



Gehalte aan zware metalen in biota op stort- en referentielocaties in de Oosterschelde

S.T. Glorius & M. van den Heuvel-Greve

IMARES rapport C081/16

Gehalte aan zware metalen in biota op stort- en referentielocaties in de Oosterschelde

Technisch rapport C081/16

Auteur(s): S.T. Glorius & M. van den Heuvel-Greve

Publicatiedatum: 12 augustus 2016

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat

IMARES Wageningen UR
Den Helder, augustus 2016

IMARES rapport C081/16

S.T. Glorius & M. van de Heuvel-Greve, 2016. Gehalte aan zware metalen in biota op stort- en referentielocaties in de Oosterschelde; . Wageningen, IMARES Wageningen UR (University & Research centre), IMARES rapport C081/16. 32 blz.

Keywords: Vooroever verdediging, zware metalen, Oosterschelde, Mossel *Mytilus edulis*, Japanse oester *Crassostrea gigas*.

Opdrachtgever: RWS Zeeland / Waterdienst
Poelendaelsesingel 18
4335 JA Middelburg

IMARES Wageningen UR is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

Foto omslag: Oscar Bos

© 2016 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1 V23

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
2 Methoden	8
2.1 Bemonstering biota	8
2.2 Analysemethode & detectielimiet	8
2.3 Berekening Pollution Load Index	9
2.4 Data analyse	9
2.4.1 Invloed leeftijd op metaalgehalten	9
2.4.2 Trends in de tijd voor mossel en oester op de Zeelandbrug	10
2.4.3 Vergelijking tussen type ondergrond	10
3 Resultaten	11
3.1 Mossel- en oesterm monsters	11
3.2 Schelpenlengte in relatie tot metaalgehalten	11
3.3 Trend in de tijd voor locatie Zeelandbrugpijler (2009-2015)	11
3.3.1 Mosselen (<i>Mytilus edulis</i>)	11
3.3.2 Japanse oester (<i>Crassostrea gigas</i>)	12
3.4 Vergelijking tussen type stortmateriaal	12
4 Discussie	13
4.1 Populatie verschillen monsterlocaties 2015	13
4.2 Trendanalyse en invloed bestorting	13
4.3 Effect van type stort materiaal	14
4.4 Normoverschrijdingen	15
5 Conclusies en aanbevelingen	17
5.1 Conclusie	17
5.2 Aanbevelingen	17
6 Kwaliteitsborging	18
Literatuur	19
Verantwoording	21
Bijlage 1 Overzicht van biota bemonsteringen	22
Bijlage 2 Variatie in schelpenlengte en gewichten	23
Bijlage 3 Relatie tussen schelpenlengte en metaalgehalte, PLI en droge stof	25
Bijlage 4 Trend in concentratie metalen, droge stof en PLI	27
Bijlage 5 Invloed type bestorting op metaalgehalten	29
Bijlage 6 Ruwe data	30

Samenvatting

In 2008 (noodstort) en 2009 (structureel) is RWS begonnen om 'bestortingen' uit te voeren om de vooroevers en geulwanden van de Oosterschelde en Westerschelde tegen erosie te beschermen. Deze bestortingen zijn uitgevoerd met staalslakken (SS) en breukstenen (BS). De toegepaste materialen voldoen aan de kwaliteitseisen uit het Besluit Bodemkwaliteit, ondanks dat tot een bepaalde mate metalen mogen uitlogen uit deze materialen. Om te bepalen of als gevolg van deze bestortingen geen negatieve effecten optreden in het mariene milieu is een monitoringsprogramma gestart om inzicht te krijgen in gehalten aan zware metalen in aanwezige biota na het aanbrengen van vooroeververdediging in de Oosterschelde.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de metaalanalyses in mosselen *Mytilus edulis* en Japanse oesters *Crassostrea gigas* bemonsterd op verschillende locaties in de Oosterschelde. Hierbij wordt ingegaan op de jaarlijkse variatie in metaalconcentratie in mossel- en oesterweefsel en verschillen tussen type stort en referentielocaties en worden gehalten getoetst aan geldende milieukwaliteitsnormen.

Er zijn voor drie metalen milieukwaliteitsnormen vastgesteld (OSPAR 2009). Er zijn geen overschrijdingen van deze normen geconstateerd.

Trendanalyse (2009-2015) van de metaalgehalten in mosselen *Mytilus edulis* en Japanse oesters *Crassostrea gigas* op de Zeelandbrug voorafgaand (T0) en zes jaar na het storten (T1-T6) van breukstenen en staalslakken impliceert dat jaarlijkse variatie eerder verklaard kan worden door autonome ontwikkelingen dan door het storten van de oeververdediging. De invloed van de bestortingen met staalslakken en breukstenen op de gehalten aan zware metalen in lokaal levende mosselen en oesters wordt als zeer gering ingeschat doordat:

- (1) er geen duidelijke verschillen in metaalgehalten voor (T0) en na (T1) bestorting geconstateerd zijn;
- (2) trends in metaalgehalten niet eenduidig zijn; trends kunnen stijgend zijn voor enkele metalen in mosselweefsel en afwezig dan wel dalend voor metalen in oesterweefsel;
- (3) in deze studie gemeten gehalten aan metalen in mosselen binnen of onder gerapporteerde waarden vallen die eerder gemeten zijn in mosselen in de Oosterschelde (Wemeldinge) in de periode 1996 – 2003.

Wel worden hogere molybdeen en mangaangehalten aangetroffen in oesters bemonsterd in 2014 en 2015 op de stortlocatie in vergelijking tot oesters bemonsterd op de referentielocatie. Dit heeft waarschijnlijk een andere oorzaak dan de vooroeverbrestortingen. Voor molybdeen en mangaan worden namelijk geen langjarige stijgende trends waargenomen. Daarnaast zijn mangaangehalten vergelijkbaar met eerder gemeten gehalten in mosselen bemonsterd bij Wemeldingen in de periode 1997-2003 (molybdeen werd in deze studie niet geanalyseerd). Verder zijn de monitoringsresultaten niet consistent met de resultaten van een in 2015 uitgevoerd gecontroleerd mesocosm experiment met verschillende materialen (zeegrind, breuksteen en staalslak). In het mesocosm experiment werden geen verhoogde molybdeen en mangaan gehalten in biota aangetroffen na blootstelling aan de verschillende materialen. Vanadium kwam in dit experiment naar voren als het metaal dat het sterkst uit staalslakken uitloogt en het best opgenomen wordt door biota en nikkel in het geval van breukstenen. Voor deze beiden metalen (vanadium en nikkel), die op basis van de resultaten van het mesocosms experiment dus als gidsstof beschouwd kunnen worden zijn geen verhoogde gehalten aangetroffen in het veld. Op basis van de monitoringsresultaten en het mesocosm experiment worden ecologische effecten ten gevolge van eventuele uitloging van zware metalen uit de toegepaste vooroeververdedigingsmaterialen niet verwacht.

Het blijft wel verstandig een 'vinger aan de pols' te houden voor de Cluster 1 en 2 locaties. Hierbij zou de focus moeten liggen op de metalen vanadium en nikkel omdat op basis van de mesocosm studie voor deze metalen de sterkste uitloging en ophoping in biota verwacht wordt.

Van de Cluster 3 locaties, meer naar het oosten gelegen in de Oosterschelde, is veel minder bekend qua gehalten aan metalen in biota. Daarnaast is aan de oostelijke zijde de invloed van het getij geringer en wordt verondersteld dat de verblijftijden daar het grootst zijn voor wat betreft de Oosterschelde. Door zowel vooraf als kort na de oeverbestortingen monsters van water en biota te nemen is uitloging wellicht meetbaar. Bij afwezigheid van biota zo kort na bestorten kan als alternatief actieve biologische monitoring uitgevoerd worden waarbij soorten elders verzameld worden en vervolgens uitgehangen worden op de onderzoeklocatie voor enkele weken.

Een grote mate van verversing en watermengingen gedurende een getijde cyclus maakt het lastig dan wel onmogelijk referentielocaties aan te wijzen die zeker niet beïnvloed worden door de oeverbestortingen. Het is de verwachting dat de meest geschikte locaties zich stroomopwaarts bevinden. Modelstudies naar de waterstroming in de Oosterschelde kunnen hier mogelijk inzicht in verschaffen. Om variatie die niet veroorzaakt wordt door bestorting te minimaliseren wordt tevens aanbevolen om, indien mogelijk, nieuwe bemonsteringen in hetzelfde seizoen te laten plaatsvinden als voorgaande bemonsteringen en daarbij individuen van eenzelfde lengte te bemonsteren.

1 Inleiding

De stromingen in de Ooster- en Westerschelde zorgen lokaal voor erosie van de vooroevers en geulwanden. Om dat proces tegen te gaan, is er in 2008 (noodstort) en 2009 (structureel) begonnen om op die locaties waar deze erosie de stabiliteit van de waterkering in gevaar brengt of de reeds bestaande oeverwerken ondermijnt, 'bestortingen' uit te voeren om de vooroevers te beschermen. Deze bestortingen zijn uitgevoerd met staalslakken en breukstenen. Beide materialen zijn qua fysische eigenschappen goed geschikt voor dijkverzwaring en voldoen aan de kwaliteitseisen uit het Besluit Bodemkwaliteit. Breuksteen is een natuursteen dat uit steengroeven wordt gewonnen, en staalslak is een steenachtig product dat overblijft bij de productie van staal.

Door het gebruik van staalslakken en breukstenen kunnen er mogelijk zware metalen in het water terecht komen wat effecten zou kunnen hebben op aanwezige biota. Welke metalen uitlogen en in welke mate dat gebeurt is afhankelijk van de samenstelling van de breukstenen en staalslakken. Het is bekend dat uit breukstenen de volgende metalen uit kunnen logen: arseen (As), barium (Ba), cadmium (Cd), kobalt (Co), molybdeen (Mo), fluoride (F), kwik (Hg), sulfaat (S), antimoon (Sb), seleen (Se), tin (Sn) en vanadium (V). Het aantal metalen dat bekend is bij uitloging van staalslakken is beperkter: aluminium (Al), barium (Ba), cadmium (Cd), chroom (Cr), ijzer (Fe), fluoride (F), mangaan (Mn), molybdeen (Mo), antimoon (Sb), seleen (Se) en vanadium (V) (zie Heuvel-Greve e.a. 2010 en referenties daarin).

Om te kunnen bepalen of er negatieve effecten optreden in het mariene milieu n.a.v. de oeververdediging is door Rijkswaterstaat besloten om een monitoringsprogramma uit te laten voeren. Het doel van dit monitoringsprogramma is om inzicht te krijgen in gehalten aan zware metalen in aanwezige biota na het aanbrengen van vooroeververdediging.

Tabel 1 Samenvattend overzicht van de monitoring naar accumulatie van zware metalen in biota in de Oosterschelde en Westerschelde in chronologische volgorde inclusief referentie naar rapportages. Een overzicht gespecificeerd per cluster wordt weergegeven in Tabel 3 van Bijlage 1.

Jaar	Trans-formatie	Doel	Rapport
2009	T0	Bepaling van gehalten van zware metalen in verschillende dominant aanwezige epifaunasoorten op de locatie vóór het storten van de staalslakken en breukstenen	Van den Heuvel-Greve e.a. (2009)
2010	T1	Accumulatie van zware metalen analyse	Van den Heuvel-Greve e.a. (2011)
2011	T2	- Accumulatie van zware metalen in een 6-tal biota : - Blaaswier <i>Fucus vesiculosus</i>, - Mossel <i>Mytilus edulis</i>, - Japanse oester <i>Crassostrea gigas</i>, - Zakpijpsorten <i>Ciona intestinalis</i> en <i>Styela clava</i> - Geweispons <i>Haliclona oculata</i>	Van den Heuvel-Greve e.a. (2012)
2012	T3	- Accumulatie van zware metalen in twee biotasoorten op Zeelandbrugpijler: - Mossel <i>Mytilus edulis</i> - Japanse oester <i>Crassostrea gigas</i> - Toxiciteitstesten met Molybdeen	Van den Heuvel-Greve e.a. (2013) Glorius e.a. (2013)
2013	T4	- Accumulatie van zware metalen in twee biotasoorten op Zeelandbrugpijler: - Mossel <i>Mytilus edulis</i> - Japanse oester <i>Crassostrea gigas</i>	Tangelder e.a. (2014a), Schellekens e.a. (2014)
2014	T5(/T0)	- Accumulatie van zware metalen in een 7-tal biotasoorten op verschillende locaties in Oosterschelde en Westerschelde: - Mossel <i>Mytilus edulis</i>, - Japanse oester <i>Crassostrea gigas</i>, - Platte oester <i>Ostrea edulis</i>, - Zakpijpsorten <i>Ciona intestinalis</i>, <i>Styela clava</i> en <i>Ascidella aspersa</i>, - Kreeft <i>Homarus gammarus</i> - Accumulatie van zware metalen in Kreeften <i>Homarus gammarus</i> bij de Zeelandbrug, Wemeldinge (T0) en 2 referentie locaties	Jansen e.a. (2015) Tangelder e.a. (2015b) Tangelder e.a. (2015a)
2015	T6	Accumulatie van zware metalen in Mossel <i>Mytilus edulis</i> en Japanse oester <i>Crassostrea gigas</i> op de locaties Zeelandbrug en Zuidbout (referentielocatie)	Dit rapport

In tabel 1 is een samenvattend overzicht opgenomen van de monitoring die tot dusverre heeft plaatsgevonden en is gerapporteerd. In 2009 is begonnen met de bepaling van gehalten van zware metalen in dominant aanwezige epifaunasoorten op stortlocaties vóór het storten van de staalslakken en breukstenen (Cluster I locaties). De meeste van deze locaties zijn vervolgens ook in 2010 (T1) en 2011 (T2) bemonsterd om uitloging van metalen uit staalslakken en breukstenen en accumulatie daarvan op de aanwezige biota te bepalen. Vanwege kostenoverwegingen zijn monitoringsactiviteiten sinds 2012 ingeperkt. Dientengevolge zijn voor de T3 (2012) en T4 (2013) monitoring alleen op de Zeelandbrug (Oosterschelde) de mossel en Japanse oester bemonsterd. In 2014 (T5) is besloten wederom een uitgebreidere bemonstering uit te voeren waarbij meerdere biota en locaties bemonsterd zijn. Naast de T5 metingen voor de Cluster I locaties zijn in dat jaar ook T0 metingen uitgevoerd op locaties waar nog geen bestorting plaats had gevonden. Analooq aan 2012 en 2013 is de bemonsteringsinspanning in 2015 beperkter geweest en hebben alleen mossel- en Japanse oesterbemonsteringen plaatsgevonden op verschillende monsterlocaties nabij de Zeelandbrug (Oosterschelde).

Dit rapport beschrijft de resultaten van de metaalanalyses in biota bemonsterd op stortlocaties rondom de Zeelandbrug (mosselen en oesters) en referentielocatie Zuidbout (oesters) gelegen in de Oosterschelde. Hierbij wordt ingegaan op de jaarlijkse variatie in metaalconcentraties en een mogelijke trend in de tijd (2009-2015), en mogelijke relatie met de ondergrond en is onderzocht of er een relatie bestaat met de schelp lengte.

2 Methoden

2.1 Bemonstering biota

Tussen eind juli en begin oktober zijn in 2015 mosselen en oesters bemonsterd door Stichting Zeeschelp om gehalten aan metalen te analyseren om zodoende mogelijke effecten van vooroeververdediging te bepalen, zie voor details De Kluijver e.a. (2016, in prep).

Van iedere soort zijn per monster meerdere individuen samengenomen en gehomogeniseerd tot een mengmonster. Op iedere locatie is op drie posities een monster verzameld die onafhankelijk van elkaar geanalyseerd zijn (triplo), zie voor details De Kluijver e.a. (2016, in prep). Voor de analyse van metalen is uitsluitend schelpdiervlees gebruikt. In Bijlage 6 zijn de gehalten aan metalen, droge stof en *pollution load index* (geometrisch gemiddelde van de concentraties van metalen) weergegeven voor de mossel- en oestermonsters welke in 2015 verzameld zijn.

Na bemonstering zijn de monsters gekoeld getransporteerd naar een aquarium in het laboratorium. Vervolgens zijn de schelpdieren voor de duur van een nacht verwaterd. Verwatering vond plaats in een continue doorstroomd kunststofaquarium van ongeveer 500 liter, met gefilterd zeewater afkomstig uit de Oosterschelde (Jacobahaven). Dit jaar is voor het eerst ook biomassa en lengte bepaald van de bemonsterde mosselen en oesters, zie bijlage 2. Schelpdierlengte is bepaald door de maximale schelpenlengte op te meten met een schuifmaat tot de dichtstbijzijnde millimeter. Het natgewicht van de schelpdieren is bepaald in grammen nauwkeurig voor zowel het hele schelpdier (inclusief schelp) als voor het weefsel apart. Vervolgens zijn de monsters opgeslagen bij -26 °C, in gewassen, zuur- en demi-gespoelde glazen flessen, afgedicht met Idpe-inlegstop en PP-schroefdeksels. De pincetten die gebruikt zijn tijdens deze handeling zijn van kunststof.

2.2 Analysemethode & detectielimiet

De keuze van de te analyseren metalen is gebaseerd op de lijst van zware metalen die in het Besluit Bodemkwaliteit staan. Het betreft de volgende stoffen: As (arseen), Ba (barium), Cd (cadmium), Co (kobalt), Cr (chromium), Cu (koper), Hg (kwik), Mo (molybdeen), Ni (nikkel), Pb (lood), Sb (antimoon), Se (seleen), Sn (tin), V (vanadium) en Zn (zink). Additioneel op deze stoffenlijst zijn ook Al (aluminium), Fe (ijzer) en Mn (mangaan) geanalyseerd, omdat deze uit staalslakken kunnen logen (Jonkers 1987). Dezelfde set is in voorgaande jaren geanalyseerd.

De metaalanalyses zijn uitgevoerd door TNO Triskelion te Zeist. Na homogenisatie is een deel van het monster in duplo ontsloten met salpeterzuur en waterstofperoxide, volgens TNO voorschrift LSP/072. In de verkregen oplossing is het gehalte bepaald m.b.v. ICP-MS, volgens TNO voorschrift LSP/055. De kwantificering vindt plaats aan de hand van externe kalibratiestandaarden en om te corrigeren voor fluctuaties in de apparatuur is gebruik gemaakt van een interne standaard (rhodium). Concentraties zijn teruggerekend naar eenheden per droogstofgewicht. Voor het bepalen van het droge stofgehalte is het gewogen monster gedroogd in een stoof ($103 \pm 3^\circ\text{C}$) tot constant gewicht en na afkoelen in een exsiccator terug gewogen.

De detectielimiet of aantoonbaarheidsgrens van een analyse is de laagste waarde die gerapporteerd kan worden. Beneden deze grens vallen de waarden binnen de ruis van de bepaling en kan geen betrouwbaar gehalte worden opgegeven. De detectielimiet kan op verschillende manieren worden vastgesteld. In de analyse uitgevoerd door TNO is de detectielimiet de laagste standaard uit de kalibratie curve aangehouden als onderste te bepalen waarde. Het ene metaal is door de gebruikte apparatuur in lagere concentraties te meten dan andere, dus er bestaan verschillen in detectielimieten tussen verschillende metalen. De detectielimiet van een metaal in een monster is echter ook afhankelijk van de hoeveelheid (droge stof massa) monster die is ingewogen voor de bepaling en is

daarmee dus voor elk monster verschillend. Wordt 2x meer ingewogen van eenzelfde monster dan zal de detectielimiet 2x lager zijn. Er kunnen dus verschillen in detectielimieten zijn van een metaal binnen 1 gemeten jaar (tot 3 monsters dus 3 detectielimieten per metaal per jaar), maar uiteraard ook tussen jaren.

De gegevens over metaalgehalten, droge stof, lengten en gewichten van de monsters zijn opgeslagen in een access database welke door IMARES beheerd wordt.

2.3 Berekening Pollution Load Index

De Pollution Load Index (PLI) is berekend als maat voor de totale metaalvervuiling (Tomlinson et al. (1980)). De formule om de PLI te berekenen wordt hieronder weergegeven. In feite betreft de index het geometrisch gemiddelde van de concentraties van metalen.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n}$$

n = aantal metalen opgenomen in de index

CF₁ = concentratie metaal nr. 1

CF₂ = concentratie metaal nr. 2

CF_n = concentratie metaal nr. n

De metalen Sb (antimoon) en Sn (tin) zijn in de PLI-berekening buitenbeschouwing gelaten omdat gehalten in verreweg de meeste gevallen onder de detectielimiet lagen. Voor de overige metalen zijn alle meetwaarden meegenomen, ook die onder de detectielimiet liggen, zodat de PLI-waarde altijd op eenzelfde aantal metalen is gebaseerd.

2.4 Data analyse

2.4.1 Invloed leeftijd op metaalgehalten

Omdat er mogelijk een relatie bestaat tussen de leeftijd van schelpdieren en metaalaccumulatie zijn verschillen in monstergemiddelden van schelpplengte en vleesversgewichten (als indicatie voor leeftijd) tussen monsterlocaties (en ondergrond) onderzocht met een one-way ANOVA toetst in combinatie met een Tukey posthoc test op een significantieniveau van 0.05.

De potentiële invloed van schelpplengte op het metaalgehalten in mosselweefsel is onderzocht door middel van enkelvoudige lineaire regressie (kleinste kwadraten som), waarbij het verband tussen metaalgehalten als uitkomstvariabelen onderzocht is aan monstergemiddelde schelpplengtes als verklarende variabelen. Hierbij is de niet verklaarde variatie beschouwd als normaal verdeeld rondom 0. Significantie van de regressieparameter is onderzocht door vergelijking met een gereduceerd model (zonder schelpplengte) gebruik makend van een ANOVA toets (F-toets) op significantie niveau van 0.05.

De invloed van schelpplengte op metaalgehalten in oesterweefsel is onderzocht met een 'random effect model' met schelpplengte als vaste (fixed) verklarende effect en type ondergrond als stochastisch (random) effect. Op deze wijzen wordt gecorrigeerd voor het feit dat monster genomen op eenzelfde ondergrond meer op elkaar lijken (niet onafhankelijk zijn) van monsters genomen op een andere ondergrond. Significantie is onderzocht door toetsing aan een gereduceerd model (ANOVA F-toets op significantieniveau 0.05).

2.4.2 Trends in de tijd voor mossel en oester op de Zeelandbrug

Omdat er op voorhand geen voorspelling is gedaan hoe trends in de tijd zouden moeten verlopen is er op een exploratieve manier gekeken waarbij verschillende verbanden onderzocht zijn. Voor al de geanalyseerde metalen, droge stof en PLI-waarde is onderzocht of er sprake is van :

1. toe- dan wel afname over de tijd (jaren)
 2. een plotselinge verhoging dan wel verlaging,
 3. een verhoging dan wel verlaging in individuele jaren
1. Zowel een lineaire als exponentiele toe- dan wel afname in metaalgehalten over de tijd is onderzocht door zowel een lineair als log-lineair model op te stellen. Het model welke de data het beste beschrijft (AIC criteria) is als het juiste beschouwd.

$$y_i = \text{intercept} + \beta_1 \cdot \text{jaar}_i + \varepsilon_i$$

jaar	verklarende factor
$\varepsilon_i = N(0, \sigma^2)$	de door het model niet verklaarde variatie waarvan verondersteld is dat deze normaal verdeeld is rondom de waarde 0.
$i = 1, 2, \dots$	de observaties (genomen monsters)

Om te onderzoeken of er sprake is van een significante trend is getoetst of de nul hypothese (de geschatte parameterwaarde $\beta = 0$) al dan niet verworpen moet worden door vergelijking met een gereduceerd model (ANOVA F-toets met significantieniveau van 0.05).

2. Om vast te stellen of er plotselinge veranderingen opgetreden zijn in metaalgehalten is een 'changepoint' analyse uitgevoerd. In deze analyse wordt bekeken of en op welk moment in de tijd de statistische eigenschappen van een getallenreeks significant veranderd (nul hypothese = geen plotselinge verandering). In de analyses die hier uitgevoerd zijn is bekeken of en waar er een (enkele) sprong aanwezig is in gemiddelde metaalgehalten. Berekeningen zijn uitgevoerd in R (R Development Core Team (2014)) met functies beschikbaar binnen het pakket 'changepoint' (Killick e.a., 2014).
3. Als laatste zijn verschillen in metaalgehalten tussen de jaren getoetst met ANOVA in combinatie met een Tukey posthoc test.

Metaalgehalten zijn weergegeven in grafieken waaraan de uitkomsten van de bovenstaande analyses toegevoegd zijn. Metaalgehalten die onder de detectielimiet liggen zijn voorzien van een zwarte stip. Lineaire verbanden zijn, wanneer significant bevonden ($p < 0.05$), met grijze stippellijnen weergegeven. De richtingscoëfficiënt, correlatiecoëfficiënt en p-waarde is in dat geval in de grafiek weergegeven. Als modelvalidatie zijn de *residuals* (de afwijkingen van de datapunten t.o.v. de door het model voorspelde waarden) bekeken om te zien of deze normaal verdeeld zijn en om vast te stellen of de variatie hetzelfde is voor de verschillende jaren. Plotselinge veranderingen in gemiddelde waarden zijn weergegeven met horizontale lijnen, en verschillen tussen jaren zijn weergegeven met letters. Op basis van de grafieken is vastgesteld of aan de voorwaarden voor de statistische analyses (normale verdeling, gelijke variatie, invloed uitschieters etc.) voldaan wordt en dus of voorspelde verbanden betrouwbaar zijn.

2.4.3 Vergelijking tussen type ondergrond

De Japanse oester (*Crassostrea gigas*) is op verschillende typen ondergrond bemonsterd wat het mogelijk maakt om het potentiële effect op metaalaccumulatie te onderzoeken. De invloed van ondergrond type op metaalgehalten in oesterweefsel is onderzocht met een 'random effect model' met ondergrond als vaste (fixed) verklarende effect en ondergrond en jaar als stochastisch (random) effect. Op deze wijzen wordt gecorrigeerd voor het feit dat monster genomen in eenzelfde jaar meer op elkaar lijken (niet onafhankelijk zijn) van monsters genomen in een ander jaar. Significantie is onderzocht door toetsing aan een gereduceerd model (ANOVA F-toets op significantieniveau 0.05).

3 Resultaten

3.1 Mossel- en oestermonsters

Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de samenstelling van de mosselmonsters binnen en tussen bemonsteringslocaties verschillen met respect tot gemiddeld natgewicht en schelpenlengte, zie figuren in bijlage 2. De gemiddelde mosselschelpenlengte bedraagt $(50.6 \text{ mm} \pm 4 \text{ sd})$. De kleinste mossel had een schelpenlengte van 42 mm en de grootste van 60 mm waardoor alle mosselen als meerjarig beschouwd kunnen worden.

De verzamelde Japanse oesters hebben een gemiddelde lengte van $87 \text{ mm} \pm 19(\text{sd})$. De kleinste oester had een schelpenlengte van 45 mm en de grootste van 165 mm waardoor ook alle oesters als meerjarig beschouwd kunnen worden. Japanse oesters verzameld op de referentielocatie zijn significant groter ($94 \text{ mm} \pm 23.2 \text{ sd}$) en laten een grotere spreiding zien in vergelijking tot oesters verzameld op staalslakken ($80 \text{ mm} \pm 19.0 \text{ sd}$), welke wat kleiner en lichter zijn. Oesters verzameld op ondergrond van breukstenen ($89 \text{ mm} \pm 13.7 \text{ sd}$) en onder invloed van breukstenen & staalslakken ($85 \text{ mm} \pm 16 \text{ sd}$) nemen een midden positie in en zijn niet significant verschillend van elkaar en van de oesters bemonsterd op de referentielocatie en op een ondergrond van staalslakken, zie bijlage 2.

3.2 Schelpenlengte in relatie tot metaalgehalten

Mossel en oestermonsters verzameld bij de Zeelandbrug en Zuidbout (alleen oesters) in 2015 zijn gebruikt om de invloed van schelpenlengte op het metaalgehalten te onderzoeken. Voor zowel mosselen als oesters is voor geen enkel gemeten metaal een significant verband aangetoond tussen schelpenlengte en metaalgehalten, zie bijlage 3.

3.3 Trend in de tijd voor locatie Zeelandbrugpijler (2009-2015)

Japanse oesters en mosselen zijn jaarlijks bemonsterd op de Zeelandbrugpijler en deze dataset is daarom zeer geschikt om jaarlijkse ontwikkelingen in metaalgehalten te volgen. Het ene deel van de pijler voet is bestort met staalslakken, het andere deel met breukstenen. De biota werden op ong. 1 meter boven de bestortingen bemonsterd op een ondergrond van beton waardoor deze bemonsterde individuen zich in de nabijheid (1 m afstand) bevinden van zowel staalslakken als breukstenen (aangeduid met SSBS in dit rapport).

3.3.1 Mosselen (*Mytilus edulis*)

Uitgedrukt in PLI ligt het metaalgehalte in mosselen op de Zeelandbrugpijler twee jaar na het aanbrengen van de oeververdediging (2011) hoger in vergelijking tot de jaren 2010, 2012, 2013 en 2014 (zie bijlage 4, figuur 1). De metalen aluminium (Al) en ijzer (Fe) dragen het sterkst bij aan de hogere PLI-waarden in 2011 en laten statistisch significante verschillen in gemiddelde waarden zien tussen de jaren 2011 en 2012 wat een indicatie kan zijn voor een sterke verandering tussen deze jaren. PLI waarden in het jaar 2015 nemen een tussenpositie in tussen de hogere waarden in 2011 en de lagere waarden in de overige jaren en zijn niet significant verschillend in vergelijking tot PLI waarden uit eerdere bemonsteringsjaren.

Cadmium (Cd) vertoont een toenemende trend, zie bijlage 4. In 2015 zijn de hoogste cadmiumgehalten gemeten van de onderzoeksperiode 2009 - 2015. Hoewel minder uitgesproken, zijn

ook toenemende trends waargenomen voor de metalen arseen (As), cobalt (Co), koper (Cu) en seleen (Se). Voor andere metalen (aluminium (Al), ijzer (Fe) en Mangaan (Mn)), zijn gehalten in de periode 2012 tot en met 2015 lager in vergelijking tot de bemonsteringsjaren 2010 en 2011.

3.3.2 Japanse oester (*Crassostrea gigas*)

De dalende trend welke in 2014 (Jansen ea, 2015) geconstateerd werd blijft in 2014 in stand al liggen waarden in 2015 iets hoger dan in 2014, zie bijlage 4 figuur 2. De regressiecoëfficiënt neemt af van -0.23 naar -0.19, zie bijlage 4 en Jansen ea (2015). De metalen aluminium (Al), kobalt (Co), chroom (Cr), kwik (Hg), molybdeen (Mo) en lood (Pb) dragen voor een belangrijk deel bij aan deze afname en laten allen een significant dalende trend zien. Vanadium (V) laat in 2015 ten opzichte van 2014 een lager gehalte zien. Voor de overige metalen zijn geen opvallende verschuivingen waargenomen in 2015.

3.4 Vergelijking tussen type stortmateriaal

Metaalgehalten in oesterweefsels bemonsterd in 2014 en 2015 op de referentielocatie Zuidbout en stortlocatie Zeelandbrug zijn gebruikt om de invloed van het gebruikte stortmateriaal te onderzoeken. Resultaten voor alle metalen zijn weergegeven in bijlage 5. Alleen voor molybdeen en mangaan zijn er significante verschillen in metaalgehalten gevonden tussen de stortlocaties en de referentielocatie.

Molybdeen gehalten in oesterweefsel verzameld op de stortlocaties en op de Zeelandbrugpijler liggen ongeveer 1.5 tot 1.8 keer hoger dan de gehalten in de referentiemonsters. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de met staalslakken of breukstenen behandelde ondergrond.

Jaargemiddelde gehalten, waarbij alle ondergronden gezamenlijk beschouwd worden, zijn 0.693 ± 0.160 mg/kg droge stof in 2014 en 1.000 ± 0.204 mg/kg droge stof in 2015. Echter, de langjarige trend op Zeelandbrugpijler (over periode 2009 t/m 2015) is dalende, zie paragraaf 3.3.2.

Mangaangehalten in oesterweefsel verzameld op een ondergrond van staalslakken zijn 1.4 keer hoger in vergelijking met de referentielocatie, op breukstenen liggen gehalten 1.3 keer hoger. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de met staalslakken of breukstenen behandelde ondergrond. Er zijn ook geen verschillen gevonden tussen mangaangehalten op de referentielocatie en op Zeelandbrugpijler (bemonstering nabij staalslak en breuksteen bestortingen). Gehalten zijn vergelijkbaar in 2014 en 2015 en de gemiddelde mangaangehalten over de jaren en ondergronden is 44.28 ± 11.84 mg/kg droge stof.

4 Discussie

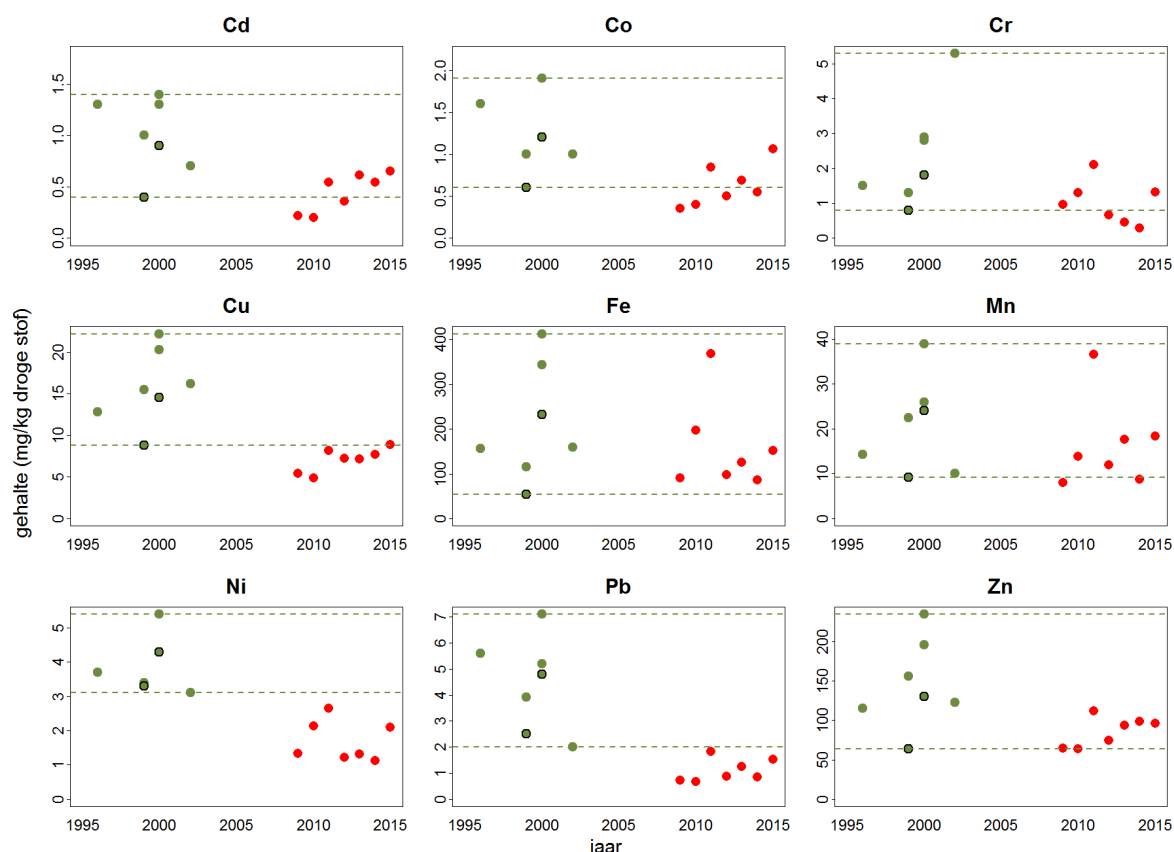
4.1 Populatie verschillen monsterlocaties 2015

Het is de verwachting dat jongere mosselen en oesters kleiner zijn en een kortere blootstellingstijd hebben ondervonden wat mogelijk leidt tot een lagere metaalaccumulatie. Bij het ouder worden neemt de variatie in schelpenlengte toe als gevolg van voedselaanbod en onderlinge competitie wat de relatie met leeftijd vertroebeld. Al de bemonsterde individuen in 2015 zijn dermate groot dat deze als meerjarig beschouwd kunnen worden. Ondanks dat er voor Japanse oesters subtiele verschillen aangetoond zijn in schelpenlengte tussen de monsterlocaties is er geen relatie gevonden tussen schelpenlengte en metaalaccumulatie waardoor de bemonsterde locaties met betrekking tot metaalaccumulatie duur als goed vergelijkbaar beschouwd kunnen worden.

4.2 Trendanalyse en invloed bestorting

Gehalten aan zware metalen in biota variëren in de tijd als gevolg van zowel biologische en fysisch-/chemische processen die de biologische beschikbaarheid van metalen bepalen. In verschillende studies uitgevoerd door Mubiana en andere worden metaalgehalten van mosselen uit zowel de Ooster- als Westerschelde gerapporteerd (Mubiana e.a., 2005 & Mubiana e.a., 2006). Deze studies laten een significant seizoeneffect zien met piekconcentraties van metalen tussen maart en april (tijdens de voortplanting) en lagere concentraties in de wintermaanden (Mubiana e.a., 2005).

In dezelfde studies is ook gekeken naar trends in metaalgehalten in mosselweefsel over een langere periode. Verschillen tussen de Ooster- en Westerschelde blijken gering te zijn en voor beide bekkens kan een ruimtelijke trend worden waargenomen met hogere metaalgehalten landinwaarts. Wanneer de metaalgehalten in mosselen verzameld op Zeelandbrugpijler in onze studie vergeleken worden met gerapporteerde gehalten bij Wemeldinge (de locatie uit studie van Mubiana die het dichtst bij de Zeelandbrug ligt) waar mosselen verzameld zijn in 1996, 1999, 2000 en 2002 blijkt dat metaalgehalten binnen of onder de concentratierange vallen zoals door Mubiana e.a. gemeten, zie Figuur 1.



Figuur 1 Historische metaalgehalten in mossel *Mytilus edulis* bemonsterd in de Oosterschelde gerapporteerd in Mubiana e.a. 2005 en in dit rapport. Rode stippen; metaalgehalten in mosselen verzameld bij de Zeelandbrug (deze studie). Groene stippen; mosselen verzameld in de Oosterschelde bij Wemeldinge waarbij metingen in augustus en oktober zwart omlijnt zijn (Mubiana e.a. 2005).

Trendanalyse (2009-2015) van de metaalgehalten in mosselen *Mytilus edulis* en Japanse oesters *Crassostrea gigas* op de Zeelandbrugpijler voorafgaand (T0) en zes jaar na het storten (T1-T6) van breukstenen en staalslakken impliceert dat jaarlijkse variatie eerder verklaard kan worden door autonome ontwikkelingen dan door het storten van de oeververdediging. Een geleidelijke afname van metaalgehalten in Japanse oesters op Zeelandbrugpijler, wordt tevens gezien in Japanse oesters op de referentielocatie Zuidbont waar vergelijkbare concentraties worden gemeten. Ook de afwezigheid van duidelijke verschillen in metaalgehalten voor (T0) en na (T1) bestorting wijzen op een hoogstens geringe invloed van het storten van staalslakken en breukstenen op de gehalten aan zware metalen in lokaal levende oesters. Voor mosselen ontbreekt een goede referentielocatie maar ook voor deze soort geldt dat verschillen in metaalgehalte voor (T0) en na (T1) bestorting gering zijn. De in deze studie gemeten concentraties vallen binnen of onder eerdere gerapporteerde gehalten in Mubiana e.a. (2005).

4.3 Effect van type stort materiaal

Uit een vergelijking in metaalgehalten in Japanse oester bemonsterd op verschillende ondergronden in 2014 en 2015 blijkt dat voor veruit de meeste metalen geen verschillen bestaan tussen de stortlocaties en de referentielocatie. De metalen molybdeen en mangaan vormen hierop een uitzondering met hogere gehalten op met breuksteen en met staalslak bestortte locaties in vergelijking tot de referentielocatie.

Opvallend is dat er een dalende trend gevonden wordt voor molybdeen in de periode 2009 tot en met 2015 en dat gehalten voor de bestorting (T0 in 2009) hoger waren dan in 2014 en 2015. Voor mangaan geldt dit niet en liggen gehalten in 2014 en 2015 gelijk met eerder gemeten gehalten binnen dit onderzoek. Dit duidt erop dat er grote jaarlijkse fluctuaties optreden en dat de hogere waarden

gemeten op een ondergrond van staalslakken en breukstenen in 2014 en 2015 op zichzelf niet als extreem beschouwd hoeven te worden.

Voor mosselen is geen referentielocatie voorhanden en deze soort is ook niet aangetroffen op een locatie die alleen onder invloed van staalslakken of breukstenen staat, waardoor een analyse op dit detail niveau niet mogelijk was. In mosselen van de Zeelandbrugpijler in 2014 en 2015 zijn de gehalten molybdeen iets hoger dan in Japanse oesters en lager voor mangaan. Kijkend naar historie binnen deze studie (2009 t/m 2015) zijn deze waarden niet afwijkend. In het geval van mangaan zijn waarden vergelijkbaar met gehalte in mosselen rond Wemeldinge tussen 1996 en 2002 (Mubiana et al 2005). Molybdeen werd in die mosselen niet gemeten.

In 2015 is een mesocosmstudie (multi-species studie in grote modelvijvers) uitgevoerd waarin de invloed van staalslakken en breukstenen op metaalgehalten in water en biota onderzocht is (Foekema e.a, 2016). De systemen werden zowel geënt met slib, om kleine organismen toe te voegen, als met bekende hoeveelheden grotere organismen, waaronder zee-eik (*Fucus vesiculosus*), mosselen (*Mytilus edulis*), doorschijnende zakpijpen (*Ciona intestinalis*) en broodsponsen *Halichondria panicea*). Na een accumulatieperiode werd in de mesocosms een laag van staalslakken, breukstenen en zeegrind (referentie) aangebracht. De systemen werden continue doorstroomd met Oosterschelde water. In de helft van de mesocosms was de waterverblijftijd representatief voor de Oosterschelde in de andere helft werd door een lagere verversingssnelheid een worst case situatie gecreëerd. De ontwikkeling van de systemen werd gedurende drie maanden gevolgd. Voor een gedetailleerde omschrijving van het experiment wordt verwezen naar Foekema e.a., 2016.

Uit de mesocosm studie werden geen verhoogde molybdeen en mangaan gehalten aangetroffen in biota. Vanadium kwam naar voren als het metaal dat het sterkst uit staalslakken uitloopt en het best wordt opgenomen door biota en nikkel in het geval van breukstenen. In combinatie met lage achtergrondgehalten van vanadium in de Oosterschelde vormt dit metaal dus een goede tracer voor de invloed van staalslakken. Uit de veldmonitoring blijkt echter dat de vanadium- en nikkelgehalten in Japanse oesters bemonsterd op een ondergrond van staalslakken en breukstenen niet verschillen van Japanse oesters bemonsterd op referentielocatie Zuidbuit. De gehalten aan vanadium en nikkel in de veldmonitoring zijn vergelijkbaar met de gehalten van het referentiemateriaal (zeegrind) in het mesocosmexperiment. Ook zijn er geen evidente tijdstrends van vanadium en nikkel in mosselen en oesters bij de Zeelandbrug te zien. Een grote doorstroming bij de Zeelandbrug heeft de accumulatie van metalen in Japanse oesters mogelijk beperkt. Dat de waargenomen hogere gehalten aan mangaan- en molybdeen in oesters bemonsterd op een ondergrond van staalslakken en op een ondergrond van breukstenen niet gepaard gaan met hogere gehalten van vanadium of nikkel impliceert ook dat deze hoogstwaarschijnlijk een andere oorzaak hebben dan de vooroeverbestortingen.

4.4 Normoverschrijdingen

Door het vergelijken van gehalten aan zware metalen in organismen met bestaande normen voor biota kan ingeschat worden of een metaal negatieve effecten kan geven op milieu en/of volksgezondheid. Normen voor metalen in biota zijn echter vrijwel niet beschikbaar. De KRW heeft voor drie prioritaire stoffen een MilieuKwaliteitsNorm (MKN) voor biota afgeleid: (methyl)kwik, hexachloorbenzeen en hexachloorbutadieen. De MKN voor (methyl)kwik is vastgesteld op 0,02 mg/kg natgewicht. In ongewervelde dieren is grofweg 50% van het gemeten kwik aanwezig in de vorm van (methyl)kwik. Het natgewicht gehalte aan kwik in organismen is om te rekenen aan de hand van het drooggewicht gehalte en het droge stof percentage. Als het berekende natgewicht gehalte vervolgens wordt gehalveerd kan toetsing aan de MKN-norm plaatsvinden.

Tabel 2 Normen voor metaalgehalten in biota, die toegepast worden binnen de KRW en OSPAR.

Metaal	Norm	Specificatie	Referentie
(Methyl)Kwik	0,02 mg/kg natgewicht	Voor biota	EC, 2008
Kwik	2,5 mg/kg drooggewicht	Voor mosselen en oesters	OSPAR, 2009
Lood	7,5 mg/kg drooggewicht	Voor mosselen en oesters	OSPAR, 2009
Cadmium	5,0 mg/kg drooggewicht	Voor mosselen en oesters	OSPAR, 2009

Voor geen bovengenoemde metalen zijn normoverschrijdingen geconstateerd voor de in dit project bemonsterde mossel en Japanse oester weefsels. Dit komt overeen met eerder gerapporteerde waarden waarbij alleen in de Westerschelde normoverschrijding geconstateerd werden (Jansen ea., 2015).

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusie

Op basis van de resultaten van de veldmonitoring kan geen eenduidige relatie worden aangetoond tussen de metaalgehalten in biota en het storten van de staalslakken en breukstenen als oeververdediging. Voor enkele metalen (arseen, cadmium, kobalt, koper en seleen) worden in mosselen verzameld bij de Zeelandbrug weliswaar licht stijgende trends gevonden maar deze gehalten wijken niet af van historische metingen vermeld in de literatuur en vallen dus binnen de huidige natuurlijke variatie. Voor deze metalen werden ook geen verhoogde concentraties in het water en in biota aangetroffen in de mesocosm studie. Uit de veldmonitoring is een hoger gehalte aan mangaan en molybdeen in weefsel van de Japanse oesters aangetroffen op een ondergrond van staalslakken en breukstenen in vergelijking tot gehalten gemeten op de referentielocatie Zuidbout.

Echter deze gehalten wijken niet af van de T0 situatie, voor de stort, en voor beide metalen zijn ook geen stijgende langjarige trends waargenomen. In een gecontroleerde mesocosmstudie uitgevoerd in 2015 bleek dat, in de testbakken met een water verversingsregiem die vergelijkbaar is met de doorstroming in de Oosterschelde, zowel molybdeen als mangaan niet te accumuleren in de onderzochte soorten. Daarnaast werd in het veld voor de metalen vanadium en nikkel, die de sterkste uitloging en accumulatie in biota lieten zien in het mesocosm experiment, geen verhoogde waarden gemeten in oesters bemonsterd op een ondergrond van staalslakken en breukstenen in 2014 en 2015 wanneer deze vergeleken werden met de referentielocatie.

Er zijn voor drie metalen milieukwaliteitsnormen vastgesteld (OSPAR 2009). Er zijn geen overschrijdingen van deze normen geconstateerd.

Op basis van de onderzoeksresultaten worden lange termijn ecologische effecten ten gevolge van uitloging van zware metalen uit de toegepaste vooroeververdedigingsmaterialen niet verwacht. Dit wordt waarschijnlijk verklaard door de invloed van het getij in de Oosterschelde ter hoogte van de Zeelandbrug in combinatie met een hoogstens beperkte uitloging van metalen. Getijdewerking zorgt voor een grote menging en verversing van de watermassa waardoor zowel de concentratie als de concentratiegradiënt tussen stort- en referentielocaties verkleind wordt.

5.2 Aanbevelingen

Ondanks dat lange termijn ecologische effecten ten gevolge van uitloging van zware metalen uit de toegepaste vooroeververdedigingsmaterialen niet verwacht worden blijft het wel verstandig een 'vinger aan de pols' te houden voor de Cluster 1 en 2 locaties. Hierbij zou de focus moeten liggen op de metalen vanadium en nikkel omdat voor deze metalen de sterkste uitloging en ophoping in biota verwacht wordt.

Van de Cluster 3 locaties, meer naar het oosten gelegen in de Oosterschelde, is veel minder bekend qua gehalten aan metalen in biota. Daarnaast is aan de oostelijke zijde de invloed van het getij geringer en wordt verondersteld dat de verblijftijden het grootst zijn waardoor ook het uitlooeffect het grootst verondersteld wordt. Door zowel vooraf als kort na de oeverbestortingen monsters van water en biota te nemen zullen de uitloogsnelheden op zijn hoogst zijn. Bij afwezigheid van biota zo kort na bestorten kan als alternatief actieve biologische monitoring uitgevoerd worden waarbij soorten elders verzameld worden en vervolgens uitgehangen worden op de onderzoeklocatie voor enkele weken. Een grote mate van verversing en watermengingen gedurende een getijde cycli maakt het lastig dan wel onmogelijk referentielocaties in te stellen die niet beïnvloed worden door de oeverbestortingen. Het is de verwachting dat meest geschikte locaties zich stroomopwaarts bevinden. Modelstudies naar de waterstroming in de Oosterschelde kunnen hier mogelijk inzicht in verschaffen. Om variatie die niet veroorzaakt wordt door bestorting te minimaliseren wordt tevens aanbevolen om, indien mogelijk, nieuwe bemonsteringen in hetzelfde seizoen te laten plaatsvinden als voorgaande bemonsteringen en daarbij individuen van eenzelfde lengte te bemonsteren.

6 Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 187378-2015-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 september 2018. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V.

Het chemisch laboratorium te IJmuiden beschikt over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het chemisch laboratorium heeft hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwaame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl).

Op grond van deze accreditatie is het kwaliteitskenmerk Q toegekend aan de resultaten van die componenten die op de scope staan vermeld, mits aan alle kwaliteitseisen is voldaan.. Het kwaliteitskenmerk Q staat vermeld in de tabellen met de onderzoeksresultaten. Indien het kwaliteitskenmerk Q niet staat vermeld is de reden hiervan vermeld.

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken waaronder die georganiseerd door QUASIMEME. Indien geen ringonderzoek voorhanden is, wordt een tweede lijnscontrole uitgevoerd. Tevens wordt bij iedere meetserie een eerstelijnscontrole uitgevoerd.

Naast de lijnscontroles wordende volgende algemene kwaliteitscontroles uitgevoerd:

- Blanco onderzoek.
- Terugvinding (recovery).
- Interne standaard voor borging opwerkmethode.
- Injectie standard.
- Gevoeligheid.

Bovenstaande controles staan beschreven in IMARES werkvoorschrift *ISW 2.10.2.105*.

Indien gewenst kunnen gegevens met betrekking tot de prestatiekenmerken van de analysemethoden bij het chemisch laboratorium worden opgevraagd.

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

Literatuur

- Glorius, S.T., Heuvel-Greve, M.J. van den, Foekema, E.M., (2013), "Variatie gehalte zware metalen op locatie Zeelandbrug en toxiciteit molybdeen – data rapport", IMARES Wageningen UR, rapport C105/13.
- Foekema, E.M., Heuvel-Greve, M. van den, Sonneveld, C., Hoornsman, G. & Blanco, A. (2016), "Uitloging en effecten van metalen uit staalslakken beoordeeld in mesocosms", IMARES Wageningen UR, rapport C063/16.
- Jonkers, D. (1987). Opname van zware metalen uit en kolonisatie van ovenslakken en beton door benthische mariene organismen. Mariene Zoölogie, Rijksuniversiteit Groningen, Groningen, p.p. 86.
- Jansen, H.M., Glorius, S.T., Tangelder, M., Heuvel-Greve, M.J. van den (2015), "Gehaltes aan zware metalen in biota op stort- en referentielocaties in de Oosterschelde & Westerschelde", IMARES Wageningen UR, rapport C079/15.
- Heuvel-Greve, M.J. van den, (2009), "T0 monitoring vooroeververdediging Oosterschelde; cluster 1 – 2009", IMARES Wageningen UR, rapport C137/09.
- Heuvel-Greve, M. van den, A. van den Brink, S. Glorius, C. Schipper, M. de Kluijver, M. Dubbeldam, (2011), "Monitoring vooroeververdediging Oosterschelde 2010: T1 Cluster 1/T0 Cluster 2", IMARES Wageningen UR, rapport C029/11.
- Heuvel-Greve, M. van den, A. van den Brink, S. Glorius, C. Schipper, A. Gittenberger, M.J. de Kluijver, M. Dubbeldam, (2012), "Monitoring vooroeververdediging Oosterschelde en Westerschelde 2011: T2 Cluster 1", IMARES Wageningen UR, rapport C081/12.
- Killick, R., Idris A. Eckley, (2014), "Changepoint: An R Package for Changepoint Analysis", *Journal of Statistical Software*, 58(3), 1-19.
- Kluijver de, M.J., M.C. Dubbeldam, B.J.L. van Broekhoven (2016, in voorbereiding). "De effecten van de versterking van de vooroever, situatie 2015. T6-Schouwen-Duiveland, T0-Wemeldinge en Sas van Goes sedimentatiepatronen", Rapport Stichting Zeeschelp, Kamperland.
- Mubiana V.K., Qadah, D., Meys, J., Blust, R., (2005), "Temporal and spatial trends in heavy metal concentrations in marine mussel *Mytilus edulis* from the Western Scheldt estuary (The Netherlands)", *Hydrobiologica*, (540), 169 – 180.
- Mubiana, V.K., Blust, R. (2006), "Metal content of marine mussels from Western Scheldt Estuary and nearby protected Marine Bay, the Netherlands: impact of past and present contamination", *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 77(2): 203-210.
- Oksanen, J., F. Guillaume Blanchet, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens and Helene Wagner (2013), "Vegan: Community Ecology Package", R package version 2.0-10. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Tangelder, M., Brummelhuis, E.B.M., Kluijver, M. de, Heuvel-Greve, M.J. van den, (2014), "Data rapport: Het effect van vooroeververdediging op bodemorganismen in de Oosterschelde in 2013", IMARES Wageningen UR, rapport C119.14.

-
- Schellekens, T., Glorius, S.T., Heuvel-Greve, M.J. van den, (2014), "Variatie en trend van de gehalten zware metalen op locatie Zeelandbrug – Data rapport 2013". Imares Wageningen UR rapport C055.14.
- Tangelder, M., Goudswaard, K. en Es, Y. (2015a). "Bepaling zware metalen in kreeften op nieuwe vooroevers in de Oosterschelde", IMARES Wageningen UR rapport C039/15.
- Tangelder, M., Van den Heuvel-Greve, M.J., De Kluiver, Glorius, S.T., Jansen, H., (2015b), "Monitoring vooroeververdediging Oosterschelde en Westerschelde 2015", IMARES Wageningen UR rapport C102/15.
- Tangelder, M., De Kluiver, M., Brummelhuis, E.B.M., Van den Heuvel-Greve, M.J. (2015c, in prep.) Data rapport: Effect van vooroeververdediging op bodemorganismen in Oosterschelde en Westerschelde in 2014. IMARES rapport, Yerseke.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., en Jeffrey, D. W. (1980), "Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index", *Helgoland Marine Research*, (33), pp 566 – 575.
- Kovach, W.L., 1999. MVSP - A Multi Variate Statistical Package for Windows, version 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, UK.
- OSPAR (2009). Background document on CEMP Assessment Criteria for QSR 2010.
- R Development Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL. <http://www.R-project.org/>.

Verantwoording

Rapport C081/16

Projectnummer: 431300019

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

Akkoord: Dr. E.M. (Edwin) Foekema
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: augustus 2016

Akkoord: Drs. J. Asjes
MT lid Integratie

Handtekening:



Datum: augustus 2016

Bijlage 1 Overzicht van biota bemonsteringen

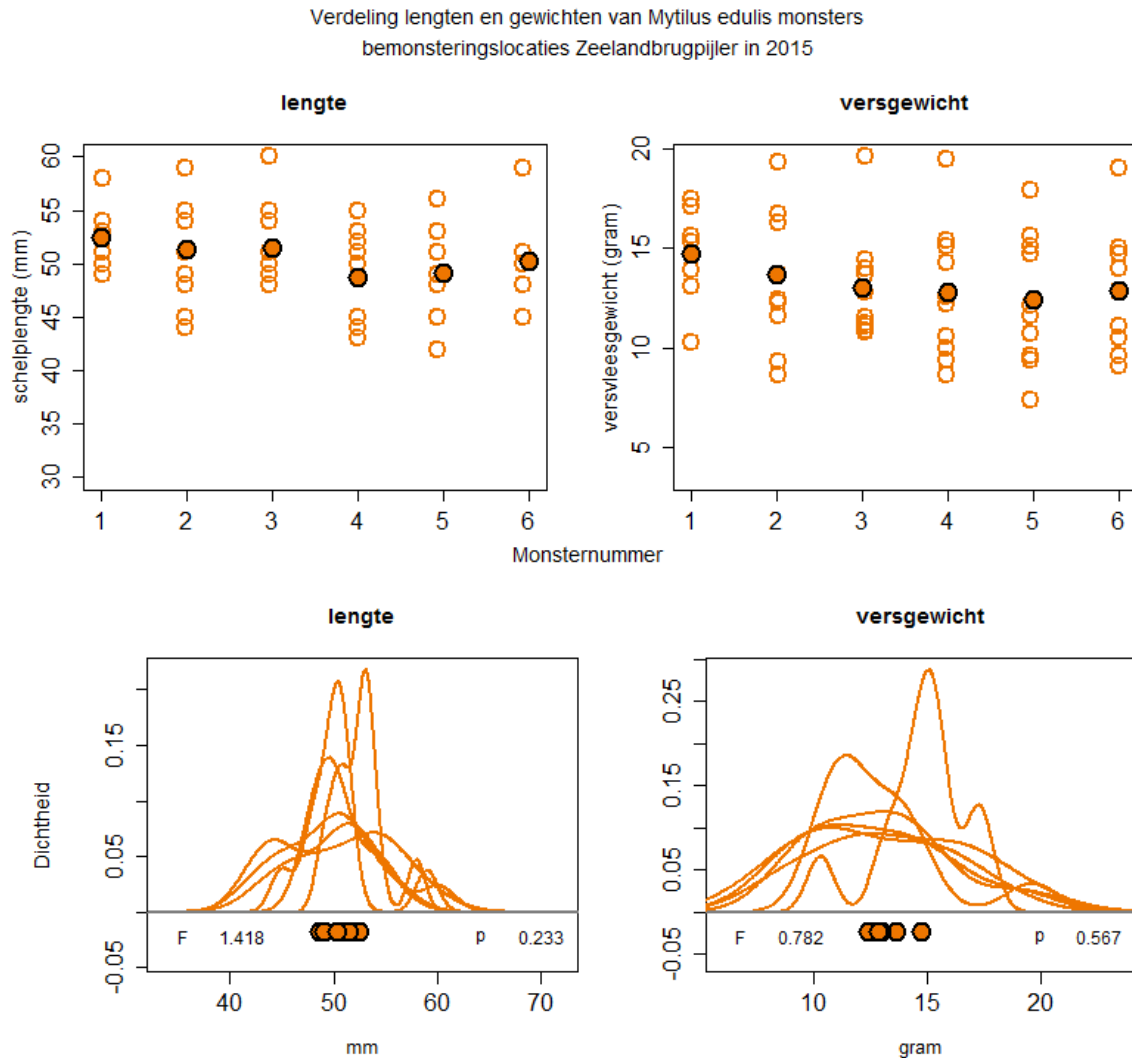
Tabel 3 Bemonstering van locaties uitgesplitst per jaar. Gearceerde cellen geven aan dat er epifauna verzameld is en er wordt daarbij per locatie aangegeven of het een T0-T5 bemonstering betreft. Wanneer organismen verzameld zijn op de nieuwe ondergrond dan wordt het ondergrondtype gespecificeerd met BS voor Breuksteen, SS voor Staalslakken en NB voor niet bekend; op sommige locaties zijn meerdere typen aanwezig, dit wordt aangegeven met bijv 'BS & SS', wanneer de organismen verzameld zijn op een locatie nabij beide typen (maar zich dus niet op de nieuwe ondergrond bevinden) wordt dat aangegeven als SSBS (bijv Zeelandbrugpijler, waarbij organismen verzameld worden op een hoogte boven de verdediging waarbij aan de ene kant Breuksteen en aan de andere kant Staalslakken gebruikt zijn).

	Locatie*	Type Stort	Jaar stort	Cluster	Ref locatie	Bemonstering						5102
						2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Oosterschelde	Burghsluis-west	ZG	2014	2			T0					
	Schelphoek-west	SS	2009	1	KN	T0	T1	T2			T5	
	Schelphoek-west II	ZG**	2014	2	KN						T0	
	Schelphoek-midden	BS	2009	1	KN	T0	T1	T2			T5	
	Schelphoek-oost	SS	2009	1	KN	T0	T1	T2			T5	
	Lokkersnol-oost	BS & SS	2009	1	KN	T0	T1					
	Zeelandbrug-west	BS & SS	2009	1	ZB	T0	T1	T2			T5	
	Zeelandbrug-midden	BS & SS	2009	1	ZB		T1	T2			T5	
	Zeelandbrug-oost	BS & SS	2009	1	ZB	T0	T1	T2			T5	
	Zeelandbrug pijler	SSBS	2009	1	ZB	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	Zierikzee	NB	2014	2.2	KN					T0		
	Wemeldinge-west	NB	2016	3	GH						T0	
	Wemeldinge-west 30m	NB	2016	3	GH						T0	
	Wemeldinge-oost	NB	2016	3	GH						T0	
	Buitenhaven NJ	Ref	-	-	-							
	Kurkenol (KN)	Ref	-	-	-							
	Zuidbout (ZB)	Ref	-	-	-							
	Gorishoek (GH)	Ref	-	-	-							

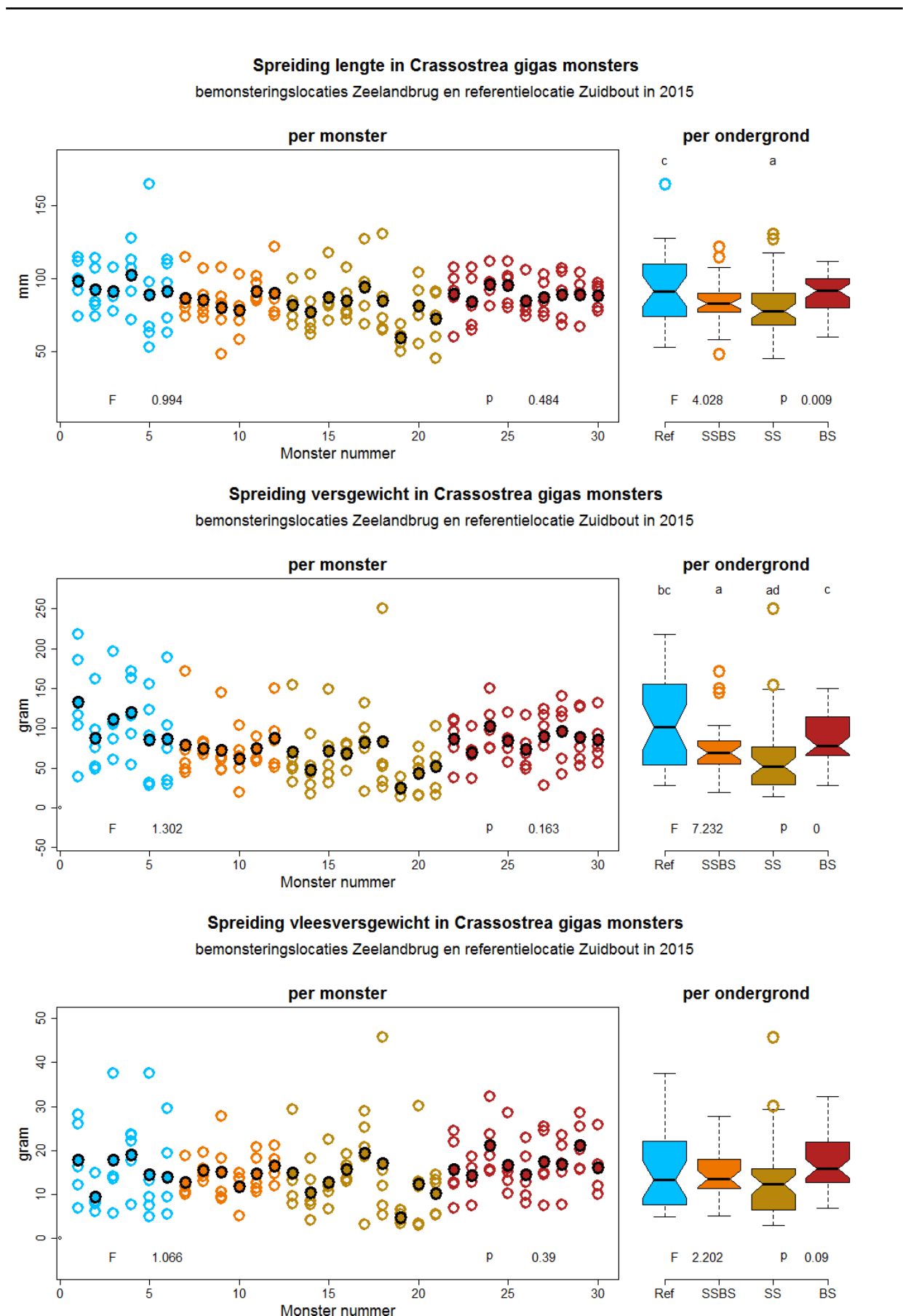
* Dit overzicht bevat geen informatie over de extra fucus bemonsteringslocaties zoals uitgevoerd in 2011 (zie hiervoor Van den Heuvel-Greve e.a. 2012)

** Bij locatie Schelphoek-west II wordt geëxperimenteerd met een nieuw ontwerp oever. Op de nieuwe bestorting van zeegrond zijn kleine hopen bestort met zowel breuksteen als zandsteen.

Bijlage 2 Variatie in schelp lengte en gewichten

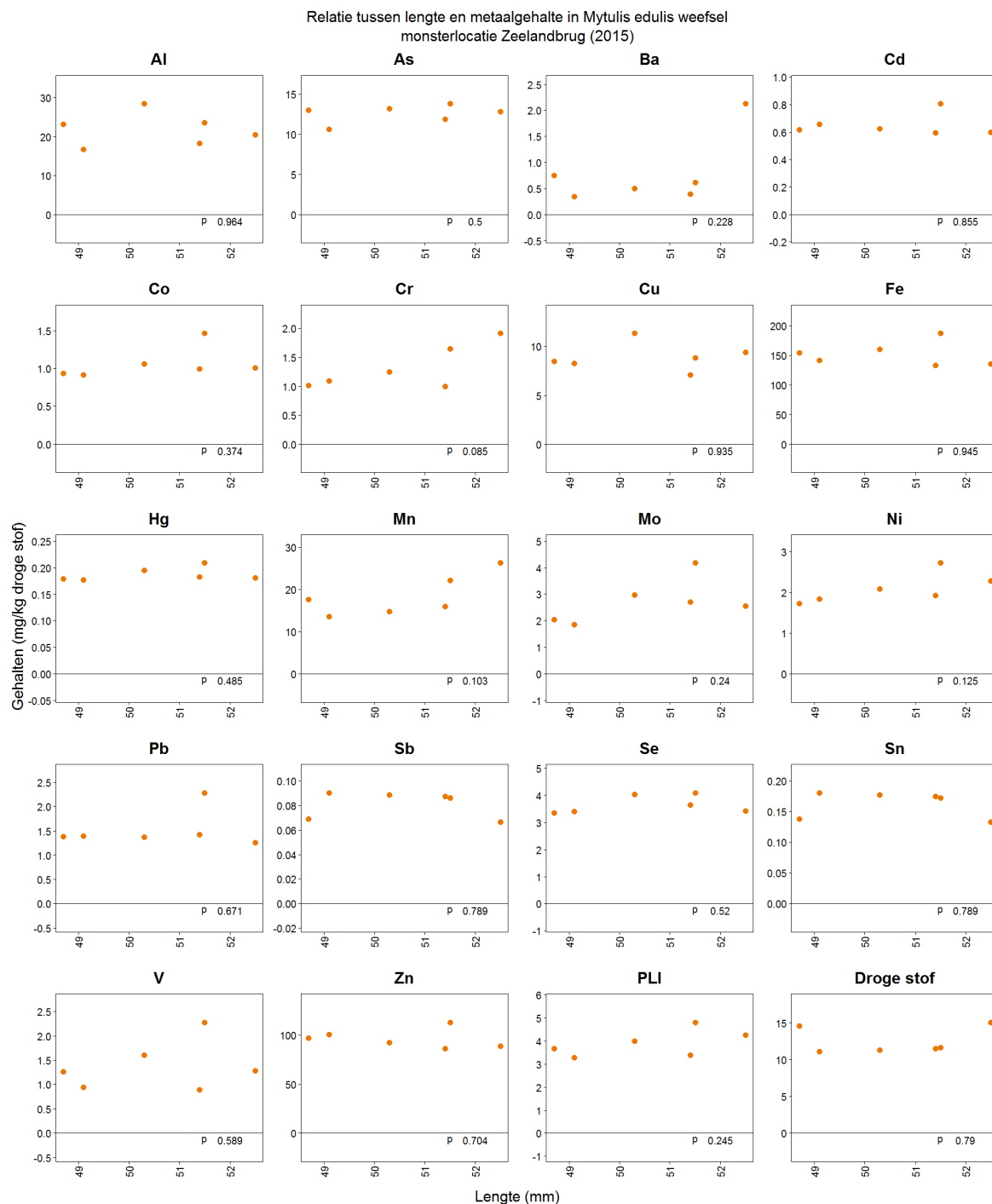


Figuur 1 Variatie in lengte (mm) en gewicht (gram) van mosselindividuen in de zes samengestelde monsters genomen op de Zeelandbrugpijler in 2015. Significantie is onderzocht dmv een one-way anova test. Bij significante resultaten zijn verschillen tussen groepen onderzocht met een Tukey post hoc test.



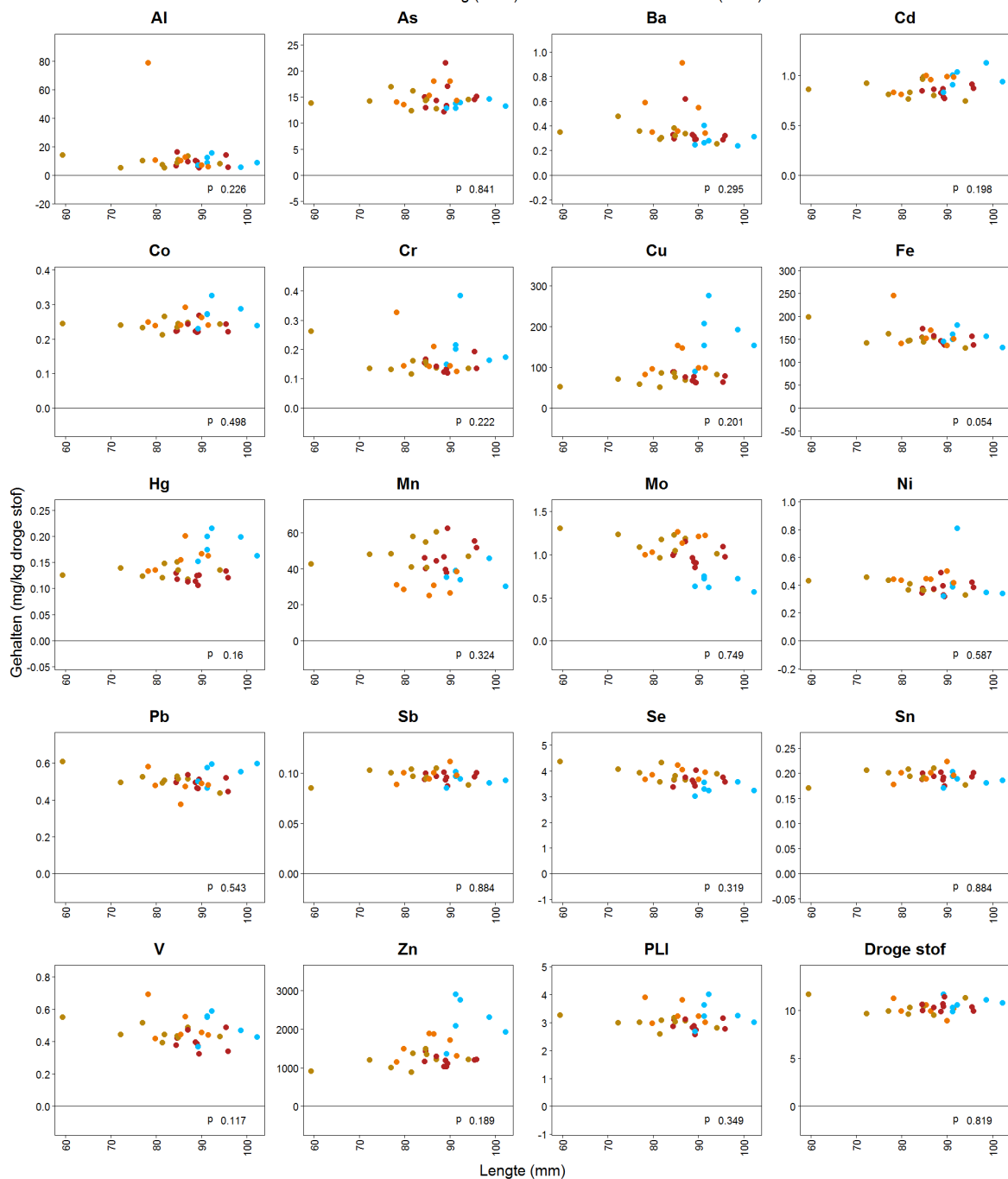
Figuur 2 Variatie in lengte (mm) en gewicht (gram) van de oesterindividuen in de samengestelde monsters genomen nabij de Zeelandbrug en op de referentielocatie Zuidbout. Monsters genomen op de referentielocatie zijn blauw afgedrukt, monsters genomen op Zeelandbrug de pijler orange, aan de oever van de Zeelandbrug op een ondergrond van staalslakken geel en op breukstenen rood. Significantie is onderzocht dmv een one-way anova test. Bij significante resultaten zijn verschillen tussen groepen onderzocht met een Tukey post hoc test.

Bijlage 3 Relatie tussen schelp lengte en metaalgehalte, PLI en droge stof



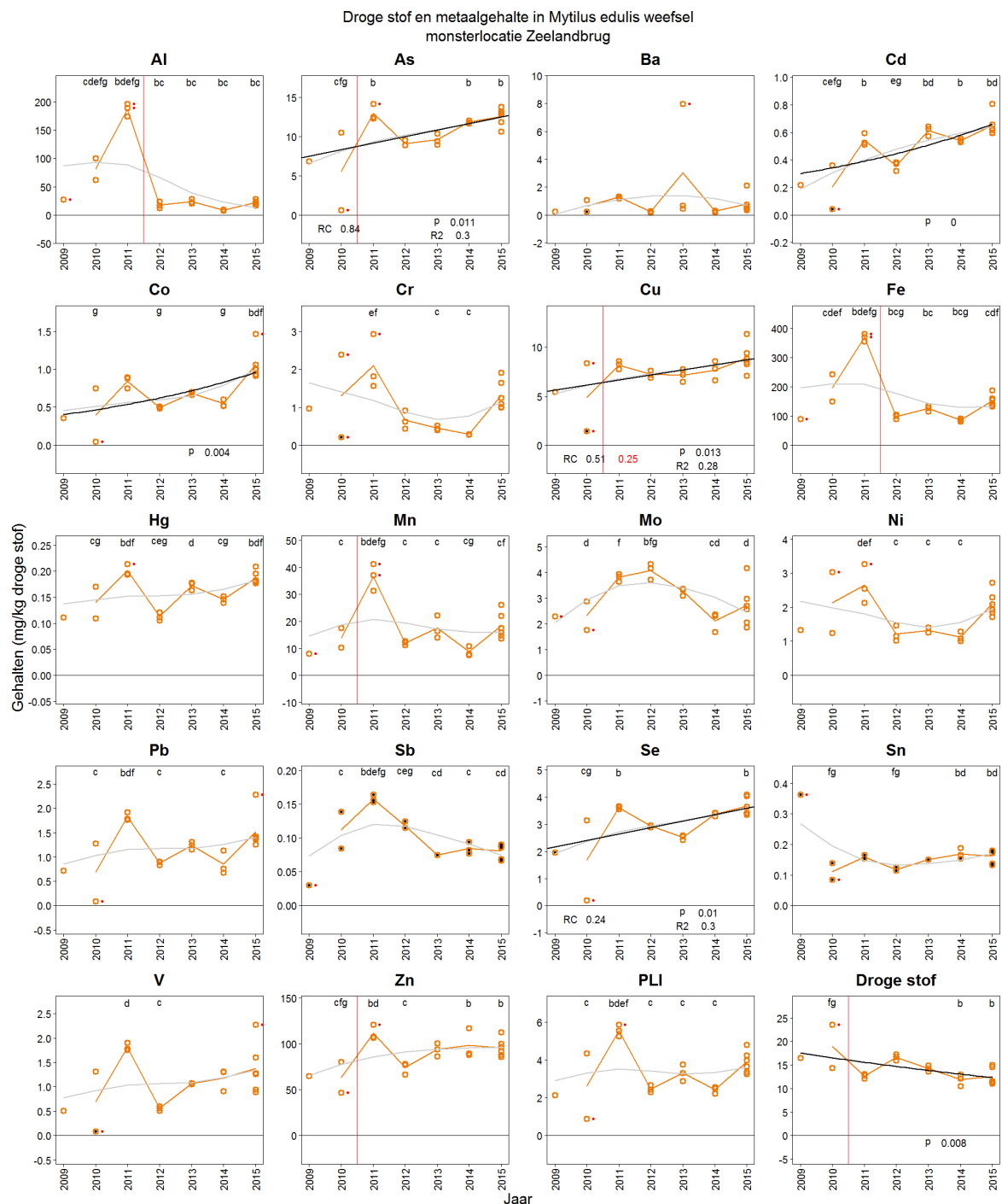
Figuur 1 Relatie metaalgehalte (mg/kg droge stof) en schelp lengte (mm). P-waarden op basis van lineair model (metaalgehalte = intercept + hellingshoek x lengte + ϵ).

Relatie tussen lengte en metaalgehalte in *Crassostrea gigas* weefsel
monsterlocatie Zeelandbrug (2015) en referentielocatie Zuidbuit (2015)

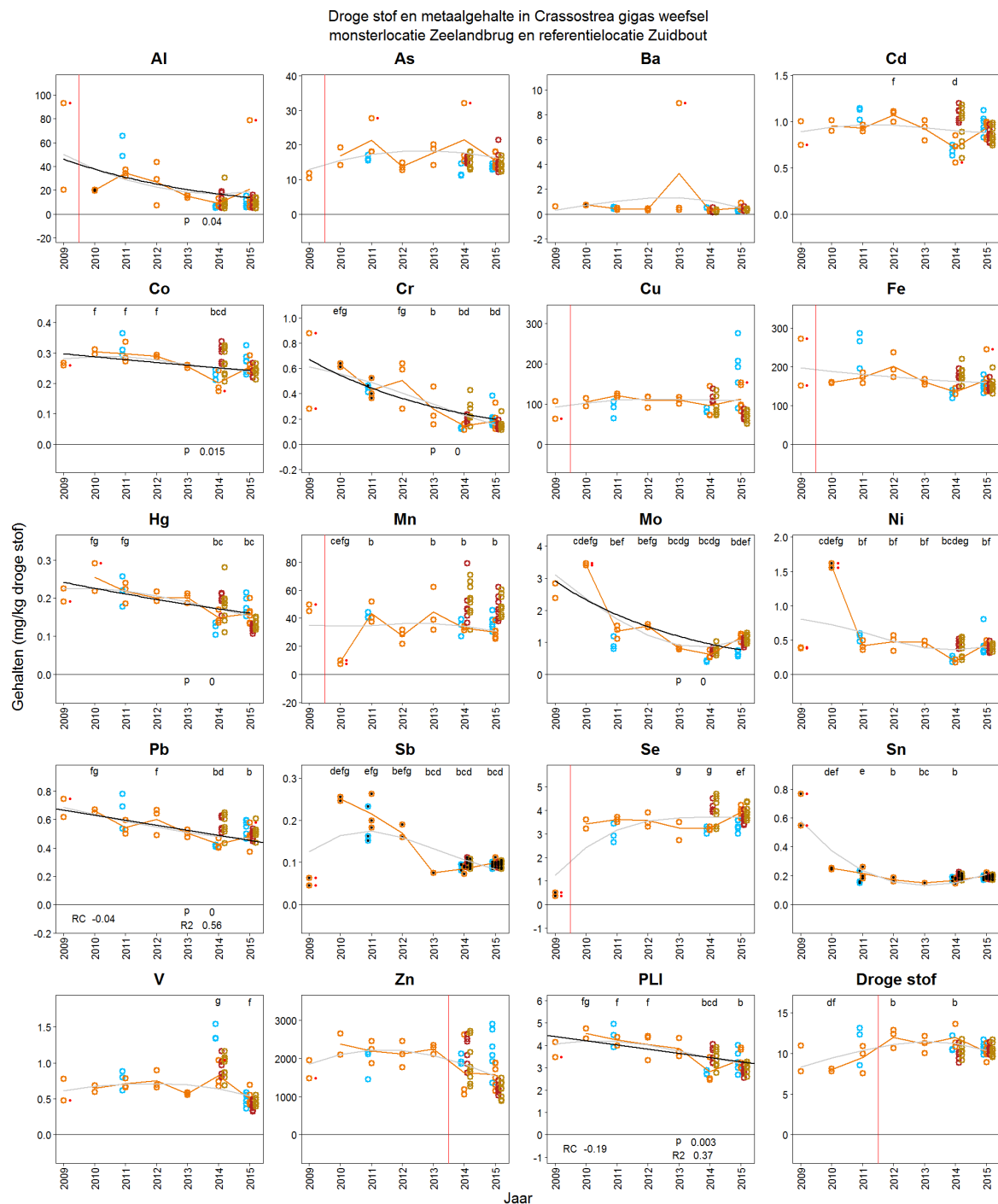


Figuur 2 Relatie metaalgehalte (mg/kg droge stof) en schelpenlengte (mm). P-waarden op basis van lineair mixed model waarin de relatie tussen lengte en metaalconcentratie onderzocht is. Het model bevatte lengte als 'fixed' effect en type ondergrond (SS, S, SSBS of REF) als 'random' effect voor zowel richtingscoëfficiënt en interceptie.

Bijlage 4 Trend in concentratie metalen, droge stof en PLI

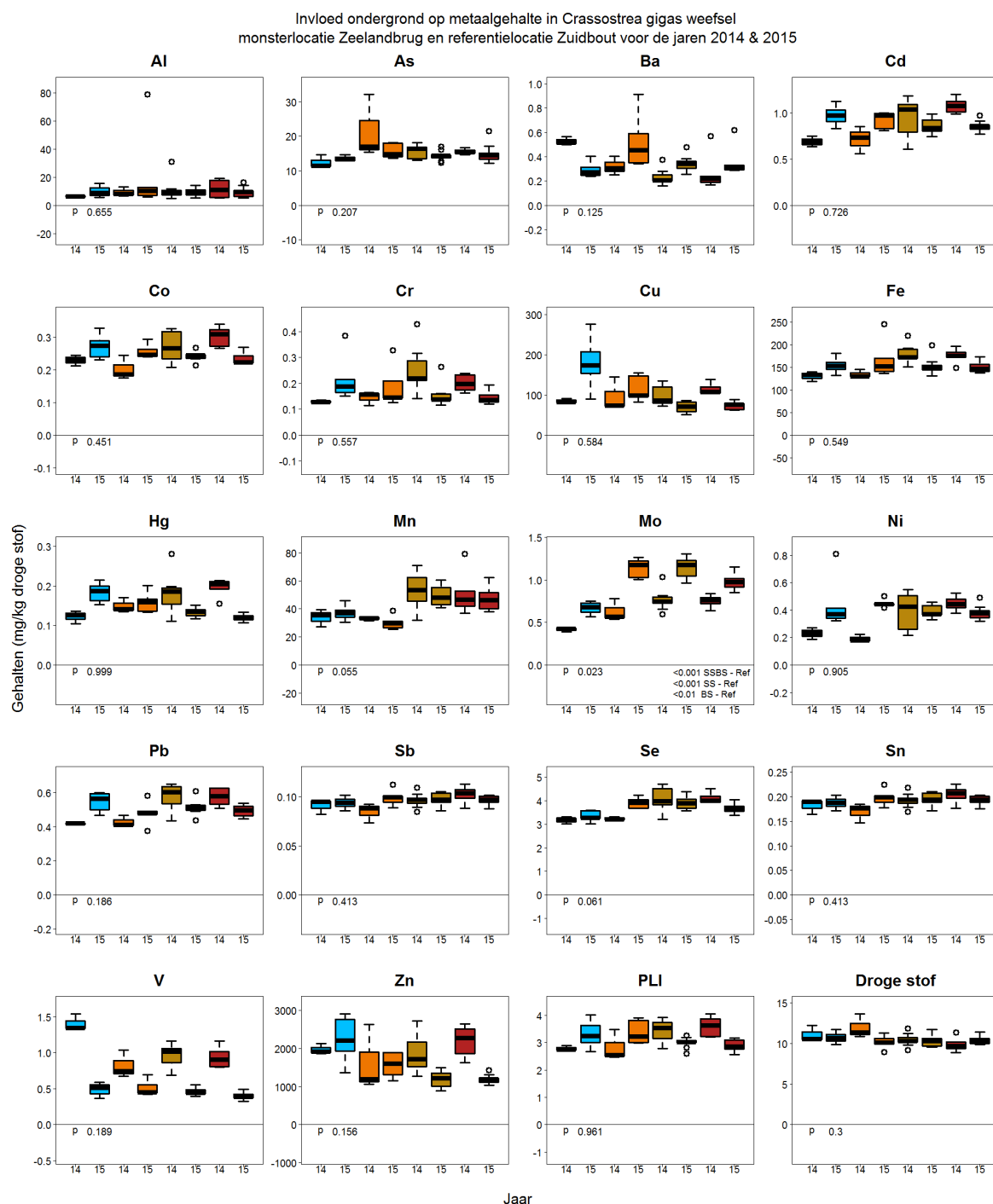


Figuur 1 Trend over de tijd in de periode 2009 (T0) en 2015 voor metaalgehalte (mg/kg droge stof), PLI en droge stof (percentage) in mosselweefsel bemonsterd nabij staalslak en breuksteen bestortingen op de pijler van de Zeelandbrug. Metaalgehalten die onder de detectielimiet liggen worden weergegeven met zwarte stippen. De volgende statistische resultaten zijn weergegeven: (1) significante trends (lineair dan wel exponentieel) worden weergegeven met zwarte lijnen waarbij P-waarden, richtingscoëfficiënt en correlatiewaarden weergegeven worden. Datapunten welke van grote invloed zijn op de trendlijn (cooksdistance) worden met rode stippen aangeduid. (2) Wanneer er sprake is van een significante sprong in (jaargemiddelde)gehalten dan wordt deze weergegeven door een verticale rode lijn. (3) De lettercode geeft significante verschillen tussen de jaren weer (ANOVA, Tukey Posthoc).



Figuur 2 Trend over de tijd in de periode 2009 (T0 situatie, voor bestorting) en 2015 voor metaalgehalte (mg/kg droge stof), PLI en droge stof (percentage) in oesterweefsel bemonsterd bij Zeelandbrugpijler en Zuidbout (referentie). Blauwe stippen zijn bemonsteringen op de referentielocatie, oranje stippen zijn bemonsteringen nabij staalslak en breuksteen bestortingen op de pijler van de Zeelandbrug, rode stippen zijn bemonsteringen op breukstenen en gele stippen zijn bemonsteringen op staalslakken. Metaalgehalten die onder de detectielimiet liggen worden weergegeven met zwarte stippen. De volgende statistische resultaten hebben alleen betrekking op Zeelandbrugpijler: (1) significante trends (lineair dan wel exponentieel) worden weergegeven met zwarte lijnen waarbij P-waarden, richtingscoëfficiënt en correlatiewaarden weergegeven worden. Datapunten welke van grote invloed zijn op de trendlijn (cooksdistance) worden met rode stippen aangeduid. (2) Wanneer er sprake is van een significante sprong in (jaargemiddelde)gehalten dan wordt deze weergegeven door een verticale rode lijn. (3) De lettercode geeft significante verschillen tussen de jaren weer (ANOVA, Tukey Posthoc).

Bijlage 5 Invloed type bestorting op metaalgehalten



Figuur 1 Spreiding in metaalgehalten (mg/kg droge stof) in oesterweefsel in 2014 en 2015 bemonsterd op de referentielocatie Zuidbout (blauw), en op de Zeelandbrug nabij staalslak en breuksteen bestortingen op de pijler van de Zeelandbruggen (oranje), op een ondergrond van staalslakken (geel) en breukstenen (rood). X-as = jaartal van bemonstering. P-waarden op basis van lineair mixed model waarin de relatie tussen ondergrond (SS, BS, SSBS of REF) en metaalconcentratie onderzocht is. Het model bevatte ondergrond als 'fixed' effect en ondergrond en jaar als 'random' effecten voor zowel richtingscoëfficiënt en interceptie.

Bijlage 6 Ruwe data

Tabel 4 Gehalten aan de zware metalen (mg/kg droge stof) aluminium (Al), arseen (As), barium (Ba), cadmium (Cd), kobalt (Co), chroom (Cr), koper (Cu), ijzer (Fe), kwik (Hg), mangaan (Mn) molybdeen (Mo), nikkel (Ni), lood (Pb), antimoon (Sb), seleen (Se), vanadium (V), zink (Zn) in mg/kg droge stof en pollution load index (PLI) voor mosselen bemonsterd op locaties in de Oosterschelde in 2015. Type= type dijkversteving waarbij REF = referentielocatie, BS = breukstenen, SS = staalslakken, SSBS = nabij staalslak en breuksteen bestortingen op pijler van de Zeelandbrug.

MonsterID	Loc	Type	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn	PLI	Droge stof
2015_019	Zld pijler	SSBS	20	13	2.13	0.6	1.01	1.91	9.4	136	0.181	26	2.56	2.29	1.26	<0.066	3.43	<0.133	1.29	88	4.25	15
2015_020	Zld pijler	SSBS	18	12	0.392	0.594	0.992	0.994	7.1	133	0.183	16	2.7	1.92	1.42	<0.087	3.65	<0.174	0.894	86	3.38	11
2015_021	Zld pijler	SSBS	24	14	0.611	0.807	1.46	1.65	8.8	187	0.209	22	4.17	2.72	2.29	<0.086	4.1	<0.172	2.28	113	4.81	12
2015_022	Zld pijler	SSBS	23	13	0.751	0.619	0.932	1.01	8.5	154	0.179	18	2.05	1.72	1.38	<0.069	3.35	<0.137	1.26	97	3.67	15
2015_023	Zld pijler	SSBS	17	11	0.343	0.657	0.911	1.09	8.3	142	0.177	14	1.86	1.84	1.39	<0.09	3.4	<0.181	0.941	100	3.27	11
2015_024	Zld pijler	SSBS	28	13	0.496	0.625	1.06	1.25	11	160	0.195	15	2.98	2.08	1.37	<0.088	4.04	<0.177	1.6	92	3.99	11

Tabel 5 Gehalten aan de zware metalen (mg/kg droge stof) aluminium (Al), arseen (As), barium (Ba), cadmium (Cd), kobalt (Co), chroom (Cr), koper (Cu), ijzer (Fe), kwik (Hg), mangaan (Mn) molybdeen (Mo), nikkel (Ni), lood (Pb), antimoon (Sb), seleen (Se), vanadium (V), zink (Zn) in mg/kg droge stof, pollution load index (PLI) en droge stof (%) voor oesters bemonsterd op locaties in de Oosterschelde in 2015. Type= type dijkversteving waarbij REF = referentielocatie, BS = breukstenen, SS = staalslakken, SSBS = nabij staalslak en breuksteen bestortingen op pijler van de Zeelandbrug.

MonsterID	Loc	Type	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn	PLI	Droge stof
2015_001	Zld west	BS	5.4	17	0.293	0.769	0.269	0.12	63	137	0.125	62	0.906	0.319	0.513	<0.088	4.04	<0.175	0.325	1113	2.73	11
2015_002	Zld west	BS	6.6	15	0.33	0.85	0.223	0.155	88	154	0.129	46	0.993	0.343	0.497	<0.094	3.38	<0.188	0.379	1173	2.86	11
2015_003	Zld west	BS	5.6	15	0.32	0.871	0.221	0.135	79	138	0.121	52	0.978	0.384	0.447	<0.101	3.58	<0.201	0.341	1226	2.77	9.9
2015_004	Zld west	SS	5.2	16	0.305	0.835	0.266	0.161	86	147	0.148	58	1.18	0.41	0.505	<0.097	4.34	<0.194	0.446	1379	3.08	10
2015_005	Zld west	SS	10	17	0.361	0.813	0.233	0.132	59	162	0.124	49	1.09	0.437	0.527	<0.101	3.94	<0.201	0.517	1007	3.01	9.9
2015_006	Zld west	SS	14	13	0.34	0.803	0.248	0.138	68	155	0.118	61	1.19	0.37	0.515	<0.105	3.66	<0.21	0.489	1224	3.06	9.5
2015_007	Zld midden	BS	14	15	0.287	0.913	0.243	0.193	64	157	0.134	56	1.09	0.422	0.52	<0.097	3.75	<0.194	0.49	1208	3.16	10
2015_008	Zld midden	BS	16	13	0.295	0.973	0.224	0.167	89	174	0.118	40	1.02	0.377	0.52	<0.1	3.65	<0.201	0.424	1436	3.1	10
2015_009	Zld midden	BS	9.6	14	0.618	0.861	0.243	0.142	77	157	0.113	45	1.15	0.373	0.538	<0.097	3.76	<0.194	0.475	1307	3.13	10
2015_010	Zld midden	SS	11	15	0.323	0.989	0.246	0.147	76	144	0.136	41	1.05	0.364	0.514	<0.096	3.81	<0.193	0.425	1350	3.02	10
2015_011	Zld midden	SS	8	15	0.256	0.747	0.244	0.136	82	131	0.135	47	1.01	0.33	0.438	<0.088	3.9	<0.176	0.432	1225	2.81	11
2015_012	Zld midden	SS	8.7	14	0.385	0.966	0.235	0.158	86	153	0.151	55	1.23	0.366	0.529	<0.094	3.69	<0.189	0.435	1501	3.18	11
2015_013	Zld oost	BS	9.6	22	0.317	0.867	0.22	0.127	77	143	0.124	40	0.918	0.394	0.465	<0.093	3.54	<0.187	0.388	1195	2.89	11
2015_014	Zld oost	BS	6.3	13	0.289	0.785	0.222	0.135	64	141	0.107	38	0.853	0.328	0.461	<0.096	3.43	<0.192	0.373	1040	2.57	10
2015_015	Zld oost	BS	10	12	0.329	0.826	0.223	0.124	67	146	0.115	47	0.963	0.489	0.496	<0.101	3.64	<0.203	0.399	1038	2.83	9.9
2015_016	Zld oost	SS	14	14	0.35	0.861	0.246	0.263	53	199	0.126	43	1.3	0.433	0.61	<0.086	4.38	<0.171	0.553	921	3.27	12
2015_017	Zld oost	SS	7.5	12	0.294	0.765	0.213	0.117	51	147	0.121	41	0.967	0.368	0.492	<0.104	3.58	<0.209	0.396	886	2.6	9.6
2015_018	Zld oost	SS	5.1	14	0.479	0.923	0.241	0.136	71	142	0.14	48	1.23	0.458	0.495	<0.103	4.07	<0.207	0.446	1204	3	9.7
2015_025	Zuidbout	Ref	5.7	15	0.238	1.13	0.288	0.164	193	156	0.199	46	0.724	0.349	0.553	<0.09	3.59	<0.181	0.47	2323	3.25	11
2015_026	Zuidbout	Ref	15	14	0.281	1.04	0.326	0.384	276	181	0.215	34	0.621	0.808	0.595	<0.095	3.25	<0.189	0.591	2764	4.02	11
2015_027	Zuidbout	Ref	12	13	0.404	1.01	0.272	0.215	208	161	0.174	39	0.753	0.415	0.576	<0.101	3.56	<0.203	0.557	2914	3.63	9.9
2015_028	Zuidbout	Ref	8.6	13	0.315	0.941	0.239	0.174	154	132	0.163	30	0.571	0.339	0.599	<0.093	3.24	<0.186	0.429	1930	3.01	11
2015_029	Zuidbout	Ref	7.1	13	0.249	0.831	0.23	0.15	90	145	0.153	35	0.635	0.322	0.5	<0.086	3.02	<0.171	0.369	1363	2.68	12
2015_030	Zuidbout	Ref	8.9	14	0.264	0.909	0.274	0.201	154	150	0.2	39	0.723	0.388	0.466	<0.097	3.3	<0.195	0.551	2096	3.24	10
2015_031	Zld pijler	SSBS	13	18	0.913	0.961	0.293	0.21	147	170	0.201	31	1.14	0.442	0.473	<0.1	4.05	<0.201	0.555	1888	3.81	10
2015_032	Zld pijler	SSBS	10	15	0.361	1	0.241	0.143	154	152	0.155	25	1.27	0.445	0.375	<0.094	4.23	<0.189	0.447	1895	3.22	11
2015_033	Zld pijler	SSBS	11	14	0.352	0.812	0.239	0.145	96	141	0.136	29	1.03	0.436	0.478	<0.101	3.86	<0.201	0.42	1494	2.98	9.9
2015_034	Zld pijler	SSBS	79	14	0.589	0.831	0.249	0.328	83	245	0.134	31	1	0.442	0.581	<0.089	3.67	<0.178	0.694	1155	3.9	11
2015_035	Zld pijler	SSBS	5.9	14	0.342	0.986	0.242	0.125	99	151	0.162	39	1.22	0.416	0.48	<0.098	3.95	<0.196	0.443	1317	3.01	10
2015_036	Zld pijler	SSBS	7	18	0.55	0.993	0.263	0.144	99	137	0.166	27	1.21	0.501	0.49	<0.112	3.67	<0.224	0.457	1723	3.22	8.9

IMARES Wageningen UR
T: +31 (0)317 48 09 00
E: imares@wur.nl
www.imares.nl

Visitors address

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korrिंगaweg 5, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



IMARES (Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies) is the Netherlands research institute established to provide the scientific support that is essential for developing policies and innovation in respect of the marine environment, fishery activities, aquaculture and the maritime sector.

The IMARES vision

'To explore the potential of marine nature to improve the quality of life.'

The IMARES mission

- To conduct research with the aim of acquiring knowledge and offering advice on the sustainable management and use of marine and coastal areas.
- IMARES is an independent, leading scientific research institute.

IMARES Wageningen UR is part of the international knowledge organisation Wageningen UR (University & Research centre). Within Wageningen UR, nine specialised research institutes of the DLO Foundation have joined forces with Wageningen University to help answer the most important questions in the domain of healthy food and living environment.
