



Kokkel- en Filipijnse tapijtschelpvleesvoorraad biedt geen verklaring voor de verdere afname van Scholeksteraantallen in de Oosterschelde

Studie naar de relatie tussen veranderingen in de scholeksterpopulatie en schommelingen in het schelpdierbestand over de periode 1992-2022

Anne Grundlehner, Mardik Leopold

Wageningen University & Research
Rapport C044/23a

Kokkel- en Filipijnse tapijtschelpvleesvoorraad biedt geen verklaring voor de verdere afname van Scholeksteraantallen in de Oosterschelde

Studie naar de relatie tussen veranderingen in de scholeksterpopulatie en schommelingen in het schelpdierbestand over de periode 1992-2022.



Auteurs: Anne Grundlehner, Mardik Leopold

Wageningen Marine Research

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 'Visserij Monitoring' (projectnummer BO-43-119.01-032)

Wageningen Marine Research
Den Helder, Juli 2023

Wageningen Marine Research rapport C044/23a

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

Keywords: Scholekster, Tapijtschelp, Kokkel, Populatieafname, Voedselvoorziening

Opdrachtgever: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)
T.a.v.: Angelo Kouwenhoven
Bezuïdenhoutseweg 73
2594 AC Den Haag

BO-43-119.01-032

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/633580>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Mardik Leopold

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Deelgebieden	9
2 Kennisvraag	10
2.1 Onderzoeksvraag	10
2.2 Voorbehoud	10
3 Methoden	12
3.1 Vogel- en schelpdierdata	12
3.2 Statistische analyse	15
3.2.1 Deelgebieden	16
3.2.2 Relatie tussen voedsel en veranderingen in scholekster aantallen	17
4 Resultaten	19
4.1 Temporele trends	19
4.2 Recente jaren	22
4.3 Deelgebieden	22
4.4 Absolute verandering	23
4.5 Relatieve verandering	24
4.6 Verbanden binnen deelgebieden en seizoenjaren	26
5 Interpretatie & Discussie	27
5.1 Minimumvoorraad schelpdieren	27
5.2 Verband tussen scholekster aantallen en schelpdierbestand	27
5.3 Afnemende scholekster aantallen: Additionele overwegingen	28
5.4 Tapijtschelpen	29
5.5 Een nieuw evenwicht?	29
6 Conclusies en aanbevelingen	30
7 Kwaliteitsborging	32
Literatuur	33
Verantwoording	35
Bijlage 1 Modelformulering vooronderzoek deelgebieden	36
Bijlage 2 Hypothese- en modelformulering	38
Bijlage 3 Absolute Verandering	40
Bijlage 4 Model output: Relatieve verandering	43

Samenvatting

De afgelopen decennia heeft er een afname plaatsgevonden in het aantal scholeksters (*Haematopus ostralegus*) binnen het Oosterscheldegebied, tot onder het instandhoudingsdoel voor dit Natura 2000-gebied. Voor een van de primaire voedselbronnen van scholeksters in de Oosterschelde, de kokkel (*Cerastoderma edule*), geldt een voedselreserveringsbeleid om kokkelvisserij te limiteren in jaren met een laag kokkelbestand. Sinds een aantal jaren is de Filipijnse tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*) in de Oosterschelde sterk in biomassa toegenomen, en deze soort bezet eenzelfde niche als de kokkel. Voor de scholekster lijken beide soorten schelpdieren uitwisselbaar als voedselbron, dus het lijkt voor de hand te liggen om voortaan beide soorten mee te nemen in de voedselreservering. In dit onderzoek is relatie tussen temporele veranderingen in de scholeksterpopulatie in het Oosterscheldegebied en de beschikbare hoeveelheid voedsel (beide genoemde soorten schelpdieren) geanalyseerd. Dit is gedaan op basis van vogeltellingen en schelpdiermonitoringsdata, gedurende de periode 1992-2022. Het verband tussen de hoeveelheid kokkel- en tapijtschelpvles en veranderingen in het aantal scholeksters is in deze studie bestudeerd met behulp van regressie analyse. We hebben hierbij onderscheid gemaakt tussen vier deelgebieden waar subpopulaties van scholeksters verblijven en de relatie met de voedselvoorziening over de hele Oosterschelderegio onderzocht. De voorraad kokkelvles bleef in de bestudeerde periode met grote regelmaat onder het gestelde minimum. Op basis van de beschikbare data is er geen relatie gevonden tussen de jaarlijkse fluctuaties in de hoeveelheid kokkels en/of de jaarlijkse veranderingen in het aantal scholeksters. Ook een eventueel vertragingseffect van 1-3 jaar in scholekster aantallen na schaarse voedseljaren werd niet gevonden. Op basis van de beschikbare data en eerdere studies is het aannemelijk dat er al vele jaren lang een structureel, breed voedseltekort (niet alleen een tekort aan kokkels) heerst in de Oosterschelde. Dit zou zowel de langjarige afname in de vogelaantallen kunnen verklaren, alsook het ontbreken van een directe relatie tussen deze aantallen en de hoeveelheid kokkels en tapijtschelpen. Indien de voedselvoorraad altijd te laag is voor de aantallen vogels die hier vanwege de instandhoudingsdoelstelling zouden moeten verblijven, dan is het systeem simpelweg op weg naar een nieuw evenwicht. Ten behoeve van het herstel van de scholeksterpopulatie is het om deze redenen aan te raden de totale hoeveelheid gereserveerd voedsel te verhogen door de 150 kg kokkelvles per scholekster aan te vullen met andere primaire voedselbronnen van de vogelsoort. Mogelijk zou het meenemen van mosselen in het reserveringsbeleid een uitkomst bieden. Tapijtschelpen zouden, in diverse scenario's de "redding" van de scholekster kunnen zijn, maar voor een herstel tot op het gewenste niveau van de instandhoudingsdoelstelling is vermoedelijk nog een zeer aanzienlijke toename van het bestand noodzakelijk, die zal worden verstoord als deze soort bevestigd gaat worden.

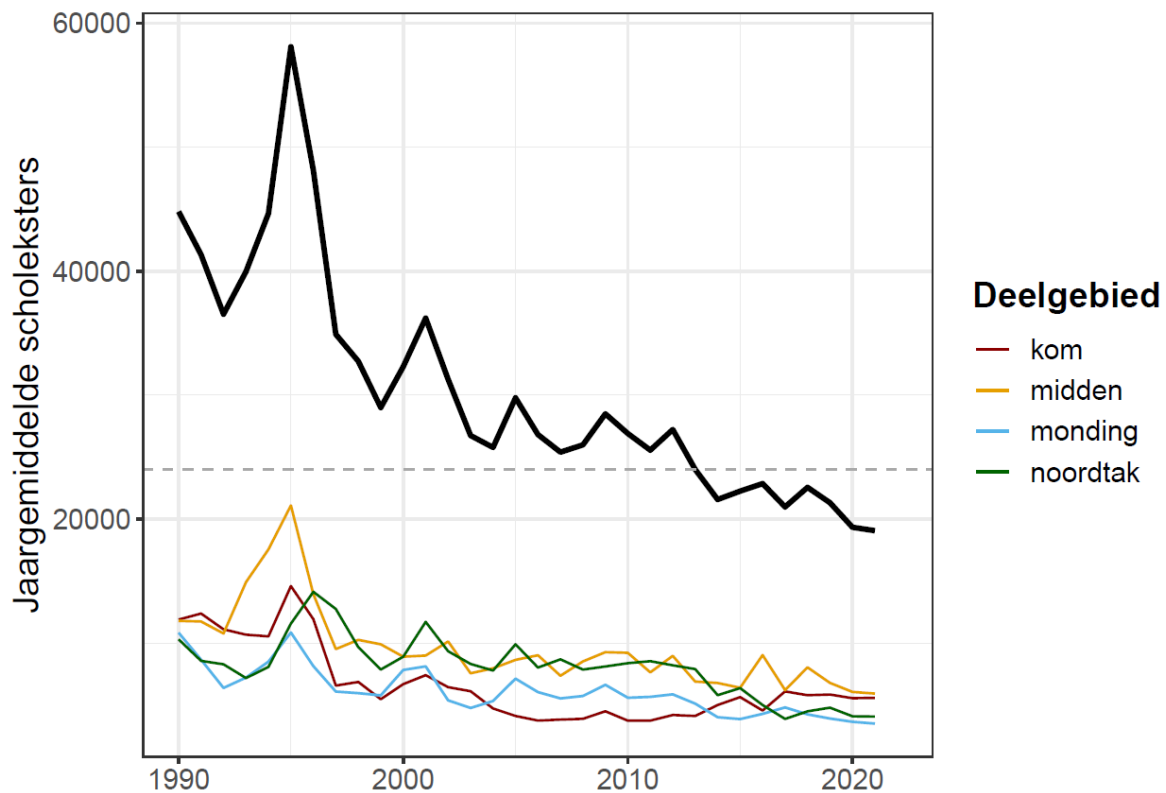
1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Al sinds de jaren negentig ziet men een sterke afname van de Nederlandse scholeksterpopulatie (*Haematopus ostralegus*), in zowel hun broed- als overwinteringsgebieden (Rappoldt et al., 2003; Sovon, 2023). Ten behoeve van onder andere deze vogelsoort is daarom in 1993 een beleid ingezet van voedselreservering voor vogels in onder andere de Oosterschelde, een Natura 2000-gebied. Een voedselreserveringsbeleid komt neer op het beperken van schelpdiervisserij in jaren met hoeveelheden schelpdieren lager dan een vastgestelde hoeveelheid, met als doel om extra voedseltekorten onder vogels als gevolg van schelpdiervisserij aan banden te leggen. In eerste instantie werd dit reserveringsbeleid gebaseerd op de hoeveelheid voedsel die nodig was om het aantal vogels te voorzien dat eind jaren 80 in het gebied aanwezig was (Bult et al., 2000). Dit betrof een vaste behoefte van 1,3 miljoen kilo mossel vlees en 3,4 miljoen kilo kokkelvlees. In 1999 werd dit beleid aangepast: de volledige hoeveelheid voedsel moest volledig worden gedekt worden door kokkels (*Cerastoderma edule*), vanwege het idee dat andere voedselbronnen voor de scholekster op dat moment nauwelijks in de Oosterschelde aanwezig waren.

In 2004 is dit beleid vastgesteld in het Beleidsbesluit Schelpdiervisserij (LNV, 2004). Onveranderd geldt, dat de voedselreservering in de Oosterschelde zich uitsluitend richt op de kokkels. Echter, de totale te reserveren hoeveelheid kokkels wordt nu jaarlijks vastgelegd op basis van het aantal aanwezige vogels: of er mag worden gevestigd op kokkels wordt bepaald op basis van modeluitkomsten berekend met WEBTICS (Rappoldt et al., 2003; Rappoldt & Ens, 2013). Hierin wordt onder andere een opslag van 10% toegepast (in totaal moet er dus 165 kg per scholekster liggen voor het toestaan van kokkelvisserij). Aanleiding hiervoor waren de lage kokkelbestanden (lees: te laag voor kokkelvisserij onder het vigerende beleid) en steeds verder teruggelopen scholekster aantallen, die de vraag oproep of het nog wel terecht was om het oude scholeksterpopulatie niveau aan te houden voor het reserveren van voedsel (CBS, 2019).

Hoewel het beleid ten doel had de scholekster aantallen te doen herstellen, is het aantal scholeksters in de Oosterschelde steeds verder afgenomen (Figuur 1.1). Het aantal scholeksters in de Oosterschelde bevindt zich sinds ca. 2005 onder het instandhoudingsdoel van jaargemiddeld 24.000 vogels (Figuur 1.1) (SOVON, 2023). Op basis van jaarlijkse vogeltellingen blijkt bovendien dat er nog steeds sprake is van een dalende trend, met een afname circa 5% per jaar (SOVON, 2023; van Donk et al., 2023). Omdat de aantallen vogels in een populatie vaak (mede) worden aangestuurd door de hoeveelheid beschikbaar voedsel, geldt er onverkort, ten behoeve van de scholeksterpopulatie, een voedselreserveringsbeleid voor de Oosterschelde, dat dat de visserij op kokkels reguleert.



Figuur 1.1 Jaargemiddelde aantallen scholeksters berekend op basis van de tellingen in de maanden augustus, november, december, januari, februari en mei, per deelgebied (kleuren) en voor het hele Oosterschelde gebied (zwart). De gestreepte grijze lijn geeft het scholekster instandhoudingsdoel aan (24.000, gemiddeld over alle maanden van het jaar, zie: <https://stats.sovon.nl/stats/gebied/1000118>). De jaargemiddelden gepresenteerd in deze studie kunnen een geflatteerd beeld schetsen, omdat twee "magere" maanden (juni en juli) niet in deze studie zijn meegenomen (zie ook sectie 3.1, Tabel 3.1). N.B. Dit is niet van invloed op de trends. Het jaargemiddelde aantal scholeksters in de Oosterschelde, zoals berekend door SOVON (op basis van alle tellingen in het kader van het NEM) bevindt zich al sinds het jaar 2004/05 onder het instandhoudingsniveau (SOVON, 2023).

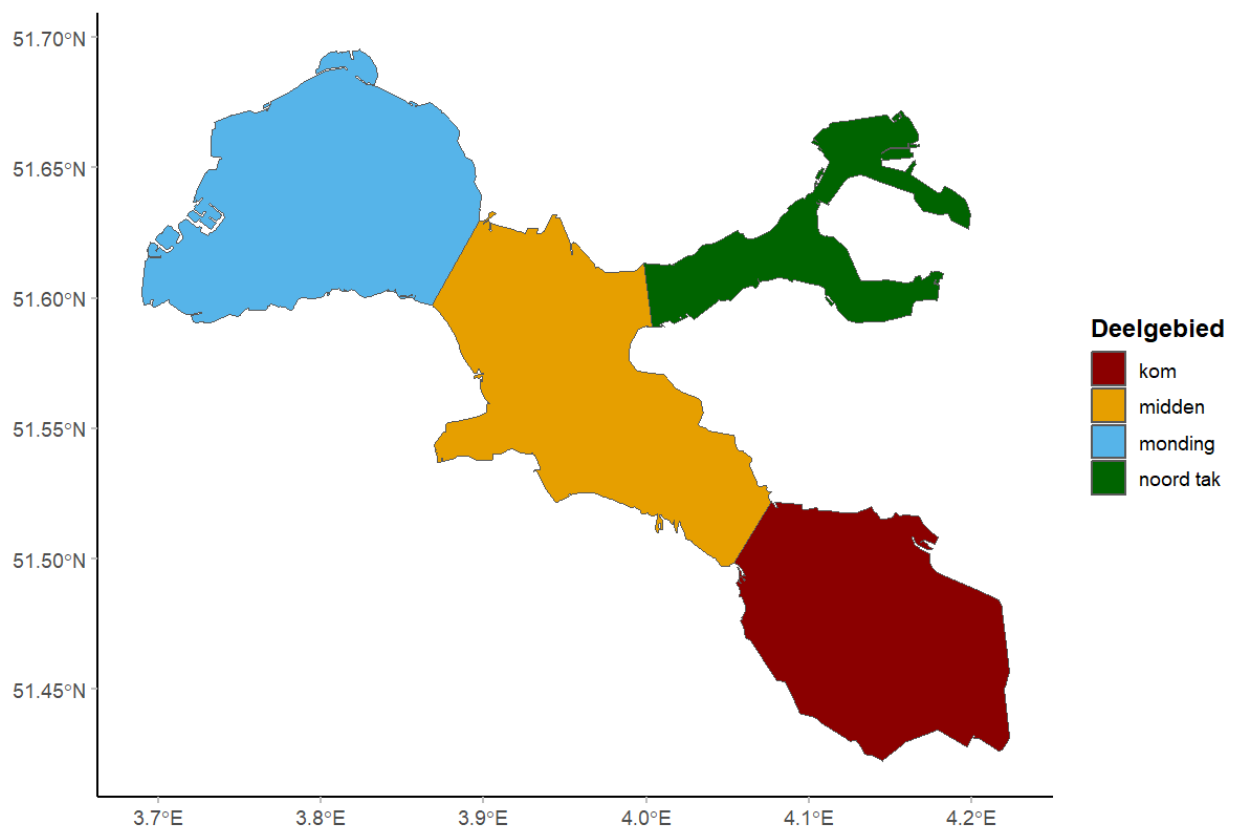
Ook met de kokkels gaat het niet goed in de Oosterschelde: de bestanden lopen al jaren terug (Bult et al., 2000; Troost et al., 2023) en de soort kampt tegenwoordig ook geregeld met massale zomersterfte bij extreem warm weer (Suykerbuyk et al., 2021; Troost et al., 2022; 2023). Een kokkelvisserijbeleid, gebaseerd op uitsluitend de hoeveelheid kokkels in een steeds verder opwarmende aarde, staat daarom min of meer garant voor permanente sluiting van deze visserij in de Oosterschelde, omdat er steeds minder kokkels zijn. Hier staat tegenover dat er een nieuwe prooi soort zich heeft gevestigd in de Oosterschelde: de Filipijnse tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*), die als voedselsoort voor de scholekster, maar ook als doelsoort voor de visserij, de kokkel aanvult en op termijn zelfs zou kunnen gaan vervangen. De tapijtschelp kan beter tegen zomerhitte dan kokkels en de aantallen tapijtschelpen in de Oosterschelde nemen toe (Kamermans & Leopold, 2021; van Donk et al., 2023; Troost et al., 2023). Echter is de hoeveelheid tapijtschelpen sinds diens vestiging nog niet boven de hoeveelheid kokkels uitgekomen (Troost et al., 2023).

De kokkel is slechts een van de belangrijke voedselbronnen voor scholeksters in de Oosterschelde, twee andere belangrijke prooi soorten, de mossel (*Mytilus edulis*) en de Filipijnse tapijtschelp (Kamermans & Leopold, 2021; van Donk et al., 2023), vallen buiten het vigerende beleid. Het is bekend dat in het verleden de mossel een belangrijke bron van voedsel is geweest voor scholeksters in de Oosterschelde. Echter is de aanwezigheid van mossels in dit gebied vrijwel volledig het gevolg van mosselkweek. Sinds de jaren '80 is de beschikbaarheid van mosselen voor scholeksters in de Oosterschelde sterk afgenomen (Rappoldt & Ens, 2013; Bult et al., 2000). Dit is het gevolg van gewijzigde kweekmethoden sinds de jaren '80, in combinatie met de verplaatsing van mosselpercelen van intergetijdengebied naar diepere delen van de Oosterschelde na 1990.

Het ligt dus voor de hand om tapijtschelpen te gaan betrekken bij het beleid van voedselreservering, maar ook om eens kritisch te kijken naar de premisse, dat kokkels/tapijtschelpen sturend zijn voor de aantalsontwikkeling van de scholekster in de Oosterschelde. Als eerste stap in dit proces is vastgesteld dat tapijtschelpen een substantieel deel uitmaken van het dieet van scholeksters in de Oosterschelde (van Donk et al., 2023). In de nu voorliggende studie wordt onderzocht of er over de lange termijn een verband te vinden is tussen de hoeveelheden beschikbare schelpdiervlees, van kokkels en tapijtschelpen, en de veranderingen in de aantallen scholeksters in de Oosterschelde.

1.2 Deelgebieden

In de Oosterschelde zijn vier deelgebieden te onderscheiden, met ieder een subpopulatie scholeksters (Figuur 2). We nemen aan dat de scholeksters voornamelijk binnen de grenzen van hun eigen deelgebied blijven, voor het foerageren. Desondanks kan niet worden uitgesloten dat de vogelaantallen binnen deze deelgebieden niet volledig onafhankelijk zijn, want vogels hebben immers de capaciteit zich te verplaatsen. Verplaatsing kan plaatsvinden tussen gebieden binnen de Oosterschelde maar ook daarbuiten. Er zijn diverse mogelijke oorzaken voor verplaatsing, denk aan predatie, verstoring, lokaal gebrek voedsel of areaal aan foerageergebied. Het is niet onaannemelijk dat de scholeksters foerageren in andere deelgebieden, zeker in geval van voedselschaarste binnen het eigen deelgebied. Verder is er bij scholeksters sprake van seizoenstrek: in de winter komen scholeksters vanuit een groot gebied naar de Oosterschelde; in het voorjaar keren deze vogels terug naar hun broedgebied elders (Leeuwen et al., 2019; Meininger & SOVON Vogelonderzoek Nederland., 2022).



Figuur 1.2. Deelgebieden in de Oosterschelde

2 Kennisvraag

2.1 Onderzoeksvraag

Deze studie is gericht op het vinden van een mogelijk verband tussen de beschikbare hoeveelheid schelpdiervlees, van kokkels, tapijtschelpen of beide, en het temporele verloop dan de scholekster aantallen. De volgende beleidsvragen vanuit LNV liggen voor:

1. Was in recente jaren (2014-2022) de vastgestelde minimum hoeveelheid kokkelvlees van 150 kg/scholekster in de Oosterschelde voorradig en hoe heeft de populatie hier getalsmatig op gereageerd?
2. Houdt de continuerende afname van het aantal scholeksters een direct verband met de hoeveelheid kokkels en tapijtschelpen?
3. Is er een vertraagd effect van fluctuaties in de hoeveelheid schelpdiervlees per vogel op de scholekster aantallen?
4. Indien er een relatie wordt gevonden, hoe ziet deze er uit en bij welke voedselvoorraad namen de aantallen scholeksters toe, af, of bleven ze constant?
5. Heeft de opkomst van de tapijtschelp een positief effect op de scholekster aantallen? Met andere woorden: is er reden om deze soort bij het voedselreserveringsbeleid te betrekken?

Met behulp van een reeks tellingsdata (1989 – 2022) afkomstig van hoogwatervluchtplaatsen (HVP) in de Oosterschelde, in combinatie met informatie van de jaarlijkse schelpdiermonitoring (van over dezelfde periode), hebben wij bovenstaande vragen geprobeerd te beantwoorden.

2.2 Voorbehoud

Dit is geen uitgebreide modelstudie om nieuwe voedsellimieten vast te stellen. Wel kan dit rapport aanleiding vormen tot een her-evaluatie van het huidige beleid, alsmede het heroverwegen van de huidige instandhoudingsdoelen. Daarnaast zou uit deze studie volgende stappen voor vervolgonderzoek duidelijk kunnen worden.

In de gepresenteerde studie wordt geen rekening gehouden met de ruimtelijke verdeling van de ingegraven schelpdieren (kokkel en tapijtschelp) en/of de grootten van de individuen, op het foerageersucces van de scholekster. Het is bekend dat voedseldichtheid invloed kan hebben op het foerageersucces van scholeksters, maar hoogstwaarschijnlijk is deze relatie ook afhankelijk van de grootte van de schelpdieren. Voor het voedselreserveringsbeleid wordt een grenswaarde van 50 kokkels/m² aangehouden: alle kokkels die in lagere dichtheden voorkomen worden niet meegenomen in de berekening van de totale hoeveelheid kokkels in de Oosterschelde. In de gepresenteerde studie wordt zo'n grenswaarde niet meegenomen: onze berekeningen van de totale hoeveelheid schelpdieren is gebaseerd op alle scheldieren in alle voorkomende dichtheden. Merk op dat de gepresenteerde schelpdierhoeveelheden dus een enigszins geflatteerd positief beeld schetsen in vergelijking met de cijfers waarop het voedselreserveringsbeleid is gebaseerd.

De beschikbaarheid van de nu meegewogen schelpdieren, kokkels en tapijtschelpen, is bepaald op basis van jaarlijks slechts één inventarisatie, in het voorjaar (in recente jaren vaak aangevuld door een tweede, om de gevolgen van massale zomersterfte te kunnen bepalen). Voor het beantwoorden van de hoofdvraag van het nu voorliggende onderzoek is de beschikbare data dus gebrekkig. Het zou goed zijn, om bijvoorbeeld in en aantal proefvlakken met een grotere frequentie (e.g. maandelijks) de ontwikkeling in de bestanden te volgen, zodat een betere inschatting gemaakt kan worden van de voedselvoorraad door het jaar heen.

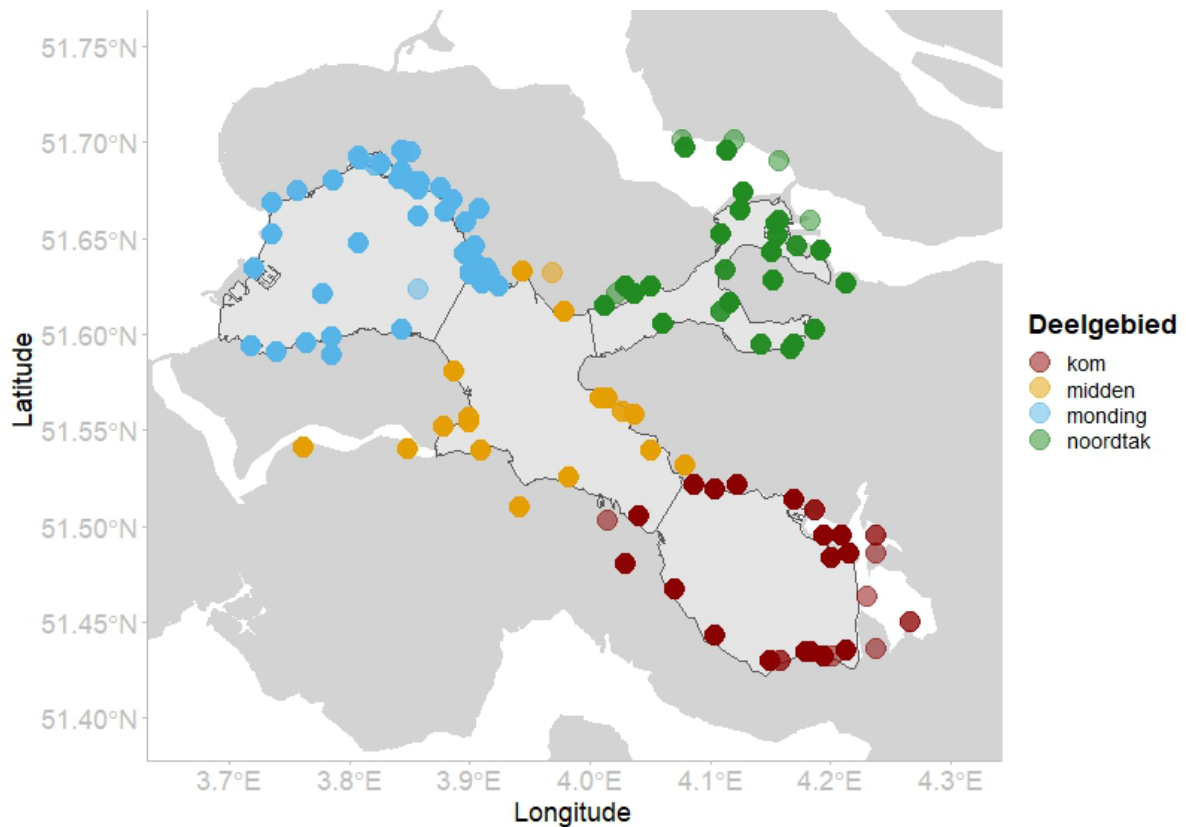
Tevens is er in dit onderzoek geen onderscheid gemaakt tussen kokkels en tapijtschelpen van verschillende groottes, omdat de data hiervoor ontoereikend waren. Ook voedseldichtheden zijn niet meegenomen. Verandering van de groottesamenstelling en ruimtelijke dichtheden van deze schelpdieren over de jaren heen, zouden aanzienlijke repercussies kunnen hebben voor het voedsellandschap van de scholeksters, die dus in de huidige modellering niet kon worden meegenomen.

Er zijn geen additionele externe factoren in de analyse meegenomen. Concurrentie om voedsel van andere soorten vogels, of concurrentie om ruimte (verstoring door menselijke activiteiten) is niet meegewogen. Het zou zo kunnen zijn dat de vogels in de loop der jaren steeds meer druk op hun omgeving hebben ervaren van anderen, waardoor hun foerageersucces geleidelijk daalde, en de draagkracht van het systeem navenant.

3 Methoden

3.1 Vogel- en schelpdierdata

Informatie over de aantallen scholeksters is afkomstig van integrale tellingen in de Oosterschelde, verricht op hoogwatervluchtplaatsen, HVPs (Figuur 3.1), beschikbaar gesteld door Deltamilieu Projecten. De tellingen zijn gedaan in de maanden januari, februari, mei, augustus, november en december, in de jaren 1989 tot en met 2022. In deze studie zijn jaargemiddelde aantallen scholeksters bepaald per seizoen, wat loopt over de periode juli tot juni, corresponderend met scholekster monitoring verricht door SOVON (SOVON, 2023). Alle referenties naar "jaar" in deze studie zijn verwijzingen naar seizoenjaar, tenzij anders vermeld. De jaargemiddelden zijn dus bepaald per periode, waarin het jaarnummer steeds refereert naar het jaar waarin de maand juli ligt. Het gemiddelde aantal scholeksters is berekend door het nemen van het gemiddelde van het totaal aantal getelde scholeksters per maand (over de genoemde zes maanden), per seizoenjaar, waarbij de weging van alle maanden hetzelfde is. Er is geen gebruik gemaakt van imputing om te corrigeren voor incomplete tellingen, waardoor gepresenteerde jaargemiddelden iets kunnen afwijken van de populatietrends zoals gepresenteerd door SOVON en gepubliceerd in eerdere studies (Rappoldt et al., 2003; SOVON, 2023). Jaargemiddelden zijn berekend voor zowel de hele Oosterschelde, als voor ieder individueel deelgebied. Merk hier op dat de gepresenteerde jaargemiddelden enigszins afwijken van de jaargemiddelden gepresenteerd door SOVON (Tabel 3.1), omdat onze data niet voor alle kalendermaanden informatie verschaft: de jaargemiddelden gepresenteerd door SOVON zijn gebaseerd op alle twaalf de kalendermaanden. Deze studie is dan ook gericht op het onderzoeken van de relaties tussen temporele trends in de aantallen vogels en hoeveelheden voedsel, en niet op het presenteren van precieze populatiecijfers. Voor alle jaren hadden wij wel data van dezelfde selectie kalendermaanden ter beschikking: de gebruikte gegevens zijn dus consistent over tijd, waardoor de hoofdvraag van dit onderzoek op een betrouwbare manier kan worden beantwoord.



Figuur 3.1. Hoogwatervluchtplaatsen waar scholeksters zijn geteld tussen 1989 en 2022.¹

¹ Er waren 16 observaties waarvan het opgegeven deelgebied niet overeenkwam met het deelgebied dat past bij de coördinaten van de observatie. Hier is dus ofwel iets fout gegaan bij het toewijzen van het deelgebied, ofwel bij de registratie van de coördinaten. Omdat de GPS coördinaten in alle gevallen overeenkwamen met bestaande hoogwatervluchtplaatsen en de toegewezen HVP identificatie code, is de eerste verklaring aannemelijk en hier aangehouden. Van ieder van deze HVPs hebben we gecontroleerd of de locatie in andere jaren aan een ander deelgebied was toegewezen. In alle gevallen bleek het om een enkel jaar of enkele observatie te gaan waarin een HVP aan een ander deelgebied werd toegewezen dan in de resterende jaren. Voor ieder van deze 16 inconsistenties is de toewijzing van deelgebied gecorrigeerd naar het meest frequent toegewezen deelgebied van die vluchtplaats (over de hele data reeks).

Tabel 3.1. Jaargemiddelden zoals berekend door SOVON en zoals wij hebben berekend op basis van zes maanden data per jaar per deelgebied. N.B. het (seizoens-)jaar 2021 ontbreekt omdat SOVON hiervan geen data beschikbaar heeft op haar site maar dit is wel meegenomen in onze studie.

Jaar	Jaargemiddelde SOVON	Jaargemiddelde o.b.v. beschikbare data per HVP*	Verskil (aantal vogels)	Verskil (% van SOVON Jaargemiddelde)
1992	35008	36535	1527	4.36
1993	38800	39971	1171	3.02
1994	37559	44658	7099	18.90
1995	47680	58106	10426	21.87
1996	36187	48129	11942	33.00
1997	28563	34906	6343	22.21
1998	26875	32736	5861	21.81
1999	24247	29000	4753	19.60
2000	26908	32297	5389	20.03
2001	31171	36217	5046	16.19
2002	27301	31271	3970	14.54
2003	23725	26743	3018	12.72
2004	21462	25780	4318	20.12
2005	26434	29781	3347	12.66
2006	24850	26817	1967	7.91
2007	22462	25401	2939	13.08
2008	23395	25989	2594	11.09
2009	25345	28492	3147	12.42
2010	24414	26903	2489	10.19
2011	21346	25564	4218	19.76
2012	22143	27224	5081	22.95
2013	20190	24007	3817	18.90
2014	19617	21581	1964	10.01
2015	19392	22254	2862	14.76
2016	21434	22862	1428	6.66
2017	19380	20984	1604	8.27
2018	19661	22560	2899	14.74
2019	18931	21320	2389	12.61
2020	17484	19340	1856	10.61
2021	NA	19063	NA	NA

Informatie over de aantallen en biomassa van kokkels en tapijtschelpen zijn afkomstig van monitoringsdata van Wageningen Marine Research, sinds 1990 verzameld in het kader van de wettelijke onderzoekstaken (WOT²) (Craeymeersch & Ysebaert, 2021). Deze monitoring wordt jaarlijks verricht in het voorjaar, tegen het einde van het scholekster-seizoen. De jaarlijkse survey vindt plaats voor de broedval van de kokkels, waardoor nuldejaars kokkels ofwel nog niet aanwezig zijn, of nog te klein zijn om op de gebruikte zeef van 5 mm te blijven liggen. Tot onze beschikking zijn de gemeten aantallen en biomassa (natgewicht) van kokkels en tapijtschelpen op verschillende meetlocaties binnen de Oosterschelde. Deze metingen zijn omgerekend naar aantallen en gewicht per vierkante meter. We kunnen steeds aannemen dat deze een volledige representatie zijn van de voor scholeksters beschikbare, litorale foerageerlocaties. Onder de aanname dat het gemonitorde grid het volledige foerageergebied van de scholeksters in de Oosterschelde representeert, kunnen de totale aantallen en massa's van de schelpdieren worden berekend middels het nemen van de som van de hoeveelheden

² Zie ook: www.wur.nl/schelpdiermonitor

per vierkante meter over alle locaties. Merk op dat er in deze studie uitsluitend is gewerkt met voedselmassa, en dus geen rekening is gehouden met voedseldichtheden.

Het gemeten natgewicht betreft de schelp, het schelpdiervlees en restanten water in het schelpdier. Kokkels zijn in de registratie onderverdeeld in verschillende leeftijdscategorieën (1-jarig, 2-jarig, meerjarig). Tapijtschelpen zijn gecategoriseerd op grootte (klein, groot), maar vanaf 2016 is deze soort niet meer onderverdeeld in grootteklassen. Tot en met het jaar 2017 zijn tapijtschelpen kleiner dan 1.5 cm als "klein" gecategoriseerd en daarboven als "groot", vanaf 2018 lag deze grens op 2 cm. In deze studie hebben wij aangenomen dat het schelpdiervlees, dus het voor de vogels voedzame gedeelte van de schelpdieren, 15% is van het natgewicht, conform de berekening die voor WOT-monitoring wordt gebruikt voor het berekenen van het schelpdiervlees van kokkels. Omdat voor tapijtschelpen nog geen conversiepercentage is vastgesteld hebben wij 15% van het natgewicht aangehouden voor beide soorten. Merk hierbij op dat deze studie gericht is op het onderzoeken van de relaties tussen temporele trends in de aantallen vogels en hoeveelheden voedsel: de absolute hoeveelheden van het schelpdiervlees zijn dus van ondergeschikt belang, ten minste als er een constante relatie is tussen de gemonitorde aantallen en/of het natgewicht met de berekende hoeveelheid schelpdiervlees.

Om de beschikbare hoeveelheid schelpdierbiomassa per vogel te berekenen, is voor ieder jaar de schelpdier monitoringsdata gekoppeld aan de berekende scholekster jaargemiddelde. Hierbij is de totale biomassa (van kokkels, tapijtschelpen en de som van beide) gedeeld door het jaargemiddelde aantal scholeksters. Ook dit is gedaan per deelgebied en voor de hele Oosterschelde.

In de zomermaanden na de jaarlijkse schelpdiermonitoring, heeft sinds 2018 regelmatig massale zomersterfte plaatsgevonden van kokkels (van Donk et al., 2023). Daarvoor kwam dit nauwelijks voor. In verband met deze zomersterfte, die pas te zien is in de schelpdieraantallen in het volgende jaar, worden scholekster jaargemiddelden gekoppeld aan de hoeveelheden schelpdieren gemeten aan het eind van het seizoen. De scheldierinventarisatie in het voorjaar van bijvoorbeeld 2017 wordt dus gekoppeld aan de vogeltellingen van het seizoen 2016 (dat loopt van juli 2016 tot juni 2017).

Met betrekking tot de voedselbeschikbaarheid hebben wij onderscheid gemaakt tussen kokkels en Filipijnse tapijtschelpen, en de hoeveelheid schelpdiervlees uitgedrukt in de hoeveelheid (kilogram) schelpdiervlees per vogel. Bij volgende verwijzingen naar de hoeveelheid schelpdieren of schelpdiervlees wordt dus altijd naar de hoeveelheid per vogel gerefereerd, tenzij anders vermeld. De hoeveelheid schelpdiervlees per vogel is berekend door de hoeveelheid schelpdiervlees (kokkels, tapijtschelpen, beide) te delen door het gemiddelde aantal vogels van het betreffende seizoen.

3.2 Statistische analyse

Alle data opwerking en data analyses zijn uitgevoerd in R Studio (RStudio Version 2022.07.0+548) en figuren zijn gemaakt met het *ggplot2* package (Wickham, 2011). In dit onderzoek hebben wij gebruik gemaakt van regressie analyse om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Dit is gedaan middels generalised additive (mixed effect) models (GAM, GAMM). Alle regressie modellen zijn toegepast met behulp van het *R-INLA* in R (Zuur et al. 2017). Ten opzichte van toepassing van dit type modellen in het populaire alternatief *mgcv*, heeft toepassing van regressiemodellen in *R-INLA* het voordeel dat het de integratie van temporele en ruimtelijke correlatiestructuren mogelijk maakt (Wood, 2007; A. F. Zuur et al., 2017). Aan de hand van opgestelde hypothesen kunnen er modelformules worden geformuleerd voor de modellen. De resulterende regressie modellen kunnen vervolgens worden toegepast en vergeleken middels model selectie, om het "beste" model te vinden. Om het belang van verschillende variabelen te onderzoeken zijn "backward-selection" procedures toegepast. Model selectie, validatie en interpretatie zijn uitgevoerd volgens bijbehorende protocollen (Zuur & Ieno 2017; Zuur et al. 2017). Alle modellen die middels *R-INLA* zijn toegepast, zijn geëvalueerd en vergeleken op basis van WAIC (Widely Available Information Criterion) en DIC (Deviance Information Criterion) waarden (Berg et al. 2001; Watanabe, 2021).

In alle modellen waarin een of meerdere variabelen zijn uitgedrukt per deelgebied, wordt een random effect voor deelgebied meegenomen. Dit is ten eerste belangrijk om pseudo-replicatie te vermijden: een random effect voegt een correlatie tussen observaties binnen hetzelfde deelgebied toe. In andere woorden, het model kan hiermee consistente verschillen tussen de deelgebieden opvangen. Op die manier kunnen consistente verschillen tussen de deelgebieden, veroorzaakt door factoren die niet in het model zijn meegenomen, worden ondervangen. Denk bijvoorbeeld aan consistente verschillen in beschikbaar foerageergebied of leefgebied, aanwezigheid van verstoringen of predatie, verschillen in de hoeveelheid visserij etc., waardoor consistente verschillen in de aantallen scholeksters kunnen bestaan. Ten tweede maakt dit random effect het ook mogelijk om eventuele verschillen tussen deelgebieden in bijvoorbeeld de relatie van de verandering in het aantal scholeksters met de hoeveelheid schelpdieren te achterhalen. Ten derde kan de "intra-class coefficient" worden berekend, die aangeeft hoeveel correlatie er is tussen twee observaties van hetzelfde deelgebied, of van hetzelfde jaar.

3.2.1 Deelgebieden

Om verbanden te onderzoeken tussen de beschikbare hoeveelheid voedsel en de scholekster aantallen, de hoofdvraag van dit onderzoek, is het relevant om eerst uit te zoeken of er moet worden gekeken naar hoeveelheden voedsel per vogel in de hele Oosterschelde, of uitsluitend per vogel per deelgebied. Een belangrijke aanname die wordt gedaan als wordt gekeken naar de aantallen scholeksters per subpopulatie, de hoeveelheden voedsel binnen de deelgebieden en de relatie daartussen; is dat de vogelaantallen die worden geteld op HVP X van een deelgebied d , volledig onafhankelijk zijn van de aantallen in andere deelgebieden en dat deze vogels exclusief binnen hun eigen deelgebied foerageren. Om verbanden te onderzoeken tussen de beschikbare hoeveelheid voedsel en de scholekster aantallen, de hoofdvraag van dit onderzoek, is het gezien de bovenstaande informatie relevant om eerst uit te zoeken of er moet worden gekeken naar hoeveelheden voedsel per vogel in de hele Oosterschelde, of uitsluitend per vogel per deelgebied. Idem dito is het van belang om te onderzoeken of de aantallen scholeksters afhankelijk zijn van het hele scholeksterbestand in de Oosterschelde of dat we de populaties van ieder deelgebied apart moeten onderzoeken. Dit zal moeten worden onderzocht voor er kan worden gekeken naar verbanden tussen aantallen scholeksters en beschikbare schelpdiermassa. Op basis van deze informatie kunnen wij bepalen of de voedselbeschikbaarheid moet worden onderzocht per vogel per deelgebied, of per vogel voor de hele Oosterschelde. Omdat er een sterke relatie is tussen deze twee variabelen, mogen ze niet tegelijkertijd in een regressiemodel worden meegenomen.

We onderzoeken daarom voor het modelleren t.b.v. de hoofdvragen van dit onderzoek, eerst of (1) het jaargemiddelde van deelgebied d sterker afhangt van het jaargemiddelde in het voorgaande jaar van alle deelgebieden OF van alleen van binnen het eigen deelgebied; en (2) of er een sterkere relatie is tussen de deelgebied-specifieke jaargemiddelden en de hoeveelheid voedsel binnen het eigen deelgebied of dat de relatie met het voedsel over de hele Oosterschelde sterker is. N.B.: Er is natuurlijk per definitie een relatie tussen het gemiddelde van een deelgebied en het aantal vogels in de hele Oosterschelde (want d zit in O). Daarom "sterker". Welke belangrijker is, gaan we bepalen. Dit onderzoeken we met regressiemodellen waarmee we het jaargemiddelde scholeksters per deelgebied modelleren op basis van het jaargemiddelde in een voorgaand jaar en de beschikbare hoeveelheid voedsel per vogel. Voor ieder van de volgende vier hypothesen zal een bijbehorend regressiemodel worden toegepast. Aan de hand van modelselectie zal worden bepaald welke hypothese kan worden aangenomen, en dus welke variabelen er kunnen worden gebruikt in de regressie analyse voor het beantwoorden van de hoofdvraag. (Verdere statistische details van deze modellen staan in Bijlage 1.)

Hypothese 1. *De scholeksters foerageren voornamelijk binnen de grenzen van hun eigen deelgebied; maar de aantallen scholeksters geteld in deelgebied d zijn sterker afhankelijk van de aantallen in het voorgaande jaar in dat zelfde deelgebied dan van de vogelstand vorig jaar over de hele Oosterschelde.*

Hypothese 2. *De scholeksters foerageren voornamelijk binnen de grenzen van hun eigen deelgebied; maar de vier subpopulaties scholeksters zijn evenveel of meer afhankelijk van de aantallen scholeksters in de hele Oosterschelde dan de aantallen binnen het eigen deelgebied.*

Hypothese 3. *De scholekster aantallen zijn sterker afhankelijk van de voedselvoorziening over de hele Oosterschelde dan binnen het eigen deelgebied; maar de aantallen scholeksters geteld in deelgebied d zijn sterker afhankelijk van de aantallen in het voorgaande jaar in dat zelfde deelgebied dan van de vogelstand vorig jaar over de hele Oosterschelde.*

Hypothese 4. *De scholekster aantallen zijn sterker afhankelijk van de voedselvoorziening over de hele Oosterschelde dan binnen het eigen deelgebied, en de vier subpopulaties scholeksters vormen één grote populatie; maar er is wel verschil tussen de deelgebieden betreffende de relatie met voedsel en/of de hoeveelheid vogels in voorgaand jaar.*

3.2.2 Relatie tussen voedsel en veranderingen in scholekster aantallen

Om vervolgens te onderzoeken of er een relatie is tussen de voedselbeschikbaarheid en de trend in aantallen scholeksters hebben wij opnieuw regressie modellen toegepast. Anders dan in bovenstaande analyse (waar de jaargemiddelden als response variabelen werden gebruikt) is nu de verandering in het jaargemiddelde vogels ten opzichte van het voorgaande jaar, gebruikt als response variabele. De verandering in het aantal scholeksters kan worden uitgedrukt in zowel absolute zin (het aantal vogels) als relatieve zin (fractie toe- of afname ten opzichte van voorgaand jaar, volgens:

Absolute verandering (aantal) = aantal vogels in jaar j / aantal vogels in jaar j-1

Relatieve verandering (fractie) = (aantal vogels j / aantal vogels j-1) - 1

In beide gevallen geeft een waarde van 0 aan dat het aantal vogels precies hetzelfde is gebleven. Negatieve waarden geven een afname aan en positieve waarden een toename. De relatieve verandering ligt altijd tussen de -1 en 1.

Ook hier kunnen er verschillende hypothesen worden geformuleerd die corresponderen met de modelformules die kunnen worden toegepast (statistische details en modelformulering in Bijlage 2):

Hypothese 1: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, alsmede aan de hoeveelheid tapijtschelpen en kokkels, en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden.*

Hypothese 2: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, alsmede aan de hoeveelheid kokkels, en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden, maar niet van de hoeveelheid tapijtschelpen.*

Hypothese 3: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, alsmede aan de hoeveelheid tapijtschelpen, en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden, maar niet van de hoeveelheid kokkels.*

Hypothese 4: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden, maar er is geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen.*

Hypothese 5: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, maar er zijn geen consistente verschillen tussen de deelgebieden, en er is geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen.*

Hypothese 6: *De verandering in het aantal vogels is niet gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, en er is geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen, maar er is wel consistente verschillen tussen de deelgebieden.*

Hypothese 7: *De verandering in het aantal vogels is niet gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, er is ook geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen en zijn geen consistente verschillen tussen de deelgebieden.*

In plaats van al deze modellen toe te passen hebben wij hier backward-selectie procedures toegepast. Dit betekent dat eerst het "volledige" model wordt toegepast (Bijlage 2, Model 1), om vervolgens afhankelijk van de model output de meest onbelangrijke variabelen er een voor een uit te filteren, totdat de model output niet meer significant beter wordt (aan de hand van de DIC). Door het systematisch weglaten van variabelen en vergelijken van de resulterende model output, in combinatie met de gefitte parameter waarden, kan worden bepaald of de hoeveelheid schelpdiervlees, van kokkels en/of tapijtschelpen, significant van invloed is op de waargenomen veranderingen in de scholekster populatie(s) – en zo ja in welke mate. Uit deze procedure volgt het beste model die alleen een sub-selectie van de variabelen bevat (alleen de variabelen die van significant belang blijken) waaruit conclusies kunnen worden getrokken over de relaties tussen schelpdieren en scholeksters, het belang van een temporele correlatie en het verschil tussen de deelgebieden. In deze studie is zowel de absolute als relatieve verandering onderzocht, dus deze backward selectie procedure is twee keer uitgevoerd. Met de resulterende model output kunnen wij ook een beeld schetsen van een eventuele temporele trend in de verandering van de vogelstand. Voor deze procedure volgen wij de protocollen zoals specifiek voor INLA in de literatuur beschreven (Zuur et al. 2017).

In deze regressiemodellen (Bijlage 2) modelleren we dus de verandering in het (deelgebied-specifieke) jaargemiddelde scholeksters benaderen, op basis van (1) het geobserveerde jaargemiddelde in het voorgaande jaar binnen datzelfde deelgebied ($SE_{d,j-1}$); en (2) de beschikbare hoeveelheid kokkelvlees per vogel ($K_{d,j-n}$) en tapijtschelpvlees per vogel ($T_{d,j-n}$). We hebben zowel directe effecten van de voedselbeschikbaarheid (relaties tussen $dSE_{d,j}$ en $T_{d,j}$ en/of $K_{d,j}$) onderzocht, als mogelijke vertraging in de effecten (relaties tussen $dSE_{d,j}$ en $T_{d,j-n}$ en/of $K_{d,j-n}$, met $n=1,2$ of 3 jaar). In het geval van een vertraagd effect zou een lage voedselbeschikbaarheid pas een aantal jaar na dato terug te zien zijn in de scholeksteraantallen. Dit is mogelijk als voedselgebrek bijvoorbeeld het reproductiesucces van de vogels beïnvloed, in plaats van directe mortaliteit te veroorzaken.

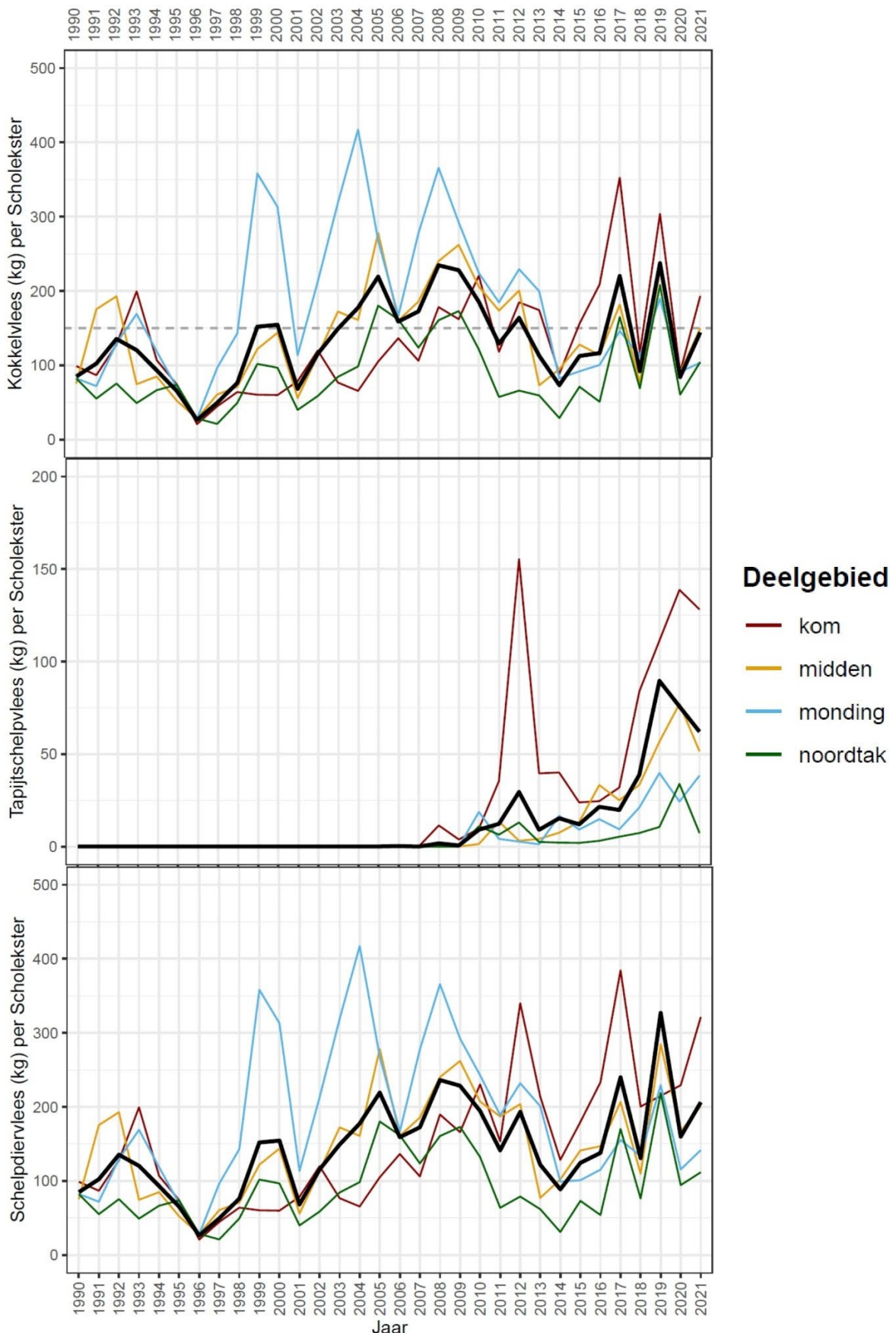
Een laatste verschil met de regressie analyse voor het analyseren van de deelgebieden, is dat nu de factor jaar is ingebouwd als een gecorreleerd temporeel effect, door middel van een "first-order autoregressive" (AR1) model (Zuur et al. 2017). Door toepassing van een random walk worden temporele trends ondervangen, waarbij in het model de correctiefactor van jaar j afhankelijk wordt de gemodelleerde verwachte waarde (trend) voor dSE in jaar $j-1$ (Zuur et al., 2017). Deze correlatie structuur voegt een verwachte waarde toe aan het model ($\mu_{v,j}$), die variabele is over tijd maar afhangt van wat er daarvoor in de tijd is gebeurd. De trend $\mu_{v,j}$ in jaar j is afhankelijk van de trend $\mu_{v,j-1}$ in het voorgaande jaar. Deze zogenoemde "random walk trend" is onafhankelijk van het deelgebied en maakt het mogelijk om een temporele trend op te vangen die niet in de andere variabele(n) aanwezig is.

4 Resultaten

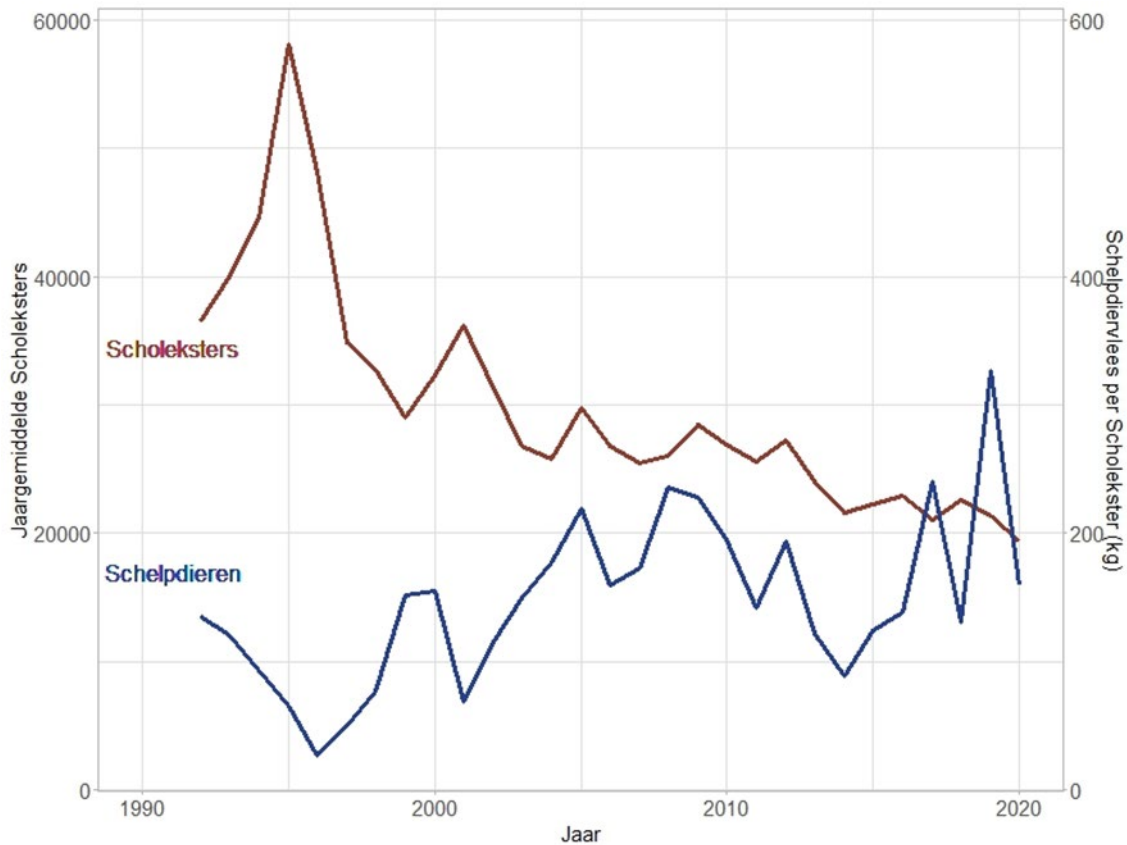
4.1 Temporele trends

Zoals al eerder beschreven is het aantal scholeksters over de reeks van jaren waarvoor vogeltellingsgegevens beschikbaar zijn sterk afgenomen (Figuur 1). Merk op dat de jaargemiddelden gepresenteerd in deze studie een geflatteerd beeld schetsen, omdat twee "magere" maanden (juni en juli) niet in deze studie zijn meegenomen (zie ook 2.1). Het jaargemiddelde aantal scholeksters in de Oosterschelde komt op basis van onze (onvolledige) data pas in 2013 onder het instandhoudingsniveau, maar bevindt daar zich op basis van de gegevens van SOVON al sinds 2005 (SOVON, 2023). In onze data zien we tot c.a. 2000 eerst een sterke toename gevolgd door een sterkste afname in de aantallen scholeksters. Als we kijken naar de hoeveelheid schelpdieren gedurende deze periode zien we in onze data dat de hoeveelheid kokkels destijds ook consistent beneden het reserveringsbeleid van 150 kg per vogel lag (Figuur 4.1). Tapijtschelpen hadden zich in deze periode nog niet in de Oosterschelde gevestigd. In de volgende periode (2000 tot c.a. 2012) lijken de aantallen scholeksters min of meer stabiel te zijn. Interessant genoeg lag de hoeveelheid kokkels toen ook relatief langdurig dichtbij of onder de beleidsdoelstelling van 150 kg per scholekster. Sindsdien heeft er een verdere afname van het aantal scholeksters plaatsgevonden. In dezelfde periode kwam de hoeveelheid kokkels structureel beneden de 150 kg per scholekster te liggen. De hoeveelheid kokkels lijkt sinds c.a. 2016 sterkere fluctuaties te ondervinden, mogelijk (mede) door de zomersterfte die in de afgelopen jaren regelmatig heeft plaatsgevonden (Suykerbuyk et al., 2021; Troost et al., 2022;2023). Door de toename van de hoeveelheid tapijtschelpen, die sinds 2010 sterk is toegenomen, is de totale hoeveelheid schelpdiervlees per vogel in deze periode, ondanks de fluctuaties in de hoeveelheid kokkels, wel relatief hoog en over lange tijd gezien, tamelijk constant (Figuur 4.1; zie ook: Troost et al., 2023).

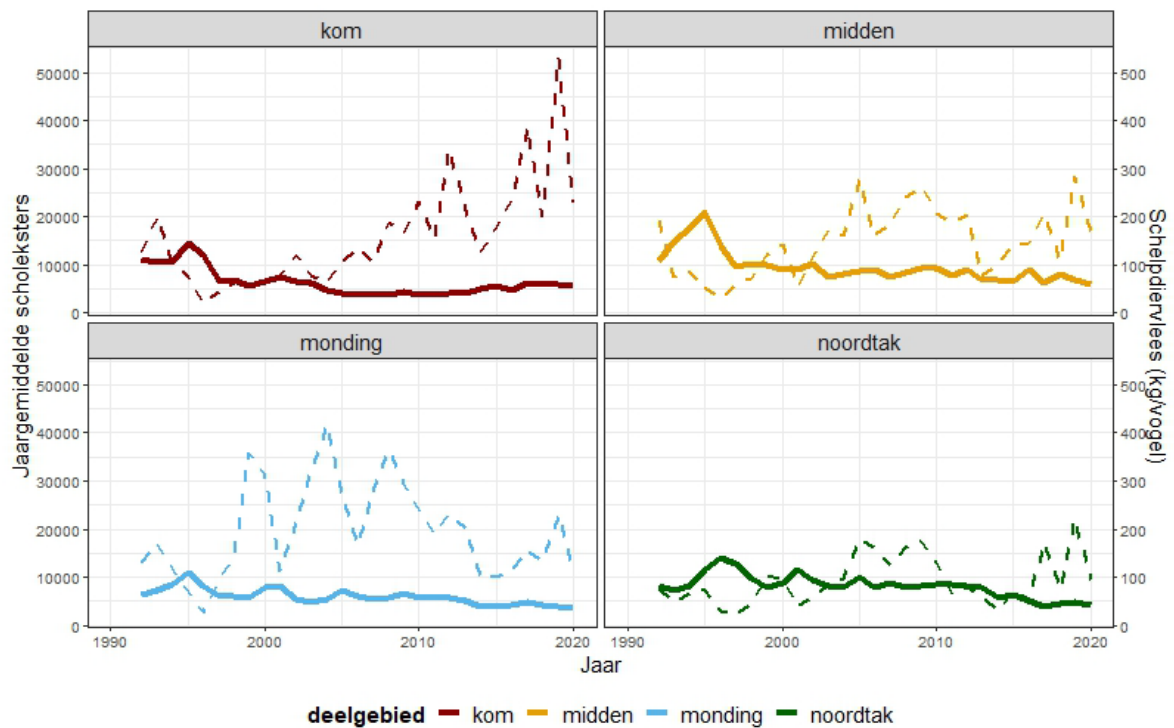
Als we vervolgens het temporele verloop van de jaargemiddelden en hoeveelheid schelpdiervlees tegen elkaar uitzetten (Figuur 4.2-4.3), zien grofweg toenemende hoeveelheden schelpdiervlees per scholekster tegenover afnemende aantallen scholeksters. Deze trend is vooral goed te zien als we naar de hele Oosterschelde kijken (figuur 4.2). Als we goed naar de figuren kijken valt het wel op dat momenten van plotselinge afname in de hoeveelheden kokkels per scholekster vaak 2-3 jaar later worden gevolgd door een dipje in de scholekster aantallen (Figuur 4.2-4.3). Dit is vooral goed te zien in kom, monding en noordtak, tot ca. 2005. In deelgebied midden gebeurt dit ook na 2005 nog. Andersom zorgen pieken in de hoeveelheid schelpdieren per scholekster niet of nauwelijks voor toenames in de aantallen scholeksters. Vooral na 2005 lijkt er in alle gebieden een doorzettende afname in het aantal scholeksters te zijn, ondanks relatief hoge hoeveelheden schelpdieren per vogel (met uitzondering van deelgebied monding, maar daar is de hoeveelheid schelpdieren relatief consistent en hoog in vergelijking met de andere deelgebieden). Deze observatie wekt de suggestie dat er een mogelijke vertraging zou kunnen zitten in de relatie tussen schelpdieren en de vogels. Om deze reden hebben wij ervoor gekozen niet alleen de hoeveelheid schelpdieren in hetzelfde jaar als de vogeltellingen mee te nemen in onze regressie analyse, maar ook de hoeveelheden schelpdieren 1, 2 en 3 jaar eerder. Het gevolg hiervan is wel dat de eerste drie jaar aan data incompleet is en de modelstudie dus gebaseerd wordt op data van 1992-2022.



Figuur 4.1 Temporeel verloop van de hoeveelheid schelpdieren (A: kokkels, B: tapijtschelpen, C: beide samen) per scholekster per jaar in de Oosterschelde. Weergegeven zijn de hoeveelheden per scholekster binnen het eigen deelgebied (kleuren) en voor de Oosterschelde als geheel (zwart). De grijze stippellijn representeert het huidige beleidsdoel van het voedselreserveringssysteem (150 kg kokkelvlees per individu). Voor tapijtschelpen en de som van de hoeveelheid kokkels en tapijtschelpen is er momenteel geen beleidsdoelstelling.



Figuur 4.2. Temporeel verloop van de scholeksterstand over de hele Oosterschelde regio en de beschikbare hoeveelheid schelpdiervlees (kokkels + tapijtschelpen) over de hele Oosterschelde. Pieken in de hoeveelheid schelpdiervlees per scholekster worden zichtbaar niet per definitie gevolgd door toenames in de scholekster aantallen.



Figuur 4.3. Temporeel verloop van de scholeksterstand per deelgebied en beschikbare hoeveelheid schelpdiervlees (tapijtschelp + kokkels, kg per scholekster) binnen desbetreffend deelgebied. Gestreepte lijn representeert de schelpdieren, vaste lijn representeert de scholeksters.

4.2 Recente jaren

Als we inzoomen op de periode 2014-2022 (tabel 4.1), vallen er meerdere zaken op. Ten eerste zien we een bijna structureel tekort aan kokkelvlees: slechts in twee van de acht jaar was er voldoende kokkelvlees. Verder lijkt het "overschot" aan kokkels, in de jaren dat daar sprake van is, heel hoog. Echter compenseren deze enkele goede jaren niet de slechte jaren: er was over deze acht jaar een gemiddeld tekort van 15,07 kg kokkelvlees per scholekster, indien er in de goede jaren niet op kokkels is gevist. Als we kijken naar de bijdrage van tapijtschelpen, zien we dat alleen in de laatste twee jaar de bijdrage van tapijtschelpen genoeg was om het tekort aan kokkelvlees op te vullen. Als laatste kan zien we hier heel duidelijk wat in bovenstaande figuren (figuur 4.2-4.3) ook al kon worden opgemaakt: jaren met voldoende kokkelvlees worden niet per definitie gevolgd door toenames in scholeksters en andersom was er in de jaren voor een toename in het aantal scholeksters niet per definitie genoeg kokkelvlees.

Tabel 4.1. Samenvatting van de informatie over het verloop van de scholeksteraantallen en beschikbaarheid van kokkel- en tapijtschelpdier-vlees over de periode 2014-2022. JG = aantal scholeksters jaargemiddeld, berekend voor de hele Oosterschelde.

Jaar	Scholeksters (JG)	kg kokkelvlees per vogel	kg tapijtschelp-vlees per vogel	kg Schelpdier-vlees per vogel	Tekort o.b.v. kokkels (kg/vogel)	Tekort o.b.v. kokkel- en tapijtschelpen (kg/vogel)	Aantal scholeksters (JG) in opvolgend jaar	Toename vogels (JG)
2014	21581	73.20	15.30	88.49	76.80	61.51	22254	673
2015	22254	112.38	12.03	124.41	37.62	25.59	22862	608
2016	22862	116.31	21.47	137.79	33.69	12.21	20984	-1879
2017	20984	220.04	19.81	239,84	-70.04	-89.84	22560	1576
2018	22560	91.94	38,85	130.79	58.06	19.21	21320	-1240
2019	21320	237.30	89.57	326.87	-87.30	-176.87	19340	-1980
2020	19340	84.04	75.73	159.78	65.96	-9.78	19064	-276
2021	19064	144.23	62.08	206.31	5.77	-56.31	N.N.B.	N.N.B.

4.3 Deelgebieden

De resultaten van een eerste analyse van de afhankelijkheid van de verschillende deelgebieden, wijzen uit dat hypothese 3 het meest aannemelijk is (Tabel 4.2, Bijlage 1).

We doen dus de volgende model aanname: *De scholeksteraantallen zijn sterker afhankelijk van de voedselvoorziening over de hele Oosterschelde dan binnen het eigen deelgebied; maar de aantallen scholeksters geteld in deelgebied d zijn sterker afhankelijk van de aantallen in het voorgaande jaar in dat zelfde deelgebied dan van de vogelstand vorig jaar over de hele Oosterschelde.*

In de volgende statistische modellen (Sectie 3.2.2; 4.4-4.5) maken wij dus onderscheid tussen de scholekster subpopulaties in de verschillende deelgebieden. In andere woorden: we modelleren de verandering in het aantal scholeksters per jaar per deelgebied ($SE_{d,j-1}$) (in plaats van per jaar voor het hele gebied (SE_{j-1})). Dit heeft ook als voordeel dat eventuele verschillen in de deelgebieden kunnen worden onderzocht. Het betekent ook dat we een mixed effect model moeten gebruiken, waarbij deelgebied als random effect wordt meegenomen, om pseudo-replicatie te voorkomen (zie ook sectie

3.2). De hoeveelheden beschikbare biomassa kokkels en tapijtschelpen, per scholekster, worden echter wel over de hele Oosterschelde genomen (T_j, K_j). Overigens lijkt het geen significant verschil te maken of we het voedsel over de hele Oosterschelde of per deelgebied gebruiken (Tabel 4.2). Omdat de DIC voor H3 het laagst is en het daarbij het bestuderen van eventuele verschillen tussen de deelgebieden makkelijker maakt, gebruiken we wel het voedsel per vogel over de hele Oosterschelde als variabele mee in het model (in plaats van per vogel per deelgebied).

Tabel 4.2. Model output voor hypothesen 1-4 ten behoeve van a priori analyse (Bijlage 1). Het model met de laagste DIC en WAIC waarde wordt aangenomen het beste te zijn. Over het algemeen geldt dat een verschil kleiner dan 10 niet significant is. Er is dus geen significant verschil tussen hypothesen 1 en 3.

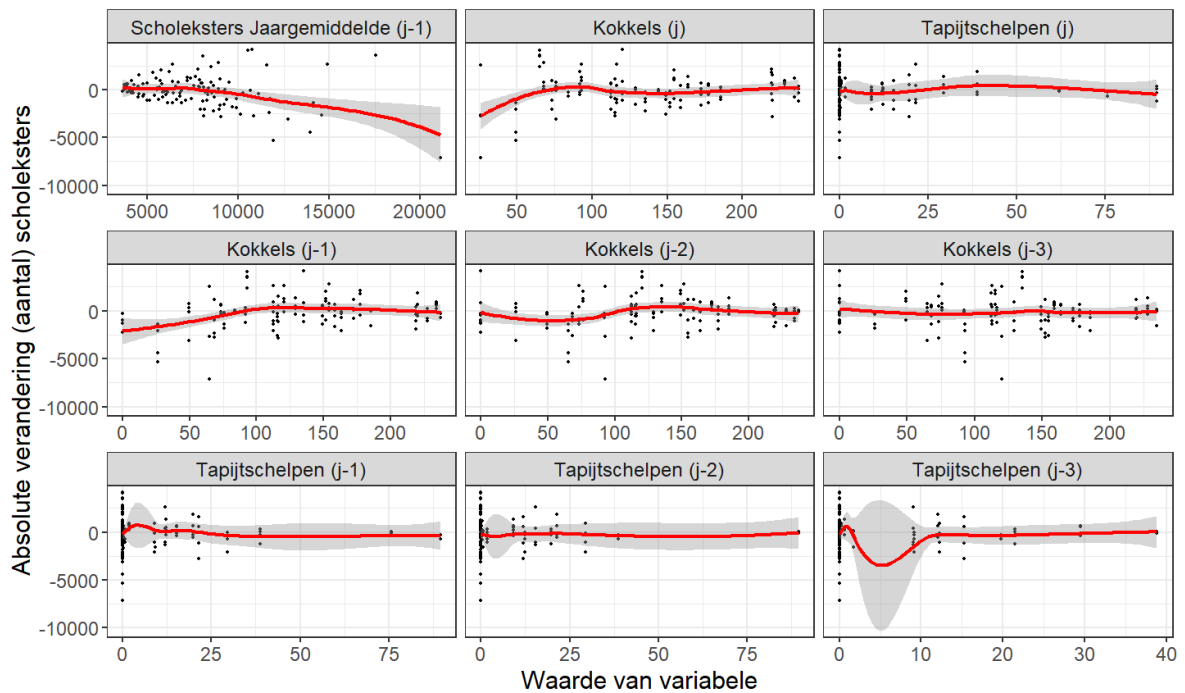
Hypothese	Formule	DIC	WIC
1	$\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_{d,j} + T_{d,j} + \varepsilon_i + a_d$	441.14	444.22
2	$\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{j-1} + K_{d,j} + T_{d,j} + \varepsilon_i + a_d$	498.16	500.58
3	$\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_j + T_j + \varepsilon_i + a_d$	437.08	441.24
4	$\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{j-1} + K_j + T_j + \varepsilon_i + a_d$	498.02	500.37

4.4 Absolute verandering

Als we de relatie tussen de absolute verandering in het jaargemiddelde scholeksters geobserveerd in deelgebied d in jaar j , versus de beschikbare variabelen visueel inspecteren dan zien we niet direct veelbelovende relaties (Figuur 4.4-4.5). Met uitzondering van een aantal relatief hoge observaties voor de absolute verandering, zien we wel een negatief verband tussen de absolute verandering en het aantal scholeksters in het deelgebied in het voorgaande jaar. De relatie met kokkels in jaar j en jaar $j-1$ lijkt bij hele kleine hoeveelheden kokkels per vogel positief te zijn. De relatie met kokkels in jaar $j-3$ lijkt bijna horizontaal (= geen relatie). Er is geen duidelijke relatie met de hoeveelheid tapijtschelpen te zien, dit zou overigens grotendeels kunnen worden veroorzaakt doordat we voor het grote aantal nul-observaties voor tapijtschelpen, omdat ze pas sinds ca. 2010 in het Oosterscheldegebied voorkomen en de scholeksters toen al in relatief lage aantallen voorkwamen.



Figuur 4.4. Relatie tussen de absolute verandering in het aantal scholeksters per deelgebied en de totale hoeveelheid schelpdiervlees (kokkel plus tapijtschelp, kg/vogel). Gestreepte lijn representeert de schelpdieren, vaste lijn representeert de scholeksters.

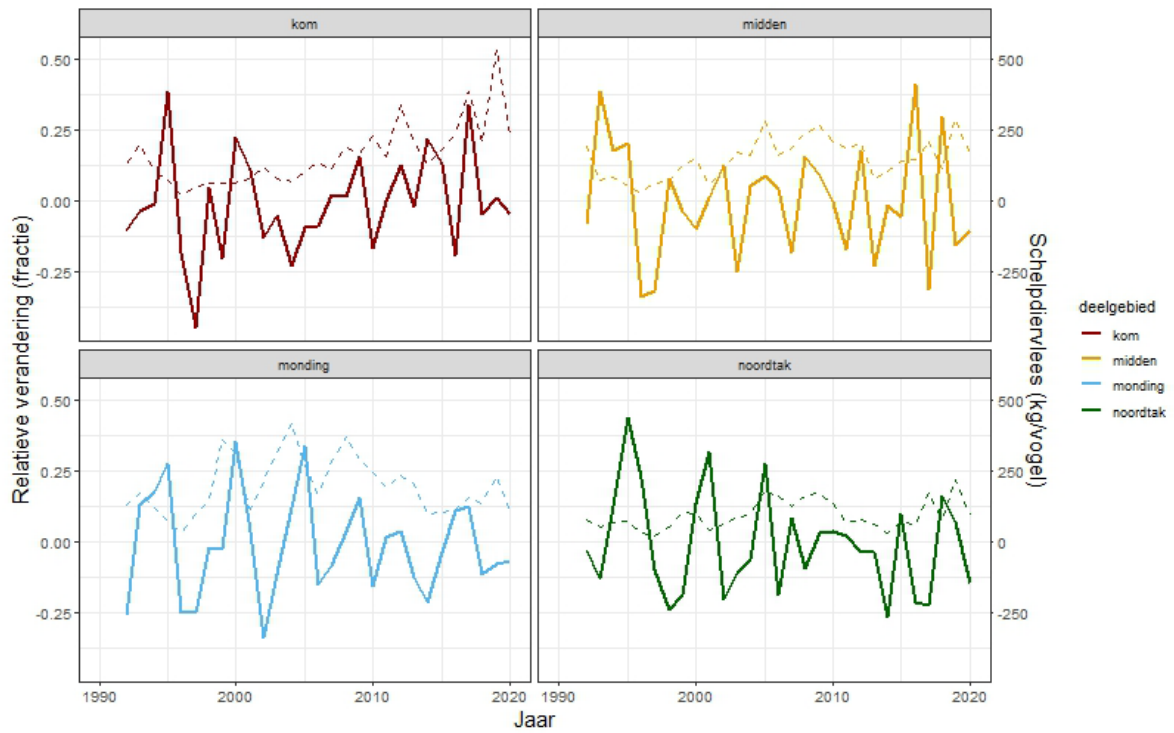


Figuur 4.5. Absolute veranderingen in het jaargemiddeld aantal scholeksters per deelgebied, als functie van de verschillende beschikbare variabelen. Absolute verandering in aantallen scholeksters representeert het jaargemiddelde van hetzelfde deelgebied ten opzichte van het voorgaande jaar, in duizenden vogels. Schelpdieren in kilogrammen schelpdiervlees per scholekster, genomen over de hele Oosterschelde.

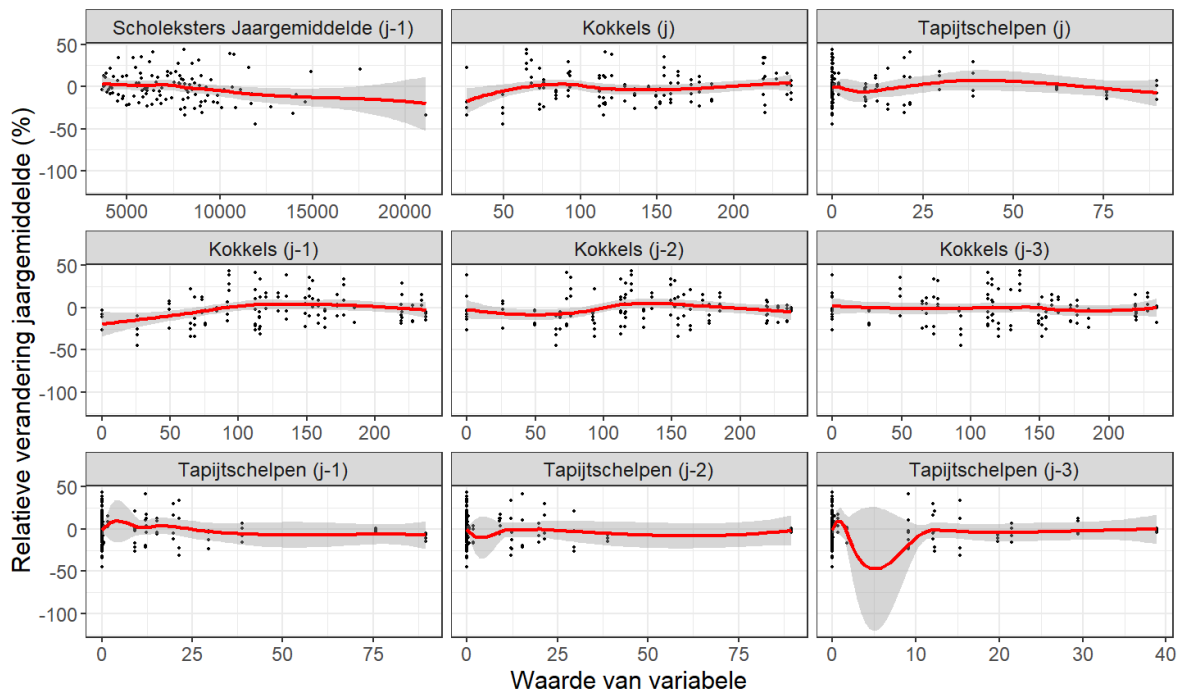
De model output voor het beste model (statistische details in Bijlage 2) dat de absolute verandering in het deelgebied-jaargemiddelde scholeksters ten opzichte van het voorgaande jaar beschrijft, laat zien dat alleen $SE_{d,j-1}$, de random factor deelgebied en de random walk op basis van de factor jaar, belangrijk is. De hoeveelheden kokkel- en tapijtschelpvlees zijn niet belangrijk.

4.5 Relatieve verandering

Als we de relatie tussen de relatieve verandering in het jaargemiddelde scholeksters geobserveerd in deelgebied d in jaar j , versus de beschikbare variabelen visueel inspecteren, dan zien we vrijwel hetzelfde als voor de absolute verandering: niet direct veelbelovende relaties (Figuur 4.6-4.7). De relatie met de hoeveelheid scholeksters in het voorgaande jaar ziet er iets consistentter uit. De relatie met de hoeveelheid kokkelvlees in het voorgaande jaar lijkt iets meer een lineair verband te benaderen vergeleken met de absolute verandering.



Figuur 4.6. Relatie tussen de relatieve verandering in het aantal scholeksters per deelgebied en de totale hoeveelheid schelpdieren vlees (kokkel plus tapijtschelp, kg/scholekster). Gestreepte lijn representeert de schelpdieren, vaste lijn representeert de scholeksters.



Figuur 4.7. Relatieve verandering jaargemiddelde scholekster aantallen per deelgebied, als functie van de weergegeven variabelen. Schelpdieren in kilogrammen schelpdieren vlees per scholekster, genomen over de hele Oosterschelde.

Op basis van de model output van het beste model (Statistische details gegeven in Bijlage 3) toegepast op de relatieve verandering in het jaargemiddelde scholeksters per deelgebied, blijkt dat alleen het aantal scholeksters in het voorgaande jaar ($SE_{d,j-1}$), de hoeveelheid kokkelvlees per vogel in het jaar 3 jaar voorafgaand aan de observatie ($K_{d,j-3}$), de random factor deelgebied en de random walk op basis van jaar van significant belang zijn. Uit verdere backward selectie bleek dat een model waar waar $SE_{d,j-}$

μ en $K_{d,j-3}$ in zitten geen betere DIC en WAIC oplevert dan een model zonder: er is dus wel een relatie te onderscheppen maar ze zijn niet belangrijk. Met andere woorden: het verband tussen de hoeveelheid schelpdieren en veranderingen in scholekster aantallen is niet sterk genoeg, zoals al te zien is in de data exploratie figuur (Figuur 4.7) hierboven; de lijn loopt is bijna horizontaal.

4.6 Verbanden binnen deelgebieden en seizoenjaren

De correlatiecoëfficiënt (Tabel 4.3) tussen geobserveerde veranderingen in het deelgebied-jaargemiddelde aantallen scholeksters, in hetzelfde jaar (0.19), is groter dan de correlatie tussen twee observaties die zijn gedaan binnen hetzelfde deelgebied (6.09×10^{-5}). Hetzelfde geldt voor de geobserveerde relatieve veranderingen, waar de correlatie tussen twee observaties binnen hetzelfde jaar 0.12 is en het tussen observaties binnen hetzelfde deelgebied (3.81×10^{-3}). De correlatie voor het random effect deelgebied is verwaarloosbaar klein. Dit laat zien dat er over alle deelgebieden relatief gelijke veranderingen over tijd plaatsvinden in het aantal scholeksters. Dit is volledig in lijn met de eerder besproken resultaten (vooral het feit dat het random effect een zeer kleine bijdrage leverde aan de modellen en slechts tot minimale verschillen leidde).

Tabel 4.3. Intra-class correlatiecoëfficiënten voor deelgebied en jaar

Model		Residual error (ϵ_i)	Random effect deelgebied (a_d)	Temporele random walk (v_j)
Absolute verandering	Sigma	1.37	0.65	0.01
	Intraclass correlatie	-	6.00×10^{-5}	0.19
Relatieve verandering	Sigma	0.17	0.02	0.01
	Intraclass correlatie	-	3.81×10^{-3}	0.12

Op basis van deze intra-class correlatie coëfficiënten (Tabel 4.3) kunnen wij concluderen dat temporele correlaties belangrijker zijn dan correlaties tussen observaties binnen hetzelfde deelgebied, en dat er over alle deelgebieden relatief gelijke veranderingen plaats hebben gevonden in de aantallen scholeksters. Dit geldt voor zowel de absolute als de relatieve veranderingen in de aantallen scholeksters.

5 Interpretatie & Discussie

5.1 Minimumvoorraad schelpdieren

De minimumvoorraad van 150 kg kokkelvles per scholekster wordt met grote regelmaat niet gehaald. Wij zien op basis van deze feiten sterke gronden om het huidige beleid te herzien en additionele maatregelen te nemen. Het is zorgwekkend dat de voorraad kokkelvles met zo'n grote regelmaat onder het vastgestelde minimum van 150 kg/scholekster ligt. Om consistent voldoende voedselvoorraad voor de scholeksters in de Oosterschelde veilig te stellen, zou het dus geen vreemde gedachte zijn om ook andere schelpdier soorten in het voedselreserveringsbeleid te betrekken. Het is echter wel zo, dat andere gemonitorde schelpdieren (nonnetjes (*Tallina calcarea*), platte slijkgapers (*Scrobicularia plana*), strandgapers (*Mya arenaria*) weinig toevoegen aan de biomassa schelpdiervles in het litoraal van de Oosterschelde (Troost et al., 2023). De grote onbekende is de mossel, waarvan relatief veel DNA werd gevonden in scholekster feces in de Oosterschelde (van Donk et al., 2023).

5.2 Verband tussen scholeksteraantallen en schelpdierbestand

Op basis van bovenstaande resultaten stellen wij vast dat de schommelingen in de hoeveelheid voedsel, dat wil zeggen de geobserveerde schommelingen van de scholeksteraantallen in de Oosterschelde geen directe relatie laten zien met de jaarlijkse schommelingen in de hoeveelheden kokkel- en tapijtschelpvles. Ook een vertraagd effect van de fluctuaties in het schelpdierenbestand, op de aantallen scholeksters in de 1, 2 of 3 jaar daarna, is niet (sterk) in de data teruggevonden. De beschikbare data toont daarnaast geen duidelijk verband tussen de algehele afname van de scholeksterpopulatie en de relatief constante hoeveelheid kokkels en tapijtschelpen over de studieperiode.

Het is niet aan te raden om het voedselreserveringssysteem per direct op te heffen vanwege de ontbrekende relatie tussen de scholeksteraantallen en hoeveelheid kokkelvles op basis van de informatie in deze studie. Merk op dat het gebrek aan een significante statistische relatie **niet** betekent dat het volledig of grotendeels wegvissen van kokkels, tot beneden de huidige minimum voorraad van 150 kg/vogel, geen sterkere afname van het aantal scholeksters teweeg zou kunnen brengen. De data is hiervoor namelijk ontoereikend: de hoeveelheid kokkels (alsmede de totale hoeveelheid schelpdieren) heeft over de gehele periode onder en rond de 150 kg/vogel geschommeld en is niet voor langdurige periodes ver boven of ver onder dit getal uitgekomen. Om iets te zeggen over de effectiviteit deze voedselvoorraad is er informatie nodig over het verloop van de scholeksteraantallen tijdens een langdurige periode waarin er aan dit minimum wordt voldaan. De resultaten van dit onderzoek geven dus geen uitsluitsel over de effectiviteit van het huidige voedselreserveringsbeleid van 150 kg kokkelvles per scholekster, alsmede biedt het geen informatie over de mogelijke (negatieve) gevolgen van het loslaten van het huidige voedselreserveringsbeleid.

Het feit dat in de nu voorliggende studie de hoeveelheid schelpdiervles (van enkel kokkels en tapijtschelpen), geen statistisch aantoonbare relatie laat zien met de aantalsontwikkeling van de scholeksters, laat zich als volgt verklaren:

Ten eerste is er het feit dat kokkels en tapijtschelpen niet de enige primaire voedselbronnen van de scholeksters zijn. Omdat slechts twee schelpdiersoorten, kokkels en tapijtschelpen zijn beoordeeld, die samen wellicht een minderheid van het dieet van de scholeksters vormen (van Donk et al., 2023), achten we onderzoek naar de rol van met name mosselen in de relatie tussen het totale voedsellandschap en de aantallen scholeksters in de Oosterschelde van groot belang. Wellicht zal er wel een verband te vinden zijn tussen de voedselvoorraad en de aantallen scholeksters, wanneer het

volledige dieet, of op zijn minst alle primaire voedselbronnen van de scholeksters worden meegenomen in een vergelijkbare studie.

Ten tweede is het aannemelijk dat er al vele jarenlang een structureel voedseltekort heerst in de Oosterschelde, verdergaand dan alleen kokkels en tapijtschelpen. Dit zou zowel de langjarige afname in de vogelaantallen kunnen verklaren, alsook het ontbreken van een directe relatie tussen deze aantallen en de hoeveelheid kokkels en tapijtschelpen. Indien de voedselvoorraad altijd te laag is voor de aantallen vogels die hier vanwege de instandhoudingsdoelstelling zouden moeten verblijven, dan is het systeem simpelweg op weg naar een nieuw evenwicht: met minder vogels. In dit scenario doen relatief kleine fluctuaties in het voedsellandschap niet ter zake en blijven de aantallen vogels structureel dalen, totdat deze het niveau hebben bereikt dat past bij de huidige draagkracht van het systeem (momenteel een systeem waar in ieder geval niet consequent 150 kg kokkels/scholekster beschikbaar is).

5.3 Afnemende scholekster aantallen: Additionele overwegingen

Verder moet er rekening gehouden worden met andere factoren die, naast de hoeveelheid schelpdier vlees afkomstig van kokkels en tapijtschelpen, de aantallen scholeksters in de Oosterschelde mede zouden kunnen bepalen:

Ten eerste is er in dit onderzoek geen rekening gehouden met de dichtheden, groottes en ruimtelijke verdeling van de kokkels en tapijtschelpen voor de scholeksters. Mogelijk heeft er in de loop van tijd een verandering plaatsgevonden in een of meerdere van deze factoren, wat het foerageersucces van de vogels mede kan beïnvloeden (Rappoldt et al., 2003). Wij adviseren deze factoren in vervolgstudies in meer detail te onderzoeken.

Ten tweede gaat het aantal scholeksters ook landelijk achteruit sinds circa 1985, zowel in de winter als in de zomer (SOVON, 2023; Meininger & SOVON, 2022). Oorzaken hiervan zijn gelegen in zowel de intergetijdengebieden van Nederland (verminderd areaal en kwaliteit van het voedsellandschap) als in de broedgebieden (lage productie van jongen). Indien de lokale trend in de Oosterschelde (ook) samenhangt met broed-biologische parameters, en met ander voedsel dan onderzocht in deze studie (i.e. mosselen), dan hoeft het geen verbazing te wekken dat (alleen) de hoeveelheid kokkel- en tapijtschelpvlees in de Oosterschelde van weinig of geen invloed is op de aantallen vogels ter plaatse.

Ten derde ontbreekt, zoals eerder aangehaald, een hoogstwaarschijnlijk belangrijke voedselbron in de modellen: de mossel. In de eerdere WEBTICS-modelleringen van Rappoldt & Ens (Rappoldt & Ens, 2013) werd hier ook al op gewezen. Meer recent (van Donk *et al.* 2023) liet dieetonderzoek aan scholeksters in de Oosterschelde, aan de hand van feces monsters zien dat DNA van mosselen aanwezig was in 89% van de onderzochte monsters, terwijl respectievelijk 44% en 19% van de monsters ook DNA van tapijtschelpen en kokkels bevatten. Merk op dat in eerste instantie de mossel ook bij het voedselreserveringsbeleid betrokken werd (zie Inleiding). Nota bene is er in de Waddenzee een sterke relatie gevonden tussen afnemende scholekster aantallen in dat gebied en vermindering van de hoeveelheid beschikbare mosselen door invasie van oesters op mosselbanken (van Kleunen et al., 2012). Voor een meer volledig voedselreserveringsbeleid is het dus nodig om het belang van mosselen in het dieet van scholeksters, alsmede de beschikbaarheid van deze prooi soort voor deze vogels in de Oosterschelde nader te onderzoeken en mosselen te mee te nemen in de voedselreservering.

Het ligt voor de hand om, op basis van de beschikbare informatie uit deze studie in combinatie met eerdere rapporten (e.g. Rappoldt et al., 2003; Rappoldt & Ens, 2013; Smit et al., 2000; van Donk et al., 2023; van Kleunen et al., 2012), het voedselreserveringssysteem uit te breiden met een groter aantal prooi soorten, alsmede ook de mossel mee te nemen in de schelpdiermonitoring. Wij adviseren in deze dus om nader te onderzoeken: (1) of er een link kan worden gelegd tussen de scholekster aantallen en de hoeveelheid schelpdieren waarbij op zijn minst alle primaire voedselbronnen worden meegenomen, en (2) of de voedselreservering zou moeten worden gedaan met medeneming van andere belangrijke prooi soorten. En daarnaast om niet uitsluitend de hoeveelheid schelpdier vlees te

onderzoeken, maar ook nader te kijken naar het temporele verloop van dichtheden, grootteverdeling en ruimtelijke verspreiding.

5.4 Tapijtschelpen

Van de tapijtschelpen in de Oosterschelde mogen vooralsnog geen wonderen worden verwacht als nieuwe voedselbron (Figuur 4.1, Tabel 4.1). Tapijtschelpen zijn pas opgekomen toen er al een drastische afname in het aantal scholeksters had plaatsgevonden en hoewel ze de afnemende hoeveelheden kokkels zeker deels aanvullen, heeft hun opkomst niet geleid tot het herstel van de aantallen vogels tot aan het instandhoudingsdoel. *Nota bene*, ook wanneer tapijtschelpen worden meegenomen blijft gedurende het merendeel van de meest recente jaren (2014-2022) het totaal aan schelpdier vlees (van kokkels en tapijtschelpen) beneden het vastgestelde minimum per scholekster (Tabel 4.1). Onze bevinding dat de hoeveelheden kokkel- en/of tapijtschelpvlees in de Oosterschelde geen significante relatie heeft met de aantallen scholeksters, geeft ook aan dat een verdere toename van de voorraad tapijtschelpen, of een terugval, niet garant staat voor een trendbreuk in de aantalsontwikkeling van de scholekster. Andere factoren lijken hierin een veel grotere rol te spelen.

De aanwezigheid van DNA van Tapijtschelpen in het dieet is echter wel veelbelovend (van Donk et al., 2023). Bij een verdere groei van de voorraad tapijtschelpen neemt hun aandeel in het dieet vermoedelijk verder toe, en zou er wel een positieve invloed van deze schelpdiersoort kunnen ontstaan, die de daling in vogelaantallen wellicht zou kunnen doen keren. Wegvissen, of zodanig bevissen dat verdere groep van het bestand aan tapijtschelpen onmogelijk wordt gemaakt, zou een mogelijk voedsel-gerelateerd herstel van de aantallen scholeksters in de kiem kunnen smoren. Niet onbelangrijk hierbij is dat tapijtschelpen, in een verder opwarmende wereld, de kokkel zouden kunnen gaan vervangen, wat het belang van een hoog bestand aan tapijtschelpen voor de vogels nog belangrijker maakt.

5.5 Een nieuw evenwicht?

De scholeksters is een langlevende vogelsoort en volwassen vogels kunnen in jaren met lage hoeveelheden van hun primaire voedselbronnen vaak overleven met behulp van marginale prooien. Het gevolg hiervan is dat hevige fluctuaties in het kokkelbestand niet (direct) voor net zulke extreme schommelingen in het aantal scholeksters hoeven te leiden (Rappoldt et al., 2003). Een eenduidig verband tussen jaarlijkse schommelingen in aantallen scholeksters en het kokkel- en/of tapijtschelpenbestand ligt dus ook niet in de lijn der verwachtingen, zeker gezien het feit dat dit niet het volledige primaire dieet van deze vogelsoort omvat. Massale sterfte onder scholeksters wordt alleen verwacht als alle prooidieren voor langere tijd onbereikbaar zijn, zoals tijdens ijswinters en mogelijk tijdens massale zomersterfte onder kokkels (Rappoldt et al., 2003; Suykerbuyk et al., 2021; Troost et al., 2022;2023). De bijdrage van terrestrische prooien, zoals regenwormen, is nog helemaal onbelicht gebleven, evenals mogelijke effecten van een veranderende praktijk van agrarisch grondgebruik rond de Oosterschelde.

Echter kan structurele voedselschaarste, zelfs indien minimaal, wel degelijk afname in scholekster aantallen veroorzaken. Als de hoeveelheid voedsel consistent lager is dan nodig voor de bestaande vogel populatie, of als de frequentie van slechte voedseljaren hoog is, zal het aantal scholeksters op termijn afnemen (Rappoldt et al., 2003). Zelfs indien de 150 kg gereserveerde kokkels per vogel zonder aanvullende schelpdiersoorten voldoende zou zijn, ligt het dus volledig in de lijn der verwachtingen dat de populatie langzaam blijft afnemen als het kokkelbestand eens in de zoveel jaar beneden dit niveau blijft en er de rest van de jaren alles boven de 150 kg kokkelvlees/vogel mag worden weggevisst. Gezien het feit dat over de huidige studieperiode de hoeveelheid kokkels ca. de helft van de jaren beneden de vastgestelde minimum benodigde hoeveelheid van 150 kg kokkelvlees/vogel was (Figuur 4.1-4.2, Tabel 4.1) mag de algehele afname in scholekster aantallen dus geen verbazing wekken.

6 Conclusies en aanbevelingen

Aan de hand van de vooraf gestelde onderzoeksvragen van deze studie kunnen de resultaten kort worden samengevat in de volgende conclusies:

1. *Was in recente jaren (2014-2022) de vastgestelde minimum hoeveelheid kokkelvles van 150 kg/scholekster in de Oosterschelde voorradig en hoe heeft de populatie hier getalsmatig op gereageerd?*

Op basis van de beschikbare informatie hebben wij kunnen vaststellen dat slechts in twee jaar gedurende de periode 2014-2022 het minimum van 150 kg/kokkelvles per scholekster werd behaald. Over deze periode was er een gemiddeld tekort van 15 kg/kokkelvles per scholekster, onder voorbehoud dat er niets is weggevist. Er lijkt, bij deze lage geobserveerde hoeveelheden kokkelvles per scholekster, geen verband tussen goede of slechte kokkeljaren en toe- of afname in de scholekster aantallen.

2. *Houdt de continuerende afname van het aantal scholeksters een direct verband met de hoeveelheid kokkels en tapijtschelpen?*

Er is geen verband gevonden tussen de beschikbare hoeveelheid schelpdieren (twee soorten) en de lange-termijn afname in aantallen scholeksters. Dat betekent niet per definitie dat de scholekster aantallen geen verband houden met het voedselaanbod, omdat kokkels en tapijtschelpen een minderheid van de dieet van de scholekster vormen. Wij achten daarom onderzoek naar de rol van met name mosselen (en wellicht terrestrische prooien) in de relatie tussen het totale voedsellandschap en de aantallen scholeksters in de Oosterschelde van groot belang.

3. *Is er een vertraagd effect van fluctuaties in de hoeveelheid schelpdiervles per vogel op de scholekster aantallen?*

Ook een verband tussen de beschikbare hoeveelheid schelpdiervles en veranderingen in de scholekster aantallen 1, 2 en 3 jaar later is niet (sterk) in de data gevonden.

4. *Indien er een relatie wordt gevonden, hoe ziet deze er uit en bij welke voedsel voorraad namen de aantallen scholeksters toe, af, of bleven ze constant?*

Wegens gebrek aan een verband tussen de hoeveelheid voedsel en scholekster aantallen gedurende onze studieperiode, kunnen wij geen antwoord geven op deze vraag. Om iets te zeggen over de effectiviteit deze voedselvoorraad is er informatie nodig over het verloop van de scholekster aantallen tijdens een langdurige periode waarin er aan dit minimum wordt voldaan. De resultaten van dit onderzoek geven dus geen uitsluitsel over de effectiviteit van het huidige voedselreserveringsbeleid van 150 kg kokkelvles per scholekster omdat deze hoeveelheid voedsel slechts zelden werd gehaald.

5. *Heeft de opkomst van de tapijtschelp een positief effect op de scholekster aantallen? Met andere woorden: is er reden om deze soort bij het voedselreserveringsbeleid te betrekken?*

Tapijtschelpen zijn pas opgekomen toen er al een drastische afname in het aantal scholeksters had plaatsgevonden en hoewel ze de afnemende hoeveelheden kokkels kunnen aanvullen, heeft hun opkomst niet geleid tot herstel van de aantallen vogels tot aan het instandhoudingsdoel. Het effect van tapijtschelpen op de aantallen vogels is dan wel niet significant over het hele gebied, de aanwezigheid van tapijtschelp DNA in het dieet is wel veelbelovend (van Donk et al., 2023). Bij een verdere groei van de voorraad tapijtschelpen neemt hun aandeel in het dieet van scholeksters vermoedelijk verder toe, dus ons advies is om tapijtschelpen te blijven monitoren en wegvissen van deze soort (alsmede van kokkels) voorlopig te vermijden.

Naast de bovenstaande antwoorden zijn de volgende zaken en discussiepunten naar boven gekomen:

- De dalende trend in aantallen scholeksters heeft Oosterschelde-breed en langdurig plaatsgevonden. Er is in deze geen duidelijk onderscheid tussen de vier deelgebieden: er is geen deelgebied aan te wijzen waar het relatief beter gaat met de scholeksteraantallen. De achterliggende redenen van het compleet uitblijven populatieherstel van scholeksters in de Oosterschelde, moet dus gezocht worden in brede, sturende factoren.
- Het is zorgwekkend dat de voorraad kokkelvles met zulke grote regelmaat onder het minimum blijft. Wij zien hierin aanleiding om, naast kokkels en eventueel tapijtschelpen, meerdere schelpdiersoorten in het voedselreserveringssysteem te gaan betrekken om consistent voldoende voedselvoorraad voor de scholeksters in de Oosterschelde veilig te stellen.
- Het is aannemelijk dat er al vele jaren lang een structureel voedseltekort (niet alleen van kokkels maar ook andere voedselbronnen van de scholeksters) heerst in de Oosterschelde. Dit zou zowel de langjarige afname in de vogelaantallen kunnen verklaren, alsook het ontbreken van een directe relatie tussen deze aantallen en de hoeveelheid kokkels en tapijtschelpen. Indien de voedselvoorraad altijd te laag is voor de aantallen vogels die hier vanwege de instandhoudingsdoelstelling zouden moeten verblijven, dan is het systeem simpelweg op weg naar een nieuw evenwicht: met minder vogels. In dit scenario doen relatief kleine fluctuaties in het voedsellandschap niet ter zake en blijven de aantallen vogels structureel dalen, totdat deze het niveau hebben bereikt dat past bij de huidige draagkracht van het systeem.
- Het is op basis van de gepresenteerde resultaten ten eerste aan te raden om nader onderzoek te verrichten naar (1) andere (primaire) voedselbronnen en (2) naar additionele lokale factoren, zoals een lage reproductie. Zoals in dit onderzoek voor kokkels en tapijtschelpen is gedaan, kan een studie naar de relatie tussen scholeksteraantallen met de hoeveelheid mosselen over de tijd in de Oosterschelde worden (echter zit de mossel pas sinds 2012 in de jaarlijkse monitoring). Of nog beter: een integrale studie die zowel mosselen, kokkels en tapijtschelpen apart en als totale hoeveelheid beschikbaar voedsel onderzoekt, liefst nog met medeneming van andere factoren. Daarnaast is ons advies om nader onderzoek te doen naar bijvoorbeeld de productie van jonge vogels in het gebied dat vogels voor de Oosterschelde aanlevert.
- Wij adviseren om nader onderzoeken te verrichten naar: (1) of er een link kan worden gelegd tussen de scholeksteraantallen en de hoeveelheid schelpdieren waarbij op zijn minst alle primaire voedselbronnen worden meegenomen, en (2) of de voedselreservering zou moeten worden gedaan met medeneming van andere belangrijke prooi-soorten. Daarnaast wordt er geadviseerd om in vervolgstudies niet uitsluitend de hoeveelheid schelpdiervles te onderzoeken, maar ook nader te kijken naar het temporele verloop van dichtheden, grootteverdeling en ruimtelijke verspreiding.

7 Kwaliteitsborging

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

Literatuur

Berg, A., Meyer, R., Statistics, J. Y.-J. of B. and E., & 2004, undefined. (2001). DIC as a model comparison criterion for stochastic volatility models. *Citeseer*.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=91de8d2025102d3a5d003fd2dd189a9d15161176>

Bult, T. P., Ens, B. J., Lanter, R. L. P., Smaal, A. C., & Zwarts, L. (2000). Korte termijn advies voedselreservering Oosterschelde. *Samenvattende Rapportage in Het Kader van EVAII. Rapportage RIKZ/2000*, 42.

CBS, PBL, RIVM, & WUR. (2019). *Kokkels in Waddenzee en Zeeuwse Delta, 1990-2019*. Centraal Bureau Voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau Voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut Voor Volksgezondheid En Milieu, Bilthoven; En Wageningen University and Research, Wageningen.

Craeymeersch, J. A., & Ysebaert, T. (2021). *Ontwikkeling van prooidieren voor steltlopers van slikken en platen in de Oosterschelde (1990-2019)*. Wageningen Marine Research.

Kamermans, P., & Leopold, M. (2021). *De mogelijke rol van de Filipijnse tapijtschelp in de voedselvoorziening voor vogels in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer*.
<https://doi.org/10.18174/548650>

Leeuwen, M. van, Oosterbeek, K., Nienhuis, J., & Allen, A. M. (2019). *Overwinteringsgebieden van in Nederland broedende Scholeksters*.

LNV. (2004). Ruimte voor een zilte oogst. *Ministerie van Landbouw*.

Meininger, P. L. (Peter L.), & SOVON Vogelonderzoek Nederland. (2022). *Avifauna Zeelandica : vogels, vogelaars en vogelonderzoek in Zeeland*.

Rappoldt, C., & Ens, B. J. (2013). Het effect van bodemdaling op overwinterende scholeksters in de Waddenzee. *Een Modelstudie Met WEBTICS. EcoCurves Rapport, 17*, 1–87.

Rappoldt, C., Ens, B. J., Bult, T. P., & Dijkman, E. M. (2003). *Scholeksters en hun voedsel in de Waddenzee*.

Smit, C., Ens, B., & Koks, B. (2000). Afnemende aantallen Scholeksters in Waddenzee. *Sovon-Nieuws, 13*(3), 16–17.

SOVON. (2023). *Eurasian Oystercatcher*. <https://Stats.Sovon.Nl/Stats/Soort/4500>.

Suykerbuyk, W., Van den Bogaart, L., Hamer, A., Walles, B., Troost, K., & Tangelder, M. (2021). *Hittestress op intergetijdenplaten van de Oosterschelde: Gecombineerd onderzoek naar bodemtemperatuurmetingen en kokkelsterfte in de zomer van 2020*. Wageningen Marine Research.

Troost, K., van Asch, M., Cheng, C., & Craeymeersch, J. (2022). *Mogelijkheden voor aanpassing jaarlijkse kokkelinventarisatie aan extreme zomersterfte*. Wageningen Marine Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO).

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, Wageningen Marine Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO). 98 p. (CVO rapport; no. 23.009).

van Donk, S., Leopold, M., van den Ende, D., Keur, M., & Asjes, A. (2023). *De Filipijnse tapijtschelp als mogelijke voedselbron voor vogels in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer*. Wageningen Marine Research.

van Kleunen, A., Ens, B. J., & Smit, C. J. (2012). Het belang van oester-en mosselbanken voor Scholekster en Steenloper. *Sovon-Rapport, 18*, 1–36.

Vogelatlas Sovon - Vogelonderzoek Nederland. (n.d.). Retrieved June 6, 2023, from <https://www.vogelatlas.nl/atlas/soorten/soort/4500>

Watanabe, S. (2021). WAIC and WBIC for mixture models. *Behaviormetrika, 48*(1), 5–21. <https://doi.org/10.1007/S41237-021-00133-Z>

Wickham, H. (2011). ggplot2. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 3*(2), 180–185. <https://doi.org/10.1002/WICS.147>

Wood, S. (2007). *R mgcv-package*. <http://www.endmemo.com/r/mgcv-package.php>

Zuur, A. F. (2012). *A beginner's guide to generalized additive models with R*. Highland Statistics Limited Newburgh.

Zuur, A. F., Elena, N. I., & Anatoly, A. S. (2017). *Beginner's guide to spatial, temporal, and spatial-temporal ecological data analysis with R-INLA Volume I: using GLM and GLMM*. Highland Statistics Ltd. Newburgh United Kingdom.

Zuur, A. F., Ieno, E. (2017). *Spatial, temporal and spatial-temporal ecological data analysis with R-INLA*. *Highstat.Com*. https://www.highstat.com/Books/BGS/SpatialTemp/Zuuretal2017_TOCOnline.pdf

Verantwoording

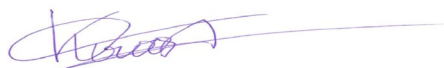
Rapport C044/23a

Projectnummer: 4318100381

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

Akkoord: dr. K. Troost
Onderzoeker mariene ecologie

Handtekening:



Datum: 18-07-2023

Akkoord: dr. J.A.M. Craeymeersch
Onderzoeker mariene ecologie

Handtekening:



Datum: 15-08-2023

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

Handtekening:



Datum: 18-07-2023

Bijlage 1 Modelformulering vooronderzoek deelgebieden

Voor het bepalen van het aggregatieniveau van de data voor verdere analyse, moet worden onderzocht of het jaargemiddelde scholeksters van deelgebied X kan worden gemodelleerd met de variabelen (1a) schelpdiervlees per vogel per deelgebied of (1b) per vogel over de hele Oosterschelde; en (2a) het scholekster jaargemiddelde geobserveerd in voorgaande jaar exclusief het deelgebied X of het jaargemiddelde scholeksters in het voorgaande jaar van over de hele Oosterschelde. Hier modelleren we de absolute aantallen (jaargemiddelde) scholeksters ($SE_{d,j}$) per jaar (j) per deelgebied (d). Wij hebben een aantal hypothesen opgesteld (Hypothese 1-4 hieronder, zie ook Sectie 3.2.1) en bijbehorende formules geformuleerd (F1-F4). Deze formules worden toegepast middels een statistisch model (Model 0), waarbij in alle gevallen wordt uitgegaan van een Gaussian verdeling voor de response variabele ($SE_{d,j}$)

Model 0. $SE_{d,j} \sim N(\mu_{d,j}, \sigma^2)$
 $E(SE_{d,j}) = \mu_{d,j}$ and $Var(SE_{d,j}) = \sigma^2$
 $\mu_{d,j} = \text{Formule } i$

Hypothese 1. De scholeksters foerageren voornamelijk binnen de grenzen van hun eigen deelgebied en de aantallen vogels van een deelgebied zijn sterker afhankelijk van de scholekster aantallen in het voorgaande jaar in dat deelgebied dan van de vogelstand vorig jaar over de hele regio.

Formule 1. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_{d,j} + T_{d,j} + \varepsilon_i + a_d$

Hypothese 2. De scholeksters foerageren voornamelijk binnen de grenzen van hun eigen deelgebied; maar de scholekster aantallen in de deelgebieden zijn sterker gerelateerd aan het scholekster aantallen in het voorgaande jaar in dat deelgebied dan van de vogelstand vorig jaar over de hele regio.

Formule 2. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{j-1} + K_{d,j} + T_{d,j} + \varepsilon_i + a_d$

Hypothese 3. De scholekster aantallen zijn sterker afhankelijk van de voedselvoorziening over de hele Oosterschelde dan binnen het eigen deelgebied; maar de aantallen scholeksters geteld in deelgebied X zijn sterker afhankelijk van de aantallen in het voorgaande jaar in dat zelfde deelgebied dan van de aantallen scholeksters over de hele Oosterschelde.

Formule 3. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_j + T_j + \varepsilon_i + a_d$

Hypothese 4. De scholekster aantallen zijn sterker afhankelijk van de voedselvoorziening over de hele Oosterschelde dan binnen het eigen deelgebied; en de scholekster aantallen in de deelgebieden zijn sterker gerelateerd aan het aantal scholeksters in het voorgaande jaar in de hele Oosterschelde dan specifiek binnen hetzelfde deelgebied.

Formule 4. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{j-1} + K_j + T_j + \varepsilon_i + a_d$

Tabel B1.1. Model variabelen van het vooronderzoek naar de deelgebieden

Variabele	Beschrijving
$SE_{d,j}$	Aantal scholeksters (seizoensgemiddelde) in deelgebied d in jaar j
$SE_{d,j-1}$	Jaargemiddelde scholeksters in deelgebied d in jaar $j-1$
SE_{j-1}	Jaargemiddelde scholeksters voor de Oosterschelde in jaar $j-1$
$K_{d,j}$	Massa (kg vlees) kokkels binnen deelgebied d in jaar j , beschikbaar per vogel in deelgebied d
$T_{d,j}$	Massa tapijtschelpen binnen deelgebied d in jaar j , beschikbaar per vogel in deelgebied d
K_j	Massa kokkels beschikbaar per vogel in jaar j over het hele Oosterscheldegebied
T_j	Massa tapijtschelpen beschikbaar per vogel in jaar j over het hele Oosterscheldegebied
j	Jaar
d	Deelgebied
a_d	Random effect deelgebied
ϵ_i	Residual error

Bijlage 2 Hypothese- en modelformulering

Het volledige statistische model (model 1) dat is toegepast voor het onderzoeken van de relatie tussen de hoeveelheid voedsel en de scholekster aantallen, kan als volgt worden geformuleerd:

Model 1.

$$dSE_{d,j} \sim N(\mu_{d,j}, \sigma_d^2)$$
$$E(dSE_{d,j}) = \mu_{d,j} \quad \text{en} \quad \text{Var}(dSE_{d,j}) = \sigma_d^2$$
$$\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_{d,j-n} + T_{d,j-n} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$$
$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$
$$\alpha_d \sim N(0, \sigma_{\text{deelgebied}}^2)$$
$$\mu_{v,j} = \mu_{v,j-1} + v_j \quad \text{en} \quad v_j \sim N(0, \sigma_v^2)$$

Dit model is onderworpen een backward-selectie om de onbelangrijke variabelen uit de modelformule (de formule voor $\mu_{d,j}$) uit het model te filteren. De onderstaande modelformules corresponderen met de geformuleerde hypothesen (zie hieronder). Merk hierbij op dat de relatie tussen veranderingen in de scholekster aantallen met de voedselbeschikbaarheid, is getest voor zowel directe effecten (formule 1a, 2a, 3a) als voor relaties tussen de vogels en het voedsel waarin sprake is van een vertraagd effect (formule 1b, 2b, 3b). Vertraagde effecten zijn getest voor 1, 2 en 3 jaar voor de vogeltelling.

Hypothese 1: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, alsmede aan de hoeveelheid tapijtschelpen en kokkels, en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden.*

Formule 1a. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_{d,j} + T_{d,j} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$

Formule 1b. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_{d,j-n} + T_{d,j-n} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$

Hypothese 2: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, alsmede aan de hoeveelheid kokkels, en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden, maar niet van de hoeveelheid tapijtschelpen.*

Formule 2a. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_{d,j} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$

Formule 2b. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + K_{d,j-n} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$

Hypothese 3: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, alsmede aan de hoeveelheid tapijtschelpen, en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden, maar niet van de hoeveelheid kokkels.*

Formule 3a. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + T_{d,j} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$

Formule 3b. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + T_{d,j-n} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$

Hypothese 4: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar en er zijn consistente verschillen tussen de deelgebieden, maar er is geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen.*

Formule 4. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + \mu_{v,j} + \alpha_d + \varepsilon_i$

Hypothese 5: *De verandering in het aantal vogels is gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, maar er zijn geen consistente verschillen tussen de deelgebieden, en er is geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen.*

Formule 5. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + \mu_{v,j} + \varepsilon_i$

Hypothese 6: *De verandering in het aantal vogels is niet gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, en er is geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen, maar er is wel consistente verschillen tussen de deelgebieden.*

Formule 6. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + \mu_{v,j} + a_d + \varepsilon_i$

Hypothese 7: De verandering in het aantal vogels is niet gerelateerd aan het aantal vogels in het voorgaande jaar, er is ook geen relatie met de hoeveelheid kokkels of tapijtschelpen en zijn geen consistente verschillen tussen de deelgebieden.

Formule 7. $\mu_{d,j} = \text{Intercept} + \mu_{v,j} + \varepsilon_i$

Tabel B1.1. Variabelen van de statistische modellen om de relatie tussen scholeksters en schelpdieren te onderzoeken.

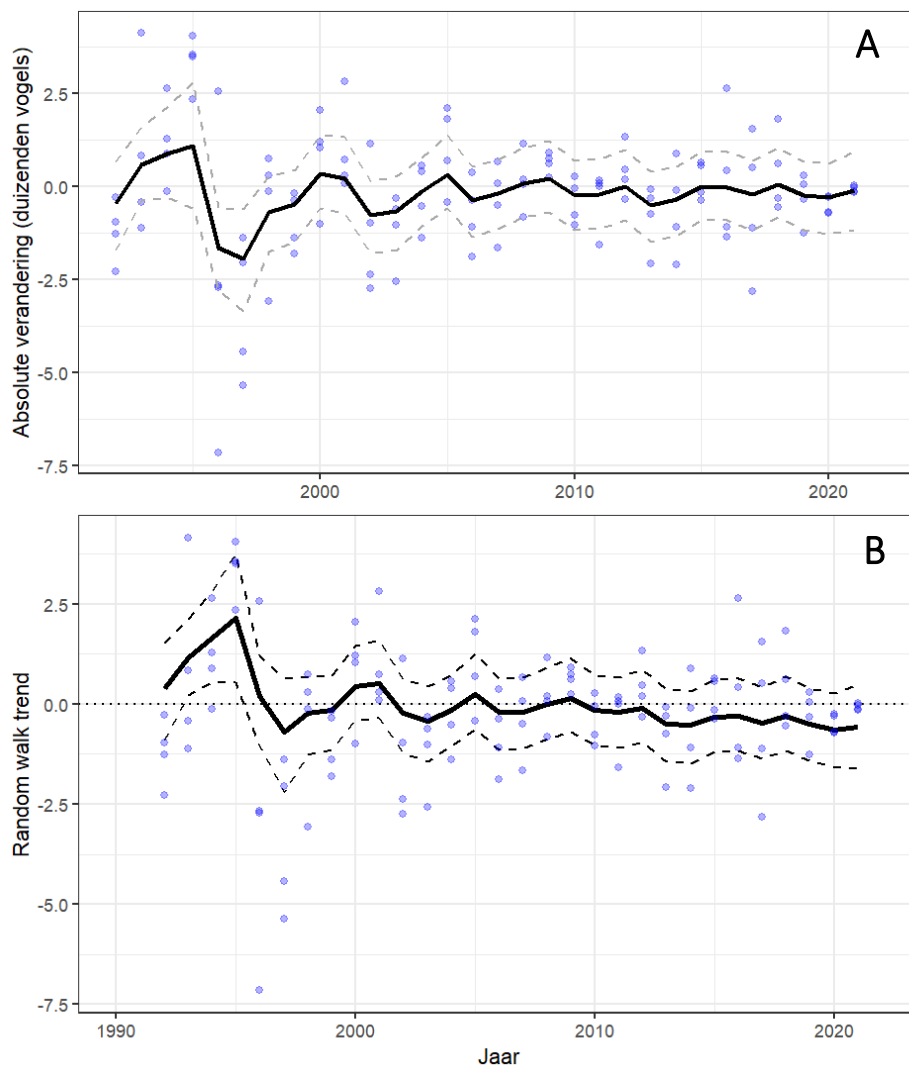
Variabele	Beschrijving
$dSE_{d,j}$	Verschil in aantal (N) scholeksters tussen het jaargemiddelde in jaar j ten opzichte van het seizoensgemiddelde in jaar $j-1$. Kan worden uitgedrukt in aantallen vogels (absoluut) of fractie (relatief).
$SE_{d,j-1}$	Jaargemiddelde scholeksters in deelgebied d in jaar $j-1$
$\mu_{d,j}$	Verwachte waarde voor $dSE_{d,j}$
SE_{j-1}	Jaargemiddelde scholeksters voor de Oosterschelde in jaar $j-1$
$K_{d,j}$	Massa (kg vlees) kokkels binnen deelgebied d in jaar j , beschikbaar per vogel in deelgebied d
$T_{d,j}$	Massa tapijtschelpen binnen deelgebied d in jaar j , beschikbaar per vogel in deelgebied d
K_{j-n}	Massa kokkelvlees (kg) per vogel binnen deelgebied d in jaar $j-n$. Getest voor $n=1,2,3$.
T_{j-1}	Massa tapijtschelpenvlees (kg) per vogel binnen deelgebied d in jaar $j-n$. Getest voor $n=1,2,3$.
$\mu_{v,j}$	Random walk trend op basis van jaar j
j	Jaar
d	Deelgebied
a_d	Random effect deelgebied
ε_i	Residual error

Bijlage 3 Absolute Verandering

Het beste model (het model met alleen de belangrijke variabelen; na backward selectie, met model 1 als startpunt) voor de absolute verandering in het aantal scholeksters binnen deelgebied d , ten opzichte van het voorgaande jaar $j-1$ ($dSE_{d,j}$) kan worden beschreven als:

Model 2³.

$$dSE_{d,j} \sim N(\mu_{d,j}, \sigma^2)$$
$$E(dSE_{d,j}) = \mu_{d,j} \text{ and } Var(dSE_{d,j}) = \sigma^2$$
$$\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{j-1} + \mu_j + a_d + \varepsilon_i$$
$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$
$$a_d \sim N(0, \sigma_{\text{deelgebied}}^2)$$
$$\mu_j = \mu_{j-1} + v_j \text{ and } v_j \sim N(0, \sigma_v^2)$$



Figuur B3.1. Model output voor de absolute verandering, blauwe punten zijn geobserveerde waarden, grijze gestreepte lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. **(A)** Gefitte model uitkomsten (zwarte lijn) voor de absolute verandering in de aantallen scholeksters per deelgebied, van jaar op jaar. Deze figuur laat de "gemiddelde" verwachte waarde voor $dSE_{d,j}$ zien: merk op dat de uiteindelijke waarde van de verandering in scholeksteraantallen voor jaar j in deelgebied d afhankelijk is van het aantal vogels in het voorgaande jaar, de random walk trend die een correctie toepast voor ieder jaar (Tabel B3.2) en een correctie voor verschillen tussen deelgebieden (Tabel B3.3). **(B)** Gefitte random walk trend (zwarte lijn) voor de absolute veranderingen in aantallen scholeksters van jaar tot jaar. Blauwe punten

³ Zie Bijlage 1 voor beschrijving van de toegepaste variabelen en afkortingen

zijn geobserveerde waarden, gestreepte lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. De gestippelde horizontale lijn door $y=0$ geeft de verwachte lijn weer wanneer er geen temporele trend zou zijn.

Met de gefitte parameters van het beste model Tabel B3.1-3.3) invullen, volgt hieruit:

$$\begin{aligned} \mu_{d,j} &= 1.149 (\pm 0.476) - 0.221 (\pm 0.060) * SE_{j-1} + a_d + \mu_j + \varepsilon_i \\ dSE_{d,j} &\sim N(\mu_{d,j}, 1.36^2) \\ \varepsilon_i &\sim N(0, 1.36^2) \\ a_d &\sim N(0, 0.01^2) \\ \mu_j &= \mu_{j-1} + v_j \text{ met } v_j \sim N(0, 0.67^2) \end{aligned}$$

Tabel B3.1. Parameter waarden voor het modelleren van de absolute verandering in het jaargemiddelde scholeksters per deelgebied. De absolute verandering en de parameter $SE_{d,j-1}$ zijn uitgedrukt in duizenden vogels. Gefitte waarden voor het random effect deelgebied en random walk trend (o.b.v. jaar) zie tabel B3.2-3.2.

Model parameter	Gemiddelde	Standaard error
Intercept	0149	0.476
$SE_{d,j-1}$	-0.221	0.060

Als we de gefitte waarden voor het random effect deelgebied (tabel B4.2) invullen krijgen we een formule voor ieder deelgebied:

$$\begin{aligned} \mu_{kom,j} &= 1.149 (\pm 0.476) - 0.221 (\pm 0.060) * SE_{j-1} - 4.48 \times 10^{-4} (\pm 9.73 \times 10^{-3}) + \mu_j + \varepsilon \\ \mu_{midden,j} &= 1.149 (\pm 0.476) - 0.221 (\pm 0.060) * SE_{j-1} + 6.94 \times 10^{-4} (\pm 9.76 \times 10^{-3}) + \mu_j + \varepsilon_i \\ \mu_{monding,j} &= 1.149 (\pm 0.476) - 0.221 (\pm 0.060) * SE_{j-1} - 5.67 \times 10^{-4} (\pm 9.75 \times 10^{-3}) + \mu_j + \varepsilon_i \\ \mu_{noordtak,j} &= 1.149 (\pm 0.476) - 0.221 (\pm 0.060) * SE_{j-1} + 3.22 \times 10^{-4} (\pm 9.73 \times 10^{-3}) + \mu_j + \varepsilon_i \end{aligned}$$

Tabel B3.2. Gefitte waarden voor het random effect deelgebied voor het beschrijven van de absolute veranderingen in het deelgebied-jaargemiddelde scholeksters (Model 2).

Deelgebied	Gemiddelde	Standaard Deviatie
Kom	-4.4×10^{-4}	9.7×10^{-3}
Midden	7.2×10^{-4}	9.7×10^{-3}
Monding	-5.5×10^{-4}	9.7×10^{-3}
Noordtak	2.6×10^{-4}	9.7×10^{-3}

Tabel B3.3. Gefitte waarden voor de random walk trend voor het beschrijven van de absolute veranderingen in het deelgebied-jaargemiddelde scholeksters (Model 2).

Seizoensjaar	Gemiddelde	Standaard Deviatie
1992	0.38	0.62
1993	1.15	0.48
1994	1.65	0.60
1995	2.15	0.91
1996	0.19	0.58
1997	-0.71	0.78
1998	-0.22	0.50
1999	-0.14	0.47
2000	0.45	0.47
2001	0.52	0.51
2002	-0.22	0.46
2003	-0.42	0.49
2004	-0.15	0.44
2005	0.24	0.48
2006	-0.21	0.44
2007	-0.20	0.44
2008	-9.61x10 ⁻³	0.44
2009	0.14	0.46
2010	-0.15	0.44
2011	-0.21	0.44
2012	-0.10	0.45
2013	-0.49	0.45
2014	-0.53	0.45
2015	-0.32	0.45
2016	-0.30	0.45
2017	-0.46	0.45
2018	-0.30	0.47
2019	-0.51	0.46
2020	-0.64	0.47
2021	-0.57	0.53

Bijlage 4 Model output: Relatieve verandering

Het beste model (na backward selection met model 1 als startpunt) voor de relatieve verandering in het jaargemiddelde scholeksters per deelgebied kan nu worden beschreven als:

Model 3⁴.

$$dSE_{d,j} \sim N(\mu_{d,j}, \sigma^2)$$

$$E(dSE_{d,j}) = \mu_{d,j} \text{ en } Var(dSE_{d,j}) = \sigma^2$$

$$\mu_{d,j} = \text{Intercept} + SE_{d,j-1} + \mu_j + a_d + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

$$a_d \sim N(0, \sigma_{\text{deelgebied}}^2)$$

$$\mu_j = \mu_{j-1} + v_j \text{ en } v_j \sim N(0, \sigma_v^2)$$

Waarin de gemodelleerde parameter waarden (Tabel B3.1) kunnen worden ingevuld:

$$\mu_{d,j} = 0.125 (\pm 0.054) - 0.019 (\pm 0.007) * SE_{d,j-1} + a_d + \mu_j + \varepsilon_i$$

$$dSE_{d,j} \sim N(\mu_{d,j}, 0.17^2)$$

$$\varepsilon_i \sim N(0, 0.19^2)$$

$$a_d \sim N(0, 0.01^2)$$

$$\mu_j = \mu_{j-1} + v_j \text{ met } v_j \sim N(0, 0.02^2)$$

Als we de gefitte waarden voor het random effect deelgebied invullen (tabel B4.1) krijgen we een formule voor ieder deelgebied:

$$\mu_{\text{kom},j} = 0.125 (\pm 0.05) - 0.018 (\pm 0.007) * SE_{d,j-1} - 1.68 \times 10^{-3} (\pm 9.44 \times 10^{-3}) + \mu_j + \varepsilon_i$$

$$\mu_{\text{midden},j} = 0.125 (\pm 0.054) - 0.018 (\pm 0.007) * SE_{d,j-1} + 3.70 \times 10^{-3} (\pm 0.01) + \mu_j + \varepsilon_i$$

$$\mu_{\text{mond},j} = 0.125 (\pm 0.054) - 0.018 (\pm 0.007) * SE_{d,j-1} - 2.87 \times 10^{-3} (\pm 9.82 \times 10^{-3}) + \mu_j + \varepsilon_i$$

$$\mu_{\text{noordtak},j} = 0.125 (\pm 0.054) - 0.018 (\pm 0.007) * SE_{d,j-1} + 8.46 \times 10^{-4} (\pm 9.28 \times 10^{-3}) + \mu_j + \varepsilon_i$$

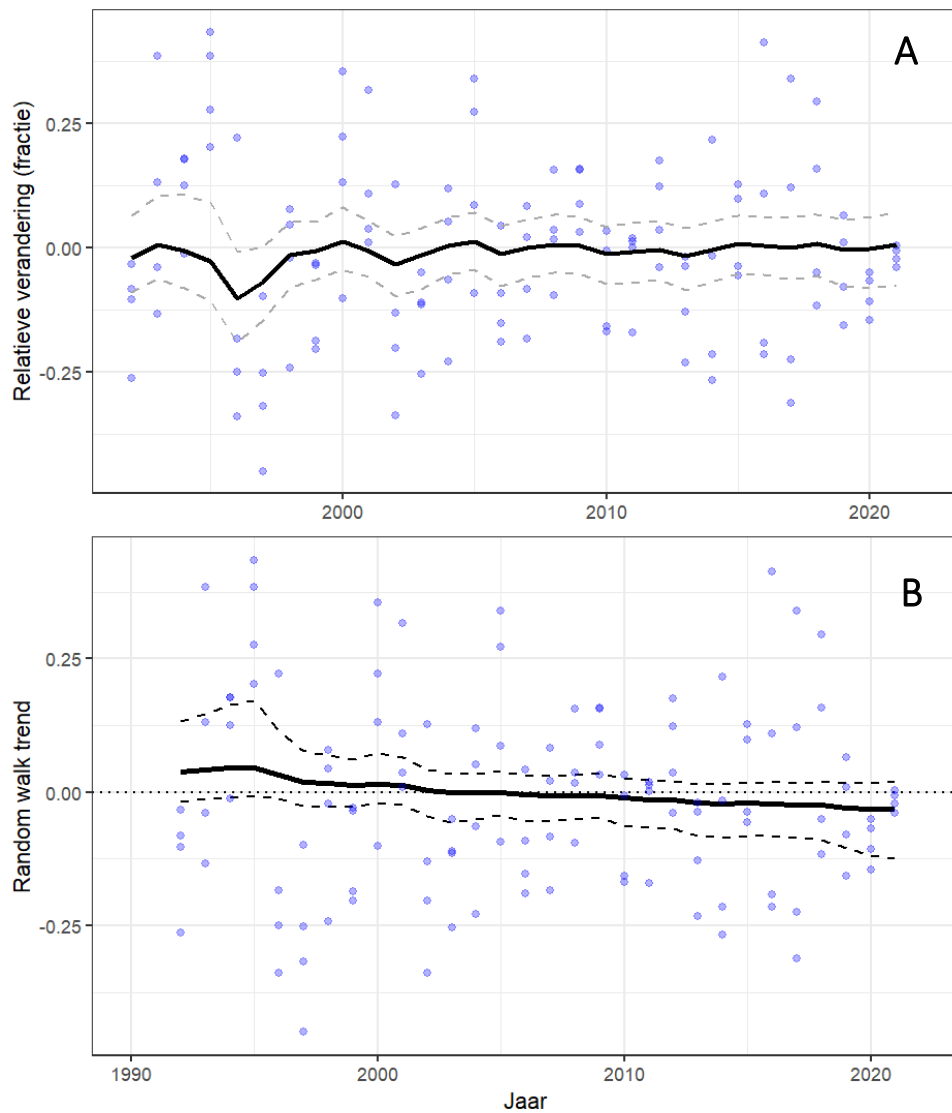
Tabel B4.1. Parameter waarden voor het modelleren van de absolute verandering in het jaargemiddelde scholeksters per deelgebied. De relatieve verandering is uitgedrukt in een fractie verandering in het scholekster jaargemiddelde, ten opzichte van het jaargemiddelde in het voorgaande jaar. $SE_{d,j-1}$ is uitgedrukt in duizenden vogels.

Model parameter	Gemiddelde	Standaard error
Intercept	0.125	0.054
$SE_{d,j-1}$	-0.018	0.007

N.B. 1: Parameter waarden voor het random effect deelgebied weergegeven in Tabel B4.3.

N.B. 2: De bijdrage van random effect van deelgebied was minimaal: de DIC van hetzelfde model waar het deelgebied uit was gehaald was maar 0,5 hoger (n.b. een verschil van groter dan 10 wordt over het algemeen pas aangenomen als significant). Ook de verschillen tussen de verwachte waarden voor de verschillende deelgebieden zijn zeer klein (de correctie die door het model wordt toegepast om te corrigeren voor verschillen tussen de deelgebieden, heeft maximum waarde van 0,004 = een verschil van 4 vogels, Tabel B4.2). Dit laat zien dat de verschillen tussen de vier deelgebieden verwaarloosbaar zijn. Het random effect is dus niet belangrijk, maar het is wel statistisch gezien correct om het er in te laten in verband met pseudo-replicatie en gezien de ecologische context/aannames (zie sectie 3.2).

⁴ Zie Bijlage 1 voor beschrijving van toegepaste variabelen en afkortingen



Figuur B4.1. (A) Gefitte modeluitkomsten (zwarte lijn) voor de relatieve verandering over de tijd. Blauwe punten zijn geobserveerde waarden, grijze gestreepte lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. Deze figuur laat de "gemiddelde" verwachte waarde voor $dSE_{d,j}$ zien: merk op dat de uiteindelijke waarde van de verandering in scholeksteraantallen voor jaar j in deelgebied d afhankelijk is van het aantal vogels in het voorgaande jaar, de random walk trend die een correctie toepast voor ieder jaar (Tabel B4.2) en een correctie voor verschillen tussen deelgebieden (Tabel B4.3). **(B)** Gefitte random walk trend (μ_v) over de tijd voor de relatieve verandering over de tijd. Blauwe punten zijn geobserveerde waarden, gestreepte lijn geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval aan. De gestippelde horizontale lijn door $y=0$ geeft de verwachte lijn weer wanneer er geen temporele trend zou zijn. Uit deze figuur kan worden opgemaakt dat de relatieve verandering in het aantal scholeksters als fractie van het aantal in het voorgaande jaar, steeds kleiner wordt.

Tabel B4.2. Gefitte waarden voor het random effect deelgebied voor het beschrijven van de relatieve veranderingen in het deelgebied-jaargemiddelde scholeksters (Model 3).

Deelgebied	Gemiddelde	Standaard Deviatie
Kom	-1.7×10^{-3}	9.4×10^{-3}
Midden	3.7×10^{-3}	0.01
Monding	-2.9×10^{-3}	9.8×10^{-3}
Noordtak	8.5×10^{-4}	9.3×10^{-3}

Tabel B4.3. Gefitte waarden voor de random walk trend voor het beschrijven van de relatieve veranderingen in het deelgebied-jaargemiddelde scholeksters (Model 3).

Seizoensjaar	Gemiddelde	Standaard Deviatie
1992	0.04	0.04
1993	0.04	0.04
1994	0.05	0.05
1995	0.05	0.05
1996	0.03	0.03
1997	0.02	0.03
1998	0.02	0.02
1999	0.02	0.02
2000	0.02	0.02
2001	0.02	0.02
2002	3.6×10^{-3}	0.02
2003	-1.0×10^{-3}	0.02
2004	-1.0×10^{-3}	0.02
2005	-2.0×10^{-2}	0.02
2006	-4.6×10^{-3}	0.02
2007	-5.8×10^{-3}	0.02
2008	-5.5×10^{-3}	0.02
2009	-5.9×10^{-3}	0.02
2010	-0.01	0.02
2011	-0.01	0.02
2012	-0.01	0.02
2013	-0.02	0.02
2014	-0.02	0.02
2015	-0.02	0.02
2016	-0.02	0.02
2017	-0.02	0.03
2018	-0.02	0.03
2019	-0.03	0.03
2020	-0.03	0.03
2021	-0.03	0.03

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'
