

Mogelijkheden voor aanpassing jaarlijkse kokkelinventarisatie aan extreme zomersterfte



Karin Troost, Margriet van Asch, Chiu Cheng en Johan Craeymeersch

CVO rapport: 22.021

Opdrachtgever:
Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Directie NVLG
W.L.M. Schermer Voest
Postbus 20401
2500 EK, Den Haag

Projectnummer: 4311300074-2021
BAS code: KB-36-002-012

Publicatiedatum: 25 oktober 2022

Stichting Wageningen Research
Centrum voor Visserijonderzoek (CVO)
Postbus 68
1970 AB IJmuiden
Tel. 0317-487418

Bezoekadres:
Haringkade 1
1976 CP IJmuiden

Dit onderzoek is uitgevoerd onder het kennisbasis programma wettelijke taken Visserijonderzoek (KB-WOT) en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

DOI: <https://doi.org/10.18174/575617>

© 2022 CVO

De Stichting Wageningen Research -
Centrum voor Visserijonderzoek is
geregistreerd in het Handelsregister
Gelderland nr. 09098104,
BTW nr. NL 8089.32.184.B01

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

CVO rapport NL V11

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	4
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond en probleemstelling.....	6
1.2 Kennisvraag	8
1.3 Aanpak en leeswijzer.....	8
2 Analyse sterftemetingen	9
2.1 Gebruikte historische en recente datasets	9
2.2 Sterfte-berekeningen.....	12
3 Resultaten sterftemetingen	13
4 Inventarisatie verschuiven in de tijd?	16
5 Afweging methodiek.....	22
6 Discussie en advies	26
6.1 Analyse sterftemetingen	26
6.2 Verschuiving van de survey naar het najaar	27
6.3 Afweging methodiek.....	27
Literatuur	30
Kwaliteitszorg.....	32
Verantwoording	33
Bijlage 1. monsterpunten najaars- en herbemonsteringen in de Waddenzee.	34
Bijlage 2. monsterpunten najaars- en herbemonsteringen in de deltawateren.	37
Bijlage 3. Voorgestelde monsterpunten voor jaarlijkse herbemonstering.....	42

Samenvatting

Achtergrond

Ieder voorjaar schat WMR de omvang van het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren. De bestandsopname in het voorjaar wordt geëxtrapoleerd naar het geschatte bestand op 1 september, welke wordt gebruikt als basis voor het visserijquotum. Hierbij wordt gerekend met gemiddelde waarden voor groei en sterfte gedurende de zomer. In de hete zomers van 2018, 2019 en 2020 was de sterfte uitzonderlijk hoog waardoor het bestand op 1 september is overschat. Hierdoor is ook het visserijquotum te hoog ingeschat, waardoor de minimum benodigde hoeveelheid kokkelvles om scholeksters de winter door te helpen in gevaar zou kunnen komen. Daarom is door de vergunningverlener op basis van herbemonsteringen het visserijquotum naar beneden bijgesteld. Dergelijke extreme zomers kunnen we vaker verwachten als gevolg van klimaatverandering.

Kennisvraag

Het Ministerie van LNV heeft aan Wageningen Marine Research gevraagd om een advies te geven over mogelijke aanpassingen in de survey methodiek. Dit project is uitgevoerd binnen het KB-WOT Visserij programma (BAS-code KB-36-002-012). Onderliggende kennisvragen zijn:

1. Welke sterfte kan gezien worden als uitzonderlijk? Wanneer is de gemiddelde sterfte van 28% tussen 1 mei en 1 september niet meer representatief voor de werkelijk opgetreden zomersterfte?
2. Kan de inventarisatie verschoven worden naar het najaar, of korter voor aanvang van de visserij op 1 september, zodat het visserijquotum niet gebaseerd hoeft te worden op een extrapolatie?
3. Hoe kan de werkelijk opgetreden sterfte het beste bepaald worden als basis voor een herziene bestandsschatting en bijstelling van het visserij-quotum?
4. Welke aanpassingen aan de surveymethodiek worden geadviseerd, alles overwegende?

Uitzonderlijke sterfte

Op basis van het 99% betrouwbaarheidsinterval rond de gemiddelde kokkelsterfte berekend uit historische datasets kan gesteld worden dat een zomersterfte hoger dan 50% zeker als uitzonderlijk gezien kan worden. De sterftepercentages waargenomen in de Waddenzee en Oosterschelde in de periode 2018-2020 waren duidelijk hoger dan 50%, en hoger dan in de voorgaande periode. In de Westerschelde worden vaker sterftepercentages hoger dan 50% waargenomen.

Verschuiven van de survey

Het verschuiven van de inventarisatie van kokkels naar het najaar is alleen zinvol als verschoven wordt naar een periode waarin geen sterfte meer op kan treden als gevolg van een hittegolf, dus vanaf 1 oktober. Dit houdt in dat ook de aanvang van de visserij verschuift. Wanneer de huidige termijnen voor de berekening van het bestand en de vergunningverlening worden gehanteerd, kan aangevangen worden met de visserij per 1 februari. Geadviseerd wordt om dit met een maand op te schuiven naar 1 maart, na de winterperiode waarin nog kans is op verhoogde sterfte als gevolg van vorst en/of stormen.

Verschuiving van de survey naar het najaar heeft nadelige gevolgen voor de praktische uitvoering van de surveys, en voor de statistische zeggingskracht van de tijdreeksen. Voor uitvoering van het gehele pakket aan schelpdiersurveys in de Waddenzee zal meer tijd nodig zijn, naar schatting 2-3 weken. Bemonsteren in het najaar heeft als consequentie dat er schelpdierbroed in de monsters aanwezig is. In jaren met een omvangrijke broedval zorgt dit voor aanzienlijk meer werk, en de statistische zeggingskracht van de tijdreeksen wordt lager. Ook betekent verschuiving naar het najaar een onderbreking van de tijdreeksen die inmiddels 33 jaar bestrijkt, waardoor eveneens het statistische onderscheidingsvermogen afneemt. Hierdoor kunnen effecten van veranderingen in visserij- en/of natuurbeleid, en van grootschalige menselijke ingrepen, minder goed tot niet aangetoond worden. Omdat de huidige tijdreeksen voor tal van lopende studies worden gebruikt, wordt geadviseerd om een besluit tot onderbreking ervan niet lichtvaardig te nemen, en als het even kan de survey dus niet te verschuiven.

Methodiek sterfte metingen

Als de survey niet verschoven wordt zal in jaren met extreme sterfte een schatting gemaakt moeten worden van de omvang van de sterfte. Een bemonstering om de zomersterfte te herijken leent zich daar het beste voor. Deze kan adaptief ingezet worden in de gebieden waar visserij plaatsvindt, zodra een extreme sterfte in het veld geconstateerd wordt.

Advies

Geadviseerd wordt om de voorjaarsurvey te handhaven, en dus niet te verplaatsen naar het najaar. Bij het optreden van een extreme zomersterfte zou dan in het najaar een sterfte-herijkingsbemonstering uitgevoerd moeten worden. Om meer inzicht te krijgen in het optreden van extreme sterfte in relatie tot zomerse temperaturen wordt aanbevolen om de komende jaren standaard ieder najaar een dergelijke bemonstering uit te voeren in de Waddenzee en Oosterschelde, en in de Westerschelde alleen indien daar een visserij gepland is. Gebaseerd op een power analyse en de relatie tussen het aantal monsterpunten en het betrouwbaarheidsinterval wordt geadviseerd om in de Waddenzee in het najaar minstens 300 punten te bemonsteren en in de Oosterschelde 225 punten. In de Westerschelde zou het volledige grid van 250 punten bemonsterd moeten worden in het najaar.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

1.1.1 Inventarisatie kokkelbestanden

Jaarlijks inventariseert Wageningen Marine Research in opdracht van het Ministerie van LNV de bestandsgrootte van verschillende soorten schelpdieren in de Nederlandse kustwateren. Dit is onderdeel van de wettelijke onderzoekstaken op het gebied van visserij, het WOT-Visserijprogramma. De bestandsschattingen worden gebruikt als basis voor de vaststelling van visserijquota en dienen om de ontwikkeling van de schelpdierbestanden in relatie tot natuurlijke verandering en menselijke ingrepen (zoals veranderingen in het visserijbeleid) te kunnen volgen.

Ieder voorjaar (april-juni) worden de bestanden van kokkels (*Cerastoderma edule*) op de droogvallende platen van de Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde geïnventariseerd. Vervolgens worden de berekende voorjaarsbestanden geëxtrapolerd naar het bestand dat naar schatting op 1 september aanwezig zal zijn. Voor deze extrapolatie wordt gerekend met een gemiddelde natuurlijke groei en sterfte, zoals empirisch vastgesteld eerst door (Twisk, 1990) en later binnen het EVA-II onderzoeksproject (Kamermans et al., 2003). Gerekend wordt met een gemiddelde sterfte van 28% tussen 1 mei en 1 september.

Met het accepteren van de extrapolatiemethode werd ook geaccepteerd dat de werkelijk opgetreden sterfte niet altijd 28% bedraagt maar er het ene jaar boven zit en het andere jaar eronder. Dus het ene jaar is het bestand op 1 september overschat en het andere jaar onderschat, maar gemiddeld over de jaren komt het overeen. Deze methodiek wordt toegepast sinds aanvang van de jaarlijkse inventarisaties in 1990, en is geëvalueerd door Kamermans et al. (2003).

1.1.2 Kokkelvisserij

In de Waddenzee mag van het geschatte bestand op 1 september, aanwezig bij ('oogstbare') dichtheden van meer dan 50 kokkels per m², door de handkokkelvisserij 2,5% opgevisst worden. In de Oosterschelde mag pas gevisst worden als het geschatte bestand aanwezig op 1 september hoger is dan de hoeveelheid kokkelvlees die nodig is om de scholeksters de winter door te helpen (165 kg kokkelvlees per scholekster). In de Westerschelde wordt door de kokkelsector niet gevisst als het bestand lager is dan 4 miljoen kg versgewicht, wat overeenkomt met een vleesgewicht van 0,6 miljoen kg (LNV, 2004).

1.1.3 Extreme zomersterfte onder kokkels

In de zomer van 2018, vlak na oplevering van de bestandsschatting van dat jaar, kwamen tijdens een hittegolf signalen binnen over een extreme kokkelsterfte in de Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde. Tijdens veldbezoeken in de Oosterschelde leek het er sterk op dat bijna alle kokkels stervende of reeds gestorven waren. De omvang van de sterfte was zo uitzonderlijk hoog dat de aanname van een gemiddelde sterfte van 28% en bijbehorende bandbreedte volstrekt niet meer als representatief gezien kon worden voor de werkelijke situatie. Als gevolg van de omvangrijke sterfte zou voedselschaarste onder scholeksters kunnen ontstaan in de winter van 2018-'19. Door een te hoog quotum voor de visserij (gebaseerd op 28% sterfte) zou een voedseltekort voor scholeksters verder toe kunnen nemen. Daarnaast was het oorspronkelijk geschatte bestand in de Oosterschelde voor het eerst sinds 2006 hoger dan de voedselreservering voor scholeksters, op basis waarvan een vergunning voor visserij in voorbereiding was. Als gevolg van de extreme sterfte zou het werkelijke bestand op 1 september vrijwel zeker onder de grens van voedselreservering uitkomen. Vanwege de uitzonderlijke omvang van de zomersterfte is dat jaar door het Ministerie van LNV besloten tot uitvoering van een herbemonstering rond 1 september, met als doel een bijstelling van het najaarsbestand. Daarnaast heeft de kokkelsector afgezien van een vergunningaanvraag voor de Oosterschelde. Uit de herbemonsteringen bleek een sterfte van meer dan 90% in de Oosterschelde onder de kokkels van 1 jaar en ouder, wat leidde tot een 99% lagere schatting van het oogstbare bestand op 1 september (Troost & Van Asch, 2018). De sterfte in de Waddenzee werd geschat op meer dan 60% onder kokkels van 2 jaar en ouder,

wat leidde tot een 80% lagere schatting van het oogstbare bestand op 1 september (Troost & Van Asch, 2018). Ook in de zomers van 2019 en 2020 was er sprake van hoge temperaturen en kwamen opnieuw, tijdens hittegolven, signalen binnen over verhoogde kokkelsterfte in de Waddenzee (2019) en Oosterschelde (2020). In 2020 is weer een herbemonstering uitgevoerd op basis waarvan de kokkelvisserij in de Oosterschelde alsnog werd stopgezet. Uit deze herbemonstering in de Oosterschelde werd een sterfte geschat van 66% voor kokkels van 1 jaar en ouder. Daarnaast zijn in 2019 en 2020 gerichte metingen gedaan om de zomersterfte van kokkels vast te stellen en te relateren aan abiotische variabelen zoals de omgevingstemperatuur en droogvalduur (Suykerbuyk et al., 2021; Van den Bogaart et al., 2021). In de Westerschelde is weinig tot niet herbemonsterd omdat in dit gebied niet gevist zou gaan worden.

Of de verhoogde zomersterfte onder kokkels sinds 2018 heeft geleid tot sterfte onder scholeksters is niet duidelijk. Sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw nemen aantallen foeragerende vogels af in meerdere gebieden in Noordwest Europa, waaronder de Waddenzee en de Oosterschelde (Van de Pol et al., 2014; <https://stats.sovon.nl/stats/soort/4500>). Onbekend is welke bijdrage de zomersterfte onder kokkels hieraan geleverd heeft (Hoekstein et al., 2022). Omdat sinds 2018 geen sterkere afname gezien wordt dan voorheen (<https://stats.sovon.nl/stats/soort/4500>) lijkt er op het eerste gezicht geen (extra) verhoogde sterfte door honger te hebben plaatsgevonden. Het aantonen van oorzaken voor achteruitgang is echter complex bij een lang levende soort zoals de scholekster die gebruik maakt van verschillende gebieden voor foerageren, broeden en overwinteren (Van de Pol et al., 2014; Allen et al., 2018).

1.1.4 *Wat is extreem en hoe gaan we daarmee om?*

De gebeurtenissen van de afgelopen drie jaar leiden tot de vraag welke zomersterfte gezien kan worden als 'normaal' en welke zomersterfte 'extreem' te noemen is. Immers, al sinds 1990 wordt geaccepteerd dat de extrapolatie naar het najaar wordt gedaan op basis van een gemiddelde sterfte met een grote bandbreedte daar omheen (Kamermans et al., 2003). De sterfte van 2018 in de Oosterschelde was duidelijk van een extreme omvang aangezien bijna alle kokkels ouder dan 1 jaar zijn gestorven (96%) en 90% van de 1-jarige kokkels. Maar kunnen de sterftes van 60-66% in 2018 in de Waddenzee (resp. 2-jarige en oudere kokkels), en van 66% in 2020 in de Oosterschelde, ook als uitzonderlijk gezien worden of vallen deze statistisch gezien nog steeds binnen de bandbreedte rond 28%? Daar wordt in dit rapport verder op ingegaan.

1.1.5 *Klimaatverandering*

Uit onderzoek van Frölicher et al. (2018) blijkt dat de frequentie en duur van hittegolven in het mariene milieu, dus perioden met verhoogde watertemperaturen, in de afgelopen decennia zijn toegenomen. Zij voorspellen een verdere toename in de komende decennia. Beukema en Dekker (2020b) hebben een toename in de watertemperatuur in de westelijke Waddenzee over de afgelopen vijftig jaar gemeten, aan de NIOZ steiger op Texel. Ook laten zij zien dat als gevolg van deze toename in watertemperatuur de zomersterfte onder oudere kokkels is toegenomen en de rekrutering is afgenomen omdat predatoren van kokkelbroed de winters beter overleven. Hier staat tegenover dat de wintersterfte juist is afgenomen, waardoor toch de langjarige ontwikkeling van de kokkelpopulatie geen duidelijke trend laat zien. Of, en in welke mate, de stijging in watertemperatuur zich voort zal zetten in de komende jaren en decennia is moeilijk te voorspellen. Het KNMI heeft verschillende scenario's voor de toekomstige ontwikkeling van de luchttemperatuur uitgerekend. Afhankelijk van de aannames varieert de prognose voor 2050 tussen géén verdere stijging (gemiddelde zomertemperatuur 18,0°C) tot een sterke stijging (gemiddeld 19,3°C). Voor 2085 voorspellen deze scenario's een gemiddelde zomertemperatuur tussen de 18,2 en 20,7°C (klimaat dashboard op www.knmi.nl/klimaat). Het is dus goed mogelijk dat we in de komende jaren vaker een omvangrijke kokkelsterfte als gevolg van hoge zomertemperaturen zullen zien, en dat daarmee de gemiddelde zomersterfte onder kokkels toeneemt. Dit roept de vraag op of de huidige inventarisatie methodiek, met een veldsurvey in het voorjaar en een extrapolatie naar het najaar, wel zo klimaatbestendig is.

1.2 Kennisvraag

Het Ministerie van LNV heeft aan Wageningen Marine Research gevraagd om een advies te geven over mogelijke aanpassingen in de surveymethodiek. Dit project is uitgevoerd binnen het KB-WOT Visserij programma (BAS-code KB-36-002-012). Onderliggende kennisvragen zijn:

1. Welke sterfte kan gezien worden als uitzonderlijk? Wanneer is de gemiddelde sterfte van 28% tussen 1 mei en 1 september niet meer representatief voor de werkelijk opgetreden zomersterfte?
2. Kan de inventarisatie verschoven worden naar het najaar, of korter voor aanvang van de visserij op 1 september, zodat het visserijquotum niet gebaseerd hoeft te worden op een extrapolatie?
3. Hoe kan de opgetreden sterfte het beste bepaald worden als basis voor een herziene bestandsschatting en bijstelling van het visserij-quotum?
4. Welke aanpassingen aan de surveymethodiek worden geadviseerd, alles overwegende?

1.3 Aanpak en leeswijzer

Kennisvraag 1 is beantwoord middels een analyse van historische data. De gemiddelde natuurlijke sterfte met statistische bandbreedte is voor de Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde berekend uit gegevens verzameld in het kader van het Eva-II onderzoeksproject (Kamermans et al., 2003) aangevuld met gegevens verzameld binnen het huidige KB-WOT project in 2019 en 2020 (Van den Bogaart et al., 2021) en herbemonsteringen in 2018 en 2020 (Troost & Van Asch, 2018). Hieruit is bepaald welke sterftepercentages statistisch gezien als uitzonderlijk beschouwd kunnen worden, en of de sterftepercentages in de periode 2018-2020 afwijken van de voorgaande periode (1991-2007). De gebruikte datasets en analyse methodiek zijn uitgelegd in Hoofdstuk 2 en de resultaten van de analyses worden gegeven in Hoofdstuk 3.

Voor de beantwoording van kennisvraag 2 is in Hoofdstuk 4 beredeneerd naar welke periode de survey verplaatst zou moeten worden om het visserijquotum niet te hoeven baseren op een extrapolatie. Voor- en nadelen van een dergelijke verplaatsing zijn op een rijtje gezet.

Om kennisvraag 3 te beantwoorden zijn twee methoden voor het schatten van zomersterfte met elkaar vergeleken in Hoofdstuk 5.

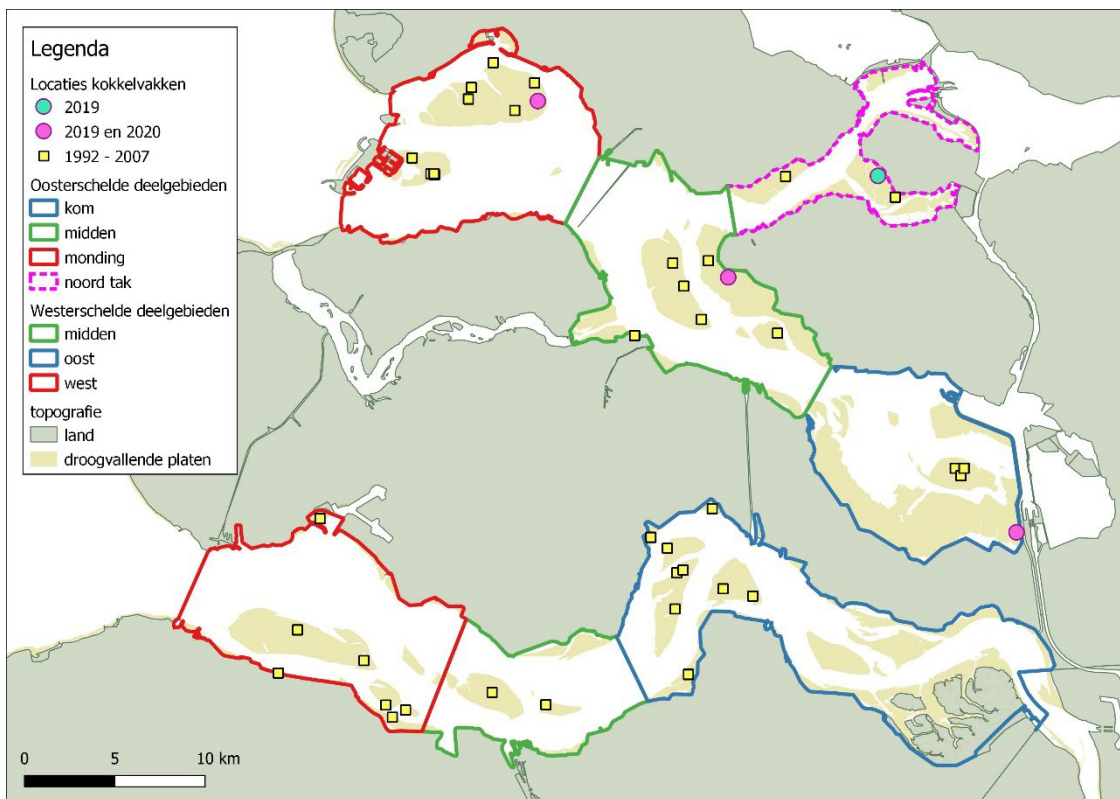
Ten slotte worden in Hoofdstuk 6 aanbevelingen gedaan voor eventuele aanpassingen aan de jaarlijkse schatting van het kokkelbestand (kennisvraag 4).

2 Analyse sterfmetingen

2.1 Gebruikte historische en recente datasets

2.1.1 Kokkelvakken historisch

In de periode 1992 – 2007 is door het RIVO (Rijks Instituut voor Visserij Onderzoek), dat later IMARES (Wageningen University & Research) werd, onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van de kokkelpopulatie in de Ooster- en Westerschelde. Doel was meer inzicht te verkrijgen in factoren die van invloed zijn op de ontwikkeling van kokkelbestanden. De methodiek wordt uitgebreid beschreven door Kamermans et al. (2003) en Kesteloo (2006). In het kort was de werkwijze als volgt: in de Ooster- en Westerschelde zijn respectievelijk 18 en 16 vaste vakken van 40 x 40 m uitgezet op plekken met een op dat moment "goede" dichtheid aan kokkels (gele locaties in Figuur 1), verspreid over de deelgebieden. Per bemonstering zijn verspreid over ieder vak 50 random steken met een steekbuis genomen. De steekbuis had een oppervlakte van 86,5 cm². De 50 steken zijn samengevoegd en behandeld als één monster. Het monster is gezeefd over een maaswijdte van 2 mm. De hierin aanwezige kokkels zijn verzameld en gesorteerd op leeftijd aan de hand van de groeiringen op de schelp. Per jaarklasse is het aantal, het gewicht en de schelpenlengte bepaald. In de jaren 1992 - 1994 zijn de locaties vijf keer per jaar bemonsterd, vanaf 1995 drie keer per jaar. Voor alle jaren is de zomersterfte berekend uit alleen die metingen in het voorjaar en najaar waarbij alle 18 en 16 vakken zijn bemonsterd, op data zo dicht mogelijk bij 1 mei en 1 september. In Tabel 1 is voor de Ooster- en Westerschelde weergegeven welke metingen (in welke maanden) zijn gebruikt voor de zomersterfte berekeningen.



Figuur 1. Ligging van de kokkelvakken bemonsterd in de periode 1992-2007 in de Ooster- en Westerschelde en in 2019 en 2020 in de Oosterschelde.

Tabel 1. De metingen uit de historische kokkelvakken dataset die zijn gebruikt voor de berekeningen van zomersterfte, per maand waarin de metingen plaatsvonden.

= Oosterschelde
 = Westerschelde

Jaar	Voorjaar			Najaar		
	April	Mei	Juni	Augustus	September	Oktober
1992		■	■	■	■	
1993	■	■		■		■
1994	■	■		■		
1995	■		■	■	■	
1996	■	■	■	■	■	
1997	■	■		■	■	
1998	■	■		■	■	
1999		■	■	■	■	
2000	■	■		■	■	
2001		■	■	■	■	
2002	■	■		■	■	
2003	■	■		■	■	
2004	■	■		■	■	
2005	■	■		■	■	
2006	■	■		■	■	
2007		■	■	■	■	

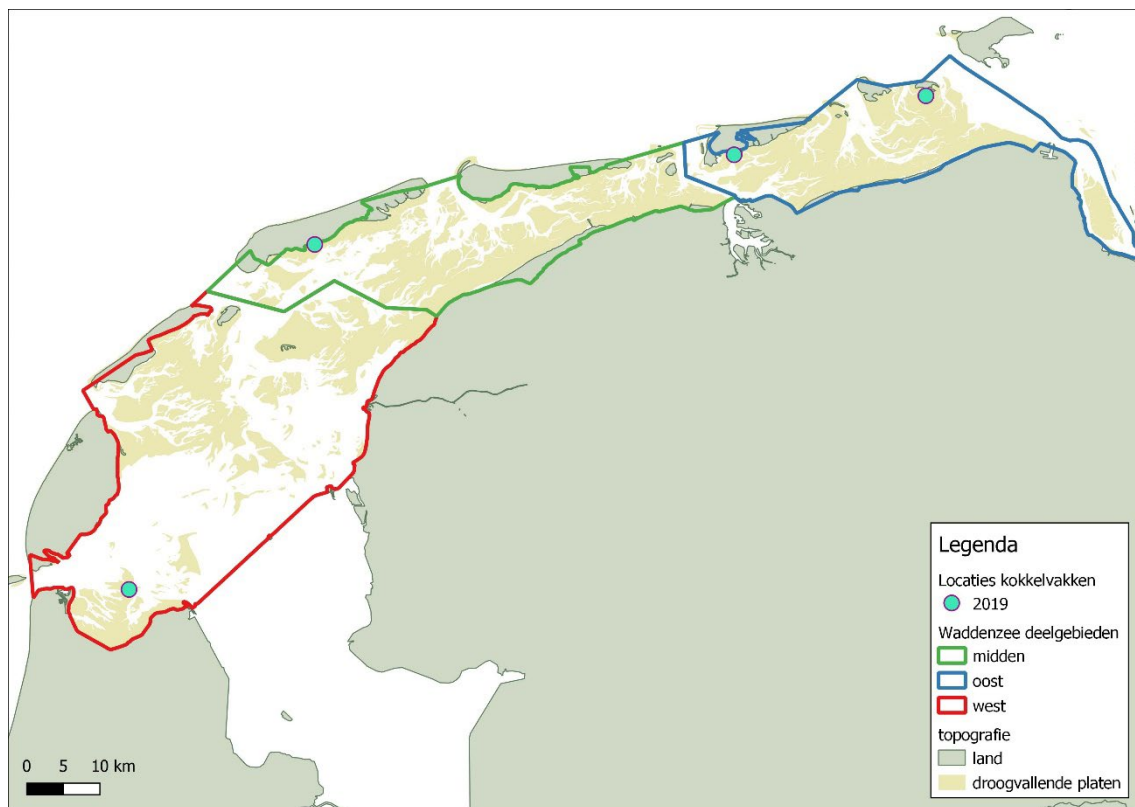
2.1.2 Kokkelvakken recent

Naar aanleiding van een extreme zomersterfte onder kokkels in 2018, 2019 en 2020, zijn in 2019 en 2020 nieuwe metingen gedaan aan zomersterfte onder kokkels. Daarbij is zoveel mogelijk de werkwijze van de periode 1992-2007 gevolgd. Er is gebruik gemaakt van dezelfde proefopzet en bemonsteringswijze, met als voornaamste verschil een aanzienlijke reductie van het aantal locaties. In 2019 is het onderzoek uitgevoerd in de Oosterschelde (blauwe en paarse locaties in Figuur 1) en Waddenzee (blauwe locaties in Figuur 2), en in 2020 alleen in de Oosterschelde (paarse locaties in Figuur 1). Er is op twee momenten in het jaar gemeten; voor en na de zomermaanden. Meer achtergronden en details over de werkwijze zijn beschreven door Van den Bogaart et al. (2021). In 2020 is dit onderzoek gekoppeld aan een onderzoek naar effecten van hittegolven op het temperatuurverloop in het sediment van de droogvallende platen (Suykerbuyk et al., 2021).

Tabel 2. Periode van bemonstering voor het recente kokkelvakken onderzoek.

= Oosterschelde
 = Waddenzee

Jaar	Voorjaar			Najaar	
	Maart	April	Mei	Augustus	September
2019	■	■	■	■	■
2020		■	■	■	■



Figuur 2. Ligging van de kokkelvakken bemonsterd in 2019 in de Waddenzee.

2.1.3 Herbemonsteringen historisch

In de periode 1996 – 1999 zijn naast de voorjaarsinventarisaties ook inventarisaties in het najaar uitgevoerd ("n" in Tabel 3). Deze zijn alle uitgevoerd in de maand november. In 1990 en de periode 2000 – 2002 zijn herbemonsteringen uitgevoerd op een deel van de in het voorjaar bemonsterde punten, altijd in de maanden augustus en september ("H" in tabel 3) (zie Bijlage 1 en 2 voor kaarten met monsterpunten voor alle her- en najaarsbemonsteringen). In dit rapport worden de her- en najaarsbemonsteringen verder aangeduid met de verzamelterm "herbemonstering". Het tijdstip van de herbemonsteringen is verder algemeen aangeduid met "in het najaar", wat ofwel de late zomer kan betekenen (in het geval van de herbemonsteringen) ofwel de herfst (in het geval van de najaarsbemonsteringen).

Tabel 3. Jaren waarvoor gegevens beschikbaar zijn uit najaarssurveys (n) en gedeeltelijke herbemonsteringen (H)(zie tabel 3.2 in Kamermans et al., 2003), verder beide aangeduid als "herbemonsteringen".

Jaar	Oosterschelde	Westerschelde	Waddenzee
1990	H		
1996		n	
1997	n	n	n
1998	n	n	n
1999	n	n	
2000	H	H	
2001	H	H	H
2002	H	H	H

2.1.4 Herbemonsteringen recent

Naar aanleiding van extreme zomersterfte in 2018 is dat jaar in augustus en september een gedeeltelijke herbemonstering uitgevoerd in de Oosterschelde en Waddenzee (Troost & Van Asch, 2018) (zie Bijlagen 1 en 2 voor kaartjes). In 2020 is in september een gedeeltelijke herbemonstering uitgevoerd in de Oosterschelde (Troost et al., 2021) (Bijlage 2).

2.2 Sterfte-berekeningen

De sterfte is per jaar berekend uit het verschil in de gesommeerde dichtheid over alle stations tussen voorjaar en najaar. Hiertoe zijn de aantallen uit alle onderscheiden leeftijdsklassen bij elkaar opgeteld, uitgezonderd de in het najaar aangetroffen 0-jarigen (nieuwe aanwas in de tussenliggende zomer). Conform de berekeningswijze eerder (Kesteloo, 2006) zijn uit de dataset van historische kokkelvakken alle stations waarop in het voorjaar minder dan 3 kokkels per m² zijn aangetroffen, op voorhand uitgesloten van de analyse. In de dataset van historische herbemonsteringen zijn deze stations wél meegenomen, omdat dit eerder ook zo gedaan is. Kokkelsterfte wordt berekend met de volgende formule:

$$S = 100 * \left(\frac{N_{vj} - N_{nj}}{N_{vj}} \right) \quad (1)$$

Waarbij:

- S = sterftepercentage tussen de voorjaars- en herbemonstering (in het najaar);
- N_{vj} = totaal aantal kokkels per m² in het voorjaar gesommeerd over alle stations;
- N_{nj} = totaal aantal kokkels per m² in het najaar gesommeerd over alle stations.

De sterfte wordt berekend over de periode tussen de gemiddelde monsterdatum in het voorjaar en de gemiddelde monsterdatum in het najaar. Het tijdsverschil in dagen wordt aldus berekend als:

$$dT = dnr_{nj} - dnr_{vj} \quad (2)$$

Waarbij:

- dT = het tijdsverschil in dagen tussen de bemonsteringen in voor- en najaar;
- dnr_{vj} = het gemiddelde dagnummer van alle monsterdata in het voorjaar;
- dnr_{nj} = het gemiddelde dagnummer van alle monsterdata in het najaar.

Vervolgens zijn alle sterftes omgerekend naar een gestandaardiseerde periode van 123 dagen (tussen 1 mei en 1 september) op de volgende manier:

$$S_{stand} = \frac{S \times 123}{dT} \quad (3)$$

Waarbij:

- S_{stand} = sterftepercentage over een gestandaardiseerde periode van 123 dagen, ofwel de "gestandaardiseerde sterfte";

Per waterbekken (Waddenzee, Oosterschelde, Westerschelde) is per methodiek (kokkelvakken, najaars-bemonsteringen) per jaar de gemiddelde sterfte en standaarddeviatie berekend. Over alle jaren is vervolgens de gemiddelde sterfte en het 99% betrouwbaarheidsinterval berekend. Dit geeft de onder- en bovengrens aan waartussen 99% van de waarnemingen zich bevindt. Deze bovengrens kan gehanteerd worden als de grens tussen normale en extreme sterfte.

3 Resultaten sterfmetingen

Het 99% betrouwbaarheidsinterval geeft een ondergrens en bovengrens waarbinnen 99% van de waarnemingen ligt. Dit interval is berekend over de historische data uit de kokkelvakken en herbemonsteringen (Tabel 4). In Figuur 3 zijn de geschatte zomersterftes uit de historische en recente periode weergegeven ten opzichte van de bovengrens van het 99% betrouwbaarheidsinterval.

Uit de vergelijking blijkt dat de zomersterftes in de periode 2018-2020 inderdaad als uitzonderlijk gezien kunnen worden. Voor de Oosterschelde en Waddenzee liggen de zomersterftes in 2018 - 2020 duidelijk hoger dan wat bekend is uit de voorgaande periode. In de Westerschelde zijn vaker uitzonderlijk hoge sterftes opgetreden.

Tabel 4. Statistieken per gebied en per methode, berekend over de historische data (periode 1990-2007). Weergegeven zijn de maximum en gemiddelde sterfte (%) met standaarddeviatie (s.d.), het aantal waarnemingen (n in jaren) en de bovengrens van het 99% betrouwbaarheidsinterval (C.I.). De standaarddeviatie is ook uitgedrukt als percentage van de gemiddelde sterfte.

	Oosterschelde		Westerschelde		Waddenzee
	vakken	herbemonstering	vakken	herbemonstering	herbemonstering
Maximum sterfte	41,6	66,3	82,4	50,5	34,6
Gemiddelde sterfte	28,0	39,7	42,1	32,1	27,3
s.d.	8,4	15,6	16,0	14,3	10,8
% van gemiddelde	30	37	38	39	34
n	16	7	16	7	3
99% betrouwbaarheids-interval	22 - 34	21 – 65	18 – 54	17 – 58	0 - 54

Oosterschelde

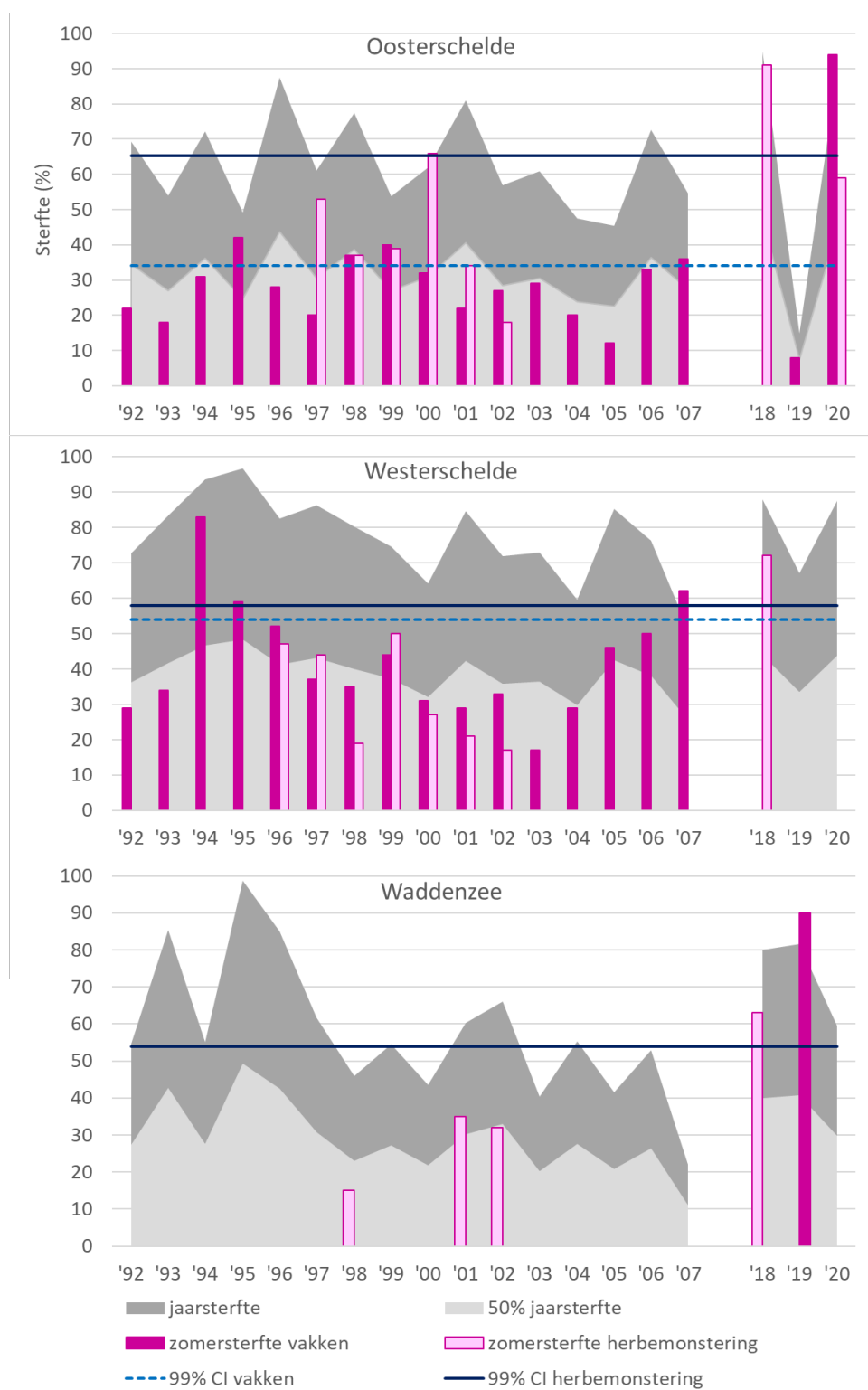
In vergelijking met de periode 1992-2007 waren de zomersterftes in de Oosterschelde in 2018 en 2020 duidelijk hoger (Figuur 3). De hoogste zomersterfte in de periode 1992-2007 was 66%, gemeten in de herbemonstering van 2000. Deze sterfte kan, op basis van het 99% betrouwbaarheidsinterval, ook gezien worden als extreem.

Westerschelde

In de Westerschelde is in 2018 slechts een beperkte herbemonstering gedaan. Daaruit is een sterftepercentage berekend van 72%. Dit is duidelijk hoger dan de sterftepercentages in de historische periode, hoewel ook in 1994, 1995 en 2007 extreme zomersterftes waargenomen zijn (Figuur 3). Opvallend is dat in de jaren met de hoogste sterftes de zomersterfte ongeveer dezelfde omvang heeft als de sterfte over een heel jaar. Dit lijkt er op te wijzen dat alle zwakkere dieren al zijn overleden in de zomer en de resterende de winter zeer goed overleven. Over de periode 1992-2007 is de variatie in sterfte van jaar tot jaar zoals gemeten in de kokkelvakken duidelijk groter in de Westerschelde dan in de Oosterschelde, met een tweemaal zo grote standaarddeviatie.

Waddenzee

Ook in de Waddenzee zijn de geschatte zomersterftes in 2018 en 2019 duidelijk hoger dan in de periode 1997-2002. In de periode 1997-2002 kwamen de zomersterftes ongeveer overeen met 50% van de jaarlijkse sterfte. Dus de helft van de sterfte vond plaats tijdens de zomermaanden, en de andere helft in de wintermaanden en het voorjaar. De zomersterfte in 2018-2019 komt dichterbij de sterfte berekend over een heel jaar.



Figuur 3. Gestandaardiseerde zomersterftes in de Oosterschelde, Westerschelde en Waddenzee met onderscheid tussen sterftes berekend uit kokkelvakken en herbemonsteringen. In de achtergrond (donkergrijs) zijn sterftes over een heel jaar weergegeven, zoals berekend uit de voorjaars-surveys. Deze zijn weergegeven voor het eerste jaar, dus sterfte in 1992 betreft sterfte tussen de voorjaren van 1992 en 1993. In lichtgrijs is weergegeven: 50% van de berekende jaarlijkse sterfte. Met blauwe lijnen is aangegeven: de bovengrens van het 99% betrouwbaarheidsinterval (CI) berekend uit de historische vakken (gestippelde lijn) en herbemonsteringen (doorgetrokken lijn).

Vergelijking methoden

In sommige jaren verschillen de gemiddelde sterftes berekend uit beide methodieken (Tabel 4) in de Oosterschelde en Westerschelde sterk. In de Oosterschelde is de sterfte berekend uit de herbemonstering meestal hoger dan die uit de kokkelvakken (Figuur 3). Dit verschil is het grootst in 1997 en 2000 en heeft waarschijnlijk te maken met verschillen in methodiek. Ten eerste wordt de herbemonstering later in het jaar uitgevoerd dan de bemonstering van de kokkelvakken. Als er in de periode tussen augustus en november nog verhoogde sterfte plaatsvindt kan dat leiden tot een hogere schatting van de zomersterfte. Zo is er bijvoorbeeld in 1997 in augustus een hittegolf geweest (zie Tabel 5) waardoor ook na de bemonstering van de kokkelvakken nog verhoogde sterfte opgetreden kan zijn. Ten tweede vindt het kokkelvakken onderzoek plaats op een beperkt aantal locaties terwijl de herbemonstering over het algemeen het gehele gebied bestrijkt. De keuze voor de locaties van de kokkelvakken kan een onder- of overschatting van de sterfte veroorzaken indien vakken oververtegenwoordigd zijn in gebieden waar de sterfte relatief laag of juist hoog is. Specifiek in 1997 zijn tijdens de herbemonstering alleen de Kom van de Oosterschelde en de Slikken van de Dortsman in deelgebied Midden herbemonsterd (zie Bijlage 2). Het is mogelijk dat de sterfte in het herbemonsterde gebied hoger was dan in de rest van de Oosterschelde waardoor de sterfte voor het gehele gebied overschat is.

4 Inventarisatie verschuiven in de tijd?

4.1.1 Vraagstelling

Om een overschatting van het bestand op 1 september na extreme zomersterfte te voorkomen is de vraag gesteld of het verschuiven van de survey van het voorjaar naar *kort voor aanvang van de visserij* een oplossing kan bieden. De gedachte is dat er dan geen extrapolatie van de surveygegevens naar het najaar nodig is, maar dat de surveyresultaten zelf de basis bieden voor het visserij-quotum.

De volgende vragen zijn hier aan de orde:

1. Naar welke periode zou de survey verplaatst moeten en kunnen worden, rekening houdend met:
 - a. De periode waarin zomersterfte op kan treden;
 - b. De periode die nodig is voor vergunningverlening;
 - c. Het moment van aanvang van de visserij.
2. Welke gevolgen heeft een verschuiving voor:
 - a. De kwaliteit van de bestandsschatting en de opgebouwde tijdreeks als gevolg van seizoenseffecten;
 - b. Praktische uitvoerbaarheid van de bestandsschatting;
 - c. Kosten van de bestandsschatting.
3. Welke gevolgen heeft een onderbreking in de tijdreeks voor:
 - a. Evaluatie van veranderingen in visserij- en natuurbeleid;
 - b. Nederlandse opgaven vanuit EU-natuurwetgeving;
 - c. Studies naar effecten van grotere en kleinere menselijke ingrepen in de Nederlandse kustwateren.

4.1.2 Periode van hittegolven en zomersterfte

Vooralsnog wordt aangenomen dat extreme zomersterfte vooral optreedt tijdens hittegolven. Observaties in het veld suggereren daarnaast dat de sterfte nog enige tijd na de hittegolf door kan gaan. Verplaatsen van de survey naar een periode waarin nog een hittegolf op kan treden, heeft daarom geen zin. Verplaatsen heeft alleen zin als de survey wordt uitgevoerd na de periode waarin hittegolven op kunnen treden. Meetgegevens van het KNMI (Tabel 5) laten zien dat sinds 1901 hittegolven voornamelijk optreden in juli en/of augustus, en dat na 28 augustus (2019) geen hittegolven zijn geregistreerd. Verplaatsen heeft dus alleen zin als de survey wordt verschoven naar de periode vanaf 28 augustus. Dan is er nog steeds een kans dat tijdens de survey verhoogde sterfte plaatsvindt als na-ijlend gevolg van een hittegolf in augustus. Na de hittegolf kunnen dieren, die de hittegolf weliswaar overleefd hebben maar toch weefselschade hebben opgelopen, alsnog sterven. Daarom wordt geadviseerd om, indien besloten wordt tot verschuiven van de survey, deze op 1 oktober te laten aanvangen.

4.1.3 Gevolgen van verschuiven voor praktische uitvoering van de bestandsopname

Met de uitvoering van de kokkelsurvey in de huidige vorm hangen andere schelpdierinventarisaties samen. Op de Waddenzee neemt de kokkelsurvey in zijn huidige vorm (in mei-juni) in totaal 6 weken in beslag (Tabel 6). Dat is inclusief bemonsteringen van mosselen en Japanse oesters. Deze survey volgt op 3 weken inmeten van mossel- en oesterbanken (april-mei). Tijdens deze weken worden vaak ook al zo'n 100-200 monsterpunten bemonsterd. In de Ooster- en Westerschelde wordt het kokkelbestand geïventariseerd in de maanden april en mei. Dat is exclusief schelpdieren in oesterbanken, die in het najaar bemonsterd worden.

Voor de Waddenzee heeft een verplaatsing van de inventarisatie van kokkels naar het najaar als gevolg dat er meer tijd nodig zal zijn om alle inventarisaties uit te voeren. Doordat de bestandsopnames in twee delen worden gesplitst, met mosselen en oesters aansluitend aan het inmeten van de contouren van de banken in het voorjaar en met kokkels en andere ingegraven soorten buiten mossel- en oesterbanken in het najaar, is er relatief meer tijd nodig voor het navigeren over de vele ondieptes. Immers, de gehele Waddenzee moet nu twee keer van west naar oost doorkruist worden in plaats van één keer. Voor de

bestandsopnamen van mosselen en oesters zullen 3 tot 4 weken nodig zijn om het hele wad te bestrijken. Voor de inventarisatie van kokkels worden meer stations bemonsterd, maar hier is ook meer hulp mogelijk van de Waddenunit. De tijd nodig voor deze inventarisatie wordt geschat op 5 weken. Dit levert een totaal aantal survey weken op van 8 tot 9, waar dit in de huidige situatie 6 weken zijn.

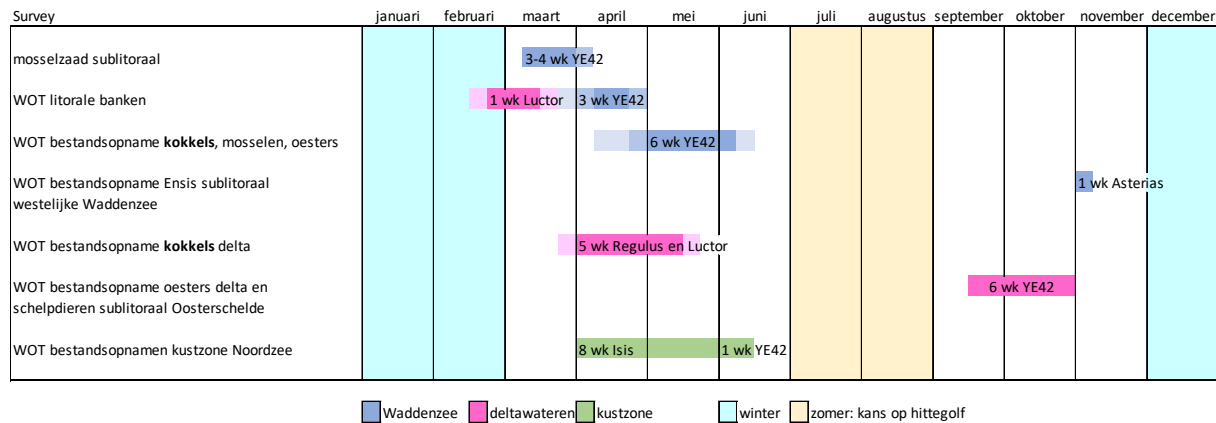
Tabel 5. Hittegolven gemeten door het KNMI sinds 1901. Het hittegolfgetal wordt berekend door van de reeks van dagen met een maximumtemperatuur boven de 25 graden alle waarden boven de 25 graden bij elkaar op te tellen. Een temperatuur van 25,6 °C draagt 0,6 bij aan het hittegolfgetal, een temperatuur van 31,2 °C draagt 6,2 bij. Bron: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittegolven>.

Van	tot en met	Duur in dagen	Aantal tropische dagen	Hoogste temperatuur °C	Datum hoogste temperatuur	Hittegolf getal
08 aug 1911	14 aug 1911	7	5	33,0	10 aug 1911	36,8
21 mei 1922	25 mei 1922	5	3	32,8	24 mei 1922	27,1
05 jul 1923	14 jul 1923	10	5	33,1	11 jul 1923	48,3
20 jun 1941	26 jun 1941	7	3	32,0	23 jun 1941	24,4
06 jul 1941	13 jul 1941	8	6	32,2	12 jul 1941	44,8
14 aug 1947	21 aug 1947	8	3	32,2	16 aug 1947	29,1
26 jul 1948	30 jul 1948	5	4	31,3	28 jul 1948	26,1
29 jul 1975	15 aug 1975	18	6	32,9	08 aug 1975	76,1
23 jun 1976	09 jul 1976	17	10	34,9	03 jul 1976	96,3
29 jul 1982	04 aug 1982	7	4	31,9	02 aug 1982	32,8
04 jul 1983	12 jul 1983	9	3	33,0	11 jul 1983	37,1
26 jul 1990	04 aug 1990	10	3	35,3	04 aug 1990	40,5
19 jul 1994	31 jul 1994	13	5	34,1	24 jul 1994	57,7
29 jul 1995	03 aug 1995	6	3	32,3	31 jul 1995	31,5
05 aug 1997	13 aug 1997	9	5	32,1	13 aug 1997	42,2
28 jul 1999	04 aug 1999	8	3	31,4	01 aug 1999	34,0
22 aug 2001	26 aug 2001	5	3	31,1	25 aug 2001	24,0
31 jul 2003	13 aug 2003	14	7	35,0	07 aug 2003	67,4
02 aug 2004	11 aug 2004	10	3	32,5	09 aug 2004	35,1
18 jun 2005	24 jun 2005	7	3	32,8	20 jun 2005	28,5
30 jun 2006	06 jul 2006	7	3	32,0	04 jul 2006	31,7
15 jul 2006	30 jul 2006	16	8	35,7	19 jul 2006	85,8
21 jul 2013	27 jul 2013	7	3	32,6	22 jul 2013	27,8
30 jun 2015	05 jul 2015	6	3	33,1	01 jul 2015	33,5
15 jul 2018	27 jul 2018	13	4	35,7	26 jul 2018	52,7
29 jul 2018	07 aug 2018	10	4	33,9	07 aug 2018	40,9
22 jul 2019	27 jul 2019	6	4	37,5	25 jul 2019	48,2
23 aug 2019	28 aug 2019	6	3	32,8	27 aug 2019	28,3
05 aug 2020	17 aug 2020	13	9	34,6	08 aug 2020	79,6

Opsplitsen van de survey periode heeft ook een verlies in flexibiliteit tot gevolg. In de huidige situatie vinden de WOT surveys in het litoraal van de Waddenzee plaats in een aaneengesloten periode van 9 weken (3 weken banken inmeten en 6 weken monstern). Bij ongunstige weersomstandigheden kan de opgelopen vertraging in de lange survey periode vaak wel weer ingehaald worden, en kan geschoven worden met werkzaamheden waarbij je juist een hoge, of lage, waterstand nodig hebt. Deze mogelijkheden worden beperkter bij opsplitsing in kortere blokken van 6-7 weken in het voorjaar en 5

weken in het najaar. Hiermee wordt de kans groter dat bij ongunstige weersomstandigheden de survey niet op tijd af komt en er dus extra tijd en budget nodig zal zijn.

Tabel 6. Blokkenschema van de bestandsschattingen die jaarlijks worden uitgevoerd. Per survey staat het aantal weken ingevuld en de naam van het schip.



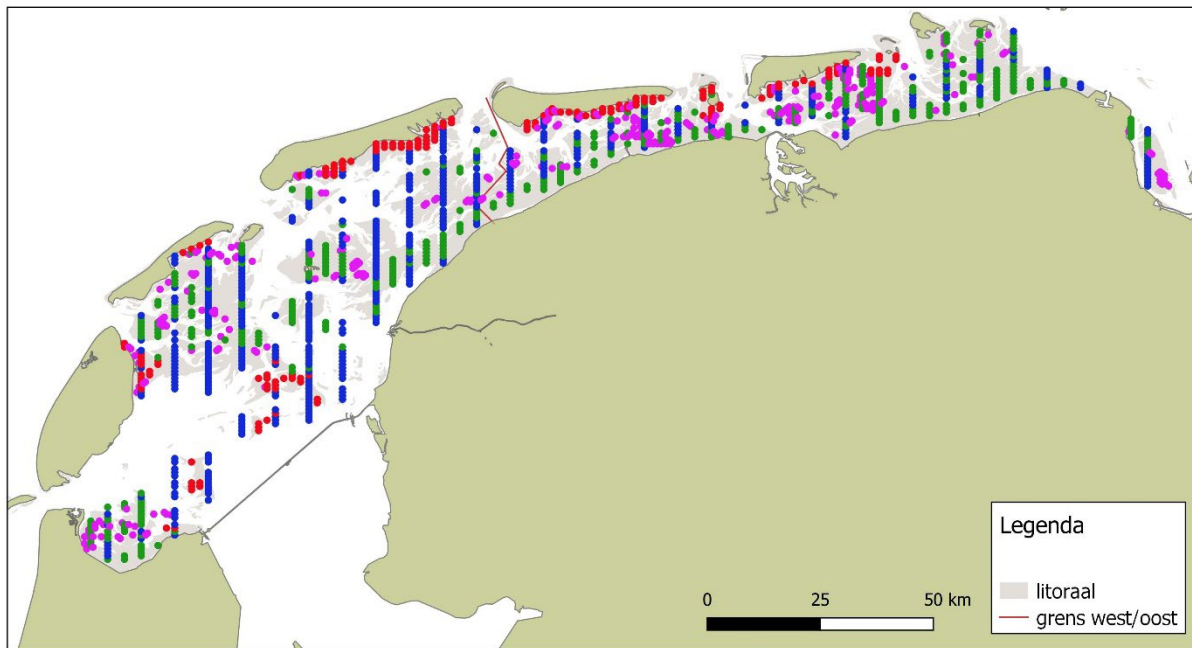
4.1.4 Gevolgen van verschuiven voor de vergunningverlening

Bij aanvang op 1 oktober kan de survey gereed zijn omstreeks 7 november. Daarna worden de data gecontroleerd en het bestand berekend. Ook moeten er vaak nog na de survey monsters binnenkomen op het lab in Yerseke welke door de Waddenunit zijn genomen. Pas na verwerking van de laatste monsters kan het bestand berekend worden. De voorlopige schatting van het bestand kan dan op uiterlijk 1 december opgeleverd worden. Volgens de huidige termijn van vergunningverlening (oplevering getal per 1 juli, start visserij per 1 september) zou een visserij vervolgens twee maanden later, dus op 1 februari, kunnen aanvangen. Start van de visserij midden in de winter is echter onwenselijk omdat gedurende de winter nog omvangrijke sterfte op kan treden als gevolg van stormen of vorst. Daarom wordt aanbevolen om met de visserij op zijn vroegst 1 maart te starten. Indien tijdens de wintermaanden een verhoogde sterfte plaatsvindt als gevolg van strenge vorst en/of stormen dan is een herbemonstering na de winter minder noodzakelijk dan na zomersterfte omdat schelpdieren met name in de winter essentieel stapelvoedsel vormen voor scholeksters. Gedurende de zomer benutten ze ook veel andere prooien (Zwarts et al., 2011).

4.1.5 Seizoenseffecten

Bij uitvoering van de survey in de periode april-juni is eventueel al aanwezig kokkelbroed nog te klein om op de zeef achter te blijven en worden deze zogenaamde 0-jarige kokkels slechts sporadisch aangetroffen. Als de survey wordt verschoven naar de periode oktober-november is het broed inmiddels groot genoeg gegroeid om op de mazen van de zeef achter te blijven. Dit geldt niet alleen voor kokkels maar ook voor andere soorten schelpdieren. Bij een omvangrijke broedval van één of meerdere soorten betekent dit veel extra werk bij het verwerken van de monsters. Dit betekent een extra beslag op de beschikbare tijd. Ook levert het broed in tijdreeksen grote pieken in aantallen op waardoor ontwikkelingen op de lange termijn lastiger te ontdekken zijn. Om deze reden worden de meeste schelpdiersurveys in het voorjaar uitgevoerd, en worden lange-termijn analyses vaak exclusief schelpdierbroed gedaan. Voor kokkels is het relatief gemakkelijk om het broed te identificeren en vervolgens uit analyses te laten omdat de jaarklassen goed te onderscheiden zijn. Voor de andere soorten (zoals bijvoorbeeld de Filipijnse tapijtschelp en het nonnetje) geldt dat hooguit een onderscheid gemaakt kan worden op basis van schelp lengte, maar dit betreft altijd een schatting en is veel minder nauwkeurig. Dus voor alle andere soorten schelpdieren dan kokkels wordt de variatie tussen jaren groter waardoor de statistische zeggingskracht bij effectstudies of evaluaties van veranderingen in beleid verminderd wordt. Daarnaast is het kokkelbroed nog te klein om op te mogen vissen. Pas vanaf een leeftijd van 1 jaar worden kokkels interessant voor zowel de visserij als scholeksters.

Verschuiving van de kokkelsurvey in de tijd heeft ook consequenties voor de soorten die in het voorjaar geïnventariseerd worden. In de berekeningen van de bestanden van soorten die voorkomen binnen mossel- en oesterbanken tellen namelijk de kokkelpunten buiten de mossel- en oesterbanken mee voor het totale bestand (in meer detail uitgelegd in Troost et al. 2021). In Figuur 4 zijn de monsterpunten weergegeven. Voor het kokkelbestand wordt gerekend met de rode en groene punten waar de hoogste kokkeldichtheden verwacht worden, en met de blauwe punten voor het overige gebied. Voor de bestanden van mosselen, oesters wordt gerekend met de paarse punten die binnen de contouren van mossel- en oesterbanken liggen, aangevuld met de kokkelpunten die buiten de contouren liggen (zowel de rode, groene als blauwe). Dus ook voor de soorten die op de paarse punten worden aangetroffen heeft een verplaatsing van de bemonstering van de kokkelpunten consequenties voor de berekende bestandsomvang en dus voor de tijdreeks.



Figuur 4. Monsterpunten van de WOT surveys in het litoraal van de Waddenzee. Alle in 2021 bemonsterde stations zijn per stratum weergegeven in een andere kleur. De paarse punten liggen in mossel- en oesterbanken, de rode en groene in gebieden waar kokkelbanken verwacht worden, en blauwe liggen in het resterende gebied (Figuur 2 in Troost et al., 2021).

4.1.6 Onderbreking in tijdreeks door verschuiving

Sinds 1990 wordt de kokkelsurvey in april-juni uitgevoerd. Als de survey wordt verschoven naar oktober-november wordt de tijdreeks onderbroken. Nog steeds wordt per jaar een schatting gemaakt van de bestandsomvang, maar dan voor het najaar in plaats van het voorjaar. Dit leidt tot verschillen in aantallen, biomassa en samenstelling omdat gedurende de zomer een deel van de kokkels sterft, alle kokkels groeien, en er nieuwe aanwas bij komt in de vorm van 0-jarige kokkels. In de ontwikkeling van het bestand over de jaren zie je dan een plotselinge verandering tussen de periode waarin de survey werd uitgevoerd in het voorjaar, en de periode waarin de survey werd uitgevoerd in het najaar. Welk deel van de verandering is veroorzaakt door de veranderde uitvoering, en welk deel van de verandering een werkelijk opgetreden verschil in de bestandsomvang representeert, is niet van elkaar te onderscheiden.

De jaarlijkse inventarisatie van het kokkelbestand is in de eerste plaats bedoeld om de jaarlijkse quota voor de visserij vast te kunnen stellen, en daarnaast om in te kunnen schatten of veranderingen in visserijbeleid hebben geleid tot veranderingen in het kokkelbestand. Om statistisch vast te kunnen stellen of een bepaalde menselijke ingreep, zoals wijziging van het visserijbeleid, een significant effect heeft gehad op de omvang van schelpdierbestanden is een tijdserie analyse nodig met minstens een x aantal jaren vóór de verandering in beleid, en een x aantal jaren erna. Hoe groter de verschillen tussen

jaren, hoe meer jaren er nodig zijn voor de analyse. Bij kokkels en andere schelpdiersoorten kunnen de verschillen tussen de jaren zeer groot zijn vanwege een hoge natuurlijk dynamiek, en is dus een relatief lange tijdreeks nodig om effecten van ingrepen zichtbaar te kunnen maken. Bij kokkels speelt daarnaast de complicatie dat gemiddeld slechts eens in de zeven jaar een omvangrijke broedval plaatsvindt. Deze broedvallen zijn zeer bepalend voor de omvang van het bestand, ook in de jaren na de broedval. Zeker voor het kunnen aantonen van effecten op broedval van kokkels is daarom een lange tijdserie nodig met daarbinnen meerdere broedvallen per te vergelijken tijdvak. Niet alleen voor het kunnen vaststellen van effecten van veranderingen in visserijbeleid zijn tijdserie analyses nodig, dit geldt ook voor andere onderzoeken naar effecten van menselijke ingrepen en van klimaatverandering op schelpdierbestanden en het gehele ecosysteem van de Waddenzee. In de volgende paragraaf wordt een overzicht gegeven van vragen vanuit EU-wetgeving en nationale wetgeving, beleid en beheer waarvoor de tijdreeksen uit de WOT bestandsopnames nodig zijn, alsmede studies naar effecten van grootschalige menselijke ingrepen.

Als door een verandering in methodiek een onderbreking in de tijdreeks ontstaat, is het vaak moeilijk om beide perioden aan elkaar te knopen. Dit vereist over het algemeen dat de waarden in één van beide perioden worden omgerekend om ze zo vergelijkbaar mogelijk te maken met de andere periode. Deze omrekening moet worden gebaseerd op (ruwe) aannames. De kans dat dit ten koste gaat van de statistische zeggingskracht van de resultaten is zeer groot.

4.1.7 Nut en noodzaak van een intacte tijdreeks

Het nut van lange tijdreeksen is recent benadrukt door Beukema en Dekker (2020a) die een overzicht geven van de kennis die een tijdserie van 50 jaar aan bodemdiergegevens op het Balgzand de samenleving heeft opgeleverd. Dankzij deze tijdserie hebben we inzicht gekregen in veranderingen door klimaatverandering en door veranderingen in de mate van eutrofiering. Bij het beheer van natuurlijke hulpbronnen en natuurgebieden zijn dergelijke inzichten onontbeerlijk. De tijdreeksen van de kokkelbestanden in de Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde lopen al sinds 1990, dus inmiddels 33 jaar. Deze tijdreeksen van kokkels en ook andere soorten schelpdieren, zijn van belang voor verschillende effectstudies zoals onderstaande. Duidelijk is dat een besluit tot ingrijpen in de tijdreeksen, met een onderbreking van de tijdreeks tot gevolg, niet lichtvaardig genomen moet worden.

Visserijbeleid

Om ervoor te zorgen dat visserij- en natuurbelangen elkaar niet te veel in de weg zitten, en om effecten van veranderingen in het Nederlandse beleid ten aanzien van schelpdiervisserij te kunnen evalueren, worden de schelpdierbestanden in de Nederlandse kustwateren jaarlijks gemonitord binnen het kader van de WOTVisserij (Troost et al., 2021). Zo zijn de tijdreeksen van schelpdierbestanden nodig om in de gaten te kunnen houden of het opschalen van MZI's (mosselzaad-Invang-Installaties) in de Waddenzee en Oosterschelde niet leidt tot problemen met de draagkracht van het ecosysteem voor schelpdieren (Jansen et al., 2019).

Natura 2000

Voor de habitattypen H1140 (droogvallende platen, Waddenzee), H1130 (estuaria, Eems-Dollard en Westerschelde) en H1160 (grote baaien, Oosterschelde) is er een opgave voor verbetering van de kwaliteit van het habitatype. Om periodiek te kunnen evalueren in hoeverre aan de opgaven wordt voldaan, zijn onder andere tijdreeksen nodig van bestanden van schelpdiersoorten die:

- dienen als voedsel voor vogels;
- als 'typische soort' iets zeggen over de kwaliteit van het habitatype.

Zie voor meer details de beheerplannen geschreven door Rijkswaterstaat (2016a, 2016b) en de meest recente profieldocumenten op www.natura2000.nl.

Effecten grootschalige menselijke ingrepen

Voor het inschatten van de effecten van grootschalige menselijke ingrepen, zoals bodemdaling door gaswinning (Duijns et al., 2022) en zoutwinning (Arcadis, 2019), wordt gebruik gemaakt van de tijdreeksen verzameld binnen het WOT-Visserij programma. Met name voor het inschatten van effecten op vogelpopulaties is het van groot belang om deze tijdreeksen niet te onderbreken.

Wetenschappelijke studies

De huidige tijdreeks loopt sinds 1990, dus inmiddels al 33 jaar. Een dergelijke lange tijdreeks is van groot belang om het functioneren van de Nederlandse kust-ecosystemen beter te begrijpen. Dit is belangrijk als basis voor het nemen van beleidsbesluiten, en ook voor het inschatten van toekomstige veranderingen waar het beleid wellicht op voor moet sorteren. Een voorbeeld hiervan is de klimaatverandering, en de effecten daarvan op onze kust-ecosystemen en de daarin aanwezige schelpdierkweek en visserij. De tijdreeksen uit de schelpdiersurveys zijn gebruikt voor tal van wetenschappelijke studies die onze kennis vergroot hebben (een kleine greep: Cervencl et al., 2015; Folmer et al., 2014; Houziaux et al. 2011; Troost et al., 2011; Troost et al., 2009; Troost et al., 2022; Troost & Ysebaert, 2011; Van der Meer et al., 2018; Van der Zee et al., 2019; Van Irsel et al., 2021).

5 Afweging methodiek

Wat is nu de beste manier om vast te stellen of er inderdaad sprake is geweest van een extreem hoge zomersterfte? Hiervoor zijn twee mogelijkheden, die beiden aansluiten op historisch onderzoek:

1. een gericht onderzoek volgens de methodiek van de **kokkelvakken**,
2. een (gedeeltelijke) **herbemonstering** na de zomer.

5.1.1 Methode: kokkelvakken

Het kokkelvakken onderzoek in de periode 1992-2007 was gericht op het verkrijgen van meer inzicht in de natuurlijke dynamiek van de kokkelpopulatie, en welke factoren hierop van invloed zijn. Een voordeel van de kokkelvakken methodiek is dat per monsterpunt (per 'vak') een groot oppervlak bestreken wordt (binnen een vak van 40 x 40 m worden 50 monsters genomen met een totaal oppervlak van 0,42 m²). Daardoor is de sterfte-schatting per monsterpunt relatief betrouwbaar. Daarnaast lenen kokkelvakken zich bij uitstek voor gericht en zo gecontroleerd mogelijk veldonderzoek waarbij de sterftemetingen gecombineerd kunnen worden met allerlei andere metingen aan de lokale omstandigheden zoals droogvalduur, temperatuur in de bodem en instraling door de zon (Suykerbuyk et al., 2021).

Een nadeel is dat met deze methode slechts een klein aantal vakken te bemonsteren is, vanwege de grote inspanning die nodig is per vak. Doordat deze methode bij laagwater uitgevoerd moet worden, is er veel tijd nodig voor de bemonsteringen in zowel het voorjaar als het najaar. Afhankelijk van hoe ver de vakken uit elkaar liggen, kunnen door twee personen ca. 1 tot 4 vakken per dag bemonsterd worden. Voor 18 vakken zijn naar schatting 5-10 dagen nodig met twee personen, in zowel het voorjaar als het najaar. Op de Waddenzee is het niet haalbaar om voldoende vakken verspreid over het hele gebied te bemonsteren omdat daar de afstanden te groot zijn. Relatief gaat erg veel tijd verloren aan het bereiken van de veldlocaties. Factoren die van invloed zijn op kokkelsterfte kunnen daarom het beste onderzocht worden in de Oosterschelde en Westerschelde waarbij de resultaten naar de Waddenzee doorvertaald kunnen worden indien relaties met omgevingsvariabelen aangetoond kunnen worden.

Zouden de vakken willekeurig over het gebied verspreid worden dan is de kans groot dat in slechts weinig vakken voldoende kokkels aanwezig zijn in het voorjaar om een sterftepercentage te kunnen berekenen. Daarom moeten de vakken geplaatst worden in gebieden waarvan op voorhand bekend is dat zich daar kokkels bevinden in relatief hoge dichtheden. Het nadeel hiervan is dat de plaatsing mogelijk niet representatief is voor het gehele gebied. Het is mogelijk dat locaties met een relatief hoge of lage sterfte oververtegenwoordigd zijn met een over- of onderschatting van de sterfte tot gevolg. Omdat de eerste bemonstering al in het voorjaar plaats moet vinden, kan deze methode niet adaptief toegepast worden. Als in de zomermaanden een hoge sterfte gezien wordt, is het te laat om deze methode toe te passen. Een herbemonstering van monsterpunten die in het voorjaar al bemonsterd zijn, is dan de enige mogelijkheid.

5.1.2 Methode: herbemonstering

Bij de methode van herbemonsteren worden na de zomer stations nogmaals bemonsterd die ook in het voorjaar al bemonsterd waren, volgens dezelfde methodiek. Bij deze methode is het bestreken gebied per monsterpunt veel kleiner dan bij de methode kokkelvakken (een hap van 0,4 m² met de stempelkor, of 2-3 happen met een totaal oppervlak van 0,1 m² met het kokkelschepje binnen een gebied van ongeveer 100 m²) (zie vergelijking in Tabel 7). Per monsterpunt is de sterfteschatting minder betrouwbaar, want het totaal bemonsterd oppervlak is kleiner en verspreid over een kleiner gebied. Het is met deze methode ook niet de bedoeling om een schatting per punt te maken, maar voor het hele gebied (bijvoorbeeld de gehele Waddenzee). De kracht van deze methodiek zit in het relatief grote aantal stations dat bezocht kan worden, waardoor het onderzoek gelijkmatiger over het gehele gebied verdeeld kan worden. Omdat de methode van herbemonsteren uitsluitend in het najaar toegepast wordt, kan deze adaptief ingezet worden na signalen van verhoogde sterfte in de zomer. Omdat de bemonstering bij voorkeur bij hoogwater wordt uitgevoerd, en per monsterpunt weinig tijd nodig is kunnen per dag ca. 20

tot 60 monsters genomen worden, afhankelijk van hoe ver ze uit elkaar liggen. Voor 200 monsterpunten in één gebied (bijvoorbeeld Waddenzee of Oosterschelde) zijn dan ca. 5 dagen nodig met 2 personen, uitsluitend in het najaar.

Tabel 7. Vergelijking van beide methodieken.

	Kokkelvakken	Herbemonstering najaar
Monstertuig	Steekbuis Ø 10,4 cm, oppervlak 0,0085 m ²	Kokkelschepje oppervlak 0,033 m ²
Bemonsterd oppervlak	50 steken van totaal 0,42 m ² in een plot van 1600 m ² .	Per station 3 happen van totaal 0,1 m ² binnen een oppervlak van ongeveer 100 m ² .
Aantal stations/vakken per gebied	Tot nu toe maximaal 18	Tot nu toe een selectie van minstens 200 stations tot het volledige monstergrid bemonsterd in het voorjaar
Totaal bemonsterd oppervlak	18 vakken per gebied: 7,56 m ² in 28.800 m ²	Per 100 stations: 10 m ² in 10.000 m ²
Aantal stations/vakken per dag door 2 personen	1-4 vakken	20-60 stations
Seizoen	Voorjaar en najaar, dus 2x per jaar	Alleen najaar, dus 1x per jaar
Dagen per jaar per gebied	10-20 dagen	Per 100 stations 2,5 dagen: 5 dagen voor 200 stations, 10 dagen voor 400, 20 voor 800
Gebiedsdekking	Vooraf geselecteerde locaties met relatief veel kokkels	Verspreiding over het hele gebied

5.1.3 Benodigd aantal monsterpunten

Om in te schatten welk aantal monsterpunten minimaal in het najaar herbemonsterd zou moeten worden om een betrouwbaar beeld van de sterfte te verkrijgen, en met name om een betrouwbare herschatting van het kokkelbestand te kunnen maken, zijn twee analyses uitgevoerd: een power analyse en bootstrapping. Middels de power analyse is ook bekeken hoeveel kokkelvakken per gebied nodig zouden zijn.

Power analyse

Middels een power analyse is berekend welk aantal kokkelvakken of herbemonsterde stations nodig is om met een bepaalde statistische zekerheid een significant verschil tussen het voorjaar en najaar te kunnen detecteren, waaruit de zomersterfte wordt berekend. Op basis van de gemiddelde kokkeldichtheid en standaarddeviatie in het voorjaar is berekend hoeveel vakken/monsterpunten in het najaar bemonsterd zouden moeten worden om een bepaald minimaal verschil aan te kunnen tonen. De volgende formule is daarvoor gebruikt:

$$n = \frac{s^2}{\delta^2} (t_{\alpha(1),v} + t_{\beta(1),v})^2$$

Waarbij:

n = het minimaal benodigde aantal kokkelvakken of herbemonsterde stations.

s = de standaarddeviatie

δ = het kleinste verschil dat gedetecteerd kan worden, berekend als een bepaald percentage (20, 40 en 50) van de gemiddelde dichtheid in het voorjaar.

t = Student-t waarde voor:

- significantieniveau $\alpha = 0,10$
- statistische power = 0,80, dus $\beta = 0,20$

Er is gekozen voor een eenzijdige test omdat de sterfte wordt berekend op basis van alle kokkelleeftijden die in het voorjaar al aanwezig waren, en waarvan de dichtheid als gevolg van sterfte alleen maar afneemt. Omdat bij grotere aantallen monsterpunten de t-waarden vrijwel gelijk blijven, is daarbij,

in navolging van Ens et al. (2007), de volgende vereenvoudigde formule gebruikt (uitgaande van $\alpha = 0,10$, $\beta = 0,20$):

$$n = 4,5 \frac{s^2}{\delta^2}$$

Voor de kokkelvakken zijn de berekeningen gemaakt op basis van de gemiddelde dichtheid en standaarddeviatie uit de voorjaarsmetingen in de Oosterschelde in de historische periode. De aantallen benodigde vakken verschillen sterk tussen jaren vanwege grote verschillen in gemiddelde dichtheden en standaarddeviaties. De resultaten zijn daarom in weergegeven als berekend over de gemiddelde dichtheid en standaarddeviatie over alle jaren, met tussen haakjes de range in resultaten per jaar (Tabel 8).

Voor de herbemonsteringen is gerekend met de gemiddelden en standaarddeviaties berekend uit alle monsterpunten die in de voorjaren van 1990 tot en met 2003 bemonsterd zijn in de Oosterschelde, Westerschelde en Waddenzee. In die periode zijn per voorjaar respectievelijk gemiddeld 444, 241 en 1511 punten bemonsterd.

Tabel 8. Resultaten van de power analyse voor kokkelvakken en herbemonsteringen. Voor detecteerbare verschillen van minstens 30, 40 en 50% is het minimaal benodigde aantal vakken of monsterpunten gegeven zoals berekend over de gemiddelde dichtheid en standaarddeviatie over alle jaren, met tussen haakjes de range in waarden per jaar.

methode	gebied	aantal vakken of monsterpunten nodig voor detecteerbaar verschil van		
		30%	40%	50%
kokkelvakken	Oosterschelde	59 (28-126)	33 (16-71)	22 (11-47)
herbemonstering	Oosterschelde	421 (198-994)	237 (111-559)	152 (71-358)
	Westerschelde	1008 (444-2766)	567 (250-1556)	363 (160-996)
	Waddenzee	832 (394-2932)	468 (222-1649)	300 (142-1056)

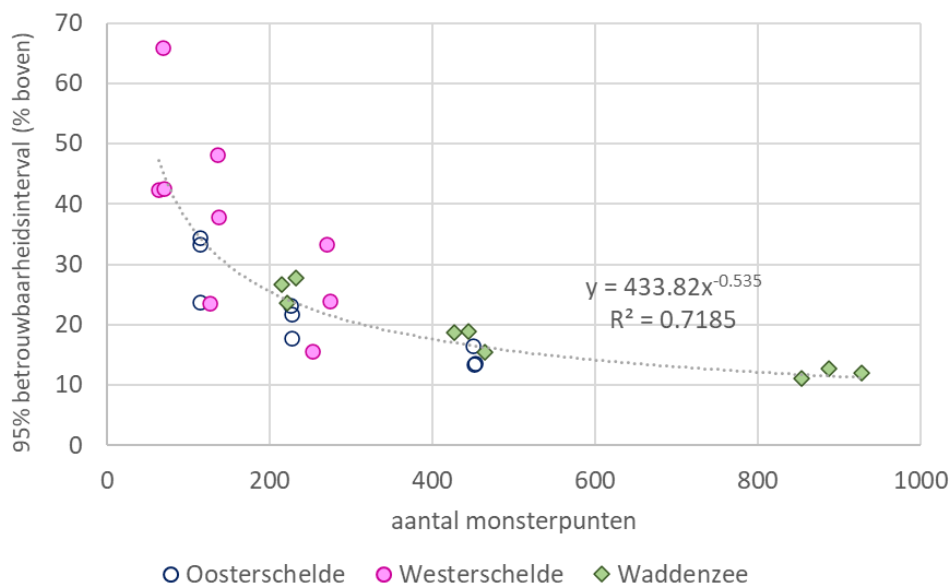
Volgens dezelfde formule kan berekend worden welk verschil nog gedetecteerd kan worden met een bepaald aantal monsterpunten. Voor de herbemonsteringen is dit berekend over de gemiddelde dichtheid en standaarddeviatie over alle jaren. Bij herbemonstering van de helft van alle monsterpunten in de Oosterschelde, dus in totaal 225 punten, kan een verschil van gemiddeld 39% gedetecteerd worden. Dit zelfde effect kan in de Waddenzee bereikt worden door 300 punten te herbemonsteren. In de Westerschelde kan met herbemonstering van het volledige aantal monsterpunten van 250 slechts een minimaal verschil van 57% aangetoond worden.

Bootstrapping

Middels bootstrapping is het 95% betrouwbaarheidsinterval berekend voor bestandsschattingen in de Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde, gebruik makend van de resultaten van de surveys in drie afzonderlijke jaren per gebied. Per gebied is hiertoe een jaar gekozen met een hoog kokkelbestand, een jaar met een laag kokkelbestand en een jaar met een gemiddeld kokkelbestand (Tabel 9). Voor alle jaren is een poststratificatie uitgevoerd op basis van aangetroffen biomassa, waardoor de statistische power toeneemt. Het betrouwbaarheidsinterval is berekend over alle in het voorjaar bemonsterde stations, over 50% van dit aantal, en over 25% van dit aantal. De bootstrapping is uitgevoerd op basis van 10.000 herhalingen en met terugleggen van de getrokken waarden. Deze werkwijze is hetzelfde als bij de jaarlijkse bestandsschattingen (Troost et al., 2021). De bovenste waarde van het betrouwbaarheidsinterval is als percentage uitgezet tegen het aantal bemonsterde stations (Figuur 5). Hoe kleiner het betrouwbaarheidsinterval, hoe betrouwbaarder de schatting. In Figuur 5 is te zien dat het betrouwbaarheidsinterval snel kleiner wordt met een toenemend aantal monsterpunten. Deze verandering gaat het snelst onder de 200 monsterpunten. Boven de 200 punten kan gesteld worden naarmate het aantal monsterpunten verder toeneemt, dit steeds minder winst in nauwkeurigheid oplevert.

Tabel 9. Resultaten van bootstrapping per gebied voor jaren met een hoog, laag en gemiddeld kokkelbestand en bij 100%, 50% en 25% van het aantal bemonsterde stations.

Gebied	Jaar	Bestand (miljoen kg vers)	100%			50%			25%		
			n stations	95% boven	95% onder	n stations	95% boven	95% onder	n stations	95% boven	95% onder
Waddenzee	2013	423,0	887	12,8	12,5	444	18,9	17,9	221	23,6	22,0
	2017	247,5	854	11,1	10,6	427	18,7	16,7	214	26,6	23,1
	2020	100,8	927	12,0	11,5	464	15,5	15,5	232	27,8	25,8
Oosterschelde	2010	43,3	451	13,5	12,8	226	17,9	16,8	113	34,5	29,8
	2012	22,0	452	13,7	12,9	226	21,7	19,8	113	23,7	22,2
	2015	10,5	450	16,6	15,6	225	23,2	21,0	113	33,3	29,9
Westerschelde	2005	13,5	252	15,6	14,7	126	23,6	20,6	63	42,4	37,6
	2010	0,5	270	33,3	26,7	135	48,1	44,1	68	66,0	58,0
	2020	8,6	274	24,0	22,0	137	37,8	32,9	69	42,6	38,3



Figuur 5. Het bovenste 95% betrouwbaarheidsinterval (in percentage van het geschatte bestand) uitgezet tegen het aantal monsterpunten. De drie gebieden zijn afzonderlijk weergegeven, maar de regressielijn is geplott door alle punten samen.

6 Discussie en advies

6.1 Analyse sterftemetingen

6.1.1 Wat is "extreme sterfte"?

Wat als "extreme sterfte" gezien kan worden, is afhankelijk van de definitie die gebruikt wordt. Hier wordt gekozen voor een statistische onderbouwing, waarbij de sterfte als extreem gezien wordt indien deze zich buiten het 99% betrouwbaarheidsinterval bevindt (berekend over de historische datasets, exclusief periode 2018-2020). Op basis van het 99% betrouwbaarheidsinterval kan gesteld worden dat sprake is van een extreme zomersterfte indien de sterfte tussen 1 mei en 1 september hoger is geweest dan:

- 34% (kokkelvakken) of 65% (herbemonstering) in de Oosterschelde;
- 54% (kokkelvakken) of 58% (herbemonstering) in de Westerschelde;
- 54% (herbemonstering) in de Waddenzee.

Ook kan gekeken worden hoe zelden een bepaald sterftepercentage gevonden is in de historische datasets (Tabel 10). In de Oosterschelde en Waddenzee zijn zomersterftes hoger dan 40% zelden tot nooit waargenomen. In de Westerschelde geldt dit voor zomersterftes hoger dan 55%.

6.1.2 Metingen 2018-2020: wel of niet meenemen in betrouwbaarheidsinterval?

In de berekeningen van betrouwbaarheidsintervallen zijn de sterftes in de periode 2018-2020 niet meegenomen omdat we wilden bepalen of de sterftes in die jaren inderdaad als extreem hoog betiteld zouden kunnen worden. Er valt ook wat voor te zeggen om deze waarden wél op te nemen in de berekeningen van betrouwbaarheidsintervallen. Het zijn immers natuurlijk opgetreden sterftes. In de recente jaren zijn echter alleen herbemonsteringen uitgevoerd als er signalen waren van een verhoogde sterfte. Door deze jaren op te nemen, bestaat het risico dat er naar verhouding teveel jaren met een verhoogde sterfte in de berekeningen worden meegenomen, wat de schatting van de gemiddelde natuurlijke zomersterfte kan vertekenen. Het zou daarom beter zijn om vooraf te besluiten om een aantal jaren de zomersterfte te meten, ongeacht de omvang van deze sterfte, en ál deze nieuwe metingen toe te voegen aan de historische tijdreeks voor een herziene berekeningen van de gemiddelde sterfte en het betrouwbaarheidsinterval daar omheen.

Tabel 10. Het aantal keer dat de zomersterfte hoger was dan een bepaalde drempelwaarde (30-80%), berekend voor de verschillende wateren en methodieken over de historische periode (dus exclusief 2018-2020). Het aantal beschikbare waarnemingen is tussen haakjes gegeven.

Sterfte (%)	Oosterschelde		Westerschelde		Waddenzee
	vakken (16)	najaar (7)	vakken (16)	najaar (7)	najaar (3)
30	7	6	12	3	2
35	4	4	8	3	0
40	1	2	7	3	0
45	0	2	6	2	0
50	0	2	4	0	0
55	0	1	3	0	0
60	0	1	2	0	0
65	0	1	1	0	0
70	0	0	1	0	0
75	0	0	1	0	0
80	0	0	1	0	0

6.2 Verschuiving van de survey naar het najaar

Het voordeel van verschuiving naar september-oktober is het niet hoeven extrapoleren van het voorjaarsbestand naar het najaarsbestand onder aanname van een gemiddelde sterfte. In het geschatte kokkelbestand is dan een eventueel opgetreden massale zomersterfte al verwerkt. Er zijn geen extra herbemonsteringen nodig, of schattingen van de opgetreden zomersterfte.

Hier staat tegenover dat:

1. er meer tijd en budget nodig is voor het totale pakket aan WOT surveys op de droogvallende platen van de Waddenzee;
2. verschuiving leidt tot een onderbreking in de tijdserie waardoor de data minder geschikt worden voor effectstudies die afhankelijk zijn van langere tijdseries. Effecten van allerlei veranderingen in beleid en menselijke activiteiten zullen, zeker de komende jaren, minder goed tot niet aangetoond kunnen worden;
3. de aanvang van de visserij verschoven moet worden van 1 september naar omstreeks 1 maart;
4. er tijdens de winter verhoogde sterfte op kan treden als gevolg van strenge vorst en/of stormen, waarna mogelijk alsnog een herbemonstering uitgevoerd moet worden. Vóór 2018 werd verhoogde sterfte onder kokkels juist veroorzaakt door strenge winters. Hoewel de frequentie van dergelijke winters is afgenomen moet nog steeds met deze mogelijkheid rekening gehouden worden. Dit zou kunnen betekenen dat ook na verplaatsing van de survey naar het najaar alsnog herbemonsteringen nodig zijn.

Betreffende punt 1 over het benodigde budget wordt opgemerkt dat de kosten hiervan als hoger worden ingeschat dan die van een gedeeltelijke herbemonstering in het najaar indien de monsternamen uitgevoerd kan worden door de Waddenunit en visserijkundig ambtenaren.

6.3 Afweging methodiek

Herbemonstering

Het schatten van zomersterfte op basis van een herbemonstering heeft het voordeel dat deze methodiek adaptief ingezet kan worden. Indien gedurende de zomermaanden blijkt dat er sprake is van een extreem hoge sterfte kan dit middel alsnog ingezet worden om het geschatte najaarsbestand bij te stellen. Deze methode kan met behulp van de Waddenunit en visserijkundig ambtenaren relatief snel uitgevoerd worden, en door het relatief grote aantal monsterpunten wordt een gelijkmatige spreiding over het gehele gebied gewaarborgd. Voor het bijstellen van het najaarsbestand in zomers met verhoogde sterfte is dit de meest geschikte methodiek.

Kokkelvakken

De kokkelvakkenmethodiek is meer geschikt voor gedetailleerd onderzoek naar factoren die van invloed zijn op natuurlijke aanwas, groei en sterfte onder kokkels, zoals bijvoorbeeld de toenemende gemiddelde watertemperatuur in de zomermaanden (Beukema & Dekker, 2020a, b). Uit de power analyses blijkt dat een aantal van 18 vakken per gebied aan de lage kant is, en dat er idealiter minstens 22 vakken bemonsterd zouden moeten worden om een sterfte van minstens 50% aan te kunnen tonen met een power van 0,8 en een significantieniveau van 0,1. In de Ooster- en Westerschelde is het haalbaar om een dergelijk aantal vakken tweemaal per jaar te bemonsteren. In de Waddenzee ligt deze aanpak minder voor de hand vanwege de veel grotere uitgestrektheid van het gebied.

6.3.1 *Aanpassingen kokkelsurvey*

Aan het verschuiven de kokkelsurvey naar het najaar kleven aanzienlijke nadelen. Het advies is dan ook om een onderbreking van de voorjaarstijdreeks te voorkomen. Bij handhaving van een voorjaars-survey met extrapolatie naar het najaar is het van belang om minstens in jaren met een extreme zomersterfte een herbemonstering in het najaar uit te voeren. Hiertoe kunnen inspecties verricht worden door medewerkers van de Waddenunit en de Visserijkundig ambtenaren in de Zuid-Hollandse en Zeeuwse delta. Indien zij op meerdere locaties sterftes rond of boven de 50% signaleren wordt geadviseerd om over te gaan tot een herbemonstering gedurende de periode september/oktober. Dit is alleen zinvol in

gebieden waar op basis van de resultaten uit de voorjaarsurvey gevestigd mag worden. Dit betreft in alle jaren de Waddenzee, en bij voldoende hoge bestanden ook de Oosterschelde en Westerschelde. Geadviseerd wordt om in de Waddenzee ten minste 300 monsterpunten te herbemonsteren, in de Oosterschelde 225 en in de Westerschelde het volledige monstergrid dat in het voorjaar bemonsterd is. In de volgende paragraaf wordt nader uitgewerkt hoe de selectie van monsterpunten in de Waddenzee en Oosterschelde gemaakt wordt.

6.3.2 Jaarlijkse metingen kokkelsterfte

Omdat we op dit moment nog niet weten hoe vaak extreme zomersterftes op zullen treden is het van belang om de komende jaren ieder jaar een herbemonstering uit te voeren in de Oosterschelde en Waddenzee. Op deze manier kan getoetst worden of de zomersterfte onder kokkels significant verandert als gevolg van klimaatverandering. In jaren met een extreme sterfte, of in alle jaren ongeacht de werkelijk opgetreden sterfte, kan dan snel na de herbemonstering het visbare bestand bijgesteld worden. In dat geval moeten afspraken gemaakt worden tussen de vergunningverlener en de vissers over hoe omgegaan wordt met de resultaten uit de herschatting. Wordt op basis daarvan altijd het quotum bijgesteld, ook als de sterfte lager uitpakt dan 28%, of alleen bij een zomersterfte hoger dan 28%, hoger dan 50% of een ander percentage?

Aangeraden wordt om een standaard herbemonstering in het najaar op te nemen in het WOT05 Schelpdieren programma, met als doel de zomersterfte te herijken, en om vijfjaarlijks te evalueren of voortzetting nodig is. Belangrijke vragen bij een dergelijke evaluatie zijn:

- Is de omvang van zomersterfte veranderd en significant anders dan 28% tussen 1 mei en 1 september? En moet de wijze van berekenen van het najaarsbestand aangepast worden?
- Met welke frequentie treedt extreme zomersterfte op? Neemt deze frequentie toe?
- Met welke frequentie treedt extreme wintersterfte op? Neemt deze frequentie af?
- Welke langjarige effecten heeft dit op het kokkelbestand?
- Moet de huidige survey methodiek (alsnog) aangepast worden?
- Moet de herijking voortgezet worden in de volgende uitvoeringsperiode?

Hierbij is de verwachting dat er minstens 10 jaar nodig zal zijn om voldoende duidelijkheid te hebben. Tegen die tijd moet daarbij ook de vraag beantwoord worden in hoeverre de kokkel nog als stapelvoedsel voor de Scholekster gezien kan worden en in hoeverre de Filipijnse tapijtschelp die rol eventueel heeft overgenomen (Kamermans & Leopold, 2021). Daarom wordt geadviseerd bij een herijking in de Oosterschelde ook meteen de aangetroffen Filipijnse tapijtschelpen te tellen. Uit de bemonsteringen in voor- en najaar kunnen zowel zomer- als wintersterftes van kokkels en Filipijnse tapijtschelpen gekwantificeerd worden.

Het advies is om jaarlijks in het najaar steeds dezelfde selectie van monsterpunten te bemonsteren. Vanuit de statistische analyses en praktische overwegingen worden de volgende aantallen monsterpunten, en methode om dit te bereiken, voorgesteld (zie kaarten in Bijlage 3):

- Oosterschelde: de helft van het aantal monsterpunten dat in het voorjaar wordt bemonsterd. Het voorjaars-grid wordt uitgedund door van de Noord-Zuid raaien alleen de even raaien (geteld van West naar Oost) te bemonsteren. Daarnaast worden enkele afgelegen geïsoleerde punten verwijderd. Het totale aantal is 225.
- Waddenzee: Een aantal van 300 monsterpunten wordt bereikt door:
 - In gebieden waarin kokkels in relatief hoge dichtheden voorkomen aaneengesloten 'blokken' van noord-zuid lopende raaien in zijn geheel te herbemonsteren, inclusief de monsterpunten waarop in het voorjaar weinig tot geen kokkels zijn aangetroffen;
 - Hierbij wordt gecontroleerd of de beoogde punten in het voorjaar daadwerkelijk bemonsterd zijn;
 - Punten die in oesterbanken of mosselbanken liggen worden hieruit verwijderd, evenals sublitoraal gelegen punten;
 - De blokken worden zodanig verdeeld over de Waddenzee dat er een enigszins gelijkmatige verdeling van west naar oost is, over de vier rayons van de

opzienaarschepen die de bemonstering uit moeten voeren, en met een gelijkmatige verdeling over open gebieden, gesloten gebieden en lotingsgebieden (toegankelijk maar met een beperkt aantal schepen).

6.3.3 *Onderzoek naar relatie tussen zomersterfte en temperatuur*

Beukema en Dekker (2020b) vonden geen significante correlatie tussen het aantal dagen met luchttemperaturen boven de 29,5°C en overleving van kokkels. Ook in een onderzoek naar kokkelsterfte in de Oosterschelde in 2020 werd geen duidelijk verband gevonden tussen het aantal hete dagen en sterfte (Suykerbuyk et al., 2021). Wel leek er een verband te zijn tussen het aantal uren dat de temperatuur in het sediment, op de diepte waarop de kokkels ingegraven zitten, onder de 23°C dook tijdens een hittegolf. De sterfte was lager bij een langere periode onder deze temperatuurgrens. De theorie hierachter is dat kokkels onvoldoende kunnen herstellen wanneer de omgevingstemperatuur te hoog blijft. Boven deze grens van 23°C worden namelijk fysiologische processen bij kokkels gehinderd, wat uiteindelijk bij langdurige blootstelling kan leiden tot sterfte (Verdelhos et al., 2015). Ook kan een aanhoudende hoge omgevingstemperatuur ertoe leiden dat er minder stress-eiwitten aangemaakt kunnen worden die noodzakelijk zijn om met temperatuurstress om te kunnen gaan (discussie en referenties in Suykerbuyk et al., 2021). Het is mogelijk dat langdurige perioden met watertemperaturen boven de 23°C vaker zullen voorkomen, waardoor de kokkels in hete perioden tijdens hoogwater te weinig verkoeling krijgen. Mogelijk kunnen ze daardoor onvoldoende herstellen en stress-eiwitten aanmaken. Als de gemiddelde watertemperatuur de komende jaren als gevolg van klimaatverandering verder oploopt, en als de watertemperatuur een steeds langere periode boven een bepaalde drempelwaarde blijft, zou dit als gevolg kunnen hebben dat extreme zomersterftes frequenter worden. Er zijn echter nog veel onzekerheden, zowel in de klimaatprognoses van het KNMI als in de relatie tussen temperatuur en kokkelsterfte. Dat laatste wordt momenteel onderzocht binnen twee aan elkaar gekoppelde trajecten door NIOZ en WMR in Yerseke. Het ene traject is een voortzetting van het hittestress project (Suykerbuyk et al., 2021) in opdracht van het Ministerie van LNV waarbinnen met name veldmetingen gedaan worden en het andere is het promotie-onderzoek van Z. Zhou waarbinnen vooral metingen in het laboratorium gedaan worden (zoals beschreven in Zhou et al., 2022). Deze onderzoeken worden waar mogelijk uitgebreid met waarnemingen aan Filipijnse tapijtschelpen. Binnen het hittestress project wordt gebruik gemaakt van de kokkelvakken-opzet, maar op een beperkt aantal locaties. De resultaten uit het lopende onderzoek kunnen mogelijk leiden tot de aanbeveling aan het Ministerie van LNV om het onderzoek uit te breiden naar een groter aantal locaties waarbij de koppeling met temperatuurmetingen in de bodem wordt voortgezet. Dergelijk onderzoek is nodig om de mechanismen achter de extreme zomersterftes beter te begrijpen, en daardoor het optreden (en eventueel de omvang) ervan te kunnen voorspellen.

Literatuur

- Allen, A., Ens, B. J., van de Pol, M., Frauendorf, M., van der Kolk, H. J., de Kroon, H. and Jongejans, E., 2018. Cumulative Human Impacts on biRd Populations (CHIRP): A multi-tiered approach to conserving the near-threatened Eurasian Oystercatcher. 5th European Congress of Conservation Biology. doi: 10.17011/conference/eccb2018/107685
- Arcadis, 2019. Monitoring t0 situatie studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis Nederland BV in opdracht van Frisia Zout BV,
- Beukema, J.J., Dekker, R., 2020a. Half a century of monitoring macrobenthic animals on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 656, 1-18.
- Beukema, J.J., Dekker, R., 2020b. Winters not too cold, summers not too warm: long-term effects of climate change on the dynamics of a dominant species in the Wadden Sea: the cockle *Cerastoderma edule* L. *Marine Biology* 167.
- Cervenci, A., Troost, K., Dijkman, E.M., Jong, M.d., Smit, C.J., Leopold, M.F., Ens, B.J., 2015. Distribution of wintering Common Eider *Somateria mollissima* in the Dutch Wadden Sea in relation to available food stocks. *Marine Biology* 162, 153-168.
- Duijns, S., Troost, K., Van Winden, E., Schekkerman, H., Rappoldt, C., Nienhuis, J., Folmer, E., 2022. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag. Rapportage t/m monitoringjaar 2021. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen., Sovon-rapport 2022/30.
- Ens, B.J., Craeymeersch, J.A., Fey, F., Heessen, H.J.L., Smaal, A.C., Brinkman, A.G., Dekker, R., Van der Meer, J., Van Stralen, M.R., 2007. Sublitorale natuurwaarden in de Waddenzee. Een overzicht van bestaande kennis en een beschrijving van een onderzoekopzet voor een studie naar het effect van mosselzaadvisserij en mosselkweek op sublitorale natuurwaarden. IMARES Rapport C077/07,
- Folmer, E.O., Drent, J., Troost, K., Büttger, H., Dankers, N., Jansen, J.M., Van Stralen, M.R., Millat, G., Herlyn, M., Philippart, C.J.M., 2014. Large-Scale Spatial Dynamics of Intertidal Mussel (*Mytilus edulis* L.) Bed Coverage in the German and Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* 17, 550-566.
- Frölicher, T.L., Fischer, E.M., Gruber, N., 2018. Marine heatwaves under global warming. *Nature* 560, 360-364.
- Hoekstein, M.S.J., Sluijter, M., Van Straalen, K.D., 2022. Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2020/2021. . Rijkswaterstaat, Centrale informatievoorziening. Deltamilieu Projecten, Vlissingen, Deltamilieu Projecten Rapportnr. 2022-01.
- Houziaux, J.-S., Craeymeersch, J., Merckx, B., Kerckhof, F., Van Lancker, V., Courtens, W., Stienen, E., Perdon, J., Goudswaard, P.C., Van Hoey, G., Vigin, L., Hostens, K., Vinckx, M., Degraer, S., 2011. Ecosystem sensitivity to invasive species, EnSIS. Final report. Belgian Science Policy Office: Brussels. 100 pp.
- Jansen, H., Kamermans, P., Glorius, S., Van Asch, M., 2019. Draagkracht van de Oosterschelde en 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 096/19.
- Kamermans, P., Kesteloo, J., Baars, D., 2003. Eindrapport EVA II (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase). Deelproject H2: Evaluatie van de geschatte omvang en ligging van kokkelbestanden in de Waddenzee, Ooster- en Westerschelde. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV, RIVO Rapport C054/03.
- Kamermans, P., Leopold, M.F., 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.
- Kesteloo, J.J., 2006. Kokkelgroei en overleving in de zomerperiode in de Westerschelde. Wageningen IMARES, Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies, Rapport C055/06.
- LNV, 2004. Ruimte voor een zilte oogst. Naar een omslag in de Nederlandse schelpdiercultuur. Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005-2020. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Natura 2000 documenten: www.natura2000.nl
- Rijkswaterstaat, 2016a. Natura 2000-beheerplan Waddenzee. Periode 2016-2022. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat Noord-Nederland.
- Rijkswaterstaat, 2016b. Natura 2000 Deltawateren. Beheerplan 2016-2022. Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat.
- Suykerbuyk, W., Van den Bogaart, L., Hamer, A., Walles, B., Troost, K., Tangelder, M., 2021. Hittestress op intergetijdenplaten van de Oosterschelde. Wageningen Marine Research, rapport C026/21.
- Troost, K., Drent, J., Folmer, E., Van Stralen, M., 2011. Ontwikkeling van schelpdierbestanden op de droogvallende platen van de Waddenzee. *De Levende Natuur* 113, 83-88.

- Troost, K., Gelderman, E., Kamermans, P., Smaal, A.C., Wolff, W.J., 2009. Effects of an increasing filter feeder stock on larval abundance in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands). *Journal of Sea Research* 61, 153-164.
- Troost, K., Meer, J.v.d., Van Stralen, M.R., 2022. The birth, growth and death of subtidal mussel beds. *Journal of Sea Research* 22, 1024-1034.
- Troost, K., Van Asch, M., 2018. Herziene schatting van het kokkelbestand in de Waddenzee en Oosterschelde in het najaar van 2018. Centrum voor Visserij Onderzoek en Wageningen Marine Research, CVO rapport 18.014.
- Troost, K., Van Asch, M., Brummelhuis, E.B.M., 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 deltaxwateren in 2020. Stichting Wageningen Research - Centrum voor Visserijonderzoek (CVO) en Wageningen Marine Research, CVO rapport 21.001.
- Troost, K., Ysebaert, T., 2011. ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds. IMARES, Wageningen-UR, Report C063/11.
- Twisk, F., 1990. Groei en sterfte van overjarige kokkels in de Oosterschelde. Rijkswaterstaat DGW, Notitie GWWS-90.13093.
- Van de Pol, M., Atkinson, P., Blew, J., Crowe, O., Delany, S., Duriez, O., Ens, B.J., Hälterlein, B., Hötker, H., Laursen, K., Oosterbeek, K., Petersen, A., Thorup, O., Tjørve, K., Triplet, P., Yésou, P., 2014. A global assessment of the conservation status of the nominate subspecies of Eurasian Oystercatcher *Haematopus ostralegus ostralegus*. *International Wader Studies* 20: 47-61.
- Van den Bogaart, L., Van Asch, M., Suykerbuyk, W., Troost, K., 2021. Metingen aan kokkelsterfte in de Oosterschelde in de zomer van 2019 en 2020. Wageningen Marine Research, rapport C036/21.
- Van der Meer, J., Dankers, N., Ens, B.J., Van Stralen, M.R., Troost, K., Waser, A.M., 2018. The Birth, Growth and Death of Intertidal Soft-Sediment Bivalve Beds: No Need for Large-Scale Restoration Programs in the Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* 22, 1024-1034.
- Van der Zee, E.M., Ens, B.J., Folmer, E., 2019. Kansen voor hoogwatervluchtplaatsen. Voorverkenning van analyses. . Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden, A&W-rapport 2535. Sovon rapport 2019/10.
- Van Irsel, J., Frauendorf, M., Ens, B.J., Van de Pol, M., Troost, K., Oosterbeek, K., De Kroon, H., Jongejans, E., Allen, A.M., 2021. State-dependent environmental sensitivity of reproductive success and survival in a shorebird. *International journal of avian science*.
- Verdelhos, T., Marques, J.C., Anastácio, P., 2015. Behavioral and mortality responses of the bivalves *Scrobicularia plana* and *Cerastoderma edule* to temperature, as indicator of climatechange's potential impacts. *Ecological Indicators* 58, 95-103.
- Zhou, Z., Bouma, T.J., Fivash, G.S., Ysebaert, T., Van IJzerloo, L., Van Dalen, J., Van Dam, B., Walles, B., 2022. Thermal stress affects bioturbators' burrowing behavior: A mesocosm experiment on common cockles (*Cerastoderma edule*). *The Science of the Total Environment* 824, 153621.
- Zwarts, L., Blomert, A.M., Bos, D., Sikkema, M., 2011. Exploitation of intertidal flats in the Oosterschelde by estuarine birds. Altenburg & Wymenga, A&W report 1657.

Kwaliteitszorg

CVO beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaat nummer: 268632-2018-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2024. De certificering is uitgevoerd door DNV Business Assurance B.V.

Verantwoording

Rapport 22.021

Projectnummer: 4311300074

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en hoofd CVO.

Akkoord: Dr. P. Kamermans
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 27-10-2022

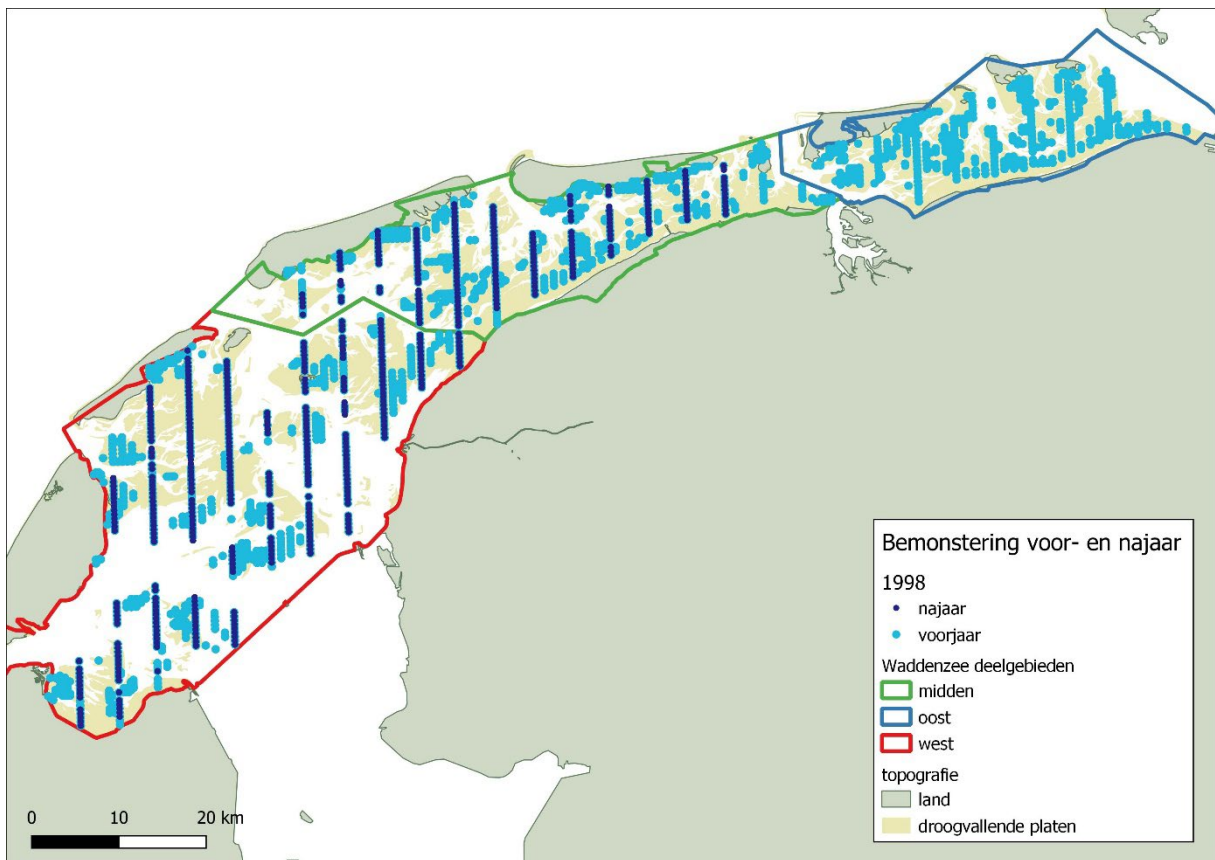
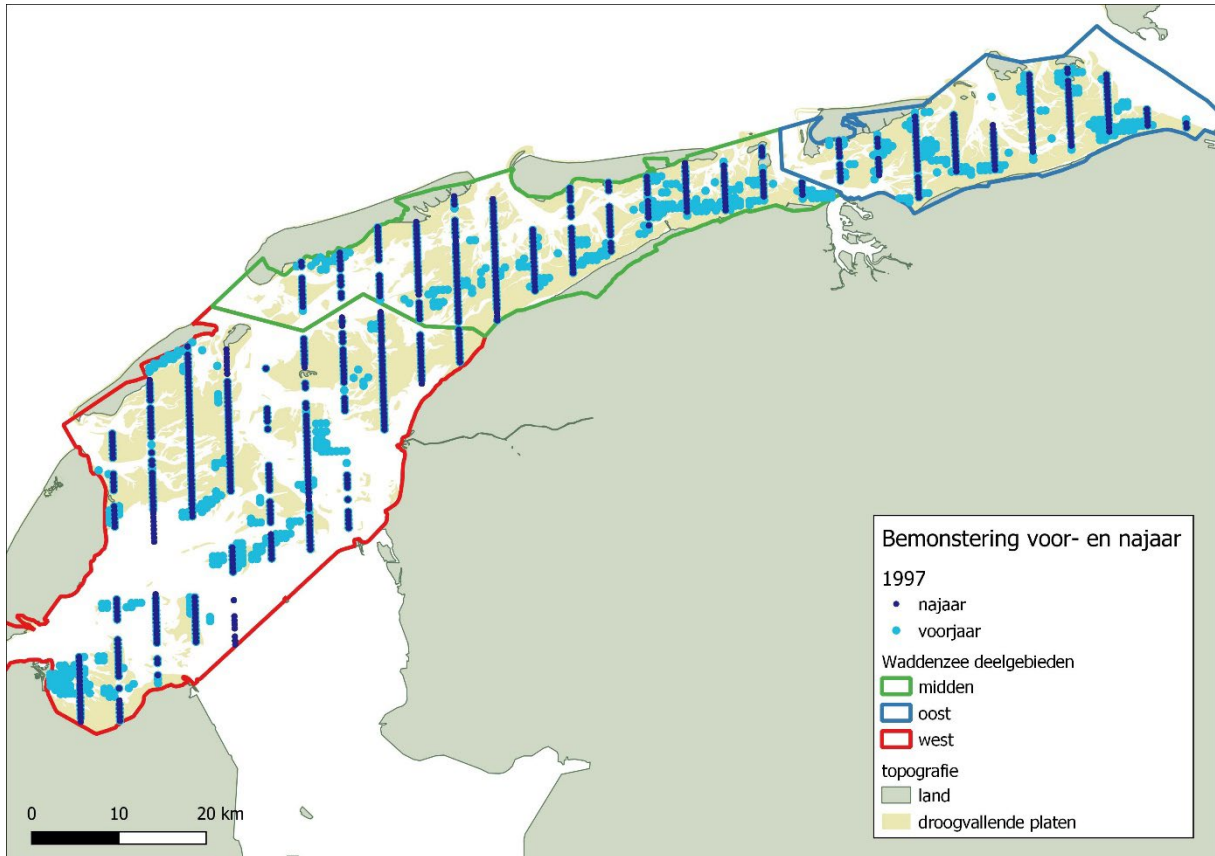
Akkoord: Ing.Ingeborg de Boois
Plv. Hoofd Centrum voor Visserijonderzoek

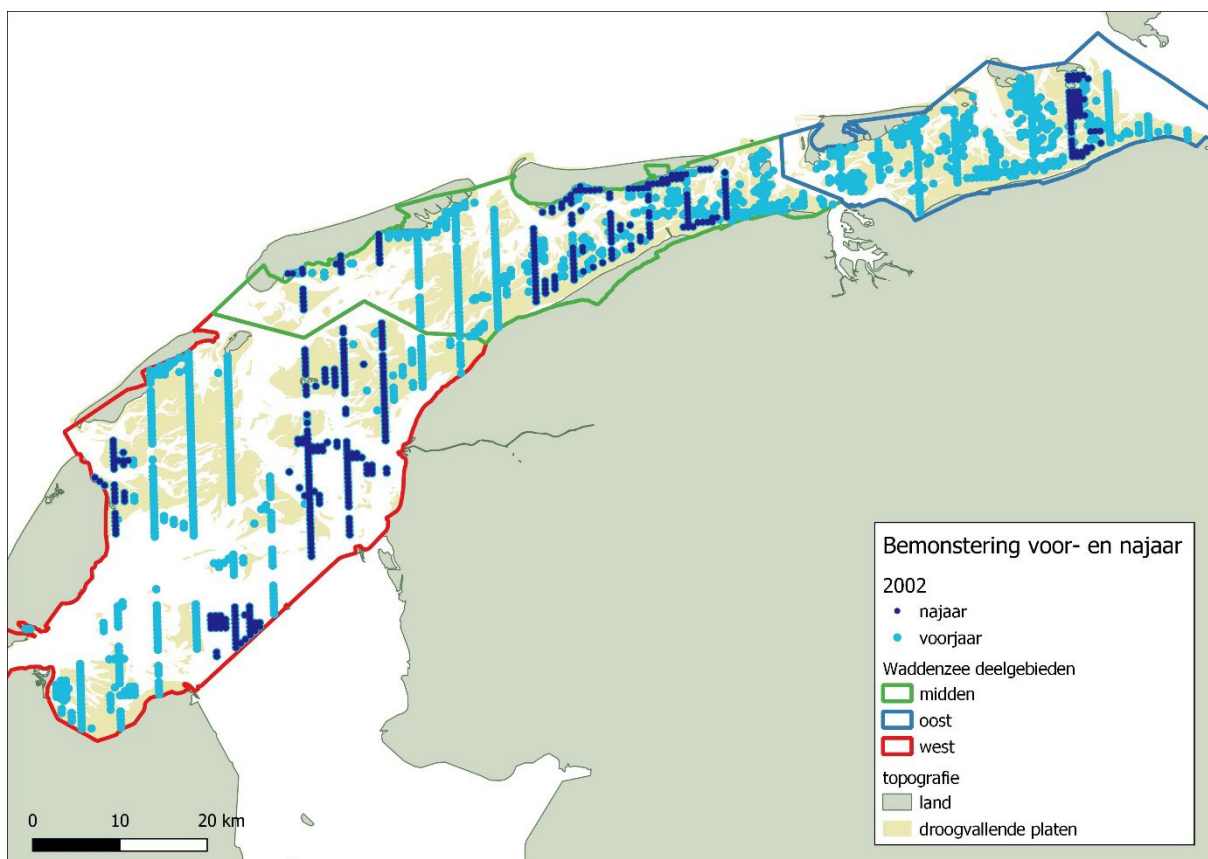
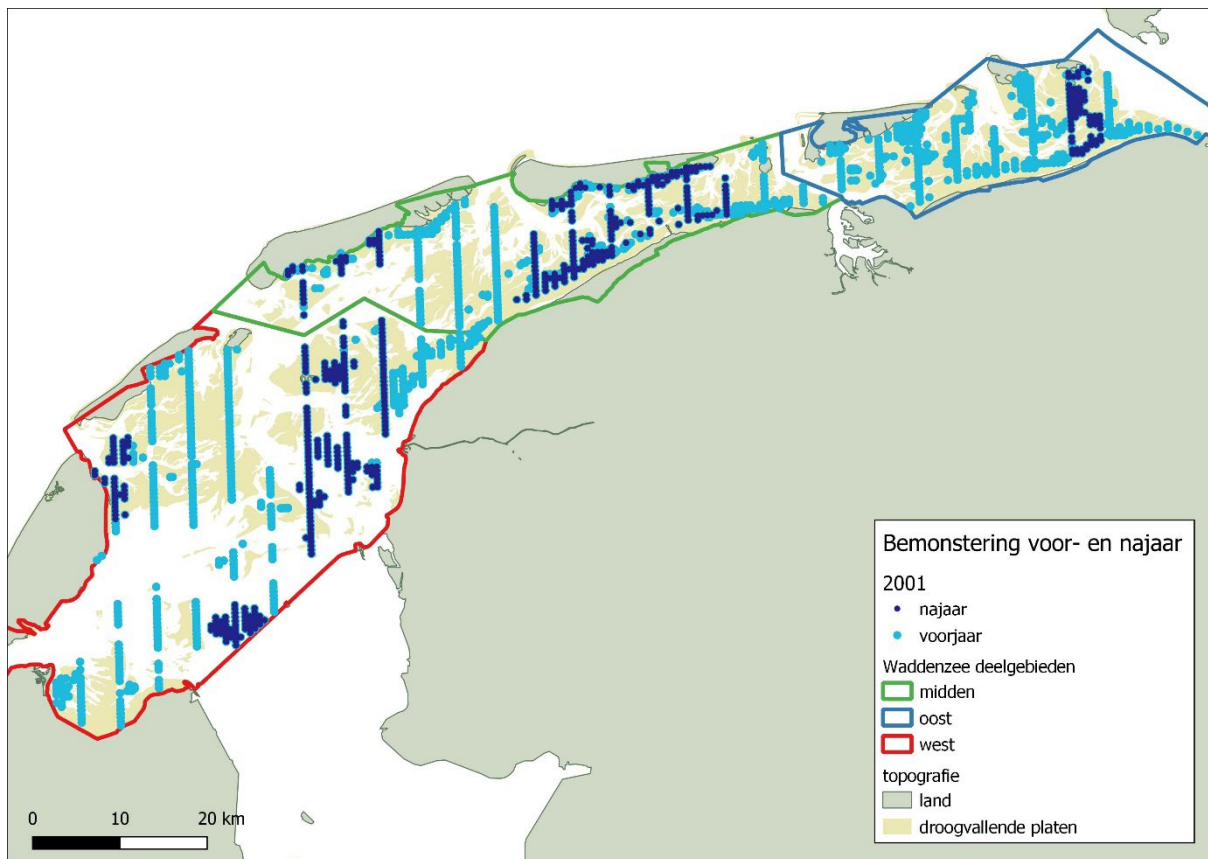
Handtekening:

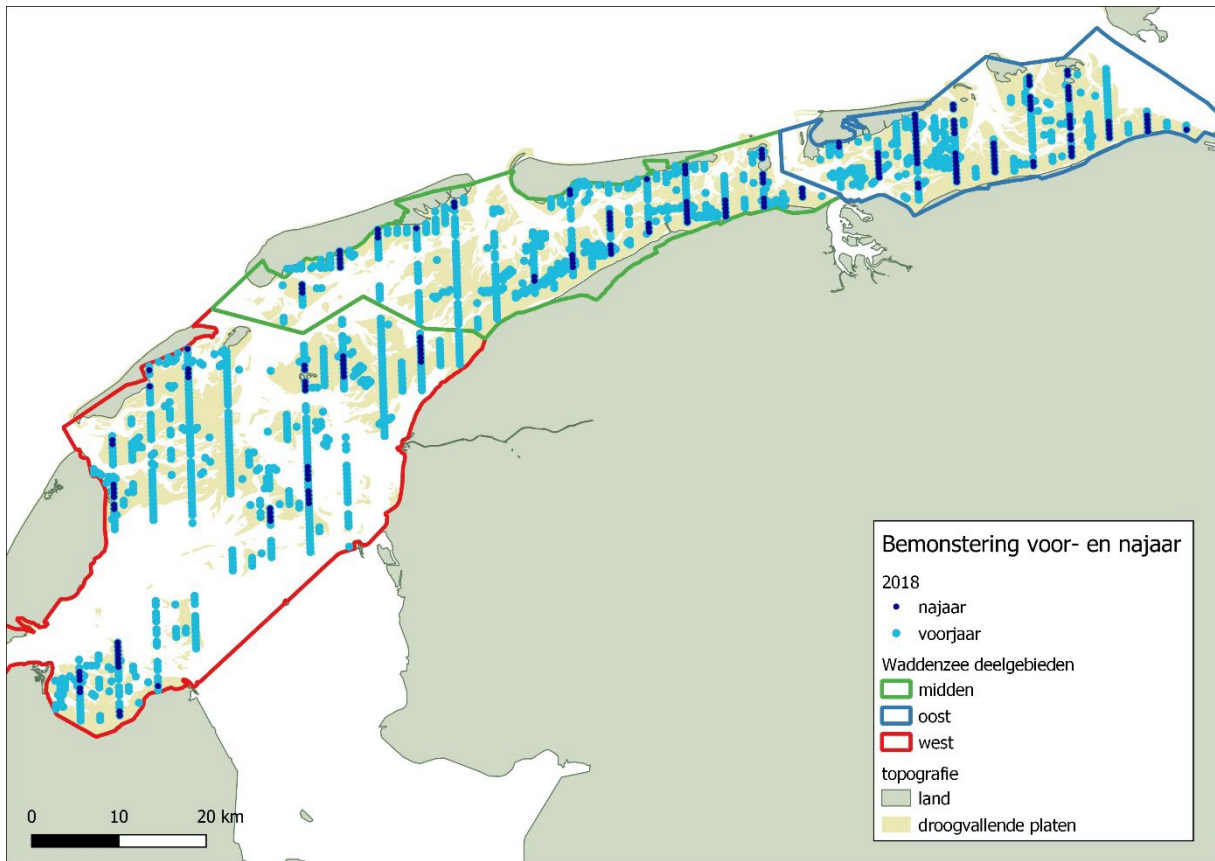


Datum: 27-10-2022

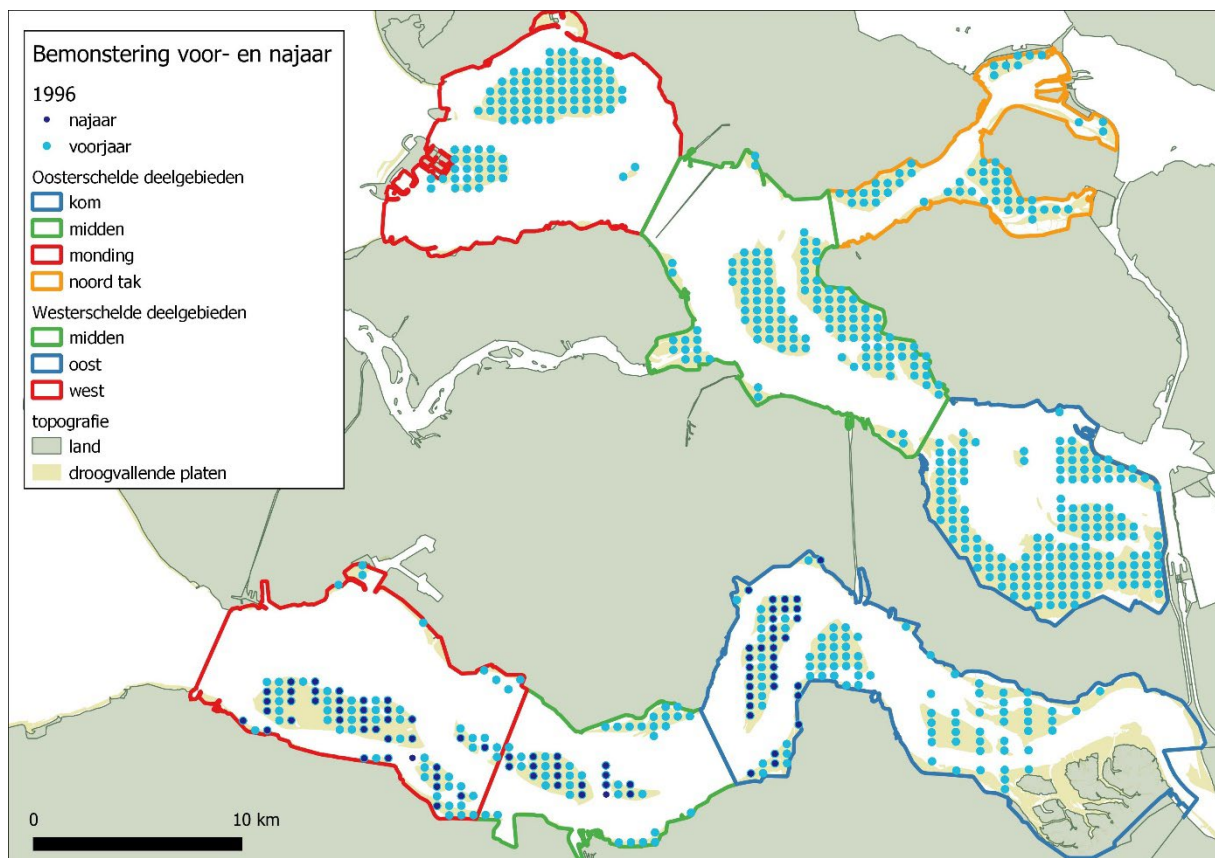
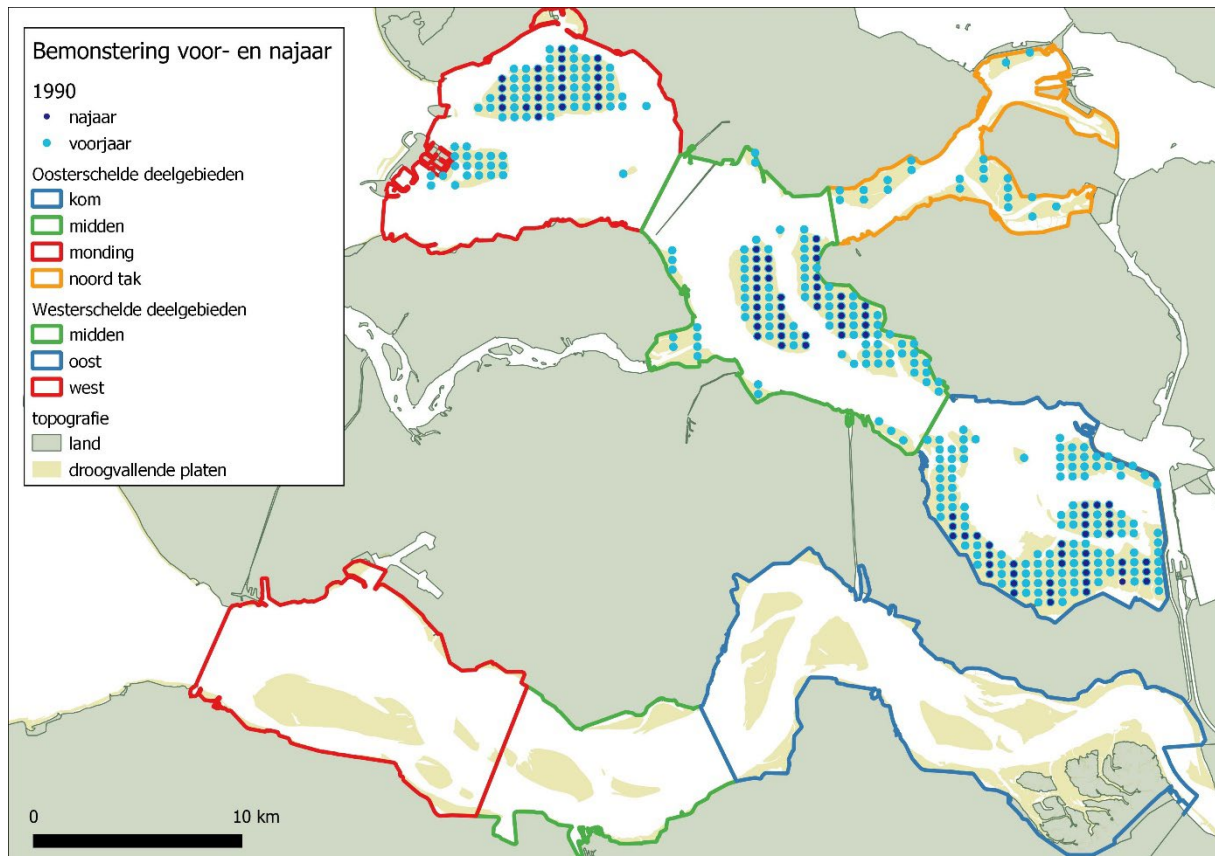
Bijlage 1. monsterpunten najaars- en herbemonsteringen in de Waddenzee.

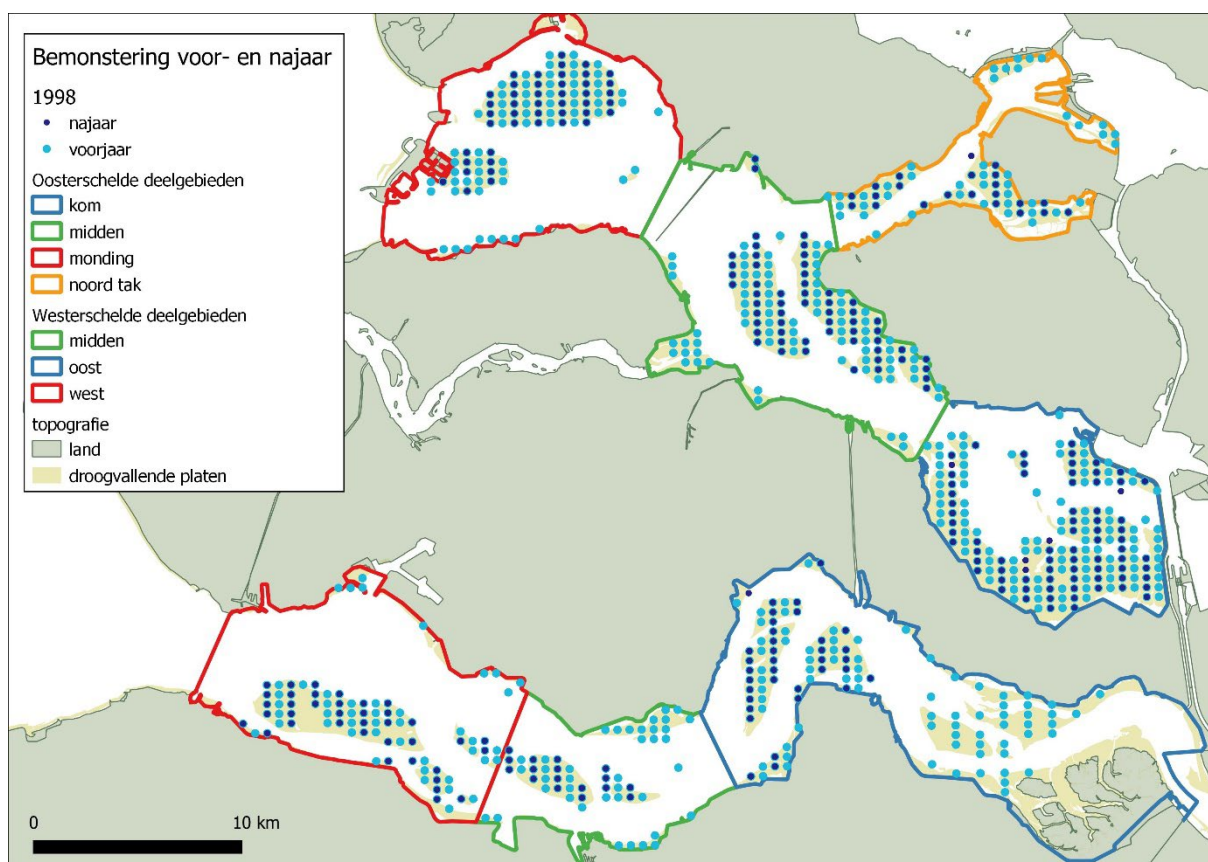
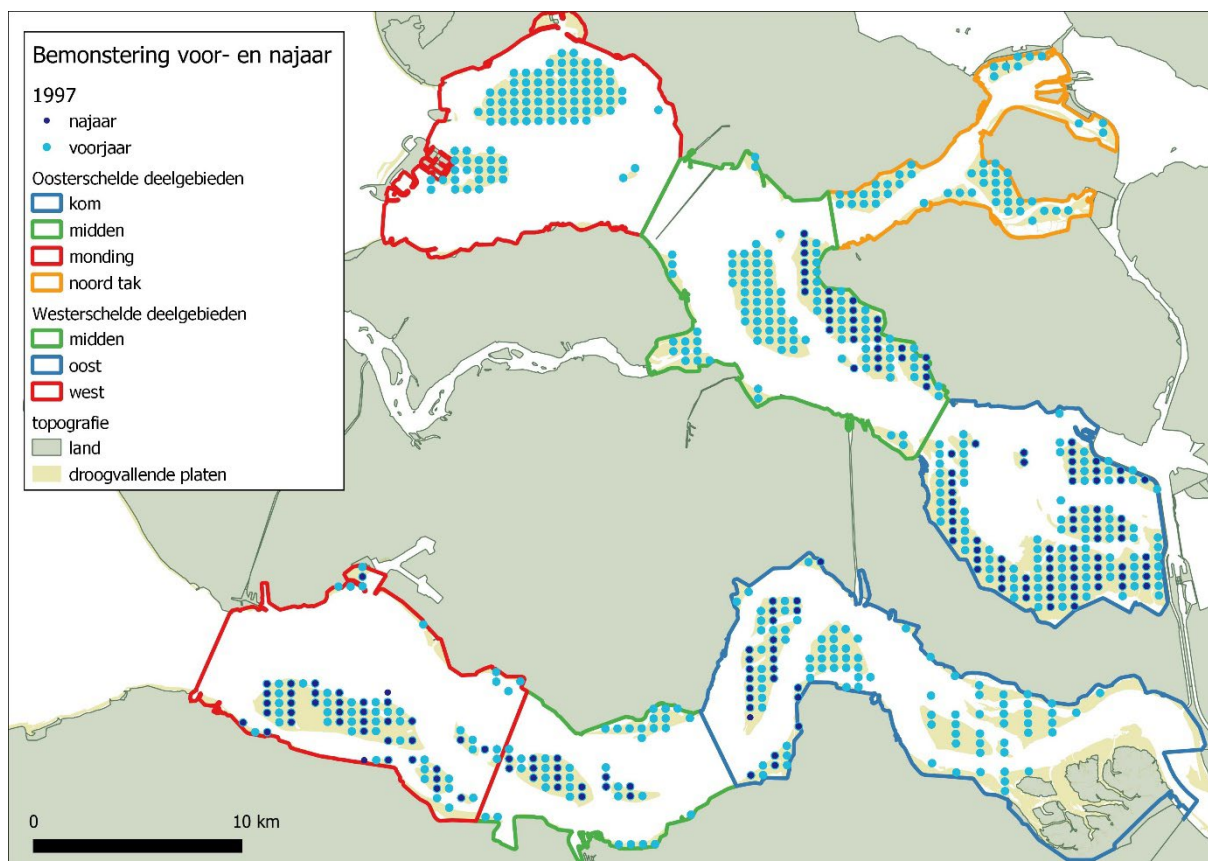


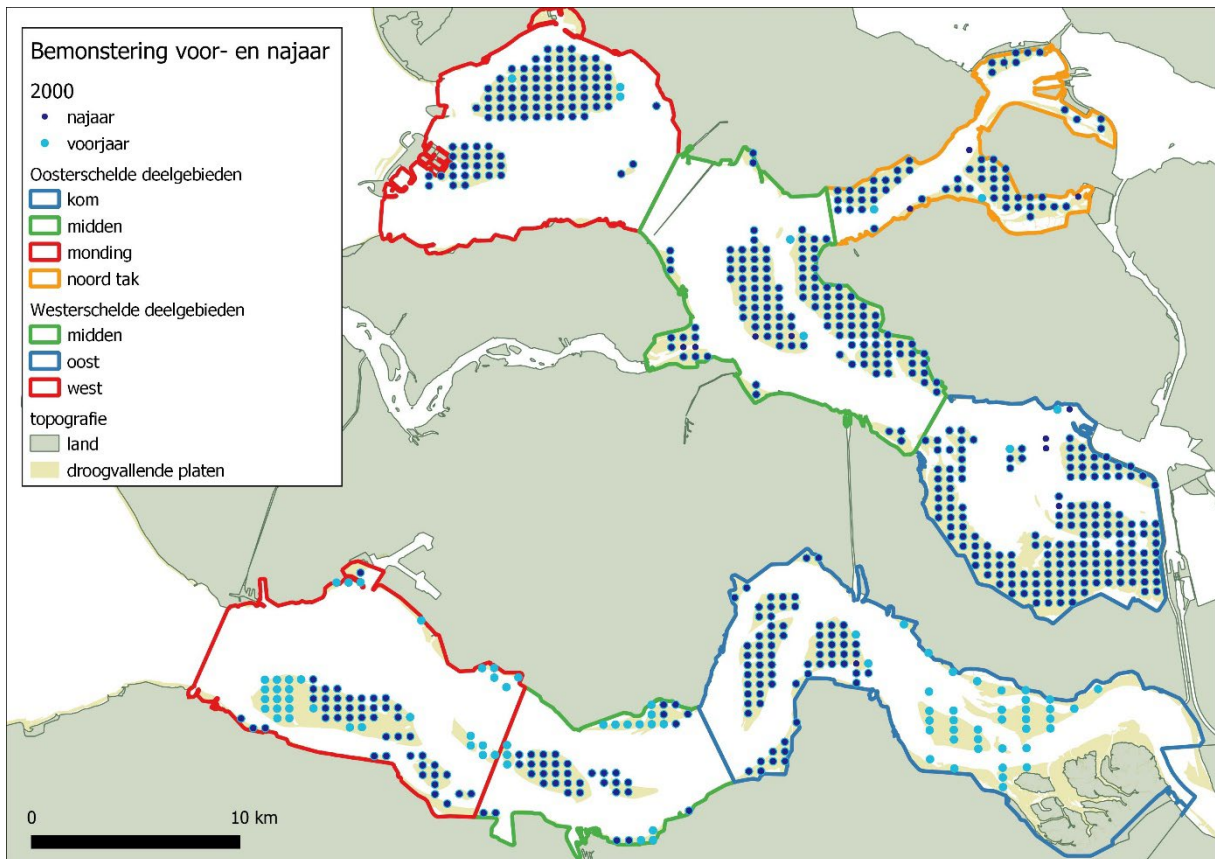
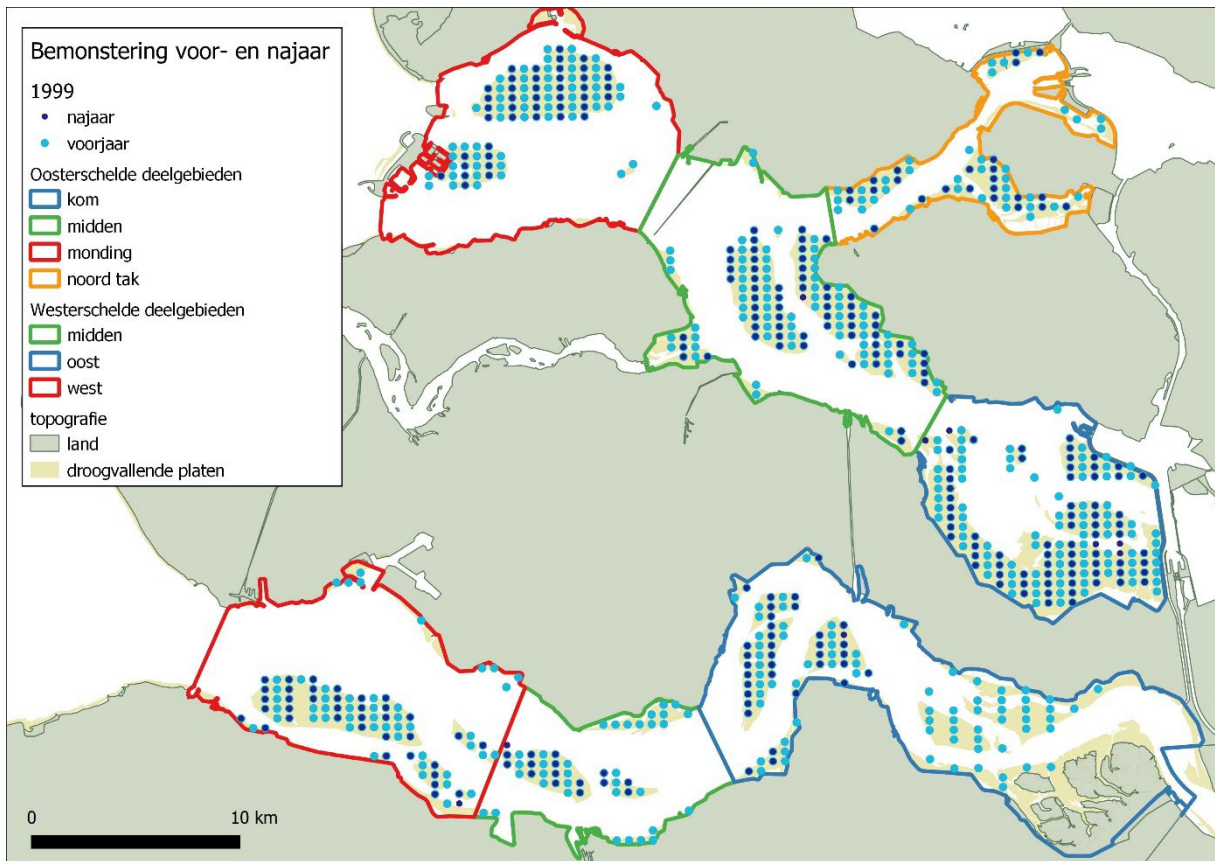


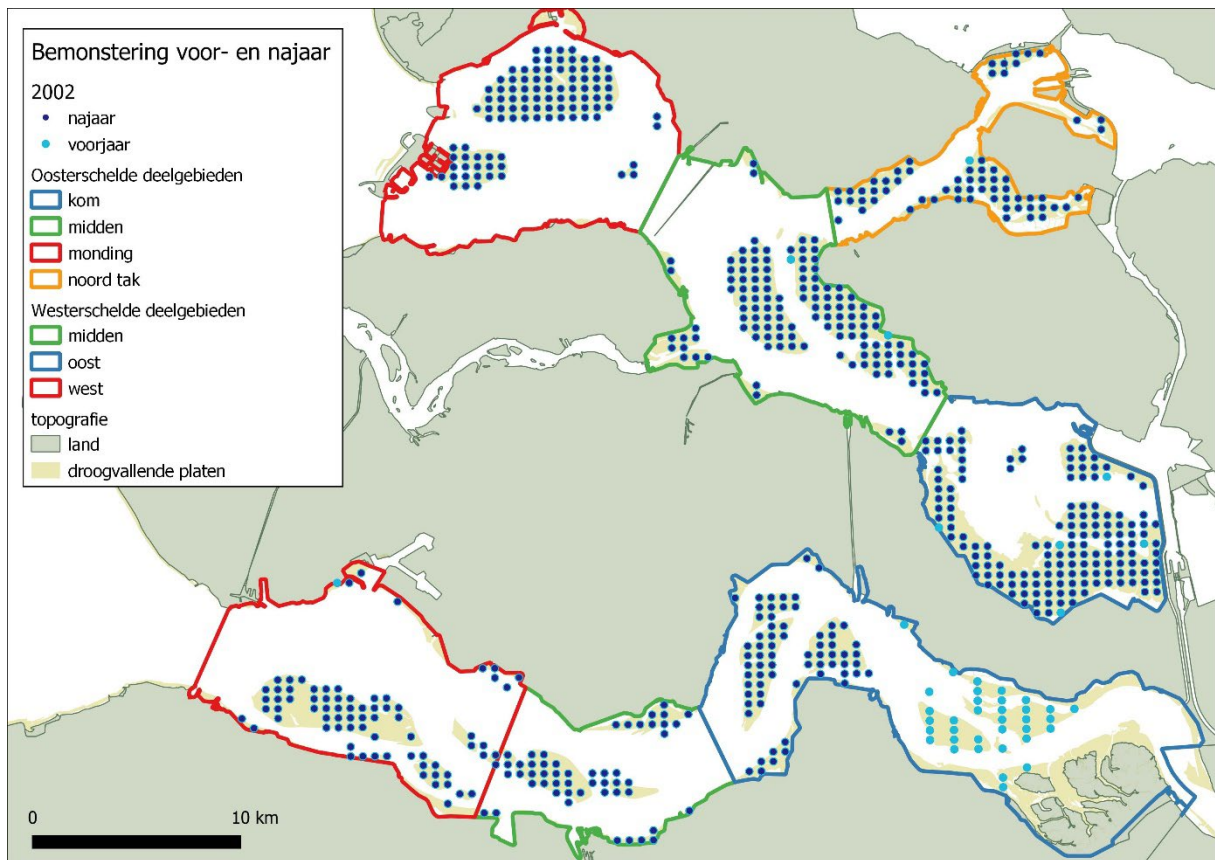
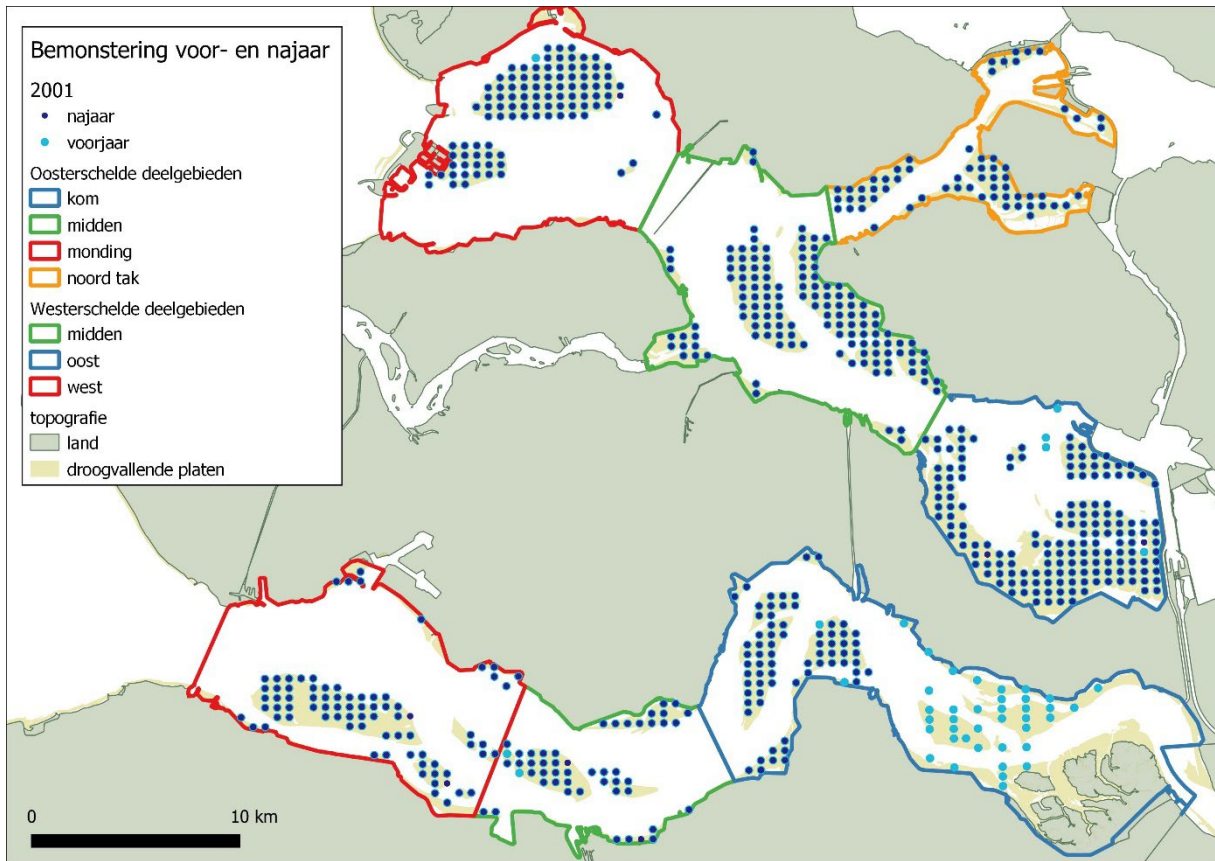


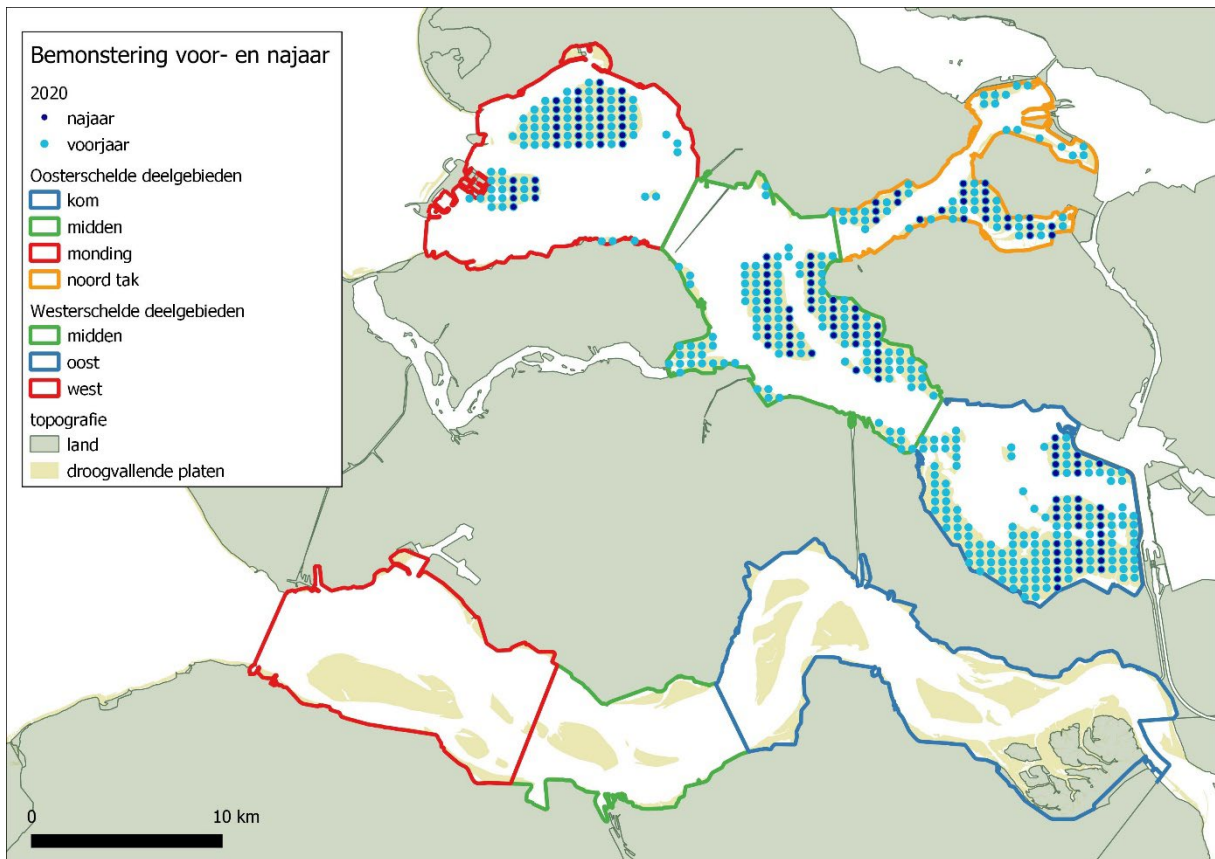
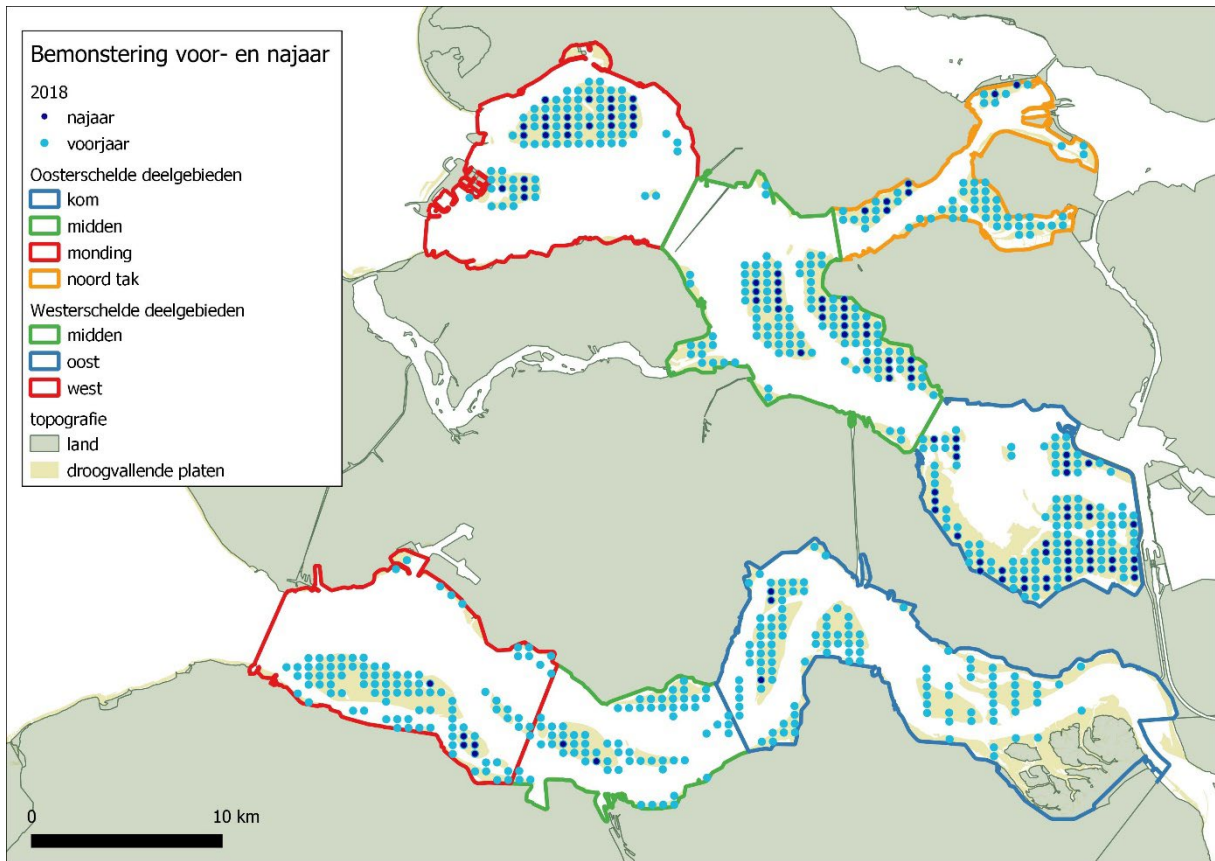
Bijlage 2. monsterpunten najaars- en herbemonsteringen in de deltawateren.





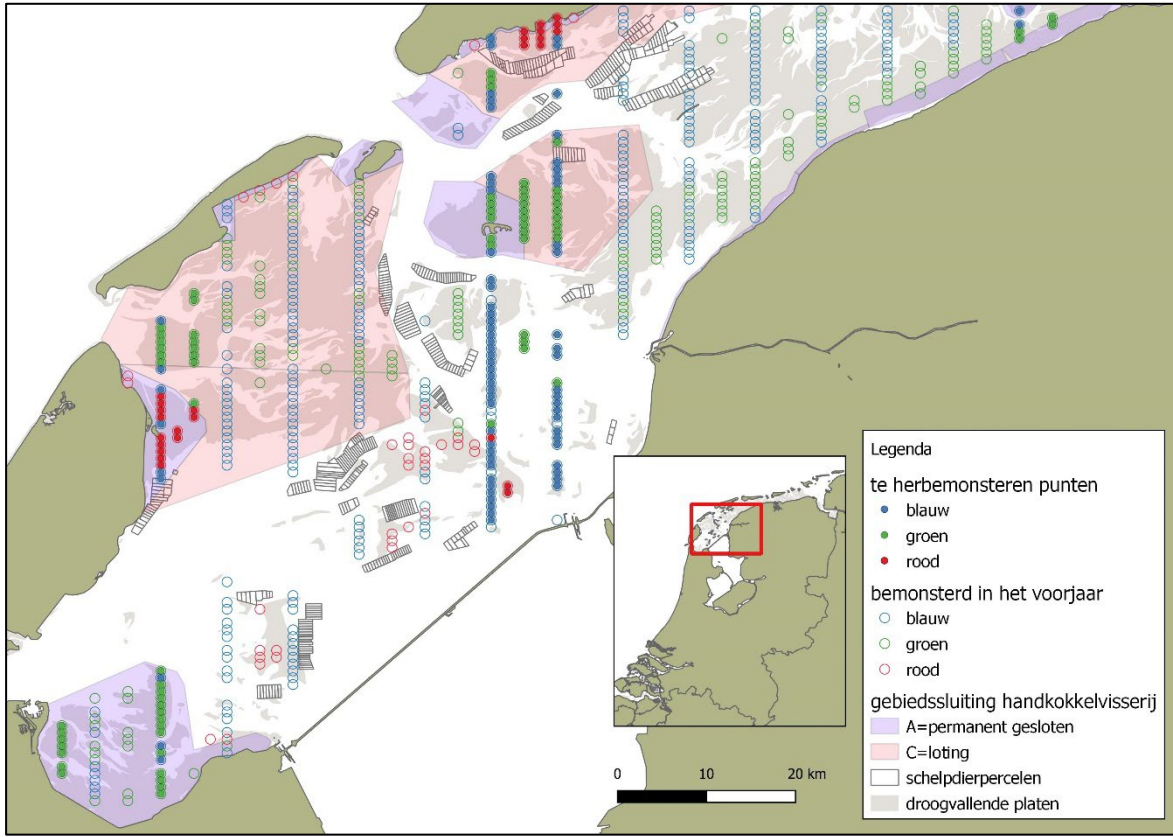




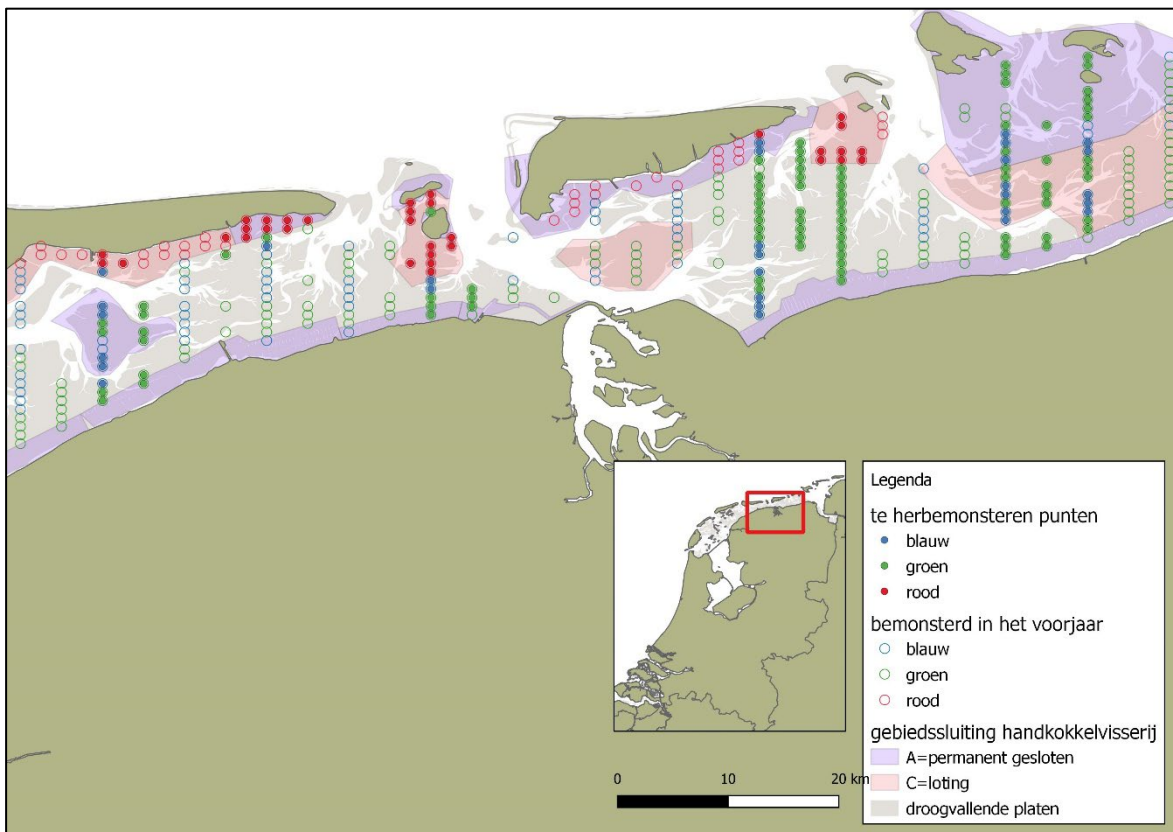


Bijlage 3. Voorgestelde monsterpunten voor jaarlijkse herbemonstering

Westelijke Waddenzee (zie figuur 4 voor uitleg van de kleuren rood, groen en blauw)



Oostelijke Waddenzee (zie figuur 4 voor uitleg van de kleuren rood, groen en blauw)



Oosterschelde

