



Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis

Eind rapport

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

Wageningen University &
Research rapport C081/23

Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis

Eindrapport

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

Wageningen Marine Research
Yerseke, november 2023

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C081/23

Keywords: Grevelingenmeer, waterkwaliteit, 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/10.18174/643208>
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
gevolg schade, 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

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doelstelling	6
1.3 Aanpak	7
1.4 Afbakening	7
1.5 Dankwoord	7
2 Materiaal en methoden	9
2.1 Onderzoekslocatie	9
2.2 Groeimetingen mosselen 2023	10
2.3 Data analyse mosselgroei en ontwikkeling	12
2.4 Vergelijk vóór en ná ingebruikname FSS	13
2.5 Metingen zuurstof en temperatuur	13
3 Resultaten	14
3.1 Initiële lengtefrequentieverdeling	14
3.2 Temperatuur en zuurstofverloop	14
3.3 Overleving	16
3.4 Schelp lengte	18
3.5 Gewicht	19
3.6 Vleespercentage	21
3.7 Trends door het seizoen	22
3.8 Vergelijk vóór en ná ingebruikname FSS	24
4 Conclusies	27
5 Kwaliteitsborging	30
Literatuur	31
Verantwoording	33
Bijlage 1 Lengte-frequentieverdelingen	34

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 is verbeterd, met name nabij de bodem waar tijdens de zomerperiode regelmatig zuurstofloosheid optreedt. Om deze veranderingen te kunnen monitoren zijn in 2016, 2017, 2022 en 2023 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. Doordat de mosselen telkens gedurende een periode van zes maanden zijn uitgezet, zijn de groeimetingen de resultante van de waterkwaliteit over die hele periode. De groei en ontwikkeling van de mosselen zijn daardoor een goede indicator voor de waterkwaliteit en -productiviteit. Naast de metingen aan mosselen zijn zowel in het Grevelingenmeer als in de Oosterschelde continue-metingen verricht met sensoren voor zuurstofconcentratie (alleen bij de bodem) en temperatuur (nabij de bodem en het wateroppervlak).

De monitoring is gestart in 2016, voordat de hevel in gebruik is genomen. In 2017, het eerste jaar na de ingebruikname van de hevel, is de T₁ 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 was de hevel weer operationeel waardoor de T₂ meting (2022) en T₃ meting (2023) konden worden uitgevoerd. In dit eindrapport worden de metingen gerapporteerd die zijn uitgevoerd in 2023 (T₃ meting). Tevens wordt er een vergelijking gemaakt tussen de situatie vóór (2016) en ná (2017, 2022 en 2023) ingebruikname van de Flakkeese spuisluis.

In de zomer van 2023 zijn de opstellingen in het Grevelingenmeer helaas verdwenen, waardoor er geen gegevens beschikbaar zijn na 9 augustus. Aan de Oosterscheldezijde zijn metingen wel volgens plan verlopen. Tussen 10 juli en 9 augustus zijn de mosselen op de bodem van de locatie Gr 2 doodgegaan, waarschijnlijk als gevolg van zuurstofdepletie. De gemiddelde overleving van de mosselen in de Oosterschelde aan het eind van het experiment (oktober) was 74%, waarbij de laagste overleving is gerapporteerd op de bodem van OS 2. De gemeten zuurstofconcentraties bij de bodem waren zeer laag op de locatie OS 2 eind augustus / begin september, maar de meeste mosselen hebben dit wel overleefd. De groei (lengte en gewicht) en de vleespercentages van de mosselen aan het wateroppervlak was beter dan de groei van de mosselen op de bodem.

De verzamelde gegevens over alle jaren laten zien dat de overleving en groei van de mosselen is verbeterd na de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. Dit geldt zowel voor de locaties in het Grevelingenmeer als in de Oosterschelde. De groei en overleving van de mosselen in het Grevelingenmeer was zelfs iets beter dan in de Oosterschelde, maar mogelijk heeft dat te maken met de nabijheid van de mosselhangcultuur bij de monitoringslocaties in de Oosterschelde. Over alle jaren was de groei bij de bodem duidelijk lager dan aan het wateroppervlak. Dit heeft mogelijk te maken met een betere voedselbeschikbaarheid en waterkwaliteit. Ook na de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis zijn er perioden met lage zuurstofconcentraties nabij de bodem.

De ingebruikname van de Flakkeese spuisluis heeft geleid tot een verbeterde uitwisseling van water tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Hierdoor is de waterkwaliteit (zuurstofcondities) aan de bodem van het Grevelingenmeer, binnen de directe invloedssfeer (enkele honderden meters) van de Flakkeese spuisluis verbeterd. Ook aan de Oosterscheldezijde is een verbetering opgetreden door de verbeterde uitwisseling van het water. Op basis van modelberekeningen is de verwachting dat de primaire productie in het Grevelingenmeer met 6% is toegenomen door de Flakkeese spuisluis, vooral in de directe omgeving van de spuisluis. Dit, in combinatie met de verbeterde verversing van het

water, zal leiden tot meer voedsel voor schelpdieren waardoor in potentie de mogelijkheden voor schelpdierkweek verbeteren. De bodemcultuur van oesters hebben echter steeds meer last van de zuurstofarme condities van het water boven de percelen. Hangcultuur waarbij schelpdieren worden gekweekt bovenin de waterkolom in de nabijheid van de Flakkeese spuisluis lijken daarom kansrijker.

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, Didderen en Driessen, 2017). Ook in de ondiepere delen worden regelmatig witte bacteriematten (*Beggiatoa*) aangetroffen (Didderen en Driessen, 2017) wat een indicatie is van zuurstofloosheid en de aanwezigheid van sulfide aan het oppervlak van de waterbodem. 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 werd de Flakkeese spuisluis tijdelijk gesloten voor de bouw van een Tidal Test Center. Dit Tidal Test Center is uiteindelijk niet gerealiseerd en na herstellende werkzaamheden is de Flakkeese spuisluis in januari 2022 opnieuw in werking gesteld.

De Flakkeese spuisluis 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 (Van Der Heijden en Nolte, 2022) en daarmee was het de verwachting dat ook de waterkwaliteit in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer, nabij de spuisluis zou verbeteren. 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 een mogelijk doorlaatmiddel in de Brouwersdam (Maarse et al., 2019, Wijsman et al., 2022, Jaspers en Hüsken, 2023, Ministerie I&M, 2023).

In een andere studie (Didderen 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 (twee locaties aan de Grevelingenmeerzijde en twee locaties aan de Oosterscheldezijde) uitgezet in mandjes op de bodem en 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. De verwachting was dat voor de ingebruikname 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 moeten 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 zou zijn dan in het Grevelingenmeer, vanwege een andere voedselbeschikbaarheid in het Grevelingenmeer dan in de Oosterschelde. Het was de verwachting dat er na de ingebruikname 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 afstanden van de spuisluis in het Grevelingenmeer (Gr 1 en Gr 2) en twee locaties in de Oosterschelde (OS 1 en OS 2). Omdat was verwacht dat de veranderingen in de waterkolom anders zouden 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 is geëvalueerd uit de verschillen in groei en overleving van de mosselen op de verschillende locaties vóór en ná de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis.

1.4 Afbakening

Dit rapport behelst de eindrapportage van de monitoring. In dit rapport worden de resultaten van de monitoring uit 2023 (T_3) gepresenteerd en vergeleken met de resultaten van de monitoring uit 2016 (T_0) (Wijsman et al., 2016), voordat de hevel in gebruik is genomen en de monitoring in 2017 (T_1) (Wijsman et al., 2017) en 2022 (T_2) (Wijsman en Van der Pool, 2022) waarbij de Flakkeese spuisluis operationeel was. Er is geen monitoring uitgevoerd in de jaren 2018 tot en met 2021 omdat de hevel toen niet operationeel was vanwege de bouw van het Tidal Technology Center Grevelingendam (TTC-GD).

1.5 Dankwoord

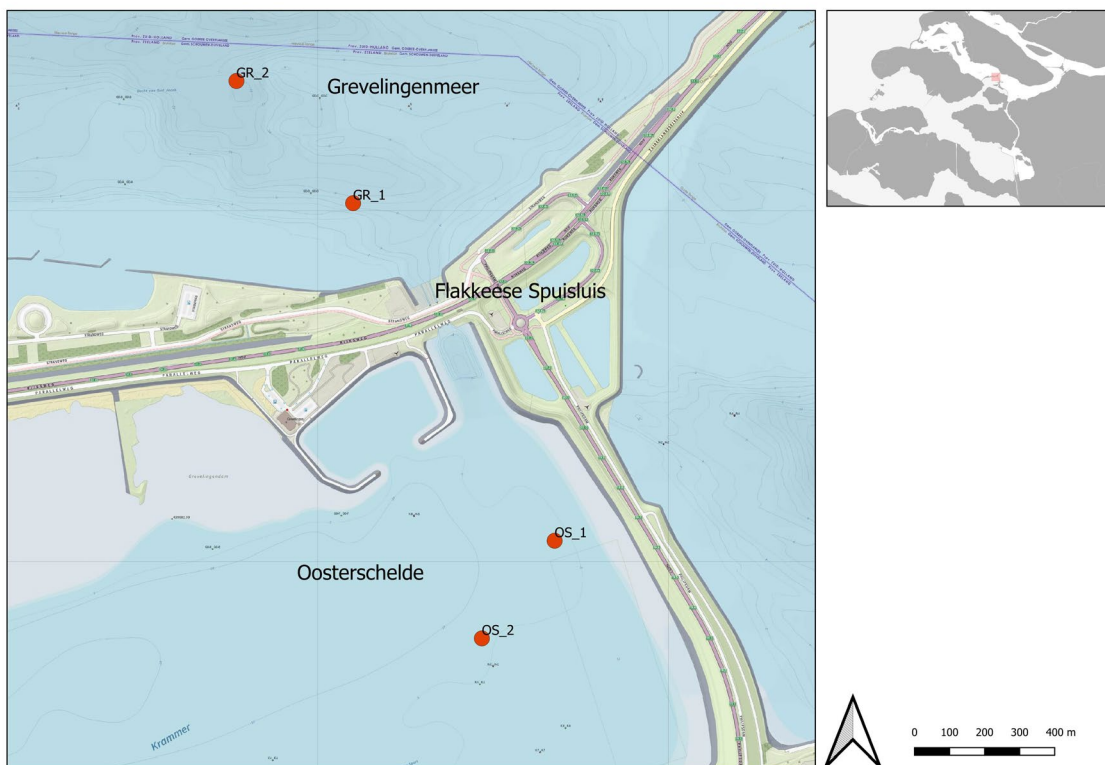
De bemonstering is uitgevoerd in samenwerking met de bemanning van de MS Regulus van de Rijksrederij. Hierbij willen we de bemanning danken, in het bijzonder Harry Heidekamp en Harry Blokland, voor de inzet en prettige samenwerking. Jesse van der Pool, Douwe van den Ende, Wouter Suykerbuyk, Jetze van Zwol, Jack Perdon, Suzanne Cornelisse, Ainhoa Blanco, Jildou Schotanus, Jennifer Chin en Emiel Brummelhuis (allen WMR) hebben meegewerkt aan de bemonsteringen en/of de analyses van de monsters in het lab. Paul Paulus, Marijn Tangelder, Alexander Nefs (allen RWS) en

Johan Craeymeersch (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 meter. 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 et al., 2023). 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 2023

Om de groei en overleving van mosselen te volgen zijn er in 2023 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 (2 mei 2023) zijn de compartimenten gevuld met 25 mosselen van ongeveer gelijke lengte (gemiddeld 3.9 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 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. Aan de torens zijn temperatuur- en zuurstofsensoren (alleen op de bodem) bevestigd om het verloop van de watertemperatuur en de zuurstofconcentratie te registreren. De resultaten van de metingen zijn opgeslagen in dataloggers.



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 halfwas mosselen die zijn gebruikt in dit experiment zijn opgevist 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. Omdat de geleverde mosselen dit jaar relatief groot waren, was het niet eenvoudig om voldoende mosselen van de juiste maat te selecteren waardoor de spreiding dit jaar groter was dan voorgaande jaren. Uit de opgeviste voorraad mosselen zijn ruim 6 000 mosselen uitgezocht van ongeveer 4 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 4 mei 2023 (Tabel 2). Ze zijn er weer uitgehaald op 9 oktober 2023. Er is maandelijks een bemonstering uitgevoerd. Per locatie zijn er telkens 2 torens bemonsterd, één van de bodem en één hangend in de waterkolom. 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. Tijdens de bemonstering van 9 augustus 2023 bleken de complete opstellingen Gr 1 en Gr 2 in het Grevelingenmeer te zijn verdwenen. Een zoektocht in de buurt heeft niets opgeleverd. Hierdoor zijn er geen meetgegevens van deze locaties na 10 juli 2023. Omdat hierdoor ook de temperatuur en zuurstofsensoren zijn kwijtgeraakt zijn ook deze gegevens verloren. Opnieuw uitzetten van nieuwe mosselen was geen optie, omdat de kwaliteit en afkomst van deze mosselen anders zou zijn en daardoor niet te vergelijken met de mosselen aan de Oosterscheldezijde.

Tabel 2. Overzicht van het aantal bemonsterde compartimenten per locatie en datum van de bemonstering (- = geen meting).

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
4 mei 2023	4	4	4	4	4	4	4	4
5 juni 2023	4	4	4	4	4	4	4	4
10 juli 2023	4	4	4 ¹	4	4	4	4	4
9 aug 2023	-	-	-	-	4	4	4	4
4 sept 2023	-	-	-	-	4	4	4	4
9 okt 2023	-	-	-	-	4	4	4	4

¹Alle mosselen waren dood

Na iedere bemonstering zijn de mosselen verwerkt op het lab. Het aantal levende 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 levende 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).

Per maand zijn op iedere locatie vier compartimenten verzameld voor analyse. Door sterfte zijn er over het algemeen 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 dat is geanalyseerd per locatie en datum van de bemonstering (- = geen meting).

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
5 juni 2023	90	91	92	88	92	94	90	92
10 juli 2023	94	83	0	78	84	89	81	83
9 aug 2023	-	-	-	-	87	84	74	87
4 sept 2023	-	-	-	-	79	81	66	75
9 okt 2023	-	-	-	-	81	77	61	79

2.3 Data analyse mosselgroei en ontwikkeling

De resultaten van de metingen zijn uitgezet in tijdreeksen vanaf de start van de meting (4 mei 2023) tot 9 oktober 2023 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.

Omdat de opstellingen in het Grevelingenmeer zijn verdwenen tussen 10 juli 2023 en 9 augustus 2023, zijn de resultaten van de laatste complete set van metingen (10 juli) met elkaar vergeleken middels boxplots. De verschillen tussen de locaties zijn getest door middel van een ANOVA gevolgd door een Tukey HSD pairwise *post-hoc* comparison ($\alpha=0.05$).

Met de ANOVA is alleen getoetst op een bepaald moment (eind van de meting), waarbij als waarde van α 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 Vergelijk vóór en ná ingebruikname FSS

Om het effect van de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis op de groei en ontwikkeling van de mosselen te onderzoeken kunnen de resultaten van de monitoring uit 2016, voordat de Flakkeese spuisluis in werking is genomen, worden vergeleken met de monitoring uit de jaren 2017 en 2022. In deze jaren was de Flakkeese spuisluis in gebruik. Helaas kan hierbij de monitoring uit het laatste jaar (2023) niet worden meegenomen omdat deze dataset niet volledig is omdat de mandjes in het Grevelingenmeer halverwege de monitoring zijn verdwenen.

De analyses zijn gedaan door een two-way ANOVA uit te voeren middels een lineair model. De analyse is uitgevoerd op de variabelen overleving (%), schelpgroei (mm d^{-1}), groei in versgewicht ($\% \text{ d}^{-1}$) en groei in asvrij drooggewicht ($\% \text{ d}^{-1}$). Als verklarende variabelen zijn gebruikt de factor locatie (Gr bodem, Gr top, OS bodem en OS top) en een factor moment die aangeeft of de meting is uitgevoerd voor of na ingebruikname van de Flakkeese spuisluis en de interactie tussen deze factoren. Indien de interactie niet significant ($p > 0.05$) was is een tweede model zonder interactie uitgevoerd. Ten slotte is er een one-way ANOVA uitgevoerd op de combinatie locatie en moment. Een Tukey *post-hoc* comparison is uitgevoerd om de significanties tussen de combinaties te berekenen.

2.5 Metingen zuurstof en temperatuur

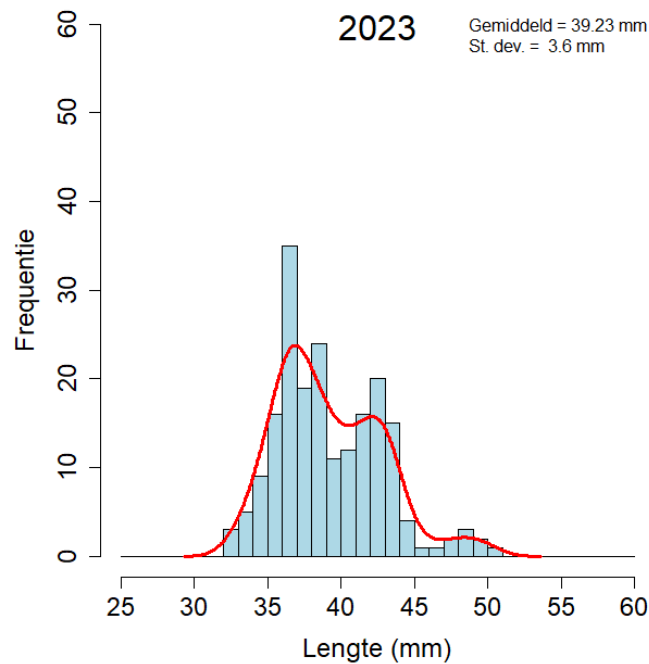
Op iedere locatie is de watertemperatuur gemeten met een Hobo datalogger (Water temperature Pro V2 Data Logger). De gemeten watertemperaturen op de bodem en bovenin de waterkolom zijn iedere 10 minuten opgeslagen op een datalogger.

Bij de bodem zijn de zuurstofconcentraties van het water en de water temperatuur geregistreerd met behulp van een Hobo zuurstoflogger (Dissolved Oxygen Data Logger #U26-001). Een optische sensor meet de zuurstofconcentratie van het water in mg l^{-1} . De zuurstofconcentratie is ieder half uur gemeten. De dataloggers zijn na de laatste bemonstering (9 oktober 2023) uitgelezen. Omdat de opstellingen in het Grevelingenmeer zijn verdwenen, was het ook niet mogelijk om de dataloggers uit te lezen waardoor er geen gegevens van het verloop van watertemperatuur en zuurstofconcentratie voor deze locaties beschikbaar is. Van zowel de temperatuurmetingen als de zuurstofmetingen is het lopend gemiddelde over een dag berekend.

3 Resultaten

3.1 Initiële lengtefrequentieverdeling

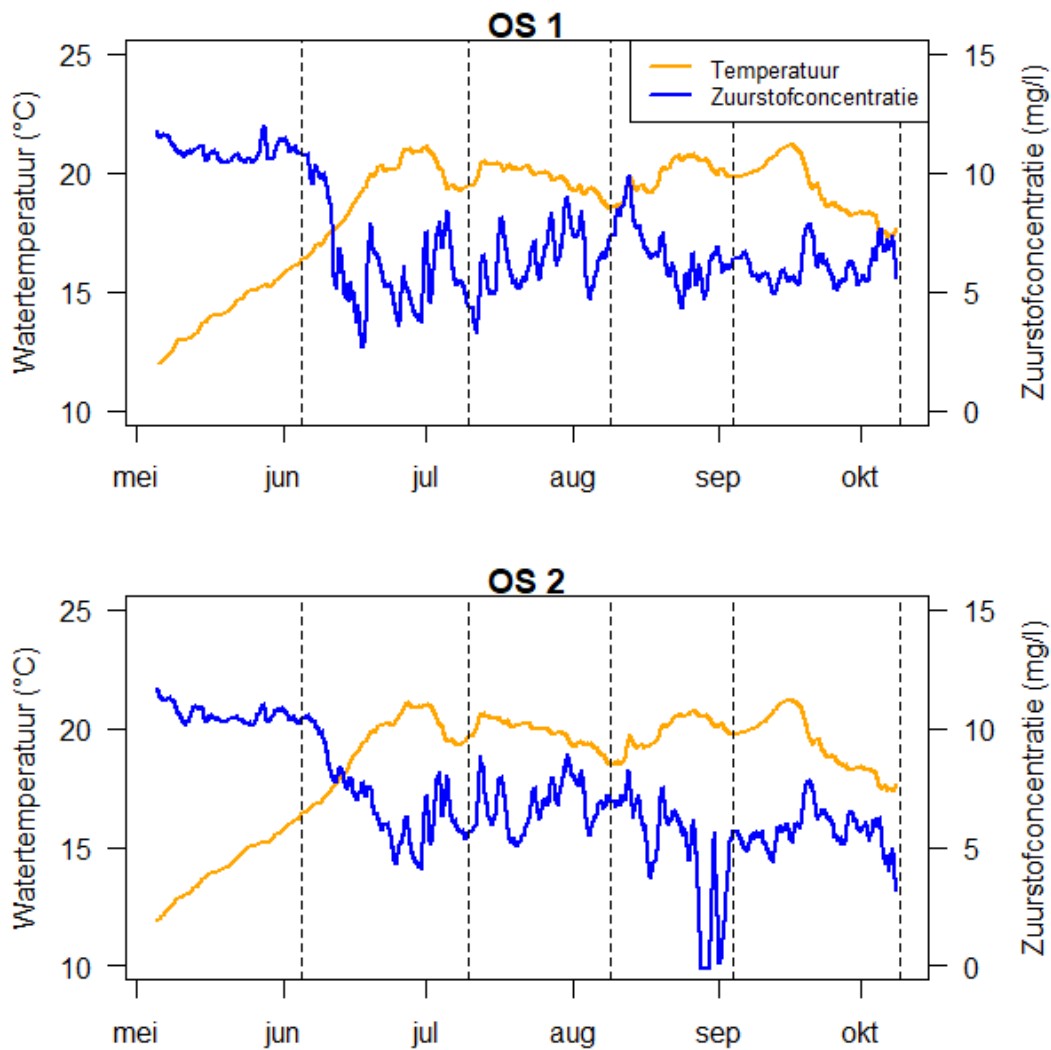
De gemiddelde lengte van de 200 mosselen die zijn doorgemeten bij aanvang van het experiment was 39.2 mm (st. dev. 3.6 mm) (Figuur 4). De spreiding van de lengtes was in 2023 groter dan voorgaande jaren omdat de geleverde mosselen dit jaar relatief groot waren waardoor het moeilijk was om voldoende kleine mosselen uit te zoeken van de gewenste lengteklasse.



Figuur 4: Lengte frequentieverdeling van de 200 mosselen bij de aanvang van het experiment (4 mei 2023). De rode getrokken lijn geeft de gefitte kansdichtheidsfunctie weer.

3.2 Temperatuur en zuurstofverloop

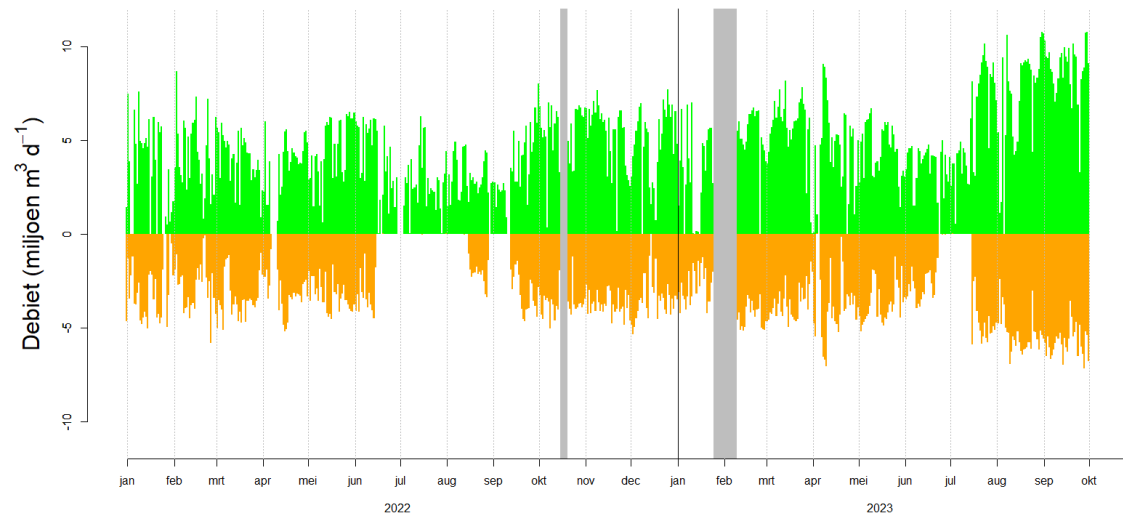
In Figuur 5 is het temperatuurverloop en de zuurstofconcentratie te zien voor de locaties OS 1 en OS 2 nabij de bodem. Voor de locaties in het Grevelingenmeer (Gr 1 en Gr 2) zijn geen metingen beschikbaar in 2023 omdat de opstellingen daar zijn verdwenen. Het verloop in watertemperatuur is zeer vergelijkbaar tussen beide locaties. Bij de aanvang van het experiment in april was het water nog relatief koud (ca. 12 °C). In de maanden mei en juni neemt de watertemperatuur snel toe tot meer dan 20 °C. De hoogste watertemperaturen (ca. 22.3°C) zijn eind juni gemeten op de locatie OS 1. Ook rond 11 september is de watertemperatuur nog hoog (> 22°C). Na half september neemt de watertemperatuur weer af.



Figuur 5: Lopend gemiddelde van de watertemperatuur (oranje) en zuurstofconcentratie (blauw) nabij de bodem voor de locaties in de Oosterschelde. De verticale stippellijnen geven de bemonsteringsmomenten weer.

De zuurstofconcentraties op beide monitoringslocaties in de Oosterschelde nemen af in de maand juni (Figuur 5). Dit heeft deels te maken met de afname van de verzadigingsconcentratie met de toenemende watertemperatuur in deze periode. Eind augustus / begin september neemt de zuurstofconcentratie van het water bij de bodem sterk af op de locatie OS 2 en het water is dan zelfs gedurende korte perioden zuurstofloos. Mogelijk heeft dit te maken met de afbraak van organisch materiaal van de hangcultuursystemen die vlak naast deze monitoringslocatie liggen.

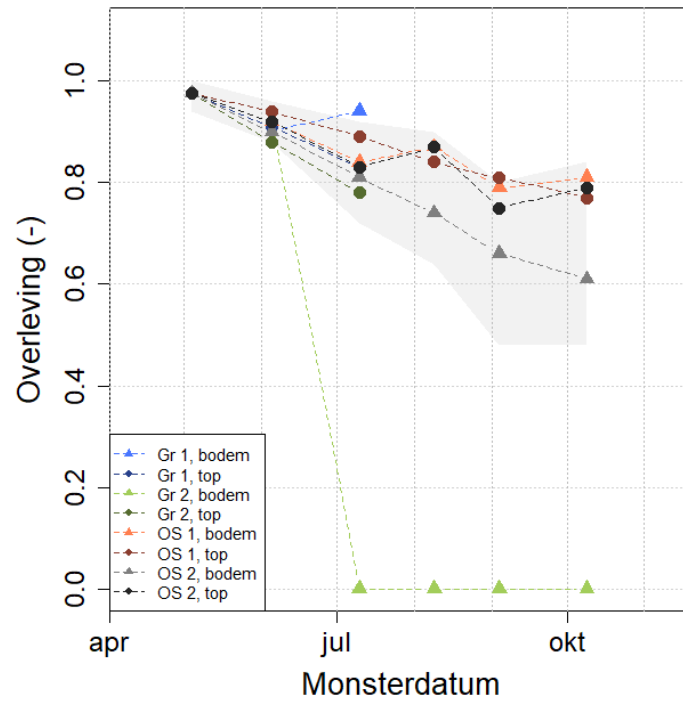
In Figuur 6 is te zien dat in de zomerperiode er op bepaalde momenten geen water wordt toegelaten vanuit het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde. Dit is om te voorkomen dat er toxinen (TTX) van het Grevelingenmeer naar de mosselkweekgebieden in de Oosterschelde stromen. In deze perioden stroomt er nog wel water van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer door de spuisluis. In 2022 was het daggemiddelde debiet naar het Grevelingenmeer $45.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en het daggemiddelde debiet naar de Oosterschelde was $29.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. In 2023 (gegevens tot 1 oktober) waren de gemiddelde debieten hoger. Het gemiddelde debiet naar het Grevelingenmeer was $63.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en het gemiddelde debiet naar de Oosterschelde was $44.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. De zuurstofdepletie bij de bodem van locatie OS 2 eind augustus begin september (Figuur 5) lijkt geen relatie te hebben met de Flakkeese spuisluis omdat deze in die periode in beide richtingen open stond.



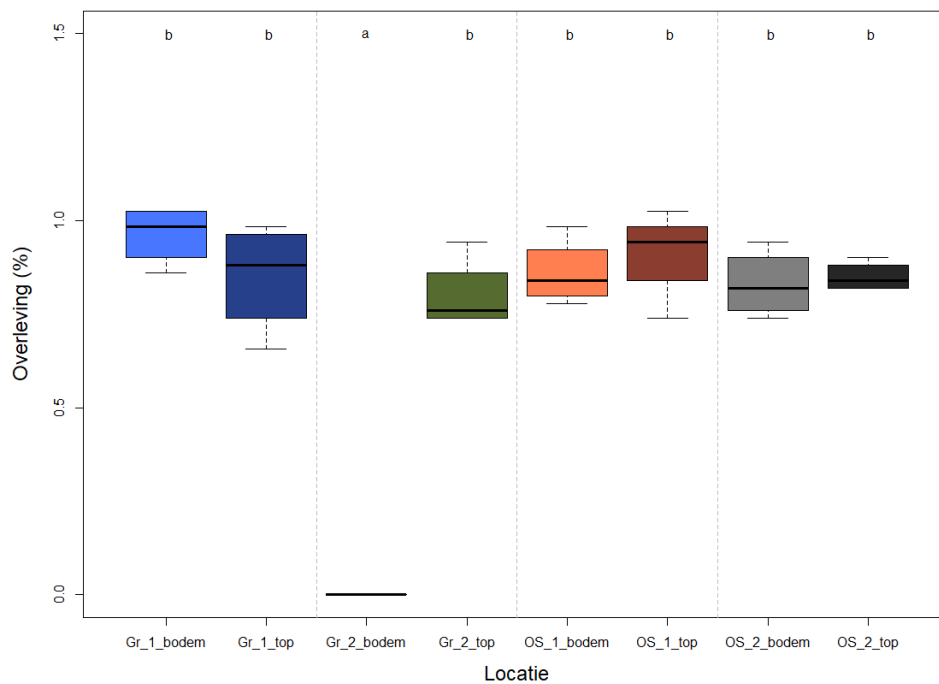
Figuur 6: Debieten (miljoen m³ d⁻¹) door de Flakkeese spuisluis in 2022 en 2023 (tot 1 oktober). Positieve debieten zijn naar het Grevelingenmeer en negatieve debieten zijn naar de Oosterschelde. Voor de in grijs aangegeven perioden zijn er geen metingen beschikbaar (Data Piet Lievense, Rijkswaterstaat).

3.3 Overleving

In Figuur 7 is de overleving van de mosselen in de mandjes over de tijd weergegeven. In de figuur is duidelijk te zien dat de mosselen op de locatie Gr 2 bij de bodem na de meting van 10 juli allemaal dood waren. Dit zou mogelijk het gevolg kunnen zijn van zuurstofdepletie nabij de bodem, maar omdat er geen zuurstofmetingen beschikbaar waren van deze locatie kon dit niet worden geverifieerd. De gemiddelde overleving van de mosselen aan het eind van het experiment (oktober) was 60%, maar dit is vertekend omdat de mosselen op de bodem van de locatie Gr 2 allemaal dood zijn gegaan en omdat de opstellingen in het Grevelingenmeer zijn verdwenen waardoor er geen gegevens voor deze locaties beschikbaar zijn na 10 juli. In de Oosterschelde, waar de meetreeks is doorgezet tot 9 oktober 2023 was de gemiddelde overleving 74%. De minste overleving was daarvan op de locatie OS 2 bij de bodem. Op de overige locaties was de overleving vergelijkbaar. In Figuur 8 is de overleving op 10 juli 2023 (moment van de laatste bemonstering in het Grevelingenmeer) weergegeven. Duidelijk is in deze figuur ook weer te zien dat de mosselen op locatie Gr 2 bij de bodem op dat moment allemaal dood waren. Er was op dat moment geen significant ($p > 0.05$) verschil in overleving tussen de overige locaties. Ook was er voor deze locaties geen significant verschil in overleving tussen de mosselen in de waterkolom en de mosselen op de bodem.



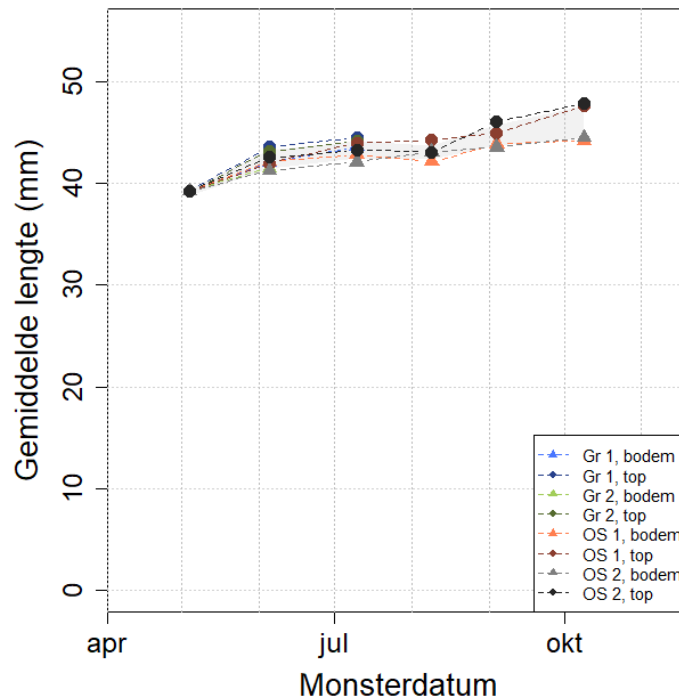
Figuur 7: Fractie overleving (-) van de mosselen in de mandjes op de verschillende locaties.



Figuur 8: Boxplots van de fractie van overleving (-) voor de verschillende locaties bij de laatste meting waarbij de mandjes in het Grevelingenmeer nog aanwezig waren (10 juli 2023). De boxen geven de 25-75 percentielen weer en de bars 1.5 x de interkwartielrange. De horizontale lijnen in de boxen geven de mediaan. Locaties met zelfde letter boven de box zijn niet significant verschillend ($p > 0.05$) van elkaar.

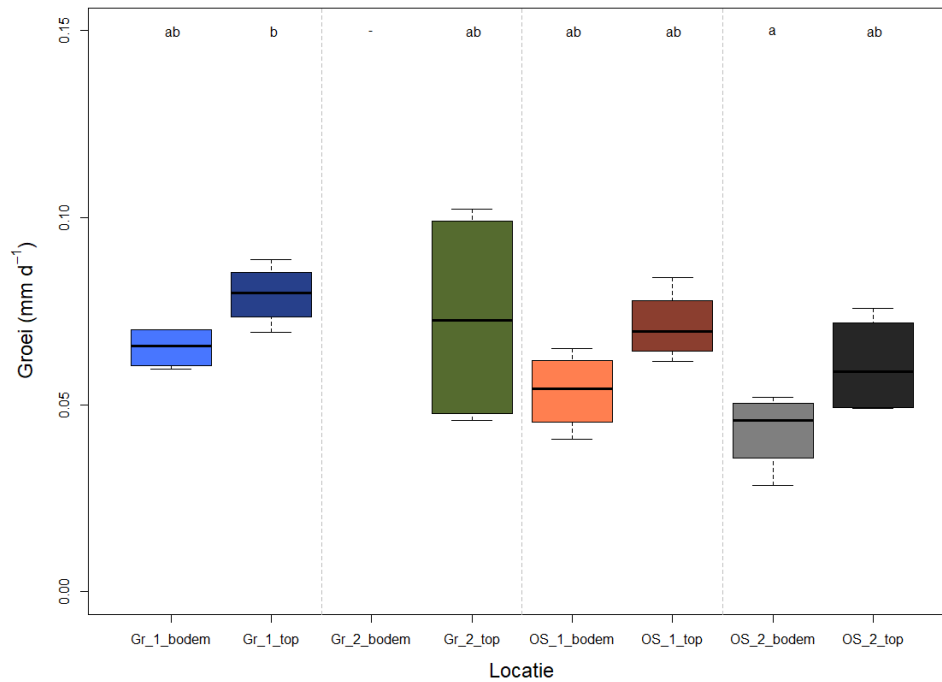
3.4 Schelplengte

De schelplengte van de mosselen is toegenomen van gemiddeld 39.2 mm op 4 mei tot 43.5 mm op 10 juli 2023 (Figuur 9). Daarna zijn de mandjes aan de Grevelingenzijde verdwenen en is er dus geen data meer beschikbaar voor deze locaties. Aan de Oosterscheldezijde waar de meetreeks wel is doorgezet, zijn de mosselen doorgesloten tot gemiddeld 46.0 mm op 9 oktober 2023. De mosselen in de waterkolom waren op dat moment duidelijk groter dan de mosselen op de bodem.



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

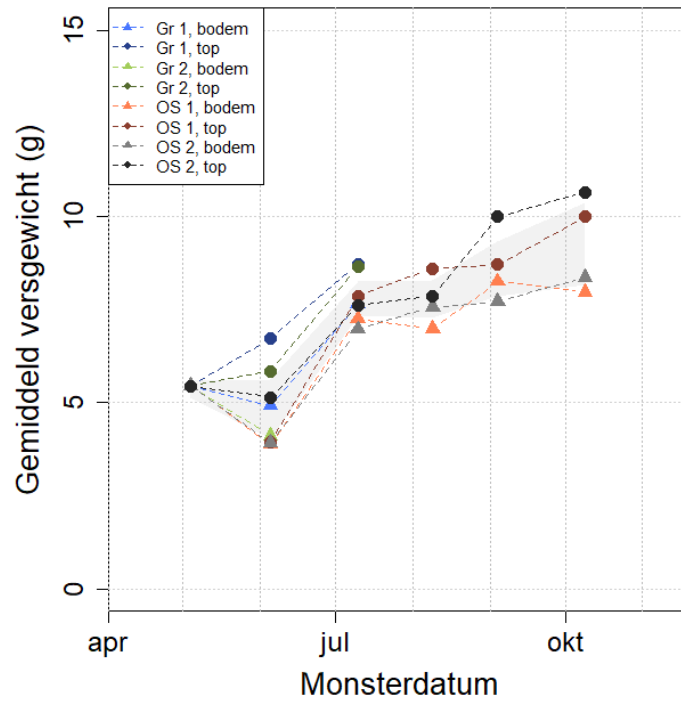
In Figuur 10 is ook duidelijk te zien dat tot 10 juli 2023, de groei van de mosselen de waterkolom groter was dan van de mosselen op de bodem. De meeste groei is op dat moment gerealiseerd door de mosselen in de waterkolom van de locatie Gr 1 en de mosselen op de bodem van locatie OS 2 waren op dat moment het minste gegroeid. De verschillen in groei tussen locatie Gr 1 in de waterkolom en OS 2 op de bodem zijn significant ($p < 0.05$).



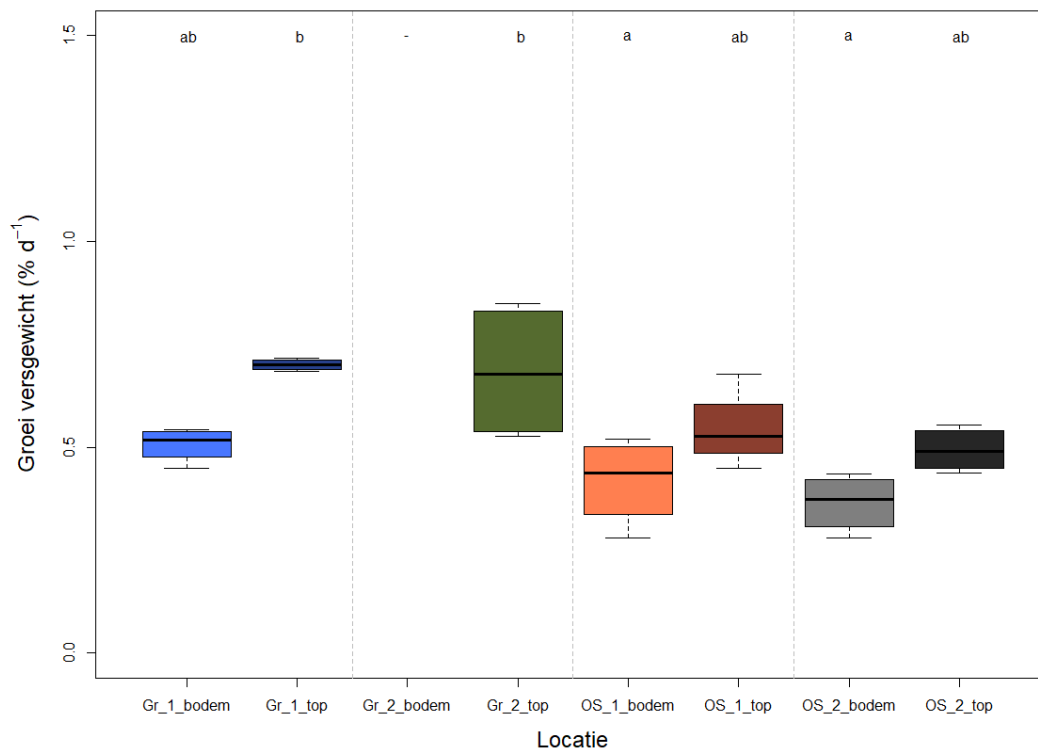
Figuur 10: Boxplots van de groei in schelpenlengte (mm d⁻¹) voor de verschillende locaties bij de laatste meting waarbij de mandjes in het Grevelingenmeer nog aanwezig waren (10 juli 2023). Locaties met zelfde letter boven de box zijn niet significant verschillend ($p > 0.05$) van elkaar.

3.5 Gewicht

Het gemiddeld versgewicht (inclusief schelp) van de mosselen is toegenomen van 5.5 g op 4 mei naar 7.8 g op 10 juli 2023 (Figuur 11). De minste gewichtstoename is opgetreden op de bodem van locaties OS 1 en OS 2. In de Oosterschelde zijn de metingen doorgegaan tot 9 oktober. Het gemiddelde gewicht van de mosselen was toen 9.2 g. De mosselen in de waterkolom waren duidelijk groter dan de mosselen op de bodem. In Figuur 12 is te zien dat tot 10 juli 2023 de meeste groei is aangetroffen in de mandjes in de waterkolom in het Grevelingenmeer. De mosselen op de bodem van de Oosterschelde bleven hier significant ($p < 0.05$) bij achter.



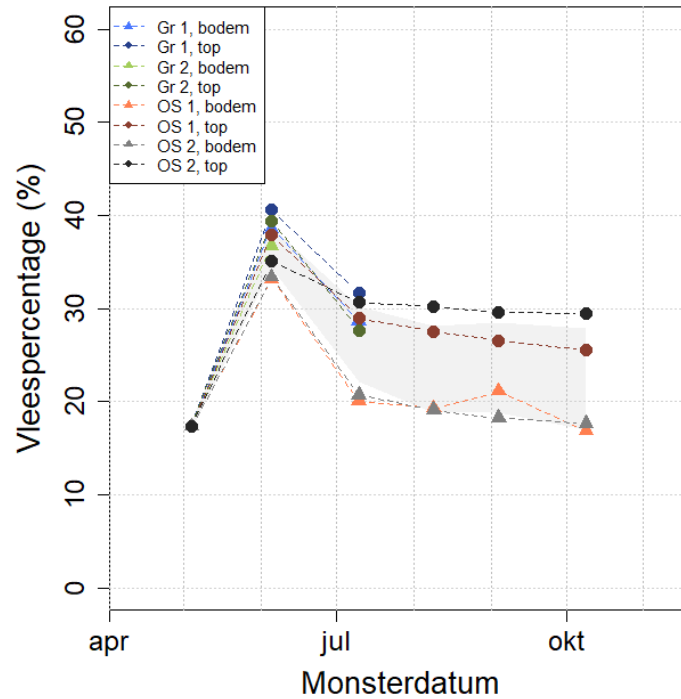
Figuur 11: Ontwikkeling van het gemiddelde versgewicht (g) per locatie. Het grijze gebied geeft het 25% - 75% interval van alle metingen in betreffende periode.



Figuur 12: Boxplots van toename in versgewicht ($\% d^{-1}$) voor de verschillende locaties bij de laatste meting waarbij de mandjes in het Grevelingenmeer nog aanwezig waren (10 juli 2023). Locaties met zelfde letter boven de box zijn niet significant verschillend ($p > 0.05$) van elkaar.

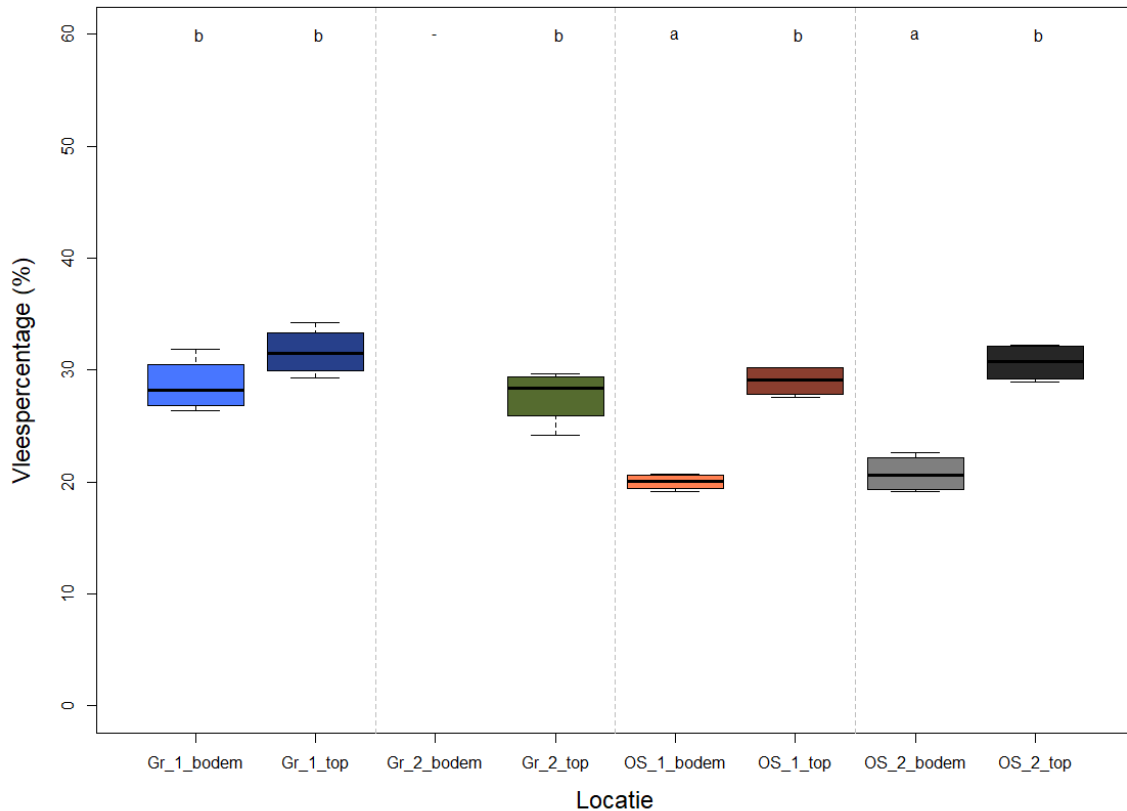
3.6 Vleespercentage

Het vleespercentage piekt in juni (gemiddelde vleespercentage op 5 juni is 36.9%) en op 10 juli is het gemiddelde vleespercentage afgenomen tot 26.9% (Figuur 13). De laagste vleespercentages zijn aangetroffen bij de mosselen op de bodem. Na juli blijft het vleespercentage van de mosselen in de Oosterschelde redelijk constant, en de laagste vleespercentages blijven bij de mosselen op de bodem.



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

In Figuur 14 is ook te zien dat op 10 juli de vleespercentages van de mosselen op de bodem significant lager zijn dan op de overige locaties. Gedurende het verdere verloop van het seizoen blijven de vleespercentages op deze locatie op de bodem van de Oosterschelde ook achter.

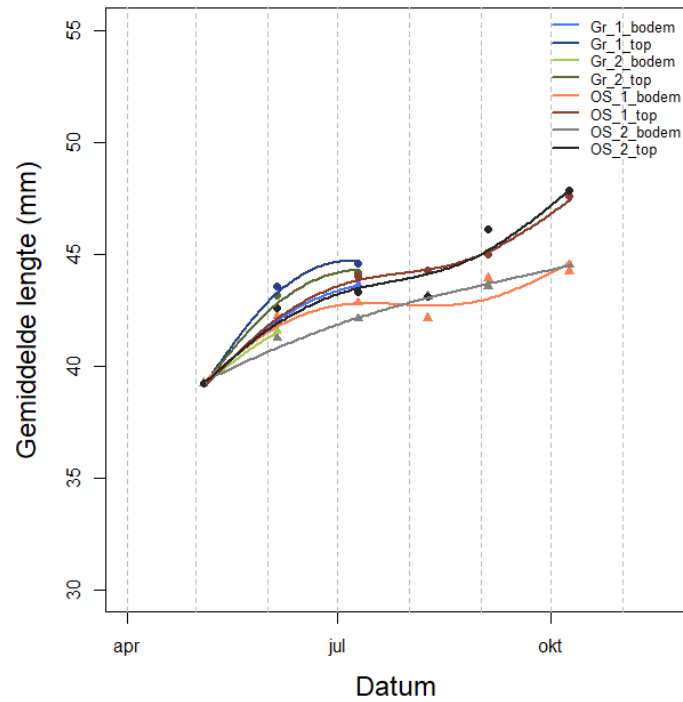


Figuur 14: Boxplots van vleespercentages (%) voor de verschillende locaties tijdens de laatste meting waarbij de mandjes in het Grevelingenmeer nog aanwezig waren (10 juli 2023). Locaties met zelfde letter boven de box zijn niet significant verschillend ($p > 0.05$) van elkaar.

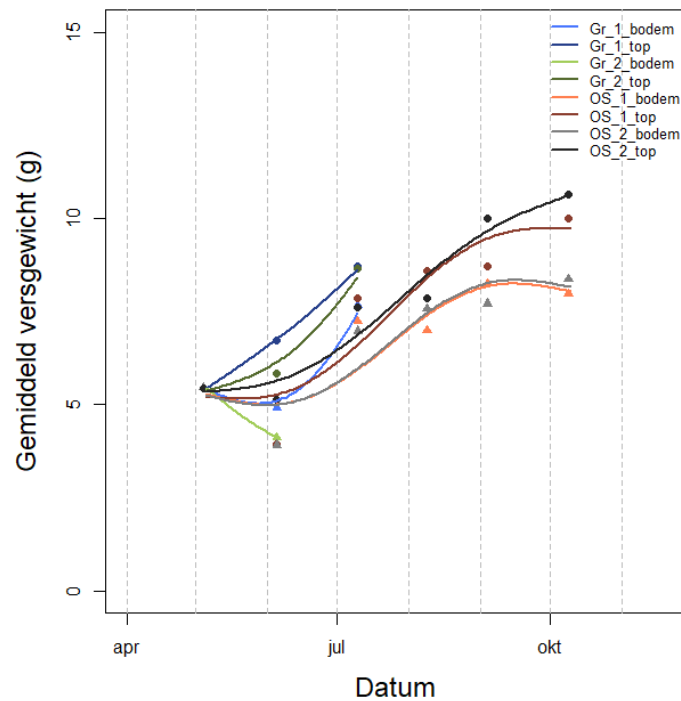
3.7 Trends door het seizoen

De trends door het seizoen zijn geanalyseerd door middel van GAM modellen. De regressielijnen (Figuur 15 tot en met 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.

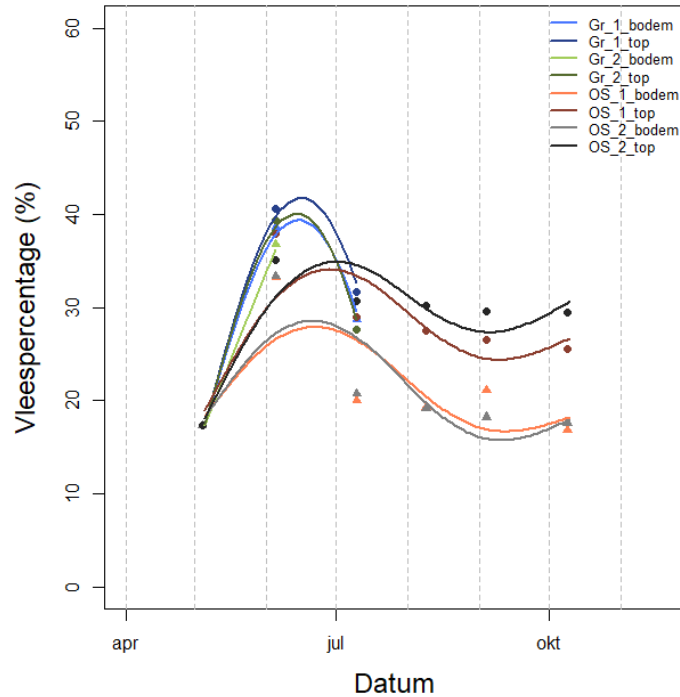
De GAM analyses van de lengte (Figuur 15) laten zien dat de groei een trend vertoont van groei aan het begin, daarna een stabilisatie in de maanden juli en augustus waarna de groei weer toeneemt in de maanden september en oktober. Over de hele periode blijft de groei van de mosselen op de bodem van locaties OS 1 en OS 2 achter. Dit zelfde patroon is ook terug te zien in de vergewichten (Figuur 16). Ook is te zien dat de mosselen op de bodem van Gr 2 het, net als de mosselen op de bodem van de Oosterschelde (OS 1 en OS 2), in de maanden mei en juni al moeilijk hadden getuige de afname van het gemiddelde vergewicht. De vleespercentages op alle locaties nemen sterk toe in de periode mei en juni, maar daarna nemen de vleespercentages weer af, vooral op de bodem van de Oosterschelde (Figuur 17).



Figuur 15: GAM regressie modellen voor de lengte ontwikkeling (mm) op de verschillende locaties in 2023. 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 in 2023. 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 in 2023. De punten geven de gemiddelde waarden van de metingen. De lijnen geven de resultaten van de GAM regressie.

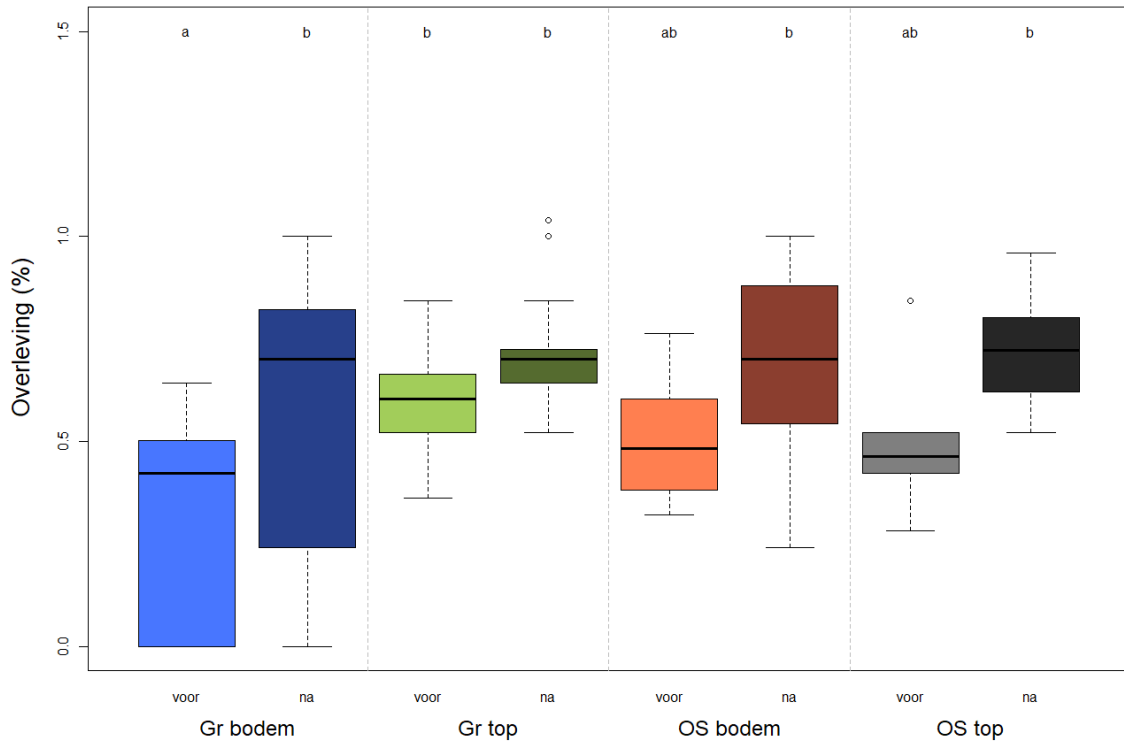
3.8 Vergelijk vóór en ná ingebruikname FSS

Voor geen van de two-way ANOVA's is de interactieterm significant ($p > 0.05$, Tabel 4). Dat betekent dat de verschillen tussen vóór- en ná de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis zowel in de Oosterschelde als in het Grevelingenmeer merkbaar zijn en zowel bij de bodem als in de waterkolom zijn geobserveerd. Tevens zijn de veranderingen overal in dezelfde richting (verbetering van de situatie). Omdat de gegevens van 2023 niet compleet zijn (Grevelingenmeer mist) is dit jaar niet meegenomen in de analyse. Over het algemeen is de groei en overleving van mosselen na de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis beter in het Grevelingenmeer dan in de Oosterschelde. Dit heeft mogelijk te maken met de mosselhangcultuursystemen die vlak naast monitoringslocatie OS 2 ligt.

Tabel 4: Overzicht van de p-waarden van de two-way ANOVA analyses voor de verschillende variabelen. p-waarden < 0.05 zijn significant.

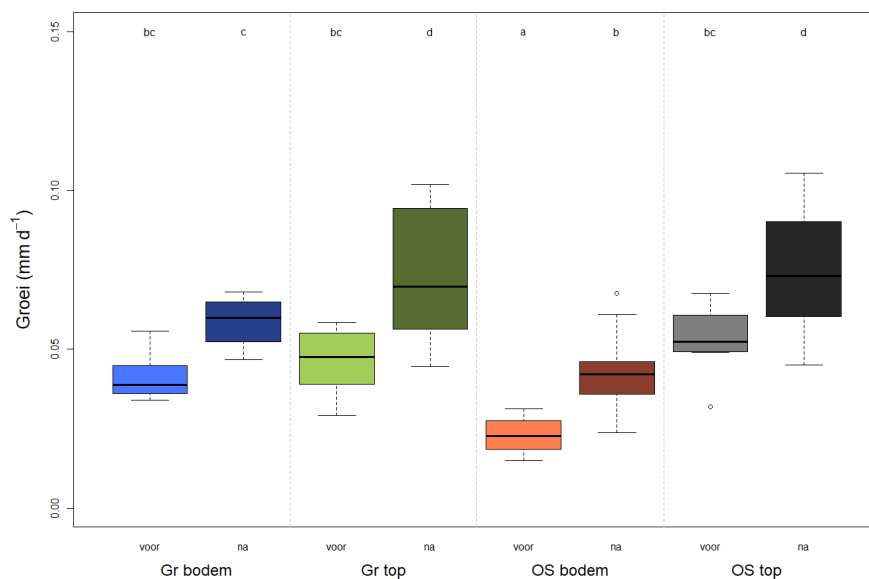
Variabele	Voor/Na	Locatie	Interactie
Overleving	<0.001	0.002	0.594
Groei schelpenlgte	<0.001	<0.001	0.371
Groei versgewicht	<0.001	<0.001	0.061
Groei asvrij drooggewicht	<0.001	<0.001	0.067

De overleving van de mosselen is significant hoger ($p < 0.05$) in de jaren ná (2017 en 2022) de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. De minste overleving was in 2016 op de bodem van het Grevelingenmeer toen alle mosselen op locatie Gr 2 waren doodgegaan. Niet alleen op de bodem van het Grevelingenmeer is de overleving verbeterd, ook in de waterkolom van het Grevelingenmeer en in de Oosterschelde (bodem en waterkolom) is de overleving verbeterd na ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. Van belang hierbij is wel dat de gegevens van 2023, waarvan we weten dat alle mosselen op de bodem van Gr 2 zijn doodgegaan, niet zijn meegenomen in deze analyse.

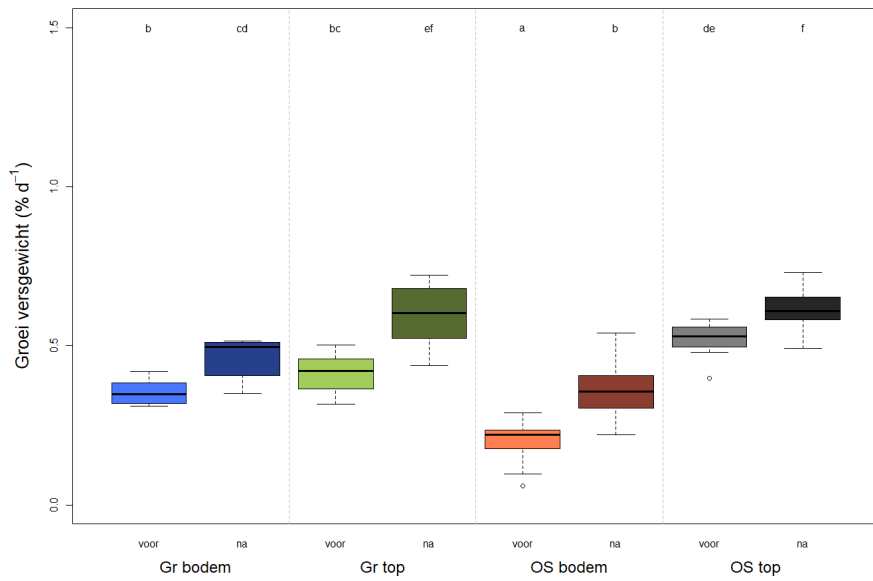


Figuur 18: Verschil in overleving van de mosselen vóór (2016) en ná (2017 en 2022) de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis op de bodem en in de waterkolom in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde.

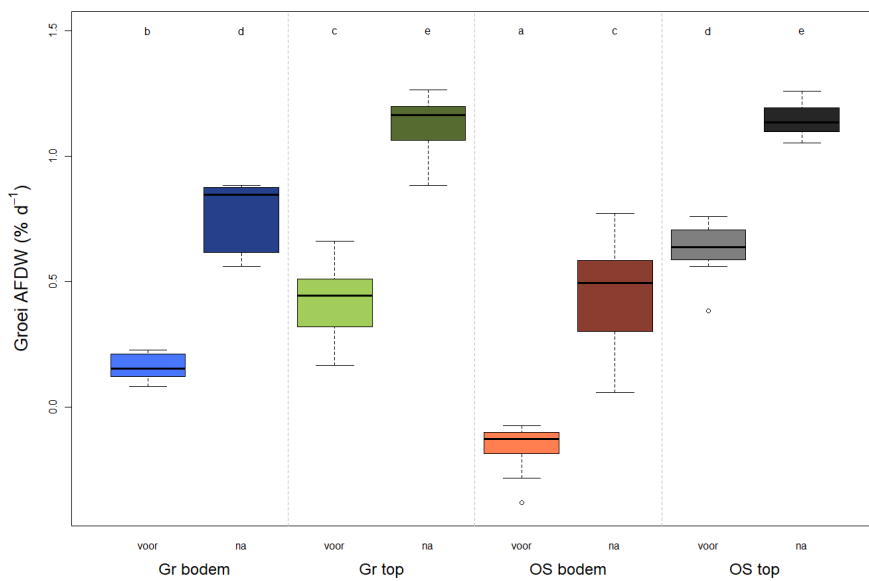
Ook de lengtegroei van de mosselen was in de jaren 2017 en 2022 (ná ingebruikname) hoger dan in 2016 (vóór ingebruikname) (Figuur 19). Bij de bodem was de groei lager dan in de waterkolom. Dit is vooral het geval aan de Oosterscheldezijde waar de groei bij de bodem aanzienlijk lager is dan in de waterkolom. Dezelfde patronen zijn ook zichtbaar in het versgewicht (Figuur 20) en het asvrij drooggewicht (Figuur 21).



Figuur 19: Verschil in lengtegroei (mm d^{-1}) van de mosselen vóór (2016) en ná (2017 en 2022) de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis op de bodem en in de waterkolom in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde.



Figuur 20: Verschil in groei versgewicht (% d⁻¹) van de mosselen vóór (2016) en ná (2017 en 2022) de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis op de bodem en in de waterkolom in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde.



Figuur 21: Verschil in groei asvrij drooggewicht (% d⁻¹) van de mosselen vóór (2016) en ná (2017 en 2022) de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis op de bodem en in de waterkolom in het Grevelingenmeer en de Oosterschelde.

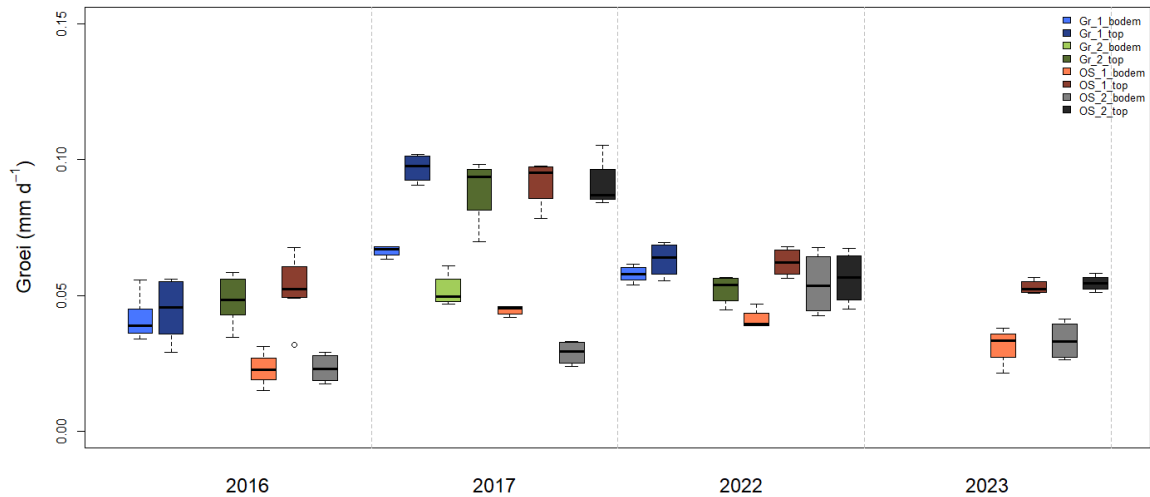
4 Conclusies

De groei en overleving van mosselen in de mandjes in het Grevelingenmeer zijn verbeterd na ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. Dit is mogelijk een indicatie van een verbetering van de waterkwaliteit (meer zuurstof en meer voedsel voor de mosselen) in de directe nabijheid (enkele honderden meters) van de Flakkeese spuisluis. Voor de ingebruikname (2016) zijn alle mosselen op de bodem van locatie Gr 2 doodgegaan als gevolg van zuurstofloosheid (Wijsman et al., 2016). Ook in 2023 zijn de mosselen op bodem van locatie Gr 2 overleden, mogelijk als gevolg van zuurstofloosheid, maar omdat de opstellingen daarna zijn verdwenen kon dit niet worden geverifieerd door zuurstofmeters. In de jaren 2017 en 2022 waren er ook perioden van zuurstofdepletie bij de bodem, maar deze perioden waren telkens van korte duur zodat de mosselen in de mandjes dit konden overleven (Wijsman et al., 2017, Wijsman en Van der Pool, 2022). Ook Didderen en Driessen (2017) suggereren een lichte verbetering van de waterkwaliteit bij de bodem in de nabijheid van de Flakkeese spuisluis na ingebruikname.

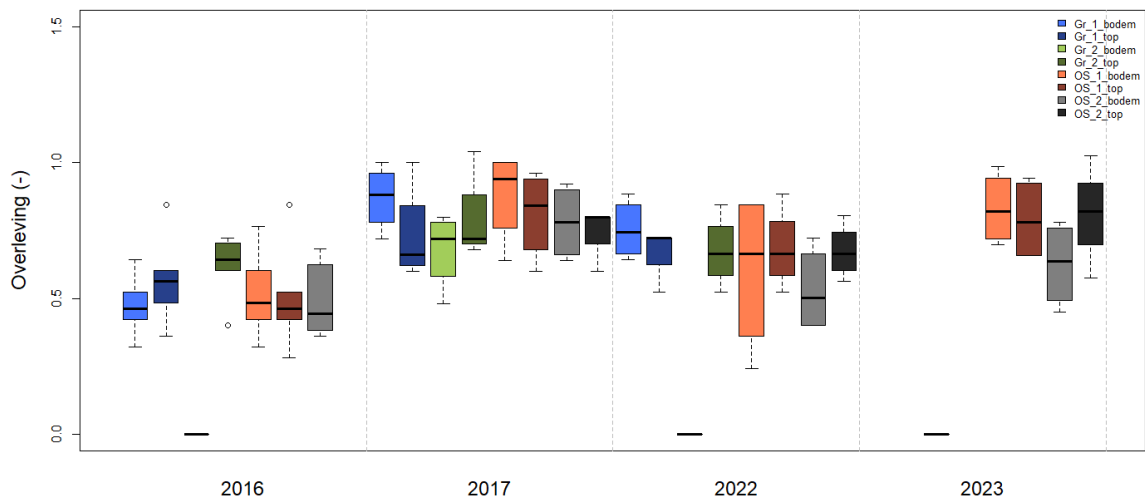
De huidige studie laat zien dat niet alleen de overleving van de mosselen in het Grevelingenmeer is verbeterd maar dat ook de groei van de mosselen is toegenomen, zowel in de waterkolom als op de bodem. Dit is mogelijk het gevolg van de aanvoer van algen door de verbeterde waterbeweging. Ook aan de Oosterscheldezijde zijn de condities voor de mosselen verbeterd door de verbeterde wateruitwisseling. Zowel de groei als de overleving is toegenomen. De mosselen op de bodem aan de Oosterscheldezijde hebben het nog wel moeilijk. Waarschijnlijk is dit een gevolg van de organische belasting van de bodem door de mosselhangcultuur in combinatie met de geringe waterbeweging in het gebied.

In de zomer van 2023 zijn de opstellingen in het Grevelingenmeer verdwenen. Hierdoor zijn er geen volledige metingen van de mosselgroei en -ontwikkeling voor de locaties in het Grevelingenmeer en zijn er ook geen metingen van zuurstofconcentraties bij de bodem beschikbaar. Wel was uit de beperkte dataset voor het Grevelingenmeer duidelijk dat in juli alle mosselen op de bodem van locatie Gr 2, waarschijnlijk ten gevolge van zuurstofloosheid, waren overleden. In 2016, vóór de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis, was er ook in juni/juli sprake van grote sterfte op de bodem van locatie Gr 2 (Wijsman et al., 2016). In 2022 is de sterfte pas later (augustus/september) opgetreden (Wijsman en Van der Pool, 2022) en in 2017 was de overleving op de bodem van de locatie Gr 2 goed en vergelijkbaar met de overige locaties (Wijsman et al., 2017). Deze perioden van sterfte op locatie Gr 2 komen overeen met langere perioden van zuurstofloosheid van het water nabij de bodem. In 2017 was de zuurstofconcentratie op deze locatie ook laag, maar fluctueerde sterk waardoor de mosselen blijkbaar konden overleven. De monitoring in de Oosterschelde laat in 2023 een duidelijk verschil zien in groei van de mosselen aan het wateroppervlak en de mosselen op de bodem. In de waterkolom zijn de mosselen gegroeid van 5.5 g in mei naar gemiddeld 10.3 gram in oktober. De mosselen op de bodem hadden in oktober nog maar een natgewicht van gemiddeld 8.2 gram.

Het verschil in groei van de mosselen tussen het wateroppervlak en de bodem is een consequent beeld op alle locaties over alle jaren (Figuur 22). Blijkbaar ondervinden de mosselen op de bodem meer stress door de lagere zuurstofconcentraties of is er minder voedsel beschikbaar voor de mosselen. 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 mogelijk onvoldoende naar de bodem worden getransporteerd. In de overleving van de mosselen is dit patroon minder duidelijk (Figuur 23). Wel is duidelijk in die figuur dat een deel van de mosselen op de bodem van locatie Gr 2 alleen in 2017 heeft overleefd. In alle andere jaren zijn de mosselen op deze locatie allemaal overleden. In 2022 is de sterfte pas in september opgetreden (Wijsman en Van der Pool, 2022).



Figuur 22: Gemiddelde groeisnelheid (mm d⁻¹) van de mosselen op de verschillende locaties over de verschillende jaren.



Figuur 23: Gemiddelde overleving (-) van de mosselen op de verschillende locaties over de verschillende jaren.

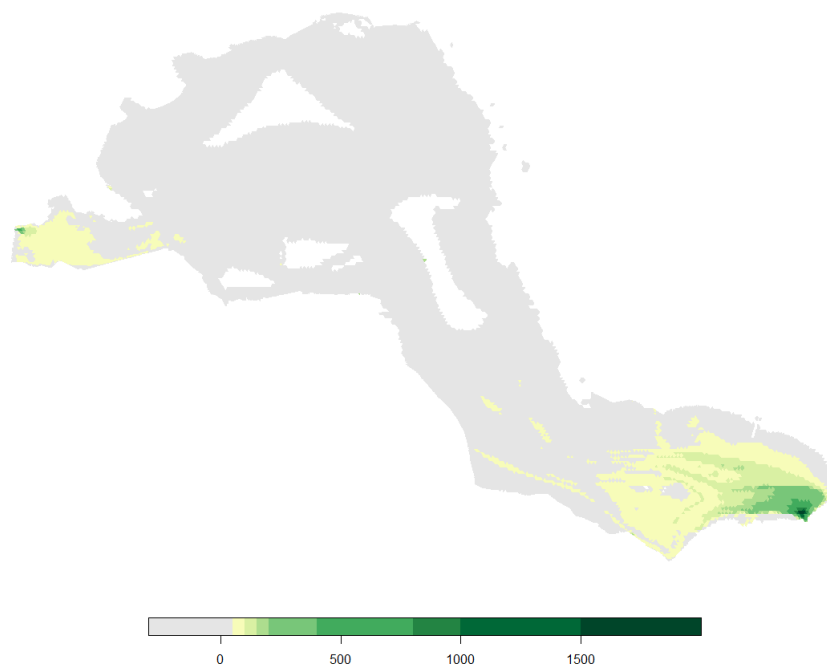
In deze studie is de groei en overleving van mosselen gebruikt als indicator voor de verbetering van de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer als gevolg van de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. Door de Flakkeese spuisluis stroomde in 2023 per dag gemiddeld ongeveer 4 miljoen m³ water heen en weer tussen de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Het totale volume van het Grevelingenmeer is ongeveer 570 miljoen m³ (Wijsman et al., 2022). 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.

Het Grevelingenmeer is geschikt voor schelpdierkweek vanwege de beschutte ligging en geringe temperatuurverschillen, maar heeft een beperkte uitwisseling met de Noordzee waardoor de voedseltoevoer vanuit de Noordzee beperkt is. Momenteel vindt er commerciële schelpdierkweek plaats van de Japanse en platte oester op een gebied van ca. 550 ha. Daarnaast wordt er geëxperimenteerd met mosselzaadvanginstallaties (MZI's) en hangcultuurmosselen (MHC) nabij de

Brouwersdam. De hoeveelheid gekweekte schelpdieren bedraagt ca. 3.4% van alle schelpdieren bij elkaar in het Grevelingenmeer (Mulder et al., 2021).

De totale hoeveelheid voedsel die beschikbaar is voor de schelpdieren is afhankelijk van diverse processen zoals primaire productie, import van algen, kwaliteit van de algen, filtratiesnelheid (graasdruk), waterbeweging, etc. (Dame en Prins, 1998, Smaal et al., 2013, Smaal en Wijsman, 2014, Smaal, 2017, Kamermans en Van Asch, 2018, Jansen et al., 2019, Smaal en Van Duren, 2019, Wijsman, 2019). Door de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis is zowel de uitwisseling met de Oosterschelde als de primaire productie in het Grevelingenmeer toegenomen wat dus leidt tot meer potentie voor schelpdierkweek.

In het kader van het project Getij Grevelingen zijn scenarioberekeningen uitgevoerd met een 3D waterkwaliteitsmodel (Van Der Heijden en Nolte, 2022). Daarbij zijn onder andere de scenario's mét en zonder Flakkeese spuisluis met elkaar vergeleken. De modelberekeningen, die zijn uitgevoerd door Deltares, voorspellen een toename in primaire productie over het hele Grevelingenmeer van 535 mg C m⁻² jaar⁻¹ naar 565 mg C m⁻² jaar⁻¹. Dit is een toename met 6%. In Figuur 24 is ondermeer te zien dat de primaire productie vooral in de directe nabijheid van de spuisluis is toegenomen als gevolg van de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis. In de rest van het Grevelingenmeer, waar de meeste (oester)kweekpercelen liggen is het effect beperkt (< 50 mgC m⁻² yr⁻¹ toename). Dit leidt in theorie tot meer draagkracht voor schelpdierkweek. Echter, het is dan wel van belang dat er geen zuurstofdepletie optreedt in het water dat zich boven de kweekpercelen bevindt. Voor eventuele hangcultuur, zoals dat ook bij de Brouwersdam wordt toegepast, is dit minder een risico.



Figuur 24: Modelresultaten van het verschil in de jaargemiddelde primaire productie (mgC m⁻² yr⁻¹) in het Grevelingenmeer mét en zonder de Flakkeese spuisluis. Positieve waarden geven een toename van de jaargemiddelde primaire productie na ingebruikname van de Flakkeese spuisluis (naar Van Der Heijden en Nolte, 2022).

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

- Dame, R.F. en T.C. Prins (1998). Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems. *Aquatic Ecology* 31:409-421.
- 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. Holzauer (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.
- Jansen, H., P. Kamermans, S. Glorius en M. Van Asch (2019). Draagkracht van de Oosterschelde en de westelijke Waddenzee voor schelpdieren. Evaluatie van veranderingen in de voedselcondities en schelpdierbestanden in relatie tot de mosselkweek in de periode 1990-2016. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C096/19. 46 paginas.
- Jaspers, H. en K. Hüsken (2023). Ecologische effectiviteit Getij Grevelingen. Beoordeling van de ecologische effectiviteit van de verschillende getijvarianten. Sweco. Rapport nummer: NL23-648800269-41064. 137 paginas.
- Kamermans, P. en M. Van Asch (2018). Monitoring draagkracht voor schelpdieren in relatie tot opschaling MZIs in de Waddenzee en de Oosterschelde. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C043/18. 33 paginas.
- Maarse, M.J., A.J. Nolte, F.M. Kleissen en B.P.J. Becker (2019). Optimalisatie van peilbeheer Getij Grevelingen door aansturing van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam. Deltares. 29 paginas.
- Meysman, F.J.R., N. Risgaard-Petersen, S.Y. Malkin en L.P. Nielsen (2015). The geochemical fingerprint of microbial long-distance electron transport in the seafloor. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 152:122-142.
- Ministerie I&M (2023). Kiezen voor systeemherstel? Einrapport Taskforce Getij Grevelingen. 74 paginas.
- Mulder, I.M., J.W.M. Wijsman en M. Tangelder (2021). Een quickscan naar ecologische draagkracht voor filter feeders nu en bij gedempt getij. Wageningen Marine Research, Yerseke. Rapport nummer: C006/21. 33 paginas.
- Smaal, A.C. (2017). Draagkracht voor schelpdieren: definities, indices en case studies. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C023/17. 26 paginas.
- Smaal, A.C., T. Schellekens, M.R. Van Stralen en J.C. Kromkamp (2013). Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? *Aquaculture* 404-405:28-34.
- Smaal, A.C. en L.A. Van Duren (2019). Bivalve aquaculture carrying capacity: concepts and assessment tools. In A.C. Smaal, J.G. Ferreira, J. Grant, J.K. Petersen, and Ø. Strand, editors. *Goods and services of marine bivalves*. Springer. 451-483 paginas.
- 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.
- Van Der Heijden, L. en A.J. Nolte (2022). Effect en effectiviteit van negen scenario's op de zuurstofdoelindicatoren van het Grevelingenmeer. Onderdeel van Getij Grevelingen.
- 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. (2019). Meten van primaire productie in de Oosterschelde, Grevelingenmeer en het Veerse Meer. Overzicht van methodieken en plan van aanpak voor monitoring. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C022/19. 56 paginas.
- Wijsman, J.W.M., E. Brummelhuis en A.C.M. Van Gool (2016). Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis. Resultaten T₀ bemonstering 2016. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C126/16. 33 paginas.
- Wijsman, J.W.M., S. Cornelisse, J. Van der Pool en W. Suykerbuyk (2023). T₀ Monitoring effecten Innovatieve Zoet-Zout Scheiding Krammersluizen. Voortgangsrapportage 2023. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C035/23.
- Wijsman, J.W.M., A. Gool en J. Van der Pool (2017). Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis. Resultaten T₁ 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., M. Tangelder, A. Hamer, J. Janssen, N. Van Rooijen en M.S.J. Hoekstein (2022). Ecologische effecten veranderd peilbeheer Grevelingen. Inschatting effecten aangepaste varianten in peilbeheer op onderwaternatuur en de Natura 2000 instandhoudingsdoelen. Wageningen Marine Research. 138 paginas.
- Wijsman, J.W.M. en J. Van der Pool (2022). Monitoring mosselgroei Flakkeese spuisluis. Resultaten T₂ bemonstering 2022. Wageningen Marine Research. Rapport nummer: C083/22. 26 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 C081/23

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. Johan Craeymeersch
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 01/12/2023

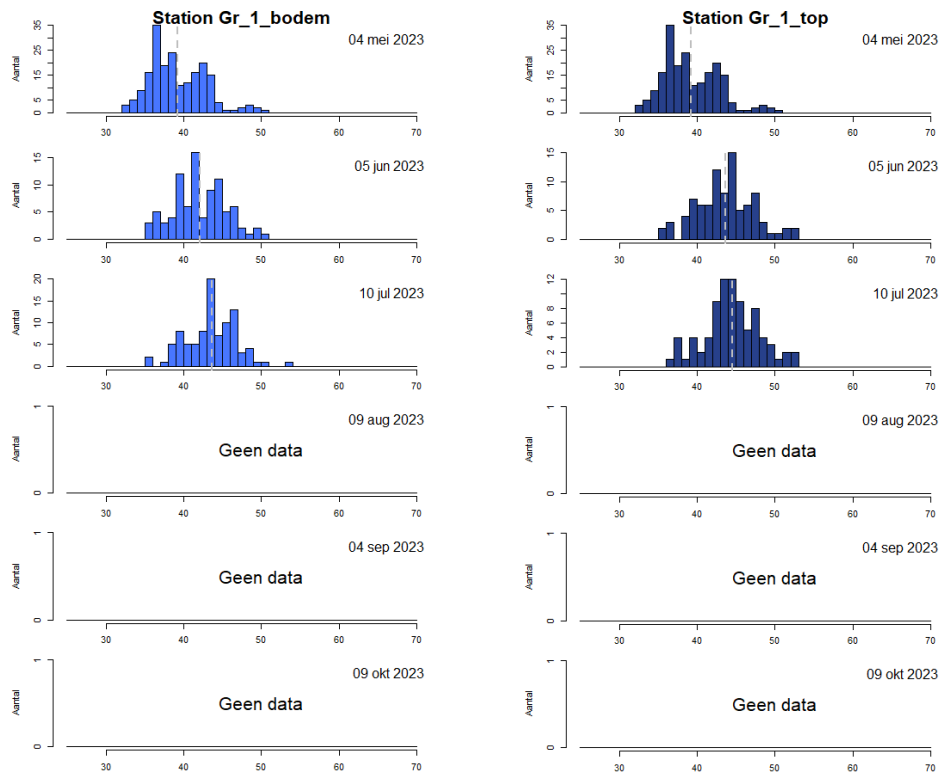
Akkoord: Dr. Tammo Bult
Directeur Wageningen Marine Research

Handtekening:

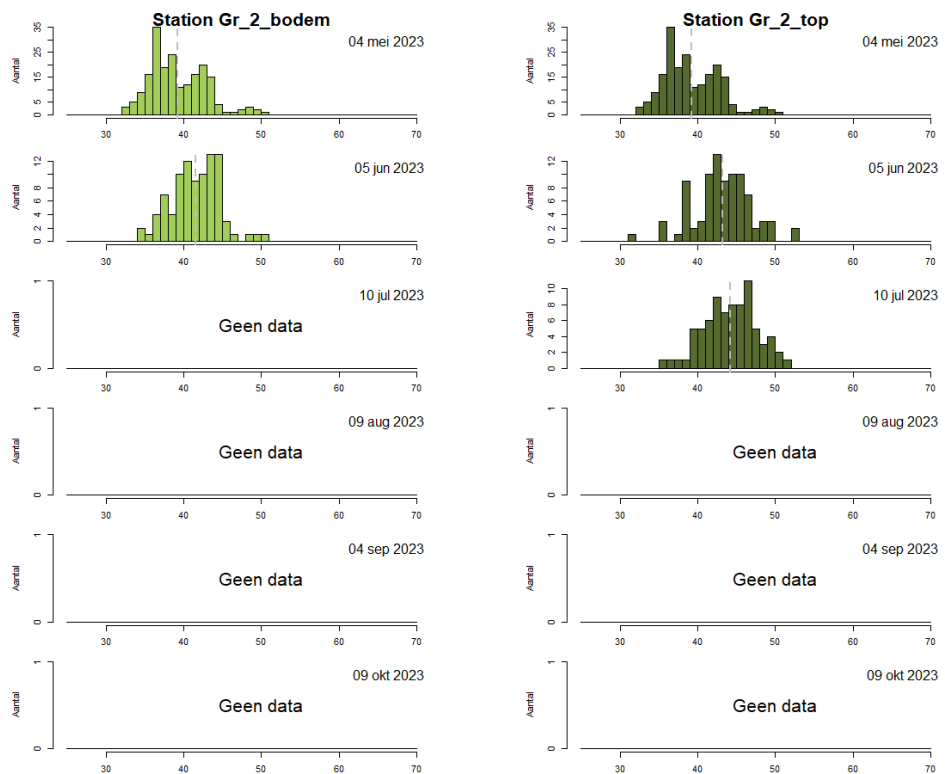


Datum: 01/12/2023

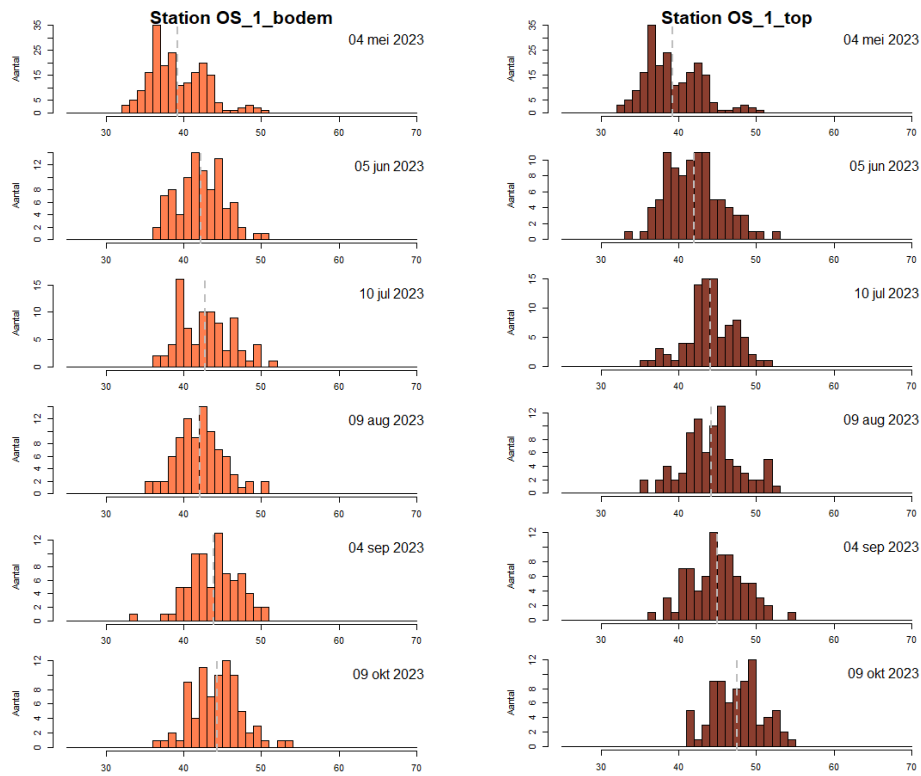
Bijlage 1 Lengte-frequentieverdelingen



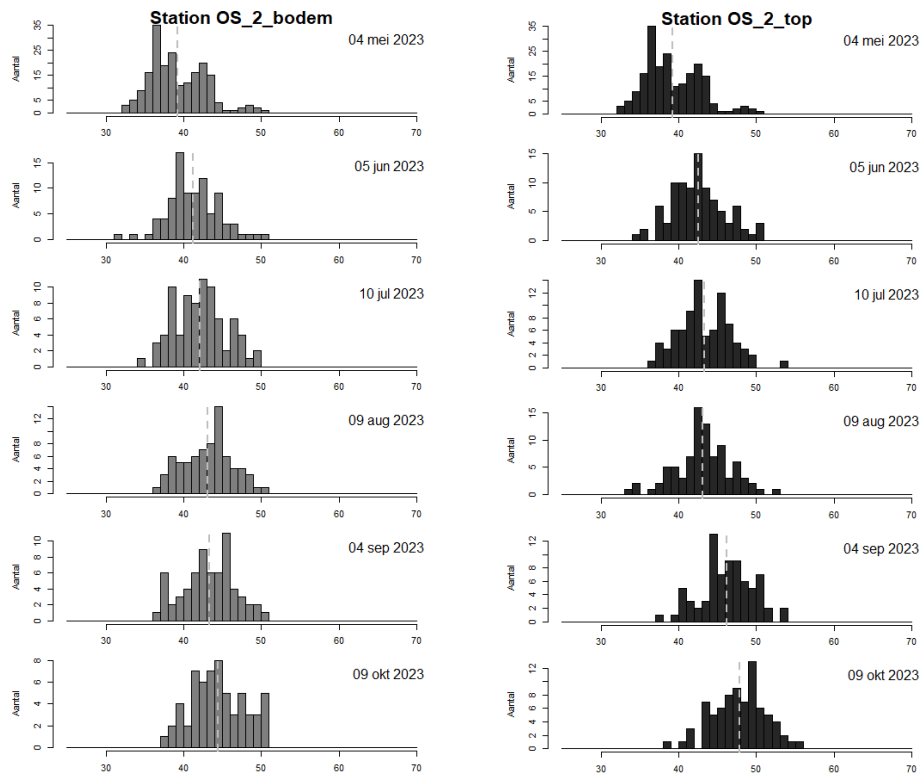
Figuur 25: Ontwikkeling van de lengte-frequentieverdelingen van de mosselen op locatie Gr 1.



Figuur 26: Ontwikkeling van de lengte-frequentieverdelingen van de mosselen op locatie Gr 2.



Figuur 27: Ontwikkeling van de lengte-frequentieverdelingen van de mosselen op locatie OS 1.



Figuur 28: Ontwikkeling van de lengte-frequentieverdelingen van de mosselen op locatie OS 2.

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
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'
