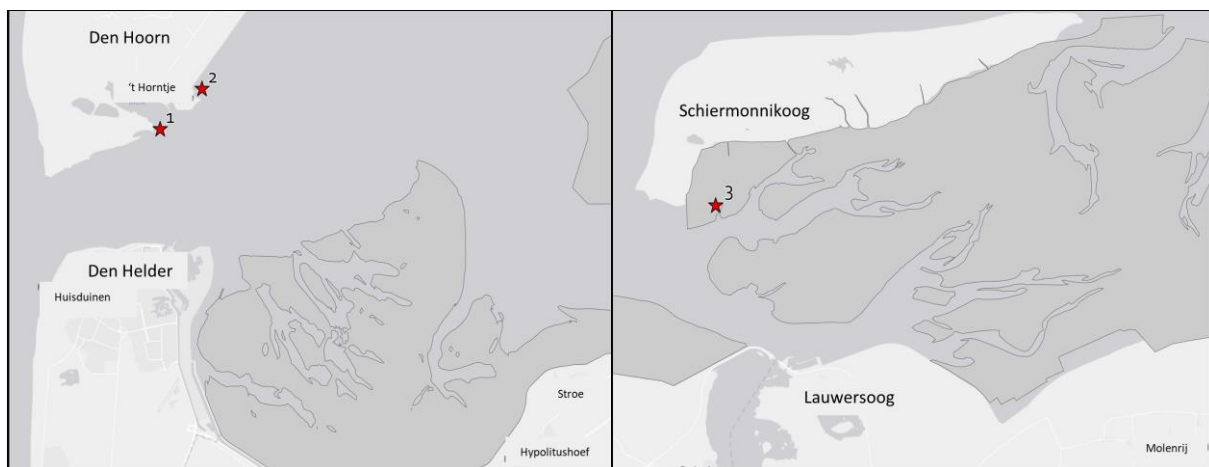
Het NIOZ heeft in 2019 vis gevangen in drie fuiken, en de maaginhoud bemonsterd op plastics (zie Figuur 16, Figuur 20). De fuiken zijn dagelijks geleegd tijdens de bemonsterperiodes (Tabel 6). Uit elke fuik zijn elke dag van elke gevangen soort tot drie vissen geanalyseerd, in totaal 945 vissen van 56 soorten (Tabel 16).

Analyse

Voor de analyse zijn de magen uit de vissen gesneden, geopend en visueel geïnspecteerd, hierbij is niet gezocht naar zeer klein materiaal zoals PS-korrels, omdat daarvoor grote aantallen vissen nodig zijn.

Resultaten

In slechts één vis, een makreel gevangen in de fuik Schanserwaard op 27-10-2019 zijn plastics aangetroffen, voornamelijk draden (zie Figuur 21).



Figuur 20. Locaties van de fuiken 1: Stuifdijk, 2: Schanserwaard en 3: Schiermonnikoog.

Tabel 6. Bemonsteringsperiodes fuiken.

Fuik	Bemonsteringsperiodes
Schanserwaard	21-04-2019 t/m 08-11-2019
Stuifdijk	28-02-2019 t/m 31-10-2019
Schiermonnikoog	24-04-2019 t/m 30-04-2019, 24-05-2019 t/m 30-05-2019, 14-09-2019 t/m 16-09-2019



Figuur 21. Plastics aangetroffen in de maag van vis nummer 43-1054 (makreel), gevangen op 27-10-2019 in de fuik Schanserwaard. N.B. de kleine witte cirkels zijn reflecties van plafondlampen.

6.5 Scholen haring uit fuiken in de Waddenzee

Bemonstering

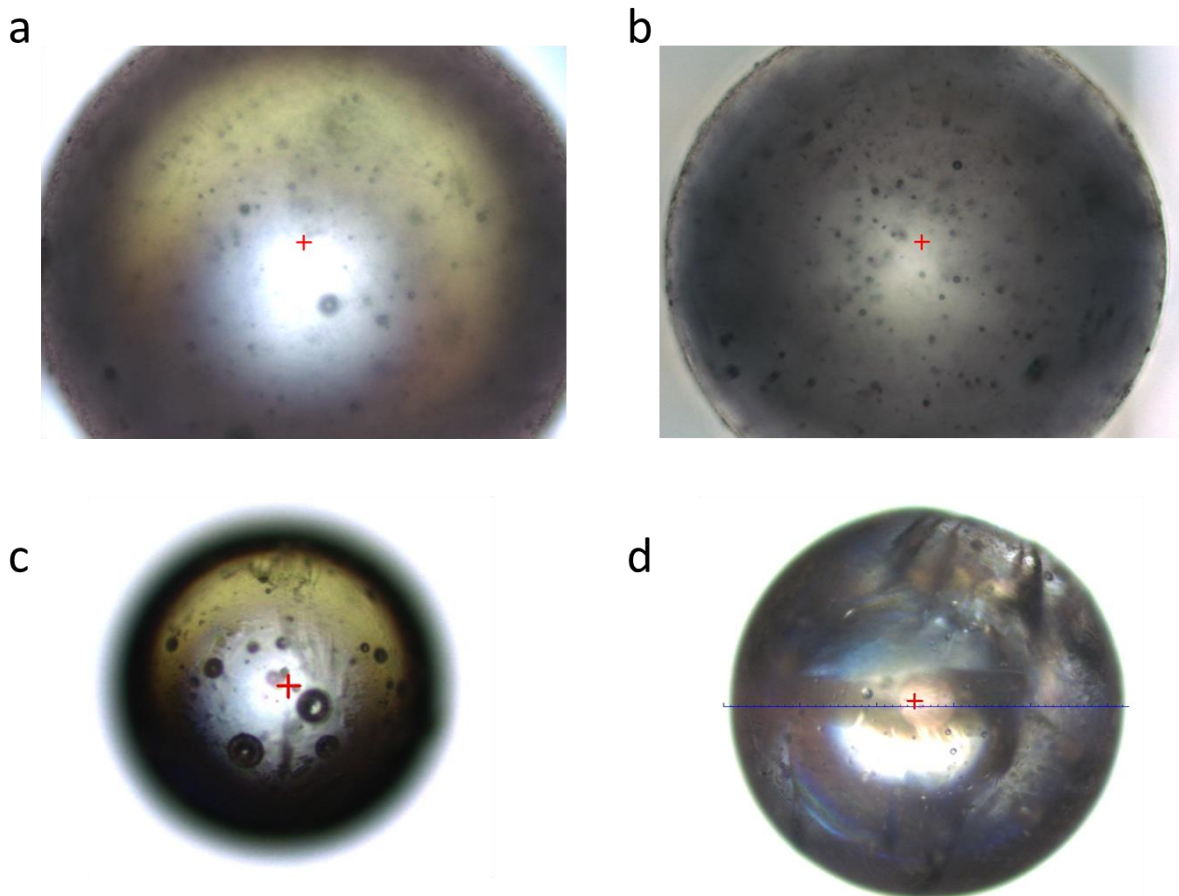
Het NIOZ heeft 43 groepen haring (2961 individuen) gevangen in de fuiken Schanserwaard en Stuifdijk (zie Figuur 16, Figuur 20) tussen begin maart en begin november 2019 onderzocht op microplastics.

Analyse

Haring monsters bevatten meerdere haringen, het aantal werd geteld. Elke haring werd aan de buikzijde open gesneden en vervolgens zijn maag en darmen verwijderd en in bekersglas overgebracht. Deze werden op dezelfde manier geanalyseerd als *Spisula* (Sectie 6.2).

Resultaten

In 18 van deze monsters zijn 55 deeltjes aangetroffen die mogelijk plastics waren. Deze zijn geanalyseerd op samenstelling met de Raman microscoop (Appendix 14.4, Tabel 23). Van deze deeltjes bestonden er 24 uit glas-achtig materiaal, de rest was plastic. Van zes korrels kwam de samenstelling overeen met de PS-korrels afkomstig van MSC Zoe, maar niet de afmeting (zie ook Figuur 22). Deze moeten dus afkomstig zijn van een andere bron.



Figuur 22. a. Referentie PS-korrel afkomstig van MSC Zoe (diam 789.72um). b. PS pellet uit SIBES sediment monster 6623 (diam 682.32um) (Appendix 14.4, Tabel 19). c. kleine PS pellet aangetroffen in haring monster 39-1018 (diam 306.52um), d. grote PS pellet aangetroffen in haring monster 25-023 (diam 528.54um). c en d: Appendix 14.4, Tabel 23.

6.6 Plastics in dood gevonden vogels

Bemonstering

In totaal werden 195 vogels die in 2019 dood aan de kust waren aangetroffen door WMR onderzocht op de aanwezigheid van microplastics. Deze vogels waren verdeeld over de volgende soorten: 44 noordse stormvogels (*Fulmarus glacialis*), 4 drieteenmeeuwen (*Rissa tridactyla*), 12 alken (*Alca torda*) en 15 zee-eenden (*Melanitta* sp.). Het volledige, in deze paragraaf samengevatte onderzoek is gerapporteerd in Van Franeker *et al* (2020) en Leopold *et al* (2020). Daarnaast worden de resultaten besproken van een in

2019 uitgevoerd omvangrijk onderzoek aan 120 zeeoeten (*Uria aalge*) die een deel vormde van de zeeoeten die kort na het MSC Zoe incident in grote aantallen dood aanspoelden (Leopold et al. 2019). Het foeragegedrag bepaalt met welke plastics de vogels in contact zouden kunnen komen. Voor drieteenmeeuwen en noordse stormvogels is dat plastic zwerfvuil op/nabij wateroppervlak, voor zeeoeten en alken zijn dat zwevend in waterkolom/door vis gegeten plastics, en voor zee-eenden zijn dat gezonken/door schelpdieren opgenomen plastics.

Analyse

De inhoud van zowel de magen als darmen werd eerst over een 1 mm zeef (cf. van Franeker et al., 2011; OSPAR, 2015) en daarna over een 300 µm zeef gespoeld, zodat ook de kleine PS-korrels werden verzameld. Plastics en andere vormen van afval werden gesorteerd in verschillende categorieën zoals gedefinieerd door van Franeker et al. (2011). Plastics worden daarin verdeeld in de hoofdcategorieën van industriële pellets en gebruiksplastics. In dit geval is binnen de categorie 'industriële' afzonderlijk de plastic korrel (microbead) categorie aangehouden.

Tabel 7. Details voor gevonden plastic in het maagdarm-systeem van verschillende zeevogelsoorten. Voor de noordse stormvogel zijn referentie waarden voor plastics > 1mm in magen beschikbaar uit de periode 2014-2018. Het onderzoek in 2019 betrof de volledige inhoud van maag plus darmen op plastic partikels > 0.3 mm. Voor een correcte vergelijking met de 2014-2018 periode zijn de 2019 gegevens van de noordse stormvogel ook gegeven voor de analyse van alleen de maaginhoud op partikelgrootte > 1 mm. Aangegeven zijn het aantal onderzochte vogels, het percentage van vogels waarin de plastic categorie voorkomt (%FO) en gemiddeld aantal (avg n) voor afzonderlijk plastic pellets, plastic korrels, en alle plastics gecombineerd (=inclusief gebruiksplastics). Aan de laatste categorie is ook het gemiddeld plastic totaalgewicht in de maag (avg g; in gram) toegevoegd.

	n	Plastic pellets		Plastic korrels		Alle plastic		
		% FO	AVG n	% FO	AVG n	% FO	AVG n	AVG g
Noordse stormvogel								
2014-2018 (maag > 1 mm)	116	44.8%	1.53	2.6%	0.05	93.1%	23.5	0.26
2019 (maag > 1 mm)	44	40.9%	0.77	0.0%	0	95.5%	11.1	0.09
2019 (maag + darm > 0.3 mm)	44	45.5%	0.84	2.3%	0.05	95.5%	17.4	0.10
Drieteenmeeuw								
2019 (maag + darm > 0.3 mm)	4	0%	0	0%	0	75.0%	1.3	0.05
Zee-eenden								
2019 (maag + darm > 0.3 mm)	15	0%	0	0%	0	0%	0	0.00
Zeeoet								
2019 (maag + darm > 0.3 mm)	120	0.8%	0.01	0.8%	0.01	27.50%	0.5	0.004
Alk								
2019 (maag + darm > 0.3 mm)	12	0%	0	0%	0	0%	0	0.00
Roodkeelduiker								
1991-2015 (maag > 1 mm)	263	1.9%	0.19	0%	0	11.40%	0.15	-
2019 (maag > 1 mm)	1	0%	0	0%	0	(100%)	(1)	-

Resultaten

Een overzicht van alle in de vogelingewanden aangetroffen plastics is gegeven in Tabel 7. Industriële pellets werden in 20 van de 44 noordse stormvogels gevonden, bijna altijd in de maag, maar in twee vogels ook in de darm. Twee plastic korrels werden gevonden in de darm van één noordse stormvogel (Figuur 23). Zoals gebruikelijk werd de totale hoeveelheid plastic in deze dieren vooral bepaald door de gebruiksplastics. In de magen van drie van de vier drieteenmeeuwen werden in totaal 6 stukjes gebruiksplastic gevonden, alle op de 1 mm zeef. In deze soort werden geen plastic pellets of korrels gevonden. In de magen of darmen van de vijftien zee-eenden (veertien zwarte zee-eenden *Melanitta nigra* en één grote zee-eend *Melanitta fusca*) werd in het geheel geen plastic zwerfvuil aangetroffen. In 33 van 120 zeeoeten (27,5%) werd plastics aangetroffen. In verreweg de meeste gevallen waren dit draadvormige stukjes, maar ook één pellet, en één plastic korrel werden aangetroffen. In de magen en darmen van 12 alken uit begin 2019 werden géén plastics gevonden. In de magen van 31 (11,7%) van de in 263 onderzochte roodkeelduikers, verzameld voorafgaand aan het MSC Zoe incident, werden in

totaal 40 plastic-achtige voorwerpen aangetroffen. In 5 vogels betrof dit een industriële pellet. Uit 2019 was slechts een roodkeelduiker voorhanden. Deze vogel had kunststof draad in de maag.

De industriële pellets die in magen (34) of darmen (2) van noordse stormvogels werden aangetroffen betroffen volgens de FTIR analyse veelal pellets van PolyEthyleen (PE). Als een 'gemiddeld Zoe spectrogram' aan de standaard vergelijkingsbibliotheek werd toegevoegd, bleken 17 van de 36 (47%) pellets uit noordse stormvogelmagen daarmee qua samenstelling overeen te komen. Op basis van het uiterlijk, d.w.z. de combinatie van vorm en kleur, was echter geen enkele van deze pellets uit 2019 een positieve match (PosMa). Ook de uit de zeeoet afkomstige pellet en plastic korrel gaven geen positieve match (PosMa).

Qua hoeveelheid plastics en de aanwezigheid van plastic pellets of polystyreen korrels werden in de noordse stormvogelmagen en darmen geen aanwijzingen gevonden voor directe effecten van het MSC Zoe incident. De aantallen aangetroffen plastic deeltjes lagen beduidend onder de hoeveelheid plastics die gemiddeld over de 116 magen van noordse stormvogels in de voorgaande 2014-2018 periode werden gevonden (Tabel 7). Dit geldt voor alle categorieën plastic, inclusief subcategorieën als velvormig en piepschuim materiaal die massaal vrijkwamen uit de verloren containers. Voor een aantal andere onderzochte soorten zeevogels is geen goed vergelijkingsmateriaal aanwezig, maar werden geen aanwijzingen gevonden voor plastics die afkomstig waren van het MSC Zoe incident.



Figuur 23. Plastics aangetroffen in de maaginhoud van twee noordse stormvogels uit 2019. Foto links toont een maaginhoud met diverse plastic vellen, draden en hardere fragmenten een opvallend hoog aantal industriële pellets. Foto rechts toont twee plastic korrels die werden aangetroffen in de maag van een andere vogel, in dezelfde grootteklasse als de PS-korrels. Geen van de aangetroffen pellets en korrels gaf een positieve match (PosMa).

6.7 Plastics in braakballen van de kleine mantelmeeuw

Bemonstering

Het NIOZ heeft braakballen van kleine mantelmeeuwen verzameld in de territoria van broedparen in de broedkolonies op Texel, Vlieland en Schiermonnikoog (Figuur 22). Op Vlieland zijn alleen in 2019 braakballen verzameld (zie Figuur 24). Er zijn 928 braakballen uitgezocht op plastics.

Analyse

De braakballen werden in het laboratorium geweekt in water en onder de microscoop gescheiden van gras en mos. De plasticresten werden apart bewaard in glazen buisjes met een speciaal met aluminiumfolie ingelegde deksel om contaminatie te voorkomen.

Resultaten

In 8% van de braakballen werden plastics gevonden, en het voorkomen verschilde per locatie en per jaar (Tabel 8). Het percentage braakballen waarin plastic voorkwam was op Schiermonnikoog hoger dan op Texel (binomial GLM, $P < 0,001$), en in beide kolonies hoger in 2019 dan in 2018 (binomial GLM, $P = 0,008$) (Zie Figuur 25). De gevonden plastics waren vooral fragmenten, verpakkingsmateriaal en folie, van verschillende polymeertypes. Het meeste plastic was waarschijnlijk afkomstig van land, aangezien dit vaak gevonden werd in combinatie met resten zoals papier, uienringen, regenwormen. Plastic draadjes werden doorgaans in braakballen met visresten gevonden en die waren vermoedelijk op zee opgepikt. Er werden zeven plastic pellets gevonden in de braakballen, allemaal afkomstig uit 2019, van types die al jarenlang in het mariene milieu worden aangetroffen (Van Weenen 1975, Denkinger et al. 1990, Anon. 1992, Robards et al 1995, Ryan et al. 2009). Voor analyse op samenstelling met de Raman microscoop werden de plastic deeltjes ontdaan van organisch materiaal met H_2O_2 . Na analyse met de

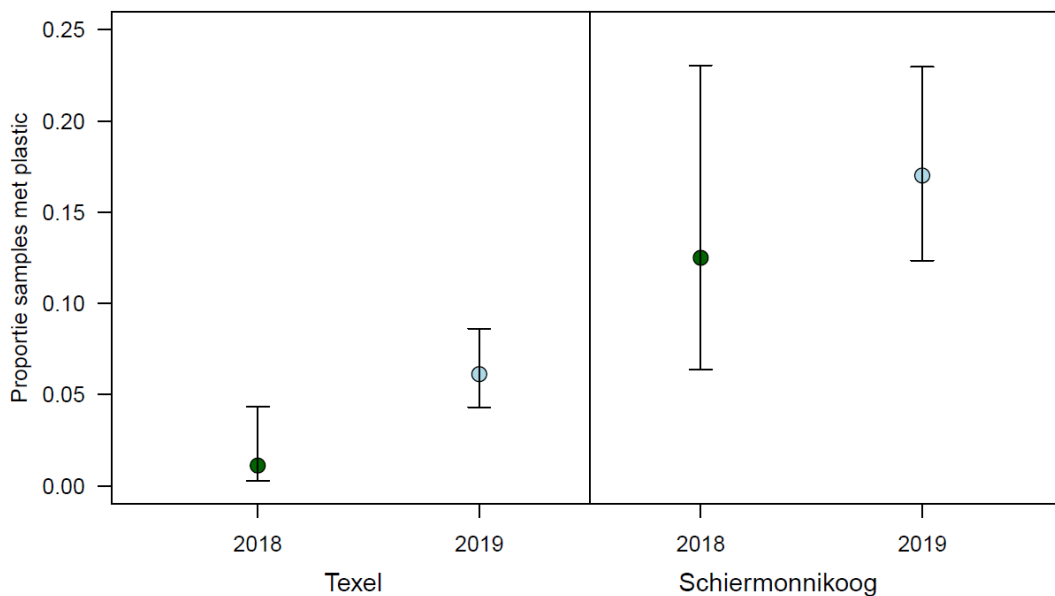
Raman microscoop (voor resultaten zie Appendix 14.4, Tabel 24), konden we concluderen dat deze pellets bovendien geen positieve match (PosMa) gaven.



Figuur 24. Locaties waar braakballen van kleine mantelmeeuwen werden verzameld.

Tabel 8. Aantallen verwerkte samples per locatie per jaar, en aantal samples waarin plastic is gevonden, en plastic pellets.

Locatie	Jaar	Aantal samples	Aantal samples met plastic	Aantal samples met plastic pellets
Texel	2018	180	2	0
Schiermonnikoog	2018	64	8	0
Texel	2019	490	30	3
Schiermonnikoog	2019	194	33	4
Vlieland	2019	20	1	0



Figuur 25. Proportie van braakballen waarin plastic voorkomt voor Texel en Schiermonnikoog uitde jaren 2018 en 2019, bepaald met een binomiaal General Linear Model.

6.8 Plastics in braakballen van lepelaars

Bemonstering

Braakballen van nog niet vliegvlugge lepelaars zijn verzameld tijdens het broedseizoen in mei-juli 2018 en 2019.

Analyse

Er zijn 50 braakballen uitgezocht op voedselresten en microplastics volgens dezelfde methode als die gebruikt voor de braakballen van de kleine mantelmeeuw (Sectie 6.7), waarbij een steekproef is genomen van 25 monsters uit 2018 en 25 uit 2019 (Tabel 9). Daarvan zijn de meeste uit het oostelijke Waddengebied afkomstig en een kleiner deel uit het westelijke Waddengebied. Vermoedelijke plastics uit de braakballen werden behandeld met H₂O₂ om organisch materiaal te verwijderen, gedroogd en vervolgens met de Raman microscoop geanalyseerd

Tabel 9. Overzicht monsters van braakballen van jonge lepelaars.

	2018			2019		
	Verzameld	Geanalyseerd	Aantal met plastics	Verzameld	Geanalyseerd	Aantal met plastics
Texel, De Schorren	15	5	0	0	0	0
Vlieland	2	2	1	23	6	0
Terschelling	0	0	0	2	1	0
Schiermonnikoog	43	9	0	33	16	0
Rottumerplaat	24	9	0	2	2	0

Resultaten

In 3 van de 50 geanalyseerde monsters werden deeltjes gevonden die mogelijk van plastic waren. Na analyse met de Raman microscoop bleek slechts 1 van deze materialen daadwerkelijk plastic te zijn, samengesteld uit methyl cellulose, PA en nylon (Appendix 14.4, Tabel 25). Dit plastic was afkomstig uit een braakbal van een lepelaar op Vlieland uit 2018, en was niet afkomstig van de MSC Zoe.

6.9 Plastics in uitwerpselen van kanoeten

Bemonstering

Er zijn in 2018 en 2019 door NIOZ 390 uitwerpselen verzameld van kanoeten rond het eiland Griend, op Rottum, de Robbenbank, de Schorren en Balgzand, en samengevoegd tot 18 bulkmonsters en ingevroren. De monsters werden verzameld door op wadplaten groepen foeragerende kanoeten op te zoeken en, nadat deze groepen vertrokken waren, de uitwerpselen te verzamelen (Figuur 26). De uitwerpselen werden opgeschept en met 10-25 samengevoegd in een plastic monsterzakje.



Figuur 26. Uitwerpsel van Kanoet.

Analyse

Voor analyse werden de bevroren monsters ontdooid en vervolgens voorzichtig gespoeld om de zoutlaag te verwijderen. Daarna werden de monsters bij 60 °C gedroogd en gezeefd, eerst over een 500 µm en dan over een 300 µm zeef. Voor de plastic analyse zijn alle drie categorieën (500 µm, 300 µm en <300 µm) apart bekeken onder een binoculair. Voor de gedetailleerde methode zie Dekinga en Piersma (1993). Alle stukjes gevonden plastic werden per monster in glasbuisjes met speciale deksels, met een aluminium inleg, bewaard om contaminatie te voorkomen. Voordat deze met de Raman-microscoop geanalyseerd werden, zijn alle plastic stukjes schoongemaakt met H₂O₂ en vervolgens in de droogstoof gedroogd.

Resultaten

Voor 2018 waren zes bulkmonsters uitgewerkt met in totaal 75 uitwerpselen verzameld rond Griend. Voor 2019 waren 12 bulkmonsters beschikbaar. Deze bulkmonsters waren verzameld bij: Griend (n=4), Engelsmanplaat (n=4), Balgzand (n=2) en Texel (n=2) met respectievelijk 100, 40, 50 en 50 uitwerpselen per locatie. Van de 18 bulkmonsters is er in één monsters microplastic gevonden. (Appendix 14.4, Tabel 26). Dit betrof een bulkmonster van het Balgzand (2019) waar zich in de 500 µm fractie een stukje Polystyreen – Polyethyleentereftalaat en PE bevonden. Het PE is mogelijk contaminatie van de monstermethode. In geen van de 18 bulkmonsters zijn HDPE-pellets of PS-korrels gevonden.

6.10 Plastics in Zeehonden

Bemonstering

In het Waddengebied heeft WMR de gewone zeehond (*Phoca vitulina*) en de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*) onderzocht. Dit onderzoek was gericht op de inname van plastics en er is gekeken naar aanwezigheid van plastics in het maagdarmkanaal van beide soorten zeehonden, vóór en na het MSC Zoe incident. Het volledige onderzoek dat is samengevat in deze paragraaf is beschreven in Schop et al (2020).

In de periode vóór het MSC Zoe incident, 2009-2014, heeft WMR in samenwerking met de Universiteit Utrecht op eigen initiatief gestrande zeehonden verzameld. Voor dit onderzoek werden hieruit 47 zeehonden (11 grijze; 36 gewone) geselecteerd, dit betrof alle beschikbare 29 dieren uit de Waddenzee (afkomstig van Texel), aangevuld met 18 exemplaren van de kust van Noord-Holland. Na het MSC Zoe incident heeft WMR in totaal 18 zeehonden (4 grijze; 14 gewone) uit het Waddengebied onderzocht, waarvan 17 in 2019 en 1 in 2020.

Analyse

Alle zeehonden werden onderworpen aan postmortaal onderzoek bij de Faculteit Diergeneeskunde in Utrecht. De autopsies werden uitgevoerd volgens standaard protocol (IJsseldijk & Van den Brand, 2020), waarna het maag-darmkanaal werd bewaard voor verder onderzoek. De verwerking van de maag en darmen was voor alle zeehonden gelijk: eerst werden de magen en darmen ontdooid. De inhoud werd gewassen in een wasmachine in zakken met een maaswijdte van 300 µm en 120 µm (Schop et al., 2020). Vervolgens werd het residu in de zakken onderzocht op aanwezigheid van plastics door getrainde analisten volgens een de methode beschreven in Van Franeker et al. (2011), met 0.12 mm als kleinste zeefmaat.

Resultaten

In de maag/darmen van 8 van de 47 zeehonden van vóór het incident werden 14 stuks plastics gevonden. Deze bestonden uit (vis)draadjes, plastic stukjes en velletjes, maar geen HDPE-pellets of PS-korrels (Figuur 27). Bij geen van de 18 zeehonden verzameld na het incident werden plastics in de maag/darmen aangetroffen (Tabel 10). Bij 48 van de in totaal 65 zeehonden kon de doodsoorzaak worden achterhaald, maar bij geen van de dieren kon dit gerelateerd worden aan de invloed van plastics.



Figuur 27. Voorbeelden van plastics gevonden in het maagdarmkanaal van zeehonden. Van links naar rechts: plastic velletjes, acryl draad, vishaak met polyamide (nylon) draad.

Het aangetroffen plastic was in alle gevallen klein van stuk; partikels/velletjes van enkele millimeters groot en draden van enkele centimeters lang. Ook uit literatuur blijkt dat het plastic dat in het

maagdarmkanaal van de zeehonden aangetroffen wordt vaak klein is. Uitzondering vormen de visdraden, waarbij soms nog haken, drijvers of ander vistuig wordt gevonden. Vermoedelijk wordt het vistuig met een vis ingeslikt. Uit de vondsten zou men kunnen aannemen dat zeehonden zelden plastics direct als prooi zien, maar dit per ongeluk inslikken, of via het eten van prooi waar plastics in zat binnenkrijgen. Zeehonden slikken vaak hele vissen in, waarbij de soms grote botresten het maagdarmstelsel doorlopen. Het is daarom onwaarschijnlijk dat kleine plastic stukjes, zoals de microplastics verloren door de MSC Zoe, een fysiek probleem bij de zeehonden zouden veroorzaken. Dit is anders voor grotere (plastic) voorwerpen waar de dieren in verstrikt kunnen raken. Er worden regelmatig dieren aangetroffen die verstrikt zijn in visnetten of ander plastic materiaal. Het is niet uit te sluiten dat de grotere plastic goederen die de MSC Zoe verloor tot verstriking van zeehonden hebben geleid, maar dit is niet onderzocht.

Tabel 10. Aantallen en percentages van de onderzochte zeehonden met plastics in het maag-darmkanaal uit de perioden 2009-2014 en 2019-2020. Als geen van de dieren plastics bevatte is tussen haakjes de detectie limiet (1/monstergrootte) weergegeven.

Soort	2009 -2014			2019-2020		
	N	N met plastic	% met plastic	N	N met plastic	% met plastic
Gewone zeehond	36	4	11%	14	0	0 (<7%)
Grijze zeehond	11	4	36%	4	0	0 (<25%)
Totaal	47	8	17%	18	0	0 (<6%)

6.11 Plastics in Bruinvissen

Bemonstering

Een studie van Van Franeker et al. uit 2018 heeft aangetoond dat in 15% van de in Nederland gestrande bruinvissen afval in de maag wordt teruggevonden als men een standaardmethode toepast, die te vergelijken is met de methode gebruikt bij het onderzoek naar het voorkomen van plastics in noordse stormvogels. Voor die tijd is er geen systematisch onderzoek naar het afval in bruinvismagen gedaan, enkel de beschrijving van enkele opvallende, individuele gevallen was bekend (Bosch, 1950; Kastelein en Lavaleije, 1992). Voor het onderzoek door WMR in het kader van het Zoe incident is opnieuw de methode-Van Franeker gevolgd: tijdens het standaard dieetonderzoek zijn opvallende stukken "plastic" meteen verzameld en genoteerd en vervolgens is de maaginhoud schoongespoeld over een zeef (1 mm) waarna het materiaal dat op de zeef achterbleef nog een keer is nagezocht op het voorkomen van microplastic.

Analyse

Gestrande bruinvissen werden voor onderzoek overgebracht naar de Faculteit Diergeneeskunde van de Universiteit Utrecht. Hier wordt sectie uitgevoerd om de doodsoorzaak te bepalen en wordt de maag in zijn geheel uit het dier genomen voor later dieetonderzoek. De maaginhoud van de bruinvissen werd over een 1 mm zeef gespoeld. Het gevonden zwerfafval is in categorieën ingedeeld volgens de methode die ook voor de noordse stormvogel maaganalyse wordt gebruikt (Van Franeker et al., 2011; Bravo Rebolledo et al., 2013; OSPAR 2015). Verder is gekeken of het gevonden plastic mogelijk afkomstig was van het MSC-Zoe incident. Losse vezels, zoals van kleding, zijn niet meegenomen, omdat niet uit te sluiten valt dat deze later in het monster terecht zijn gekomen.

Resultaten

In totaal zijn er 257 bruinvismagen geanalyseerd (Tabel 11), 213 afkomstig uit de periode 2014-2018 (voor het MSC Zoe incident) en 44 afkomstig uit 2019 (na het MSC Zoe incident). Er zijn 80 items plastic gevonden in 31 magen (12,1%) bestaande uit voornamelijk draden (43 stuks), fragmenten (21 stuks) en vellen (10 stuks). Het meeste plastic (49%) was afkomstig uit een enkele bruinvis gestrand in Westkapelle in 2015, die 40 stuks plastic bevatte. Van de onderzochte bruinvissen was 84% van de dieren afkomstig van de Noordzeekust. In deze 217 magen is in 24 magen een totaal van 73 items gevonden, waarbij in 2019 3 items in 2 magen zijn gevonden. De resterende 16% van de dieren was afkomstig uit het Waddengebied. In 5 van deze 40 magen is een totaal van 7 items plastic gevonden. Er werd geen plastic gevonden in de vier bruinvissen die in 2019 strandden in het Waddengebied, en plastic dat werd gevonden in de bruinvissen die in datzelfde jaar strandden aan de Noordzeekust was niet terug te herleiden naar verloren lading van de MSC Zoe.

Aangezien de maaginhouden zijn gespoeld over een 1 mm zeef is het mogelijk dat eventueel aanwezige kleine PS-korrels doorgespoeld zijn. Aangezien de maag van tevoren visueel wordt geïnspecteerd zouden grote hoeveelheden plastic korrels opgevallen moeten zijn. Dit is niet waargenomen. Het merendeel van het aangetroffen zwerfafval in de bruinvismagen bestond uit kleine stukken plastic waarvan de kans op

gezondheidsproblemen niet aannemelijk is. Een groter aantal Waddenzeedieren uit 2019 had meer duidelijkheid kunnen scheppen over de invloed van het MSC Zoe incident. Het aantal dode bruinvissen dat verzameld wordt in het Waddengebied is echter standaard veel kleiner dan langs de westkust van Nederland.

Tabel 11. Overzicht van het resultaat van de onderzochte bruinvissen die dood werden aangetroffen in de Waddenzee en langs noordzeestranden in 2014-2018 en 2019.

	2014-2018			2019			2018-2019
	Wadden zee	Noordzee kust	Totaal	Wadden zee	Noordzee kust	Totaal	Totaal
Aantal bruinvissen	36	177	213	4	40	44	257
Aantal met plastic	5	24	29	0	2	2	31
Percentage met plastic	14%	14%	14%	0%	5.0%	4.5%	12%
Totaal aantal plastic deeltjes	7	70	77	0	3	3	80
Plastics per individu	0.19	0.40	0.36	0.00	0.08	0.07	0.31

7 Ecologische effecten van microplastics

De ecologische effecten van de PS-korrels zijn onderzocht in een mesocosm studie. Het volledige onderzoek dat in deze paragraaf is samengevat is beschreven in Foekema et al. (2020). De HDPE-pellets zijn niet in mesocosms onderzocht omdat deze blijven drijven en daardoor weinig interactie hebben met de, onder water levende organismen die in dit type mesocosms worden onderzocht. Bovendien is het formaat van deze pellets te groot om ingeslikt te worden door de in de mesocosm aanwezige soorten. Het enige effect dat redelijkerwijs van deze pellets in mesocosms verwacht kan worden is een effect van schaduw veroorzaakt door hoge concentraties drijvende pellets. Dit zou de primaire productie kunnen remmen.

7.1 Mesocosm experimentele opzet

De gebruikte mesocosms werden ingericht in 30 identieke polyester tanks met een diameter van ca. 2 meter, een diepte van ca. 2 meter, en een totaal volume van ruim 5 m³. Elk systeem werd voorzien van een ca. 15 cm dikke fijne zandlaag geënt met macro- en meiofauna vanuit slib uit de Waddenzee, en afgevuld tot een waterdiepte van ca. 180 cm met vers Waddenzee water met natuurlijke planktongemeenschap. Aan elke mesocosm werden vervolgens 20 kokkels, 20 wadpieren en 50 alikruiken van gelijke grootte per soort toegevoegd. De aldus gecreëerde 30 identiek ingerichte mesocosms zijn daarna in twee groepen van 15 gedeeld. Gedurende de acclimatisatieperiode van 5 weken werd het water tussen de 15 mesocosms van een groep gecirculeerd. In één groep werden in elke mesocosm 20 mossels in mandjes gehangen. In de andere groep werden geen mossels gebracht, maar zijn drie weken na de plastic dosering juveniele visjes (tong) ingezet. Door in deze mesocosm geen mossels te plaatsen bleef er meer fytoplankton beschikbaar voor de prooidieren van de vissen (zoöplankton en benthos).

Aan het eind van de acclimatisatieperiode werd de watercirculatie beëindigd en werden op 13 mei de PS-korrels in de mesocosms gedoseerd (zie volgende paragraaf). De ontwikkeling van mesocosms werd gedurende 8 weken na de dosering gevolgd. Daarna werd in de eerste helft van juni de eindbemonstering uitgevoerd waarbij sediment, plankton, benthos, en in de 'vis-mesocosms' de vis werd verzameld. Omdat de aanwezigheid van vis een duidelijke invloed heeft op de levensgemeenschap in de mesocosms zijn voor het vaststellen van effecten op ongewervelden de gegevens van de mesocosms zonder vis gebruikt. De 'vis-mesocosms' zijn alleen ingezet om het effect op de vissen te onderzoeken.

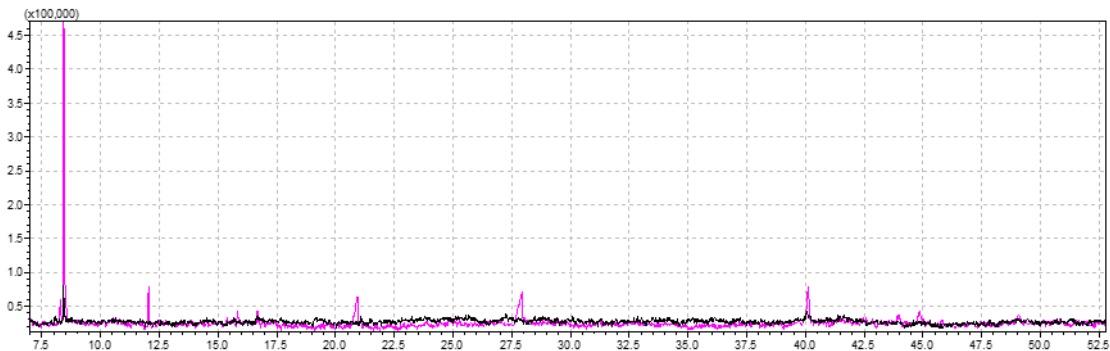
7.2 Doseringen PS-korrels

De basis voor de doseringsreeks die in de mesocosms is gebruikt (Tabel 12) is het scenario dat de 11.250 kg PS-korrels die MSC Zoe heeft verloren zich homogeen hebben verspreid in de Nederlandse Waddenzee ten oosten van Schiermonnikoog. Dit komt overeenkomt met ca. 10% van het oppervlak van de Nederlandse Waddenzee, waar dan 0,08 gram korrels per m² (326 korrels per m²) aanwezig zouden zijn. Dit vormde de laagste dosering in de mesocosm proef. In de drie volgende doseringen werden de hoeveelheden per mesocosm telkens met een factor 10 verhoogd, simulerend dat de totale hoeveelheid verloren PS-korrels zich geconcentreerd hebben over respectievelijk 1, 0,1 en 0,01% van het oppervlak van de Nederlandse Waddenzee. In de hoogste gedoseerde mesocosms werd 240 gram PS-korrels toegevoegd wat leidde tot een belasting van 80 gram PS-korrels per m², dit zijn er ruim meer dan 300.000 per m² (Tabel 12) Elke behandeling werd in 3-voud uitgevoerd, en was gelijk voor de 'mossel-' en de 'vis-mesocosms'.

Tabel 12. Gedoseerde hoeveelheid PS-korrels in grammen, geschat aantal per m², en het oppervlak van de Waddenzee waar deze dosis zou kunnen zijn ontstaan. Dit is gebaseerd op de oppervlakte van de Waddenzee en de geschatte hoeveelheid van 11.250 kg PS-korrels die door MSC Zoe zijn verloren. De in de tabel aangegeven 'Dosis' wordt verder als aanduiding van de behandelingen gehanteerd. Elke behandeling werd in 3-voud getest in mesocosms met en zonder vis. In de tabel en verdere rapportage is de 0,08 gram m² behandeling weergegeven als 0,1 g/m².

Dosis	n/m ²	Percentage oppervlak van Waddenzee (scenario)
0 g/m ²	0	Blanco (geen PS-korrels in Waddenzee)
0,1 g/m ²	326	10% (alles ten oosten van Schiermonnikoog)
0,8 g/m ²	3259	1% (geconcentreerd)
8 g/m ²	32590	0.1% (sterk geconcentreerd)
80 g/m ²	325900	0.01% (zeer sterk geconcentreerd)

Het was niet mogelijk de mesocosmproof uit te voeren met de PS-korrels die werkelijk uit de lading van MSC-Zoe afkomstig waren. Hiervoor was niet voldoende materiaal voorhanden. Als alternatief werden soortgelijke industriële PS-korrels verkregen via CARAT GmbH in Duitsland. Deze korrels, product code V2020-0065, waren met een diameter tussen 0.7 en 0.9 mm een fractie groter, maar verder qua samenstelling, vorm en uiterlijk gelijk aan de originele Zoe korrels. De CARAT korrels zijn op dezelfde wijze onderzocht op de aanwezigheid van chemische additieven als de originele korrels (zie paragraaf 2.3). Net als de originele Zoe PS-korrels bevatten ze acetophenone (CASnr. 98-86-2) wat duidt op een vergelijkbaar productieproces als de originele Zoe PS-korrels. Dit acetophenone was in duidelijk hogere concentraties aanwezig in de CARAT korrels dan in de beschikbare PS-korrels die van de Zoe afkomstig waren. Dit was ook het geval voor enkele andere niet te identificeren stoffen in veel lagere concentraties (Figuur 28).



Figuur 28 GC-MS chromatogrammen van hexaan extracten van de originele Zoe PS-korrels (zwart) en de PS-korrels verkregen via CARAT GmbH die in de mesocosm studie zijn gebruikt (paars). De hoge paarse piek rond 8.4 wordt veroorzaakt door Acetophenone (CASnr. 98-86-2).

7.3 Resultaten

7.3.1 Fysisch-chemische waterkarakteristieken

Gedurende de proef werden de volgende ranges van waterkarakteristieken in de mesocosms vastgesteld: temperatuur 14-22 °C, saliniteit 28-31‰, pH 8,2-8,7 en een zuurstofverzadingsniveau tussen 95 en 104%. Dit zijn voor de Waddenzee normale voorjaars-/zomerwaarden en niet kritisch voor het functioneren van het ecosysteem. Verschillen van deze parameters tussen mesocosms waren verwaarloosbaar en tussen behandelingen niet significant.

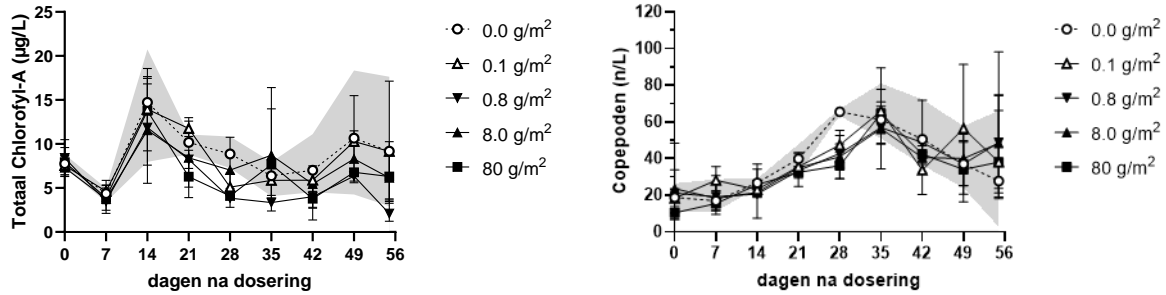
7.3.2 Gedrag van de PS-korrels

Na dosering bleef een deel van de korrels gevangen in de oppervlaktespanning drijven, maar binnen een dag waren alle korrels van het wateroppervlak verdwenen. Gedurende de gehele looptijd van de proef werden korrels gesuspendeerd in de waterkolom waargenomen. Bij de eindbemonstering, 8 weken na de dosering, werd geschat dat ca. 85% van de gedoseerde korrels zich in, of op het sediment bevond. Het merendeel was aanwezig op/in de bovenste cm, maar ook in diepere lagen werden de korrels aangetroffen.

7.3.3 Ontwikkeling van biota en interacties met PS-korrels

7.3.3.1 Planktongemeenschap

De fytoplankton gemeenschap werd gedomineerd door groenalgen en diatomeeën. De gemiddelde chlorofyl-A gehalten in de blanco's en de laagst gedoseerde mesocosms waren vanaf dag 14 vrijwel altijd hoger dan in de hoger gedoseerde mesocosms (Figuur 29). Verschillen tussen behandelingen en controles waren echter niet statistisch significant. Copepoden vormden de dominante zooplanktongroep, zoals gebruikelijk in het mariene milieu. Met uitzondering van dag 28, wanneer de blanco's significant meer copepoden bevatten dan de 0,8 g/m² en de 80 g/m² mesocosms, werd geen relatie met de behandeling zichtbaar.

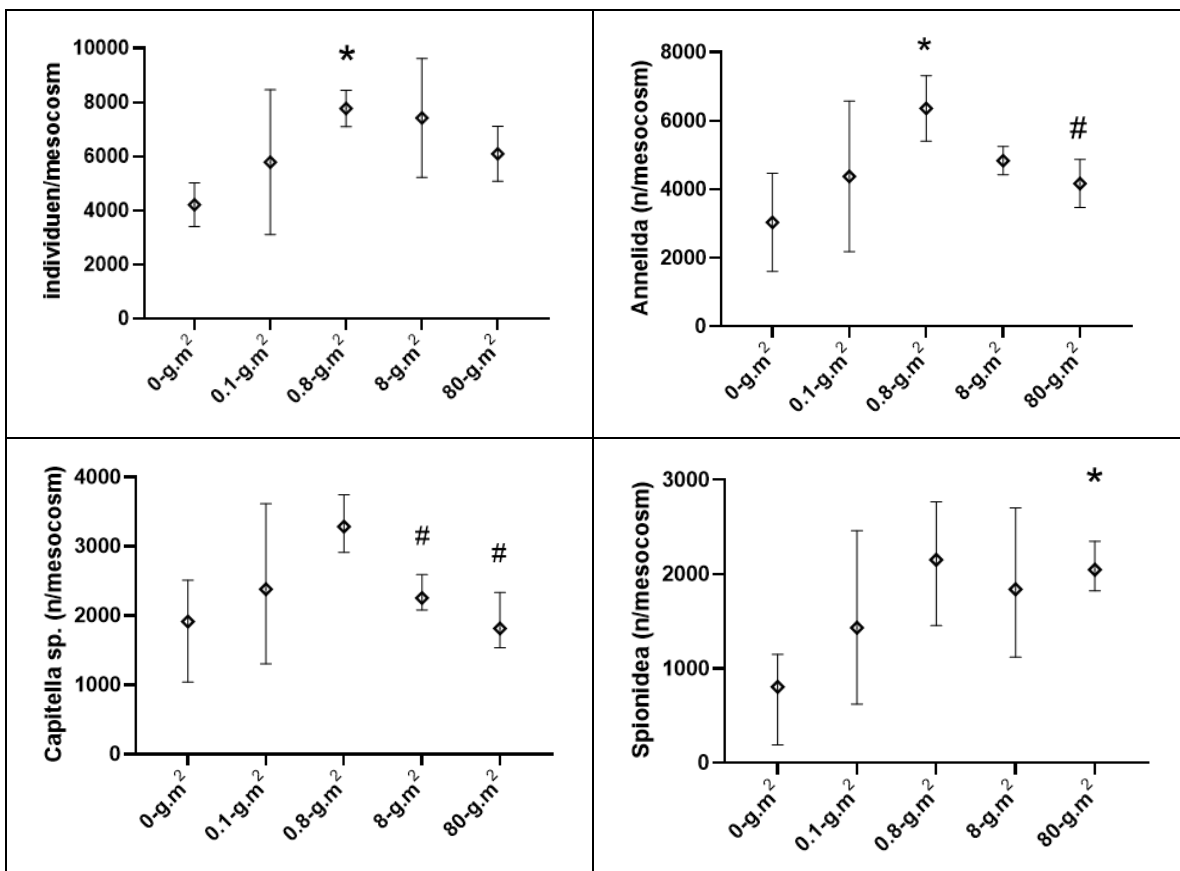


Figuur 29. Ontwikkeling van fytoplankton biomassa (gemeten als chlorofyl-A) (links) en copepoden dichtheden (rechts) in de mesocosms. Weergegeven als gemiddelde met minimum en maximum waarden van de drie gerepliceerde behandelingen. Het grijze veld geeft de range van de waarden (min-max) van de drie blanco mesocosms aan.

7.3.3.2 Benthos gemeenschap

Het sediment van de mesocosms bevatte rond de 20 soorten macro-evertebraten, bestaande uit wormen, schelpdieren, kreeftachtigen en neteldieren (anemonen). De aantallen soorten (*species richness*) en de biodiversiteit (*diversity index* en *eveness* - berekend volgens zowel de Shannon-Wiener als de Simpson methode-) van de benthos gemeenschap was niet verschillend tussen blanco's en behandelde mesocosms bij de eindbemonstering.

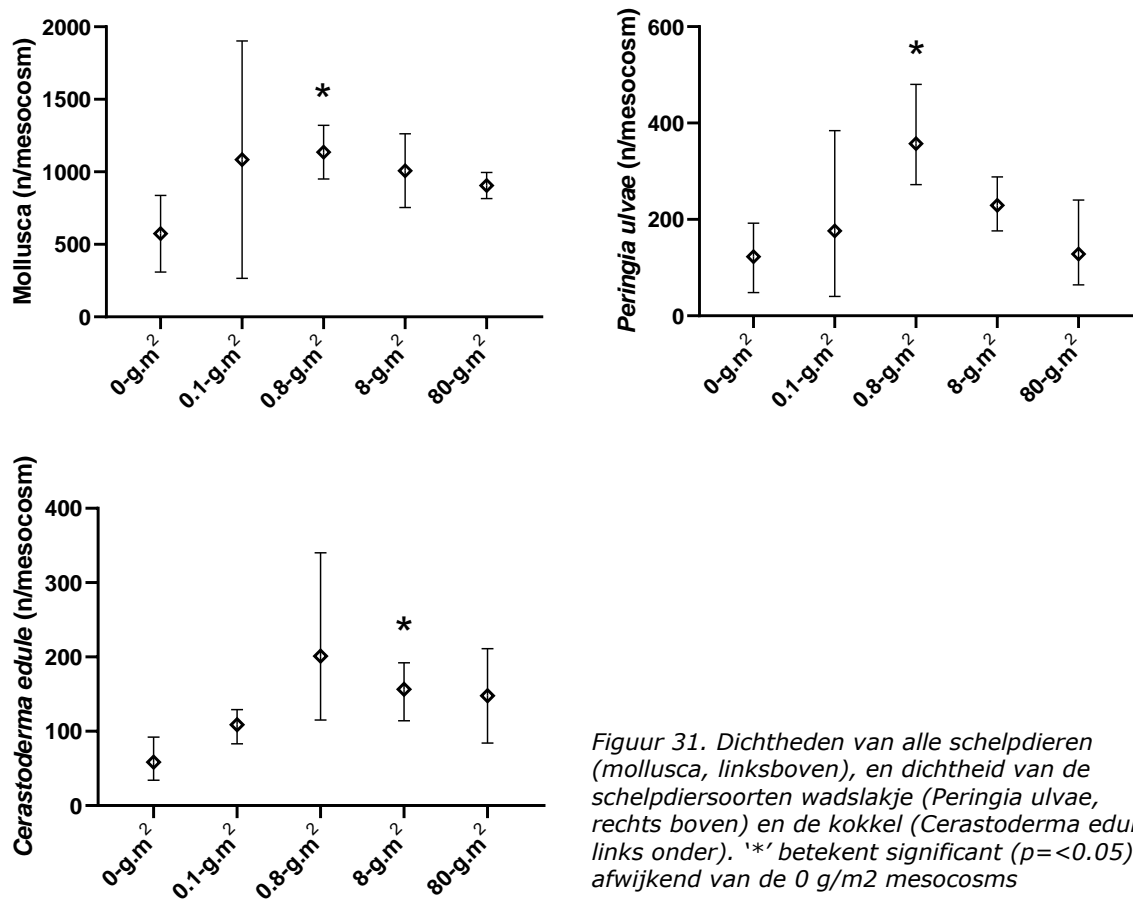
Het aantal organismen in het sediment toonde een respons op de behandeling (Figuur 30). De significant hoogste aantallen werden gevonden bij 0,8 g/m². Bij hogere blootstellingsconcentraties dalen deze aantallen weer.



Figuur 30. Totale dichtheid (Total abundance, linksboven), dichtheid van wormen (Annelida, rechtsboven), dichtheid van de wormen taxa *Capitella sp.* (linksonder) en *Spionidea* (rechtsonder). '*' betekent significant ($p < 0.05$) afwijkend van de 0 g/m² mesocosms, '#' betekent significant afwijkend van de 0.8 g/m² mesocosms.

Dit patroon werd in belangrijke mate bepaald door de aantallen wormen (*Annelida*, Figuur 30), en schelpdieren (Mollusca, Figuur 31). Onder de wormen waren de *Capitellidae* en *Spionidae* de meest abundante groepen. Beiden zijn kleine borstelwormen. *Capitellidae* leven 'vrij' in het sediment, terwijl *Spionidae* in het sediment kokers maken van zandkorrels en organisch materiaal. De *Capitellidae* volgden het patroon van de *Annelida* zoals weergegeven in Figuur 30, met een optimum in de 0.8 g/m² behandeling, gevolgd door een significante afname ten opzichte van deze piek bij hogere concentraties. Bij de *Spionidae* was na 0.8 g/m² behandeling geen afname, maar stabilisatie zichtbaar, met een statistisch significant hogere dichtheid in de hoogst gedoseerde mesocosms (Figuur 30).

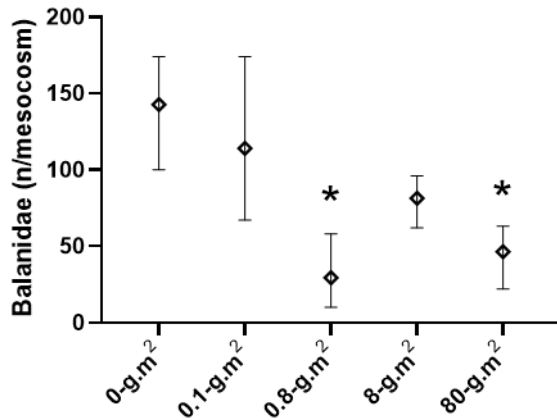
Onder de schelpdieren (Figuur 31) waren juveniele mossels (*Mytilus edulis*) en mesheften (*Ensis* sp.) de numeriek dominante groepen. Deze taxa vertoonden geen respons met de behandeling. Wadslakjes (*Peringia ulvae*) en juveniele kokkels (*Cerastoderma edule*) toonden een gelijke respons als de wormen; met een optimum rond 0,8 g/m².



Figuur 31. Dichtheden van alle schelpdieren (mollusca, linksboven), en dichtheid van de schelpdiersoorten wadslakje (*Peringia ulvae*, rechts boven) en de kokkel (*Cerastoderma edule*, links onder). '*' betekent significant ($p < 0.05$) afwijkend van de 0 g/m² mesocosms

Zeepokken

Zeepokken die als larven met het zeewater in de mesocosms waren gebracht settelden zich op de wanden en op de beluchtingsbuis. Bij de eindbemonstering waren de aantallen zeepokken per mesocosm gemiddeld lager in de doseringen boven de 0,1 g/m² dan in de controles (Figuur 32). Bij 0,8 g/m² en 80 g/m² waren deze verschillen statistisch significant.

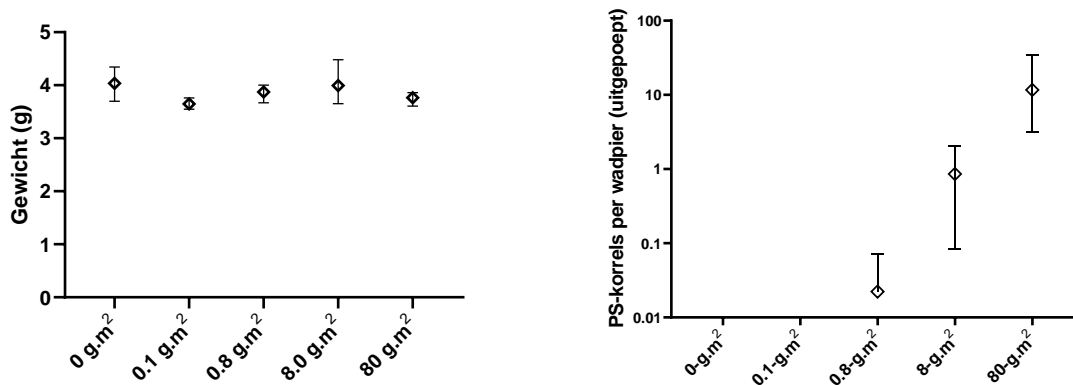


Figuur 32. Aantallen levende zeepokken (*Balanidae*) in de mesocosms tijdens de eindbemonstering 56 dagen na de dosering.

7.3.3.3 Geïntroduceerde soorten

Wadpieren

Van de ingezette wadpieren werd bij de eindbemonstering per mesocosm gemiddeld 81% levend teruggevonden, zonder verschillen tussen behandelingen. Ook het individueel lichaamsgewicht vertoonde geen significante verschillen tussen behandelingen (Figuur 33). In de darm van de wadpieren die bij de eindbemonstering werden verzameld werden PS-korrels teruggevonden in de 0,8 g/m² mesocosms en hoger. Bij de hoogste dosering bevatte een wadpier gemiddeld ca. 10 PS-korrels, met uitschieters van meer dan 30 korrels per pier (Figuur 33).



Figuur 33. Gewicht van de wadpieren (links) en de gemiddelde hoeveelheid PS-korrels in het uitgepoepde sediment per wadpier bij de eindbemonstering (rechts).

Alikruiken

De overleving van de ingezette alikruiken bedroeg tijdens de eindbemonstering gemiddeld per mesocosm 98%, zonder significante verschillen tussen behandelingen. Gedurende de proef namen de alikruiken in alle mesocosms toe in schelpenlengte en gewicht. Ook hierbij ontstonden geen significante verschillen tussen behandelingen. In het maagdarmkanaal van de alikruiken werden geen PS-korrels aangetroffen.

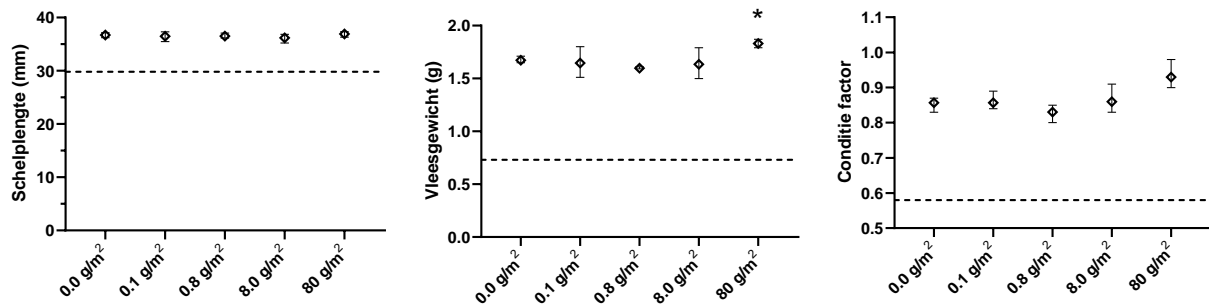
Kokkels

De overleving van de geïntroduceerde kokkels was gemiddeld 93% en vertoonde ook geen relatie met de behandeling. Gedurende de proef nam de schelpenlengte met ruim 50% toe en verdrievoudigde het vleesgewicht, waardoor ook de conditiefactor verbeterde. Er werden geen significante verschillen tussen behandelingen vastgesteld. Er werden geen PS-korrels gevonden in het lichaam van de blootgestelde kokkels.

Mossels

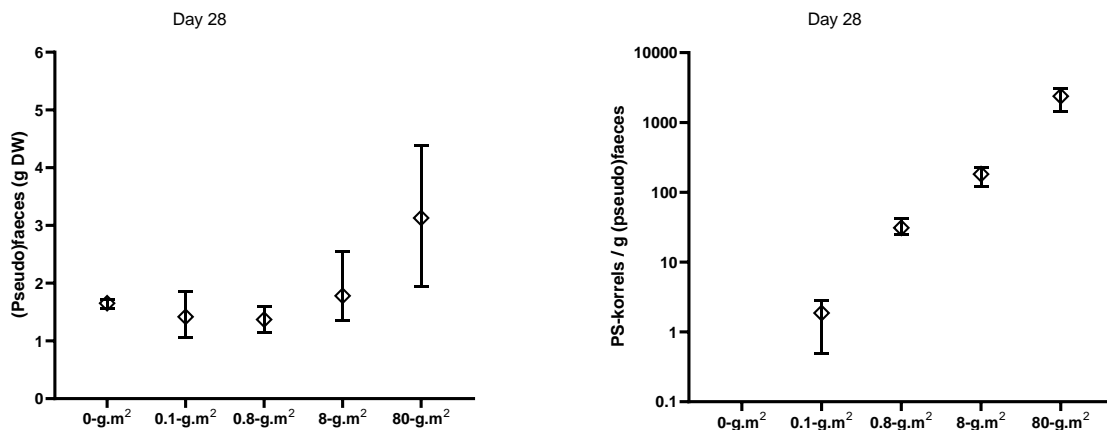
Van de geïntroduceerde mossels was per mesocosm gemiddeld 95% in leven tijdens de eindbemonstering. In alle mesocosms nam de schelpenlengte van de mossels met ca. 7 mm toe tijdens de blootstellingsduur, terwijl het vleesgewicht ruim verdubbelde (Figuur 34). Deze gewichtstoename vertoonde geen duidelijke correlatie met de dosering, maar was wel significant ($p=0,020$) groter in de

hoogst gedoseerde mesocosms. De conditiefactor toonde een vergelijkbaar beeld, maar zonder significante verschillen.



Figuur 34. Schelpenlengte (links) vleesgewicht (midden) en conditiefactor (rechts) van de mossels aan het eind van de proef. De horizontale lijn geeft de gemiddelde waarden aan die golden bij het introduceren van de dieren in de mesocosms. '*' geeft aan dat de waarde statistisch significant afwijkt van de 0.0g/m² behandeling.

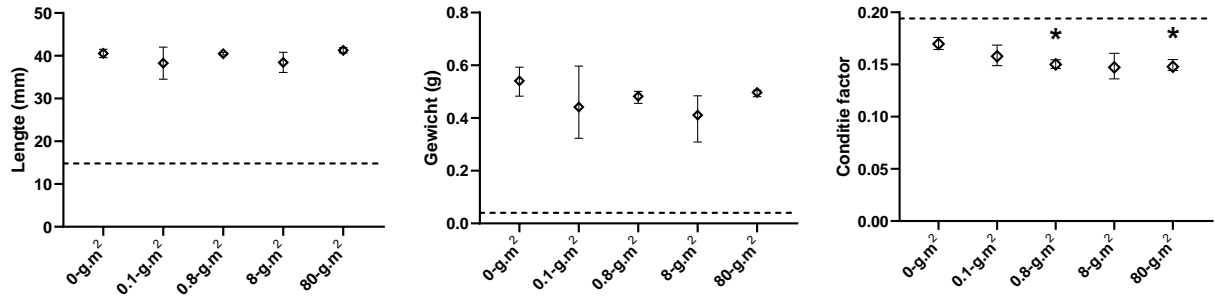
In het lichaam van de mossels werden geen PS-korrels aangetroffen. PS-korrels werden wel in grote hoeveelheden aangetroffen in het slib dat zich tussen de mossels verzamelde en voor een belangrijk deel uit faeces en pseudofaeces bestaat. Pseudofaeces zijn de oneetbare materialen die de mossel uit het water filtert, maar niet inslikt. Deze worden als pellets 'uitgespuugd'. De totale hoeveelheid geproduceerde (pseudo)faeces was hoger in de hoogst gedoseerde mesocosms. In alle mesocosms met uitzondering van de blanco's bevatte de pseudofaeces PS-korrels. De aantallen liepen uiteen van gemiddeld ca. 1 korrel per gram drooggewicht in de laagst gedoseerde mesocosms, tot ca. 3000 korrels per gram bij de hoogste dosering (Figuur 35).



Figuur 35. Door mossels in de mesocosms geproduceerde hoeveelheid (pseudo)faeces tussen dag 21 en dag 28 (links) en de hoeveelheid PS-korrels daarin uitgedrukt per gram (rechts).

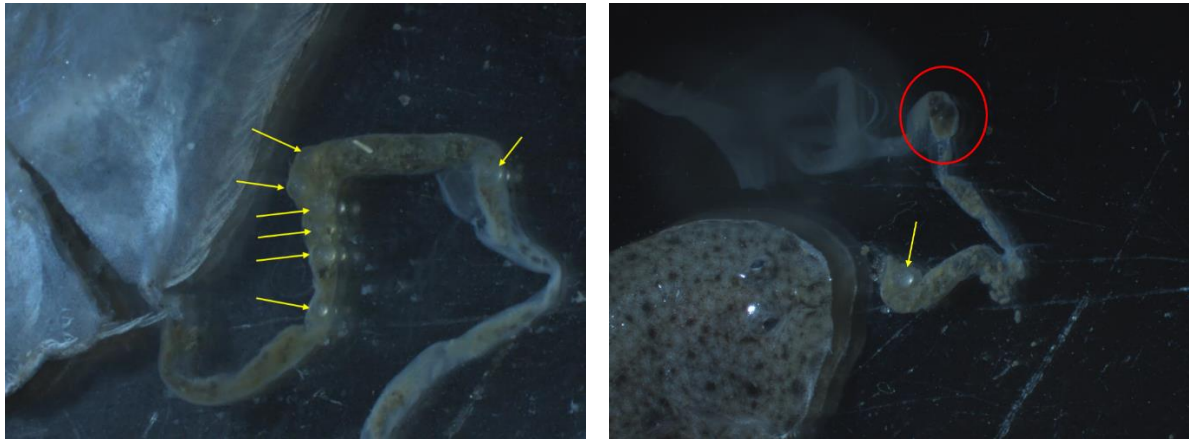
Tong

Van de ingezette juveniele tongetjes werd bij de eindbemonstering gemiddeld per mesocosm 96% levend teruggevonden, zonder verschillen tussen behandelingen. Alle teruggevangen tongetjes verkeerden in goede conditie. Sinds de introductie was de lengte ruim verdubbeld, en het lichaamsgewicht ongeveer vertienvoudigd (Figuur 36). De conditiefactor was wel iets lager dan toen de dieren vers uit de kwekerij kwamen, en toont een correlatie met de behandelingen; in de 0,8 g/m² en 80 g/m² mesocosms was de conditiefactor bij de eindbemonstering significant lager (respectievelijk p= 0.027 en 0.032) dan in de blanco mesocosms. Ook in de 8 g/m² mesocosms was de gemiddelde conditiefactor lager dan in de blanco's maar hier was de spreiding te groot voor een significant effect met p<0.05.



Figuur 36. Lichaamslengte (links), gewicht (midden) en conditie factor (rechts) van de juveniele tongetjes aan het eind van de proef. De horizontale lijn geeft de gemiddelde waarden aan die golden bij het introduceren van de dieren in de mesocosms. '*' geeft aan dat de waarde statistisch significant afwijkt van de 0.0g/m² behandeling.

PS-korrels werden aangetroffen in 3% van de tongetjes uit de 8,0 g/m² mesocosms en in 17% van de tongetjes uit de 80 g/m² mesocosms. Het maximaal aantal korrels per visje was 7 (Figuur 37). Er werden geen aanwijzingen gevonden dat de korrels substantiële problemen, zoals verstopping, in het maag-darm kanaal van de visjes veroorzaakten. Bij het onderzoek werden in de darmen ook huisjes van wadslakjes (Figuur 37) en schelpenresten van kokkels aangetroffen met een grotere diameter dan de PS-korrels. Mogelijk leidt de opname van het plastic wel tot een tragere darmassage, wat het effect op de conditiefactor zou verklaren.



Figuur 37. Uitgeprepareerde darmen van een juveniele tong uit de mesocosms. De gele pijlen wijzen naar de ingeslikte PS-korrels. In de rode cirkel is de schelp van een wadslakje zichtbaar.

7.4 Conclusies mesocosm onderzoek

In de mesocosm studie ontstonden effecten na de dosering van de PS-korrels. Statistisch significant waren een eenmalig lagere copepoden dichtheid in de 80 g/m² mesocosms; lagere dichtheden zeepokken vanaf 0,8 g/m²; een piek in de dichtheid van schelpdieren en wormen in de 0,8 g/m² mesocosms, voor sommige soorten gevolgd door een afname bij hogere concentraties; een hogere dichtheid van de wormen *Spionidae* sp. in de 80 g/m² mesocosms; een hoger vleesgewicht van mossels in de 80 g/m² mesocosms; en een lagere conditiefactor van tong uit de 0,8 g/m² en de 80 g/m² mesocosms. In de laagste test concentratie (0,1 g/m²) werden geen statistisch significante afwijkingen van de blanco's gevonden. Deze concentratie komt overeen met het scenario dat alle verloren PS-korrels homogeen zijn verspreid op een oppervlak van 10% van de Nederlandse Waddenzee. Dit betreft dan ca. 326 PS-korrels per m². De volgende concentratie waarbij wel statistisch significante effecten zijn gevonden ligt een factor 10 hoger (0,8 g/m²), ca. 3260 PS-korrels per m².

De PS-korrels veroorzaakten geen zichtbare sterfte, substantiële achteruitgang in conditie van organismen, of veranderingen in de biodiversiteit. Wel lijken lage concentraties PS-korrels (tot 0,8 g/m²) de productiviteit van het bodemleven te stimuleren. Welk mechanisme hierachter zit is nog onduidelijk. Mogelijk is er een relatie met het negatieve effect op de zeepokken bij dezelfde concentratie PS-korrels, waardoor de predatiedruk op de pelagische larven van de bodemdieren vermindert. Bij concentraties vanaf 8 g/m² wordt de stimulatie van het bodemleven tenietgedaan. Dit zou erop kunnen duiden dat er nu ook negatieve effecten op het bodemleven optreden. In de hoogste testconcentratie zijn de

dichtheden bodemdieren in vrijwel alle gevallen weer vergelijkbaar met de blanco's. Door natuurlijke variatie is het zeer onwaarschijnlijk dat de in de mesocosms waargenomen effecten in een veldsituatie kunnen worden aangetoond. Waarmee niet gezegd is dat zij geen subtiele rol spelen in het functioneren van het ecosysteem.

Naast inzicht in bovengenoemde dosis-effect relaties leren de mesocosmresultaten ook:

- Dat de PS-korrels worden opgenomen door mossels, wadpieren en kleine visjes, waardoor deze hoger in de voedselketen terecht kunnen komen als deze dieren gegeten worden door (grotere) vissen en vogels. Daarnaast is het mogelijk dat vogels en vissen bij het foerageren op mosselbanken pseudofaeces binnenkrijgen waarin de mossels PS-korrels hebben geconcentreerd.
- Dat de PS-korrels effectief door mossels als oneetbaar worden herkend en uitgescheiden als pseudofaeces, waardoor slib tussen mosselbanken potentie biedt voor monitoring van microplastics.
- Dat de PS-korrels door bioturbatie in diepere sedimentlagen terecht kunnen komen.

8 Discussie

8.1 HDPE-pellets

8.1.1 Karakterisering

Samenvatting

Van de HDPE-pellets die vlak na het incident met MSC Zoe massaal op de stranden van de Waddeneilanden aanspoelden kon niet met zekerheid worden vastgesteld dat zij afkomstig zijn van de MSC Zoe. Gezien het moment waarop, en het locaties waar de pellets aanspoelden is dit echter wel zeer waarschijnlijk. Dit geldt ook voor de zak met HDPE-pellets die op de Groninger kwelder werd aangetroffen, en waarvan de inhoud als referentiemateriaal voor dit project is gebruikt. Ook kan niet met zekerheid worden vastgesteld dat de in de monsters aangetroffen HDPE-pellets met hetzelfde uiterlijk en samenstelling tot dezelfde partij behoren. Dit type industriële HDPE-pellet wordt namelijk al lange tijd wereldwijd toegepast in de plastic industrie, zodat vele bronnen mogelijk zijn. Om die reden zijn HDPE-pellets die qua uiterlijk en polymeersamenstelling met deze referentiepellets overeenkwamen zijn in dit rapport aangeduid als PosMa (positive match) HDPE-pellets.

Overblijvende onzekerheden

Het is aannemelijk, maar niet 100% zeker dat de als PosMa gedefinieerde HDPE-pellets tot dezelfde partij behoren als het op de Groninger kwelder aangetroffen referentiemateriaal.

Nog ontbrekende kennis

Het is aannemelijk maar niet aantoonbaar dat de op de stranden angespoelde HDPE-pellets en de pellets die in dit onderzoek als referentie materiaal zijn gebruikt afkomstig zijn van de MSC Zoe.

8.1.2 Verspreiding

Samenvatting

HDPE-pellets zijn in grote aantallen gevonden op de stranden van met name de oostelijke Nederlandse Waddeneilanden en langs de vastelandskust van Groningen en Friesland. Daarbij zijn de pellets geconcentreerd in strandlijnen. Bemonstering van deze strandlijnen in drie opeenvolgende studies (waddenplastic.nl: januari en februari 2019; Graal, 2019: september en oktober 2019; dit rapport: januari 2020) op Schiermonnikoog laat afnemende aantallen waargenomen pellets zien. Dit is een duidelijke trend, ondanks dat de drie studies door voortschrijdend inzicht niet op exact dezelfde manier zijn uitgevoerd. Tussen januari en september 2019 was er vooral een afname in aantallen rond de westkant van het eiland. Tussen september 2019 en januari 2020 waren de aantallen afgenomen maar was het ruimtelijk patroon vergelijkbaar. RWS heeft na de hier gepresenteerde bemonstering in januari 2020 in samenwerking met Natuurmonumenten en de gemeente Schiermonnikoog een opruimactie in het vloedmerk georganiseerd om een groot aantal HDPE-pellets uit het ecosysteem te verwijderen.

In de andere typen monsters zijn slechts twee PosMa HDPE-pellets gevonden, beide in watermonsters, deze maakten iets minder dan 10% van alle aangetroffen plastic deeltjes groter dan 300 µm in deze monsters uit.

De modelsimulaties geven aan dat de pellets onder invloed van noordelijke winden in de weken na het incident snel naar de kust zijn gedreven en angespoeld.

Overblijvende onzekerheden

Uit de beschikbare gegevens is niet af te leiden waardoor de waargenomen aantallen HDPE-pellets op het strand van Schiermonnikoog afgenomen zijn in de tijd. Er kan een deel ondergestoven zijn, en een deel tijdens (spring)vloed en/of stormcondities verder verspoeld zijn. Het eerste lijkt het meest waarschijnlijk, want bij verspoeling moeten ze in de loop van 2019 in flinke aantallen elders terechtgekomen zijn. Daarvan zijn ons echter geen meldingen bekend. Begraven pellets kunnen eenvoudig gevonden worden door het graven van sleuven vanaf de duinen tot onder de met doortij overeenkomende hoogwaterlijn.

Er zijn geen geanalyseerde, herhaalde waarnemingen beschikbaar van HDPE-pellets op andere delen van de kust dan Schiermonnikoog. Er zijn monsters van de stranden van de andere Nederlandse waddeneilanden beschikbaar voor analyse. Omdat daar dezelfde processen plaatsvinden als op Schiermonnikoog is het aannemelijk dat ook daar de aantallen aan het strandoppervlak zijn afgenomen. Er is niet bekend of de aantallen pellets langs de bedijkte vastelandskust ook zijn afgenomen. Dit zou nog kunnen worden onderzocht.

Met de hier uitgevoerde modelsimulaties konden de gevonden HDPE-pellets niet worden gerelateerd aan één enkele voordehandliggende verlieslocatie op het traject van MSC Zoe. Dit geeft de volgende vier mogelijkheden voor de herkomst van de HDPE-pellets:

1. MSC Zoe heeft de HDPE-pellets ten noorden van de Zoutkamperlaag verloren, maar het model geeft een afwijking in de verspreiding. In het model ontbreken twee processen die mogelijk van belang kunnen zijn: het bevat a) geen directe invloed van wind op drijvende objecten ('zeil-effect'), dit zou tot, in eerste instantie, verdere westelijke verplaatsing van deeltjes afkomstig van de positie ten noorden van de Zoutkamperlaag kunnen leiden; en b) geen effecten van windgolven, deze zouden door middel van zgn. 'Stokes drift' en/of brekende golven ook voor verdere westelijke verplaatsing kunnen hebben gezorgd, en mogelijk voor grotere ruimtelijke dispersie.
2. MSC Zoe heeft op meer dan 1 locatie HDPE-pellets verloren, uit 1 container die niet meteen in zee is gevallen (zoals het geval was voor de PS-korrels), of uit meer dan 1 container.
3. De HDPE-pellets waren verpakt in zakken (Figuur 1) die op verschillende momenten na het overboord slaan kapot zijn gegaan, en hele zakken verspreiden zich anders dan losse pellets, bijvoorbeeld doordat ze mogelijk verder boven water uitsteken en daardoor meer wind vangen.
4. de HDPE-pellets zijn niet afkomstig van de MSC-Zoe, maar van een andere bron, mogelijk verder op zee.

Mogelijkheid 1 zou verder kunnen worden onderzocht, maar vermoedelijk is het 'zeil-effect' klein omdat het verschil in soortelijk gewicht van de HDPE-pellets met water relatief klein is en ze dus weinig boven het wateroppervlak uit zullen steken. Het toevoegen van effecten van windgolven aan het model is mogelijk niet triviaal, omdat a) parameterisaties voor Stokes drift gelden voor deeltjes in volledige suspensie terwijl de HDPE-pellets een opwaartse snelheid hebben; b) ons geen parameterisaties bekend zijn voor de verspreiding van drijvende deeltjes door brekende golven, of dispersie van drijvende deeltjes door golven. Het is op basis van de huidige gegevens niet mogelijk uitspraken te doen over de relatieve waarschijnlijkheid van de bovenstaande vier mogelijkheden.

Als uit nader onderzoek van aantallen HDPE-pellets op stranden blijkt dat remobilisatie en daaropvolgende verplaatsing belangrijke processen zijn, en simulaties over langere termijn (meerdere jaren) noodzakelijk zijn, kan overwogen worden om te zien of het mogelijk is de remobilisatieaspecten van de bijbehorende processen in het deeltjesverspreidingsmodel op te nemen.

Nog ontbrekende kennis

Er is voor zover ons bekend niet onderzocht in welke mate HDPE-pellets langs de Duitse kust terecht zijn gekomen.

Er zijn voor zover ons bekend geen gegevens bijgehouden/bewaard over hoeveel HDPE-pellets zijn opgeruimd in de eerste respons op het incident of later, en van welke locaties.

8.1.3 Opname door biota

Samenvatting

Er zijn in de biota monsters die genomen zijn voor deze studie geen HDPE-pellets gevonden met een positieve match (PosMa). Er zijn echter wel soortgelijke industriële pellets aangetroffen in de braakballen van kleine mantelmeeuwen, en in de magen van noordse stormvogels, roodkeelduikers en een zeeoet. Dit past in het historisch patroon. Hierbij is het belangrijk in ogenschouw te nemen dat de braakballen van lepelaars en kleine mantelmeeuwen pas 4-6 maanden na het MSC Zoe ongeval zijn verzameld.

Er zijn door NIOZ in 2020 per toeval twee braakballen van meeuwen aangetroffen op de kwelders van Schiermonnikoog die opvallend grote aantallen pellets bevatten, waaronder in elke braakbal twee PosMa HDPE-pellets (Appendix 14.1). Dit betekent dat deze pellets door deze vogels worden opgenomen.

De afnemende aantallen waargenomen HDPE-pellets in de bovenste centimeters van het strand van Schiermonnikoog - onafhankelijk van de mate van succes van de daaropvolgende schoonmaakactie - duiden op een afnemende kans op deze locatie op blootstelling van vogels en andere landdieren gedurende 2019.

Overblijvende onzekerheden

Op basis van de twee min of meer toevallige waarnemingen in braakballen zijn geen uitspraken te doen over de mate waarin HDPE-pellets in de voedselketen terecht zijn gekomen. Dit kan beter worden vastgesteld door een systematisch meerjarig onderzoek van de meeuwenkolonies op Schiermonnikoog te starten.

Nog ontbrekende kennis

Naast de hier onderzochte soorten vissen, vogels en zeezoogdieren, gekozen vanwege de aansluiting bij lopende onderzoeken (Philippart et al., 2019), zijn er nog vele andere in het Waddengebied, die allen in meerdere of mindere mate met de HDPE-pellets in contact gekomen kunnen zijn. Overwogen kan worden

nieuwe onderzoeken te starten naar soorten die foerageren op locaties waar nog steeds HDPE-pellets aanwezig zijn, zoals drieteenstrandlopers.

8.1.4 Ecologische effecten

Samenvatting

De HDPE- pellets met een positieve match (PosMa) zijn alleen aangetroffen in twee incidenteel verzamelde braakballen van meeuwen, maar soortgelijke industriële pellets werden gevonden in het maagdarmkanaal van noordse stormvogels, een zeekoet en in de braakballen van kleine mantelmeeuwen. Dit bevestigt dat soortgelijke pellets in elk geval door vogels kunnen worden opgenomen, maar een relatie met de conditie van deze individuele dieren kon niet worden gelegd. Ook zijn er in de periode na het incident geen meldingen gemaakt van opvallende toenames in het aantal op de kustten gestrande verzwakte of dode dieren. Een uitzondering hierop vormen de zeekoeten die massaal strandden in januari-februari 2019. Onderzoek wees uit dat deze vogels niet het slachtoffer waren geworden van plastics, al dan niet uit de MSC Zoe, maar dat zij al in een slechte conditie verkeerden toen de storm hen, en de MSC Zoe trof (Leopold et al., 2019).

In de HDPE-pellets waren geen van de te verwachten giftige stoffen, zoals vlamvertragers en weekmakers, in meetbare hoeveelheden aanwezig. Er bestaat daarom geen concreet risico op vergiftiging van vogels, of andere dieren die deze pellets inslikken. Vertraging van de darmassage of, in het ergste geval verstopping van het maagdarmkanaal blijft dan de enige optie waardoor negatieve effecten op organismen zouden kunnen ontstaan. Gezien het kleine formaat van de HDPE-pellets is de kans hierop waarschijnlijk gering voor grotere dieren als zeezoogdieren en volgroeide vissen en zeevogels. Zeker voor vogels die braakballen produceren om zich van slecht verteerbare voedselresten te ontdoen, zoals meeuwen en lepelaars, is het onwaarschijnlijk dat deze pellets gezondheidsproblemen opleveren.

De ecologische effecten van de HDPE-pellets zijn niet in mesocosms onderzocht, omdat deze blijven drijven en bovendien te groot zijn om te worden ingeslikt door de in de mesocosm aanwezige soorten. Het enige effect dat redelijkerwijs in mesocosms verwacht kan worden is het gevolg van schaduw die zal ontstaan door hoge concentraties drijvende pellets. Dit zou de primaire productie kunnen remmen. Het is onwaarschijnlijk dat dit in het veld zal optreden, omdat veldwaarnemingen en de modelberekeningen suggereren dat de HDPE-pellets maar korte tijd op zee blijven en vervolgens aanspoelen.

Overblijvende onzekerheden

Bij kleinere vissen en jonge vogels kunnen mogelijk verstoppingen ontstaan als zij de HDPE-pellets inslikken. De kans dat een vis de drijvende HDPE-pellets zal inslikken lijkt zeer gering, mede vanwege de korte verblijftijd van de pellets op zee, maar voor een kleine vogels is dit niet uitgesloten.

Nog ontbrekende kennis

In dit project zijn alleen dieren onderzocht die op, of in het water hun voedsel zoeken. Er foerageren op kwelders en in aanspoellijnen waar de HDPE-pellets zijn aangetroffen echter ook diverse kleinere zaadetende vogels (sneeuwgorst, ijsgorst, frater) en invertebraten-etende zangvogels (oever- en waterpieper). Deze soorten zouden nader kunnen worden onderzocht.

8.1.5 Aandeel mogelijk afkomstig van MSC Zoe

Samenvatting

De PosMa HDPE-pellets door NIOZ bemonsterd op het strand van Schiermonnikoog in januari 2020 maakten 50% uit van alle aangetroffen stukjes plastic groter dan 335 µm. De bij het bemonsteren van het oppervlaktewater aangetroffen PosMa HDPE-pellets maakten iets minder dan 10% van alle in deze monsters aangetroffen plastic deeltjes groter dan 300 µm.

Overblijvende onzekerheden

Bovengenoemde bemonsteringen waarbij PosMa HDPE-pellets zijn aangetroffen besloegen slechts een deel van het Nederlandse Waddengebied. Als de al aanwezige plastic deeltjes min of meer uniform verdeeld over het gebied verdeeld zijn, is te verwachten dat het aandeel HDPE-pellets op andere stranden lager ligt, omdat uit de gegevens van waddenplastic.nl blijkt dat de hoogste aantallen op en rond Schiermonnikoog terecht zijn gekomen. Een dergelijke redenering voor de in het water aangetroffen PosMa HDPE-pellets kan alleen gehouden worden voor lokaties zeer nabij een harde kustlijn, zoals waar deze zijn aangetroffen, van waaraf pellets makkelijk herhaaldelijk weer in zee terecht kunnen komen.

Op waddenplastic.nl konden geen andere plastics gemeld worden, dus het aandeel HDPE-pellets kan voor andere strandlocaties niet worden vastgesteld. Er is bovendien niets geregistreerd over uiterlijk of

polymeertype van de op waddenplastic.nl gemelde pellets waardoor er waarschijnlijk ook pellets afkomstig uit andere bronnen zijn meegeteld.

8.2 PS-korrels

8.2.1 Karakterisering

Samenvatting

In tegenstelling tot de HDPE-pellets, was het bij de PS-korrels wel zeker dat het referentiemateriaal afkomstig was van MSC Zoe en tot de lading behoorde die deels was verloren. Ook voor de PS-korrels geldt dat dit een veelgebruikte industriële grondstof is, en dat zelfs bij een goede match qua uiterlijk en samenstelling met het referentiemateriaal niet met 100% zekerheid kan worden gesteld dat de in monsters aangetroffen PS-korrels tot de partij behoren die door MSC Zoe is verloren. Om die reden zijn PS-pellets die qua uiterlijk en polymeersamenstelling met deze referentiepellets overeenkwamen zijn in dit rapport als PosMa (positive match) PS-pellets.

Overblijvende onzekerheden

Het is aannemelijk, maar niet 100% zeker dat de als PosMa gedefinieerde PS-korrels tot de partij behoren die door MSC Zoe is verloren.

Nog ontbrekende kennis

Het is niet bekend of er ook andere typen microplastics door de MSC Zoe zijn verloren.

8.2.2 Verspreiding

Samenvatting

Er is 1 PosMa PS-korrel aangetroffen in het sediment van een boxcore (genomen nabij Harlingen in november 2019), en er is er mogelijk ook 1 aangetroffen in een sedimentmonster genomen nabij Lauwersoog in augustus 2019. Deze resultaten suggereren dat PS-korrels slechts in zeer lage dichtheden in het de onderzochte delen van het Waddengebied voorkomen.

De plastic deeltjes aangetroffen in de hier geanalyseerde sedimentmonsters (SIBES en boxcores) wijzen erop dat plastic deeltjes begraven worden in het sediment. Dit is ook bevestigd in de mesocosm experimenten.

De simulaties met het verspreidingsmodel suggereren dat het grootste deel van de verloren PS-korrels in Duitsland terecht is gekomen. De kans daarop is groter voor meer oostelijk gelegen mogelijke verlieslocaties, en voor korrels met zinksnelheden aan de lagere kant van de mogelijke range.

Overblijvende onzekerheden

De sedimentmonsters van het SIBES programma zijn klein omdat ze primair verzameld worden voor een korrelgrootteanalyse, en beslaan een oppervlakte van 0,0016 m². Dit vertaalt zich in een detectielimiet van 625 deeltjes per m². Als er geen plastic deeltjes worden aangetroffen in een sedimentmonster van het SIBES programma betekent dit dus dat er waarschijnlijk minder aanwezig zijn dan 625 per m². Het is dus geen bewijs dat ze er niet zijn.

In totaal zijn er 376 SIBES monsters onderzocht, met een gezamenlijk oppervlak van 0,6 m². Hierin is (maximaal) 1 PosMa PS-korrel aangetroffen. Wanneer ervan wordt uitgegaan dat de korrels homogeen verspreid liggen in het bemonsterde gebied dan betekent dit dat de gemiddelde dichtheid 1,7 korrel per m² bedraagt. Uiteraard is een aanname van homogene verspreiding niet realistisch, en is bemonstering van oppervlakken van ongeveer 1 m² per monster nodig om de werkelijke dichtheid vast te stellen.

Bij de boxcores was het bemonsterde oppervlak 0,016 m², overeenkomend met een detectielimiet van 63 deeltjes per m².

Op basis van de vondst van 1 PS-korrel in 9 boxcore samples met een gezamenlijk oppervlak van 0,14 m² kan op dezelfde wijze een gemiddelde dichtheid van 6,9 PS-korrels per m² worden geschat.

De boxcores genomen op dezelfde locatie in verschillende jaargetijden gaven wisselende hoeveelheden plastic deeltjes (anders dan PS-korrels). Dit suggereert een sterke ruimtelijke variabiliteit op kleine schaal, en/of een sterk wisselende hoeveelheid plastic deeltjes in de loop van de tijd, hetgeen zeer goed mogelijk is op deze dynamische locaties. Dit betekent dat de kans om PS-korrels in sedimentmonsters aan te treffen het grootst is op locaties waar ze voor langere tijd accumuleren, en dat voor het detecteren van lage dichtheden deeltjes een groot oppervlak bemonsterd moet worden. De gebruikte, bestaande monsterprogramma's en methoden blijken hiervoor minder geschikt. De mesocosmresultaten suggereren dat het slib rond mosselbanken wellicht een geschikt plaats is om microplastics te monitoren omdat deze daar mogelijk geconcentreerd worden.

Nog ontbrekende kennis

Er is weinig bekend over hoe plastic deeltjes in het algemeen, en de PS-korrels in het bijzonder, interacteren met de zeebodem: hoe gemakkelijk, en door welke processen ze kunnen worden begraven en weer geremobiliseerd.

Het verspreidingsmodel heeft in de huidige vorm niet de mogelijkheid om interacties van de gesimuleerde deeltjes met de zeebodem weer te geven. Het is dus zeer goed mogelijk dat het een vertekend beeld geeft van de werkelijke verspreiding van de PS-korrels, in ieder geval van de verspreidingssnelheid, maar door veranderende weersinvloeden mogelijk ook van de uiteindelijke verdeling over de ruimte.

Er is niet naar PS-korrels gezocht op kwelders, in het sediment van de Noordzee, of in het Duitse waddengebied. Hiervoor zouden monstercampagnes kunnen worden opgezet.

8.2.3 Opname door biota

Samenvatting

In de veldmonsters van organismen zijn geen PosMa PS-korrels aangetroffen.

Microplastic korrels van dezelfde orde van grootte en met een min of meer overeenkomstig uiterlijk als de PS-korrels uit de MSC Zoe (maar met een negatieve match) werden gevonden in het maagdarmkanaal van haring en schar uit de Noordzee, en in jonge haring uit de Waddenzee. Dit bevestigt dat microplastics van het formaat en vorm van de PS-korrels door vissen kunnen worden ingeslikt, hetgeen overigens eerder is aangetoond (Kühn et al., 2020).

Bij vogels werden microplastic korrels van vergelijkbare grootte als de PS-korrels aangetroffen in noordse stormvogels en zeekoeten. Het is onwaarschijnlijk dat deze vogels deze korrels bewust inslikken. Meer waarschijnlijk is blootstelling via voedsel, bijvoorbeeld door het eten van 'plastic houdende' vis. Voor andere vogelsoorten en voor grotere vissen kunnen wormen ook een opnameroute betekenen. Met name de min of meer a-selecte sediment-eters zoals wadpieren nemen microplastics in, zoals de mesocosmgegevens laten zien. De PS-korrels die qua grootte overeenkomen met een grove zandkorrel, vormen voor hen een onderdeel van het sediment dat wordt ingeslikt, en waarvan de onverteerbare delen (inclusief de PS-korrels) weer worden uitgepoept.

De mesocosm studie maakt ook duidelijk dat vissen (tong in dit geval) de korrels kunnen inslikken. Bij deze kleine vissen is het niet uitgesloten dat de korrels als potentieel voedsel werden gezien en daarom bewust zijn ingeslikt. Echter, in de hoogste concentratie waar meer dan 30 korrels per cm² aanwezig waren, had 'slechts' 17% van de visjes PS-korrels in de ingewanden tijdens de eindbemonstering. Er zijn bij de visjes geen ophopingen van PS-korrels in het maag-darmkanaal gevonden. Dit betekent dat ingeslikte korrels het lichaam via de natuurlijke weg verlaten, ze zijn immers te groot om de darmwand te passeren.

De schelpdieren in de mesocosms hadden geen PS-korrels in de ingewanden. Waarschijnlijk zijn de korrels te groot om te worden ingeslikt door deze dieren die doorgaans voedseldeeltjes (vooral microalgen) selecteren in de grootteklasse van 4-40 µm (Strohmeier et al 2012). Oneetbare en/of te grote deeltjes worden door sommige soorten, waaronder mossels als pakketjes pseudofaeces 'uitgespuugd'.

Nog ontbrekende kennis

Tenzij PS-korrels alsnog worden aangetroffen is het niet mogelijk de opname van deze korrels door organismen verder in het veld te onderzoeken.

8.2.4 Ecologische effecten

Samenvatting

Relaties met de conditie van de individuele in het veld verzamelde vissen en vogels en de aanwezigheid van PS-korrels in de ingewanden konden niet worden gelegd. Het veldwerk levert daarom geen inzicht in de vraag of de gezondheid van de onderzochte diersoorten door de aanwezigheid van de PS-korrels is beïnvloed. Giftige additieven werden niet aangetroffen in de PS-korrels, dus gezondheidseffecten van dergelijke stoffen zijn in dit geval niet van toepassing.

De enige aanwijzingen hoe de PS-korrels effecten op het ecosysteem zouden kunnen veroorzaken komen uit de mesocosm studie. Hierin bleken de PS-korrels alleen te worden opgenomen door vissen en wadpieren. Er waren geen aanwijzingen dat de korrels zich in de lichamen ophoopten. Bij de wadpieren

werden geen effecten van de opname van de PS-korrels vastgesteld. In eerdere aquarium studies zijn wel negatieve effecten van PS-microplastics op de groei van wadpieren gevonden bij een plastic concentratie van 7,4 gewichtsprocenten (Besseling et al., 2013). Dit zou in de mesocosms neerkomen op een dosering van meer dan 56 kg PS-korrels/m²; 700 x hoger dan de hoogste nu gehanteerde dosering (80 g/m²). De effecten die dan optreden zijn waarschijnlijk het gevolg van de verdunning van het voedselrijke sediment met oneetbare plastic korrels (Besseling et al 2013). Een dergelijke verandering van leefomgeving, kan bij dit soort extreem hoge plastic concentraties verwacht worden.

Bij de visjes in de mesocosms konden wel negatieve effecten van de aanwezigheid van de plastics worden aangetoond. Juist kleine visjes zoals in de proef werden gebruikt, zijn gevoelig voor het ontstaan van verstoppingen omdat de PS-korrels relatief groot zijn ten opzichte van de darmdiameter. Ingeslikt plastic zou dan tot een iets vertraagde darmassage van het voedsel kunnen leiden, hetgeen de waargenomen subtiele afname van de conditiefactor van de vissen uit de hoger gedoseerde mesocosms kan verklaren. Bij dieren met een grotere darmdiameter zal dit effect naar verwachting veel kleiner zijn. Het lijkt dan ook zeer onwaarschijnlijk dat de fysieke aanwezigheid van de PS-korrels, indien ingeslikt, tot gezondheidsproblemen hebben geleid van in het veld levende grotere vissen, vogels en zeezoogdieren.

Wanneer wordt verondersteld dat alle gedoseerde PS-korrels in de 0.8 g/m² mesocosms zich, of in de waterkolom, of in het sediment bevonden -een overschatting van de werkelijkheid dus- dan zijn de significante effecten op zeepokken, benthos en tong ontstaan bij 0,4 mg of 2,5 PS-korrels per liter water, en bij 2,4 mg en 13 PS-korrels per kg sediment. In vergelijking met uit de literatuur bekende effect concentraties van microplastics zijn deze drempelwaarden bijzonder laag. Op basis van een uitgebreide data-analyse van laboratoriumtesten (*species sensitivity distribution*), schatten Besseling et al (2018) de drempelwaarde van effecten van microplastics in water op 113 deeltjes per liter (95%-CI 13-1000). Voor microplastics in sediment was onvoldoende data beschikbaar voor een vergelijkbare berekening, maar de laagste drempelwaarde die door Besseling et al. (2018), is verzameld lag op 500 mg/kg sediment. Deze waarde is niet direct te vergelijken met de situatie in de mesocosms waar de korrels niet homogeen door het sediment gemengd waren, maar over het oppervlak verspreid lagen. De vergelijkingen geven wel aan dat de mesocosmstudie zeer goed in staat was om effecten van de microplastics aan te tonen. Massale sterfte of substantiele veranderingen in het functioneren van het mesocosm ecosysteem zijn niet waargenomen. Slechts subtiele veranderingen in de conditie van vissen en schelpdieren, en veranderingen in dichtheden van zeepokken en bodemorganismen waren aantoonbaar. Door natuurlijke variatie is het onwaarschijnlijk dat dergelijke effecten in een veldsituatie kunnen worden aangetoond. Hiermee is echter niet gezegd dat zij geen subtiele rol spelen in het functioneren van het ecosysteem.

In de laagste testconcentratie werd in de mesocosms geen significant effect gevonden. Dit kwam overeen met 0.1 gram of 326 PS-korrels per m², en het scenario dat alle door MSC verloren PS-korrels zich homogeen verspreid hebben over 10% van het oppervlak van de Nederlandse Waddenzee. De sedimentbemonsteringen die in het veld zijn uitgevoerd suggereren dat het aantal PS-korrels in het onderzochte gebied niet hoger is dan 7 stuks per m². De blootstellings situatie in de mesocosms moet bovendien als worst-case worden beschouwd, waarin de gedoseerde PS-korrels zich gedurende de gehele blootstellingsduur binnen de beperkte ruimte van het testsysteem bevonden. In de veldsituatie is het waarschijnlijker dat de deeltjes met de tijd over een groter watervolume/sedimentoppervlak verspreid worden, met verdunning tot gevolg. Het is daarom niet waarschijnlijk dat de door de MSC Zoe verloren PS-korrels in het onderzochte gebied meetbare effecten op het ecosysteem veroorzaken.

Overblijvende onzekerheden

In de mesocosms werden indicaties gevonden voor stimulering van het bodemleven bij lage concentraties PS-korrels, en een toename van het vleesgewicht van mossels bij de hoogste geteste concentraties. De achterliggende mechanismen zijn nog niet duidelijk. Voor de volledigheid wordt nog benadrukt dat deze waarnemingen niet zijn beïnvloed door de vissen. Die bevonden zich namelijk in een andere serie mesocosms. Effect van microplastics op de benthische levensgemeenschap is eerder aangetoond in een lang lopend zoetwater experiment (Redondo-Hasselerharm et al., 2020). Hier werd een significant negatief effect gevonden in de hoogste blootstellingsconcentratie (5 gewichtsprocenten). Dit zou gelijk staan aan een dosering van de mesocosms met 37 kg PS-korrels/m², ruim 400 x hoger dan de hoogste concentratie die in dit project werd getest. Dergelijke extreem hoge doseringen hebben grote invloed op de leefomgeving, in dit geval op de samenstelling van het sediment. In de mesocosms werd de benthosgemeenschap al significant beïnvloed bij 0,8 g PS-korrels/m². Dit komt overeen met 2,4 mg of 13 korrels per kg sediment. Het lijkt uitgesloten dat deze lage hoeveelheid de samenstelling van het sediment substantieel heeft veranderd. Mogelijk spelen verschuivingen in de onderlinge concurrentiepostie en/of predatiedruk een rol, onder andere door negatieve effecten die optreden bij zeepokken vanaf 0,8 g/m². Bij hogere concentraties PS-korrels nam de stimulatie van het bodemleven weer af, waarschijnlijk doordat de bodemdieren nu zelf hinder ondervonden van de aanwezige plastics.

Bij het ontwerpen van de mesocosmproef werd ervan uitgegaan dat de PS-korrels snel op de bodem zouden belanden. Om die reden werd voor platvis gekozen, vissen die op de bodem hun voedsel zoeken.

Tegen de verwachtingen in bleef echter gedurende de gehele proef een substantieel deel (geschat ca. 15%) van de PS-korrels in de waterkolom zweven. Het is aannemelijk dat dit ook in de veldsituatie het geval is. Deze zwevende korrels kunnen als voedsel (bijv. viseieren) worden gezien door pelagische vissen, die nu niet in de mesocosms aanwezig waren. Gegevens ontbreken, maar wellicht zijn pelagische plankton-etende vissen minder goed in staat om niet verteerbare plastics te verwerken, dan bodemvissen die ook schelpdieren in het dieet hebben, en waarvan de darmen bovendien vrijwel altijd zand bevatten. Het is dan ook mogelijk dat er eerder problemen zullen ontstaan bij plankton-etende pelagische vis, dan bij platvis. Het risico betreft vooral kleine vis wanneer de grootte van de PS-korrels kritisch is in relatie tot de darmdiameter. Dit soort kleine vis komt in grote getalen in de Waddenzee voor (bijv. jonge haring en sprat, of stekelbaars).

De blootstellingssituatie in de mesocosms kan als worst-case worden beschouwd, omdat de gedoseerde PS-korrels gedurende de gehele blootstellingsduur binnen de afgesloten ruimte van het testsysteem bleven. In een veldsituatie is het waarschijnlijker dat de deeltjes met de tijd over een groter watervolume/sedimentoppervlak verspreid worden, met verdunning tot gevolg.

Nog ontbrekende kennis

Het is niet bekend of de gevonden effectwaarde waarbij (subtiele) effecten bij tong zijn geconstateerd ook geldend zijn voor (pelagische) vissoorten die van nature minder met oneetbaar materiaal geconfronteerd worden.

Het is niet bekend of een langere blootstellingsduur en of verwerking van de PS-korrels tot andere/sterkere effecten kan leiden dan nu in de mesocosms zijn aangetoond.

Omdat niet bekend is waar de verloren PS-korrels terecht zijn gekomen kan niet worden uitgesloten dat buiten het onderzochte gebied wel in hogere concentraties zijn te vinden, waardoor enig effect op het functioneren van het ecosysteem kan optreden. Dit zou bijvoorbeeld ten Oosten van de Nederlandse waddenzee kunnen zijn, zoals de modelberekeningen suggereren.

8.2.5 Aandeel mogelijk afkomstig van MSC Zoe

Samenvatting

Van de box cores verzameld tijdens het nemen van de watermonsters bevatte 6% PS-korrels (1 monster) met een positieve match (PosMa). Als de PS-korrel gevonden in het SIBES sedimentmonster nabij Lauwersoog geen contaminatie is, is het aandeel PS-korrels met een positieve match (PosMa) in de SIBES monsters 20% van de aangetroffen niet-natuurlijke deeltjes groter dan 300 µm. Deze getallen suggereren dat, voor zover waargenomen/waarneembaar, PS-korrels in 2019 rond 10% uitmaakten van de populatie microplastics in de Waddenzee.

In alle andere monstercategorieën (de biota) zijn geen PS-korrels aangetroffen, en was het aandeel van de gevonden plastics mogelijk afkomstig van MSC Zoe dus 0%.

Onzekerheden

Een vergelijking met 2018 kan hier niet gemaakt worden. Voor de boxcores zijn geen monsters uit 2018 beschikbaar. Voor de SIBES sedimentmonsters is besloten meer monsters uit 2019 te analyseren in plaats van monsters uit 2018, vanwege de kleine hoeveelheid monsters waarin niet-natuurlijke deeltjes werden aangetroffen, en het vinden of juist het uitsluiten van PS-korrels voorrang kreeg. De lage hoeveelheid aangetroffen niet-natuurlijke deeltjes in de SIBES monsters in vergelijking met de boxcores suggereert dat de detectielimiet van deze monsters onvoldoende is voor het vaststellen van de achtergrondconcentratie microplastics in de Waddenzee. Daarom wordt afgeraden alsnog in een vervolgonderzoek SIBES monsters uit eerdere jaren te analyseren op microplastics groter dan 300 µm.

8.3 Verspreiding van andere soorten aangetroffen microplastics

Samenvatting

Een flink deel van de geanalyseerde monsters bevatte microplastics groter dan 300 µm, en het grootste deel van de aangetroffen microplastics groter dan 300 µm bestond uit deeltjes die niet overeenkwamen met de PS-korrels of de HDPE-pellets, met uitzondering van de strandmonsters van Schiermonnikoog (Tabel 13). Aangetroffen aantallen deeltjes per monster waren echter klein. Hieruit blijkt dat microplastics algemeen voorkomen in het mariene milieu, maar in relatief lage concentraties. Hoewel de in Tabel 13 gepresenteerde getallen niet direct te vergelijken zijn (door verschillen in bv. bemonsteringsvolumes, monsterlocaties en aantallen monsters), zijn er toch een paar voorzichtige trends zichtbaar. In schelpdieren en vissen worden nauwelijks microplastics >300 µm aangetroffen. Bij vogels lijkt de inname/ophoping sterk soortafhankelijk met de noordse stormvogel als duidelijke

'kampioen plastic-eter'. In zeezoogdieren wordt ook relatief weinig microplastic aangetroffen. Verder geldt voor de soorten waarvan ook monsters uit de periode voor 2019 zijn onderzocht, dat het percentage individuen met microplastics in 2019 gelijk of zelfs lager ligt dan in de periode daarvoor. De enige uitzondering daarop zijn de braakballen van de kleine mantelmeeuw.

Overblijvende onzekerheden

Vanwege de hoge detectielimiet van de SIBES monsters in combinatie met de lage concentraties aanwezige microplastics was het niet mogelijk een goed ruimtelijk beeld van de verspreiding van anderssoortige microplastics te krijgen op basis van deze monsters.

Nog ontbrekende kennis

Er is niet gezocht naar microplastics kleiner dan 300 µm. Uit microscoopbeelden van enkel residuen blijkt echter dat deze wel aanwezig zijn. Dit kan mogelijk verder worden onderzocht.

8.4 Bredere relevantie

Dit onderzoek richtte zich op de aanwezigheid en effecten van door de MSC Zoe verloren microplastics in Nederlandse deel van het Natura-2000 gebied de Waddenzee. Het onderzoek heeft zich gericht op intergetijd en subgetijd gebieden en stranden en de soorten die daar leven. De meer droge habitattypen, waaronder kwelders en de daar levende soorten zijn niet in dit onderzoek betrokken. Deze habitattypen maken ook een belangrijk deel uit van het Natura-2000 gebied, en de daarbij horende instandhoudingsdoelstellingen. Aanvullende informatie is dus nodig om te toetsen of de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen zijn beïnvloed.

In het gebied dat onderzocht is, zijn geen aanwijzingen gevonden dat er effecten op het ecosysteem zijn ontstaan door microplastics die MSC Zoe heeft verloren. Het onderzoek in de mesocosms geeft ook geen aanleiding om dit te veronderstellen. Daarvoor waren de aangetroffen hoeveelheden microplastics in het onderzochte gebied te laag. De drijvende HDPE-pellets zijn op stranden en kwelders teruggevonden. Van de PS-korrels, waarvan zeker is dat er ruim 11000 kg is verloren, ontbreekt vrijwel elk spoor. Wellicht zijn deze in de Duitse en Deense Waddenzee in hogere aantallen terug te vinden dan in de Nederlandse Waddenzee, maar dat zou nader moeten worden vastgesteld.

Wel zijn, zoals te verwachten was, microplastics uit andere bronnen aangetroffen in de onderzochte monsters. Voor effecten op het ecosysteem is natuurlijk de totale concentratie van alle microplastics van belang. Ook deze concentratie lag, ver onder het niveau waarop in de mesocosms subtiele effecten werden waargenomen. Op de vloedlijnen werden wel hogere concentraties HDPE-pellets aangetroffen, maar van dit type pellet worden geen effecten verwacht in de in de mesocosms aanwezige soorten.

Plastic wordt in het milieu niet/nauwelijks afgebroken, maar zal het in de loop van de tijd wel veranderingen ondergaan. Drijvende delen, zoals bijvoorbeeld de HDPE-pellets kunnen begroeid raken met algen en micro-organismen en daardoor hun drijfvermogen verliezen. Plastic kan verweren en uiteenvallen in kleinere deeltjes. Uit macroplastic, dat ook door MSC Zoe werd verloren, kan op deze wijze microplastic ontstaan.

In de mesocosms werden zelfs bij de hoogste testconcentratie PS-korrels (80 g/m² overeenkomend met ruim 300.000 PS-korrel per m² slechts subtiele effecten gevonden. Dit suggereert dat er in het veld niet direct voor ernstige ecologische effecten van microplastics gevreesd hoeft te worden. Maar het is denkbaar dat polymeertype, vorm en formaat een rol spelen in het eventueel veroorzaken van (ecologische) effecten, dit zou nader kunnen worden onderzocht. Of afbraakprocessen op den duur wel tot ecologische effecten in de Waddenzee zullen leiden kan in de gaten gehouden worden door middel van monitoring van de concentratie van microplastics in de komende jaren tot decennia.

Tabel 13. Overzicht van de resultaten van de onderzochte veldmonsters (water/sediment) of individuen (biota) uit 2019 en 2020 (T1) en van vóór 2019 (T0). Weergegeven is: omschrijving (kolom 1); het gemiddeld aantal microplastic deeltjes >300 µm per onderzocht monster of individu. Bij monsters die in 'bulk' zijn geanalyseerd is dit berekend door aan te nemen dat 1 individu niet meer dan 1 plastic deeltje bevat. Het berekende percentage betreft dus de bovengrens van de werkelijkheid en is aangegeven met '≤' (kolom 2); het percentage van de onderzochte monsters/individuen met microplastics (kolom 3); het percentage van de aangetroffen microplastic deeltjes met een positieve match (PosMa, kolom 4); het totaal aantal onderzochte monsters (kolom 5)

T1 (2019-2020)	Gemiddeld aantal microplastics per individu	Monsters/ind. met microplastics	Monsters/ind. met PosMa	Aandeel PosMa PS-korrels van het totaal in deze monstercategorie aangetroffen aantal microplastic deeltjes	Aandeel PosMa HDPE-pellets van het totaal in deze monstercategorie aangetroffen aantal microplastic deeltjes	Totaal aantal monsters/individuen
Water		25%	2%	0%	5%	95
Sediment						
Strand Schiermonnikoog		36%	18%	0%	33%	114
Sediment (SIBES)		1%	0.3%?	20%?	0%?	376
Boxcores Noordzee		30%	0%	0%	0%	10
Boxcores Terschelling		78%	6%	6%	0%	16
Schelpdieren						
Schelpdieren (SIBES en Waddenmozaiek)	0	0%	0%	0%	0%	997
Spisula Noordzee	0.02	≤ 1.7%	0%	0%	0%	1447
Vissen						
Vissen (fuik)	0.001	≤ 0.11%	0%	0%	0%	945
Haring scholen (fuik)	0.01	≤ 1.0%	0%	0%	0%	2947
Vissen IBTS survey	0.01	1.3%	0%	0%	0%	224
Vissen Discards	0.03	≤3.3%	0%	0%	0%	854
Vogels						
Noordse stormvogel	17.4	95%	0%	0%	0%	44
Drieteenmeeuw	1.3	75%	0%	0%	0%	4
Zee-eend	0	0%	0%	0%	0%	15
Zeekoet	0.5	28%	0%	0%	0%	120
Alk	0	0%	0%	0%	0%	12
Roodkeelduiker	(1)	(100%)	0%	0%	0%	1
Uitwerpselen kanoeten	0.004	0.4%	0%	0%	0%	240
Braakballen kl. mantelmeeuw	0.23	9.1%	0%	0%	0%	704
Braakballen lepelaar	0	0%	0%	0%	0%	25
Zoogdieren						
Bruinvissen	0.07	4.5%	0%	0%	0%	44
Zeehonden	0	0%	0%	0%	0%	18

T0 (<2019)	Gemiddeld aantal microplastics per individu	Individen met microplastics	Totaal aantal individuen	Periode
Vogels				
Noordse stormvogel	23.5	93.1%	116	2014-2018
Roodkeelduiker	0.15	11%	263	1991-2015
Uitwerpselen kanoeten	0.01	0.7%	150	2018
Braakballen kl. mantelmeeuw	0.14	4%	244	2018
Braakballen lepelaar	0.04	4%	25	2018
Zoogdieren				
Bruinvissen	0.36	14%	213	2014-2018
Zeehonden	0.30	17%	47	2009-2014

9 Conclusies

9.1 HDPE-pellets

Karakterisering

Vanwege het moment van aanspoelen en de locaties waarop dit massaal gebeurde is het zeer waarschijnlijk dat de op de stranden en kwelders aangetroffen HDPE-pellets afkomstig zijn van MSC Zoe. De HDPE-pellets zijn wit en ovaalvormig met een diameter van 4-4,5 mm en een dikte van 2 mm. Ze bestaan uit *High Density Polyethylene* (HDPE) en vormen een grondstof in de plastic industrie. Chemische analyse toonde geen als giftig bekendstaande chemische additieven in deze pellets aan. Het soortelijk gewicht van HDPE is 0,96 g/cm³, waardoor de pellets dus blijven drijven in water.

Verspreiding

Vanwege het drijfvermogen is het grootste deel van de HDPE-pellets vermoedelijk slechts enkele dagen tot weken op zee geweest en daarna angespoeld. Er werden grote aantallen gevonden op de stranden van met name de oostelijke Nederlandse Waddeneilanden en langs de vastelandskust van Groningen en Friesland. Op de stranden van de Waddeneilanden maken PosMa HDPE-pellets tot 50% van de aanwezige plastic deeltjes groter dan 300 micrometer uit. Gedurende 2019 zijn concentraties HDPE-pellets aan het oppervlak van het strand van Schiermonnikoog afgenomen.

Opname door biota

Er zijn geen HDPE-pellets aangetroffen in het maag-darmkanaal van de onderzochte schelpdieren, vissen, vogels, zeehonden en bruinvissen uit 2018/2019. Wel zijn PosMa HDPE-pellets, aangetroffen in enkele braakballen van meeuwen die per toeval in 2020 zijn aangetroffen op Schiermonnikoog. In monsters van 2019 en eerder zijn vergelijkbare industriële pellets aangetroffen in (braakballen van) enkele soorten zeevogels (noordse stormvogel, roodkeelduiker, zeekoet, kleine mantelmeeuw).

Ecologische effecten

Er zijn in dit onderzoek geen aanwijzingen gevonden dat de HDPE-pellets effecten hebben op de gezondheid van de onderzochte soorten. Omdat er in de pellets geen giftige additieven zijn aangetoond is er geen concreet risico op vergiftiging van vogels, of andere dieren die deze pellets inslikken. Vertraging van de darmassage of, in het ergste geval, verstopping van het maagdarmkanaal is dan het enig mogelijke mechanisme waardoor negatieve effecten op organismen kunnen ontstaan. Gezien het formaat van de HDPE-pellets is de kans hierop gering voor grotere dieren als zeezoogdieren en volgroeide vissen en zeevogels. Zeker voor vogels die braakballen produceren om zich van slecht verteerbare voedselresten te ontdoen, zoals meeuwen en lepelaars, is het onwaarschijnlijk dat deze pellets gezondheidsproblemen opleveren. Voor kleinere vogels die frourageren op plaatsten waar veel HDPE-pellets zijn terecht gekomen, zoals vloedlijnen en kwelders, kan eventueel nader onderzoek worden gedaan.

9.2 PS-korrels

Karakterisering

De PS-korrels die door de MSC Zoe zijn verloren zijn troebel transparant en bolvormig, met een diameter van 0,7 mm, en tussen zand moeilijk te onderscheiden. De korrels bestaan uit Polystyreen (PS), en vormen de grondstof voor de productie van piepschuim. Het soortelijk gewicht van PS is 1,05 g/m³. De korrels zullen dus langzaam zinken in (zee)water. In de PS-korrels werden geen chemische additieven aangetroffen, die als giftig bekendstaan. Wel bevatten de korrels Acetophenone, een niet-giftige hulpstof die wordt gebruikt in het productieproces van polystyreen.

Verspreiding

De PS-korrels zijn niet aangetroffen in de bemonstering van het zeewater, en slechts eenmaal met zekerheid gedetecteerd in sedimentmonsters. Dit komt, voor die locatie, neer op ongeveer 7 PS-korrels per m². Dit betreft een zeer ruwe indicatieve schatting, maar maakt duidelijk dat de PS-korrels niet in grote hoeveelheden zijn aangetroffen.

De simulaties met het verspreidingsmodel suggereren dat het grootste deel van de verloren PS-korrels in Duitsland terecht is gekomen.

Opname door biota

In de onderzochte veldmonsters van schelpdieren, vissen, zeevogels, zeehonden en bruinvissen zijn geen PS-korrels uit MSC Zoe aangetroffen. Wel zijn vergelijkbare korrels aangetroffen in het maag-darmkanaal van haring, schar, noordse stormvogels en zeekoeten. In de mesocosmstudie bleek dat naast visjes ook grotere wormen (wadpieren) de korrels inslikken.

Ecologische effecten

Het veldwerk levert geen aanwijzingen dat de gezondheid van de onderzochte diersoorten door de aanwezigheid van de PS-korrels is beïnvloed. Giftige additieven werden niet aangetroffen in de PS-korrels, dus gezondheidseffecten van dergelijke stoffen zijn in dit geval niet van toepassing.

In de mesocosm experimenten werden wel ecosysteme-effecten gevonden. De belangrijkste effecten betroffen een subtiele conditie vermindering bij platvis (tong), een stimulering van het bodemleven waarschijnlijk als gevolg van negatieve effecten op zeepokken. Deze effecten werden waargenomen bij concentraties van minstens 3000 PS-korrels per m². Bij ca. 300 PS-korrels per m² ontstonden geen effecten. Op basis van deze resultaten is het daarom niet aannemelijk dat er als gevolg van de verloren PS-korrels effecten op het ecosysteem zijn opgetreden in het onderzochte gebied. Effecten op kleine pelagische vis zouden nader in mesocosm studies kunnen worden onderzocht.

9.3 Overblijvende vragen

Een van de uitgangspunten van dit onderzoek was om zoveel mogelijk aan te sluiten bij bestaand (monitoring)onderzoek in de Nederlandse Waddenzee. Hierdoor konden snel monsters verzameld worden, en kon aangesloten worden bij bestaande infrastructuur, planning, vaardigheden en kennis. Bovendien kon daardoor een vergelijking worden gemaakt met de situatie voor het incident. Zonder dit uitgangspunt was het wellicht niet gelukt om al kort na het incident met het onderzoek te beginnen, en zodoende een goede kans te hebben eventuele ecologische effecten waar te nemen. Maar deze aanpak heeft ook het tijdstip, locaties en/of wijze van monsters verzamelen mede bepaald, waardoor soms nog vragen overblijven.

Een duidelijk voorbeeld hiervan zijn de sedimentmonsters die oorspronkelijk verzameld waren voor korrelgrootte analyses. Door het geringe bemonsterde oppervlak van deze monsters konden plastics in deze monsters pas verwacht worden bij dichtheden >600 stuks per m². Het is nu duidelijk dat microplastics niet in dergelijke concentraties in het gebied voorkomen, maar voor het nader vaststellen van de werkelijke concentraties is aanvullend onderzoek nodig.

De biotamonsters die voor dit onderzoek beschikbaar waren omvatten een beperkt aantal soorten die relevant zijn voor de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen die gelden voor de Waddenzee. Er is dus ook aanvullend werk nodig om vast te stellen of de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen negatief zijn beïnvloed zijn door het incident met de MSC Zoe.

Er zijn nauwelijks PS-korrels aangetroffen in de veldmonsters uit het Nederlandse Waddengebied, en de modelsimulaties geven aan dat veel korrels waarschijnlijk verder naar het oosten getransporteerd zijn. Aanvullende gegevens zijn dus nodig om vast te stellen of er in het Duitse Waddengebied ecologische effecten zijn.

10 Aanbevelingen

10.1 Opties voor toekomstige monitoring

Hoewel microplastics in het milieu door beleidsmakers en publiek als een belangrijk onderwerp wordt beschouwd, bestaat er op dit moment nog geen monitoringprogramma voor microplastics in de Waddenzee. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de mogelijkheden voor monitoring van microplastics in het Waddengebied, zowel als 'vinger aan de pols' met betrekking tot de MSC Zoe als voor microplastics in het algemeen, die volgen uit de kennis opgedaan in dit project.

HDPE-pellets

De HDPE-pellets zijn, in elk geval langs de vloedlijn van Schiermonnikoog en op kwelders en langs dijken in Groningen en Friesland, in substantiële aantallen aangetroffen. In deze gebieden is gerichte monitoring van aangespoelde pellets mogelijk om inzicht te krijgen in de verspreiding, zowel in de ruimte als naar diepere sedimentlagen. Ook kan in de gaten gehouden worden hoe de populaties pellets zich gedragen in de tijd.

Dit zou gecombineerd kunnen worden met monitoring van braakballen en het broedsucces in bijvoorbeeld de meeuwenkolonies op Schiermonnikoog, en/of van faeces en broedsucces van zaden-etende vogels die op kwelders foerageren om opname door biota en mogelijke ecosysteemeffecten te monitoren.

Monitoring van vissen en zeezoogdieren lijkt niet zinvol vanwege de lage frequentie waarmee microplastics daarin worden aangetroffen. Van (zee)vogels meer mogelijk, en is naast braakballen van meeuwen de noordse stormvogel interessant omdat meer dan 90% van de gestrande vogels microplastics in zich dragen, en monitoring reeds langere tijd volgens een standaardprotocol (OSPAR) wordt uitgevoerd. Als er alleen gemonitord wordt op mogelijke MSC Zoe pellets dan is een zeefmaat van 1 mm bij het uitzoeken van de monsters afdoende.

PS-korrels

Zowel de modelberekeningen als de onderzochte monsters suggereren dat er slechts weinig van de verloren PS-korrels in het onderzochte gebied zijn achtergebleven. Zolang er geen gebieden geïdentificeerd zijn waar de korrels in hogere concentraties aanwezig zijn, is monitoring gericht op specifiek deze kleine korrels weinig zinvol.

Microplastics in het algemeen

Het is duidelijk dat het meeste microplastic in de Waddenzee niet afkomstig is van MSC Zoe. Wellicht is het daarom beter om microplastics in het algemeen te monitoren in het Waddengebied. Hierbij kunnen dezelfde monsters worden verzameld als hierboven voor de monitoring van de HDPE-pellets beschreven, maar is het wellicht zinvol om door gebruik van een of meer kleinere zeefmaten ook kleinere microplastics mee te nemen.

Daarnaast kan overwogen worden om monitoringstijdreeksen te starten van microplastics in water en sediment op een aantal vaste locaties en/of transecten. Dit kan op basis van de in dit onderzoek gebruikte methoden en technieken, of door nieuwe methoden te ontwikkelen, bv. met sedimentvallen die gebruik maken van mossels om het water te filteren. Het is daarbij aan te raden ook kleinere fracties te analyseren. Hierbij moeten dan wel zeer stricte kwaliteitseisen in acht worden genomen om de verontreiniging van de monsters met (huis)stof te voorkomen. Vanwege de enorme hoeveelheden te analyseren sediment is een volledig gebiedsdekkend programma waarschijnlijk niet haalbaar. De vaststelling van representatieve locaties/transecten dient in een daarvoor opgezet testprogramma te worden bepaald.

We raden RWS aan samen met de andere beheerders in/van het Waddengebied te kijken of en hoe de basismonitoring kan worden aangepast gegeven de hier gepresenteerde bevindingen.

10.2 Advies en beschrijving van eventueel nader onderzoek

Een aantal aspecten van microplastics in en rond het waddengebied in het kader van de hier behandelde vraagstelling zijn onderbelicht gebleven in dit onderzoek, maar zeer relevant voor nader onderzoek: interacties van microplastics met het sediment, mogelijke effecten op kleine vogels, en mogelijke effecten op pelagische vis. Hieronder volgt een overzicht van mogelijke onderzoekselementen die hierop zouden kunnen worden gericht.

10.2.1 Interacties van microplastics met het sediment

Verticale verdeling in het sediment

In dit onderzoek is alleen gekeken naar microplastics in de bovenste delen van het sediment. De mesocosm experimenten hebben laten zien dat biologische activiteit microplastics dieper in het sediment

kan brengen. We weten ook dat bv. wadpielen tot 30 cm diep kunnen graven. Voor een goed inzicht in de totale hoeveelheid microplastics is het dus niet voldoende alleen naar het oppervlak van het sediment te kijken. Een zeer relevant nader onderzoek zou kunnen kijken naar de verticale verdeling van plastics in strand- en wadsedimenten.

Interacties met de zeebodem

De resultaten laten zien dat microplastics zich in de zeebodem bevinden. Daarnaast suggereerden de herhaalde boxcores uit de Waddenzee een wisselende samenstelling van microplastics door het jaar heen. Er is weinig bekend over dynamische interacties (cycli van begraven en eroderen) van microplastics met de strand- en zeebodem, en effecten daarvan op transport en eventuele ruimtelijke sortering op grootte en soortelijk gewicht. Voor het verbeteren van verspreidingsmodellen van microplastics is het nodig hier meer inzicht in te krijgen door middel van een combinatie van meer veldmetingen, laboratoriumexperimenten en modelontwikkeling.

10.2.2 Effecten van microplastics op kleine vogels

Overwogen kan worden nieuwe onderzoeken te starten naar soorten die foerageren op locaties waar nog steeds HDPE-pellets aanwezig zijn, zoals de drieteenstrandloper, kleinere zaadetende vogels (sneeuwgors, ijsgors, frater) en invertebraten-etende zangvogels (oever- en waterpieper).

10.2.3 Effecten van microplastics op pelagische vis

Bij het ontwerpen van de mesocosmproef werd ervan uitgegaan dat de PS-korrels snel op de bodem zouden belanden. Om die reden werd voor platvis gekozen, vissen die op de bodem hun voedsel zoeken. Tegen de verwachtingen in bleef echter gedurende de gehele proef een substantieel deel (geschat ca. 15%) van de PS-korrels in de waterkolom zweven. Het is aannemelijk dat dit ook in de veldsituatie het geval is. Deze zwevende korrels kunnen als voedsel (bijv. viseieren) worden gezien door pelagische vissen, die nu niet in de mesocosms aanwezig waren. Gegevens ontbreken, maar wellicht zijn pelagische plankton-etende vissen minder goed in staat om niet verteerbare plastics te verwerken dan bodemvissen die ook schelpdieren in het dieet hebben, en waarvan de darmen bovendien vrijwel altijd zand bevatten. Het is dan ook mogelijk dat er eerder problemen zullen ontstaan bij plankton-etende pelagische vis, dan bij platvis. Het risico betreft vooral kleine vis waarbij de grootte van de PS-korrels kritisch is in relatie tot de darmdiameter. Dit soort kleine vis komt in grote aantallen in de Waddenzee voor (bijv. jonge haring en sprot, of stekelbaars). Mogelijk is dus het risico voor deze vissen in dit rapport onderschat. Onderzoek naar dit aspect zou bij voorkeur in mesocosms moeten worden uitgevoerd, waar de vissen natuurlijk gedrag vertonen en kunnen beschikken over een continu en gevarieerd planktonaanbod zoals dat ook in het veld aanwezig is.

10.3 Beschrijving van eventueel verder onderzoek

Naast de bovenstaande elementen, zijn de volgende onderwerpen relevant voor de huidige vraagstelling maar minder urgent, of vooral in bredere zin interessant voor verder onderzoek.

10.3.1 Karakterisering

Soorten microplastics en bronnen

Overwogen kan worden een systematische klassificering van microplastics in de Waddenzee te ontwikkelen, en deze klassen te koppelen aan mogelijke bronnen. Dit kan mogelijk relevant zijn voor een monitoringprogramma.

10.3.2 Verspreiding

Verspreiding PS-korrels

Het is nog onduidelijk waar de verloren PS-korrels zijn gebleven. Dit komt mogelijk door het beperkte detectievermogen van de SIBES sedimentmonsters, of omdat ze op andere plaatsen terecht zijn gekomen dan waar is gezocht. De modelsimulaties suggereren dat een groot deel van de PS-korrels naar het Duitse wadengebied getransporteerd kan zijn. Het is wellicht de moeite waard te onderzoeken of ze daar aanwezig zijn.

Er is ook nog niet systematisch gekeken naar de mogelijke aanwezigheid van microplastics in het algemeen op kwelders. Omdat sediment met de laagste bezinksnelheden zich ophoopt op kwelders, is het interessant om te onderzoeken of en in welke concentraties microplastics daar aanwezig zijn. Een

dergelijk onderzoek zou zich kunnen richten op een aantal kust-dwarse transecten, mogelijk in de buurt van de wantijen: dit zijn laag-dynamische gebieden waar materiaal kan blijven liggen. Er is ook nauwelijks op de Noordzee gemonsterd, terwijl het incident daar plaats vond. Het is mogelijk dat een deel van de PS-korrels in de zeebodem is achtergebleven. Het is mogelijk dit te onderzoeken met een serie transecten van boxcores die van de eilanden tot over het traject van MSC Zoe lopen. Het is echter niet duidelijk hoe groot de kans is hierbij PS-korrels aan te treffen. Als in de toekomst sedimentmonsters worden genomen voor het aantonen van microplastics moeten die voldoende groot zijn om een afdoende detectielimiet te hebben. Deze grootte moet op basis van een vooraf gekozen detectielimiet worden bepaald, of proefondervindelijk worden vastgesteld aan de hand van de aanwezige concentraties microplastics.

Microplastic grootte fracties

Vanwege de aard van de vraag, en de beschikbare hoeveelheid tijd en middelen was het onderzoek beperkt tot microplastics groter dan 300 micrometer. Vanwege afbraakprocessen is er een kans dat kleinere deeltjes talrijker zijn. Dit kan worden onderzocht door analyse van boxcore monsters.

T0 situatie

Voor de monstercategorieën waarin PS-korrels zijn gevonden zijn, met uitzondering van de SIBES sedimentmonsters, geen monsters uit 2018 beschikbaar. Voor de SIBES monsters heeft het vanwege de hoge detectielimiet en de lage aantallen aangetroffen microplastics niet veel zin om monsters uit 2018 te onderzoeken. Het is dus niet mogelijk om vast te stellen of er al PS-korrels in het sediment van de Waddenzee aanwezig waren uit andere bronnen. Als het wenselijk is om bij eventuele toekomstige incidenten inzicht te hebben in achtergrondconcentraties van microplastics is het aan te bevelen een monitoring programma voor microplastics in de Waddenzee op te zetten. Hierin zouden met voldoende regelmaat op representatieve locaties (qua bodemtype, habitat en hydrodynamische omstandigheden) water- en sedimentmonsters genomen en geanalyseerd moeten worden.

Verwerking

Als de HDPE-pellets en PS-korrels in het systeem blijven, is het mogelijk dat ze op lange termijn (jaren tot decennia) verwerken en uiteenvallen in kleinere deeltjes. Het is mogelijk een onderzoek te starten om te zien hoe lang dit duurt, onder welke omstandigheden dit gebeurt, en wat de ecosysteemeffecten van de daardoor ontstane kleinere deeltjes zijn. Als daarnaast inzicht ontstaat in de aanwezigheid van andere typen microplastics, zou dit kunnen worden uitgebreid tot veelvoorkomende typen.

Modelsimulaties

Er kan mogelijk nog wat meer inzicht verkregen worden in de verspeiding van de HDPE-pellets en PS-korrels met modelsimulaties door:

- i) de huidige simulaties te dupliceren met een onafhankelijk deeltjesverspreidingsmodel en/of PS-korrels te simuleren als een slibfractie in een Euleriaans slibmodel om model-specifieke onzekerheden in kaart te brengen
- ii) processen toe te voegen, zoals het zeileffect, de invloed van golven op drijvende deeltjes (Stokes drift, breken van golven, golfgedreven kustlangse stromingen), van remobilisatie van gestrande deeltjes, en van interacties met het sediment van zinkende deeltjes; dit vereist kennis/modelontwikkeling
- iii) betere parametrisaties van stranding, bv. door introductie van processen die plaatsvinden in de brandingszone

10.3.3 Opname door biota

We hebben hiervoor geen aanvullende aanbevelingen anders dan al boven genoemd.

10.3.4 Ecologische effecten

Natura-2000

Overwogen kan worden een onderzoek in te stellen specifiek gericht op de effecten van microplastics op de Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen die gelden voor de Waddenzee.

Stimulering bodemleven

De mesocosm experimenten suggereerden een stimulering van bodemleven bij lage concentraties PS-korrels. Mogelijk was dit het gevolg van verminderde predatiedruk op de pelagische larven van de bodemdieren. Het is echter ook mogelijk dat andere processen hier een rol spelen. Deze achterliggende mechanismen zouden nader kunnen worden onderzocht om meer inzicht te krijgen in de potentiële effecten van microplastics.

Effecten van langere blootstellingsduur en mengsels van verschillende typen microplastics

Meer inzicht in de effecten van langere blootstelingsduur en/of van combinaties van verschillende soorten/vormen microplastics zou welkom zijn om een beter beeld te krijgen van de werkelijke milieurisico's van microplastics. Dit vraagt om langdurende en grootschalig onderzoek.

11 Dankbetuiging

Zonder de bijdragen van groot aantal mensen had dit rapport niet geschreven kunnen worden. Wij willen hen hier van harte bedanken voor hun bijdrage aan dit onderzoek.

Voor het NIOZ zijn de sediment- en schelpdiermonsters verzameld door de SIBES en Waddenmozaiek vrijwilligers, in samenwerking met de bemanning van RV Navicula. De strandmonsters van Schiermonnikoog zijn verzameld met medewerking van Youk Greeve. De braakballen van de kleine zilvermeeuwen en lepelaars, en de uitwerpselen van de kanoeten zijn geanalyseerd door Eileen Hesse. De sediment monsters zijn geanalyseerd door Evaline van Weerlee, met hulp van Maureen Sikkema en Bianka Rasch. De vissen uit de fuik, inclusief de scholen haring, zijn geanalyseerd door Dennis Mosk. De schelpdieren zijn geanalyseerd door Jeroen Kooijman. Rachel Ndhlovu heeft de Raman analyses uitgevoerd. Sonja van Leeuwen heeft de simulaties met het Waddenzee model uitgevoerd. Waddenplastic.nl is georganiseerd door Tjisse van der Heijde (NIOZ/RUG), Laura Govers (NIOZ/RUG), en Han Olff (RUG). Theunis Piersma heeft suggesties gedaan voor de tekst over de uitwerpselen van vogels.

Bij het verzamelen van de aangespoelde zeehonden, bruinvissen en vogels die in dit onderzoek door WMR zijn gebruikt zijn veel organisaties en personen betrokken. Zonder hun inzet -vaak op vrijwillige basis- was dit deel van het onderzoek niet mogelijk geweest. Wij zijn hen daarom bijzonder dankbaar. De groep is te groot om hier iedereen bij naam te noemen, dit gebeurt wel in de deelrapporten die over de specifieke diergroepen zijn geschreven (zie paragraaf 9). Wij danken het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit voor de financiering van het onderzoek van 15 in 2019 verzamelde zeehonden. Het reguliere onderzoek aan de noordse stormvogels waardoor monsters beschikbaar waren voor dit onderzoek wordt gefinancierd door RWS CIV. Van de Universiteit Utrecht bedanken we met name Lonneke IJsseldijk en Joeske IJzer voor het uitvoeren van de necropsies van de bruinvissen en het bewaren van de ingewanden van de zeehonden uit 2009-2015. Naast de als auteurs genoemde personen leverden de volgende WMR collega's een belangrijke bijdrage aan dit onderzoek: André Meijboom, Arnold Bakker, Maarten van Hoppe, Martijn Keur, Liesbeth van der Vlies, Babeth van der Weide, Oliver Bittner, Christaan Kwadijk, Ralf van Hall. Martin Baptist tenslotte onderhield namens WMR in het voortraject van dit project het contact met RWS, en deed de laatste review van dit rapport.

12 Overzicht projectgerelateerde deelrapporten en bijlages

	Deelrapport/bijlage
Factsheets	Kühn S. & van Franeker J.A. (2020): Tussenrapport Factsheet plastics verloren door de MSC Zoe. Wageningen Marine Research, Den Helder
Zwerfvuil	Van Zwol & Troost (2019): Afval aangetroffen tijdens de jaarlijkse schelpdiermonitoring in de Waddenzee en Nederlandse kustzone in 2019. Wageningen Marine Research rapport C122/19. https://doi.org/10.18174/508324 Volwater & van Hal (2019): Monitoring zeebodemaafval in de Noordzee en Waddenzee naar aanleiding van de containerramp met de MSC Zoe. Wageningen University & Research rapport C102/19. https://doi.org/10.18174/506606 (Strietman et al., 2020)
Water	Appendices: 14.4
Sediment	Appendices: 14.4
Schelpdieren	Appendices: 14.4
Vissen	Kühn, S., Meijboom, A., van Hoppe, M., van Franeker, J.A. (2020): Plastic in Noordzeevis in relatie tot het verlies van MSC Zoe containers begin 2019. Wageningen University & Research rapport C087/20. Appendices: 14.3, 14.4
Vogels	van Franeker, J.A., Kühn, S. 2020a. Onderzoek naar plastic in magen van noordse stormvogels en andere zeevogels in relatie tot het verlies van MSC-Zoe containers in begin januari 2019. Wageningen Marine Research rapport C078/20. Leopold, M.F. en Kühn, S. 2020. Plastic in Roodkeelduikers: een T-nul studie in het kader van de containerramp MSC Zoe. Wageningen Marine Research Rapport C088/20. Appendices: 14.1, 14.4
Zeehonden	Schop, J., Meijboom, A., & Brasseur, S., 2020. MSC Zoe: mogelijke effecten van de verloren containers op zeehonden. Wageningen Marine Research rapport C043/20. https://doi.org/10.18174/521148
Bruinvissen	Bravo Rebolledo, E.L. 2020. Afval in bruinvismagen. Voor en na de MSC Zoe containerramp. Bureau Waardenburg Rapportnr. 20-104. Bureau Waardenburg, Culemborg.
Effectonderzoek	Foekema E., Keur M., van der Vlies L., van der Weide B., Bittner O., Asjes A. 2020. Ecologische effecten van 'Zoe-polystyreen-korrels' onderzocht in mesocosms. Wageningen Marine Research rapport

13 Literatuur

- Anonymous, 1992. Plastic Pellets in the Aquatic Environment: Sources and Recommendations. http://www.mindfully.org/Plastic/Ocean/Plastic-Aquatic-EPA842B92010-Dec92_ES.htm United States Environmental Protection Agency Office of Water (WH-556F) EPA 842/B-92/010 Dec92.
- Asensio-Montesinos, F., Ramírez, M. O., González-Leal, J. M., Carrizo, D. & Anfuso, G., 2020. Characterization of plastic beach litter by Raman spectroscopy in South-western Spain. *Science of the total environment* 744, 140890.
- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E.M., van den Heuvel-Greve, M.J., Koelmans, A.A., 2013. Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental Science & Technology* 47, 593-600.
- Besseling E, Foekema E.M, van den Heuvel-Greve M.J., A.A. Koelmans, 2017. The Effect of Microplastic on the Uptake of Chemicals by the Lugworm *Arenicola marina* (L.) under Environmentally Relevant Exposure Conditions. *Environmental Science and Technology* 51, 8795–8804. DOI: 10.1021/acs.est.7b02286
- Besseling E., Redondo-Hasselerharm P., Foekema E.M., Koelmans, A. 2018. Quantifying ecological risks of aquatic micro- and nanoplastic. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, December 2018, DOI: 10.1080/10643389.2018.1531688
- Crawford, C. B. & Quinn, B., 2017. Microplastic Pollutants - 9. Microplastic separation Techniques. In: *Microplastic Pollutants*, 203–218, Elsevier. doi:10.1016/b978-0-12-809406-8.00009-8.
- Bosch, G. 1950. Bruinvis eet banana. *Vanellus* 3, 58
- Bravo Rebolledo, E.L., Van Franeker, J.A., Jansen, O.E., Brasseur, M.J.M., 2013. Plastic ingestion by harbour seals (*Phoca vitulina*) in The Netherlands. *Marine Pollution Bulletin* 67, 200–202. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.035>
- Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A. ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, J., van der Meer, J., van der Veer, H.W., Piersma, T., 2013. Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 82, 103-116
- Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., Esuikova, E., 2016. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Marine Pollution bulletin* 108, 105-112. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.048
- Crawford, C. B., Quinn, B., 2017. Microplastic Pollutants - 9. Microplastic separation Techniques. In: *Microplastic Pollutants*, pp. 203–218, Elsevier.
- Dekinga, A., Piersma, T., 1993. Reconstructing diet composition on the basis of faeces in a mollusk-eating wader, the Knot *Calidris canutus*. *Bird Study* 40, 144 - 156.
- Denkinger, P., Prüter, J., Lammen, C., Hartwig, E., 1990. Häufigkeit und Verteilung von Rohplastikgranulaten (Pellets) an der Westküste Schleswig-Holsteins. *Seevögel* 11, 1-7.
- Duran-Matute, M., Gerkema, T., de Boer, G.J., Nauw, J.J., Gräwe, U., 2014. Residual circulation and freshwater transport in the Dutch Wadden Sea: a numerical modelling study. *Ocean Science* 10, 611–632, DOI: doi:10.5194/os-10-611-2014.
- Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M. I., Christie-Oleza, J. A., 2019. Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials* 369, 691–698.
- Graal, J.W., 2019. Natuurmonumenten en granulaatkorrels op Schiermonnikoog. Stageverslag, Van Hall-Larenstein en Natuurmonumenten, 25 pp.
- Herzke D., Anker-Nilssen T., Haugdahl Nøst T., Götsch A., Christensen-Dalsgaard S., Langset M., Fangel K., Koelmans A., 2015. Negligible Impact of Ingested Microplastics on Tissue Concentrations of Persistent Organic Pollutants in Northern Fulmars off Coastal Norway. *Environmental Science and Technology*, 50, 4, 1924–1933. <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1021/acs.est.5b04663>
- IJsseldijk, L.L., van den Brand, J.M.A., 2020. Onderzoeksbevindingen van de zeehonden onderzoek in het kader van de MSC Zoe vervuiling: pathologie en gezondheidsstatus. Intern rapport UU, Departement Pathobiologie, Faculteit Diergeneeskunde, Universiteit Utrecht
- Kastelein, R.A., Lavaleije, S.S., 1992. Foreign bodies in the stomach of a female harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) from the North Sea. *Aquatic Mammals* 18, 40-46. http://www.aquaticmammalsjournal.org/share/AquaticMammalsIssueArchives/1992/Aquatic_Mammals_18_2/Kastelein.pdf
- Kühn S., van Werven B., van Oyen A., Meijboom A., Bravo Rebolledo E.L., van Franeker J.A., 2017. The use of potassium hydroxide (KOH) solution as a suitable approach to isolate plastics ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin* 115, 86-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.034>
- Kühn, S., van Franeker, J.A., O'Donoghue, A.M., Swiers, A., Starckenburg, M., van Werven, B., Foekema, E., Hermsen, E., Egelkraut-Holtus, M., Lindeboom, H., 2020. Details of plastic ingestion and fibre contamination in North Sea fishes. *Environmental Pollution* 257, 113569. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113569>
- Leopold, M.F., Kik, M., van Tulden, P., van Franeker, J.A., Kühn, S., Rijks, J., 2019. De Zoe en de zeekoet. Een onderzoek naar de doodsoorzaak en de herkomst van de zeekoeten die massaal strandden op de Nederlandse kust in januari en februari 2019. Wageningen Marine Research, Den Helder, The Netherlands, pp 59 doi <https://doi.org/10.18174/472854>

- Lorenz, C. *et al.*, 2019. Spatial distribution of microplastics in sediments and surface waters of the southern North Sea. *Environmental Pollution* 252, 1719–1729.
- Morét-Ferguson, S., Law, K.L., Proskurowski, G., Murphy, E.K., Peacock, E.E., Reddy, C.M., 2010. The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 60, 1873–1878. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.020
- Norland, S., Vorkamp, K., Bøgevik, A.S., Koelmans, A.A., Diepens, N.J., Burgerhout, E., Hansen, Ø.J., Puvanendran, V., Rønnestad, I., 2020. Assessing microplastic as a vector for chemical entry into fish larvae using a novel tube-feeding approach. *Chemosphere* 2020, Article number 129144 DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.129144
- OSPAR, 2015. Guidelines for Monitoring of plastic particles in stomachs of fulmars in the North Sea area. OSPAR Commission Agreement 2015-03 (Source: EIHA 15/5/12 Add.1): 26pp. <http://www.ospar.org/convention/agreements?q=fulmar&t=32281&a=&s=>
- Philippart, K., Hanssen, L., van Dijk, J., 2019. Wat zijn de gevolgen van de door MSC Zoe verloren lading voor de Noordzeekustzone en de Waddenzee? Onderzoeks- en monitoringplan voor de korte- en langetermijngevolgen van microplastics voor het Waddengebied en haar bewoners. Position Paper 2019-01, Waddenacademie, Leeuwarden.
- Redondo-Hasselerharm P. E., Gort G., Peeters E. T. H. M., Koelmans A. A., 2020. Nano- and microplastics affect the composition of freshwater benthic communities in the long term. *Sci. Adv.* 6, essay 4054
- Robards, M.D., Piatt, J.F., Wohl, K.D., 1995. Increasing frequency of plastic particles ingested by seabirds in the subarctic North Pacific. *Marine Pollution Bulletin* 30, 151–157.
- RWS LCM, 2019. Advies aangaande big backs in de noordzee met expandeerbare polymeer korrels, No 2019-005
- RWS update 25, 2019 Rapportage update MSc Zoe nr. 25 Stand van zaken t/m 24 december 2019.
- Ryan P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A., Moloney, C.L., 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364, 1999–2012.
- Schop, J., Meijboom, A., Brasseur, S., 2020. MSC Zoe: mogelijke effecten van de verloren containers op zeehonden. Wageningen Marine Research rapport C043/20. <https://doi.org/10.18174/521148>
- Strietman, W.J., 2020. Litter-ID Griend. Memo 16 januari 2020. Wageningen University and Research. Betreft voorlopige resultaten, volledige rapportage in voorbereiding.
- Strohmeier, T., Strand, Ø., Alunno-Bruscia, M., Duinker, A., Cranford, P., 2012. Variability in particle retention efficiency by the mussel *Mytilus edulis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 412, 96–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2011.11.006>
- Van der Heide, T., 2019. Position paper ecologie voor ronde tafel gesprek afhandeling containerramp MSC Zoe. Brief aan de vaste commissie voor Infrastructuur en Waterstaat van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, 30 maart 2019, NIOZ & RUG.
- Van der Molen, J., Garcia, L., Whomersley, P., Callaway, A., Posen, P., Hyder, K., 2018. Modelling connectivity of larval stages of sedentary marine communities between offshore structures in the North Sea. *Scientific Reports*, 8:14772. DOI:10.1038/s41598-018-32912-2
- Van Franeker, J.A., Blaize, C., Danielsen, J., Fairclough, K., Gollan, J., Guse, N., Hansen, P.L., Heubeck, M., Jensen, J.-K., Le Guillou, G., Olsen, B., Olsen, K.O., Pedersen, J., Stienen, E.W.M., Turner, D.M., 2011. Monitoring plastic ingestion by the northern fulmar *Fulmarus glacialis* in the North Sea. *Environmental Pollution* 159, 2609–2615. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.008>
- Van Franeker, J.A., Bravo Rebolledo, E.L., Hesse, E., IJsseldijk, L.L., Kühn, S., Leopold, M., Mielke, L., 2018. Plastic ingestion by harbour porpoises *Phocoena phocoena* in the Netherlands: Establishing a standardised method. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 47, 387–397. doi <https://doi.org/10.1007/s13280-017-1002-y>
- Van Weenen, H., 1975. Kunststof korrels op het strand. *Chemisch Weekblad* 8, 7–8.
- Van Zwol, J., Troost, K., 2019. Afval aangetroffen tijdens de jaarlijkse schelpdiermonitoring in de Waddenzee en Nederlandse kustzone in 2019. Wageningen Marine Research rapport C122/19 <https://doi.org/10.18174/508324>
- Volwater, J., van Hal, R., 2019. Monitoring zeebodemaafval in de Noordzee en Waddenzee naar aanleiding van de containerramp met de MSC Zoe. Beam trawl survey en Demersal Fish survey 2019. Wageningen Marine Research rapport C102/19. <https://doi.org/10.18174/506606>
- Whomersley, P., van der Molen, J., Holt, D., Trundle, C., Fletcher, D., 2018. Modelling the dispersal of spiny lobster (*Palinurus elephas*) larvae from populations found in southwest England: Implications for future fisheries management and conservation measures. *Frontiers in Marine Science* 5, Article 58, 16 pp. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00058>
- Zhu, L. *et al.*, 2018. Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: Observations on occurrence, distribution and identification. *Science of the Total Environment* 636, 20–29.

14 Appendices

14.1 Appendix: Opportunistische vondsten van HDPE-pellets op de kwelders van Schiermonnikoog in 2020

In 2020 werden in de meeuwenkolonie op Schiermonnikoog twee nesten van kleine mantelmeeuwen met daaromheen braakballen met plastic pellets gevonden (Figuur 38). Deze vondsten berusten op toeval, en maakten dus geen deel uit van een vooropgezette monitoring. Bij één nest werd ook een andere braakbal gevonden (Figuur 39), al deze braakballen werden mee genomen naar het NIOZ en daar geanalyseerd. Van beide nesten lijken de plastic pellets een mix te zijn van pellets van verschillende leeftijden, vergelijkbaar met de pellets die wereldwijd in zee gevonden worden, aangezien de mate van vertering en ook de kleur iets verschilt per pellet (Figuur 40). Bij beide nesten werden ook pellets met een positieve match (PosMa) (Appendix 14.4, Tabel 27). De braakbal zonder plastic pellets bevatte resten van een veldmuis.

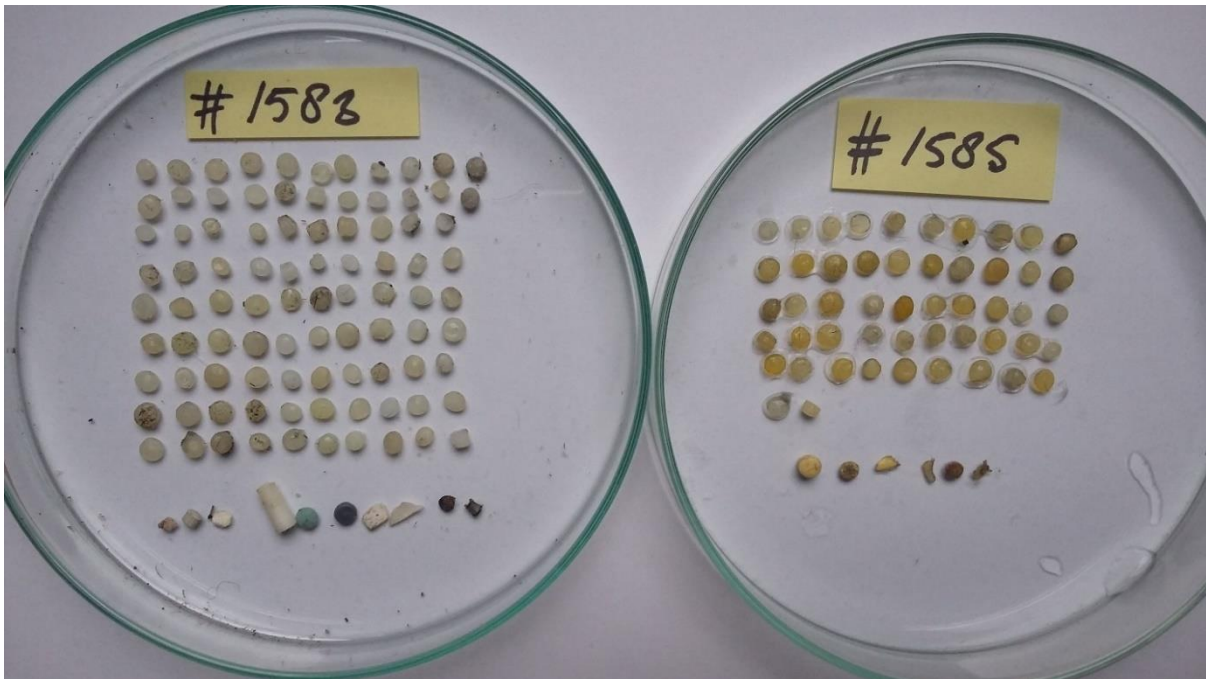
Het is zeer onwaarschijnlijk dat de plastic pellets zijn ingespoeld, gezien de locatie van de nesten en de clustering van de pellets rondom het nest. Deze pellets zijn dus waarschijnlijk opgepikt uit de Noordzee of uit de vloedlijn op het strand of in de kwelder. Aangezien het beide opportunistische waarnemingen zijn, is het niet duidelijk in hoeverre dit twee uitzonderingen zijn.



Figuur 38. Locaties op Schiermonnikoog van de twee nesten met braakballen met plastic pellets.



Figuur 39. Plastic pellets en een braakbal van resten van een klein knaagdier (rechts van de pellets) naast het nest van een kleine mantelmeeuw.

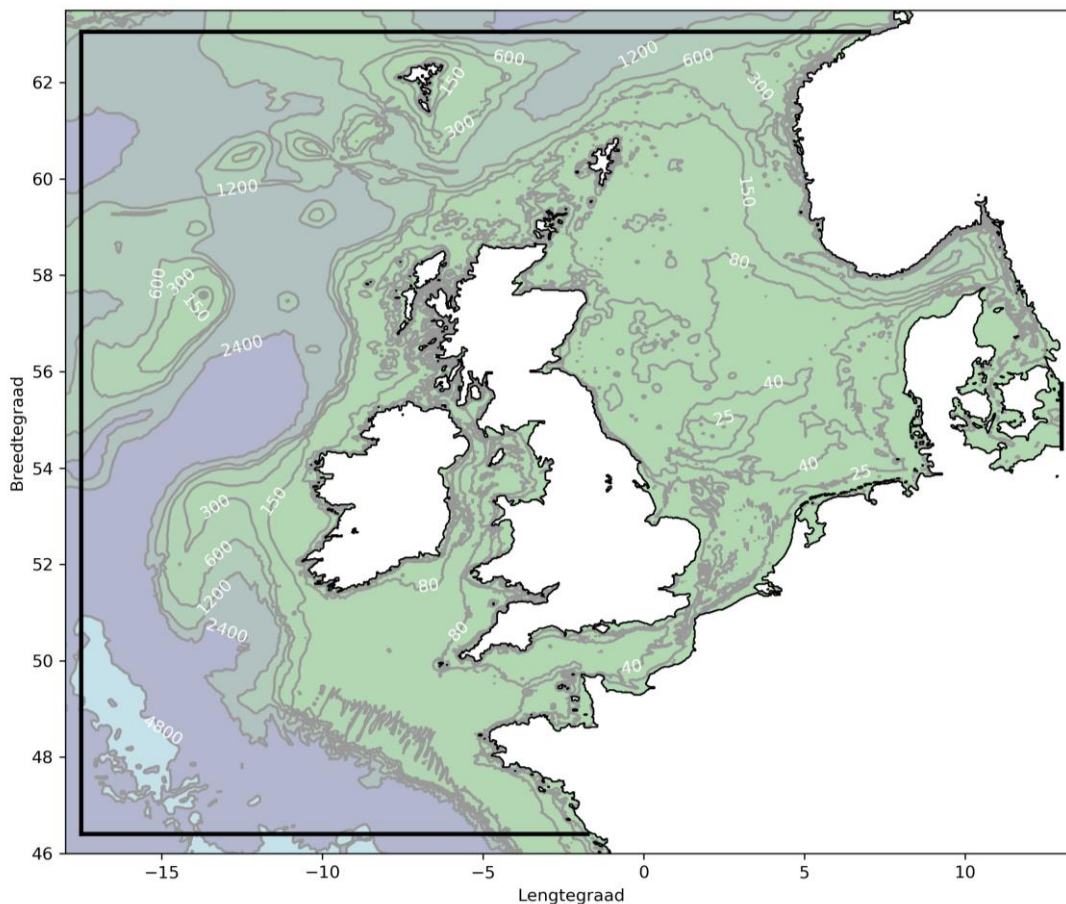


Figuur 40. De plastic pellets die werden gevonden bij kleine mantelmeeuw nesten op Schiermonnikoog in 2020. In het monster #1583 werden 2 HDPE-pellets met een positieve match (PosMa), en in het monster #1585 werden ook 2 PosMa HDPE-pellets gevonden.

14.2 Appendix: Details deeltjesverspreidingsmodellen

14.2.1 Modelbeschrijving

Het gebruikte deeltjesverspreidingsmodel is het General Individuals Transport Model (GITM). GITM is ontwikkeld voor het berekenen van transport van eieren en larven met een verticaal migratiegedrag (van der Molen e.a., 2018; Whomersley e.a., 2018), en is ook toepasbaar op niet-biologische deeltjes met een zeker drijf/zinkvermogen. GITM gebruikt stroomsnelheden berekend met het General Estuarine Transport Model (GETM, www.getm.eu) voor het deeltjestransport. We hebben hier de Northwest European Shelf (NWES, Figuur 41) implementatie gebruikt met een horizontale resolutie van ongeveer 5 km en 25 lagen in de verticaal (van der Molen e.a., 2018), en een implementatie van de westelijke Waddenzee (Figuur 42) met een horizontale resolutie van 200 m en 30 lagen in de verticaal (Duran-Matute e.a., 2014). Voor het Waddenzee model zijn randvoorwaarden voor waterstanden, stroomsnelheden, zoutgehalte en temperatuur uit het NWES model gehaald. Voor beide modellen is atmosferische forcering (actuele representaties van temperatuur, windsnelheid en richting, luchtvochtigheid, bewolgingsgraad) uit de ERA-5 reanalysis van het European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) gebruikt. Oceanische randvoorwaarden voor het NWES model bestonden uit een Topex-Poseidon satelliet altimetrie product voor waterstanden, en de ECMWF ORAS4 Ocean reanalysis voor temperatuur en zoutgehalte.

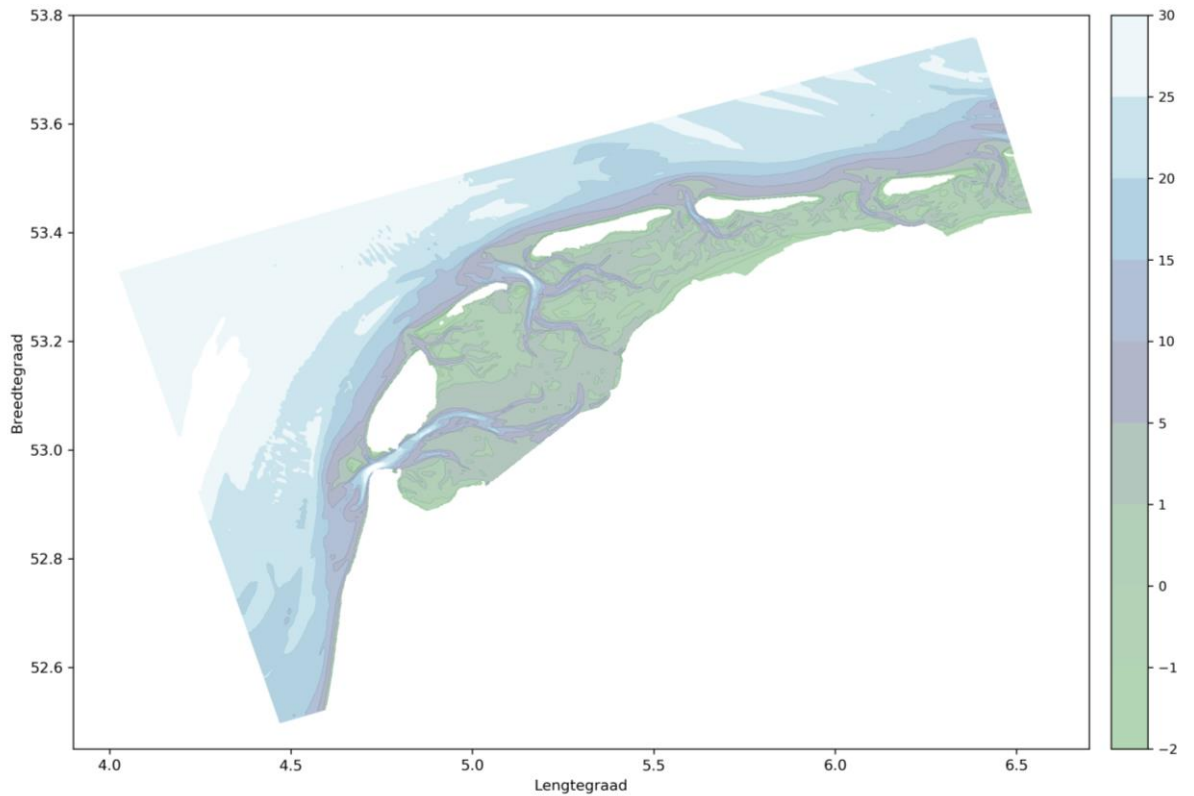


Figuur 41. Northwest European Shelf model domein. Zwarte lijnen: modelrand. Contourlijnen: diepte in m.

De enige deeltjeseigenschap die gebruikt wordt door het deeltjesverspreidingsmodel is een schatting van de verticale snelheid veroorzaakt door het verschil in soortelijk gewicht met zeewater. Deze is afgeleid uit literatuurwaarden (Tabel 14).

Het transport van een deeltje in GITM, hier in tijdstappen van 10 s, is opgebouwd uit een advectieve component die het deeltje meedraagt met de stroming, en een diffusieve component die dmv een random walk proces verplaatsingen door wervelingen die kleiner zijn dan het hydrodynamisch model kan weergeven. De sprong-afstand van de random walk wordt bepaald door een coefficient voor horizontale diffusie, en gebruikt een uniforme verdeling. De waarde van deze diffusiecoefficient is slecht bekend; we hebben hier een waarde van $0.5 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ gebruikt, hetgeen resulteert in een maximale sprong van

ongeveer 7 m in de modeltijdstap van 10 s. Dit is een realistische orde van grootte als je veronderstelt dat de stroomsnelheid in wervels kleiner is dan 1 m s^{-1} . Ter contrast hebben we voor een aantal simulaties een veel hogere waarde van $12 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ gebruikt.



Figuur 42. Waddenzee model domein. Diepte in m ten opzichte van gemiddeld zeeniveau.

Tabel 14. Verticale snelheden HDPE-pellets en PS-korrels, minimum waarde, (middenwaarde), maximum waarde.

	Diameter [mm]	Soortelijk gewicht [10^3 kg m^{-3}]	Relatief verschil in soortelijk gewicht met zeewater (1.03 kg m^{-3})	Verticale snelheid [m s^{-1}]
HDPE-pellets	4-5	0.94-0.97 [†]	0.09-(0.07)-0.06	0.07-(0.06)-0.05 [†]
PS-korrels	0.65	1.04-1.08 [†]	0.01-(0.03)-0.05	-0.0015 - (-0.004) - -0.006 [*]

[†]Morét-Ferguson et al. (2010).

^{*}Chubarenko et al. (2016): Figuur 5.

14.2.2 Modelexperimenten

Er is een aantal basis-experimenten gedaan met beide modellen (Tabel 15). Hierbij zijn HDPE-pellets gesimuleerd met een verticale deeltjessnelheid van 0.06 ms^{-1} (0.05 ms^{-1} voor het Waddenzee model) en PS-korrels met een verticale deeltjessnelheid van -0.004 ms^{-1} . De diffusiecoëfficiënt in de basis-experimenten was $0.5 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. In de basis-experimenten zijn voor zowel HDPE-pellets als PS-korrels deeltjes losgelaten evenredig verdeeld langs het traject van MSC Zoe volgens www.marinetraffic.com, en voor HDPE-pellets op locaties op het traject van MSC Zoe waar concentraties lading zijn geborgen (gegevens: RWS).

Daarnaast is met het NWES model een aantal gevoeligheidssimulaties gedaan met verticale deeltjessnelheden op de randen van de spreiding (Tabel 14), en voor een hoge diffusiecoëfficiënt ($12 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) om een indruk te krijgen van de onzekerheden van de simulaties. De gevoeligheidsanalyse voor de verticale deeltjessnelheid van de HDPE-pellets (Experimenten 8 en 9) gaven nauwelijks verschil (zie onder), daarom zijn de experimenten met het Waddenzee model die in eerste instantie gedaan zijn met een verticale deeltjessnelheid van 0.05 ms^{-1} als representatief aangenomen en niet herhaald met 0.06 ms^{-1} .

Vanwege het beperkte modeldomein van het Waddenzee model, waardoor PS-korrels eerst uit het modeldomein bewogen en daardoor niet verder gevolgd konden worden, zijn voor Experiment 12 beginposities gebruikt uit het NWES model (Experiment 4), voor elk deeltje 2 dagen nadat het in het NWES model terugkwam in het domein van het Waddenzee model.

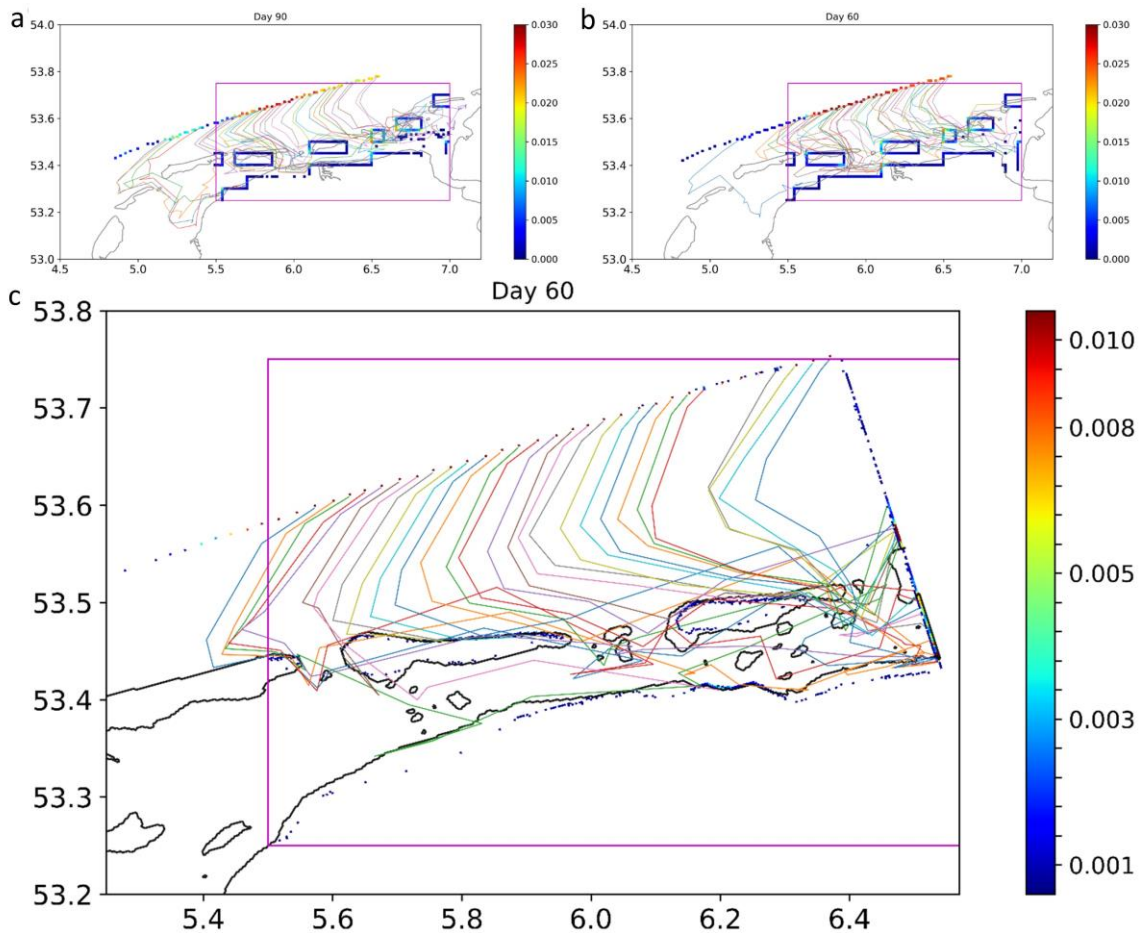
Tabel 15. Overzicht van modelexperimenten. Gevoeligheids-experimenten zijn aangegeven in grijs.

Model	Startlocaties	Type deeltjes	Aantal deeltjes	Verticale snelheid [ms^{-1}]	Diffusiecoëfficiënt [m^2s^{-1}]	Experiment nummer
NWES	Traject	HDPE	20100	0.06	0.5	1
				12	12	2
		PS	20100	-0.0015	0.5	3
				-0.004	0.5	4
				-0.006	0.5	5
				-0.004	12	6
	Container locaties	HDPE	10000	0.06	0.5	7
				0.05	0.5	8
				0.07	0.5	9
				0.06	12	10
Waddenzee	Traject	HDPE	20100	0.05	0.5	11
		PS	20100	-0.004	0.5	12
	Container locaties	HDPE	10000	0.05	0.5	13

14.2.3 Modelresultaten

14.2.3.1 HDPE-pellets: startlocaties op traject MSC Zoe

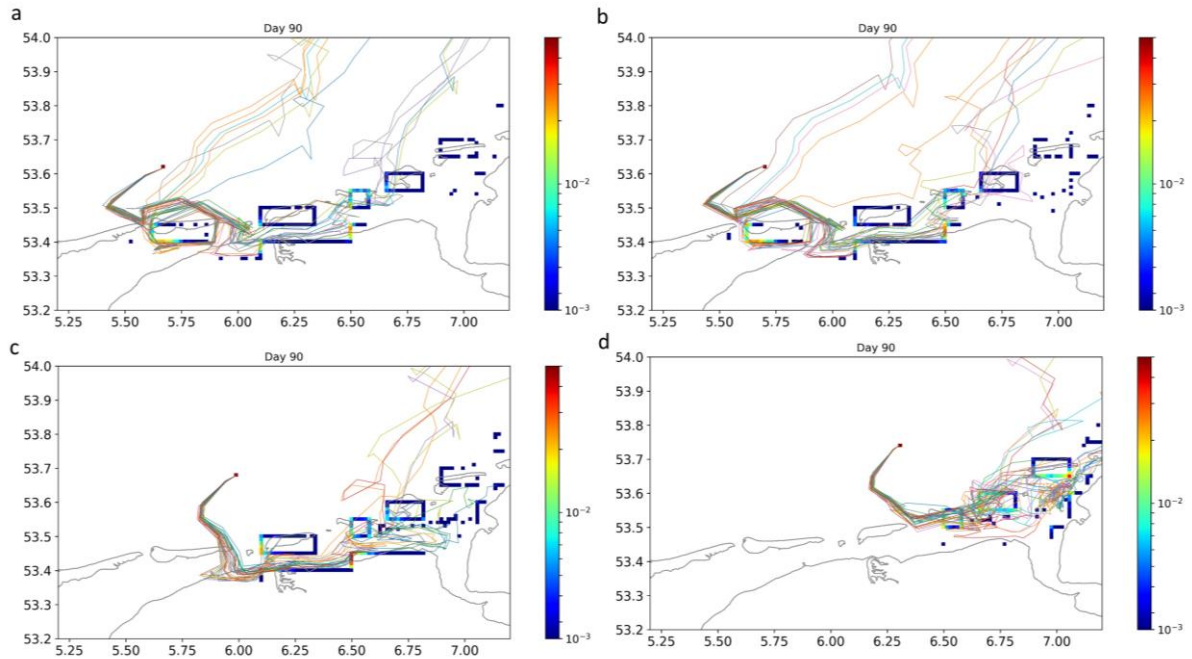
Het terugvolgen van de trajecten van gemodelleerde deeltjes aangespoeld in het gebied waar via waddenplastic.nl (Sectie 5.2) concentraties van HDPE-pellets gevonden zijn (paarse rechthoek in Figuur 43) naar de plaats waar ze losgelaten waren op het traject van MSC Zoe, en tellen van het aantal per locatie op het traject gaf de grootste aantallen ten noorden van Ameland en Schiermonnikoog. Dit gold voor zowel het NWES model met standaard horizontale diffusie (Figuur 43a), met hoge horizontale diffusie (b) en met het Waddenzeemodel (c). Volgens de modellen is dit dus het deel van het traject dat waarschijnlijk de oorsprong is van de aangespoelde HDPE-pellets.



Figuur 43. Modelresultaten voor HDPE korrels. Gekleurde vlakjes: aantal deeltjes per km^2 (a, b), per $200 \times 200 \text{ m}$ (c). Gekleurde lijnen: voorbeelden van deeltjestrajecten in dagelijkse stappen. Paarse rechthoek: gebied waarin de meeste pellets zijn gerapporteerd op waddenplastic.nl (zie ook Figuur 9). Grijs lijn: 0 m NAP contour. a) NWES model, diffusiecoëfficiënt= $0.5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Experiment 1), b) NWES model, diffusiecoëfficiënt= $12 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Experiment 2), c) Waddenzeemodel, diffusiecoëfficiënt= $0.5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Experiment 11). De gekleurde vlakjes langs de kusten geven de aantallen aangespoelde deeltjes aan (binnen de paarse rechthoek). De gekleurde vlakjes op de Noordzee geven aan hoeveel van de aangespoelde modeldeeltjes van deze locaties langs het traject van MSC Zoe afkomstig zijn (fractie van het aantal gesimuleerde deeltjes), en zijn dus een maat voor de waarschijnlijkheid dat de binnen de paarse rechthoek aangespoelde HDPE-pellets daar in het water terecht gekomen zijn.

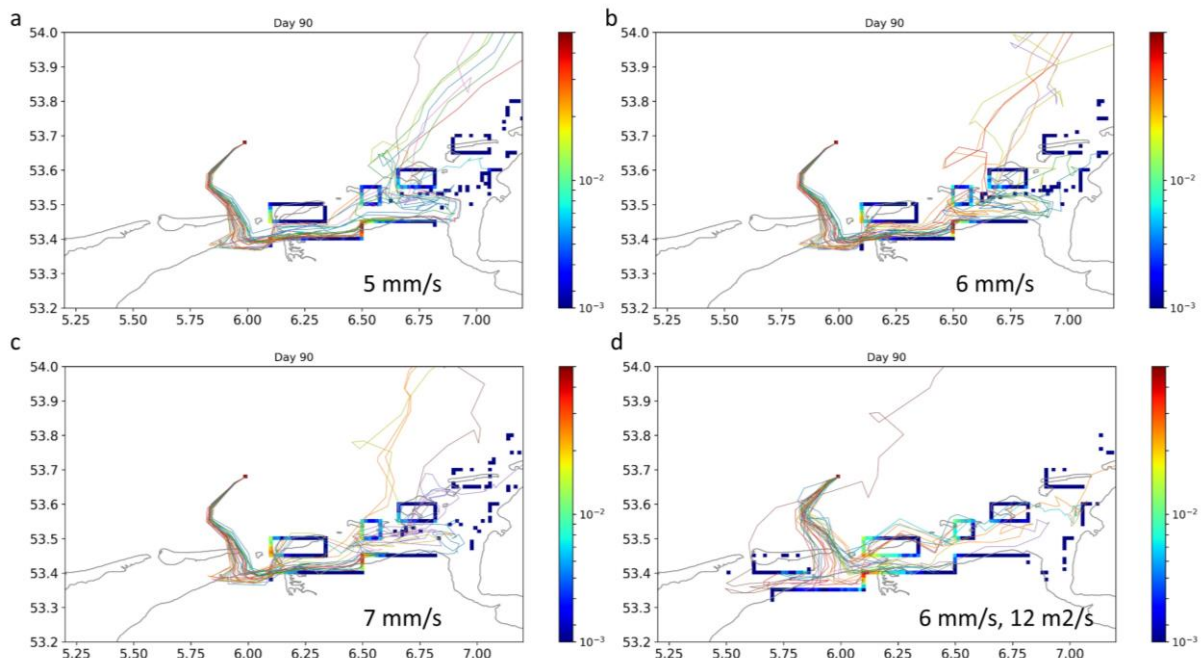
14.2.3.2 HDPE-pellets: startlocaties op container locaties NWES model

De experimenten met het NWES model waarbij modeldeeltjes losgelaten zijn op locaties waar veel lading is teruggevonden (Figuur 44) laten zien dat de gemodelleerde verdeling van aangespoelde deeltjes van de locatie ten noorden van de Zoutkamperlaag (c) de meeste overeenkomsten toont met de verdeling gevonden via waddenplastics.nl (Figuur 9). Er spoelden in deze simulatie echter geen modeldeeltjes aan zoals waargenomen op Ameland en Terschelling.



Figuur 44. Gemodelleerd transport (NWES model) van HDPE-pellets van vier locaties waar concentraties van lading van MSC Zoe op de zeebodem zijn gevonden (a-d, Experiment 7), situatie op dag 90. Rode vierkant op zee: locatie waar deeltjes zijn losgelaten. Geleerde lijnen: trajecten van enkel van de deeltjes. Kleuren op de kust: aantallen, meest aangespoelde, fractie van het aantal gemodelleerde deeltjes per km^2 .

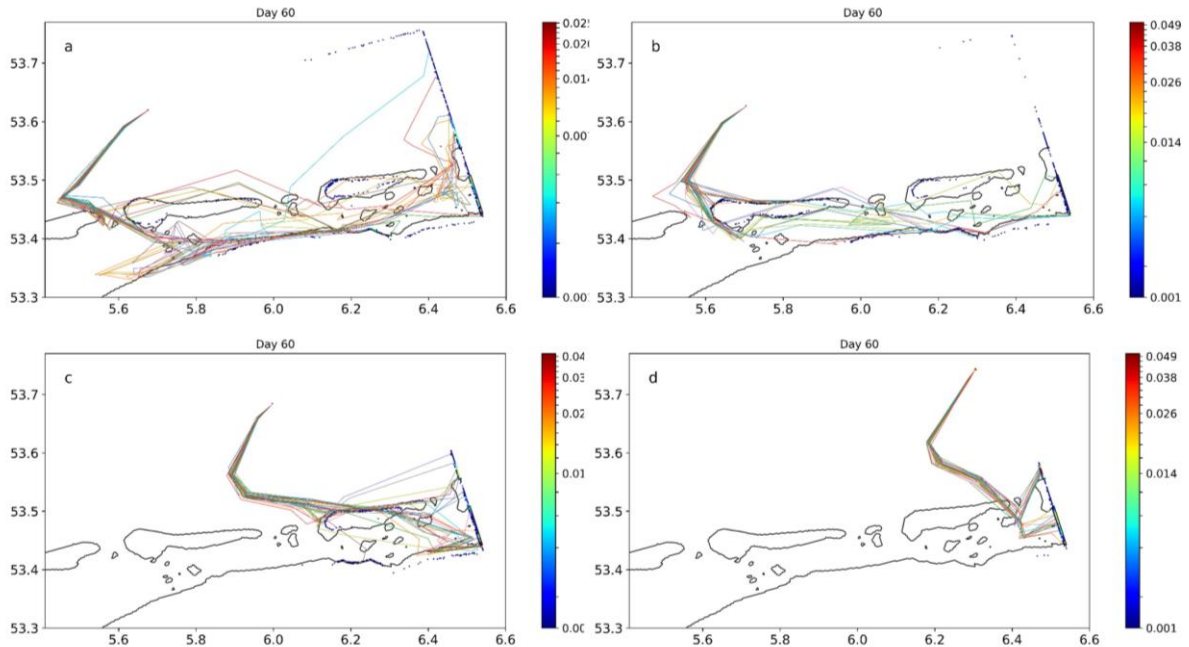
Simulaties naar de gevoeligheid van de modelresultaten voor het drijfvermogen van de pellets en voor de horizontale diffusiecoëfficiënt van het model (Figuur 45) laten zien dat de verticale deeltjessnelheid weinig uitmaakt, en dat een grote diffusiecoëfficiënt voor wat meer spreiding in de resultaten zorgt.



Figuur 45. Gevoeligheid van de modelresultaten voor HDPE-pellets voor de opwaartse snelheid van de deeltjes, en de horizontale diffusiecoëfficiënt voor de locatie ten noorden van de Zoutkamperlaag. Symbolen als Figuur 44. a: opwaartse snelheid 5 mm s^{-1} (Experiment 8); b: 6 mm s^{-1} (Experiment 7); c: 7 mm s^{-1} (Experiment 9); d: 6 mm s^{-1} met een diffusiecoëfficiënt van $12 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Experiment 10).

14.2.3.3 HDPE-pellets: startlocaties op container locaties Waddenzee model

Simulaties met het Waddenzee model waarbij modeldeeltjes die HDPE-pellets representeren losgelaten zijn op op locaties waar veel lading is teruggevonden (Figuur 46) gaven op grote lijnen een vergelijkbaar met die van het NWES model, maar met meer detail in de verdeling van aangespoelde deeltjes, en een eerdere afbuiging naar het oosten van deeltjes losgelaten op de locatie ten noorden van de Zoutkamperlaag (c).



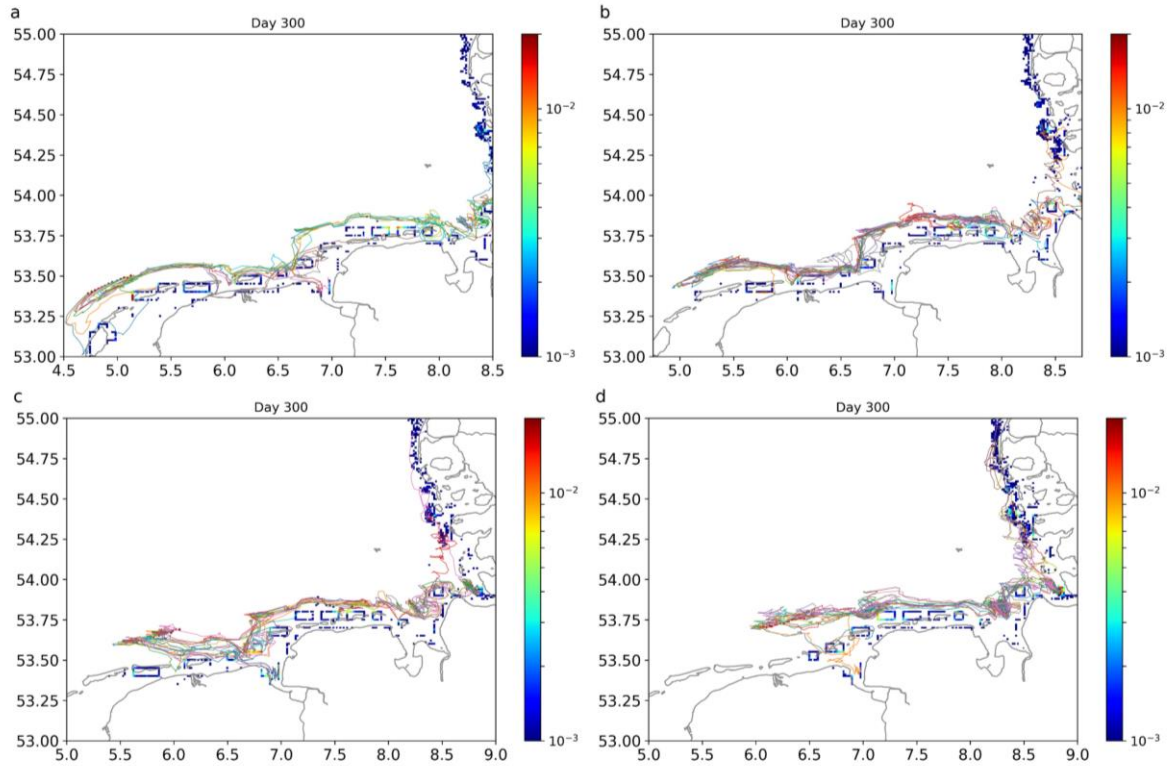
Figuur 46. Als Figuur 44, maar berekend met het Waddenzee model (Experiment 13). N.B. deeltjes die uit het modeldomein getransporteerd werden zijn hier aangegeven op de locatie van de open randen van het model.

14.2.3.4 PS-korrels: startlocaties op traject MSC Zoe NWES model

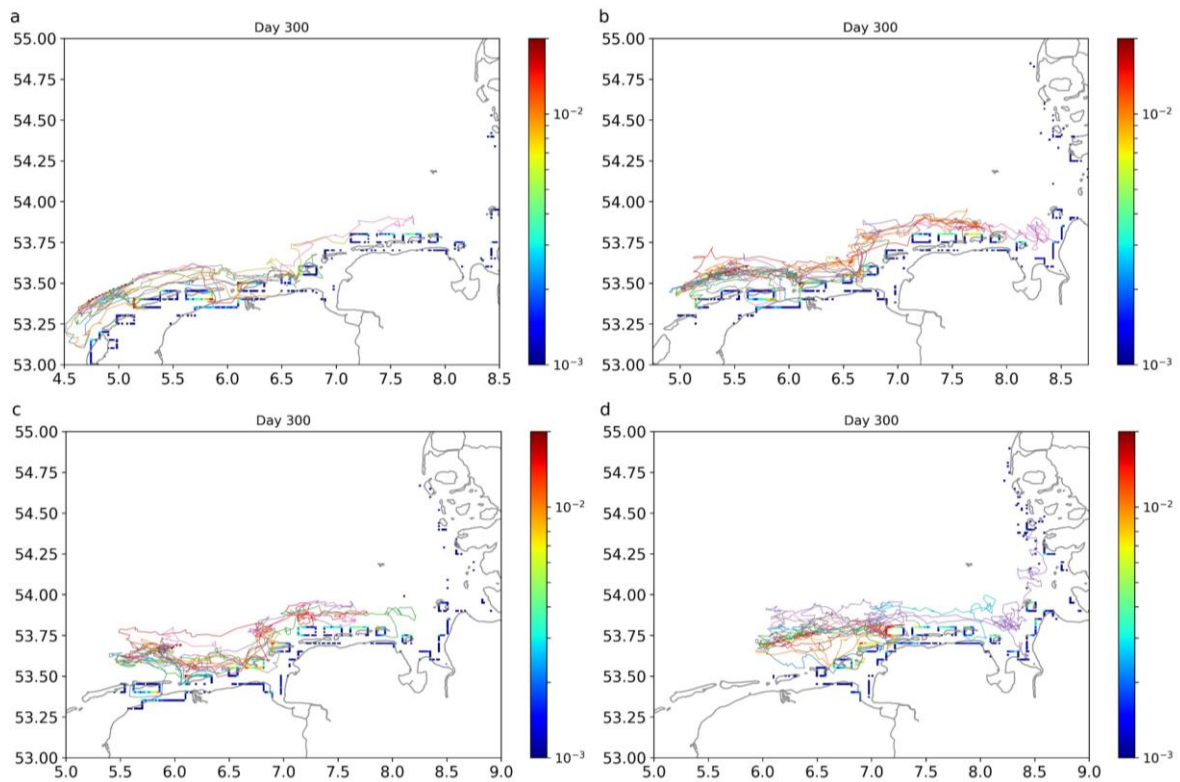
De simulaties met modeldeeltjes die PS-korrels representeren in het NWES model van experiment 3 (Figuur 47) laten zien dat, voor deeltjes losgelaten langs elk van de vier delen van het traject van MSC Zoe, deeltjes lang op zee bleven en ver naar het oosten getransporteerd werden. Voor de eerste drie delen van het traject (a, b, c) spoelden er wat modeldeeltjes aan in het waddengebied ten zuiden van Schiermonnikoog en in de Dollard. Ook voor het vierde deel van het traject (d) spoelden deeltjes in de Dollard aan. Een groot deel van de modeldeeltjes spoelde in Duitsland aan (Tabel 2).

Gebruik van de hoge horizontale diffusie liet een groter spreiding van de trajecten zien (Figuur 48). De hogere diffusiecoëfficiënt gaf de modeldeeltjes ook een grotere kans op stranding, waardoor grotere aantallen in het model in het Nederlandse deel van de Waddenzee en op de Nederlandse Waddeneilanden aanspoelden (Tabel 2).

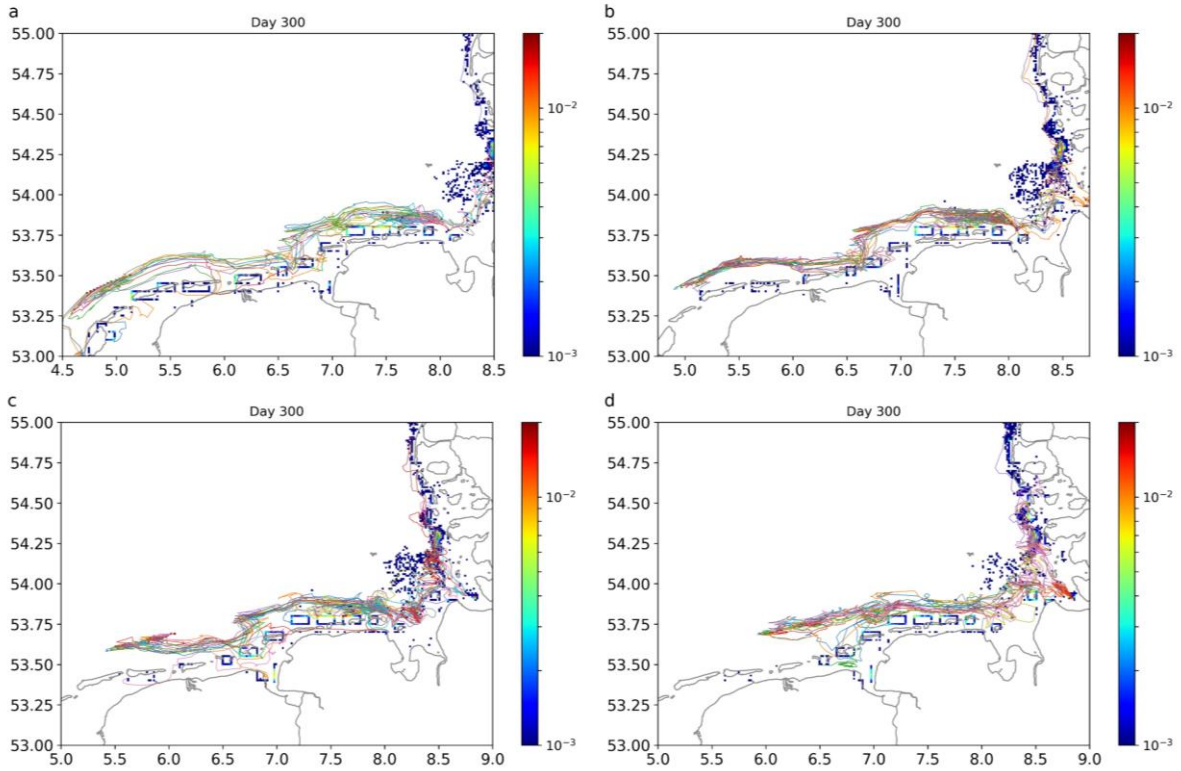
Een lagere zinksnelheid van de modeldeeltjes zorgde ervoor dat deeltjes langer op zee bleven en verder naar het oosten werden getransporteerd (Figuur 49), en een hogere zinksnelheid zorgde voor het tegengestelde (Figuur 50). Aantallen aangespoelde deeltjes in de drie nationale delen van de Waddenzee staan ook aangegeven in Tabel 2



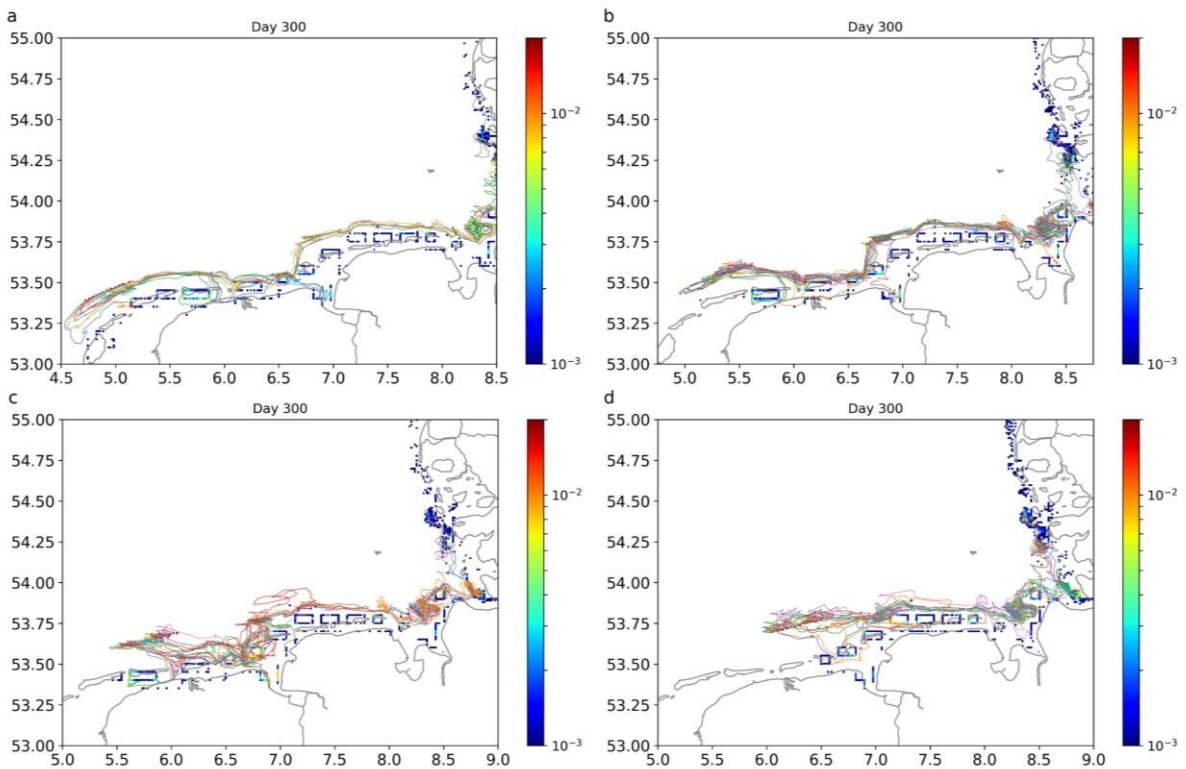
Figuur 47. Gemodelleerd transport (NWES model) van PS-korrels losgelaten langs het transect van MSC Zoe. a)-d): eerste t/m vierde kwart van het traject. Symbolen als in Figuur 44. Verticale deeltjes-snelheid: -0.004 ms^{-1} , diffusiecoëfficiënt $0.5 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Experiment 4).



Figuur 48. Als Figuur 47, maar met een diffusiecoëfficiënt van $12 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Experiment 6).



Figuur 49. Als Figuur 47, maar met een verticale deeltjes-snelheid van -0.0015 ms^{-1} (Experiment 3).



Figuur 50. Als Figuur 47, maar met een verticale deeltjes-snelheid van -0.006 ms^{-1} (Experiment 5).

14.2.3.5 PS-korrels: startlocaties op traject MSC Zoe Waddenzee model

Zoals kan worden opgemaakt uit de resultaten van het NWES model (Sectie 14.2.3.4) is het modeldomein van het Waddenzee model te klein om de verspreiding van deeltjes overeenkomend met PS-korrels goed te simuleren. Hiervan worden hier daarom geen resultaten gepresenteerd.

14.3 Appendix: Detailresultaten visfuiken

Tabel 16. Totaal aantal op plastics bemonsterde vis, per soort, per fuik.

Soort	Latijnse naam	Stuifdijk	Schanser- waard	Schiermon- nikoog
Rivierprik	Lampetra fluviatilis	0	0	1
Haring	Clupea harengus	35	34	5
Sprot	Sprattus sprattus	19	2	7
Pelser	Sardina pilchardus	3	0	0
Ansjovis	Engraulis encrasicolus	0	0	3
Fint	Alosa fallax	7	1	3
Zeeforel	Salmo trutta	7	23	1
Spiering	Osmerus eperlanus	4	10	12
Paling	Anguilla anguilla	4	17	0
Geep	Belone belone	5	10	0
Kleine zeenaald	Syngnathus rostellatus	0	0	4
Grote zeenaald	Syngnathus acus	22	2	2
Kabeljauw	Gadus morhua	0	0	2
Steenbolk	Trisopterus luscus	9	23	4
Wijting	Merlangius merlangus	17	11	8
Pollak	Pollachius pollachius	3	6	0
Koolvis	Pollachius virens	2	7	0
Vijfdradige meun	Ciliata mustela	11	16	5
Horsmakreel	Trachurus trachurus	10	19	0
Zeebaars	Dicentrarchus labrax	34	45	4
Mul	Mullus surmuletus	0	2	0
Zwartooglipvis	Crenilabrus melops	1	0	0
Zandspiering	Ammodytes tobianus	0	0	10
Kleine Pieterman	Echiichthys vipera	1	0	1
Pitvis	Callionymus lyra	1	0	0
Koornaarsvis	Atherina presbyter	21	23	8
Diklipharder	Chelon labrosus	13	22	1
Dunlipharder	Chelon ramada	4	9	2
Goudharder	Chelon aurata	16	19	0
Makreel	Scomber scombrus	0	5	0
Slijmvis	Lipophrys pholis	1	0	0
Botervis	Pholis gunnellus	4	1	0
Puitaal	Zoarces viviparus	1	2	5
Dikkopje	PosMatoschistus minutus	7	10	9
Glasgrondel	Aphia minuta	0	0	1
Zeedonderpad	Myoxocephalus scorpius	7	14	3
Groene zeedonderpad	Taurulus bubalis	1	0	0
Harnasmannetje	Agonus cataphractus	0	0	4
Snotolf	Cyclopterus lumpus	1	0	0
Slakdolf	Liparis liparis	0	0	1
3-Doornige stekelbaars	Gasterosteus aculeatus	5	0	6
Tarbot	Scophthalmus maximus	1	0	9
Schurftvis	Arnoglossus laterna	1	1	0
Schar	Limanda limanda	18	15	7
Schol	Pleuronectes platessa	16	10	9
Bot	Platichthys flesus	34	37	10
Tong	Solea solea	3	1	12
Brakwatergrondel	PosMatoschistus microps	0	0	2
Baars	Perca fluviatilis	0	1	0
Goudbrasem	Sparus aurata	4	7	0
Houting	Coregonus oxyrinchus	2	10	0
Grondels	PosMatoschistus sp.	1	1	0
Strandkrab	Carcinus maenas	0	1	0
Ringsprietgarnaal	Pandalus montagui	1	0	0
Blauwpoot zwemkrab	Liocarcinus depurator	1	1	0
Gewimperde zwemkrab	Liocarcinus navigator	2	2	4

14.4 Appendix: Resultaten Raman analyse van vermoedelijke plastics aangetroffen in de verschillende soorten monsters.

Tabel 17. Analyseresultaten van plastic deeltjes aangetroffen in het water in de Waddenzee. N.B. het identificatiesysteem is getrained op het herkennen van polymeren, in het bijzonder polyethyleen (PE) en polystyreen (PS), dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster-nummer	Datum	Lat	Lon	Deeltjes/Polymeer						deeltjes/km ²
				PE	PosMa HDPE- pellet	PP	PS	poly- ester	PU	
25	21/02/2019	53,19420	5,41186							0,00
26	21/02/2019	53,18553	5,40903							0,00
27	21/02/2019	53,17740	5,40233	1						3,76
28	21/02/2019	53,17000	5,39240							0,00
29	21/02/2019	53,16286	5,38851							0,00
30	22/02/2019	53,08273	5,32965	1	1					24,01
31	22/02/2019	53,08048	5,32165		1	2				34,47
32	22/02/2019	53,07840	5,31521							0,00
33	22/02/2019	53,08511	5,34008							0,00
34	22/02/2019	53,08348	5,33216							0,00
36	22/02/2019	53,07053	5,27173	1		1				69,69
37	22/02/2019	53,07308	5,27765	2						214,29
38	22/02/2019	53,07301	5,27751	1						60,36
39	22/02/2019	53,07176	5,27483							0,00
40	22/02/2019	53,06716	5,26765			1				3,57
41	22/02/2019	53,06383	5,26291						2	5,92
42	22/02/2019	53,05928	5,03315	3		2	1			133,93
43	22/02/2019	53,05990	5,02208	1			2			200,89
44	22/02/2019	53,06056	5,00351				1			48,70
45	22/02/2019	53,06196	5,98278							0,00
46	22/02/2019	53,06285	5,96798	1						3,65
47	22/02/2019	53,05773	5,92825	2		1				10,82
48	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
49	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
50	19/02/2019	53,31691	5,37851	1						14,99
51	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
52	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
53	19/02/2019	53,31691	5,37851	1						10,93
54	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
55	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
56	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
57	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
58	19/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
59	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
60	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
61	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
62	20/02/2019	53,31691	5,37851					2		11,10
63	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
64	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
65	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
66	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
67	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
68	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
69	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
70	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
71	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
72	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00
73	20/02/2019	53,31691	5,37851							0,00

74	20/02/2019	53,31691	5,37851						0,00
75	20/02/2019	53,31691	5,37851						0,00
76	20/02/2019	53,31691	5,37851						0,00
77	20/02/2019	53,31691	5,37851						0,00
78	20/02/2019	53,31691	5,37851						0,00
79	20/02/2019	53,31691	5,37851						0,00
80	20/02/2019	53,31691	5,37851						0,00
2	18/02/2019	53,42256	5,17583						0,00
3	18/02/2019	53,44523	5,15911						0,00
4	18/02/2019	53,45963	5,14755						0,00
21	21/02/2019	53,35210	5,21395						0,00
22	21/02/2019	53,33713	5,20878						0,00
23	21/02/2019	53,30831	5,24858						0,00
24	21/02/2019	53,29318	5,25843						0,00
35	22/02/2019	53,06463	5,25861	3		1			7,00
1	22/04/2019	53,40136	5,18535						0,00
25	21/02/2019	53,19420	5,41186						0,00
26	21/02/2019	53,18553	5,40903						0,00
27	21/02/2019	53,17740	5,40233						0,00
28	21/02/2019	53,17000	5,39240			2			10,63
29	21/02/2019	53,16286	5,38851						0,00
56	26/04/2019	53,07053	5,27173						0,00
57	26/04/2019	53,07308	5,27765						0,00
58	26/04/2019	53,07301	5,27751						0,00
59	26/04/2019	53,07176	5,27483						0,00
60	26/04/2019	53,06716	5,26765						0,00
61	26/04/2019	53,06383	5,26291						0,00
2	22/04/2019	53,44523	5,15911						0,00
4	22/04/2019	53,40136	5,18535						0,00
18	25/04/2019	53,34053	5,20680						0,00
20	25/04/2019	53,29318	5,25843						0,00
53	22/07/2019	53,16286	5,38851						0,00
54	22/07/2019	53,17000	5,39240						0,00
55	22/07/2019	53,19420	5,41186	1		1			11,86
56	22/07/2019	53,18553	5,40903			2			11,22
57	22/07/2019	53,15808	5,39071						0,00
58	22/07/2019	53,17740	5,40233						0,00
2	25/07/2019	53,44523	5,15911						0,00
4	25/07/2019	53,40136	5,18535						0,00
14	26/07/2019	53,33713	5,20878						0,00
16	26/07/2019	53,29318	5,25843						0,00
61	15/11/2019	53,19420	5,41186						0,00
62	15/11/2019	53,18553	5,40903						0,00
63	15/11/2019	53,17740	5,40233						6,89
64	15/11/2019	53,16286	5,38851						0,00
New-2	14/11/2019	53,40136	5,18535	2					3,66

Tabel 18. Analyseresultaten van plastic deeltjes aangetroffen op het strand van Schiermonnikoog in januari 2020. N.B. het identificatiesysteem is getrained op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

N breedte	O lengte	Monster nr	Omschrijving	# plastic deeltjes	Raman identificatie	PosMa	Opmerkingen		
53°29.590	6°08.707	Jan SK 1B	Orange string (fishing line)	1	PE				
53°29.511	6°08.837	Jan SK 2A	White pellet	3	PE	X			
			White pellet		PE				
			White pellet		PE	X			
		Jan SK 2B	Balck pellet	6	PE				
			Blue fragment		PE				
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
53°29.648	6°09.006	Jan SK 4B	Balck pellet	9	PE				
			Blue flat fibre		PE				
			Blue fibre/rope (fishing line)		PP				
			Brown rope		PP				
			Light blue rope		PP				
			White fragment		PP				
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
		Jan SK 4C	Black pellet	2	PE				
		Black pellet	?			no good match			
53°29.902	6°09.854	Jan SK 6A	Black pellet	3	PE				
			Blue flat fragment		PE				
			White pellet		PE	X			
		Jan SK 6C	White flat pellet	3	PE				
			White bigger pellet		PP				
White pellet	PE	X							
53°30.044	6°12.620	Jan SK 10A	Black pellet	3	?		no good match		
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
		Jan SK 10B	White pellet	3	PE	X			
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
		Jan SK 10C	Black pellet	8	PE				
			Black pellet		PE				
			Blue fragment		PE				
			White flat string		PE				
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
White pellet	PE	X							
53°30.073	6°13.538	Jan SK 11B	Bigger white pellet	15	PE, Parafin				
			Blue rope		PE				
			Gray pellet		PE				
			Green rope		PE				
			Blue string		PE				
			Purple rope		PE				
			Blue small fragment		PE				
			white fragment		PE				
			White pellet		PE				
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
			White pellet		PE	X			
			Yellow rope		PE				
			Jan SK 11C		Black pellet	10	PE, Nylon 6.6, Ethylen Vinyl Acetate		possibly copolymer
			Green rope		PE				
		Yellow rope	PE						
		White small pellet	PE						
		White pellet	PE	X					
		White pellet	PE	X					
		White pellet	PE	X					
White pellet	PE	X							
Yellow flat fragment	PP								

53°30.092	6°14.393	Jan SK 12A	Black pellet	6	PE, PA		possibly co-polymer
			Blue fragment		PP		
			Dark blue pellet		PE		
			Green fragment		PE		
			White pellet		PE		
		White-yellow pellet	PE				
		Jan SK 12B	Cream white flat fragment	4	PE		
			White pellet		PE		
			White pellet		PP		
			White rough surface flat fragment		PE		
53°30.321	6°14.387	Jan SK 13A	Black pellet	1	PE, PP		possibly co-polymer
53°30.265	6°16.217	Jan SK 16C	White pellet	14	PE	X	possibly co-polymer
			White pellet		PE	X	
			Black pellet		PS		
			Cream white pellet		PE		
			Grayish rough fragment		PE		
			Round white flat pellet		PE, PET		
			Small white rough fragment		PE		
			White flat fragment		PE		
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE	X	
53°30.334	6°17.203	Jan SK 18A	Cream white pellet	4	PE		
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE	X	
		Jan SK 18C	Green fragment	1	PE		
53°30.431	6°17.991	Jan SK 19A	White rough fragment	2	PE		
			White pellet		PE		
		Jan SK 19B	Black pellet	8	PE		possibly co-polymer
			Black pellet		PE		
			Blue string (fishing line)		PE, PA		
			Cream white pellet		PE		
			Pink fragment		PE		
			White flat pellet		PP		
			White pellet		PE		
		White pellet	PE				
		Jan SK 19C	Black string (fishing line)	7	?		no good match
			Blue string (Fishing line)		PE		
			Brown string (fishing line)		PE		
Cream white pellet	PS, PE				possibly co-polymer		
Green string (fishing line)	PP						
Light brown string (fishing line)	PE						
Light green flat string (fishing line)	PE, PP		possibly co-polymer				
53°30.396	6°18.963	Jan SK 20B	Black big pellet	10	PE		
			Dark blue fragment		PE		
			Gray pellet		PE		
			Green fragment		PP		
			Black small pellet		PE		
			White flat fragment		PE		
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE		
			White pellet		PE	X	
			White pellet		PE		
		Jan SK 20C	Black fragment	1	PP		
53°30.364	6°19.792	Jan SK 21A	Blue flat fragment	2	PE		
			Bule string (fishing line)		PE		

53°30.307	6°16.161	Jan SK 25B	Bule string (fishing line)	1	PE			
		Jan SK 25C	Black pellet	4	PU, PS		possibly copolymer	
			Blue string		PE			
			White pellet		PE	X		
		White pellet			PE			
53°29.993	6°12.608	Jan SK 28A	White pellet	1	PE	X		
		Jan SK 28B	White pellet	38	PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
		White pellet	PE	X				
		Jan SK 28C	White pellet	9	PE	X		
			White pellet		PE	X		
White pellet	PE		X					
White pellet	PE		X					
		White pellet			PE	X		
53°29.346	6°08.232	Jan SK 32A	Black pellet	2	PE			
			Black pellet		Ethylen Vinyl Acetate, PU		possibly co-polymer	
		Jan SK 32B	White flat	1	?			no good match
		Jan SK 32C	Green fragment	2	PP			
White fragment	PP, PE				possibly co-polymer			
53°28.619	6°09.999	Jan SK 36A	Cream white round pellet	4	PS			
			White flat pellet		PE			
			White pellet		PE			
			White pellet		PE	X		
		Jan SK 36B	Black pellet	5	PU			
			Blue string (fishing line)		PE			
			Creamy white flat fragment		PE			
			White pellet		PE			
			White pellet		PP			
		Jan SK 36C	Blue black pellet	4	PE, PET		possibly co-polymer	
			Green fragment		PE			
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PE	X		
53°28.162	6°08.486	Jan SK 37A	Black flat fragment	8	PE			
			Black pellet		PE			
			Green string (fishing line)		PE			
			Plastic film		PE			
			White flat fragment		PE			
			White pellet		PE	X		
			White pellet		PP			
			White spongy pellet		PE			
		Jan SK 37B	Black-white fabric	4	PE		black side	
			Black-white fabric		Nylon 6, PE		white side, possibly co-polymer	
			Blue string (fishing line)		PE			
			White fragment		PE			
		Jan SK 37C	White pellet	7	PP			
			Cream white rough fragment		PE			
			Green fragment		PP			
			White spongy		PS			
				White straw			PP	
53°28.041	6°08.306	Jan SK 38A	Black string (fishing line)	6	PE			
			Blue string (fishing line)		PE			
			Brown string (fishing line)		PE			

			Green string (fishing line)		PE		
			Light string (fishing line)		PE		
			White string (fishing line)		PP		
		Jan SK 38B	Blue string (fishing line)	1	PE		

Tabel 19. Analyseresultaten van vermoedelijke plastic deeltjes aangetroffen in zeebodem sediment in de Waddenzee (SIBES monsters). N.B. het identificatiesysteem is getraind op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster nummer	O lengte	N breedte	Datum	Omschrijving	Breedte [µm]	Lengte [µm]	Raman identificatie	PosMa PS-korrel
6623	6,15300	53,41283	08-08-19	Transparent white round pellet	701,53		Zoe PS pellet	Y
9574	5,82683	53,43016	08-14-19	Red flake_like paint	584,07	708,96	Trimethoxyboroxine	
9214	4,92250	52,90850	08-15-19	White shell_like flake	461,83		Tetrafluoroborate	
4033	5,64700	53,33850	06-23-19	Red flake_like paint	193,83	1125,78	?	
8855	5,92783	53,44850	08-14-19	Red flake_like paint	385,49	902,94	?	

Tabel 20. Analyseresultaten van vermoedelijke plastic deeltjes aangetroffen in de *Spisula monsters*. N.B. het identificatiesysteem is getraind op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster nummer	O lengte	N breedte	Datum	Omschrijving	Afmeting [μm]	Raman identificatie
21841	5,70291	53,53388	06-28-18	White round pellet	296,1	Tetrafluoroborate, sodium
21420	4,45043	52,73268	02-26-19	White pellet	360	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromopyrimidine, 98%
21421	4,44318	52,72178	02-26-19	White round pellet1	220	Tetrafluoroborate, sodium_Carbonate , Nickel II
21421	4,44318	52,72178	02-26-19	White round pellet2	188	Carbonate basic, Nickel II
21421	4,44318	52,72178	02-26-19	White round pellet3	305	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromofluoroborate, sodim
21422	4,43460	52,70588	02-26-19	White round pellet1	420,59	Tetrafluoroborate, sodium
21422	4,43460	52,70588	02-26-19	White round pellet2	504,68	Tetrafluoroborate, sodium
21422	4,43460	52,70588	02-26-19	White round pellet3	333,42	Tetrafluoroborate, sodium
21424	4,42605	52,69591	02-26-19	White round pellet	416,92	Tetrafluoroborate, sodium
21425	4,53948	52,61145	02-26-19	White round pellet	300,54	Tetrafluoroborate, sodium
21428	4,56488	52,57481	02-26-19	White round pellet	423,59	Tetrafluoroborate, sodium
21429	4,56563	52,57016	02-26-19	Glass round pellet	319,67	Poly Methyl Methacrylate
21429	4,56563	52,57016	02-26-19	White round pellet1	277,05	Tetrafluoroborate, sodium
21429	4,56563	52,57016	02-26-19	White round pellet2	436,84	Tetrafluoroborate, sodium
21429	4,56563	52,57016	02-26-19	White round pellet3	380,1	Tetrafluoroborate, sodium
21429	4,56563	52,57016	02-26-19	White round pellet4	280,64	Tetrafluoroborate, sodium
21430	4,56576	52,56743	02-26-19	White round pellet1	350	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromopyrimidine, 98%
21430	4,56576	52,56743	02-26-19	White round pellet2	368	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromopyrimidine, 98%
21431	4,55865	52,56393	02-26-19	White round pellet1	341,85	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromopyrimidine, 98%
21431	4,55865	52,56393	02-26-19	White round pellet2	299,41	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromopyrimidine, 98%
21432	4,56126	52,54675	02-26-19	Round grain	351,84	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromopyrimidine, 98%
21436	4,56131	52,43836	02-26-19	White fish_like egg round big pellet	1327	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromofluoroborate, sodim
21436	4,56131	52,43836	02-26-19	Transparent glass pellet	408	Manganese II Nitrate Hydrate
21436	4,56131	52,43836	02-26-19	White round pellet	376	Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromofluoroborate, sodim

Tabel 21. Analyseresultaten van vermoedelijke plastic deeltjes aangetroffen in de boxcores op de Noordzee. N.B. het identificatiesysteem is getraind op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster nummer	Datum	N breedte	O lengte	Omschrijving	Breedte (µm)	Lengte (µm)	Raman identificatie	PosMa
11435	01-20-19	53,541217	5,69778	White golf_like ball pellet	312		Tetrafluoroborate, sodium_5-Bromopyrimidine, 98%	no
11435	01-20-19	53,54121	5,69778	Glass round small pellet	177-290		Carbonate basic, Nickel II_Tetrafluoroborate, sodium	no
11438	01-20-19	53,54358	5,64730	glas parel big pellet1	243,81		Carbonate basic, Nickel II_Poly Methyl Methacrylate	no
	01-20-19	53,54358	5,64730	glas parel big pellet2	209,93		Carbonate basic, Nickel_Manganese II Nitrate Hydrate_Poly Methyl Methacrylate	no
11440	01-24-19	53,55018	5,60408	Blue flake	1070,15	1702,72	Poly Dimethylsiloxane, viscosity 1000 centistock	no
				Red flake_like paint	889,84	1934,58	Ethylene Trithiocarbonate, 1,3-Dithiolane-2thione	no
				Red flake_like paint	251,56	645,54	Propionyl Bromide, 98%	no
11442	01-24-19	53,55540	5,59228	Black round pellet_like	645,77		Wet strength resin, Casco resin C382 urea formadehyde	no
11446	01-24-19	53.46275	5.39941	White flake	550,06	1306,28	Potassium Imidodisulfonate	no

Tabel 22. Analyseresultaten van vermoedelijke plastic deeltjes aangetroffen in de boxcores rond Terschelling. N.B. het identificatiesysteem is getrained op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

STATION	N breedte	O lengte	Maand	Omschrijving	Aantal deeltjes	Raman identificatie	PosMa	Opmerkingen
BoxCore 1 - 48h station	53,31691	5,37851	Feb '19	Brown fragment	3	Tetrafluorophthalonite, 95%		
				Brown flake/fragment		Poly Ethylene-CO-Vinyl Acetate		
				Red string/line		Tetrafluorophthalonite, 95%		
BoxCore 2 - 48h station	53,31691	5,37851	Feb '19	Brown fragment	3	Poly Ethylene, medium density		
				Orange fragment		Poly Ethylene-CO-Vinyl Acetate		
				Orange fragment		Poly Ethylene-CO-Vinyl Acetate		
BC-TT1-A	53,43235	5,16485	Feb '19	Transparent-white fibre	1	PP		
BC-TT2-A	53,45720	5,33383	Feb '19	Light pink fragment	1	PE, Poly TetrafluoroEthylene-CO-Perfluoro-Alkyl Vinyl Ether		possibly copolymer
BC-TT3-A	53,48328	5,48950	Feb '19	White fragment	2	PE, Poly TetrafluoroEthylene-CO-Perfluoro-Alkyl Vinyl Ether		possibly copolymer
				Yellow fibre		Poly 4-Chlorostyrene		
BC-TT4-A	53,38738	5,53520	Feb '19	White-grayish fragment	3	Poly Vinyl Chloride		
				White-grayish fragment		Poly Vinyl Chloride		
				Golden brown fragment		Poly Ethylene-CO-Vinyl Acetate		
BC-TT5-A	53,35543	5,38888	Feb '19	Gray fibre	2	Perfluorotetracosane		
				White fragment		PE		
BC-TT6-A	53,32223	5,23540	Feb '19	Transparent-gray fragment	1	PP Isotactic		
HT-BC-1A	53,17726	5,40261	Feb '19	Brown fragment	3	Nylon 6/9, Polyamide resin, TM 160		possibly copolymer
				Brown flake/fragment		Nylon 6/9, 7 dioxy steric acid, free radical		possibly copolymer
				Brown flake/fragment		Nylon 6/9		
HT-BC-1B	53,17726	5,40261	Feb '19	Grayish fragment	2	Fluorotrichloromethane 99%, UVE-1016		
				Grayish fragment		Fluorotrichloromethane 99%, UVE-1017		
TT1-BC-A	53,42256	5,17583	Apr '19	Pinkish-grayish fragment	1	Poly Vinyl Chloride		
TT6-BC-A	53,32223	5,23540	Apr '19	Grayish fragment	1	PP Isotactic		
BC-TT1-A	53,43235	5,16485	Jul '19	White fragment	3	Poly Butyl Methacrylate		
				White-grayish fibre		Poly Ethylene Terephthalate		
				White-grayish fibre		Poly Ethylene Terephthalate		
BC-TT6-A	53,32223	5,23540	Jul '19					no polymer found
HT-BC-1A	53,17740	5,40233	Jul '19	Transparent-white fibre	1	Cellulose Powder		
BC-TT1-A	53,43235	5,16485	Nov '19	White-grayish fragment	1	Perfluorotetracosane		
BC-TT6-A	53,32223	5,23540	Nov '19	White-grayish fragment	1	Perfluorotetracosane, Poly TetrafluoroEthylene-CO-Perfluoro-Alkyl Vinyl Ether		possibly copolymer
BC-HT-A	53,17726	5,40261	Nov '19	Brown flake/fragment	3	Poly Ethylene-CO-Vinyl Acetate		

				Brown flake/fragment		Fluorotrichloromethane		
				White-grayish flake/fragment		Perfluorotetracosane		
BC-HT-B	53,17726	5,40261	Nov '19	Brown flat fragment	7	PP		
				Transparent-white fibre		Reactive black 5		
				Transparent-white fibre		Reactive black 5		
				Round egg shell fragment		Tridecylamine		
				White round pellet		PS Aldrich, Zoe PS old pellet		possibly copolymer
				White-grayish fragment		Poly Dimethylsiloxane		
				White round pellet		Zoe PS old pellet	X	

Tabel 23. Identificatie van vermoedelijke plastic deeltjes aangetroffen in de groepen haring. Deeltjes overeenkomend met PS-korrels van MSC Zoe zijn aangegeven in grijs. Fuik: 1=Schanserwaard, 2=Stuifdijk. Alle monsters zijn afkomstig uit 2019. N.B. het identificatiesysteem is getraind op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster nummer	Vangst datum (dag/maand)	Fuik	Omschrijving	Aantal deeltjes	Breedte (µm) [Lengte (µm)]	Raman identificatie	PosMa	Opmerkingen
25-023	19/6	1	Transparent white pellet	1	351,15	Poly Methyl Methacrylate		
			Transparent white pellet	1	528,54	PS Aldrich_PS STD_Zoe PS old pellet	no	too small
25-048	22/6	2	Transparent white pellet	1	506,7	PS Aldrich_PS STD_Zoe PS old pellet	no	too small
26-048	28/6	2	Transparent white pellet	1	325,94	Poly Methyl Methacrylate		
39-1018	25/9	2	Transparent white small pellet	1	306,52	PS Aldrich_PS STD_Zoe PS old pellet	no	too small
			Transparent white big pellet	1	761,31	Poly Methyl Methacrylate		
			Transparent white medium pellet	1	469,11	Poly Methyl Methacrylate		
			Transparent white medium pellet	1	283,87	-		high fluorescence background
			Transparent white big pellet	1	463,69	Poly Methyl Methacrylate		
39-1019	26/9	2	Transparent white pellet	1	482,17	Zoe PS old pellet	no	too small
43-1043	24/10	1	Transparent white pellet	1	493,17	Poly Methyl Methacrylate		
44-1031	29/10	1	Transparent white big pellet	1	887,46	PS Aldrich_PS STD_Zoe PS old pellet	no	too big
			Transparent small big pellet	1	472,86	Poly Methyl Methacrylate		
45-1019	11/4	1	Transparent white pellet	1	556,4 [543,41]	Poly Methyl Methacrylate		
45-1027	11/5	1	Transparent white pellet	1	756,78	Poly Methyl Methacrylate		
45-1029	11/6	1	Transparent white pellet	1	530,89	Zoe PS old pellet	no	too small
37-1020	9/10	1	Transparent white pellet	1	340	Poly Methyl Methacrylate		
			Transparent white pellets	11	170-250	Manganese II Nitrate Hydrate_Poly Methyl Methacrylate		
38-1019	18/9	1	Glassy round pellet	1	266	Manganese II Nitrate Hydrate_Carbonate basic, Nickel II		
			Glassy round pellet	1	290	Manganese II Nitrate Hydrate_Carbonate basic, Nickel II		
38-1028	19/9	1	Glassy round small pellet	14	180-290	Manganese II Nitrate Hydrate		
38-1032	20/9	1	Transparent white pellet	1	621,1	Poly Methyl Methacrylate		
38-1039	21/9	2	Glassy round small pellet	1	209	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
			Glassy round medium pellet	1	225	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
			Glassy round big pellet	1	291	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
			Glassy round small pellet	1	177	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
			Glassy round big pellet	1	177	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
41-1062	13/10	2	Transparent white pellet	1	562	Poly Methyl Methacrylate		
44-1051	31/9	1	Glassy round small pellet	6	257	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
			Glassy round small pellet	1	231	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
			Glassy round small pellet	1	270	Manganese II Nitrate Hydrate, 99%		
45-1045	11/7	1	Dark blue pellet	1	529,64	Benzoyl Alcohol		High fluorescence

Tabel 24. Identificatie van vermoedelijke plastics aangetroffen in de samples van de braakballen van de kleine mantelmeeuw. Locatie: 1 = Texel, 2 = Vlieland, 3 = Schiermonnikoog. Geen van de aangetroffen stukjes plastic gaf een positieve match (PosMa). N.B. het identificatiesysteem is getraind op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar. 'no good match' betekent dat het systeem geen spectrum in de bibliotheek kon vinden dat voldoende overeen kwam met het gemeten spectrum.

Monster nummer	Sample datum	Loc	Omschrijving	Aan-tal	Raman interpretatie	Opmerkingen
1023	6-6-2019	3	Orange turning	1	PE	
			White pellet	1	PP	
			Red turning	1	PE	
			Violet fragment	1	?	no good match
1026	6-6-2019	3	Bigger white flat pellet	1	PET	
			Black fishing string/line	1	Nylon, PET	possibly copolymer
			Black grayish string/line	1	PE	
			Blue fragment (plastic bag)	1	PE	
			Gray fragment (plastic bag)	1	PET, PE	possibly copolymer
			Green fragment (plastic bag)	1	PP	
			Light green fragment (plastic bag)	1	PET	
			Pink fragment (plastic bag)	1	PE	
			White fibres, fluffy	1	PP	
			Smaller white flat fragment	1	PET	
			White papery material	1	PE, EVA	possibly copolymer
			White pellet	1	PP	
1027	6-6-2019	3	Black sticky rubbery fragment	1	?	no good match
			Black flat fragment	4	PS	
			Black flat fragment		PS	
			Black flat fragment		?	no good match
			Black flat fragment	PS		
Black fragment (Plastic bag)	1	PP				
1030	6-6-2019	3	Black electric cord	1	PE, PP, Ethylene Vinyl Acetate Copolymer	possibly copolymer
1031	6-6-2019	3	Orange string (fishing rope)	1	PP	
1044	6-6-2019	3	Blackish fragment	1	?	no good match
			White pellet	1	PE	
1045	6-6-2019	3	Black fibre/string	1	?	no good match
			Red fibre/string	1	PE	
			White pellet	1	PP	
			White fibre/string	1	PE	
1069	13-7-2019	3	Transparent-white fragment	1	PET	
1071	13-7-2019	3	Blue fragment	1	PE	
1080	13-7-2019	3	Blue fragment (plastic bag)	1	PE, Ethylene Vinyl Acetate Copolymer	possibly copolymer
1081	13-7-2019	3	Tranparent white fragment (plastic bag)	1	PE	
1095	13-7-2019	3	White big pellet	1	PET	
			White small pellet	1	PET	
1095 (2)	13-7-2019	3	Black flat fragment	1	PET	
			Black fragment (plastic bag)	1	PE	high fluorescence background
			Black fragment (plastic bag)	1	PP, PE	possibly copolymer
			Black fragment (plastic bag)	1	PE, PS	possibly copolymer
			Blue fragment (plastic bag)	1	PE	high fluorescence background
			Blue smaller fragment (plastic bag)	1	PE	high fluorescence background
			Brown fragment	1	?	no good match
			Dark blue fragment	1	?	no good match
			Transparent-white flat fragment	1	PET	
			Transparent-white flat fragment	1	PET	
Yellow fragment (plastic bag)	1	PE	high fluorescence background			
1095 (3)	13-7-2019	3	Black flat fragment	1	PE, PP	possibly copolymer
			Blue curly fibre	1	?	no good match
			Red fibre	1	PS	high fluorescence background
			Pink fibre	1	?	no good match
			White spongy pellet	3	PS	high fluorescence

						background
1096	13-7-2019	3	Black curly fibre	1	PE, PS, Poly Dimethylsiloxane	possibly copolymer
			Blue fragment (plastic bag)	1	PU, PE	possibly copolymer
			Blue fibre	1	PE	
			Green fibre/string	1	PP (traces of poly Dimethylsiloxane)	
			Green fibre/string	1	PP	
			White fibre/string	1	PP	
			White fibre	2	PET	
			White fibre		PET	
1098	13-7-2019	3	Black curly fibre/string	1	Nylon 6, Polycaprolactum	possibly copolymer
			Black flat fragment	1	PP isotactic	
			Black flat fragment	1	PP isotactic	
			Black fragment (plastic bag)	1	PE, Ethylene Vinyl Acetate Copolymer	possibly copolymer
			Black fibre/string	1	Nylon 6, Polycaprolactum	possibly copolymer
			Paper foil	1	PE	
			Red fiber/string	1	PP	spectrum below zero
			White big spongy pellet	1	PS	noise Spectrum
			White plastic bag	1	PE	
			White spongy pellet	1	PS	
1101	13-7-2019	3	Blue fragment (plastic bag)	1	PE	
			Light orange plastic bag	1	PET, PE	
			Red fibre	1	PET	possibly copolymer
			White fragment	6	?	no good match
1120	11-5-2018	3	Metal_like golden_grayish pieces	3	?	no good match, low Raman intensity
1145	17-5-2018	3	Transparent-white fragment	1	PS	
1161	23-5-2018	3	Metal_like golden_grayish test1 piece		?	no good match, low Raman intensity
			Metal_like golden_grayish test1 piece		?	no good match, low Raman intensity
			Green flat		PS	
1172	26-5-2018	3	Fragment (Paper foil)	1	?	no good match, high fluorescence
			Transparent-white fragment	1	?	no good match, high fluorescence
			Yellow, spherical fragment	1	?	no good match, high fluorescence
			Fragment (golden metal foil)	8	?	no good match, high fluorescence
			Fragment (golden metal foil, wrapper?)		PET	high fluorescence
			Green fragment	2	PET	
			White fibre	1	PET	
1177	26-5-2018	3	Brown fibre	1	?	no good match, high fluorescence
			Cream-white fibre/string	1	?	no good match, high fluorescence
			Dark blue fibre	1	PA, PS	high fluorescence
			Green fragment	1	?	no good match, high fluorescence
			Light blue woolly fibre	1	PP	
			White fibre/string	1	?	no good match, high fluorescence
			White fibre	1	?	no good match, high fluorescence
1181	29-5-2018	3	Blue fragment (plastic bag)	1	PE	
			Cream-white fragment	1	?	no good match, high fluorescence
			Transparent-white fragment (plastic bag)	1	PE	
			White fragment	1	?	no good match, high fluorescence
			White plastic bag	1	PE	
			White spongy pellet	1	?(possibly PS)	no good match, high fluorescence
			White spongy pellet	1	PS	
1190	29-5-2018	3	Green fragment	1	?	no good match, high fluorescence

1193	29-5-2018	3	Transparent fragment (plastic bag)	1	PE	
			White spongy pellet	1	PS	
1367	11-6-2019	3	Black fibre	1	PE, Poly Dimethylsiloxane	possibly copolymer
			Green fragment (plastic bag)	1	PE, Ethylene Vinyl Acetate	possibly copolymer
1386	13-6-2019	3	Black fragment	1	?	no good match, high fluorescence
1389	13-6-2019	3	Black fibre/string	1	PP	high fluorescence
			Gray flat fragment	1	?	no good match, high fluorescence
			White fragment	1	PP, Isotactic	
1400	13-6-2019	3	Black flat fragment	1	PE, PP, Poly Vinyl Acetate	possibly copolymer
1404	13-6-2019	3	Black fragment (plastic bag)	1	PP	
			Black fragment (plastic bag)	1	PP	spectrum weak
			Black fiber/string	1	PET, PE	
			Green fragment (plastic bag)	1	PP	
			Green fiber/string	1	PE	
			Red flat fragment	1	PET, PS	
			Red fiber/string	1	?	no good match, high fluorescence
			White fragment (plastic bag)	1	PE	
			White spongy pellet	1	PS	
			White fiber/string	1	PP	
1414	13-6-2019	3	White fragment (plastic bag)	1	PP	
1415	13-6-2019	3	Transparent fibre/string	1	PP	
1418	13-6-2019	3	Black fibre	1	?	no good match, high fluorescence
			Black fragment (plastic bag)	1	PE	
			Black fiber/string	1	PP	
			Blue fibre	1	PP	
			Blue fragment (plastic bag)	1	PE	
			Green fiber/string	1	PE	
			Light pink fibre	1	?	no good match, high fluorescence
			White fibre	1	?	no good match, high fluorescence
			Yellow fiber/string	1	PE, PET	possibly copolymer
			1419	13-6-2019	3	Black fragment (plastic bag)
Black fragment (plastic bag)	1	PE, PU				possibly copolymer
Gray fragment (plastic bag)	1	PU, PE				possibly copolymer
Red fragment	1	?				no good match, high fluorescence
Brown fibre	1	PET				
Yellow flat fragment	1	?				no good match, high fluorescence
1422	28-6-2019	3	Light brown fragment	1	PS	
			Pink fragment	1	PE	
1430	28-6-2019	3	Black flat fragment	1	PS	
			White spongy pellet	1	PS	
			White spongy pellet	1	PS	
1431	28-6-2019	3	Black fragment (plastic bag)	1	PE, Ethylene Vinyl Acetate Copolymer	possibly copolymer
			Pink wax-like pieces	2	?	no good match, high fluorescence
			Transparent-white fragment (plastic bag)	1	PP	
			Transparent-white fibre/string	1	PP	
1432	28-6-2019	3	Blue fibre/string	1	?	no good match, high fluorescence
			White flat fragment	1	?	no good match, high fluorescence
			White fibre	1	PET	
1433	28-6-2019	3	Black flat fragment	1	PE	
			Black fragment (plastic bag)	1	PE	
			Blue fragment (plastic bag)	1	PET	
			Dark green fibre/string	1	PE	
			White spongy pellet	1	PS	
1435	28-6-2019	3	Black fragment (plastic bag)	1	PP	
			Blue string	1	PP	

			Gray fragment (plastic bag)	1	PE	
			Orange fibre/string	1	PP	
			Transparent-white fragment	1	PET	
			White spongy small pellet	1	PS	
1436	28-6-2019	3	White flat fragment	7	?	no good match, high fluorescence
1438	28-6-2019	3	Green fibre/string	2	PE	
1442	28-6-2019	3	Transparent white big pellet	1	PP	
			Black fragment (plastic bag)	1	PA, PE, PS	possibly copolymer
			White spongy medium pellet	1	PS	
			White spongy small pellet	2	PS	
1444	28-6-2019	3	White fragment (plastic bag)	1	PE	
			White fibre/string	1		
2190045		1	Black fragment (plastic bag)	1	PE	
	26-4-2019		Blue fragment (plastic bag)	1	PE	
			White fragment (plastic bag)	1	PE	
			White and red fibre	1	PET	
2190662	20-5-2019	1	Yellowish pellet	1	PA, PE, PP	possibly copolymer
2190848	28-5-2019	1	Golden brown flat fragment	1	PP	
2190850	28-5-2019	1	Black fibre/string	1	PP	

Tabel 25. Identificatie van vermoedelijke plastic deeltjes aangetroffen in de monsters van de lepelaars. N.B. het identificatiesysteem is getrained op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster nummer	Sample datum	Locatie	Omschrijving	Aantal deeltjes	Raman interpretatie
38 Spoonbill	8-6-2018	2	Spoonbill 38 white fabric	1	Methyl cellulose_PA_Nylon

Tabel 26. Identificatie van vermoedelijke plastic deeltjes aangetroffen in de monsters van de kanoeten. N.B. het identificatiesysteem is getrained op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster nummer	Monster datum	Locatie	Omschrijving	Aantal deeltjes	Raman interpretatie	Opmerkingen
42	27-10-2019	Balgzand	green fibre	1	PS, PET	possibly copolymer
			Transparent film	1	PE	Possibly contamination

Tabel 27. Identificatie van vermoedelijke plastics aangetroffen in opportunistische samples op de kwelder van Schiermonnikoog in 2020. N.B. het identificatiesysteem is getrained op het herkennen van polymeren, in het bijzonder PE en PS, dus identificaties met anderssoortige componenten, zoals inorganische materialen, zijn minder betrouwbaar.

Monster nummer	Sample datum	Omschrijving	Aantal items	Raman interpretatie	PosMa
1583(1)	4-6-2020	Cream white big pellet1	19	PE	
		Cream white big pellet2		PE	
		Cream white big pellet3		PE	
		Cream white big pellet4		PE	
		Cream white big pellet5		PE	
		White big pellet1		PE	
		White big pellet2		PE	
		White big pellet3		PE	
		White big pellet4		PE	
		White big pellet5		PE	
		White smaller pellet1		PE Zoe	X
		White smaller pellet2		PE Zoe	X
		Cream white small pellet1		PE	
		Cream white small pellet2		PE	
		Cream white small pellet3		PE	
		Cream white small pellet4		PE	
		Cream white small pellet5		PE	
		Cream white small pellet6		PE	
		Cream white small pellet7		PE	
1583(2)	4-6-2020	Black flat pellet	1	PE	
		Gray flat pellet	1	PE	
		Light blue pellet	1	PE	
		Cream white pellet	1	PE	
1583(3)	4-6-2020	White small pellet	1	PE	
		White big long fragment	1	PP	
		White big long sharp edged fragment	1	PP	
		White flat medium fragment	1	PE, PS	
		White spongy pellet	1	PS	
1585	4-6-2020	White big pellet	23	PE	
		White bigger pellet1		PE	
		White bigger pellet2		PE	
		White bigger pellet3		PE, Paraffin wax	
		White bigger pellet4		PE	
		White bigger pellet5		PE	
		Brownish-yellowish pellet		PE	
		Cream white pellet1		PE	
		Cream white pellet2		PE	
		Cream white pellet3		PE	
		Cream white pellet4		PE	
		Cream white pellet5		PE	
		Cream white small rough surface pellet		PE	
		White small pellet		PE	
		White pellet1		PE	
		White pellet2		PE	
		White pellet3		PE	
		White smaller pellet1		PE Zoe	X
		White smaller pellet2		PE Zoe	X
		Yellowish pellet1		PE	
		Yellowish pellet2		PE, Paraffin wax	
		Yellowish pellet3		PE	
		Yellowish pellet4		PE	

	White fragment	1	PE	
	Yellow fragment	1	PE	

Het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, doet als nationaal oceanografisch onderzoeksinstituut multidisciplinair fundamenteel zeegaand onderzoek naar wetenschappelijk en maatschappelijk belangrijke vraagstukken over het functioneren van delta- en kustgebieden, zeeën en oceanen. Daarnaast beheert het NIOZ de nationale onderzoeksschepen en de apparatuur voor de Nederlandse onderzoeksgemeenschap. Ook stimuleert en ondersteunt het NIOZ het mariene onderzoek, onderwijs en beleidsontwikkeling op nationaal en internationaal niveau.

NIOZ is onderdeel van de institutenorganisatie van NWO



www.nioz.nl

