



Hittestress bij schelpdieren op intergetijdenplaten van de Oosterschelde in 2021 en 2022.

Auteur(s): Alicia Hamer, Marijn Tangelder, Daphne de Vré, Isabelle van der Ouderaa, Wouter Suykerbuyk & Brenda Walles

Wageningen University &
Research rapport C066/23

Hittestress bij schelpdieren op intergetijdenplaten van de Oosterschelde in 2021 en 2022.

Auteur(s): Alicia Hamer, Marijn Tangelder, Daphne de Vré, Isabelle van der Ouderaa, Wouter Suykerbuyk & Brenda Walles.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Naar natuurinclusief ondernemen' (projectnummer BO-43.118.001)

Wageningen Marine Research
Yerseke, oktober 2023

Wageningen Marine Research rapport C066/23

Keywords: Oosterschelde, intergetijdengebied, benthos, hittestress, temperatuur, kokkelsterfte

Opdrachtgever: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid
T.a.v.: Jip van Peijpe
Bezuidenhoutseweg 73
2595 AC Den Haag

BO-43-118-001

Dit rapport is gratis te downloaden van [https //doi.org/10.18174/640397](https://doi.org/10.18174/640397)
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

A_4_3_1 V32 (2021)

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.

Inhoud

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	7
2 Methode	8
2.1 Studiegebied	8
2.2 Bestudeerde soorten	9
2.3 Veldstudie: conditie en overleving	10
2.3.1 Veldstudie 2021	10
2.3.2 Veldstudie 2022	11
2.3.3 Selectie van onderzoekslocaties	11
2.4 Lab experiment: effecten van droofvalduur en temperatuur	13
2.4.1 Opzet getijdebakken	13
2.4.2 Verzameling en acclimatisatie	15
2.4.3 Uitvoering experiment	15
2.5 Effect op hogere trofische niveau's	16
3 Resultaten	17
3.1 Veldstudie (2021 en 2022)	17
3.1.1 Overleving	18
3.1.2 Conditie-index	20
3.2 Labexperiment effecten droogvalduur en temperatuur	22
3.3 Doorwerking naar hogere trofische niveaus	25
4 Conclusies en Discussie	26
5 Kwaliteitsborging	29
Literatuur	30

Samenvatting

De Zeeuwse Deltawateren zijn internationaal van belang voor verschillende Natura 2000-vogelsoorten zoals de scholekster, wulp en kanoet. Bodemdieren vormen voor deze vogels een belangrijke voedselbron. Echter, de laatste jaren (2018, 2019 en 2020) trad grootschalige kokkelsterfte op in de Oosterschelde. Dit ging gepaard met warme zomers. Door de aanhoudende klimaatverandering is de prognose dat periodes met hoge temperaturen vaker voor zullen komen en ook langer zullen aanhouden. Dit houdt zowel warmere lucht- als watertemperaturen in, die op hun beurt de temperatuur van de droogvallende bodem van intergetijdengebieden beïnvloeden. Dit kan direct van invloed zijn op bodemdieren, het voedsel van schelpdier-etende vogels. In 2020 is er onderzoek gedaan naar deze bodemtemperaturen, en zijn veel extreme temperaturen geobserveerd in het sediment, bij verschillende droogvalduren. Om te onderzoeken wat de effecten van deze temperaturen op scheldieren zijn, en hoe de geobserveerde hittegolven zich verhouden tot de kokkelsterfte, is er vervolgens in 2021 en 2022 een aanvullend veldexperiment uitgevoerd waarbij door de zomer heen de conditie-index van uitgezette kokkels is gevolgd op de Oesterdam (2021-2022) en Yersekebank (2022). Aanvullend zijn in 2022 ook Filipijnse tapijtschelpen uitgezet en gemonitord, doordat deze soort eenzelfde ecologische niche vervult als kokkels maar een hogere tolerantie heeft voor temperatuur. Verder is er in 2022 een labexperiment uitgevoerd naar de temperatuur gerelateerde sterfte van kokkels en tapijtschelpen in relatie tot droogvalduur. Deze rapportage vat de resultaten samen van het onderzoek uitgevoerd in 2021 en 2022.

De zomer van 2021 was een uitzonderlijk koude zomer waar geen hittegolf heeft plaatsgevonden, met een warmtegetal van slechts 59.4 (KNMI, 2022). Tijdens de hele zomer is de temperatuur in het sediment (3cm) nauwelijks boven de 39°C gekomen. De zomer van 2022 verliep warmer dan die van 2021, en kreeg van het KNMI een warmtegetal van 138.4 (KNMI, 2022). Er was mid-juli sprake van een aantal tropisch warme dagen met temperaturen die opliepen tot 37-39°C. De temperatuur verhogingen in het sediment viel tijdens deze dagen mee, ondanks dat het over dag laag water was, door de nog relatief lage watertemperatuur. In 2022 heeft er ook een landelijk hittegolf plaatsgevonden van 9 tot 16 augustus. Van deze 8 dagen waren er 5 tropisch warm, en was de gemiddelde luchttemperatuur 32.3°C. Ondanks dat de watertemperatuur tijdens deze hittegolf inmiddels al verder was opgelopen, zijn er geen extreme temperaturen geobserveerd zoals in 2020. Vermoedelijk komt dit doordat bij een groot aantal dagen, tijdens deze hittegolf, laag water niet op het warmste moment van de dag viel.

Op de Oesterdam zijn er tijdens de zomer van 2021 relatief weinig dode en levende kokkels op het slik waargenomen. In 2022 zijn eerder in het seizoen dode en levende kokkels op het slik waargenomen. Opvallend is dat een hitte-event, met een vertraging van ongeveer 1-2 weken gevolgd werd, met een piek in aantal kokkels op het slik. Tapijtschelpen werden tijdens de gehele periode weinig aan het oppervlak geobserveerd. Echter is er geen duidelijk hitte-gerelateerd patroon gevonden in de conditie-index voor beide schelpdiersoorten. Tijdens de labexperimenten was de kokkelsterfte in de bakken met de hoogste temperaturen (pieken van 35/36°C, op 3cm), één met een droogval duur van 75% en één met een droogval duur van 50%, het hoogst (70-95% sterfte). Vermoedelijk speelt de temperatuur de grootste rol bij deze mortaliteit. De temperaturen in dit experiment zijn maar 1-2°C hoger dan de temperaturen die in 2020 op de Oesterdam zijn geobserveerd.

Bij de twee warmste behandelingen (tank A3 en B1) werd een hogere mortaliteit waargenomen bij tweejarige kokkels (95% en 70% mortaliteit) in vergelijking met éénjarige kokkels (60% en 55% mortaliteit). Tijdens het veldexperiment, was er alleen op de Oesterdam een verschil waarneembaar tussen één- en meerjarige kokkels, waarbij er juist meer dood materiaal van éénjarige kokkels te zien was. Echter, op de Yerseke bank werd geen verschil gezien tussen de verschillende leeftijdsklassen. Ook zijn er geen opvallende trend verschillen in conditie index tussen de twee leeftijdsklassen te zien. Op basis van deze gegevens kan er nog niet vastgesteld worden welke leeftijdsklasse het meest kwetsbaar is voor hittestress.

Uit de experimenten blijkt duidelijk dat de Filipijnse tapijtschelpen hogere bodemtemperaturen kunnen overleven dan kokkels. Dit zou op de lange termijn de Filipijnse tapijtschelp in de hand kan spelen en voor een verschuiving kan zorgen in de Oosterschelde van kokkels naar Filipijnse tapijtschelpen. Gezien beide soorten dicht aan het oppervlak zitten, vallen ze allebei binnen de reikwijdte van de scholekster en andere wadvogels. Uit onderzoek in Engeland is gebleken dat scholeksters daar de Filipijnse tapijtschelp hebben leren eten en dat dit mogelijk de wintersterfte onder scholeksters heeft verminderd. Het eten van Filipijnse tapijtschelpen in plaats van kokkels bleek hier even profijtelijk voor de scholeksters. In Nederland is er nog weinig onderzoek uitgevoerd naar welke vogelsoorten de Filipijnse tapijtschelp eten. Van de, in dit literatuuronderzoek, geselecteerde Natura-2000 vogelsoorten wordt verwacht dat de scholekster, bergeend en de zwarte en grote zee-eend de Filipijnse tapijtschelpen groter dan 1 cm zullen kunnen eten. Andere wadvogelsoorten zullen het broed van de Filipijnse tapijtschelp kunnen eten. Vragen omtrent of, en zo ja welke, vogels de Filipijnse tapijtschelp eten, bij welke dichtheden dit profijtelijk is, welk aandeel van het dieet Filipijnse tapijtschelpen vormen en of de aanwezigheid van Filipijnse tapijtschelpen kan bijdragen aan de overleving van wadvogels, moet nog verder onderzocht worden in Nederland.

Dankwoord

Graag willen wij Tjeerd Bouma en Zhengquan Zhou bedanken voor het ter beschikking stellen van de klimaatkamers en hun begeleiding tijdens het experiment.

1 Inleiding

De Zeeuwse Deltawateren zijn internationaal van belang voor verschillende N2000-vogelsoorten zoals de Scholekster, de Wulp en de Kanoet. Bodemdieren vormen een belangrijke voedselbron. Echter, de laatste jaren (2018, 2019 en 2020) trad er grootschalige kokkelsterfte op in de Oosterschelde (Troost en van Asch, 2018). Dit ging gepaard met warme zomers. Door de aanhoudende klimaatverandering is de prognose dat periodes met hoge temperaturen vaker zullen voorkomen en ook langer zullen aanhouden (Perkins-Kirkpatrick en Lewis, 2020). Dit houdt zowel warmere lucht- als watertemperaturen in, die op hun beurt de temperatuur van de bodem beïnvloeden. Dit kan direct van invloed zijn op bodemdieren, de voedselvoorziening voor schelpdier-etende vogels.

In 2020 werd gedurende de hele zomer, bij laag water, bodemtemperaturen boven de 25°C gemeten, die tijdens een hittegolf op 5-17 augustus 2020 opliepen tot minimaal 30°C (Suykerbuyk et al. 2021). Hierbij bleek dat bodemtemperaturen, op 3cm diepte, binnen één dag kunnen oplopen van 19 tot 35°C en de hoogste temperaturen enkele uren kunnen aanhouden. Om aan de hoge temperaturen te ontsnappen kunnen kokkels zich dieper ingraven. Echter, ook op 10 cm diepte bleken temperaturen tussen 25-32°C te worden bereikt, wat ontsnappen aan de hitte onmogelijk maakte, iets dat mogelijk kan leiden tot inactiviteit, fysiologische stress en sterfte (Suykerbuyk et al. 2021). De hoogte van de bereikte temperaturen waren sterk afhankelijk van de water temperatuur, moment van het getij en de droogvalduur. De hoge bodemtemperaturen gemeten gedurende de zomer van 2020 hebben mogelijk bijgedragen aan de grote kokkelsterfte waar de kokkels mee te maken kregen in 2020. Echter ontbreekt kennis over de invloed van temperatuurschommelingen in de bodem op de conditie en overleving van schelpdieren.

In de afgelopen jaren is vanuit beleidsondersteunend onderzoek voor het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit veel kennis vergaard over de ontwikkeling van bodem temperaturen in intergetijdengebieden in de zomer (Suykerbuyk et al. 2020, Suykerbuyk et al. 2021). De relaties tussen lucht- en watertemperatuur, instraling, droogvalduur en opbouw van temperatuur in het zomerseizoen worden daardoor veel beter begrepen. Om voort te borduren op deze basis is een belangrijke vervolgvraag: wat is de invloed van verhoogde temperaturen op de conditie en overleving van schelpdieren? Is de ene soort hittebestendiger dan de andere soort? Zijn er verschillen tussen jaarklassen (een- of meerjarig)? Interessante soorten om te onderzoeken zijn de inheemse kokkel (*Cerastoderma edule*), een belangrijke voedselbron voor vogelsoorten, die hittegevoelig lijkt te zijn, maar ook de uitheemse Filipijnse tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*), die dezelfde ecologische niche vervult. Door middel van een manipulatieve veldstudie en een labexperiment proberen we bovengenoemde vragen te beantwoorden. Middels literatuuronderzoek kijken we tevens naar de doorwerking van effecten van hitte op bodemfauna op het voedselaanbod voor hogere trofische niveaus. Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van beleidsondersteuning voor het ministerie van LNV project Ecosysteem benadering en Voedselweb.

De volgende kennisvraag en deelvragen staan in deze rapportage centraal:

Wat zijn de gevolgen van hogere temperaturen op schelpdieren in de Oosterschelde?

- a. *Wat zijn de gevolgen van hogere temperaturen op schelpdieren in de Oosterschelde? (d.m.v. een veldstudie)*
- b. *Wat is het effect van droogvalduur en verschillende temperaturen op de conditie en overleving van kokkels en tapijtschelpen? (d.m.v. veldstudie + labexperiment)*
- c. *Is er een verschil in effect van hoge temperaturen op verschillende jaarklassen (een- en meerjarig) ?*
- d. *Wat is de doorwerking in het voedsel web van de effecten op bodemfauna als gevolg van hoge temperaturen? (resultaten en literatuurstudie)*

2 Methode

2.1 Studiegebied

De Oosterschelde (Figuur 2-1) is een voormalig estuarium, dat na de aanleg van de Deltawerken is veranderd in een ondiepe baai met zout water en een gedempt getij. De stormvloedkering laat een getijde-amplitude toe die varieert van 2.5 meter bij de monding tot ongeveer 4 meter in het oosten. Via poldergemalen en sluizen komt er een zoetwaterdebiet van circa 25 m³/s het bekken in en bedraagt de gemiddelde saliniteit 30ppt (Nienhuis en Smaal, 1994).

Als gevolg van de getijdenstromen vinden erosie- en sedimentatieprocessen plaats die resulteren in een wisselend patroon van schorren, slikken en droogvallende platen (het intergetijdengebied), ondiep water en diepe getijdengeulen. In de monding van de Oosterschelde bevinden zich de diepste stroomgeulen die plaatselijk een diepte bereiken van 45 meter. Tussen deze stroomgeulen en in het gebied ten oosten van de Zeelandbrug bevinden zich uitgestrekte gebieden met ondiepe wateren met zandbanken. In het oosten en noorden van het gebied komen grote oppervlakten slikken voor. Het gebied herbergt de belangrijkste getijdennatuur (ca. 110 km²) van Zuidwest-Nederland in de vorm van droogvallende platen en schorren met de daarbij behorende grote hoeveelheden foeragerende en rustende wadvogels. Echter, de sterke afname van de hoeveelheid water die per getij de Oosterschelde in- en uitstroomt, was na de realisatie van de Deltawerken niet meer in balans met de doorsnede van de geulen. Het gevolg hiervan is een netto afbraak van de hoge platen en slikken waarbij het van de platen en slikken vrijkomende sediment bezinkt in de geulen. Dit proces wordt 'zandhonger' genoemd (Jacobse et al. 2008).



Figuur 2-1 De Oosterschelde met omliggende wateren en dammen overgenomen uit Troost en Ysebaert (2011).

De droogvallende slikken en platen vormen het foerageergebied voor vele vogelsoorten. De belangrijkste soorten zijn bontbekplevier, bonte strandloper, drieteenstrandloper, goudplevier, groenpootruiter, kanoetstrandloper, kievit, kluut, rosse grutto, scholekster, steenloper, strandplevier, tureluur, wulp, zilverplevier en zwarte ruiter. Deze soorten zijn beschermd onder de Natura 2000 vogelrichtlijn. Kokkels worden veel en graag gegeten door steltlopers en eenden. Als de kokkels nog jong zijn vormen ze ook voedsel voor zeesterren en garnalen. Ook vertegenwoordigen kokkels een zeker economisch belang, aangezien ze handmatig worden bevestigd in de Oosterschelde.

2.2 Bestudeerde soorten

Deze studie focust zich op het effect van temperatuur op de kokkel *Cerastoderma edule* en de Filipijnse tapijtschelp *Ruditapes philippinarum*. De kokkel is inheems in de Oosterschelde terwijl de Filipijnse tapijtschelp een uitheemse soort is.

Van nature komt de Filipijnse tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*, synoniem *Venerupis philippinarum* en *Tapes philippinarum*; Engels 'Manila clam') uit Indo-Pacifische wateren, met name rondom Japan, de Filipijnen, China en Korea. Echter, in de laatste decennia heeft deze invasieve exoot zich rap over de wereld verspreid. Na succesvolle introducties in de westkust van Canada en de Verenigde Staten voor aquacultuurdoeleinden in de jaren '30, werd de exoot ook in Europa voor dit doeleinde geïntroduceerd. De soort werd tussen 1972 en 1975 voor het eerst uitgezet in Frankrijk (baai van Arcachon; Flassch en Leborgne, 1992), gevolgd door introducties in Spanje en Italië (Lagune van Venetië) begin jaren tachtig, en Noorwegen en de zuidkust van Engeland (Jensen et al. 2004; Caldow et al. 2007) eind jaren tachtig (Titselaar, 2008; Kamermans en Leopold, 2021). In Engeland werd verwacht dat de soort zich hier niet zou voortplanten of vestigen vanwege de lage watertemperaturen. Dit bleek echter niet het geval. Filipijnse tapijtschelpen vertonen een groot aanpassingsvermogen en hoge resistentie tegen een grote range aan omgevingsfactoren, zoals saliniteit, zuurstofgehalte, sedimentsamenstelling en watertemperatuur (Liu et al. 2022; Boscolo Brusà et al. 2013). De Filipijnse tapijtschelp werd in 2008 voor het eerst levend in de Nederlandse kustwateren aangetroffen, in het Marollegat in de Oosterschelde. Aanvankelijk werd de soort voornamelijk rondom de oesterputten van Yerseke en bij Gorishoek gesignaleerd, in het oostelijke deel van de Oosterschelde (Titselaar, 2008). Het is mogelijk dat de schelp met geïmporteerd oester- of mosselzaad uit Engeland is meegekomen. Inmiddels wordt de Filipijnse tapijtschelp op diverse plaatsen in Zeeland aangetroffen, waaronder in het Veerse Meer, het Grevelingenmeer, de Voordelta en de monding van de Westerschelde (Troost et al. 2017). Sinds 2014 wordt de Filipijnse tapijtschelp specifiek onderscheiden in de jaarlijkse schelpdierinventarisatie die wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie van LNV (Troost, 2017). De Filipijnse tapijtschelp heeft zich aanhoudend uitgebreid in de Deltawateren (Troost et al. 2021). In 2020 bereikte het Filipijnse tapijtschelpbestand (12,7 miljoen kg versgewicht) een omvang van bijna de helft van het kokkelbestand (33,7 miljoen kg versgewicht). De, tegenwoordig wereldwijde, verspreiding van de Filipijnse tapijtschelp kan onder andere verklaard worden door de hoge tolerantie van deze soort voor verschillen in watertemperaturen (Kamermans en Leopold 2021). Filipijnse tapijtschelpen hebben een optimale temperatuurrange tussen de 15-28 °C (Foekema et al. 2014, Kang et al., 2016, Han et al. 2008). Boven de 28 °C ondervinden ze verhoogde sterfte (Kamermans en Leopold 2021), maar temperaturen tussen de 0-35 °C kunnen worden overleefd. Tapijtschelpen kunnen ook wennen aan hogere temperaturen. Na een gewenningsperiode bij 25 °C werd een temperatuur van 37 °C getolereerd, terwijl individuen die een gewenningsperiode bij 18 °C hadden ondergaan een maximum temperatuur van 36 °C konden tolereren (Shin et al. 2000).

Kokkels daarentegen hebben een optimale temperatuurrange tussen de 20-23 °C (Velderbos et al. 2015). Bij hogere temperaturen worden fysiologische processen in de kokkel aangetast. Bij 5-23 °C trad geen sterfte op, maar kokkels lieten een sterke toename in sterfte zien bij een temperatuur boven de 26 °C en 100% sterfte bij langer aanhoudende temperaturen boven de 32 °C (Velderbos et al. 2015).

Kokkels en Filipijnse tapijtschelpen komen in zeer vergelijkbare habitats voor. Ze zitten beide voornamelijk in de zand- en slibrijke bodems van het intergetijdengebied en voeden zich door voedsel uit het water te filtreren. In de Oosterschelde vallen gebieden met hoge aantallen Filipijnse

tapijtschelpen samen met die van kokkels (Kamermans en Leopold, 2021). De ingraafdiepte van de kokkel en Filipijnse tapijtschelp vertoont slechts kleine verschillen. Over het algemeen blijft de kokkel dicht bij de oppervlakte en ligt de ingraafdiepte van de kokkel tussen 1-2 cm. Deze kan lichtelijk toenemen bij grotere lengte en tijdens de winter (Zwarts en Wanink, 1989). De ingraafdiepte van de Filipijnse tapijtschelp ligt tussen 1-4 cm diepte, waar grotere individuen iets dieper kunnen zitten (Humphreys et al. 2007; Lee, 1996).

2.3 Veldstudie: conditie en overleving

In recente jaren vond grote kokkelsterftes plaats in de Oosterschelde. Deze vielen samen met hittegolven. Om kennis te ontwikkelen over hitteopbouw in de bodem van intergetijdengebieden is Wageningen Marine Research in 2019 gestart met het plaatsen van temperatuurloggers in de Oosterschelde (Suykerbuyk et al. 2020). In 2020 werd getracht temperatuurdata te linken aan kokkelsterfte door te kijken naar de hoeveelheid kokkels in 'kokkelvakken' (een uitgezette oppervlakte van 1 bij 1m) in mei en september. door de lange tijdsplan was het onbekend wanneer sterfte exact had plaatsgevonden en wat de achterliggende oorzaak hiervan was (Suykerbuyk et al. 2021). In 2021 zijn we daarom gestart met een kleinschalig experiment waarbij temperatuurmetingen in het sediment gecombineerd werden met een overlevingsproef van uitgezette kokkels.

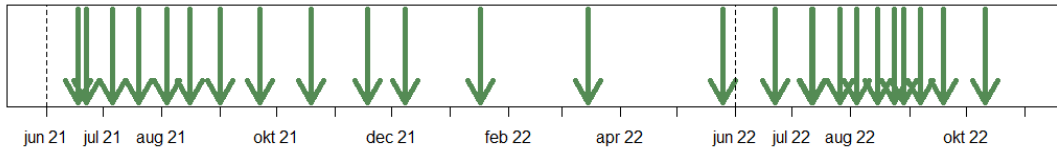
2.3.1 Veldstudie 2021

De kokkels waren afkomstig van de Waddenzee, waar ze begin juni 2021 verzameld waren. Op 11 juni 2021 werden ze op 2 locaties uitgezet in de Oosterschelde, nabij de Oesterdam en Roelshoek. Op elke locatie werden twee plots van 1m² met bamboepalen gemarkeerd. Binnen elke plot werden alle schelpdieren verwijderd door met de hand te krauwen. Vervolgens werd 2.5kg versgewicht aan meerjarige kokkels homogeen verspreid binnen elke plot (Figuur 2-2). Op elke locatie werd vervolgens in duplo temperatuurloggers (HOBO onset type mx2201 ±0,5°C nauwkeurig) geplaatst op een diepte van 3, 5 en 10cm. Tevens werd op elke locatie een temperatuurlogger op de bodem (0cm) geplaatst en een lichtlogger. Bamboepalen waren vervolgens verwijderd zodat wieren niet aan de palen konden blijven hangen, welke de ingezaaide plots konden verstoren. Om de locaties terug te kunnen vinden werden een bamboestok op bekende afstand van de plots geplaatst en gemarkeerd middels een handheld gps.



Figuur 2-2 Uitzaaien van ~250 kokkels binnen 1m² op de Oesterdam.

Gedurende de zomer (juni-september) werden de locaties elke 2 weken bemonsterd. In het najaar en de winter werd om de ~4 weken bemonsterd (Figuur 2-3). Per plot werden 5 kokkels opgegraven (10 per locatie) en meegenomen naar het lab voor conditiebepalingen. Tevens werd per plot geteld hoeveel kokkels er aan de oppervlakte lagen, opgesplitst in levend (dichte schelp) of dood (open schelp, met of zonder vlees).



Figuur 2-3 Tijdlijn van momenten waarop de sterfte en conditie-index metingen genomen voor de 2021 inzet.

2.3.2 Veldstudie 2022

Terwijl in 2022 de veldstudie van 2021 werd voortgezet, met de overgebleven kokkels, is tegelijkertijd een tweede veldexperiment opgezet waarbij onderscheid gemaakt is tussen één- en meerjarige kokkels, om te onderzoeken of er een verschil is tussen de overleving en conditie in reactie op hitte van verschillende jaarklassen. Dit experiment is deels voortgezet op de Oesterdam, maar dan bij een andere droogvalduur, en deels opgezet op een nieuwe locatie, de Yerseke Bank (een intergetijdengebied langs de zuidoever van het oostelijk deel van de Oosterschelde). Initieel was er besloten om voor beide locaties een punt te zoeken met een droogval duur van ~50%, omdat uit eerder onderzoek al is gebleken dat hier temperaturen kunnen oplopen en het tegelijkertijd een locatie is waar de schelpensoorten optimaal voorkomen. Op de Oesterdam is dit gelukt, mede dankzij locaties die tijdens vorige onderzoeken al waren uitgezocht. De Yerseke bank bevatte echter geen geschikte locatie met een droogvalduur van 50%, en wegens tijdgebrek is er besloten om ze te plaatsen op een droogvalduur van ~30%.

De opzet van het experiment is te zien in figuur 2-4. Op elke locatie zijn 4 aangrenzende kwadranten van 1m² uitgezet, waaruit eerst alle aanwezige schelpdieren zijn verwijderd. Vervolgens zijn in elk kwadrant 60 levende schelpdieren geplaatst: waarbij in twee kwadranten tapijtschelpen, in één kwadrant éénjarige en in één ander kwadrant meerjarige kokkels. De opname van sterfte en de verdere verwerking en conditie bepaling was hierbij gelijk aan de opzet van 2021. Zowel op de Oesterdam als op de Yerseke bank zijn circa. 1 meter van de kwadranten vandaan loggers geplaatst op 0,3,5 en 10 cm diepte (Tabel 2-1). Doordat de loggers erg gevoelig zijn, en makkelijk breken, zijn op beide locaties voor elke diepte 2 loggers geplaatst.

Het plan was om tweewekelijks te bemonsteren, zolang temperaturen relatief laag bleven. Tijdens hitte momenten, of wanneer meldingen binnenkwamen van kokkelsterfte, is de bemonsteringsintensiteit opgehoogd. Uiteindelijk zijn er 10 monsters genomen. Figuur 2-6 geeft een overzicht van de daadwerkelijk bemonsterde datums. Hier zijn ook de warme dagen van 2022 weergegeven. De temperatuur loggers zijn in oktober 2022 er weer uit gehaald omdat deze nodig waren voor het hitte experiment.

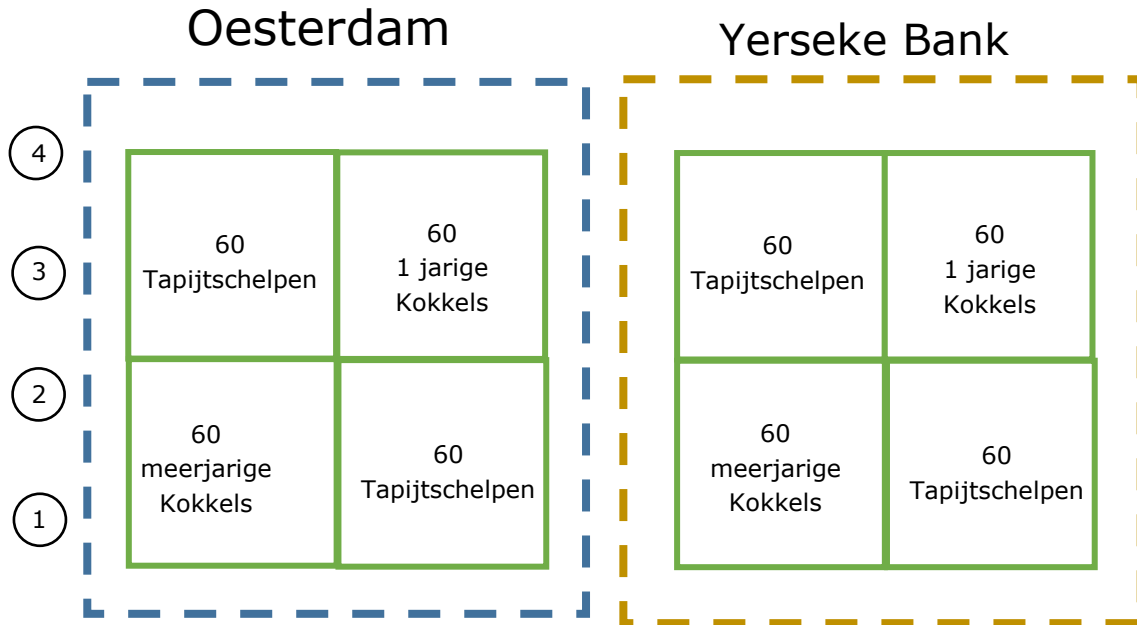
Tabel 2-1 Positie en de daarbij geplaatste loggers met ingraafdiepte. Omdat de loggers snel kapot gaan, zijn alle loggers in tweevoud geplaatst.

Positie	Loggers
1	0 cm
2	3,5 en 10cm
3	3,5 en 10cm
4	0 cm en lichtlogger

2.3.3 Selectie van onderzoekslocaties

Om de continuïteit van het onderzoek als vervolg op de hittestudie van 2020 voort te zetten, is er getracht zoveel mogelijk gebruik te maken van de eerder geselecteerde bemonsterde locaties (Suykerbuyk et al. 2020). Bij deze selectie van de meet en bemonsteringslocaties is er rekening gehouden met de geschiktheid voor zowel tapijtschelpen als kokkels en de natuurlijke verspreiding van beide soorten. Hierom is gekozen om een groot deel van het onderzoek op de Oesterdam te laten plaatsvinden, omdat beide soorten hier in relatief hoge aantallen voorkomen. In de veldcampagne van

2021 en 2022 is het experiment daarom voortgezet op de Oesterdam. En in is de veldcampagne 2022 ook uitgebreid met de locatie Yerseke bank.

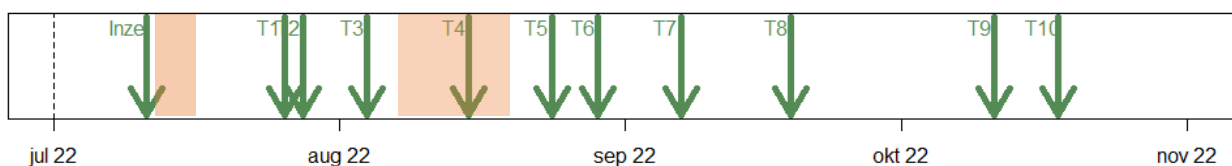


Figuur 2-4 Experimentele opzet van het veldexperiment van 2022. Op elke locatie zijn 4 kwadranten van 1m² uitgezet met daarin elk 60 individuen van de desbetreffende soort/jaarsklasse. Hiernaast zijn loggers geplaatst op 0,3,5 en 10 cm diepte op verschillende posities om, conform de methode van vorige experimenten, de temperatuur in de bodem te volgen. Op elke meet moment is de verhouding levend/dood zichtbaar aan de oppervlakte genoteerd, en zijn er per vak 5 individuen (in totaal 40/moment) meegenomen om de conditie te bepalen.



Figuur 2-5 Links: Locatie waar op de Oesterdam in 2022 het experiment is uitgezet (met een droogvalduur van circa 50%). Rechts: Indicatie van hoeveelheid kokkels aangetroffen in 1 kwadrant (1m²) op de Oesterdam voor het plaatsen van de proefschelpdieren. Dit laat zien dat het gebied een geschikt habitat is voor de kokkel.

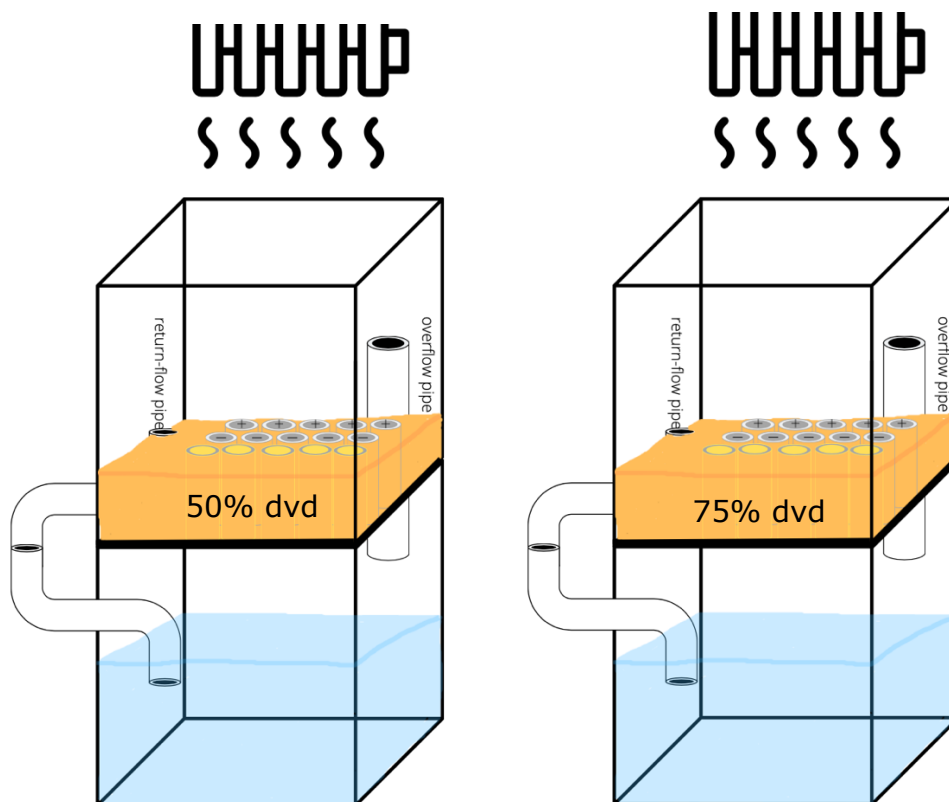
Meetmomenten Zomer 2022 Inzet



Figuur 2-6 Tijdlijn met meetmomenten in de zomer van 2022 van sterfte en conditie-index weergegeven in groen. Kortdurende extreme hitte en de hittegolf (gedefinieerd door het KNMI) zijn weergegeven in oranje. T6 is een extra moment welk is ingevoerd omdat we melding kregen van sterfte.

2.4 Lab experiment: effecten van droogvalduur en temperatuur

Veldmetingen hebben aangetoond wat de temperatuursverloop in de Oosterschelde bij verschillende droogvalduren op en in het sediment is. Hierbij zijn er, tijdens een nazomerse hittegolf, extremere en meer fluctuerende temperaturen bij hoge droogvalduren geobserveerd en relatief geleidelijke en lagere temperaturen bij lagere droogvalduren. De link tussen deze verschillende temperaturomgevingen bij verschillende droogvalduren en overleving/conditie van organismen is nog niet gelegd. Daarom dat er is gekozen om experimenten op te zetten in getijdenbakken, in samenwerking met het NIOZ, waar tapijtschelpen en kokkels aan twee droogvalduren (50% en 75%) zijn blootgesteld. De luchttemperatuur die tijdens de temperatuurmetingen van de hittegolf in 2020 zijn geobserveerd, zijn als leidraad gebruikt voor dit experiment (zie Suykerbuyk et al. 2020). Doordat er niet voldoende meerjarige kokkels in het veld zijn gevonden, is er onderscheid gemaakt tussen 1- en 2- jarige kokkels, om alsnog het verschil tussen vroege jaarklassen te bepalen. Bij de tapijtschelpen is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende jaarklassen.



Figuur 2-7 Getijdebakken met elk een andere droogvalduur. Elke getijdebak bevatte voor elke soort 5 cilinders, voor kokkels (zowel meer als enkel jarig) zat er per cilinder 4 individuen, voor tapijtschelpen zaten er per cilinder 3 individuen.

2.4.1 Opzet getijdebakken

De opzet van dit experiment is op een vergelijkbare manier opgezet als in Zhou et al. 2022. Hierbij werd gebruik gemaakt van twee klimaatkamers (kamer A en B), bij het NIOZ in Yerseke, en werden in totaal 8 getijdebakken ingezet, vier in elke klimaatkamer. Een getijdebak bestond uit twee delen (zie figuur 2-7), het bovenste gedeelte werd gevuld met een laag van 18cm bouwzand (kleinst mogelijke beschikbaar ~D50 = 0.1mm, 0% slibgehalte). Het onderste gedeelte werd gevuld met water, dat door middel van een pomp de waterstand op de bovenste bak met sediment reguleerde. Tijdens hoog water (in de bovenste bak) werd het water constant rondgepompt met het water in de onderste bak, waar zich een aerator bevond. Tijdens laag water is door middel van een return flow pipe het waterniveau in het sediment gereguleerd. Hierbij is een stukje gaas over kleine openingen in de pijp geplakt om te voorkomen dat sediment wegspoelde. Hierdoor kon bij laag water het water niveau net zo laag komen

te staan als het sediment, echter kon het water hierdoor ook te ver zakken waardoor het sediment droog werd. Er is gepoogd om het waterniveau nét onder het sediment niveau te houden, om de omgeving van de tweekleppigen op de Oesterdam zo veel mogelijk na te bootsen. De luchttemperatuur in de klimaatkamers werd op 23°C graden overdag gehouden en 20°C s `nachts, terwijl de hitte overdag werd toegediend door middel van een infraroodstraler om instraling na te bootsen, terwijl de controlebakken alleen invloed ondervonden van de omgevingstemperatuur. Een overzicht van op welke tijden het water op de bakken stonden, wanneer de heaters aangingen en wanneer de lichten aan/uit waren is te zien in tabel 2-2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
52%			03:30	High tide					09:15	Low tide					15:30	High tide				21:15	Low tide			
52%			Heater off							Heater on						Heater off								
75%			05:00	High tide				08:00	Low tide						17:00	High tide			20:00	Low tide				
75%			Heater off							Heater on						Heater off								
										Check for dead bivalves					Feeding time									
		20 °C	05:30							23 °C										21:00			20 °C	

52% Heaters on 10:00 - 15:00
 75% Heaters on 09:30 - 15:30
 Measure depth 09:00 & 14:00

Tabel 2-2 Experimentele dagschema (24 uur) voor de klimaatkamers en de bakken met 50% en 75% droogvalduur. De temperatuur voor de kamer werd op 23°C graden gehouden overdag (5:00-21:00) en 20°C s `nachts (21:00-5:00). De instralingshitte op/in het sediment werd door middel van een infraroodstraler toegediend aan de hitte bakken, terwijl de controle bakken alleen invloed ondervonden van de omgevingstemperatuur. Iedere dag werd gecontroleerd dode schelpdieren. Ook werd iedere dag voeding toegediend (5 ml Shelfish diet 1800).

In beide klimaat kamers stonden elk vier getijde bakken, waarvan twee een droogval duur van 52% hadden en twee een droogvalduur van 75%. Per droogval duur was er 1 bak voor de controle en 1 bak waar hitte aan toegediend zou worden (zie Ta). De opzet was in beide kamers hetzelfde, en de kamers dienden in eerste instantie als duplicaat. Echter zijn er wel verschillen opgetreden doordat de heaters lastig in te stellen waren. Elke getijde bak kreeg een reeks aan temperatuurloggers om, net als in het veld, de temperatuur op 0,3,5 en 10 cm diepte te monitoren. Verder werden 16 pvc buizen geplaatst (interne diameter van 10cm) in het sediment zodat de bovenkant gelijk was met het sediment. In 5 van de buizen werden eenjarige kokkels geplaatst (4 per buis), in 5 anderen de tweejarige kokkels (4 per buis) en in de overgebleven 5 de tapijtschelpen (3 per buis). Zo konden de soorten jaarklassen van elkaar worden onderscheiden. De loggers werden geplaatst in de 16^{de} buis, zodat de gemeten temperatuur de daadwerkelijke temperatuur was die aanwezig was in een buis. De onderkant van de buis werd afgedicht met een gaas om te voorkomen er dieren konden ontsnappen, en in de zijkant werden gaten geboord zodat het grondwaterpeil kon afnemen tot het niveau van de rest van de bak. Hierdoor waren er per bak 40 kokkels en 20 tapijtschelpen.

Tabel 2-3 Overzicht van treatment per bak in Klimaatkamer A en Klimaatkamer B en droogvalduur

Klimaatkamer en bak	Treatment	AET
A1	Heat	52%
A2	Control	52%
A3	Heat	75%
A4	Control	75%
B1	Heat	52%
B2	Control	52%
B3	Heat	75%
B4	Control	75%

2.4.2 Verzameling en acclimatisatie

Op 26 September 2022 zijn de tapijtschelpen verzameld en 3 dagen later de kokkels. Beide soorten zijn verzameld op de Oesterdam. Om te voorkomen dat de schelpdieren al eerdere hittestress hadden ondervonden, is er gekozen om ze te verzamelen bij een lage droogvalduur (24%) en ze langzaam te laten acclimatiseren in de klimaatkamers. De schelpdieren werden in 2 bakken geacclimatiseerd waarbij stapsgewijs naar 20°C en de betreffende droogvalduur is toegewerkt (Zie bijlage I). Helaas is door materiaal problemen met de klimaatkamers en de heaters, het experiment meerder keren verschoven. Door deze moeilijke opstart in de klimaatkamers, is de acclimatisatieperiode langer geweest dan was gepland. Daar boven op zijn de kokkels en tapijtschelpen het weekend vóór de initiële start van het experiment uitgezocht op leeftijdsklasse en hierdoor in manden boven het sediment geplaatst. Hierdoor zijn ze een weekend lang blootgesteld aan de geacclimatiseerde droogvalduur in een mand waarin het niet meer mogelijk was om zichzelf in sediment in te graven. Bij terugkomst leken veel van de kokkels te zwak om gebruikt te worden (groeven zich niet meer in, kleppen stonden open), en is er besloten om opnieuw kokkels te verzamelen. De tapijtschelpen zijn wegens tijdgebrek niet vervangen. Op 27 oktober zijn er nieuwe kokkels verzameld op dezelfde locatie bij de Oesterdam.

De schelpdieren werden tijdens de acclimatisatieperiode in klimaatkamer A bewaard bij een temperatuur van 20°C. Tijdens deze acclimatisatieperiode zijn in klimaatkamer B test runs gedraaid om te experimenteren met hoe de temperatuur geregeld konden worden. Aan het begin van de acclimatisatieperiode en aan het begin van het experiment werden 5 schelpen per soort/leeftijdsklasse gebruikt voor de bepaling van een conditie index. Deze werden ook genomen na afloop van het experiment.

2.4.3 Uitvoering experiment

Kokkels werden twee keer per week gevoerd met 5ml geconcentreerd voer per bak (Shellfish Diet 1800) (Zhou et al. 2022). Twee keer per dag werden de dode kokkels geteld en gemeten hoe diep de schelpdieren in het sediment zaten (verder dieptemetingen genoemd). Het experiment heeft in totaal 7 dagen geduurd: op maandag 7 november gingen voor het eerst de heaters aan en op zondag 13 november voor het laatst. Op maandag 14 november is er voor het laatst geteld hoeveel dode schelpdieren er waren en zijn de schelpdieren verzameld voor de bepaling van de conditie-index.

Naast de overleving zijn er tweemaal dagelijks dieptemetingen genomen. Hiervoor is bij een aantal schelpen (1 cilinder per soort per bak) een touwtje vastgelijmd aan de schelp. Vier verschillende kleuren werden gebruikt zodat de individuen van elkaar onderscheiden konden worden. De lengte van dit touwtje is vervolgens opgemeten om zo de dieptepositie van de schelp te bepalen/berekenen. De meting vond eenmaal plaats voor het aangaan van de verwarmingselementen, en eenmaal net nadat de verwarmingselementen weer uit waren gegaan.

Tot slot zijn er na afloop van het experiment respiratiemetingen uitgevoerd. Hiervoor zijn 5 kokkels per leeftijdsklasse en 4 tapijtschelpen, per getijdebak (voor zover de overgebleven aantallen in een bak dat toelieten), individueel geplaatst in 70ml potjes gevuld met zuurstofrijk water (~95%). Na circa een half uur werd de zuurstofsaturatie gemeten met een Hach HQ40D multimeter en de zuurstofafname werd omgerekend naar absoluut verbruik in mg/g lichaamsgewicht. Het exacte volume water werd berekend door de inhoud van de schelpdier af te trekken van het volume van het potje. Doordat de inhoud niet gemeten is, maar de dimensies wel kon deze alsnog worden berekend.

De resultaten van de respiratie-experimenten en de diepte metingen zullen in deze rapportage nog niet worden besproken, maar in een vervolg rapportage. Dit geldt ook voor de conditie index die voor- en na afloop van het experiment zijn genomen. Dit omdat hier nog additionele analyses voor noodzakelijk zijn en dit niet binnen de scope van dit project mogelijk was.

2.5 Effect op hogere trofische niveau's

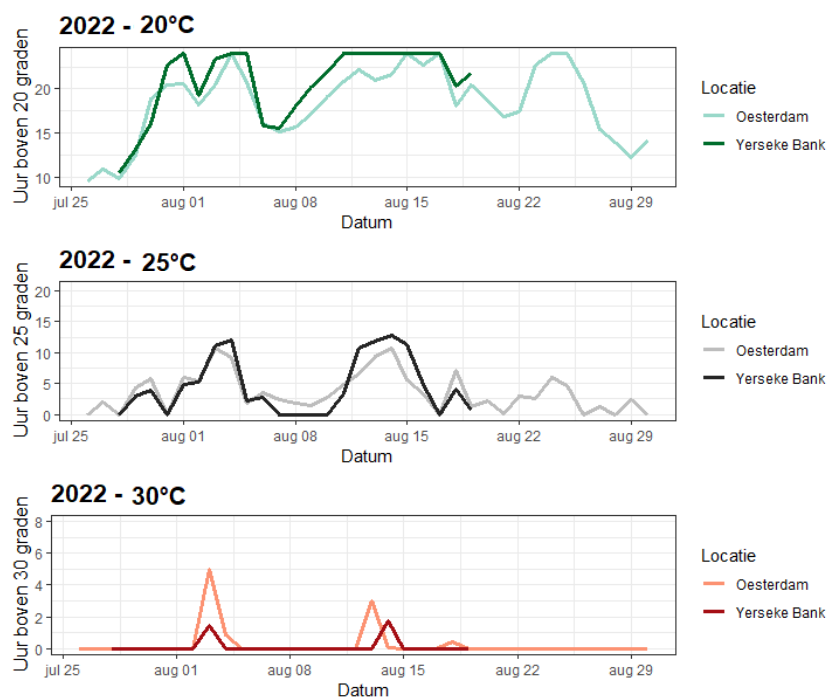
Gezien de sterke opkomst van de Filipijnse tapijtschelp is het niet ondenkbaar dat deze zal concurreren met de kokkel en wellicht kan dienen als alternatieve voedselbron of als vervanger van de kokkel – met name als het kokkelbestand blijft krimpen. Om hier gegrond over te kunnen speculeren, kan onder andere gekeken worden naar de morfologie en de eigenschappen van de twee verschillende soorten. Sinds de sterke opkomst van de exotische Filipijnse tapijtschelp in Nederland is er gehypothetiseerd over de mogelijke rol die de Filipijnse tapijtschelp in het voedselweb kan gaan vervullen. Gezien de gestaag klimmende temperaturen en het toenemende aantal (kortstondige) hittegolven in Nederland, staat de vraag open of de Filipijnse tapijtschelp – die beter tegen de hitte lijkt te kunnen dan kokkels – de functie en rol van de kokkel in het ecosysteem kan vervangen, met name in geval van een dalend kokkelbestand. Om antwoord te krijgen op deze vraag, is het van belang om te kijken naar de overeenkomsten tussen de twee verschillende schelpdieren en hun (mogelijke) rol in het ecosysteem in de Oosterschelde.

3 Resultaten

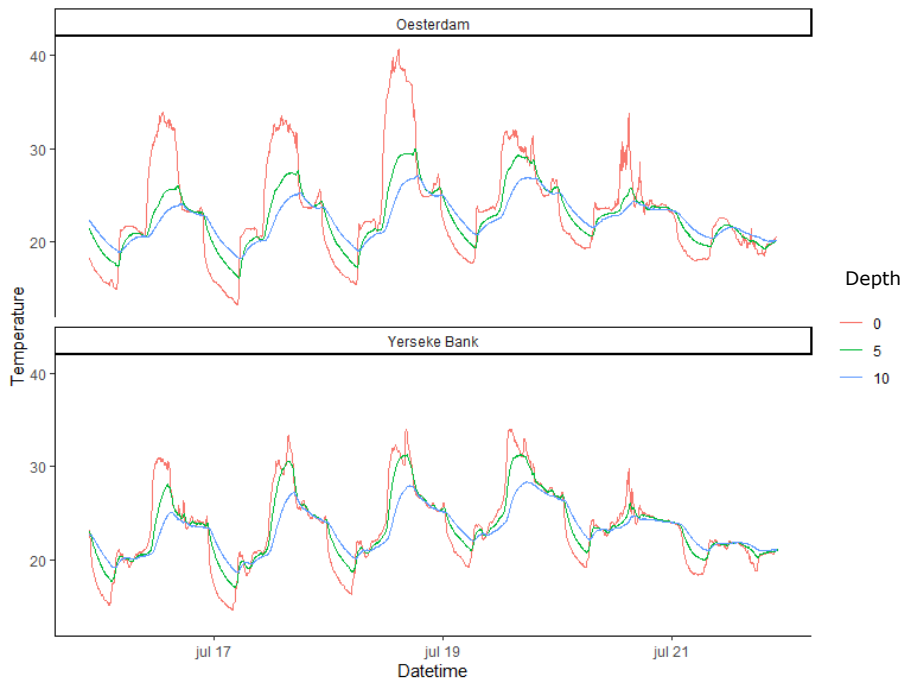
3.1 Veldstudie (2021 en 2022)

De zomer van 2021 was een uitzonderlijk koude zomer waar geen hittegolf heeft plaatsgevonden. Het KNMI kwantificeert hoe warm een zomer is, op basis van het aantal graden boven 20°C de gemiddelde dag temperatuur is, door middel van een zogenaamd warmtegetal (KNMI, 2022). In 2021 lag dit warmtegetal op 59.4. Dit is het laagste warmtegetal sinds 2011. Logger-gegevens laten zien dat in 2021 de sedimenttemperatuur de gehele zomer nauwelijks boven de 30°C uit is gekomen.

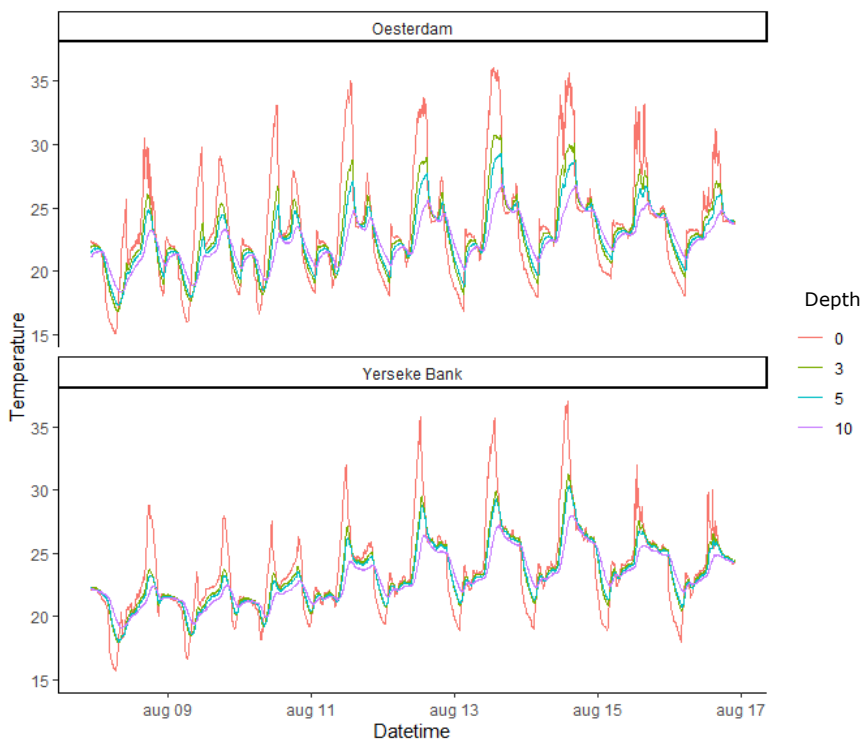
De zomer van 2022 verliep warmer dan die van 2021, en kreeg van het KNMI een warmtegetal van 138.4 (KNMI, 2020). Logger gegevens laten zien dat, op 3cm diepte, de temperatuur tijdens een aantal dagen in juli en augustus enkele uren (max 5 uur) boven de 30°C is (figuur 3-1). Op 18 en 19 juli was het uitzonderlijk warm in Nederland. Op 18 juli was er sprake van tropische warmte met luchttemperaturen die opliepen tot 35°C. 19 juli was de warmste dag, en werd het in het zuiden van Nederland 37-39°C. Echter hield deze warmte niet lang genoeg aan om een hittegolf te vormen en spreken we van kortdurende extreme hitte. Op 20 juli werd deze hitte al snel weer verdreven en op 21 juli was het al naar een graad of 20°C afgekoeld. Figuur 3-2 geeft de resultaten van het verloop van deze warme dagen op basis van temperatuurlogger gegevens weer. Tijdens deze dagen was het laag water overdag, in onze rapportage van 2020 zagen we vooral hoge temperaturen in het slik tijdens warme dagen waar laag water overdag viel (Suykerbuyk et al. 2020). Echter is de water temperatuur mid juli 2022 nog relatief koel, wat de opbouw van hogere temperaturen in het sediment vermoedelijk weer tegen gaat (Suykerbuyk et al. 2021). In 2022 heeft er een landelijke hittegolf (min. 5 dagen boven 25°C, waarvan 3 boven 30°C) plaatsgevonden van 9 tot 16 augustus. Van deze 8 dagen waren er 5 tropisch warm, en was de gemiddelde luchttemperatuur 32.3°C. De temperatuur verloop tijdens deze hittegolf op de Oesterdam en de Yerseke Bank is weergegeven in figuur 3-3.



Figuur 3-1 Uur/dag boven een bepaalde temperatuur op 3cm diepte bij de locatie Oesterdam en Yerseke bank.



Figuur 3-2 Temperatuursverloop tijdens de korte periode van intense hitte in juli 2022 op de Oesterdam en de Yerseke bank.



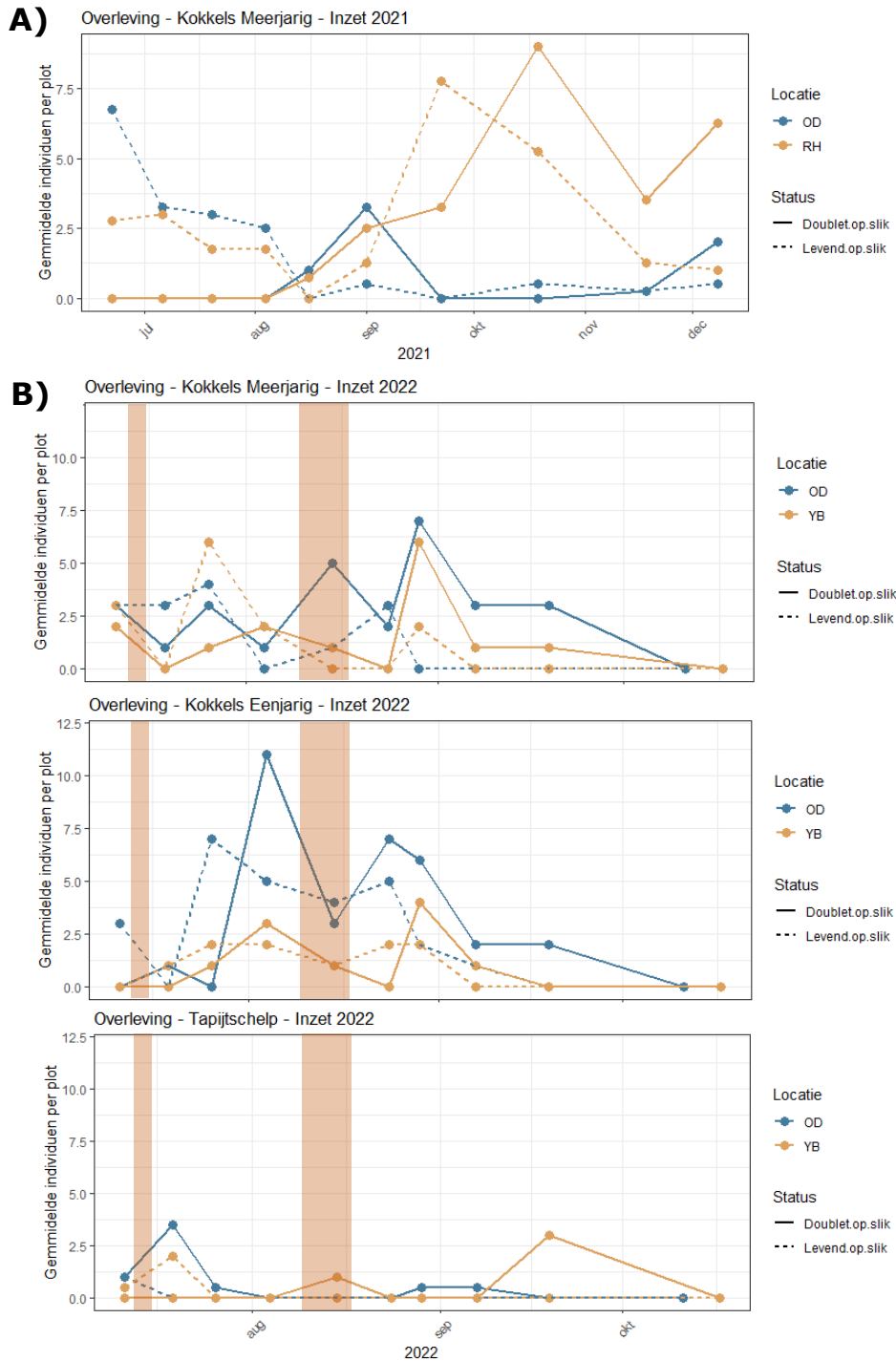
Figuur 3-3 Temperatuursverloop tijdens de hittegolf in augustus 2022 op de Oesterdam en de Yerseke Bank.

3.1.1 Overleving

In 2021 zijn aan de start van de monitoring (half juni tot half augustus) vooral levende kokkels waargenomen op het slik van zowel Roelshoek als de Oesterdam (zie figuur 3-4). Door de zomer heen zijn er vrij weinig dode kokkels geobserveerd. Halverwege augustus beginnen de hoeveelheden dode kokkels toe te nemen. Bij de Oesterdam is er een kleine piek te zien begin september, waarna de aantallen weer afnemen. Bij Roelshoek nemen de hoeveelheden echter verder toe en pieken de

waargenomen levenden op het slik rond de 7-8 individuen per plot mid-september en de waargenomen dode op het slik rond de 8-9 individuen per plot, bij de volgende eerstvolgende bemonstering, mid-oktober.

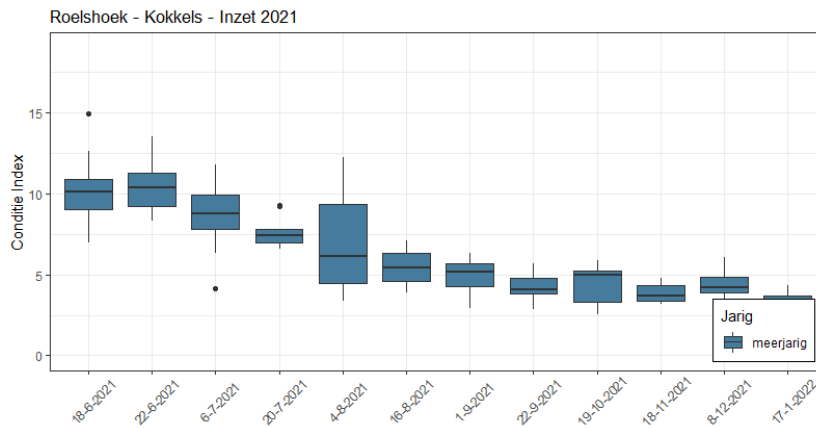
In 2022 zijn eerder in het seizoen dode en levende kokkels op het slik waargenomen. Opvallend is dat een hitte-event, met een vertraging van ongeveer 1-2 weken gevolgd wordt door een piek in aantal kokkels op het slik. Op de Oesterdam werden iets hogere aantallen waargenomen in kokkelvakken met enkeljarige kokkels. Op de Yerseke bank zat er geen opvallende verschillen tussen de jaarklassen. Tijdens de gehele observatieperiode werden slechts weinig tapijtschelpen aan het oppervlak waargenomen.



Figuur 3-1 Aantal dode en levende (doublet) schelpdieren aangetroffen op de bemonsterde locaties in 2021 (A) tussen juli en december en in 2022 (B) tussen juli en oktober. Kortdurende extreme hitte en de hittegolf (gedefinieerd door het KNMI) zijn weergegeven in oranje

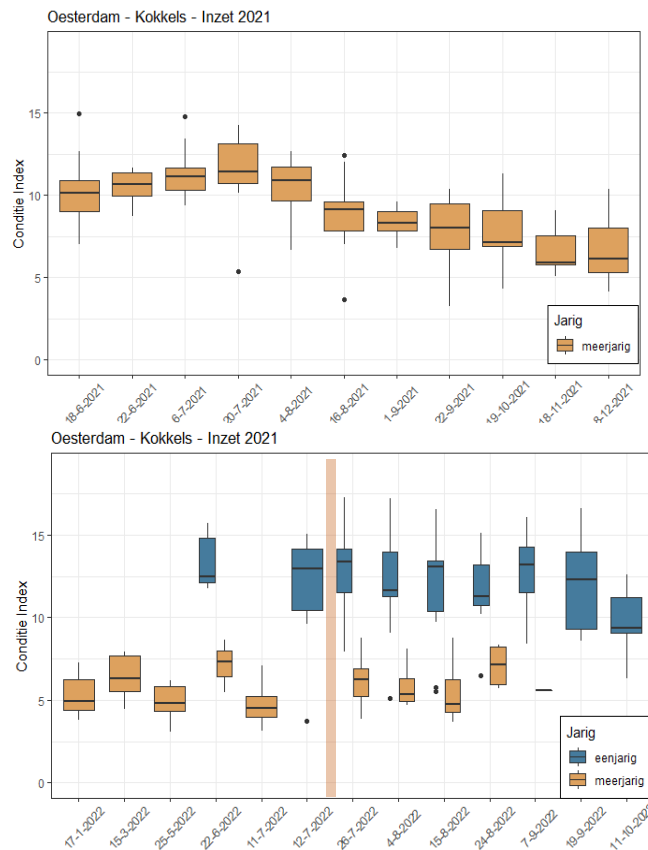
3.1.2 Conditie-index

Tijdens de proef die in 2021 is ingezaaid, is er over de zomer en tijdens het najaar een geleidelijke afname in conditieindex te zien. Deze afname is het meest zichtbaar in Roelshoek, waar er in januari 2022 geen kokkels meer waren en de locatie werd stopgezet, zoals weergegeven in figuur 3-5. In 2022 blijft deze conditie index laag op de Oesterdam (rond de 5, zie figuur 3-6). In 2022 zijn er ook nieuwe kokkels in de kokkelvakken bij de Oesterdam terechtgekomen. Deze zijn verder bemonsterd als 1-jarige kokkels en de conditie-index neemt in de loop van de zomer niet af.



Figuur 3-5 Verloop van conditie van meerjarige kokkels op Roelshoek.

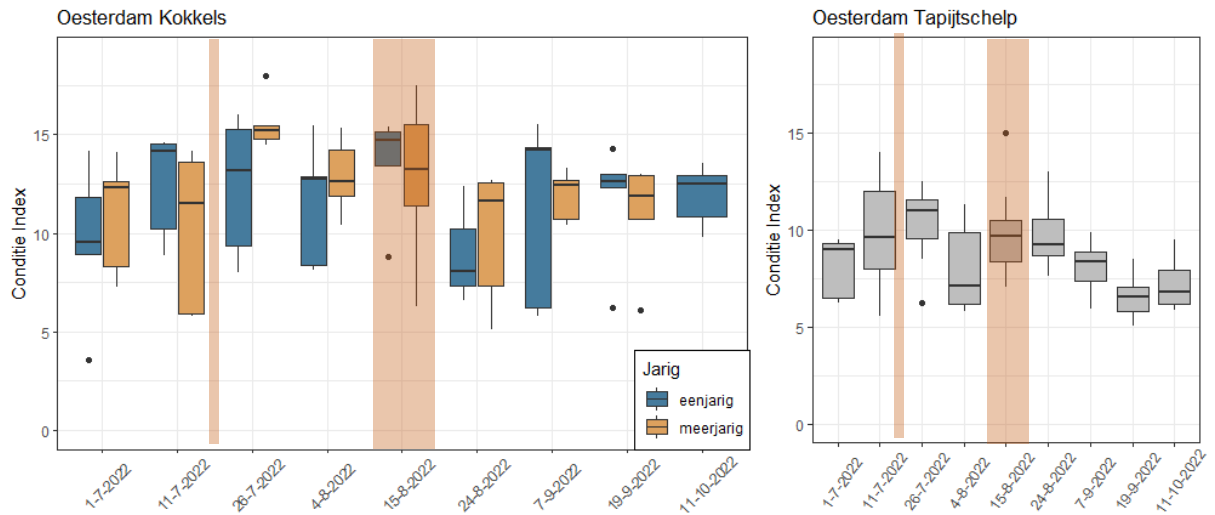
Tijdens de proef die in 2022 is ingezaaid, vertonen tapijtschelpen op zowel de Oesterdam als de Yerseke bank vergelijkbare patronen, waar per monstertmoment overeenkomstige conditie-indexen tussen de locaties worden gemeten (figuur 3-7 & figuur 3-8). Er is vooral in het najaar een daling van de conditie



Figuur 3-6 Verloop van de conditie van kokkels, ingezaaid in 2021, op de Oesterdam in 2021 (boven) en 2022 (onder). Kortdurende extreme hitte en de hittegolf (gedefinieerd door het KNMI) zijn weergegeven in oranje.

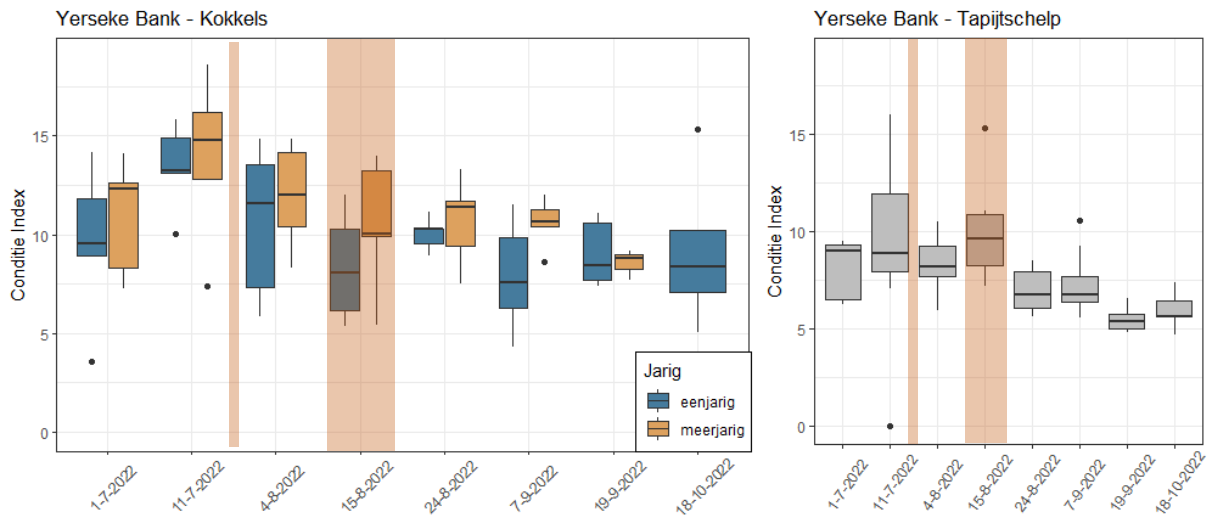
van tapijtschelpen waarneembaar. Hoewel het patroon van kokkels fluctueert, er is geen sterke afname zichtbaar gedurende de zomer.

c



Figuur 3-7 Verloop conditie index schelpdieren op de Oesterdam. Uitzet van 60 individuen per soort/leeftijdklasse vond 1 juli 2022 plaats en vervolgens zijn er 8 metingen genomen van elke keer 5 individuen (van welk 1 de conditie index niet bepaald is). In totaal zijn er tijdens het experiment 40 individuen bemonsterd. Kortdurende extreme hitte en de hittegolf (gedefinieerd door het KNMI) zijn weergegeven in oranje

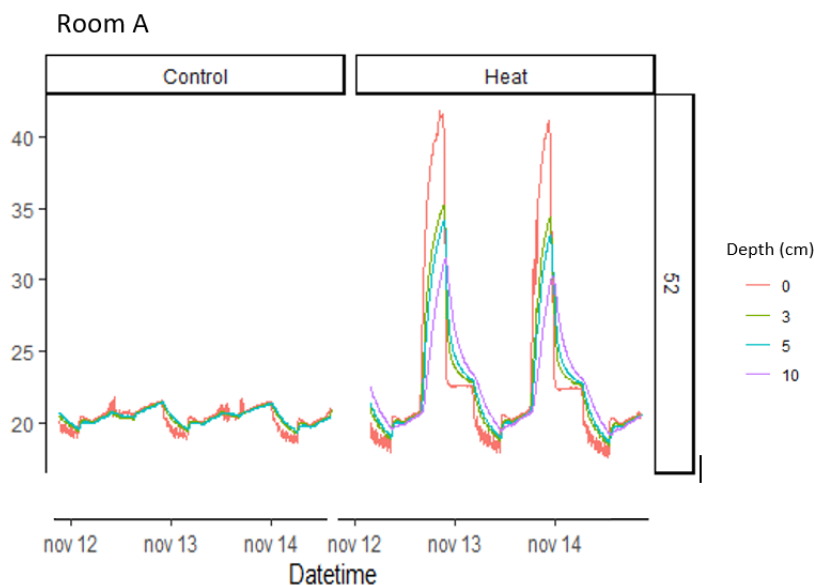
.



Figuur 3-8 Verloop conditie index schelpdieren op de Yerseke bank. Uitzet van 60 individuen per soort/leeftijdklasse vond 1 juli 2022 plaats en vervolgens zijn er 8 metingen genomen van elke keer 5 individuen (van welk 1 de conditie index niet bepaald is). In totaal zijn er tijdens het experiment 40 individuen bemonsterd. Kortdurende extreme hitte en de hittegolf (gedefinieerd door het KNMI) zijn weergegeven in oranje.

3.2 Labexperiment effecten droogvalduur en temperatuur

Het temperatuursverloop in de getijdebakken met verhoogde temperaturen (hitte-bakken), volgde een vergelijkbaar patroon als de temperatuur tijdens een hittegolf in het veld, met een duidelijke piek midden op de dag, koudere temperaturen 's nachts en een stabiele temperaturen bij hoog water (figuur 3-9). Ook was de watertemperatuur in de middag een aantal graden hoger dan in de ochtend. In de controlebakken fluctueerde de temperatuur heel wat minder, en lag tussen de 19 en de 22°C, met overdag een hogere temperatuur dan 's nachts.

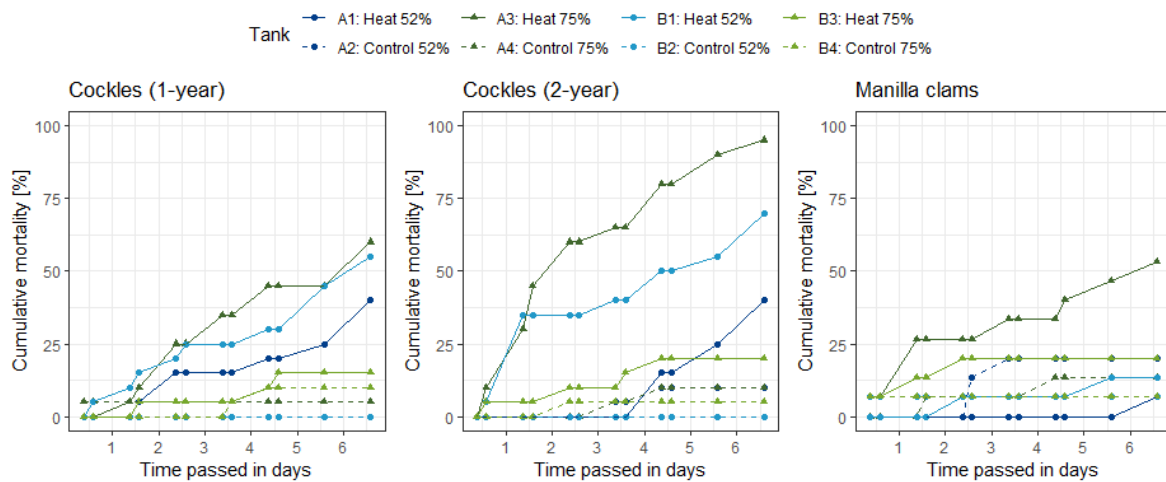


Figuur 3-9 Temperatuursverloop van de controle en hitte getijdebakken in klimaatkamer A met een droogvalduur van 52%, met onderscheid tussen controlebakken en bakken met verhoogde temperaturen.

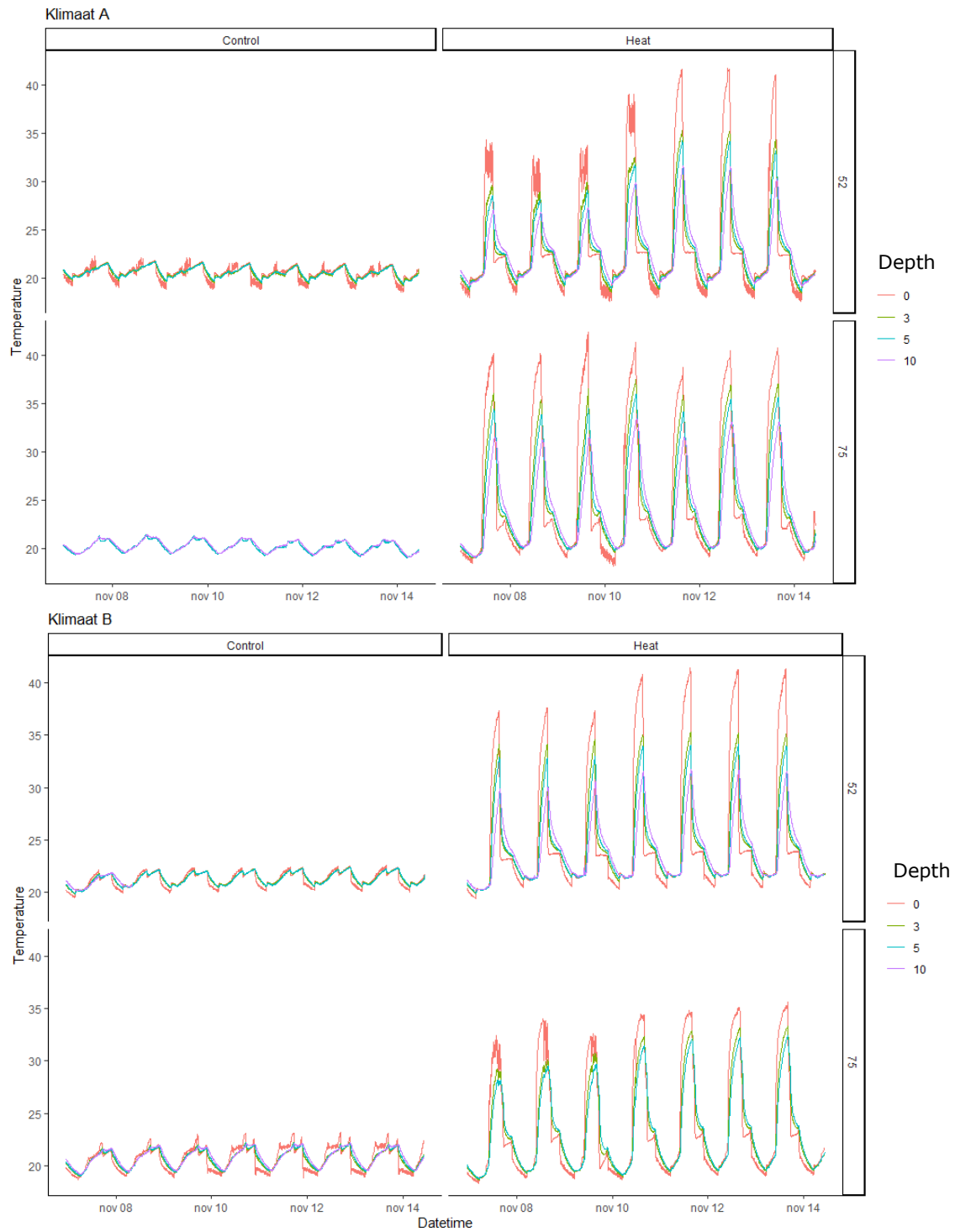
In Figuur 3-11 is de verloop van de temperaturen tijdens het gehele experiment in beide klimaatkamers weergegeven. De eerste paar dagen merkten we dat de warmte-elementen niet dezelfde warmte afgaven bij dezelfde instellingen, waardoor sommige temperaturen te hoog opliepen en anderen weer niet hoog genoeg temperaturen bereikten. Hoewel er wel is geprobeerd om hiervoor te corrigeren door na 2 dagen de temperatuur instellingen iets aan te passen, is er uit de grafieken nog te zien dat er in de hittebakken vier verschillende behandelingen zijn ontstaan. Hierbij zag bak A3, met 75% droogvalduur in klimaatkamer A, de hoogste extremen, met temperatuurpieken van 35/36°C op 3 cm diepte. Dit is tevens ook de bak waar de hoogste sterfte optrad, met 95% sterfte voor de twee jarige kokkels en 60% sterfte voor de 1-jarige kokkels (figuur 3-10). De temperaturen in bak 1 in klimaatkamer B, liepen ook iets hoger op dan oorspronkelijk was ingesteld: deze bereikt een max. temperatuur van ongeveer 34°C, 3cm in het sediment. In deze bak was de mortaliteit dan ook het op één na hoogst, met een sterfte van 70% voor tweejarige kokkels en 55% voor éénjarige kokkels. In de overige twee experimentele bakken lagen de maximum temperaturen, op 3cm, rond de 31-32°C. De mortaliteit van kokkels lag in deze bakken dan ook een stuk lager, rond de 20-40%. Ook duurde het in deze bakken gemiddeld een paar dagen langer voordat sterfte plaatsvond. In de controlebakken was de maximale sterfte 15%.

Bij tapijtschelpen was, ondanks het droogvallen tijdens de acclimatisatieperiode, de sterfte veel minder. De enige bak waar wel wat hogere sterfte plaats vond (~50% sterfte) was de bak met de hoogste droogvalduur en warmste temperaturen (bak A3-75% dvd).

Bij de twee warmste behandelingen (tank A3: 75% dvd en B1: 52% dvd) zagen we hogere sterftes bij de twee jarige kokkels (A3: 95% en B1:70% mortaliteit) dan bij de eenjarige kokkels (A3: 60% en B1: 55% mortaliteit). Dit zou kunnen impliceren dat oudere kokkels sneller last hebben van de hitte.



Figuur 3-10 Cumulatieve mortaliteit van de 1-jarige, 2-jarige kokkels en de tapijtschelpen. Blauwe lijnen (cirkel) geven opstellingen met een droogvalduur van 52% weer en groene lijnen (driehoeken) opstellingen met een droogvalduur van 75%. Verder geven de onderbroken lijnen de controle groepen weer.



Figuur 3-11 Temperatuursverloop tijdens het gehele experiment op verschillende diepten (cm).

3.3 Doorwerking naar hogere trofische niveaus

Gezien hun geringe ingraafdiepte kunnen zowel kokkels als Filipijnse tapijtschelpen door verschillende wadvogels gegeten worden tijdens laagwater. Of het eten van Filipijnse tapijtschelpen voor vogels ook daadwerkelijk lonend is ten opzichte van foerageren op kokkels zal afhangen van de dichtheid waarin de Filipijnse tapijtschelpen voorkomen en de ingraafdiepte. Zo worden over het algemeen alleen kokkeldichtheden boven de 50 per m² gezien als oogstbaar voor foeragerende scholeksters (Rappoldt et al. 2003; maar zie Goss-Custard en Stillman, 2020), doordat er bij lagere dichtheden sprake is van te lange zoektijden. Voor vogels zoals de scholekster, die hun prooi "open hameren" speelt de hardheid van de schelp een rol, terwijl voor vogels die hun prooi geheel inslikken en in de maag kraken de vlees/schelp verhouding belangrijk zal zijn (Kamermans en Leopold, 2021).

In en rondom de Oosterschelde komen veel verschillende soorten vogels voor waarvoor het gebied een belangrijke foerageerfunctie vervult. Voor de vraag of de Filipijnse tapijtschelp een (alternatieve) voedselbron biedt voor vogels, kan er een selectie worden gemaakt en gekeken worden naar vogels die algemeen voorkomen in dit gebied en die een Natura 2000-status hebben (zoals gedaan in Kamermans en Leopold (2021)). Hieronder vallen in de Oosterschelde: de bergeend, bonte strandloper, drieteenstrandloper, kanoet, rosse grutto, scholekster, steenloper, wulp en zilverplevier (van Donk et al. 2020). Van deze vogels zijn het met name scholeksters en kanoeten die kokkels eten (van Donk et al. 2020).

In Engeland zijn de eerste onderzoeken uitgevoerd naar de predator-prooi relatie tussen scholeksters en Filipijnse tapijtschelpen. In Poole Harbour (Engeland) bleken er scholeksters te zijn die zich specialiseerden in het eten van Filipijnse tapijtschelpen, individuen die zich op kokkels richten en individuen die een gemengd dieet hadden. Gedurende de studie, van augustus 2004 tot maart 2005, bleken steeds meer scholeksters zich te specialiseren in het eten van Filipijnse tapijtschelpen. De vogels leken niet te selecteren op schelpengte, gezien Filipijnse tapijtschelpen met een lengte tussen 16 en 50 mm werden gegeten (Caldow et al. 2007). Tevens werd geconcludeerd dat individuen die gespecialiseerd waren op het eten van Filipijnse tapijtschelpen even efficiënt waren als kokkelspecialisten – het foerageren op Filipijnse tapijtschelpen bleek even lonend als op kokkels. Gezien de studie observaties betreft van één winter, merken Kamermans en Leopold (2021) op dat het nog niet vast te stellen is of het eten van de Filipijnse tapijtschelp hier een terugkerend fenomeen is, of dat scholeksters nog aan het leren zijn om de schelpen te eten (Kamermans en Leopold, 2021).

Van de hierboven genoemde Natura-2000 soorten stellen Caldow et al. (2007) dat de wulp, grutto, rosse grutto, kanoet en zilverplevier mogelijke Filipijnse tapijtschelp-eters zijn. Kamermans en Leopold (2021) noemen enkel de scholekster, bergeend, zwarte en grote zee-eend als kandidaten voor het eten van Filipijnse tapijtschelpen die groter zijn dan 1 cm. De andere steltlopers zullen wellicht het broed eten van de Filipijnse tapijtschelp, waar zij overigens ook de bonte strandloper, drieteenstrandloper en steenloper aan toevoegen.

Uit een model van Caldow et al. (2007) bleek dat de aanwezigheid van de Filipijnse tapijtschelp in Poole Harbour de wintersterfte van scholeksters hier had verminderd. In de Oosterschelde en het Grevelingenmeer vertonen scholekster aantallen een negatieve trend, terwijl de aantallen van de bonte strandloper, kanoet, rosse grutto, steenloper en zilverplevier in de Oosterschelde relatief stabiel zijn en die van de bergeend, wulp en drieteenstrandloper hier toenemen (Kamermans en Leopold, 2021 en referenties hierin; van Donk et al. 2020). In de Oosterschelde bleek echter dat in de twee gebieden waar de meeste Filipijnse tapijtschelpen liggen, er een stabilisatie of lichte toename is in aantallen van scholeksters (Kamermans en Leopold, 2021; van Donk et al. 2020). Wellicht vormen de aanwezige Filipijnse tapijtschelpen hier een extra voedselbron voor de scholeksters, zoals bleek uit het simulatie model van Caldow et al. (2007). Onderzoek moet echter nog aantonen dat scholeksters en andere wadvogels de Filipijnse tapijtschelp daadwerkelijk (leren) eten in de Oosterschelde.

4 Conclusies en Discussie

a- Wat zijn de gevolgen van hogere temperaturen op schelpdieren in de Oosterschelde?

Uit de veldstudie blijken op dit moment nog geen duidelijke effecten te kunnen worden onderscheiden als gevolg van temperatuur. De zomer van 2021 was een uitzonderlijk koude zomer waar geen hittegolf heeft plaatsgevonden, met een warmtegetal van slechts 59.4 (KNMI, 2022). Tijdens de hele zomer is de temperatuur in het sediment (3cm) nauwelijks boven de 30°C gekomen. De zomer van 2022 verliep warmer dan die van 2021, en kreeg van het KNMI een warmtegetal van 138.4 (KNMI, 2022). Er was mid-juli sprake van een aantal tropisch warme dagen met temperaturen die opliepen tot 37-39°C. De temperatuur opbouw in het sediment viel tijdens deze dagen mee, ondanks dat het over dag laag water was. Vermoedelijk kwam dit doordat de water temperatuur nog relatief laag was, eerder is er al gebleken dat deze een grote invloed heeft op de temperatuur opbouw in het sediment (Suykerbuik et al. 2021). In 2022 heeft er ook een landelijk hittegolf plaatsgevonden van 9 tot 16 augustus. Van deze 8 dagen waren er 5 tropisch warm, en was de gemiddelde luchttemperatuur 32.3°C. In het sediment (3cm) werden er echter maar enkele dagen, een aantal uur, temperaturen boven de 30°C bereikt. Dit is, ondanks de duur van de hittegolf, alsnog lager dan wat er in 2020 is geobserveerd is in Suykerbuik et al. 2021. Vermoedelijk komt dit doordat bij een groot aantal dagen, tijdens deze hittegolf, laag water niet op het warmste moment van de dag viel.

Op de Oesterdam zijn er tijdens de zomer van 2021 relatief weinig dode en levende kokkels op het slik waargenomen. Een kleine piek was te zien in het najaar tussen september en november. In 2022 zijn vroeger in het seizoen dode en levende kokkels op het slik waargenomen, tussen mid-juli en eind-augustus. Opvallend is dat een hitte-event met een vertraging van ongeveer 1-2 weken gevolgd wordt, met een piek in aantal kokkels op het slik. Tapijtschelpen werden tijdens de gehele periode weinig aan het oppervlak geobserveerd. Echter is er geen duidelijk hitte-gerelateerd patroon gevonden in de conditie- index voor beide schelpdieren. In 2021 is er een grote afname geweest in conditie, maar dit kan ook zo zijn geweest doordat kokkels uit de Waddenzee zijn gebruikt voor dit experiment. Een verklaring voor de afwezigheid van een conditie-afname is dat de temperaturen zowel in 2021 en 2022, in het sediment, niet zo extreem zijn geweest als de jaren ervoor. In de Oosterschelde is in beide jaren geen aantoonbare belangrijke afname waargenomen in het kokkelbestand (Troost et al. 2023). Tussen het najaar van 2021 en het voorjaar van 2022 is zelfs een toename geobserveerd in het kokkelbestand in de Oosterschelde. In de Waddenzee zijn er wel signalen dat er in 2022 kokkelsterfte heeft plaatsgevonden, en het bestand is in tussen het voor en najaar hier afgenomen (Troost et al. 2023). Het is niet gelijktijdig in de Oosterschelde laag water als in de Waddenzee. Hierdoor was het in de Waddenzee een groot gedeelte van de week wel midden op de dag laag water. Wellicht dat de temperaturen hier wel een hogere opbouw hebben gezien. Het zou daarom interessant zijn om de temperatuursverloop van eenzelfde hittegolf tussen de Oosterschelde en de Waddenzee te vergelijken, om de verschillen in temperatuursopbouw op dezelfde dag te kunnen vergelijken, en om te kijken of er inderdaad tijdens deze hittegolf kritische temperaturen zijn bereikt.

b- Wat is het effect van droogvalduur en verschillende temperaturen op de conditie en overleving van kokkels en tapijtschelpen?

In het lab experiment waren duidelijke temperatureffecten waarneembaar die representatief waren voor verschillende periodes van droogval. Om de kritische temperaturen en de duur te bepalen, zijn experimenten uitgevoerd in getijddebakken. Tijdens de labexperimenten werd in de bakken met de hoogste temperaturen (pieken van 35/36°C, op 3cm), een met een droogvalduur van 75% en één met een droogvalduur van 50%, de hoogste mortaliteit vastgesteld. Vermoedelijk speelt de temperatuur de grootste rol bij deze mortaliteit, aangezien in de bakken met lagere temperaturen (pieken van ~32 °C, op 3cm), bij beide droogvalduren, minder sterfte is waargenomen. De geteste temperaturen, en lengte van de gesimuleerde hittegolf, zijn vermoedelijk doorslaggevend voor het wel/niet optreden van massale sterfte. Bij een droogvalduur van 52%, zijn op de Oesterdam in 2020 temperaturen geobserveerd tot 32°C (3cm) en bij een droogval duur van 80% zijn er temperaturen tot 34°C (3cm) bereikt. Op de Roggenplaat zijn tijdens dezelfde bemonstering temperaturen, bij een droogvalduur van 66%, van zelfs

35°C, geobserveerd. Verder kunnen extra stressfactoren, zoals zuurstofarme omstandigheden of een tekort aan voedsel, een grotere impact veroorzaken. Doordat een huidige hittegolf, onder de juiste omstandigheden, al temperaturen kan opleveren die dicht bij de tolerantie limiet van de kokkels gebruikt in dit experiment zitten, zoude hogere temperaturen, door extremere toekomstige hittegolven, of door hitte gecombineerd met andere stressfactoren, daarom in toekomst wellicht vaker kunnen resulteren in massale kokkelsterfte. Tapijtschelpen zagen, ondanks het droogvallen tijdens de acclimatisatie periode, veel minder sterfte. De enige bak waar wel wat hogere sterfte plaats vond (~50% sterfte) was de bak met de hoogste droogvalduur en warmste temperaturen.

c- Is er een verschil in effect van hoge temperaturen op verschillende jaarklassen (een- en meerjarig) ?

Op basis van de gegevens verzameld in dit onderzoek kan er nog niet vastgesteld worden welke leeftijdsklasse het meest kwetsbaar is voor hittestress.

Bij de twee warmste behandelingen (tank A3 en B1) werd een hogere mortaliteit waargenomen bij tweejarige kokkels (95% en 70% mortaliteit) in vergelijking met éénjarige kokkels (60% en 55% mortaliteit).

Tijdens het veldexperiment, was er alleen op de Oesterdam een verschil waarneembaar tussen één- en meerjarige kokkels, waarbij er juist meer dood materiaal van éénjarige kokkels te zien was. Echter, op de Yerseke bank werd geen verschil waargenomen tussen de verschillende leeftijdsklassen. Bovendien vertoonden beide locaties geen opvallende trendverschillen in de conditie-index tussen de twee leeftijdsklassen. Het is belangrijk op te merken dat er van nature al meer kokkels aanwezig zijn op de Oesterdam, en het waargenomen verschil in dood materiaal zou kunnen worden toegeschreven aan de mogelijk hogere aantallen eenjarige-kokkels uit de omgeving, die op het slik van de uitgezette kwadranten zouden kunnen zijn beland.

d- Wat is de doorwerking in het voedsel web van de effecten op bodemfauna als gevolg van hoge temperaturen?

Uit onze experimenten blijkt dat de Filipijnse tapijtschelpen bij hogere bodemtemperaturen kunnen overleven. Dit is in overeenstemming met diverse studies waarin blijkt dat deze soort een hoge tolerantie heeft voor hitte (He et al. 2022, Roman et al. 2022). Dit zou de Filipijnse tapijtschelp op de lange termijn in de hand kan spelen en in de Oosterschelde voor een verschuiving kunnen zorgen van kokkels naar Filipijnse tapijtschelpen.

Gezien beide soorten dicht aan het oppervlak zitten, vallen ze allebei binnen de reikwijdte van de scholekster en andere wadvogels. Uit onderzoek in Engeland is gebleken dat scholeksters daar de Filipijnse tapijtschelp hebben leren eten en dat dit mogelijk de wintersterfte onder scholeksters heeft verminderd. Het eten van Filipijnse tapijtschelpen ten opzichte van kokkels bleek er even profijtelijk voor de scholeksters.

In Nederland was op moment van dit onderzoek, nog weinig onderzoek gepubliceerd naar welke vogelsoorten de Filipijnse tapijtschelp eten. Van de, in dit literatuuronderzoek, geselecteerde Natura 2000-vogelsoorten wordt verwacht dat de scholekster, bergeend en de zwarte en grote zee-eend de Filipijnse tapijtschelpen groter dan 1 cm zullen kunnen eten. Andere wadvogelsoorten zullen het broed van de Filipijnse tapijtschelp kunnen eten. Vragen omtrent of, en zo ja welke, vogels de Filipijnse tapijtschelp eten, bij welke dichtheden dit profijtelijk is, welk aandeel van het dieet Filipijnse tapijtschelpen vormen en of de aanwezigheid van Filipijnse tapijtschelpen kan bijdragen aan de overleving van wadvogels, moet nog nader onderzocht worden in Nederland.

5 Aanbevelingen

Tijdens dit onderzoek zijn er waardevolle gegevens over de conditie-index van deze schelpdieren over de zomer heen verzameld, echter is er nog geen impactvolle hittegolf gemeten zoals deze in 2018 of 2020 zijn waargenomen. Hierdoor is de koppeling tussen hitte en overleving/groei van schelpdieren nog niet gemaakt. Het doorzetten van het veld-experiment en volgen van de conditie-index tijdens een extreme hitte event zou meer inzicht geven over hoe schelpdieren reageren in de Zeeuwse delta. Om de continuïteit van dit onderzoek te behouden is het van belang dit veld onderzoek door te zetten. Verder zou het uitbreiden van het onderzoek naar andere systemen Waddenzee/Westerschelde een inzicht geven over hoe de processen van elkaar verschillen.

6 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.

Het Chemisch en Benthos laboratorium beschikken over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het Chemisch en Benthos laboratorium hebben hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwaame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl).

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

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken cq bekwaamheidsonderzoeken (3^e lijnscontrole). Daarnaast worden bij iedere meetserie nog andere kwaliteitscontroles uitgevoerd waaronder 1^e lijns (controlemonsters) en 2^e lijns controles.

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

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

Literatuur

Boscolo Brusà, R., Cacciatore, F., Ponis, E., Molin, E., Delaney, E., 2013. Clam culture in the Venice lagoon: stock assessment of Manila clam (*Venerupis philippinarum*) populations at a nursery site and management proposals to increase clam farming sustainability. *Aquatic Living Resources*, 26: 1-10.

Caldow, R.W.G., Stillman, R.A., le V. dit Durell, S.E.A., West, A.D., McGrorty, S., Goss-Custard, J.D., Wood P.J., Humphreys, J., 2007. Benefits to shorebirds from invasion of a non-native shellfish. *Proceedings of the Royal Society B*, 274: 1449-1455.

Flassch, J.P., Leborgne, Y., 1992. Introduction in Europe, from 1972 to 1980, of the Japanese Manila clam (*Tapes philippinarum*) and effects on aquaculture production and natural settlement. *ICES Journal of Marine Science*, 194: 92-96.

Foekema, E.M., Cuperus, J., van der Weide, B.E., 2014. Risk assessment of alien species found in and around the oyster basins of Yerseke. IMARES Wageningen UR Rapport C014.14.

Goss-Custard, J. D., Stillman, R. A., 2020. How manual cockle-raking may affect availability of cockles *Cerastoderma edule* for oystercatchers *Haematopus ostralegus* in the Dutch Wadden Sea. BU Global Environmental Solutions report BUG2842 to Province of Fryslân.

Han, K.N., Lee, S.W., Wang, S.Y., 2008. The effect of temperature on the energy budget of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *Aquaculture International*, 16: 143-152.

He, G., Peng, Y., Liu, X., Liu, Y., Liang, J., Xu, X., Yang, K., Masanja, F., Xu, Y., Deng, Y., Zhao, L., 2022. Post-responses of intertidal bivalves to recurrent heatwaves. *Marine Pollution Bulletin* 184, 114223. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114223>

Humphreys, J., Caldow, R.W.G., McGrorty, S., West, A.D., Jensen, A.C., 2007. Population dynamics of naturalised Manila clams *Ruditapes philippinarum* in British coastal waters. *Marine Biology*, 151: 2255-2270.

Jacobse, J., van der Zel, M., Arnold, E., Hofstad, E., 2008. Toekomstprognose ontwikkeling intergetijdengebied Oosterschelde. Doorvertaling naar effecten op veiligheid en natuurwaarden. Royal Haskoning, Rotterdam.

Jensen, A.C., Humphreys, J., Caldow, R.W.G., Grisley, C. Dyrinda, P.E.J., 2004. Naturalization of the Manila clam (*Tapes philippinarum*), an alien species, and establishment of a clam fishery within Poole Harbour, Dorset. *Journal of the Marine Biological Association UK*, 84: 1069-1073.

Kamermans, P., Leopold, M., 2021. De mogelijke rol van de Filipijnse tapijtschelp in de voedselvoorziening voor vogels in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Wageningen Marine Research rapport C053/21

Kang, H.Y., Lee, Y., Choi, K., Park, H.J., Y, S., Kang, C., 2016. Combined effects of temperature and seston concentration on the physiological energetics of the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *PLoS ONE*, 1-17.

Lee, S.Y., 1996. Distribution pattern and interaction of two infaunal bivalves, *Tapes philippinarum* (Adams and Reeve) and *Anomalocardia squamosa* (Linnaeus) (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 201: 253-273.

-
- Perkins-Kirkpatrick, S. E. en Lewis, S. C. 2020, 'Increasing trends in regional heatwaves'. *Nature Communications*, 11(1): 8.
- Nienhuis PH, Smaal AC 1994 The Oosterschelde Estuary (The Netherlands): a case-study of a changing ecosystem. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp 597
- Rappoldt, C., Ens, B.J., Berrevoets, C.M., Geurts van Kessel, A.J.M., Bult, T.P., Dijkman, E.M., 2003. Scholeksters en hun voedsel in de Oosterschelde; Rapport voor deelproject D2 thema 1 van EVA II, de tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. Alterra Rapport 883, Wageningen.
- Román, S., Vázquez, E., Román, M., Viejo, R.M., Woodin, S.A., Wethey, D.S., Troncoso, J.S., Olabarria, C., 2022. Effects of warming on biological interactions between clams and the seagrass *Zostera noltei*: A case study using open top chambers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 276, 108027. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108027>
- Shin, Y., Kim, Y., Chung, E.Y., Hur S.B., 2000. Temperature and salinity tolerance of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33: 213–218.
- Suykerbuyk, W., van den Bogaart, L., Hamer, A., Walles, B., Troost, K., Tangelder, M., 2021. Hittestress op intergetijdenplaten van de Oosterschelde. Wageningen University and Research rapport C026/21.
- Titselaar, F.F.L.M., 2008. *Tapes philippinarum* (Adams and Reeve, 1850) in de Oosterschelde. *Spirula*, 365: 1-2.
- Troost K. en Ysebaert T. 2011 ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds. IMARES, Yerseke.
- Troost, K., Brummelhuis, E.B.M., van Asch, M., van Zwol, J., 2017. Schelpdierbestanden in het Veerse meer en Grevelingenmeer in 2017. CVO rapport 17.015.
- Troost, K., van Asch, M., 2018. Herziene schatting van het kokkelbestand in de Waddenzee en Oosterschelde in het najaar van 2018. Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO)
- Troost, K., van Asch, M., Brummelhuis, E., van den Ende, D., van Es, Y., Perdon, K.J., van der Pool, J., van Zweeden, C., van Zwol, J., 2021. Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2020. CVO rapport 21.001.
- Troost, Onderz. Form. I., Onderz. Form. B., Troost, K., van Asch, M., Cornelisse, S., Glorius, S., van den Ende, D., van Es, Y., Keur, M., Perdon, K.J., van der Pool, J., Suykerbuyk, W., van Zweeden, C., van Zwol, J., 2023. Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2022. Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), IJmuiden. <https://doi.org/10.18174/588755>
- Van Donk, S., Ysebaert, T., Tulp, I., 2020. Trends van steltlopers en andere benthos etende vogels in de Oosterschelde: 1987 - 2017/2018. Wageningen Marine Research rapport C120/20.
- Zwarts, L., Wanink, J., 1989. Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. Standaardtekst

Verantwoording

Rapport C066/23

Projectnummer: 4318100354

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: Johan Craeymeersch
DLO Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 23-10-2023

Akkoord: dr. C.J. Wiebinga
Business Manager Projecten

Handtekening:



Datum: 23-10-2023

Bijlage 1 Acclimatisatie schema

Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
			22-sep-2022	23-sep-2022	24-sep-2022	25-sep-2022
Manila Clam			start experiment			
26-sep-2022	27-sep-2022	28-sep-2022	29-sep-2022	30-sep-2022	01-oct-2022	02-oct-2022
Acclimatization 23 °C						
03-oct-2022	04-oct-2022	05-oct-2022	06-oct-2022	07-oct-2022	08-oct-2022	09-oct-2022
10-oct-2022	11-oct-2022	12-oct-2022	13-oct-2022	14-oct-2022	15-oct-2022	16-oct-2022
Acclimatization 52% AET			Acclimatization 75% AET (for half of the bivalves)			
17-oct-2022	18-oct-2022	19-oct-2022	20-oct-2022	21-oct-2022	22-oct-2022	23-oct-2022
24-oct-2022	25-oct-2022	26-oct-2022	27-oct-2022	28-oct-2022	29-oct-2022	30-oct-2022
20 °C day & 16 °C night						
31-oct-2022	01-nov-2022	02-nov-2022	03-nov-2022	04-nov-2022	05-nov-2022	06-nov-2022
21 °C day & 17 °C night			23 °C day & 19 °C night			
07-nov-2022	08-nov-2022	09-nov-2022	10-nov-2022	11-nov-2022	12-nov-2022	13-nov-2022
24 °C day & 20 °C night			Heatwave and different inundation time			
14-nov-2022	15-nov-2022	16-nov-2022				
end of experiment						
Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
			22-sep-2022	23-sep-2022	24-sep-2022	25-sep-2022
Cockle			start experiment			
26-sep-2022	27-sep-2022	28-sep-2022	29-sep-2022	30-sep-2022	01-oct-2022	02-oct-2022
03-oct-2022	04-oct-2022	05-oct-2022	06-oct-2022	07-oct-2022	08-oct-2022	09-oct-2022
10-oct-2022	11-oct-2022	12-oct-2022	13-oct-2022	14-oct-2022	15-oct-2022	16-oct-2022
17-oct-2022	18-oct-2022	19-oct-2022	20-oct-2022	21-oct-2022	22-oct-2022	23-oct-2022
24-oct-2022	25-oct-2022	26-oct-2022	27-oct-2022	28-oct-2022	29-oct-2022	30-oct-2022
			Acclimatization 33% AET		Acclimatization 52% AET	
			20 °C day & 16 °C night			
31-oct-2022	01-nov-2022	02-nov-2022	03-nov-2022	04-nov-2022	05-nov-2022	06-nov-2022
Tank 3&4 acclimatization 66% AET		Tank 3&4 acclimatization 75% AET				
21 °C day & 17 °C night			23 °C day & 19 °C night			
07-nov-2022	08-nov-2022	09-nov-2022	10-nov-2022	11-nov-2022	12-nov-2022	13-nov-2022
24 °C day & 20 °C night			Heatwave and different inundation time			
14-nov-2022	15-nov-2022	16-nov-2022				
end of experiment						

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'
