

---

# Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis

Resultaten T<sub>2</sub> bemonstering 2022

Auteur(s): Jeroen Wijsman en Jesse v.d. Pool

Wageningen Marine Research  
Yerseke, november 2022

---

VERTROUWELIJK    Nee

Wageningen Marine Research rapport C083/22

---

Keywords: Grevelingenmeer, zuurstof, mosselen

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving  
T.a.v.: mw. W. v.d. Broek  
Zuiderwagenplein 2  
8224 AD Lelystad

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/582005>  
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut  
binnen de rechtspersoon Stichting  
Wageningen Research, hierbij  
vertegenwoordigd door  
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur  
bedrijfsvoering

KvK nr. 09098104,  
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.  
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U  
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor  
gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de  
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen  
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van  
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.  
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of  
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden  
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A\_4\_3\_1 V32 (2021)

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doelstelling	5
1.3 Aanpak	6
1.4 Afbakening	6
1.5 Dankwoord	6
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>7</b>
2.1 Onderzoekslocatie	7
2.2 Groeimetingen mosselen	8
2.3 Data analyse mosselgroei	10
2.4 Metingen zuurstof en temperatuur	11
<b>3 Resultaten</b>	<b>12</b>
3.1 Initiële lengtefrequentieverdeling	12
3.2 Temperatuur en zuurstofverloop	12
3.3 Overleving	15
3.4 Schelplengte	15
3.5 Gewicht	17
3.6 Vleespercentage	18
3.7 Trends door het seizoen	19
<b>4 Conclusies</b>	<b>22</b>
<b>5 Kwaliteitsborging</b>	<b>23</b>
<b>Literatuur</b>	<b>24</b>
<b>Verantwoording</b>	<b>25</b>

---

# Samenvatting

In de winter van 2016/2017 is de Flakkeese Spuisluis in de Grevelingendam weer in gebruik genomen. De spuisluis, bestaande uit een hevel, vormt een verbinding tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. Door de hevel kan als gevolg van het getij op de Oosterschelde water heen en weer worden getransporteerd tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. De verwachting is dat door de toename in de waterbeweging de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer zal verbeteren, met name nabij de bodem waar tijdens de zomerperiode regelmatig zuurstofloosheid optreedt. Om deze veranderingen te kunnen monitoren zijn mosselen uitgezet in mandjes op twee locaties op verschillende afstand van de sluis in het Grevelingenmeer (Gr 1 en Gr 2) en twee locaties op verschillende afstand van de sluis in de Oosterschelde (OS 1 en OS 2). Op alle locaties zijn de mosselen uitgezet op de bodem en hangend aan een boei, net onder het wateroppervlak. De groei en ontwikkeling van de mosselen kan worden gebruikt als een indicator voor de waterkwaliteit en -productiviteit. Doordat de mosselen gedurende een periode van zes maanden zijn uitgezet, zijn de groeimetingen de resultante van de waterkwaliteit over die hele periode. Ook zijn zowel in het Grevelingenmeer als in de Oosterschelde continue-metingen verricht voor zuurstofconcentratie (alleen bij de bodem) en temperatuur (nabij de bodem en het wateroppervlak). Dit rapport beschrijft de situatie in 2022 ( $T_2$  meting). In 2016 is de  $T_0$  meting (vóór ingebruikname) uitgevoerd. In 2017, het eerste jaar na de ingebruikname van de hevel, is de  $T_1$  meting uitgevoerd maar omdat de hevel in 2018 weer is gesloten voor de geplande aanleg van het Tidal Technology Center Grevelingendam is de vervolgmonitoring gestopt. In 2022 is de hevel weer operationeel waardoor de  $T_2$  meting kon worden uitgevoerd. De metingen zullen in 2023 worden voortgezet.

De resultaten van deze  $T_2$  meting laten zien dat de waterkwaliteit nabij de bodem in het Grevelingenmeer is verbeterd ten opzichte van de  $T_0$  meting in 2016, maar de waterkwaliteit was minder dan in het jaar van de  $T_1$  meting (2017). In 2017 was er een goede overleving van de mosselen, ook op de bodem van het Grevelingenmeer. In 2022 zijn de mosselen op de bodem van locatie Gr 2 in de maand augustus doodgegaan, waarschijnlijk als gevolg van zuurstofloosheid. In de Oosterschelde is ook zuurstofloosheid bij de bodem aangetroffen, maar dit was van kortere duur waardoor de mosselen dit hebben overleefd. In 2022 was de gemiddelde overleving van de mosselen over 6 maanden 57%. Op de locatie Gr 2 bij de bodem zijn alle mosselen doodgegaan in de maand augustus waarin het water bij de bodem op deze locatie zuurstofloos is geweest.

De mosselen die in 2022 vlak onder het wateroppervlak zijn uitgezet groeiden beter dan op de bodem. De mosselen in de waterkolom zijn in de 6 maanden ruim twee keer zo zwaar geworden (van gemiddeld 3 gram naar 6.2 gram per individu) en het vleespercentage is tussen de 30% en 40%. Dit is een indicatie dat er voldoende voedsel in het water zit, zowel aan de Oosterschelde- als de Grevelingenmeerzijde. Er is geen duidelijk verschil in groei van de mosselen in de waterkolom tussen de verschillende locaties.

De beste groei van alle mosselen op de bodem is nog behaald op locatie OS 1, waar de mosselen aan het eind van het experiment gemiddeld 7.4 gram waren. Het vleespercentage op deze locatie was ongeveer 34.5%. De slechtste groei was op de bodem van locatie OS 1. De mosselen waren aan het eind van het experiment op deze locatie net iets meer dan 5.2 gram en het gemiddelde vleespercentage was slechts 21.3%.

Tijdens de  $T_2$  meting in 2022 was de groei en overleving van de mosselen beter dan tijdens de  $T_0$  in 2016, maar minder dan tijdens de  $T_1$  in 2017. Dit kan te maken hebben met de kwaliteit van de mosselen die in 2022 zijn gebruikt, aangroei op de mandjes en de relatief hoge watertemperaturen, maar het kan ook te maken hebben met het feit dat de uitwisseling door de Flakkeese spuisluis in 2022 niet maximaal was. Zowel op de meetlocaties in het Grevelingenmeer als in de Oosterschelde is er zuurstofloosheid gemeten bij de bodem, wat op de locatie Gr 2 waarschijnlijk heeft geleid tot sterfte van alle mosselen in de maand augustus. Net als in voorgaande jaren deden de mosselen op de bodem het beter dan bovenin de waterkolom. De monitoring zal in 2023 worden voortgezet en in de eindrapportage zullen de resultaten over alle jaren met elkaar worden vergeleken.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

De waterkwaliteit in het Grevelingenmeer is reeds een aantal jaren van onvoldoende kwaliteit beoordeeld vanuit de Europese Kaderrichtlijn Water. Door de beperkte wateruitwisseling treedt regelmatig zuurstofloosheid op in de diepere delen (Wijsman, 2002, Didden en Driessen, 2017). Dit heeft negatieve effecten op de waterkwaliteit, vooral in de diepe geulen en het oostelijk deel van het meer, nabij de Grevelingendam waar regelmatig stankoverlast optreedt door afstervende macroalgen.

In de winter van 2016/2017 is de Flakkeese Spuisluis, een hevel in de Grevelingendam, na 30 jaar stilstand, weer in gebruik genomen. Het doel hiervan was de waterkwaliteit te verbeteren door meer wateruitwisseling. Door middel van hevelwerking en getij op de Oosterschelde kan water heen en weer stromen tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. In het voorjaar van 2018 is de Flakkeese spuisluis tijdelijk gesloten voor de bouw van een Tidal Test Center. Dit is uiteindelijk niet gelukt en in januari 2022 is de Flakkeese spuisluis weer in werking gesteld.

De hevel is in 1984 gebouwd om het zoutgehalte in de Noordelijke tak van de Oosterschelde en Krabbenkreek tijdens de afbouw van de Oosterscheldewerken op peil houden (Haas et al., 2006). Na de voltooiing van de Oosterscheldewerken in 1987, had de spuisluis geen functie meer en is sindsdien niet meer in bedrijf geweest. Door de ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis is de wateruitwisseling tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer verbeterd en daarmee mogelijk de waterkwaliteit in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer, nabij de spuisluis. Via zes kokers in de Flakkeese spuisluis kan er water vanuit het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde stromen en weer terug. De spuisluis heeft een daggemiddelde capaciteit van ongeveer  $70 - 80 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . De verbeterde uitwisseling van het water moet leiden tot positieve effecten op de natuurwaarden van het Grevelingenmeer, met name voor het bodemleven (Haas et al., 2006). Tevens zou dit kunnen leiden tot betere kansen voor schelpdierkweek in dit gebied (Smaal en Wijsman, 2014, Wijsman et al., 2014).

Monitoring, zowel voor als na de ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis, is van groot belang om de effecten te kunnen registreren en kwantificeren. Hieruit kunnen tevens lessen worden getrokken omtrent de effecten van het geplande doorlaatmiddel in de Brouwersdam.

In een andere studie (Didden en Driessen, 2017) is op grotere schaal in het Grevelingenmeer gekeken naar de zuurstofconcentratie nabij de bodem en is met onderwatercamera's gekeken naar de bodemdieren (epifauna) en aanwezigheid van *Beggiatoa*-matten, bacteriën die voorkomen op locaties met vrij sulfide in de bodem en aanwezigheid van zuurstof in het overliggende water (Meysman et al., 2015). Uit deze studies blijkt dat na de inwerkingstelling van de Flakkeese spuisluis binnen de invloedssfeer van de sluis de bedekking met de witte bacteriematten lager is, en de schade aan het bodemleven minder is dan in 2016, voor de inwerkingstelling van de Flakkeese spuisluis.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is de effecten van de Flakkeese Spuisluis op de groei en overleving van mosselen, en daarmee de waterkwaliteit in kaart te brengen. Mosselen worden daarbij gebruikt als indicator voor de kwaliteit en productiviteit van het water. Als de waterkwaliteit, of de hoeveelheid voedsel in het water, gedurende een langere periode slecht is zullen de mosselen slecht groeien en eventueel dood gaan. Daarnaast is de zuurstofconcentratie bij de bodem gemeten om te bepalen of zuurstofdepletie een factor is in de (mogelijke) sterfte van mosselen.

---

## 1.3 Aanpak

Voor dit onderzoek zijn mosselen in de buurt van de Flakkeese Spuisluis (zowel aan de Oosterschelde als de Grevelingenmeer zijde) uitgezet in mandjes op de bodem, alsmede hangend aan een boei vlak onder het wateroppervlak. De mosselen zijn in de periode mei tot en met oktober maandelijks bemonsterd om de groei, ontwikkeling en overleving te monitoren.

De verwachting bij aanvang van het project was dat er voornamelijk een verschil zou zijn tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer wat betreft de mosselen op de bodem, maar dat er ook een verschil zou zijn voor de mosselen in de waterkolom. Voor de ingebruikname, is de verwachting dat de mosselen op de bodem van het Grevelingenmeer het slecht zouden doen vanwege de zuurstofdepletie van het water nabij de bodem tijdens de zomer. De ingebruikname van de Flakkeese spuisluis zou kunnen leiden tot betere zuurstofcondities in het Grevelingenmeer waardoor de mosselen het ook daar beter doen. Wat betreft de mosselen in de waterkolom was de verwachting dat voor de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis de groei in de Oosterschelde anders zal zijn dan in het Grevelingenmeer, vanwege een andere voedselbeschikbaarheid in het Grevelingenmeer dan in de Oosterschelde. Na de ingebruikname was de verwachting dat er meer uniformiteit zou zijn in groei van mosselen in de Oosterschelde en Grevelingenmeer omdat ze de beschikking hebben over vergelijkbaar voedsel vanwege de uitwisseling van het water tussen beide gebieden via de Flakkeese spuisluis.

In dit onderzoek zijn vier locaties gemonitord binnen de verwachte invloedssfeer van de Flakkeese spuisluis (Didderen en Driessen, 2017). Twee locaties op verschillende afstand van de sluis in het Grevelingenmeer en twee locaties in de Oosterschelde. Omdat wordt verwacht dat de veranderingen in de waterkolom anders zijn dan op de bodem (zie alinea hierboven) zijn er zowel mosselen op de bodem geplaatst als hangend in de waterkolom, vlak onder het wateroppervlak. Het effect van de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis zal worden geëvalueerd uit de relatieve groei en overleving van de mosselen op de verschillende locaties voor en na de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. Hierdoor is het volgen van (een) referentielocatie(s) niet noodzakelijk.

Dit rapport behelst de T<sub>2</sub> monitoring (2022, na ingebruikname). De monitoring is een voortzetting van de T<sub>0</sub> monitoring, die is uitgevoerd in 2016 voordat de hevel in gebruik is genomen (Wijsman et al., 2016) en de T<sub>1</sub> monitoring (Wijsman et al., 2017) die is uitgevoerd in 2017 in het jaar nadat de Flakkeese spuisluis weer in gebruik is genomen. Er is geen monitoring uitgevoerd in de jaren 2018 tot en met 2021 omdat de hevel toen buiten gebruik was vanwege de bouw van het Tidal Technology Center Grevelingendam (TTC-GD).

## 1.4 Afbakening

Voorliggend rapport beschrijft uitsluitend de resultaten van de monitoring die is uitgevoerd in 2022. In de eindrapportage na de T<sub>3</sub> monitoring (2023) zullen de resultaten worden geëvalueerd in relatie tot de T<sub>0</sub> T<sub>1</sub> en T<sub>2</sub> monitoring.

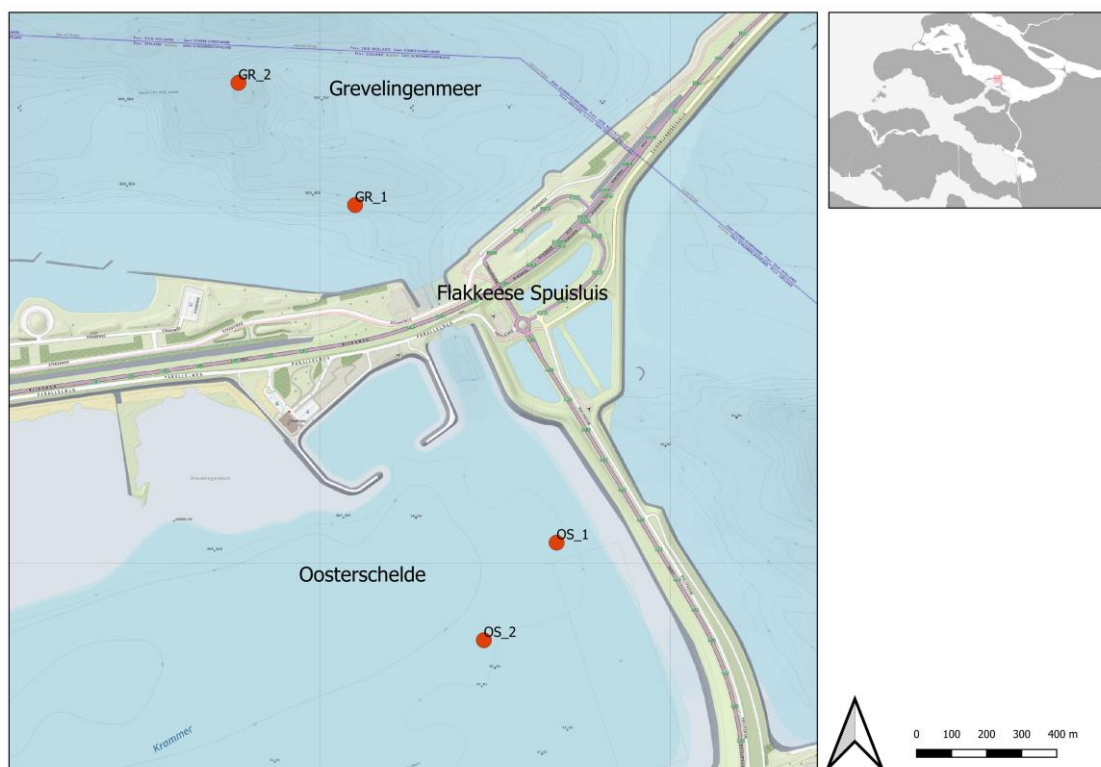
## 1.5 Dankwoord

De bemonstering is uitgevoerd in samenwerking met de bemanning van de MS Regulus van de Rijksrederij. Hierbij willen we de bemanning danken, in het bijzonder Harry Heidekamp, voor de inzet en prettige samenwerking. Douwe van den Ende, Wouter Suykerbuyk, Jetze van Zwol, Laura van Spronsen, Jack Perdon, Suzanne Cornelisse, Ainhoa Blanco, Jildou Schotanus en Emiel Brummelhuis (allen WMR) hebben meegewerkt aan de bemonsteringen en/of de analyses van de monsters in het lab. Paul Paulus (RWS) en Pauline Kamermans (WMR) hebben het conceptrapport gelezen en waardevolle suggesties gedaan voor verbeteringen.

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Onderzoekslocatie

Het onderzoeksgebied bevindt zich rond de Flakkeese Spuisluis (Figuur 1). De monitoring is uitgevoerd op 4 locaties (Tabel 1). Twee in het Grevelingenmeer, ten noorden van de Flakkeese Spuisluis (Gr 1 en Gr 2) en twee in de Oosterschelde aan de zuidzijde van de Flakkeese Spuisluis (OS 1 en OS 2). Gr 1 bevindt zich op ca 400 meter van de spuisluis en heeft een waterdiepte van ongeveer 8 meter. De locatie Gr 2 ligt verder weg van de Flakkeese Spuisluis (ca 900 m) met een waterdiepte van ongeveer 12 m. OS 1 bevindt zich op een waterdiepte van ongeveer 7 meter en een afstand van ca 700 meter van de spuisluis. De locatie OS 2 bevindt zich op een afstand van ca 800 meter en heeft een waterdiepte van ongeveer 12 meter. De locatie OS 2 komt overeen met de locatie M4 uit het project van de monitoring bij de Krammersluizen (Wijsman en Van der Pool, 2022). Hierdoor kunnen de resultaten van beide projecten met elkaar vergeleken worden.



*Figuur 1: Ligging van de onderzoek locaties bij de Flakkeese spuisluis. De overzichtskaart rechtsboven laat zien waar de Flakkeese spuisluis is gelegen in de zuidwestelijke delta.*

**Tabel 1** Coördinaten van de locaties

Locatie	NB	OL
GR 1	51° 40.884'	4° 8.707'
GR 2	51° 41.069'	4° 8.413'
OS 1	51° 40.370'	4° 9.220'
OS 2	51° 40.218'	4° 9.044'

---

## 2.2 Groeimetingen mosselen

Om de groei en overleving van mosselen te volgen zijn er op iedere locatie twee torens met gestapelde mandjes geplaatst die zijn gevuld met halfwas mosselen (Figuur 2). Eén toren op de bodem en één toren hangend aan een boei in de water kolom op een diepte van ongeveer 2 meter onder het wateroppervlak. Ieder mandje was verdeeld in 4 compartimenten (Figuur 3). Aan het begin van het experiment (28 april 2022) zijn de compartimenten gevuld met 25 mosselen van ongeveer gelijke lengte (ca 3.0 cm). Voor dit experiment zijn dezelfde mosselen gebruikt als bij de monitoring van de Krammersluizen. Hierdoor kunnen de resultaten met elkaar vergeleken worden. Per toren op de bodem zijn 500 mosselen gebruikt (25x4x5). Deze torens zijn verzwaard met een betontegel (60 x 60 cm) aan de onderzijde. Per toren in de waterkolom zijn in totaal ook 500 mosselen gebruikt (25x4x5). Deze torens zijn niet verzwaard. De torens zijn via een touw bevestigd aan een boei waardoor de torens eenvoudig zijn te bemonsteren vanaf een schip.



*Figuur 2: Toren van mandjes gevuld met mosselen met de ronde oranje boeien waar de mandjes aan zijn gehangen.*





*Figuur 3: Ieder mandje is onderverdeeld in 4 compartimenten. In ieder compartiment zijn aan de start van de meting 25 mosselen gedaan van ongeveer dezelfde grootte.*

De halfwasmosselen die zijn gebruikt in dit experiment zijn opgevisst van een kweekperceel in de Oosterschelde. Het voordeel van het gebruik van halfwas mosselen is dat deze nog veel groeipotentie hebben. Voor de proef is het van belang dat de spreiding in de mosselen aan het begin van het experiment zo klein mogelijk is. Hoe kleiner de spreiding, hoe beter eventuele verschillen in groei statistisch kunnen worden aangetoond. Om dit te bereiken is er streng geselecteerd op basis van schelpenlengte om de variatie in schelpenlengte aan het begin van het experiment laag te houden. Uit de opgeviste voorraad mosselen zijn ruim 6 000 mosselen uitgezocht van ongeveer 3 cm (ook voor de monitoring bij de Krammersluizen). Uit deze groep mosselen zijn random 8 monsters van 25 mosselen genomen. Van deze 200 mosselen is de individuele schelpenlengte gemeten. Per monster (25 mosselen) is het gewicht bepaald (versgewicht, vleesgewicht en asvrij drooggewicht). De rest van de mosselen is in de mandjes geplaatst en uitgezet op de onderzoekslocaties bij de Flakkeese Spuisluis en de Krammersluizen.

De manden met mosselen zijn uitgezet op 28 april 2022 (Tabel 2). Ze zijn er weer uitgehaald op 10 oktober 2022. Er is maandelijks een bemonstering uitgevoerd. Per locatie zijn er telkens 2 torens bemonsterd, één van de bodem en één hangend in de waterkolom. Op 9 juni 2022 is de toren op de bodem op locatie OS 2 niet bemonsterd. Per toren zijn alle 4 compartimenten uit één mandje bemonsterd. Deze vier monsters zijn als pseudoreplica's behandeld. Per compartiment zijn de mosselen in een gelabelde zak gedaan en geanalyseerd.

**Tabel 2. Overzicht van het aantal bemonsterde compartimenten per locatie en datum van de bemonstering.**

Datum	GR 1 Bodem	GR 1 Top	GR 2 Bodem	GR 2 Top	OS 1 Bodem	OS 1 Top	OS 2 Bodem	OS 2 Top
28 april 2022	4	4	4	4	4	4	4	4
9 juni 2022	4	4	4	4	4	4	-	4
8 juli 2022	4	4	4	4	4	4	4	4
1 aug 2022	4	4	4	4	4	4	4	4
8 sept 2022	4	4	4 <sup>1</sup>	4	4	4	4	4
10 okt 2022	4	4	4 <sup>1</sup>	4	4	4	4	4

<sup>1</sup>Alle mosselen waren dood

Het aantal mosselen per compartiment is geteld en de schelpenlengte is gemeten met een elektronische schuifmaat. Per compartiment zijn de mosselen na "drinken" (enige tijd in zout water) als groep gewogen. Het gemiddelde versgewicht is berekend door dit te delen door het aantal mosselen in het monster. De mosselen zijn vervolgens in kokend water gebracht tot de schelpen open gingen staan waarna het vlees is verwijderd uit de schelp en gewogen (vleesgewicht). Op het moment van schrijven van deze tussenrapportage waren de metingen van drooggewicht en asvrij drooggewicht nog niet beschikbaar vanwege een defect aan de ovens. De resultaten van de metingen zullen worden meegenomen in de eindrapportage, na de T<sub>3</sub> monitoring in 2023. In deze eindrapportage zullen ook de resultaten van de afzonderlijke jaren met elkaar worden vergeleken.

Per maand zijn op iedere locatie vier compartimenten verzameld voor de lengtemetingen. Dit komt neer op maximaal 4x25= 100 mosselen per toren. Door sterfte zijn minder mosselen doorgemeten dan de 100 die bij de start aanwezig waren (Tabel 3). De overleving is berekend door het aantal levende mosselen te delen door het aantal mosselen dat er aan de start van het experiment in de mandjes is gedaan.

Tabel 3. Overzicht van het aantal mosselen waarvan de lengte is gemeten per locatie en datum van de bemonstering.

Datum	GR 1	GR 1	GR 2	GR 2	OS 1	OS 1	OS 2	OS 2
	Bodem	Top	Bodem	Top	Bodem	Top	Bodem	Top
9 juni 2022	86	92	90	93	80	80	0	87
8 juli 2022	84	77	82	72	72	73	66	70
1 aug 2022	75	77	70	73	65	67	68	74
8 sept 2022	69	71	0	72	63	66	70	66
10 okt 2022	75	67	0	67	60	68	53	67

## 2.3 Data analyse mosselgroei

De resultaten van de metingen zijn uitgezet in tijdreeksen vanaf de start van de meting (28 april 2022) tot 10 oktober 2022 toen de meting is beëindigd. Per bemonsteringsdatum zijn voor de overleving en groei van de mosselen de 25- en 75-percentielen voor alle metingen berekend om de bandbreedte van de observaties visueel weer te geven. In dezelfde figuur zijn de gemiddelde waarden van de metingen per locatie geplott.

Van de laatste meting (24 oktober 2022) zijn boxplots gemaakt en zijn de verschillen tussen de locaties getest door middel van een ANOVA gevolgd door een Tukey HSD pairwise *post-hoc* comparison ( $\alpha=0.05$ ). Voor de vleespercentages zijn de resultaten daarbij eerst getransformeerd door middel van een arcsinus-wortel transformatie om te kunnen voldoen aan de aannames die nodig zijn bij deze statistische tests.

Met de ANOVA is alleen getoetst op een bepaald moment (eind van de meting), waarbij als waarde van  $\alpha$  0.05 is gebruikt. Om te toetsen of er ook verschillen zijn in het patroon door het jaar heen is er aanvullend ook een GAM (Generalized Additive Model) analyse uitgevoerd. De verschillen tussen de locaties zijn getoetst door het volledig model, zonder locatie als co-variabele, te vergelijken met een model waarbij locatie is meegenomen als co-variabele. De GAM modellen zijn uitgevoerd op de individuele metingen (per mossel voor lengte of per compartiment voor de gewichten). De modellen zijn hierdoor gewogen voor het aantal observaties.

---

## 2.4 Metingen zuurstof en temperatuur

Op iedere locatie is de watertemperatuur is gemeten met een Hobo data logger (Water temperature Pro V2 Data Logger). Iedere 10 minuten is de watertemperatuur gemeten op de bodem en in de waterkolom (top). De dataloggers zijn na de laatste bemonstering (10 oktober 2022) uitgelezen.

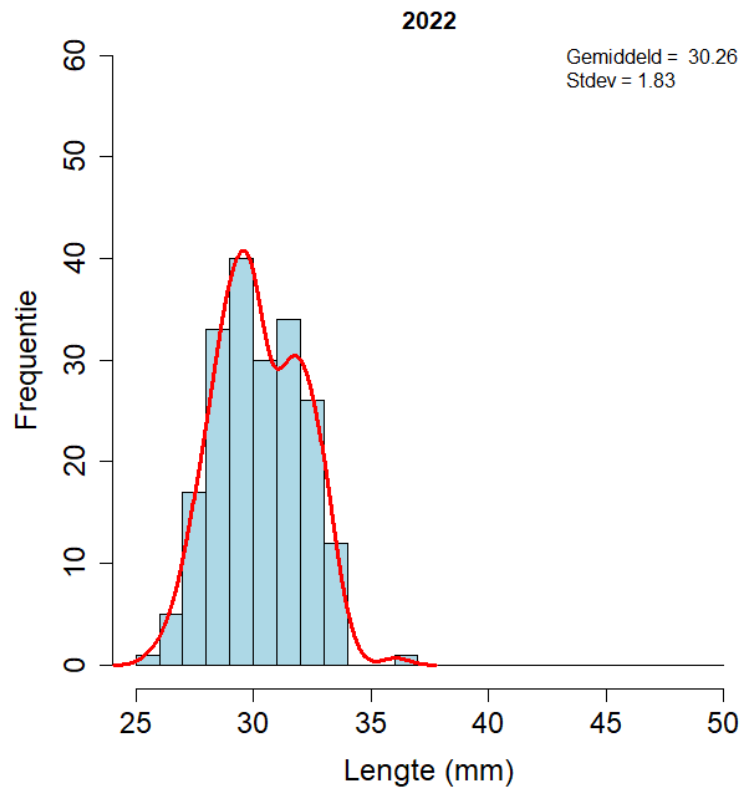
Op de bodem zijn de zuurstofconcentraties van het water en de water temperatuur geregistreerd met behulp van een Hobo zuurstof logger (Dissolved Oxygen Data Logger #U26-001). Een optische sensor meet de zuurstof concentratie in  $\text{mg l}^{-1}$ . De zuurstofconcentratie is ieder half uur gemeten. Vanwege het verlopen van de houdbaarheidsdatum zijn de sensoren op de locaties Gr 2, OS 1 en OS 2 bij de bodem begin september gestopt met meten waardoor er vanaf 3 september geen metingen van zuurstofconcentratie en watertemperatuur beschikbaar zijn.

Van zowel de temperatuurmetingen als de zuurstofmetingen is het lopend gemiddelde (dag) berekend.

## 3 Resultaten

### 3.1 Initiële lengtefrequentieverdeling

De gemiddelde lengte van de 200 mosselen die zijn doorgemeten bij aanvang van het experiment was 30.3 mm (st. dev 1.8 mm.) (Figuur 4).

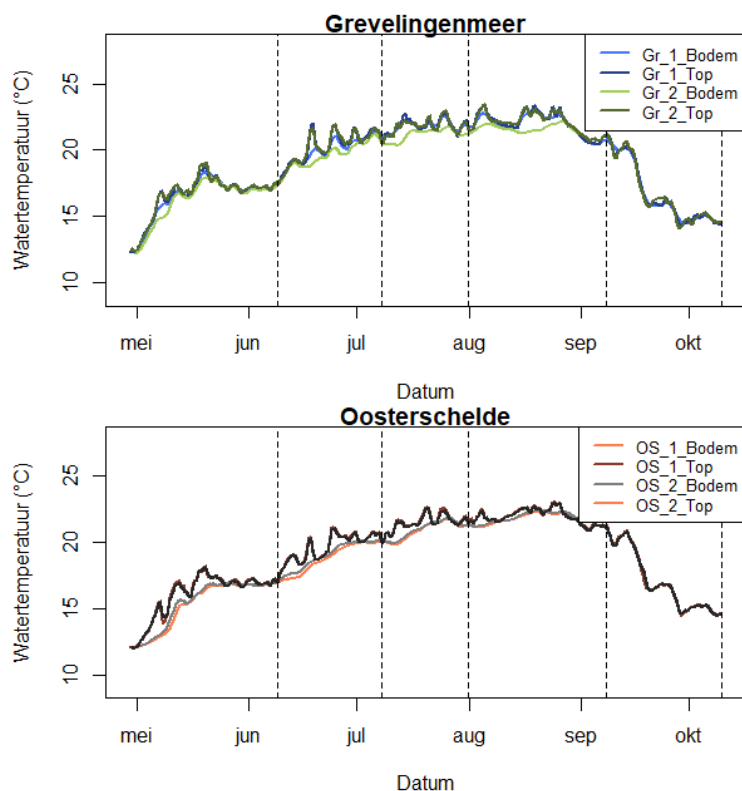


Figuur 4: Lengte frequentieverdeling van de 200 mosselen bij de aanvang van het experiment (28 april 2022). De rode getrokken lijn geeft de gefitte kansdichtheidsfunctie weer.

### 3.2 Temperatuur en zuurstofverloop

In Figuur 5 is het temperatuurverloop te zien over de verschillende locaties. Op de locaties Gr 2, OS 1 en OS 2 zijn voor de bodem geen metingen beschikbaar na 3 september 2022. Bij de aanvang van het experiment in april was het water nog relatief koud (ca 12 °C). Er is vrijwel geen verschil in watertemperatuur tussen de bodem en bovenin de waterkolom. In de maand mei neemt de temperatuur snel toe en eind juni / begin juli is de watertemperatuur aan de oppervlakte al meer dan 20 °C. De hoogste watertemperaturen (c.a. 23.5°C) zijn eind augustus gemeten aan het wateroppervlak. In de maand september neemt de watertemperatuur snel af.

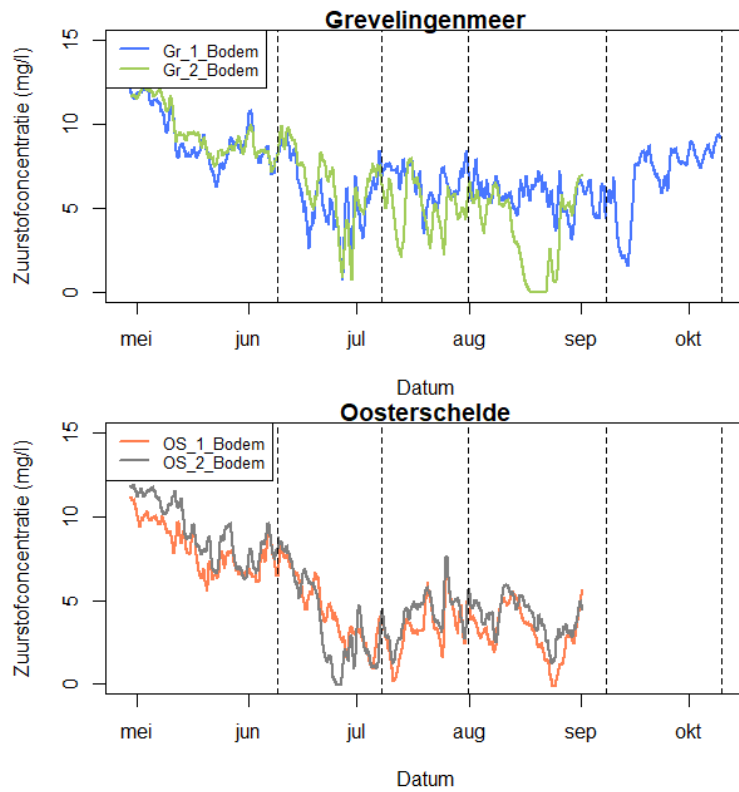
De metingen aan het wateroppervlak (Gr 1 top, Gr 2 top, OS 1 top en OS 2 top) zijn vrijwel identiek aan elkaar en vertonen meer fluctuaties dan de metingen nabij de bodem. Op een aantal momenten is de watertemperatuur bij de bodem lager dan bovenin de waterkolom. Dit is een aanwijzing voor temperatuurstratificatie van de waterkolom. De stratificatie treedt zowel op in het Grevelingenmeer als in de Oosterschelde. In het Grevelingenmeer is de temperatuurstratificatie op de locatie Gr 1 minder dan op de diepere locatie Gr 2.



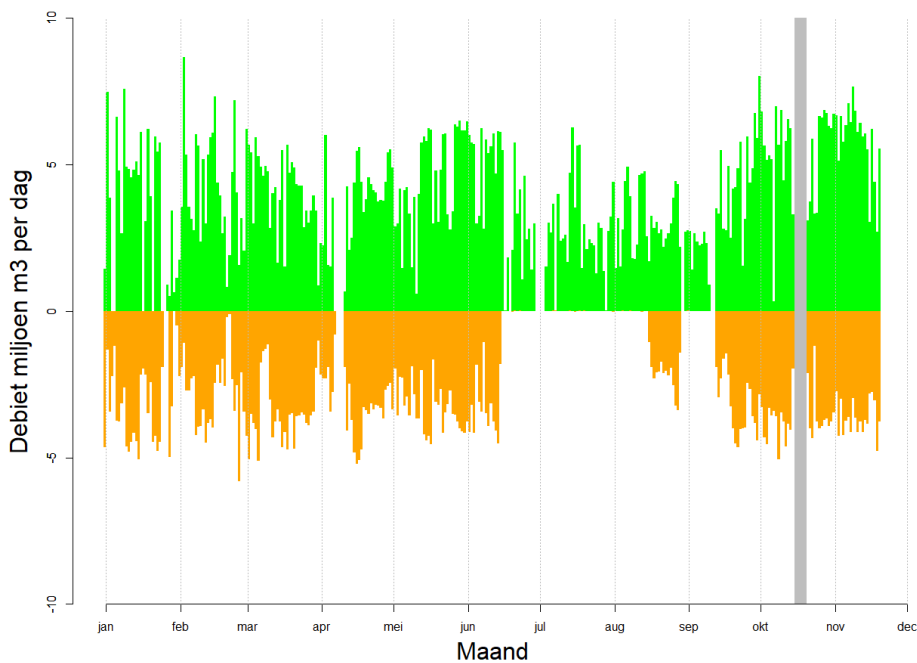
Figuur 5: Lopend gemiddelde watertemperatuur op de locaties in het Grevelingenmeer (boven) en de Oosterschelde (onder). De verticale stippellijnen geven de bemonsteringsmomenten weer.

De zuurstofconcentratie op zowel de monitoringslocaties in het Grevelingenmeer als de locaties in de Oosterschelde nemen in de maand mei af (Figuur 6). Dit heeft deels te maken met de afname van de verzadigingsconcentratie met de toenemende watertemperatuur in deze periode. Op de momenten met temperatuurstratificatie neemt vaak ook de zuurstofconcentratie nabij de bodem af. Dit is bijvoorbeeld goed te zien eind juni en ook half augustus. De laagste zuurstofconcentraties worden gemeten in de periode tussen half juni en half september. Dit is niet alleen het geval in het Grevelingenmeer, maar ook in de Oosterschelde worden in deze periode lage zuurstofconcentraties gemeten. Op de locatie Gr 2 bodem is de zuurstofconcentratie in de tweede helft van augustus zeer laag en van 16 augustus tot 22 augustus is het water nabij de bodem een aaneengesloten periode zuurstofloos. Ook op de locaties in de Oosterschelde is het water nabij de bodem ook een aantal maal zuurstofloos, maar dit is steeds van korte duur.

In Figuur 7 is te zien dat vanaf half juni tot half augustus en begin september geen water van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde wordt toegelaten via de Flakkeese spuisluis. Dit is om te voorkomen dat er toxische algen en toxinen van het Grevelingenmeer naar de mosselkweekgebieden in de Oosterschelde stromen. In deze periode stroomt er nog wel water van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer door de spuisluis. In Figuur 6 is te zien dat de laagste zuurstofconcentraties in de Oosterschelde worden gemeten op de momenten dat er geen water van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde wordt toegelaten. In 2022 is de spuicapaciteit van de Flakkeese spuisluis niet volledig benut doordat een aantal van de zes beschikbare kokers niet volledig zijn gebruikt. In de maanden januari tot en met september was het gemiddelde debiet naar het Grevelingenmeer  $44.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en het gemiddelde debiet naar de Oosterschelde was  $28.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .



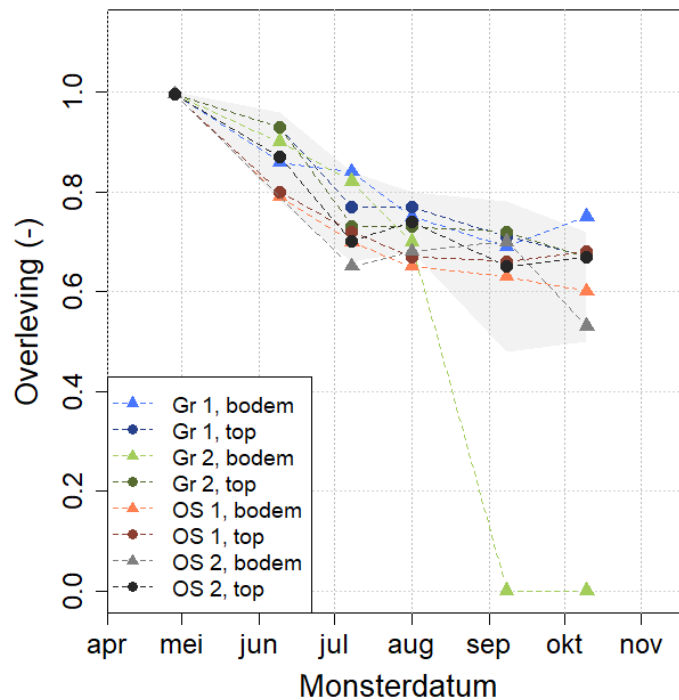
Figuur 6: Lopend gemiddelde van de zuurstofconcentratie nabij de bodem voor de locaties in het Grevelingenmeer (boven) en Oosterschelde (onder). De verticale stippellijnen geven de bemonsteringsmomenten weer.



Figuur 7: Debiten (miljoen  $m^3 d^{-1}$ ) door de Flakkeese spuisluis in 2022 (tot 20 november). Positieve debieten zijn naar het Grevelingenmeer en negatieve debieten zijn naar de Oosterschelde. Voor de periode 15 tot en met 20 oktober zijn er geen metingen beschikbaar (Data Piet Lieveense, Rijkswaterstaat).

### 3.3 Overleving

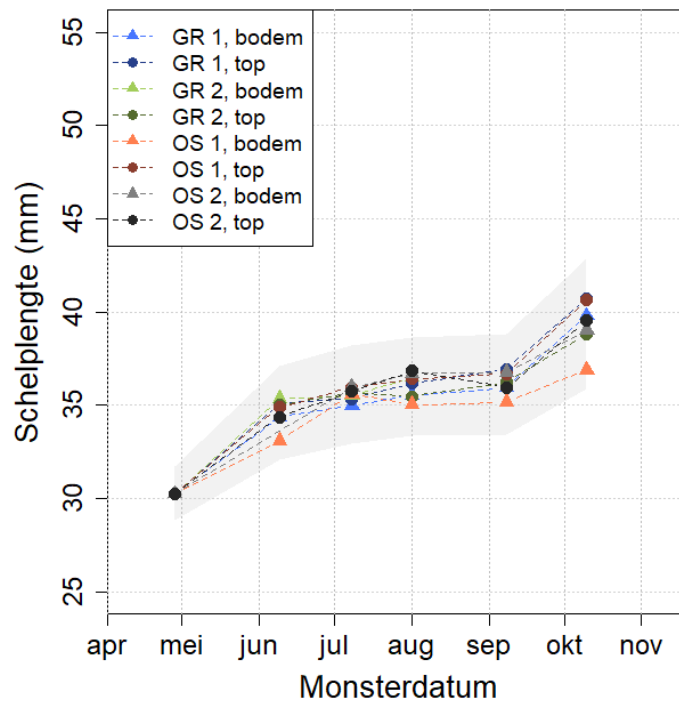
In Figuur 8 is de overleving van de mosselen in de mandjes weergegeven in de tijd. De gemiddelde overleving van de mosselen aan het eind van het experiment (10 oktober) was 57%. Dit is lager dan de gemiddelde overleving van de mosselen in 2017 (79%, Wijsman et al., 2017). In de figuur is duidelijk te zien dat de mosselen op de locatie Gr 2 bij de bodem na de meting van 1 augustus allemaal dood zijn gegaan. Dit zou het gevolg kunnen zijn van de lage zuurstofconcentraties en de periode van zuurstofloosheid in de maand augustus op deze locatie (zie Figuur 6). Op de locaties in de Oosterschelde, waar het water nabij de bodem ook zuurstofloos is geweest, is de overleving bij de bodem weliswaar lager dan bovenin de waterkolom, maar de mosselen zijn niet allemaal overleden.



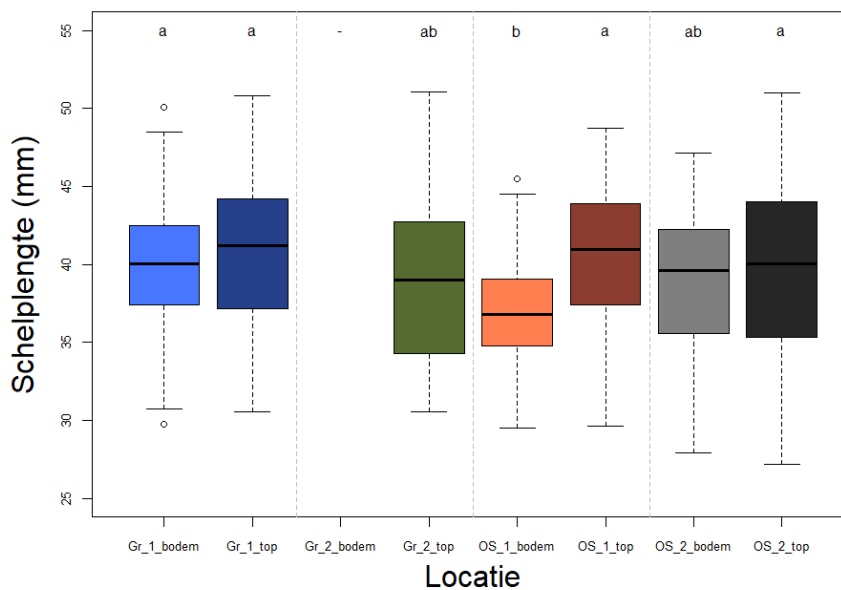
Figuur 8: Fractie overleving (-) van de mosselen in de mandjes op de verschillende locaties.

### 3.4 Schelplengte

De mosselen in de mandjes zijn niet veel gegroeid in 2022 (Figuur 9). De gemiddelde lengte is toegenomen van 30.2 mm op 28 april tot 39.4 mm op 10 oktober. Vooral in de zomerperiode is er weinig groei. De minste groei is waargenomen op de bodem van locatie OS 1. De gemiddelde lengte aan het eind van de meting is op die locatie significant lager dan op de locaties Gr 1 bodem, Gr 1 top, OS 1 top en OS 2 top (Figuur 10). De groei is aanzienlijk minder dan in 2017 waar vooral de mosselen in de mandjes boven in de waterkolom harder groeiden dan de mosselen in de mandjes op de bodem. Ook in 2016 was de groei in de mandjes boven in de waterkolom beter dan op de bodem. Mogelijk hebben de mosselen boven in de waterkolom in 2022 last gehad van aangroei op de mandjes of van de relatief hoge watertemperaturen (Kamermans en Saurel, 2022).



Figuur 9: Ontwikkeling van de gemiddelde schelplengte (mm) per locatie. Het grijze gebied geeft het 25% - 75% interval van alle metingen in betreffende periode.

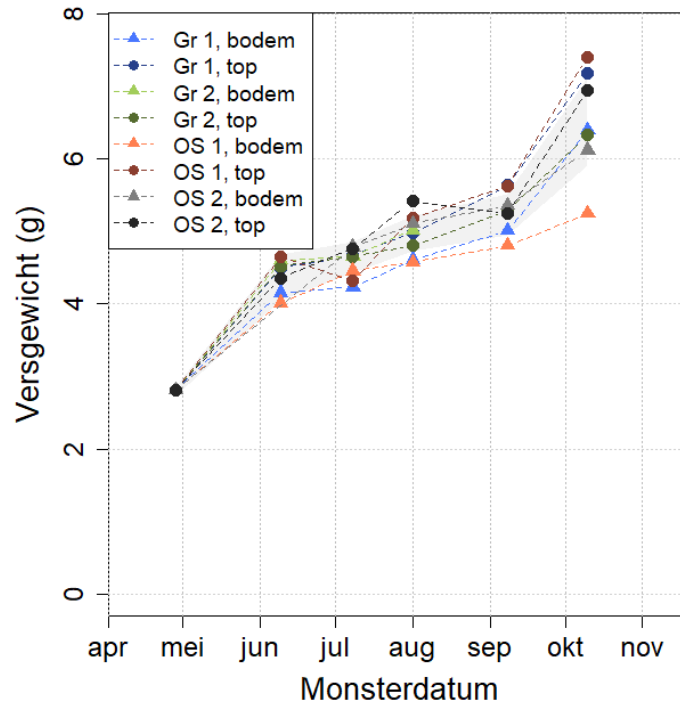


Figuur 10: Boxplots schelplengte voor de verschillende locaties bij de laatste meting (10 oktober 2022). De horizontale lijn in de box geeft de mediaan. De boxen geven de 25-75 percentielen weer en de bars 1.5 x de interkwartielrange. Locaties met zelfde letter boven de box zijn niet significant verschillend van elkaar.

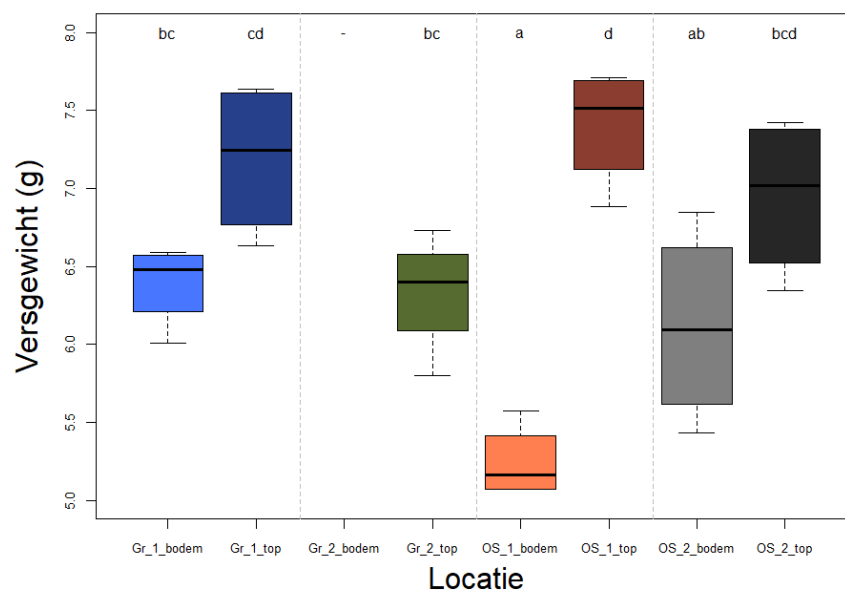


### 3.5 Gewicht

Het gemiddeld versgewicht (inclusief schelp) van de mosselen is toegenomen van 2.8 g op 28 april naar 6.5 g op 10 oktober (Figuur 11). De minste gewichtstoename is opgetreden op de bodem van locatie OS 1. De meeste gewichtstoename aan het eind van het experiment is te zien bovenin de waterkolom van de locaties OS 1, OS 2 en Gr 2 (Figuur 12). De verschillen in versgewicht met de mosselen op de bodem zijn in 2022 minder uitgesproken dan in 2016 en 2017. De mosselen bovenin de waterkolom op locatie Gr 1 hadden een vergelijkbaar gewicht als de mosselen op de bodem van de locaties Gr 1 en OS 2.



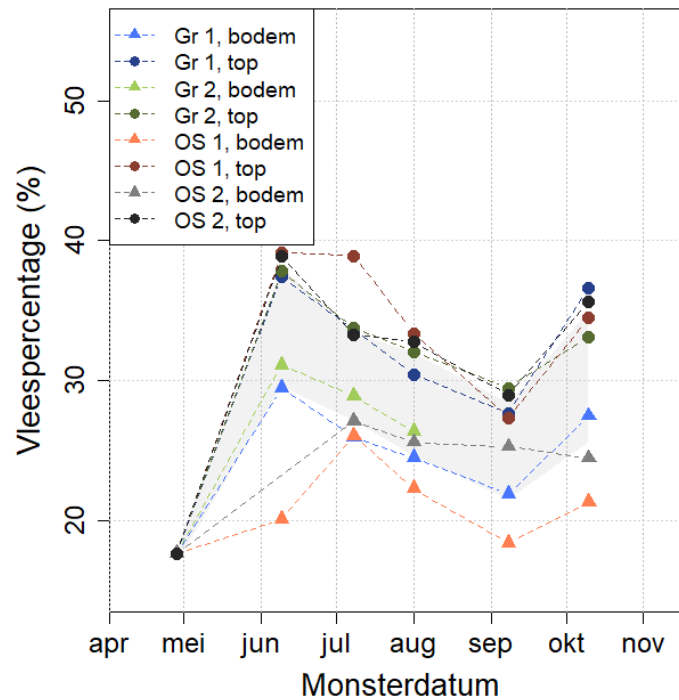
Figuur 11: Ontwikkeling van het gemiddelde versgewicht (g) per locatie. Het grijze gebied geeft het 25% - 75% interval van alle metingen in betreffende periode.



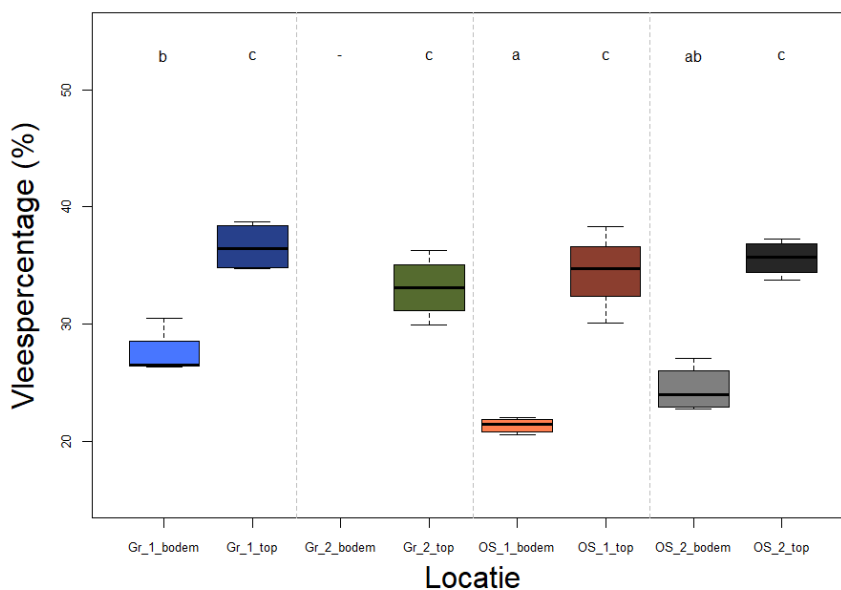
Figuur 12: Boxplots versgewicht (g) voor de verschillende locaties bij de laatste meting (10 oktober 2022). Locaties met zelfde letter boven de box zijn niet significant verschillend van elkaar.

### 3.6 Vleespercentage

Het vleespercentage piekt in juni/juli en neemt daarna weer af tot september (Figuur 13). In de maanden september / oktober neemt het vleespercentage van de mosselen weer toe. De vleesgewichten van de mosselen in de mandjes bovenin de waterkolom zijn over de hele periode duidelijk hoger dan de vleespercentages van de mosselen nabij de bodem. Dit is in overeenstemming met de resultaten van de metingen in 2016 en 2017. Ook aan het eind van het experiment (Figuur 14) is te zien dat op alle vier de locaties, de vleespercentages van de mosselen bovenin de waterkolom (gemiddeld 34.9%) significant hoger zijn dan de vleespercentages van de mosselen op de bodem (gemiddeld 24.4%). Er is geen significant verschil in vleespercentages tussen de locaties bovenin de waterkolom. Op de bodem zijn de vleespercentages op locatie OS 1 significant lager dan op de locatie Gr 1.



Figuur 13: Ontwikkeling van de gemiddelde vleespercentage (%) per locatie. Het grijze gebied geeft het 25% - 75% interval van alle metingen in betreffende periode.

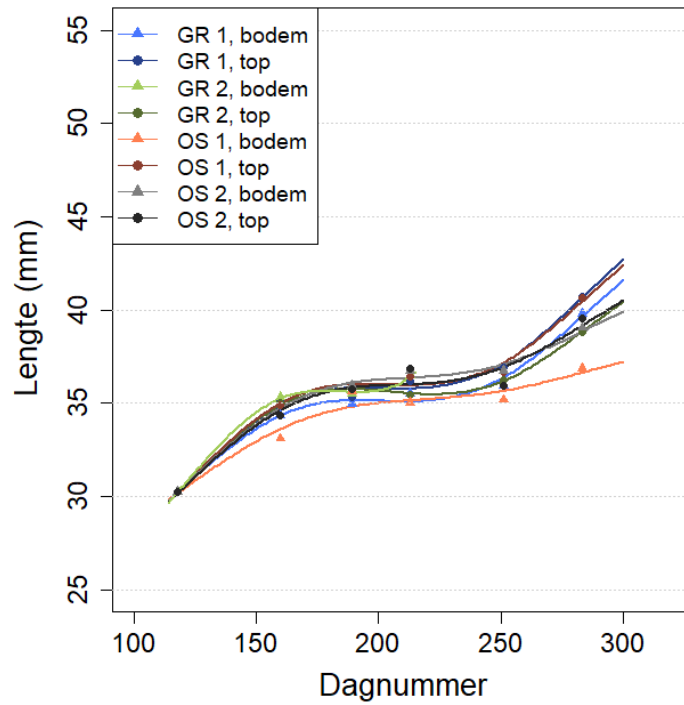


*Figuur 14: Boxplots vleespercentage schelpenlengte voor de verschillende locaties bij de laatste meting (10 oktober 2022). Locaties met zelfde letter boven de box zijn niet significant verschillend van elkaar.*

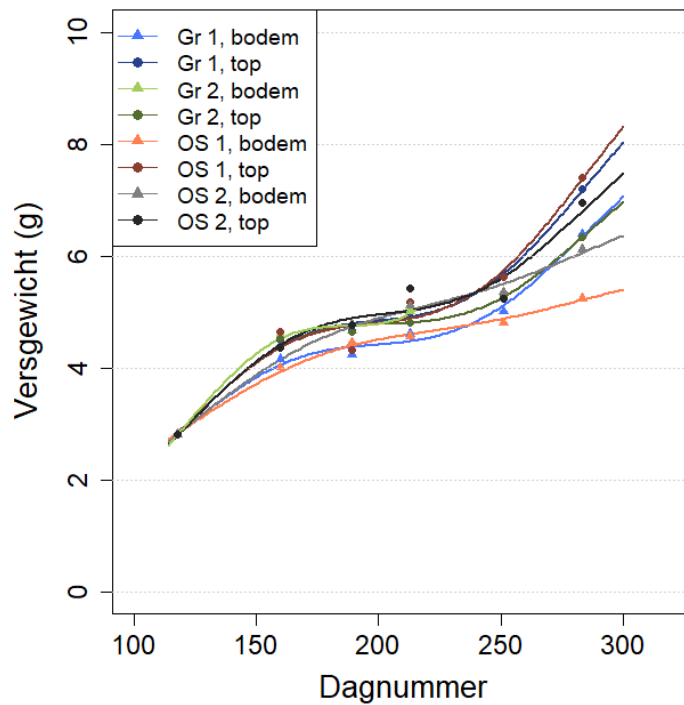
### 3.7 Trends door het seizoen

De trends door het seizoen zijn geanalyseerd door middel van GAM modellen. De regressielijnen (Figuur 15 tot Figuur 17) geven de resultaten voor de verschillende locaties. In de figuren is voor de leesbaarheid alleen de gemiddelde waarde van de meting weergegeven door middel van de stippen.

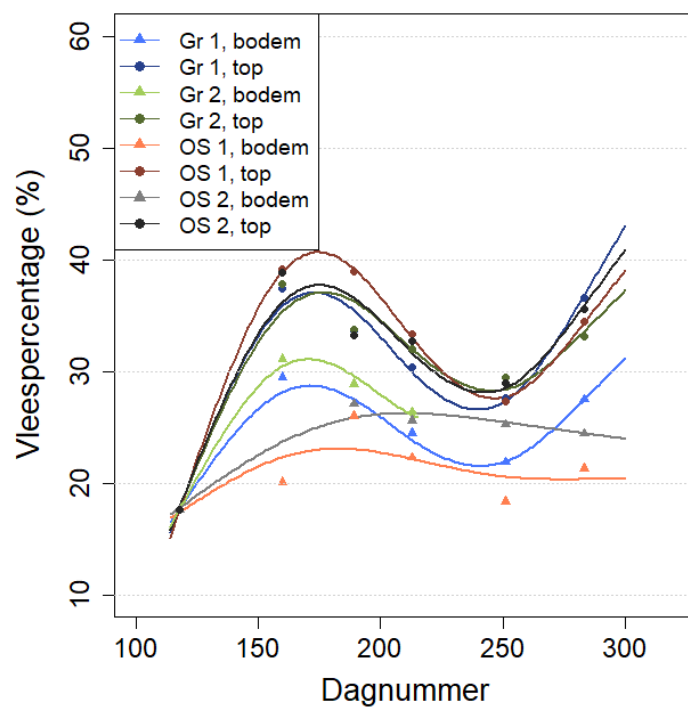
De GAM analyses van de lengte (Figuur 15) laten zien dat de groei een trend vertoont van een sterke groei aan het begin, daarna een stabilisatie in de maanden juli en augustus waarna de groei weer toeneemt in de maanden september en oktober. Over de hele periode blijft de groei van de mosselen op de bodem van locatie OS 1 achter. Dit zelfde patroon is ook terug te zien in de versgewichten (Figuur 16). In de eerste maand is de groei bovenin de waterkolom duidelijk beter dan op de bodem (met uitzondering van de groei op de bodem van locatie Gr 2). Vanaf juni nivelleert de groei op alle locaties en in de laatste maand neemt de groei vooral bovenin de waterkolom weer toe. De vleespercentages van de mosselen zijn over de hele periode duidelijk hoger bovenin de waterkolom dan op de bodem (Figuur 17). De vleesgewichten van de mosselen bovenin de waterkolom pieken in de maanden juni/juli op een vleespercentage van 35 tot 40%. In de maand augustus nemen de vleesgewichten van deze mosselen weer sterk af, maar in de maand september nemen de vleesgewichten weer toe.



Figuur 15: GAM regressie modellen voor de lengte ontwikkeling (mm) op de verschillende locaties. Op de x-as staat het dagnummer (1 januari 2022 is dag 1). De punten geven de gemiddelde waarden van de metingen. De lijnen geven de resultaten van de GAM regressie.



Figuur 16: GAM regressie modellen voor ontwikkeling versgewicht (g) op de verschillende locaties. Op de x-as staat het dagnummer (1 januari 2022 is dag 1). De punten geven de gemiddelde waarden van de metingen. De lijnen geven de resultaten van de GAM regressie.



*Figuur 17: GAM regressie modellen voor de ontwikkeling van het vleespercentage (%) op de verschillende locaties. Op de x-as staat het dagnummer (1 januari 2022 is dag 1). De punten geven de gemiddelde waarden van de metingen. De lijnen geven de resultaten van de GAM regressie.*

---

## 4 Conclusies

De waterkwaliteit nabij de bodem in het Grevelingenmeer, in de buurt van de Flakkeese Spuisluis is verbeterd ten opzichte van de situatie van voor de ingebruikname. De groei en overleving van de mosselen was weliswaar minder dan in 2017, maar de overleving van de mosselen op de bodem in het Grevelingenmeer was beter dan tijdens de T<sub>0</sub> monitoring in 2016 (Wijsman et al., 2016) waarbij alle mosselen op de bodem van locatie Gr 2, waarschijnlijk ten gevolge van zuurstofloosheid, binnen een maand dood waren. In 2022 is er geen extreme sterfte opgetreden onder de mosselen op de bodem van de locatie Gr 1, maar op de locatie Gr 2 zijn de mosselen op de bodem in de maand augustus doodgegaan, waarschijnlijk als gevolg van zuurstofloosheid nabij de bodem. De gemiddelde overleving van de mosselen over de 6 maanden dat het experiment duurde was 57%..

In 2022 zijn periodes van zuurstofloosheid waargenomen nabij de bodem in het Grevelingenmeer (Gr 2) en ook in de Oosterschelde (OS 1 en OS 2). Deze periodes vallen samen met temperatuurstratificatie van de waterkolom. In de Oosterschelde hebben de mosselen deze periode van zuurstofloosheid overleefd, maar op de locatie Gr 2 zijn alle mosselen op de bodem overleden door de relatief langdurige periode van zuurstofloosheid in de tweede helft van augustus.

Er was geen duidelijk verschil in groei van de mosselen in de vlak onder het wateroppervlak hangende manden tussen de verschillende locaties. De mosselen zijn in de 6 maanden ruim twee keer zo zwaar geworden (van 3 gram naar 6.5 gram per individu) en het vleespercentage was tussen de 30% en 40%. Dit is minder dan groei van de mosselen in 2017. Dit kan komen door de kwaliteit van de, relatief kleine, mosseltjes aan de start van het experiment maar kan ook het gevolg zijn van de aangroei op de mandjes en/of de relatief hoge watertemperaturen (Kamermans en Saurel, 2022). De mosselen die zijn uitgezet op de bodem groeiden minder dan in de waterkolom. De beste groei van alle manden op de bodem is nog behaald op locatie Gr 1, waar de mosselen aan het eind van het experiment gemiddeld iets meer dan 6 gram waren. Het vleespercentage op deze locatie was ongeveer 27%. De slechtste groei was op de bodem van locatie OS 1. De mosselen waren aan het eind van het experiment net iets meer dan 5.2 gram (2.2 gram in gewicht toegenomen) en het gemiddelde vleespercentage was slechts 21.3%. Blijkbaar zijn de omstandigheden op de bodem aanzienlijk minder dan in de waterkolom. Dit kan te maken hebben met verminderde voedselbeschikbaarheid, maar ook met stressoren (zuurstofconcentratie, zwevend stofconcentratie) die leiden tot groeivertraging. De productie van micro-algen (voedsel voor de mosselen) vindt voornamelijk bovenin de waterkolom plaats, waar het meeste licht beschikbaar is. Als er weinig getijdenbeweging is en/of menging door de wind kan het voedsel niet voldoende naar de bodem worden getransporteerd.

Deze rapportage betreft de resultaten van de T<sub>2</sub> monitoring die is uitgevoerd in 2022. Eerdere rapportages beschrijven de resultaten van de T<sub>0</sub> en T<sub>1</sub> monitoring die zijn uitgevoerd in respectievelijk 2016 en 2017. De monitoring zal worden voortgezet in 2023. Er zal dan ook een eindrapportage worden gemaakt waarin de verschillende jaren met elkaar zullen worden vergeleken en in het bijzonder de situatie vóór en ná ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. Het verwachte invloedgebied van de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis ligt ten oosten van de Veermansplaat (Zijl en Nolte, 2006, Didderen en Driessen, 2017), maar het meeste effect zal in de buurt van de sluis zelf liggen, waar dit onderzoek is uitgevoerd. De resultaten van deze studie kunnen worden gebruikt voor de eventuele aanleg van een groter doorlaatmiddel in de Brouwersdam (Witteveen en Bos, 2012).

---

## 5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

---

# Literatuur

- Didderen, K. en F.M.F. Driessen (2017). Verspreiding van witte bacteriematten en schade aan het bodemleven in het Grevelingenmeer V. Zomer 2017. Metingen in het oostelijke deel in het eerste jaar na ingebruikname Flakkeese spuisluis (T1). Bureau Waardenburg. Rapport nummer: 17-159.
- Haas, H.A., P.R.A. Van Der Linden en H. Holzhauer (2006). Flakkeese Spuisluis in ere hersteld. Studie naar de effecten van de ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis op het Grevelingenmeer. RIKZ. Rapport nummer: 2006.022. 44 paginas.
- Kamermans, P. en C. Saurel (2022). Interacting climate change effects on mussels (*Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis*) and oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*): experiments for bivalve individual growth models. *Aquatic Living Resources* 35:16.
- Meysman, F.J.R., N. Risgaard-Petersen, S.Y. Malkin en L.P. Nielsen (2015). The geochemical fingerprint of microbial lon-distance electron transport in the seafloor. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 152:122-142.
- Smaal, A.C. en J.W.M. Wijsman (2014). Kansen voor schelpdiercultuur in Grevelingen en Volkerak-Zoommeer bij ander waterbeheer. IMARES. Rapport nummer: C045/14. 32 paginas.
- Wijsman, J.W.M. (2002). Stratificatie en zuurstofdeficiëntie in het Grevelingenmeer. RIKZ Middelburg. Rapport nummer: RIKZ/AB/2002.819X. 64 paginas.
- Wijsman, J.W.M., E. Brummelhuis en A.C.M. Van Gool (2016). Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis. Resultaten T<sub>0</sub> bemonstering 2016. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C126/16. 33 paginas.
- Wijsman, J.W.M., A. Gool en J. Van der Pool (2017). Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis. Resultaten T<sub>1</sub> bemonstering 2017. Wageningen Marine Research, Yerseke. Rapport nummer: C106/17. 30 paginas.
- Wijsman, J.W.M., P.C. Goudswaard, M.J.J. Kotterman en A.C. Smaal (2014). Quick scan: Effecten zout getij Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer op visserij en aquacultuur. IMARES. Rapport nummer: C013/14. 52 paginas.
- Wijsman, J.W.M. en J. Van der Pool (2022). T<sub>0</sub> Monitoring effecten Innovatieve Zoet-Zout Scheiding Krammersluizen. Voortgangsrapportage 2022. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C033/22. 43 paginas.
- Witteveen en Bos (2012). MIRT Verkenning Grevelingen. Milieueffectrapport. Witteveen & Bos. 55 paginas.
- Zijl, F. en A.J. Nolte (2006). Effect van ingebruikname Flakkeese spuisluis op de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingenmeer. WL Delft Hydraulics. 104 paginas.



---

# Verantwoording

Rapport C083/22

Projectnummer: 4313100058

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

Akkoord: Dr. Pauline Kamermans  
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 13/12/2022

Akkoord: Dr. Tammo Bult  
Directeur Wageningen Marine Research

Handtekening:



Datum: 13/12/2022

---

Wageningen Marine Research  
T: +31 (0)317 48 70 00  
E: [marine-research@wur.nl](mailto:marine-research@wur.nl)  
[www.wur.nl/marine-research](http://www.wur.nl/marine-research)

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

---

**Wageningen Marine Research** levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'

---