

**Monitoring van het voor
vogels oogstbare voedsel-
aanbod in de kombergingen
van het Pinkegat en
Zoutkamperlaag
rapportage t/m
monitoringjaar 2021**

Sjoerd Duijns,
Karin Troost,
Erik van Winden,
Hans Schekkerman,
Kees Rappoldt,
Jeroen Nienhuis &
Eelke O. Folmer

Sovon-rapport 2022/30



Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag

Rapportage t/m monitoringjaar 2021

Sjoerd Duijns - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Karin Troost - Wageningen Marine Research

Erik van Winden - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Hans Schekkerman - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Kees Rappoldt - EcoCurves

Jeroen Nienhuis - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Eelke O. Folmer - Ecospace



Dit rapport is samengesteld in opdracht van de
Nederlandse Aardolie Maatschappij



Colofon

© Sovon Vogelonderzoek Nederland 2022

Dit rapport is samengesteld in opdracht van van de Nederlandse Aardolie Maatschappij

Wijze van citeren: Duijns S., Troost K., van Winden E., Schekkerman H., Rappoldt K., Nienhuis J. & Folmer E.O. 2022. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2021. Sovon-rapport 2022/30. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

Foto's omslag: Jeroen van Wijk

Opmaak: John van Betteray, Sovon Vogelonderzoek Nederland

ISSN-nummer: 2212 5027

Sovon Vogelonderzoek Nederland
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen
e-mail: info@sovon.nl
website: www.sovon.nl

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Sovon.

Inhoud

1. Samenvatting	3
2. Inleiding	7
3. Selectie vogelsoorten	9
4. Beslisschema	11
5. Monitoring data	13
5.1. Onderzoeksgebied	13
5.2. Hoogtekaart	13
5.2.1. Lodingen Rijkswaterstaat	13
5.2.2. LiDAR	14
5.3. Waterstanden	14
5.4. Bodemdieren	14
5.4.1. SIBES	14
5.4.2. WOT litorale surveys waddenzee	15
5.5. Vogeltellingen	15
6. Wadmap: van benthos naar proxy	17
6.1. Algemeen	17
6.2. Berekeningswijze Wadmap	17
6.3. Voedsel生态学 vogels	18
6.3.1. Functionele respons	18
6.3.2. Prooi keuze	18
6.3.3. Voedselbehoefte en beschikbare foerageertijd	18
6.4. Berekende proxies	19
7. Structural Equation Modelling - Sem Methodiek	21
7.1. Constructie dataset - linken van aantallen met droogvalduur en benthos	21
7.2. Beschrijving sem methodiek	22
8. Resultaten monitoring	23
8.1. Ontwikkelingen waddenzee	23
8.2. Droogvallende mosselbanken	23
8.3. Ontwikkelingen bodemdieren waddenzee	23
8.4. voedselaanbod pinkegat-zoutkamperlaag	24
8.4.1. Schelpdieren	24
8.4.2. Kreeftachtigen	25
8.4.3. Wormen	25
8.5. Vogels	26
8.5.1. Bergeend	26
8.5.2. Pijlstaart	29
8.5.3. Scholekster	32
8.5.4. Kluut	35
8.5.5. Zilverplevier	38
8.5.6. Bontbekplevier	40
8.5.7. Kanoet	43
8.5.8. Drieteenstrandloper	46
8.5.9. Bonte Strandloper	48
8.5.10. Rosse Grutto	51
8.5.11. Wulp	54
8.5.12. Tureluur	56
8.5.13. Steenloper	58

9. Resultaten en discussie sem methodiek	62
9.1. Scholekster	62
9.2. Kanoet	64
9.4. Bonte Strandloper	68
9.5. Vergelijk wadmap en sem methodiek	70
10. Algemene discussie en conclusies	74
10.1. Signaleringsmonitoring & signalering	74
10.2. Aanbevelingen Auditcommissie	76
10.3. Ecologische verklaringen van waargenomen veranderingen	77
10.3.1. Drukfactoren en hun effect(en)	78
10.3.2. Voedsellandschap	79
10.3.3. Kwaliteit van de HVP	80
10.3.4. Verstoringslandschap	80
11. Aanbevelingen	83
12. Literatuur	84
Bijlagen	90
Bijlage 1. Trends in de proxies	90
Bijlage 2. Sem aantallen als functie van foerageerpotentieel	94
Bijlage 3. Samenhang tussen de vogelaantallen, sem en wadmap-proxies	98
Bijlage 4. Overzicht van de mismatch tussen de verwachte aantallen vogels en het voedsel	101

1. Samenvatting

De gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (samen: MLV) kan effecten hebben op het Natura 2000 gebied Waddenzee. Uit voorzorg vindt de winning plaats volgens het 'Hand aan de kraan' principe. In dat kader vindt een uitgebreide monitoring plaats van biotische en abiotische parameters, om te controleren of gaswinning vanaf de bovengenoemde locaties geen meetbaar nadelig effect heeft op de instandhoudingsdoelstellingen van de speciale beschermingszone Waddenzee, waaronder een groot aantal vogelsoorten waarvoor het gebied is aangewezen.

Onder invloed van het jaarlijkse commentaar en adviezen van de Auditcommissie is het monitoring programma in de loop der jaren steeds verder ontwikkeld. De op de wadplaten gemonitorde variabelen bodemdieren, bodemhoogte, sedimentatie en waterstanden worden geïntegreerd tot één variabele die zo goed mogelijk de instandhoudingsdoelen representeert. Het is niet mogelijk de draagkracht voor de verschillende wadvogelsoorten direct te bepalen op basis van deze metingen, maar het is wel mogelijk om de metingen te combineren tot proxies voor draagkracht voor een groot aantal soorten wadvogels. Uiteindelijk konden proxies voor draagkracht worden ontwikkeld voor dertien goed onderzochte wadvogelsoorten: Bergeend, Pijlstaart, Scholekster, Kluut, Zilverplevier, Bontbekplevier, Kanoet, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper, Rosse Grutto, Wulp, Tureluur en Steenloper. Behalve de ontwikkelingen in de proxies voor draagkracht worden ook de ontwikkelingen in vogelaantallen gevolgd en vergeleken met de ontwikkelingen elders. Aan de hand van een beslisschema worden de monitoringgegevens gewogen en wordt besloten of er aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling door gaswinning uit de MLV-velden op de instandhoudingsdoelen.

Net als in voorgaande jaren zijn berekeningen uitgevoerd voor 7 verschillende proxies op basis van de korte prooijlijst:

1. **Opp:** het areaal geschikt foerageerhabitat op basis van de berekende opnamesnelheid van voedsel en een energetisch bepaalde ondergrens aan de opnamesnelheid.
2. **BMaanw:** de aanwezige biomassa aan prooidieren op basis van dieet.
3. **BMoogst:** de oogstbare prooibiomassa. Dit is de biomassa prooidieren in gebieden waar de drempelwaarde in opnamesnelheid gehaald wordt.
4. **BMoogstDr:** de beschikbare oogstbare prooibiomassa. Dit is de oogstbare prooibiomassa vermenigvuldigd met de lokale droogvalduur.
5. **FRaanw:** de opnamesnelheden berekend voor het aanwezige voedsel, gesommeerd over de totale oppervlakte.
6. **FRoogst:** de berekende opnamesnelheden, gesommeerd over de oppervlaktes waar de kritische opnamesnelheid gehaald wordt, d.w.z. waar het voedsel oogstbaar is.
7. **FRoogstDr:** de berekende opnamesnelheden, gesommeerd over de oppervlaktes waar de kritische opnamesnelheid gehaald wordt, en vermenigvuldigd met de lokale droogvalduur.

Voor alle 13 soorten is het verloop van deze 7 proxies berekend voor twee seizoenen. In totaal dus 26 soort-seizoen combinaties.

Voor elk van de 13 onderzoeksoorten wordt het aantalsverloop in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag over de periode 1994/1995 – 2020/2021 gerapporteerd en vergeleken met het aantalsverloop in de rest van de Nederlandse Waddenzee, alsook met het aantalsverloop in de Duitse en Deense Waddenzee en met dat van de totale *flyway*-populaties van de betreffende soorten. Er zijn trends berekend voor de lange termijn (vanaf 1994) en voor de korte termijn (vanaf 2009).

Conclusies rapportagejaar 2021

Toepassing van het beslisschema op de resultaten t/m monitoringjaar 2021 leidt tot de volgende conclusies:

1. Voor alle 26 soort-seizoen combinaties werd geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling door gaswinning.
2. Voor 5 soort-seizoen combinaties (Bergeend, Pijlstaart, Kanoet en Bonte Strandloper), wijkt de ontwikkeling van de aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag af van de aantalsontwikkeling elders (overige delen Nederlandse Waddenzee, Duitse en Deense Waddenzee). De Zilverplevier laat als enige soort een toename in Pinkegat en Zoutkamperlaag zien, terwijl de aantalsontwikkeling elders een afname laat zien.
3. Voor 5 soort-seizoen combinaties (Scholekster in beide seizoenen, Bonte Strandloper in september, Rosse Grutto in augustus en Wulp in september) was er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht die in alle gevallen geen negatieve trend vertoonde.
4. Voor 16 soort-seizoen combinaties werd geen gevalideerde proxy voor draagkracht gevonden, maar waren de proxies onderling sterk gecorreleerd en was er geen sprake van een negatieve

ontwikkeling van de gezamenlijke trend in de proxy.

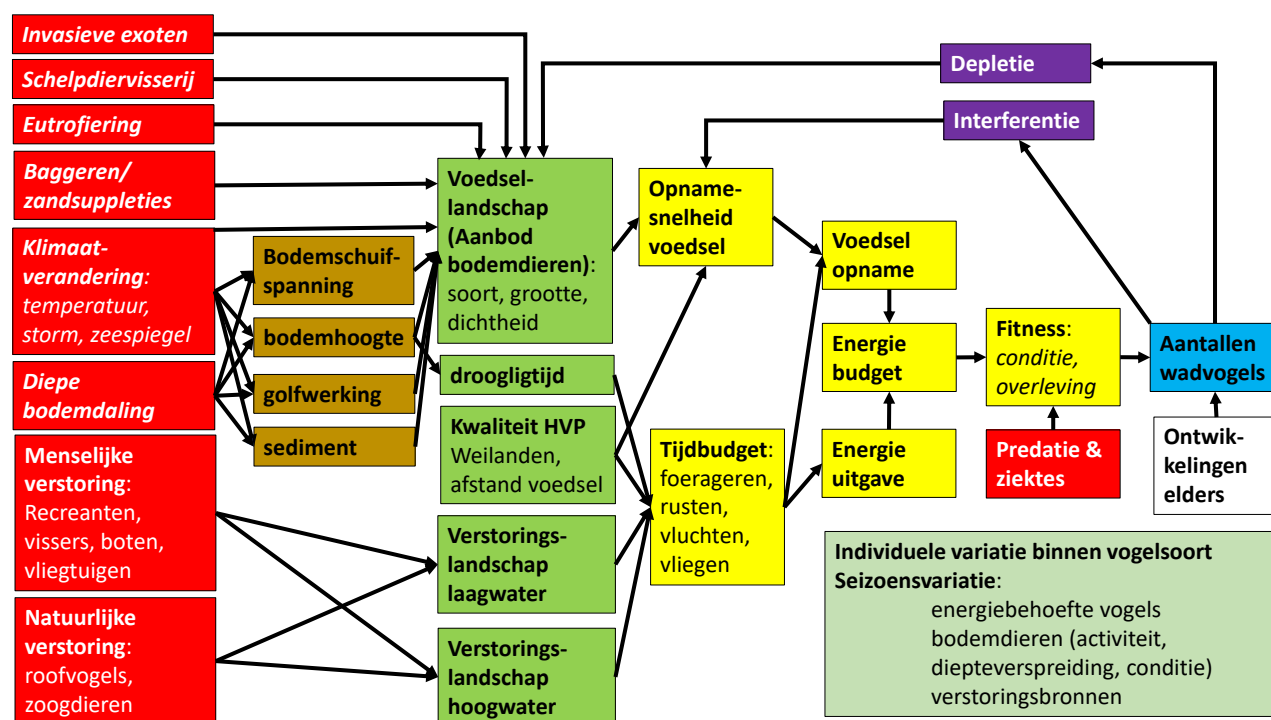
Adviezen Auditcommissie 2021

De adviezen van de Auditcommissie worden hieronder besproken, evenals de discussie over de ecologische verklaringen van de waargenomen veranderingen welke is opgehangen aan een uitwerking van de effectketen tussen drukfactoren, zoals diepe bodemdaling en de vogelaantallen. In eerdere rapportages is de effectketen ontwikkeld, die beschrijft hoe diepe bodemdaling doorwerkt op bodemdieren en aantallen vogels verder uitgewerkt. Daarbij moet ook het effect van andere drukfactoren, zoals schelpdiervisserij en verstoring, op het voedsellandschap en verstoringslandschap en daarmee de vogels, in kaart worden gebracht (Figuur 1.1).

De Auditcommissie – onderdeel van de Commissie voor de milieu effect rapportage -komt in haar evaluatie van het meest recente monitoringrapport (Ens *et al.* 2021b) tot een drietal adviezen (Auditcommissie 2021):

1. De Auditcommissie adviseert na te gaan of *machine learning*, binnen de nu beschikbare gegevens, ook nog breder ingezet kan worden, bijvoorbeeld om niet eerder gedetecteerde verbanden tussen diepe-bodemdaling, morfologie en ecologie bloot te leggen.

Dit advies heeft er voor gezorgd dat de aanpak die nu gekozen is (het berekenen van proxies in Wadmap), zal worden aangevuld met de voorgestelde verandering, de aanpak van *Structural Equation Modelling*, oftewel SEM analyses. Deze statistische aanpak heeft de mogelijkheid om de keuze van andere en/of meerdere referentiegebieden mee te nemen. Ook biedt deze aanpak de mogelijkheid om vogelaantallen en voedselaanbod in hetzelfde gebied te analyseren. Deze vernieuwde aanpak zal in deze voorliggende rapportage voor het eerst toegepast worden als aanvulling op de Wadmap berekeningen. Echter, gezien de complexiteit van deze aanpak, zal dit jaarlijks verbeterd en verfijnd worden, zodat er na 3 jaar een volledige analyse op deze manier verwacht kan worden.



Figuur 1.1 Schematische weergave van de uitgewerkte effectketen die beschrijft hoe verschillende drukfactoren (rood), waaronder bodemdaling door gaswinning, doorwerken op de vogelaantallen (blauw) in het leefgebied van een getiddepopulatie (LGP), via abiotiek (bruin), voedsellandschap en verstoringslandschap (groen), en fitness van de vogels (geel). Die vogelaantallen worden ook bepaald door ontwikkelingen elders (wit) en er is een terugkoppeling van vogelaantallen via voedselconcurrentie (paars) naar het voedsel(landschap). Sommige variatiebronnen, zoals veranderingen in de loop van het seizoen, zijn niet expliciet in het schema opgenomen, maar alleen benoemd in een los kader (lichtgroen) Bron: (Ens *et al.* 2021b).

2. De Auditcommissie adviseert om de benthosgegevens van 2014, 2019 en eventueel 2020 en stelt voor ga na of tot een scherpere afbakening van referentiegebieden voor de wadplaten gekomen kan worden.

De SIBES data zijn ondertussen beschikbaar uit 2014, 2019 en 2020. Deze gegevens konden daarom in de nieuwe rapportage opgenomen worden, voor met name het vergelijk van de SEM methodiek en de output van het programma Wadmap. Het is niet mogelijk om de data van de benthos uitgezocht te hebben in het jaar dat de vogelgegevens verzameld worden, doordat de SIBES bemonstering pas gedurende de zomer en nazomer wordt verzameld en de uitwerking een intensieve en tijdrovende bezigheid is, welke niet gereed is in het najaar voor de analyse. Waar zoveel mogelijk aan gewerkt gaat worden, is om de periode tussen de trends van de voedselbeschikbaarheid en vogelaantallen zo klein mogelijk te maken en er wordt gestreefd naar een periode van maximaal 1 jaar verschil. Daarnaast biedt de SEM modellering de mogelijkheid om tot een scherpere afbakening van referentiegebieden voor de wadplaten te komen. Hiervoor zijn in deze rapportage de eerste stappen gezet, en zal dit in de komende 2 jaar-rapportages (2023/2024) steeds prominenter aan bod komen.

3. Daarnaast doet de Auditcommissie ook nog een aanbeveling t.a.v. de verlaagde frequentie van de LiDAR-meting: In de opzet van de nieuwe monitoringscyclus is de meetfrequentie voor de LiDAR-metingen teruggebracht naar eenmaal per jaar. De Auditcommissie adviseert in de komende rapportage aan te geven wat de gevolgen zijn van het ontbreken van een tweede LiDAR-meting voor de voor- en najaarsanalyse van de voedselbeschikbaarheid voor aanwezige vogels.

In de huidige rapportage kan hier nog weinig specifiek over gezegd worden, maar de verwachting is dat het effect zeer gering zal zijn, omdat bij de tot nu toe gebruikte LiDAR gegevens er regelmatig 1 meting niet goed was en dat een van de metingen voor twee seizoenen gebruikt moest worden. Daarnaast worden

vanaf 2020 de LiDAR gegevens gebruikt met correctie voor het referentievlak, wat feitelijk belangrijker is de beschikking te hebben over LiDAR-metingen uit voor- en najaar. Ook moeten de LiDAR metingen voor de laaggelegen delen worden aangevuld met de vaklodingen van RWS, welke plaatsvinden met een frequentie van eens in de 6 jaar. Een LiDAR meting op een gunstig moment in het jaar waarbij ook de diepe delen kunnen worden gemeten is veel waardevoller dan twee metingen op het moment in het jaar waarbij die diepe delen gemist worden. In een eerdere rapportage (Ens *et al.* 2016) is gekeken welke variabelen de variatie in proxy waarden veroorzaakte. Een groot deel van de variatie was het gevolg van de variatie in voedsel, en in mindere mate waterstand, waarbij opviel dat de verschillen in hoogtekaarten maar een kleine invloed hadden.

Aanbevelingen rapportagejaar 2021:

- (1) Verbeter en verfijn de analyse het leefgebied van een getijdepopulatie (LGP). Dit kan op basis van beschikbare kennis en door de SEM aanpak van de virtuele HVP's (Folmer *et al.* 2021). De eerste stappen zijn hiervoor gezet en de resultaten zijn bemoedigend (zie Hoofdstuk 7 en 9).
- (2) Er zijn meer jaren van de SIBES gegevens Waddenzee-breed beschikbaar gekomen, en zodoende kan onderzocht worden of sedimentsamenstelling, naast voedsel, een rol speelt bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee.
- (3) Onderzoek verschillende methodieken om tot een verbetering van de referentiegebieden te komen, i.p.v. de overige Waddenzee. De LGP aanpak kan hierbij een belangrijke rol spelen, alsmede de sedimentsamenstelling, welke vanaf volgende monitoring beschikbaar zouden moeten zijn.
- (4) Onderzoek of binnendijkse foerageermogelijkheden, naast voedsel op het wad zelf, van belang zijn bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee.
- (5) Onderzoek of predatierisico en (menselijke) verstoring van belang zijn, naast voedsel op het wad, bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee. Dit vereist een zo compleet mogelijke beschrijving van het verstoringsschap.

2. Inleiding

De gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (samen: MLV) kan effecten hebben op het Natura 2000 gebied Waddenzee. De voorspelde daling van wadplaten als gevolg van bodemdaling door gaswinning is uitermate gering en er worden geen effecten op vogels voorspeld (Meesters *et al.* 2006). Desondanks vindt uit voorzorg de winning plaats volgens het ‘Hand aan de kraan’ principe, waarbij de jaarlijkse zeespiegelstijging en bodemdaling door gaswinning samen niet de komberging specifieke sedimentatie capaciteiten van het Pinkegat en de Zoutkamperlaag mogen overschrijden. Naast de meet- en regelcyclus rondom de bodemdalingssnelheid vindt er een uitgebreide monitoring plaats van biotische en abiotische parameters, om te controleren of gaswinning vanaf de bovengenoemde locaties geen meetbaar nadelig effect heeft op de instandhoudingsdoelstellingen van de speciale beschermingszone Waddenzee, waaronder een groot aantal vogelsoorten waarvoor het gebied is aangewezen.

In het monitoring programma voor de jaren 2014-2019 (NAM 2014), is gekozen voor een analysestrategie waarbij de op de wadplaten gemonitorde variabelen bodemdieren, bodemhoogte, sedimentatie en waterstanden worden geïntegreerd tot één variabele die zo goed mogelijk de ecologische instandhoudingsdoelen met betrekking tot wadvogels representeert (Auditcommissie 2014). Het is niet mogelijk de draagkracht voor de verschillende wadvogelsoorten direct te bepalen op basis van deze metingen, maar het is wel mogelijk om de metingen te combineren tot proxies voor draagkracht voor een groot aantal soorten wadvogels. Uiteindelijk konden proxies voor draagkracht worden ontwikkeld voor dertien goed onderzochte wadvogelsoorten: Bergeend, Pijlstaart, Scholekster, Kluut, Zilverplevier, Bontbekplevier, Kanoet, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper, Rosse Grutto, Wulp, Tureluur en Steenloper (e.g. Ens *et al.* 2015a, Ens *et al.* 2016, Ens *et al.* 2017a).

Naast bovenstaande aanpak wordt vanaf dit jaar de evaluatie uitgebreid met een nieuwe analysetechniek, namelijk structurele vergelijgingsmodellering, oftewel *Structural Equation Modelling* (SEM). Deze aanpak is een combinatie van multivariate factoranalyse en regressie waarmee een reeks relaties tussen een of meer onafhankelijke variabelen en een of meer afhankelijke variabelen kan worden onderzocht. Het doel van SEM is om ‘ruwe’ correlaties tussen direct waargenomen variabelen te verklaren. Een SEM omvat de constructie van een theoretisch model, waarbij de (veronderstelde) causale verban-

den worden geformuleerd. Deze modellen kunnen grafisch en met behulp van systemen van vergelijkingen worden beschreven. In een tweede stap wordt aan de hand van data het model statistisch geschat en worden de causale verbanden getoetst.

In de rapportage over de monitoring t/m het jaar 2018 is uitgebreid aandacht besteed aan het valideren van de proxies (Ens *et al.* 2019). Uitgangspunt voor die validatie was de aanname dat de proxy die het sterkst correleert met de verspreiding van een vogelsoort in de Waddenzee (bepaald op basis van hoogwatertellingen) de draagkracht voor die soort het dichtste benadert. Uiteindelijk is gekozen voor een hybride aanpak, waarbij zowel is gekeken naar variatie in de ruimte, tussen 12 deelgebieden in de Nederlandse Waddenzee, als in de tijd, tussen de zes jaren waaruit voor de hele Waddenzee SIBES-gegevens over bodemfauna beschikbaar waren (2008-2013). Het bleek dat bij alle soort/maand combinaties de hypothese van een recht evenredig verband tussen de proportionele vogelaantallen en proportionele proxywaarden moest worden verworpen. Echter, in bijna alle gevallen bleek er sprake van een groot gebiedseffect. Dat wil zeggen dat er systematische verschillen waren tussen gebieden in de relatie tussen de draagkrachtproxy en de proportionele vogelaantallen. Daarnaast bleken de proxies onderling vaak sterk gecorreleerd, zodat het mogelijk was de algemene trend voor de verschillende proxies te interpreteren als de beste schatting voor de trend in het beschikbare voedselaanbod.

Een belangrijke aanname is dat voedsel de allesbepalende factor is in het bepalen van de draagkracht van de Waddenzee voor wadvogels. In de rapportage t/m het monitoringjaar 2019 (Ens *et al.* 2020) is een begin gemaakt met onderzoek naar de vraag of sedimentsamenstelling, naast voedsel, een rol speelt bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee.

In 2021 is het geactualiseerde Monitoringprogramma 2020-2026 (NAM 2021) opnieuw geëvalueerd en beoordeeld door de Auditcommissie (Auditcommissie 2021). De Auditcommissie concludeert dat “het huidige monitoringsprogramma een goede basis biedt om jaarlijkse en trendmatige veranderingen in de morfologie en de natuur in en om de Waddenzee te kunnen signaleren en verklaren in relatie tot diepe bodemdaling door gaswinning. De binnen het programma ontwikkelde beslisschema's voor de wadplaten, kwelders en het Lauwersmeer vormen daarbij de leidraad voor de bepaling van

mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning op de beschermde natuur. De schema's zijn bruikbaar als aangrijpingspunt voor toepassing van het 'hand aan de kraan'-principe." Toch ziet zij ook ruimte voor verbetering van de vogelmonitoring:

1. *"Het aantal mogelijk verklarende variabelen voor de vogelaantallen en -verspreiding in en rondom de Waddenzee is zeer groot. Gegeven ook de grote ruimtelijke en temporele variatie van uitkomsten van de ecologische metingen, adviseert de Auditcommissie na te gaan in hoeverre 'machine learning' ingezet kan worden om niet eerder gedetecteerde verbanden tussen de verklarende variabelen bloot te leggen en beter zicht te krijgen op trends in vogelaantallen."*
2. *"De Auditcommissie adviseert voor de referentiegebieden meer recente gegevens over de voedselbeschikbaarheid te gebruiken. Tevens adviseert zij onderzoek te doen naar een optimalisatie in de keuze van referentiegebieden. Hiermee kunnen trends en ruimtelijke verschillen in voedselbeschikbaarheid naar verwachting beter gerelateerd worden aan die in aantallen wadvogels."*

In de rapportage van het monitoringsjaar 2020 en 2021 worden voorstellen gedaan hoe deze adviezen opgevolgd konden worden, maar concrete invulling bleef grotendeels achterwege (Ens *et al.* 2020, Ens *et al.* 2021b). Vandaar dat de adviezen van de Auditcommissie naar aanleiding van deze laatste rapportage een grote gelijkenis vertonen met dit eerdere advies (Auditcommissie 2020, 2021). Door gebruik te maken van de onderverdeling in deelgebieden, welke gekozen zijn aan de hand van de virtuele HVP analyse (Folmer *et al.* 2021), ontstaat de mogelijkheid om tot een scherpere afbakening

van referentiegebieden voor de wadplaten te komen. Ook ontstaat de mogelijkheid om verbanden tussen de verklarende variabelen bloot te leggen en beter zicht te krijgen op trends in vogelaantallen. Hiervoor worden in deze rapportage de eerste stappen gezet, en zullen in de komende 2 rapportages (2023/2024) steeds prominenter aan bod komen. De voorlopige resultaten van deze aanpak zijn overigens bemoedigend (zie Hoofdstuk 9).

Tenslotte zijn de SIBES data uit 2014, 2019 en 2020 ondertussen beschikbaar en worden deze in de voorliggende rapportage gebruikt.

Het zwaartepunt van dit rapport over de monitoring t/m het monitoringjaar 2021 betreft de rapportage per vogelsoort over de ontwikkeling van de proxies voor draagkracht in het bodemdalingsgebied Pinkegat-Zoutkamperlaag. Net als in de vorige rapportage zijn er berekeningen uitgevoerd voor 7 verschillende proxies op basis van de korte prooijlijst.

Daarnaast wordt voor elk van de 13 onderzoeksoorten het aantalsverloop in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag over de periode 1994/1995 – 2019/2020 gerapporteerd en vergeleken met het aantalsverloop in de rest van de Nederlandse Waddenzee, alsook met het aantalsverloop in de Duitse en Deense Waddenzee. Er zijn trends berekend voor de lange termijn (vanaf 1994) en voor de korte termijn (vanaf 2009).

Op basis van de resultaten wordt voor alle soorten het beslisschema (Hoofdstuk 4) doorlopen om tot een conclusie te komen over mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning uit de MLV-velden.

3. Selectie vogelsoorten

De selectie van vogelsoorten is eerder beschreven (e.g. Ens *et al.* 2020, Ens *et al.* 2021b), maar omdat het een voor de monitoring zeer belangrijke keuze betreft, is er voor gekozen het keuzeproces en de belangrijkste argumenten kort te herhalen in dit rapport.

Voorafgaand aan de start van de winning uit de velden Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen is onderzoek uitgevoerd naar mogelijke effecten op beschermde natuurwaarden door bodemdaling in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag (Meesters *et al.* 2006). In die studie werd aangenomen dat de kans op significante effecten klein was, maar is toch besloten een monitoringprogramma op te zetten. In dit hoofdstuk wordt de selectie van vogelsoorten voor deze signaleringsmonitoring kort besproken en voor een uitgebreide onderbouwing van deze selectie wordt verwezen naar eerdere rapporten (Ens *et al.* 2017a, Ens *et al.* 2021b).

De Waddenzee is aangewezen voor 38 soorten niet-broedvogels. In Tabel 3.1 is het instandhoudingsdoel voor de Waddenzee weergegeven voor al deze soorten, als ook de doelstelling voor Nederland. Voor een groot aantal soorten moet de Nederlandse doelstelling gehaald worden in de Waddenzee.

Daling van de diepe ondergrond zal in theorie leiden tot daling van het wad-oppervlak. De feitelijke bodemdaling is het resultaat van de daling van de diepe ondergrond ten gevolge van de gaswinning en de compenserende opslibbing. Omdat de gaswinning tijdelijk is leidt dat in theorie tot een verlaging van de wadplaten, die volgens de modelberekeningen de compenserende opslibbing zal verhogen (Wang & Eysink 2005). Na afloop van de gaswinning nadert de plaathoogte weer naar het niveau dat er ook zonder gaswinning zou zijn geweest (Wang & Eysink 2005). Dit zal naar verwachting geen ecologische effecten hebben op de delen van de Waddenzee die altijd onder water staan (het sublitoraal), maar het kan betekenen dat wadplaten minder lang droog liggen en daar zouden vogels die op de wadplaten naar voedsel zoeken last van kunnen hebben. Kwelders kunnen vaker overstroomd worden, maar dit zal vooral effect hebben op de vogels die op de kwelder broeden. Overstromingen tijdens het broedseizoen kunnen negatieve gevolgen hebben voor het broedsucces (Bailey *et al.* 2017, 2019, van de Pol *et al.* 2010a). Deze voorliggende signaleringsmonitoring richt zich echter op de niet-broedvogels, en voor de ganzen en eenden die buiten de broedtijd op de kwelder grazen (en goed kunnen zwemmen) zal het effect van een

iets verhoogde overstromingskans weinig effect hebben.

In Tabel 3.1 is voor alle beschermde niet-broedvogels het voedsel en het foerageerhabitat aangegeven en op basis daarvan of er een mogelijk effect van bodemdaling is, met de volgende uitzonderingen:

- (1) vogels die op vis jagen in het sublitoraal, zoals Fuut en Aalscholver;
- (2) vogels die naar bodemdieren duiken in het sublitoraal, zoals Toppereend en Brilduiker;
- (3) vogels die op de kwelder grazen, zoals Brandgans en Rotgans.

Op in totaal 16 vogelsoorten verwachten wij geen negatief effect van bodemdaling (Tabel 3.1). Voor 17 soorten die naar bodemdieren op de drooggevalle wadplaten zoeken is een effect via droogligtijd niet uit te sluiten en er zijn vijf vogelsoorten die iets lastiger zijn te classificeren:

- Overwinterende Eidereenden vinden hun voedsel (schelpdieren) vooral in het sublitoraal (Cervencel *et al.* 2015, Ens & Kats 2004), waar geen effect van bodemdaling verwacht wordt.
- Lepelaars, Groenpootruiters en Zwarte Ruiters jagen vooral op visjes en garnalen, maar ook wel wormen en krabben, in plasjes en slenkjes, waarbij de Lepelaar in dieper water foerageert en grotere prooien zal vangen (Enners *et al.* 2020, Jouta *et al.* 2018). Hierdoor is de verwachting dat Lepelaars minder last hebben van bodemdaling, dan de vogels die afhankelijk zijn van droogvallend wad.
- Slechtvalken jagen vooral op middelgrote steltlopers (van den Hout 2009). Als steltlopers in aantal achteruitgaan door bodemdaling, dan kan dit in theorie een effect hebben op de overwinterende Slechtvalken, maar het aantonen van een dergelijk indirect verband zal heel erg moeilijk, zo niet onmogelijk zijn.

Op basis van het bovenstaande, plaatsen we de betreffende soorten in de groep waar we geen effect verwachten. Bovendien leveren de bentische bemonsteringen door Wageningen Marine Research (WMR) en het Koninklijk Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek (NIOZ; SIBES) van de bodemdieren geen goed beeld van de epibenthische bodemdieren en vissen waar Lepelaar, Groenpootruiter en Zwarte Ruiter op jagen.

In totaal blijven er 17 beschermde vogelsoorten waar het op het eerste gezicht zinvol lijkt om de monitoring data te integreren en een proxy voor draag-

kracht te ontwikkelen. Voor 13 soorten zijn hiertoe de eerste stappen gezet (Ens *et al.* 2016, Ens *et al.* 2015b). Bij nadere inspectie bleek het niet zinvol om voor de resterende vier soorten (Goudplevier, Grutto, Kievit en Krombekstrandloper) een proxy voor draagkracht te ontwikkelen (Ens *et al.* 2017a).

Goudplevieren, Grutto's en Kieviten foerageren voornamelijk op binnendijkse graslanden en soms akkers (van de Kam *et al.* 2004), en Krombekstrandlopers komen vrijwel alleen voor in waddengebied rond Westhoek langs de Friese kust, buiten het bodemdalingengebied (Kleefstra & Schekkerman 2019).

Tabel 3.1. Instandhoudingsdoelen voor 38 soorten niet-broedvogels waarvoor de Waddenzee is aangemeld als Natura2000 gebied. Voor de doelstelling voor de Waddenzee is aangegeven of de kwaliteit van het leefgebied in stand moet worden gehouden (=), of moet verbeteren (>), en het instandhoudingsdoel in termen van het aantal vogels en welk percentage dat is van het instandhoudingsdoel voor Nederland. Voor dat instandhoudingsdoel is aangegeven of het om een seizoensgemiddelde, januari-aantallen of een seizoensmaximum gaat. In de volgende kolommen is aangegeven wat het dieet is (vis, benthos, vogels of planten), het foerageerhabitat (sub = sublitoraal, lit = litoraal, ter = terrestrisch), of bodemdaling een effect zou kunnen hebben, of een proxy voor draagkracht zinvol is en of er al proxies voor draagkracht zijn gemaakt.

Soort nr.	Soort	Doelstelling Waddenzee			Doelstelling Nederland		dieet	habitat	mogelijk effect bodemdaling	model zinvol	model gemaakt
		Kwaliteit leefgebied	Aantal vogels	% van landelijke doel	Aantal vogels	Gemiddelde of maximum waarde					
A005	Fuut	=	310	3%	10900	seizoensgemiddelde	vis	sub	nee		
A017	Aalscholver	=	4200	17%	24500	seizoensgemiddelde	vis	sub	nee		
A034	Lepelaar	=	520	42%	1225	seizoensgemiddelde	vis & benthos	lit	?	nee	nee
A037	Kleine zwaan	=	1600	33%	4820	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A043	Grauwe gans	=	7000	8%	86300	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A045	Brandgans	=	36800	26%	140900	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A046	Rotgans	=	26400	72%	36500	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A048	Bergeend	=	38400	79%	48900	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A050	Smient	=	33100	13%	258200	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A051	Krakeend	=	320	3%	10200	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A052	Wintertaling	=	5000	24%	21000	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A053	Wilde eend	=	25400	20%	128000	seizoensgemiddelde	planten	ter/lit	nee		
A054	Pijlstaart	=	5900	75%	7850	seizoensgemiddelde	planten & benthos	ter/lit	ja	ja	ja
A056	Slobeend	=	750	13%	5750	seizoensgemiddelde	planten	ter	nee		
A062	Toppereend	>	3100	16%	19200	seizoensgemiddelde	benthos	sub	nee		
A063	Eidereend	>	90000-115000	78%-82%	115000-140000	januari-aantallen	benthos	sub/lit	?	nee	nee
A067	Brilduiker	=	100	2%	4380	seizoensgemiddelde	benthos	sub	nee		
A069	Middelste zaagbek	=	150	5%	3310	seizoensgemiddelde	vis	sub	nee		
A070	Grote zaagbek	=	70	4%	1800	seizoensgemiddelde	vis	sub	nee		
A103	Slechtvalk	=	40	22%	180	seizoensmaximum	vogels	ter	?	nee	nee
A130	Scholekster	>	140000-160000	78%-80%	180000-200000	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A132	Kluut	=	6700	70%	9510	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A137	Bontbekplevier	=	1800	80%	2260	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A140	Goudplevier	=	19200	59%	32300	seizoensgemiddelde	benthos	ter/lit	ja	nee	nee
A141	Zilverplevier	=	22300	81%	27600	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A142	Kievit	=	10800	14%	75500	seizoensgemiddelde	benthos	ter/lit	ja	nee	nee
A143	Kanoetstrandloper	>	44400	82%	54400	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A144	Drieteenstrandloper	=	3700	86%	4310	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A147	Krombekstrandloper	=	2000	588%	340	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	nee	nee
A149	Bonte strandloper	=	206000	110%	187300	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A156	Grutto	=	1100	18%	6000	seizoensgemiddelde	benthos	ter/lit	ja	nee	nee
A157	Rosse grutto	=	54400	138%	39500	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A160	Wulp	=	96200	95%	101100	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A161	Zwarte ruiter	=	1200	59%	2040	seizoensgemiddelde	vis & benthos	lit	?	nee	nee
A162	Tureluur	=	16500	89%	18480	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A164	Groenpootruiter	=	1900	86%	2210	seizoensgemiddelde	vis & benthos	lit	?	nee	nee
A169	Steenloper	>	2300-3000	66%-71%	3500-4200	seizoensgemiddelde	benthos	lit	ja	ja	ja
A197	Zwarte stern	=	23000	46%	49700	seizoensmaximum	vis	sub	nee		

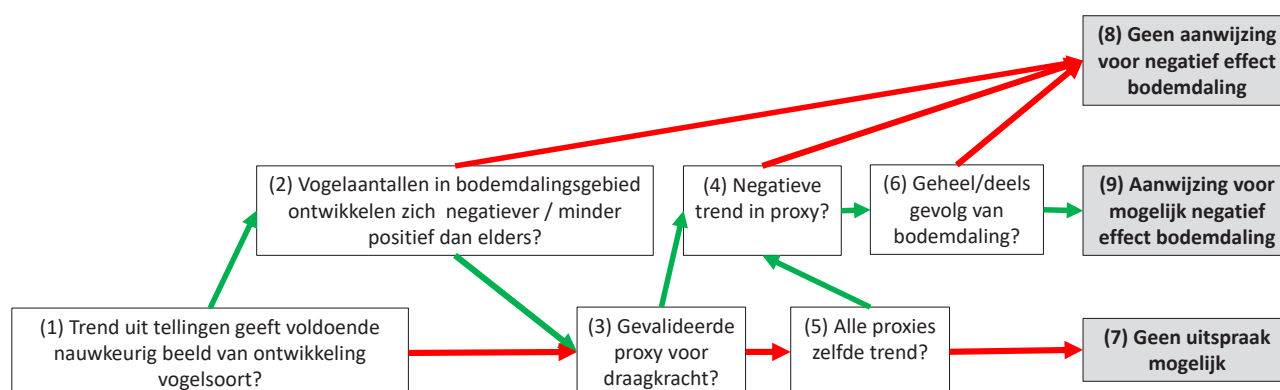
4. Beslisschema

De jaarlijkse rapportages van de Auditcommissie hebben ertoe geleid dat het huidige beslisschema stapsgewijs is aangepast, naar de huidige vorm. Zo werd de wens uitgesproken om zowel de vogeltellingen als de informatie over draagkracht beide benut

en geïnterpreteerd worden in het licht van de gaswinning (Auditcommissie 2016). In de daaropvolgende rapportages is het beslisschema steeds verder ontwikkeld tot het beslisschema zoals weergegeven in Tabel 4.1 en als schema in Figuur 4.1.

Tabel 4.1. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe de monitoringsresultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, welke nodig is om het “Hand aan de kraan”-principe mogelijk te maken.

	Sept.	Nov.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	N→3
2 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	Y→3	N→8
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	Y→4	N→5
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	Y→6	N→8
5 Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	N→7
6 Is de negatieve trend in de proxy geheel of deels het gevolg van bodemdaling?	Y→9	N→8
7 Geen uitspraak mogelijk		
8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling		
9 Aanwijzing voor mogelijk negatief effect bodemdaling		



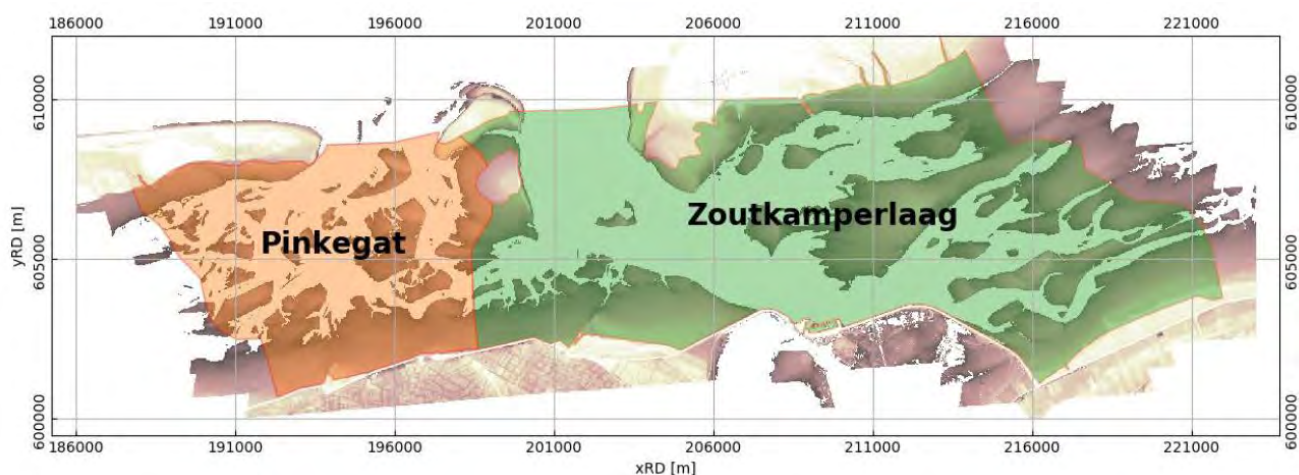
Figuur 4.1. Het huidige beslisschema hoe de monitoring en resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels. Dit schema is nodig om het “Hand aan de kraan”-principe mogelijk te maken. In open boxen staan vragen over de monitoringresultaten en in de grijze boxen de voorgestelde besluitvorming. Pijlen zijn groen als het antwoord ja is en rood als het antwoord nee is.

5. Monitoring data

Voor de beschrijving van het onderzoeksgebied en de monitoring data verwijzen we voornamelijk naar de vorige rapportages (Ens *et al.* 2016, Ens *et al.* 2017a, Ens *et al.* 2017b, Ens *et al.* 2015b, Ens *et al.* 2020, Ens *et al.* 2021b, Ens *et al.* 2018, Ens *et al.* 2019). Waar nodig wordt hier kort aanvullende informatie bij gegeven.

5.1. Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied betreft de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag. In Figuur 5.1 is de komberging van het Pinkegat aangegeven in oranje en de komberging van Zoutkamperlaag in groen.



Figuur 5.1. Ligging van het aan Ameland grenzende onderzoeksgebied Pinkegat (oranje weerschijn) en het aan Schiermonnikoog grenzende onderzoeksgebied Zoutkamperlaag (groene weerschijn). (Overgenomen uit van der Vegt & van der Lugt 2021).

5.2. Hoogtekaart

Jaarlijks wordt in opdracht van de NAM de hoogte van de wadplaten in Pinkegat en Zoutkamperlaag bepaald met LiDAR. De laagstgelegen delen van het wad worden daarbij niet altijd gekarteerd.

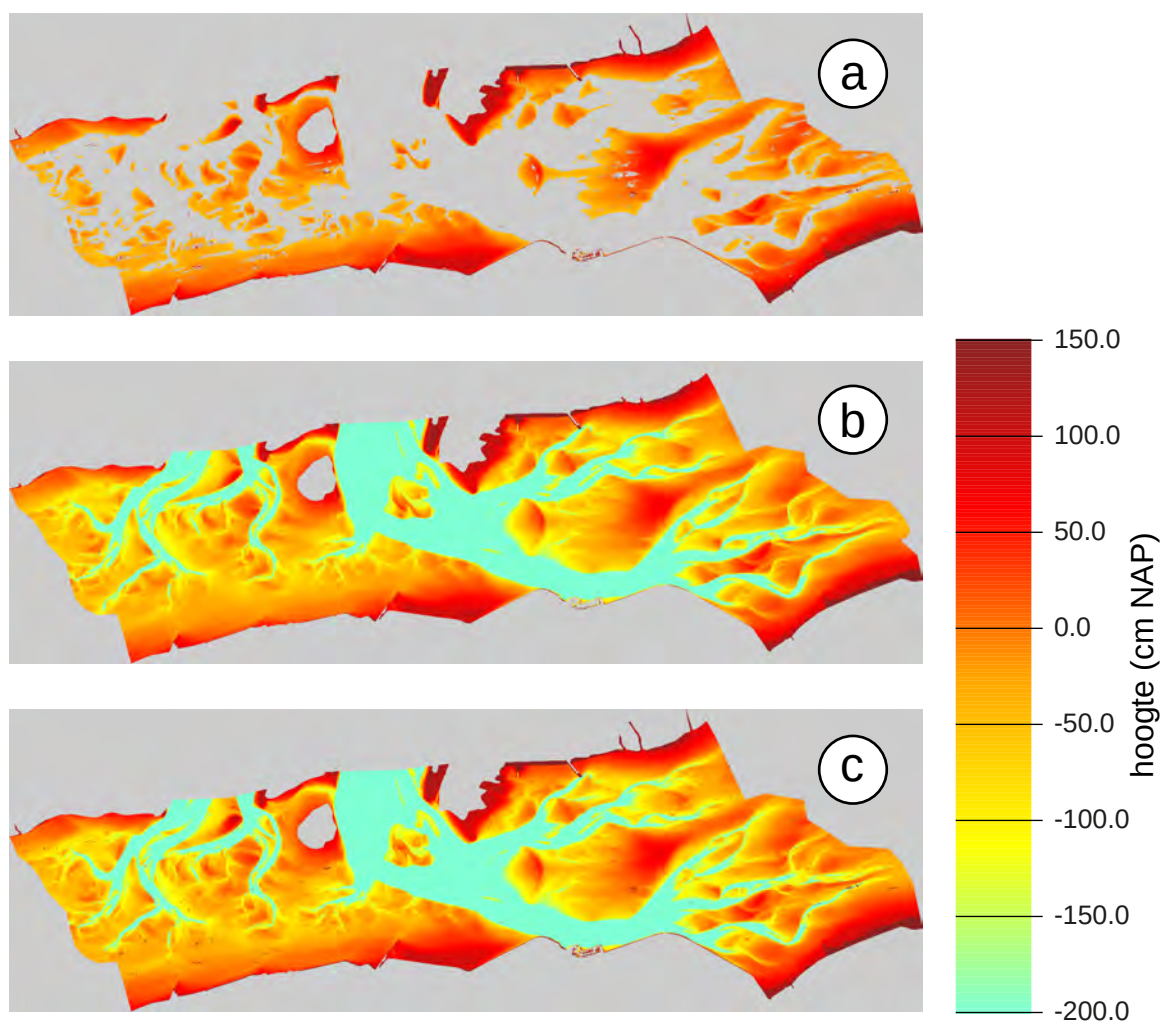
Die gaten in de hoogtemeting worden opgevuld met de Waddenzee-brede hoogtemetingen van Rijkswaterstaat, zie Figuur 5.2.

5.2.1. Lodingen Rijkswaterstaat

In de loop van zes jaar worden alle delen van de

Tabel 5.1. Seizoenen waarvoor gerekend is en de opnamedatum van de LiDAR kaart die bij die berekeningen is gebruikt.

Datum berekening	Datum LiDAR kaart	Datum berekening	Datum LiDAR kaart
2008 voorjaar	2010 voorjaar	2015 voorjaar	2016 voorjaar
2008 najaar/winter	2010 voorjaar	2015 najaar/winter	2016 najaar
2009 voorjaar	2010 voorjaar	2016 voorjaar	2016 voorjaar
2009 najaar/winter	2010 voorjaar	2016 najaar/winter	2016 najaar
2010 voorjaar	2010 voorjaar	2017 voorjaar	2017 voorjaar
2010 najaar/winter	2011 najaar	2017 najaar/winter	2017 najaar
2011 voorjaar	2011 voorjaar	2018 voorjaar	2018 voorjaar
2011 najaar/winter	2011 najaar	2018 najaar/winter	2018 najaar
2012 voorjaar	2011 voorjaar	2019 voorjaar	2019 voorjaar
2012 najaar/winter	2012 najaar	2019 najaar	2019 voorjaar
2013 voorjaar	2014 voorjaar	2020 voorjaar	2020 najaar
2013 najaar/winter	2013 najaar	2020 najaar	2020 najaar
2014 voorjaar	2014 voorjaar	2021 voorjaar	2021 najaar
2014 najaar/winter	2013 najaar	2021 najaar	2021 najaar



Figuur 5.2. Gebruik van de LiDAR gegevens in de hoogtekart. (a) De LiDAR kaart voor het voorjaar 2010. (b) De cyclus 5 hoogtekart (Elias & Wang 2013). (c) De LiDAR kaart aangevuld met de hoogtes afgelezen op de cyclus 5 hoogtekart.

Waddenzee gekarteerd door Rijkswaterstaat, voornamelijk met lodingen vanaf peilschepen. Voor de periode 2006-2012 wordt in de berekeningen de hoogtekart cyclus5 (Elias & Wang 2013) gebruikt om de gaten in de LiDAR metingen op te vullen. Voor de periode 2013-2020 wordt daarvoor de hoogtekart gebruikt uit de “zoute ecotopenkaart Waddenzee 2017” (Paree *et al.* 2020), die is gebaseerd op lodingen in de jaren 2013 t/m 2019, en ook aangeduid kan worden als cyclus6.

5.2.2. LiDAR

In Tabel 5.1 zijn de beschikbare LiDAR kaarten weergegeven en de periode waarvoor ze gebruikt zijn in de berekeningen van de verschillende proxies. De LiDAR kaarten voor het najaar van 2014 en 2015 zijn mislukt en vervangen door respectievelijk 2013 en 2016. Op de voorjaarskaart van 2018 ontbreken stukken die op andere LiDAR kaarten wel aanwezig zijn. Deze kaart is daarom aangevuld met de najaar metingen uit hetzelfde jaar voor zover die boven -0.5m NAP liggen. Vanaf 2020 wordt alleen nog

maar een najaar meting uitgevoerd.

5.3. Waterstanden

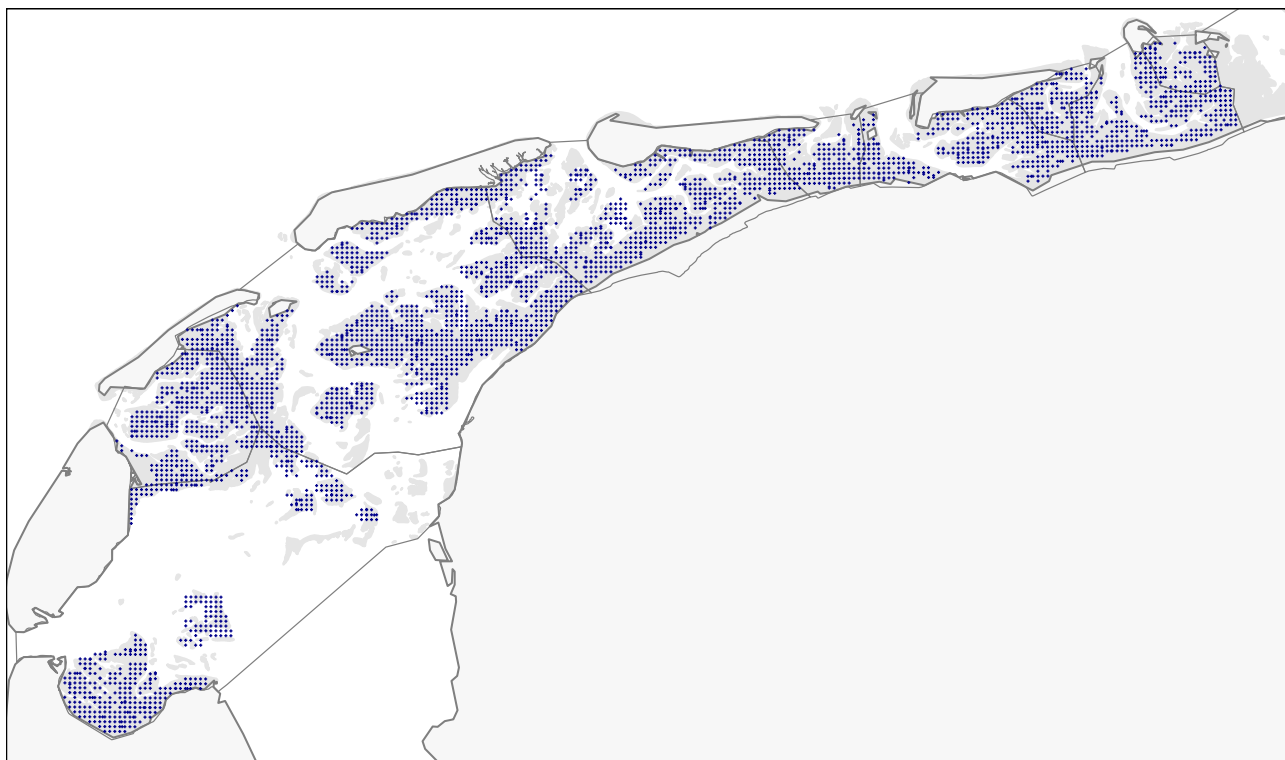
De waterstandsmetingen zijn aangevuld met de metingen over de periode t/m december 2020. Voor interpolatie van waterstanden tussen stations is gebruik gemaakt van het programma InterTides (Rappoldt *et al.* 2014).

5.4. Bodemdieren

5.4.1. SIBES

Het NIOZ heeft de SIBES-monsters van het studiegebied (Pinkegat/Zoutkamperlaag) t/m het seizoen 2021 uitgewerkt. Daarnaast is er data van het volledige grid over de Waddenzee (Bijleveld *et al.* 2012) beschikbaar gekomen over de jaren 2008-2015 en 2019-2020 (Figuur 5.3).

SIBES monsterpunten



Figuur 5.3. Overzicht van alle SIBES monsterpunten (m.u.v. de Eems Dollard), waarin de monsters zijn verzameld over de verschillende jaren.

5.4.2. WOT litorale surveys waddenzee

De WOT litorale schelpdiersurveys (bestanden van Kokkels en Mossels en contouren van mosselbanken, oesterbanken en gemengde banken), die jaarlijks worden uitgevoerd door WMR, waren beschikbaar van 2008 t/m 2021 (Troost *et al.* 2021). Daarbij moet aangetekend worden dat de contouren van de schelpdierbanken uit 2020 en 2021 nog niet definitief zijn, omdat het niet altijd lukt om alle contouren

in een jaar in kaart te brengen en informatie uit latere jaren nodig is om de contouren van de niet in kaart gebrachte schelpdierbanken te reconstrueren.

5.5. Vogeltellingen

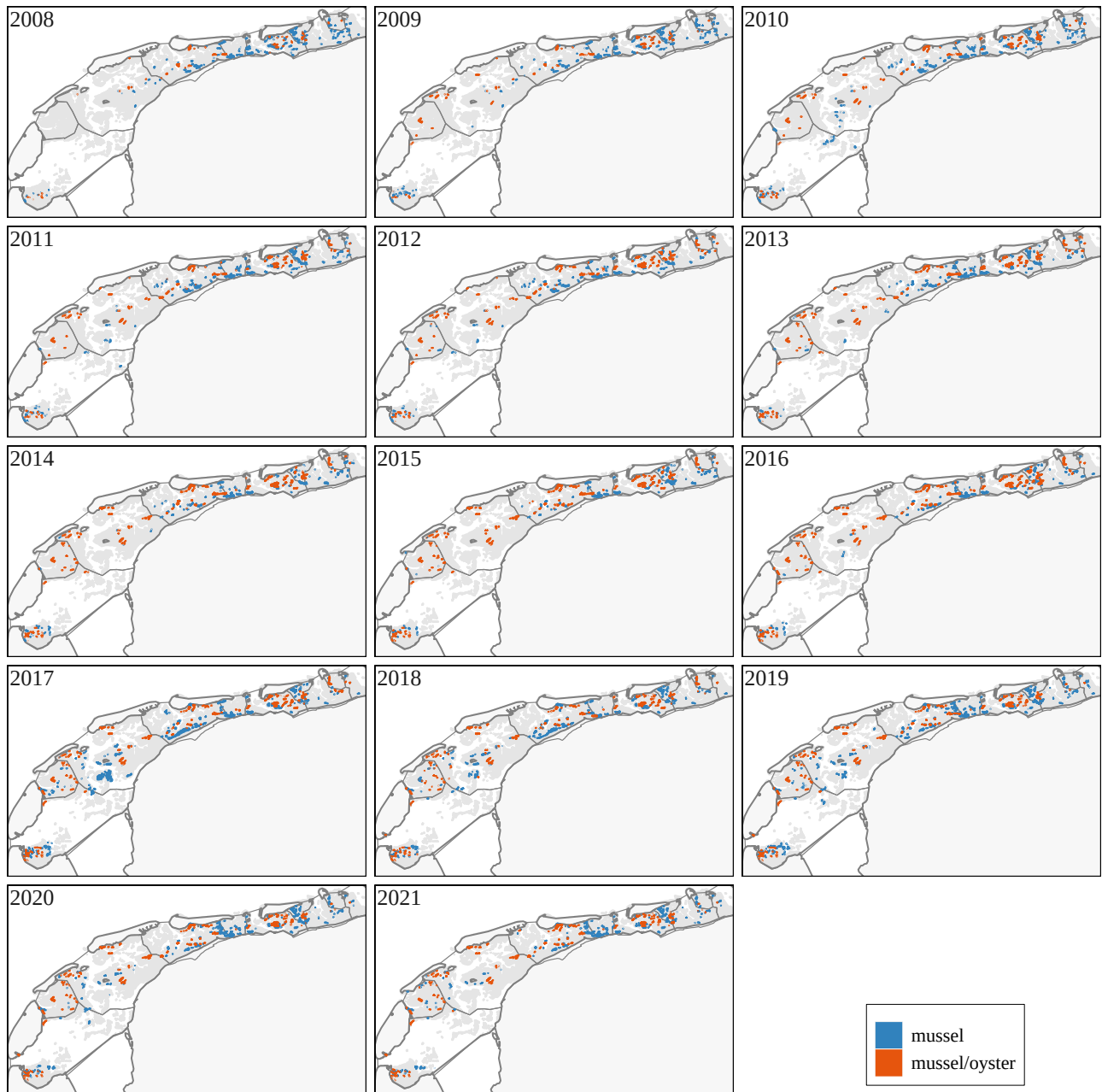
Voor de analyse van de vogelaantallen konden de watervogeltellingen van de Waddenzee tot en met de

Beoordeling	Symbool	gemiddelde jaarlijkse verandering 0,95 1,00 1,05			Criteria (BI = betrouwbaarheidsinterval)	Omschrijving
sterke toename (strong increase)	++			•	ondergrens BI > 1,05	sign. >5% toename/jaar (verdubbeling in 15 jaar)
matige toename (moderate increase)	+			•	1,00 < ondergrens BI ≤ 1,05	sign. toename, maar niet zeker of deze > 5% / jaar is
stabiel (stable)	0		•	•	BI omvat 1,00 maar ondergrens BI ≥ 0,95 en bovengrens BI ≤ 1,05	geen significante aantalsverandering
matige afname (moderate decline)	-	•	•		0,95 ≤ bovengrens BI < 1,00	sign. afname, maar niet zeker of deze > 5% / jaar is
sterke afname (steep decline)	--	•			bovengrens BI < 0,95	sign. >5% afname/jaar (halvering in 15 jaar)
onzeker (uncertain)	?	•	•	•	BI omvat 1,00 en ondergrens BI < 0,95 of bovengrens BI > 1,05	BI te groot voor betrouwbare trendclassificatie

• = gemiddelde jaarlijkse verandering (bijv. 0,95 betekent dat de soort ieder jaar gemiddeld met 5% afneemt)
— = betrouwbaarheidsinterval van de berekende gemiddelde jaarlijkse verandering

Figuur 5.5. Trendclassificatie voor NEM-meetnetten. De zwarte stippen zijn de berekende trendwaarden, de horizontale lijnen zijn de 95% betrouwbaarheidsintervallen (BI). Ook de beoordeling van de trend en het daarbij behorende symbool is weergegeven.

Mossel- en oesterbanken



Figuur 5.4. Overzicht van de mosselbanken, oesterbanken en gemengde banken, die jaarlijks worden verzameld in het kader van de WOT litorale schelpdierssurveys over de jaren 2008 t/m 2021.

winter van 2020/2021 worden gebruikt. Op zowel de korte termijn (vanaf 2009) als de lange termijn

(vanaf 1994) is de trend geclassificeerd zoals dat ook gebeurt in de meetnetten van het NEM (Figuur 5.5).

6. Wadmap: van benthos naar proxy

6.1. Algemeen

Voor een algemene beschrijving van het model wordt verwezen naar eerdere rapportages (e.g. Ens *et al.* 2015b, Ens *et al.* 2021b). Voor een uitvoerige documentatie van de technische details wordt verwezen naar Rappoldt *et al.* (2019). Hieronder worden in het kort de belangrijkste elementen herhaald van het Wadmap model.

6.2. Berekeningswijze Wadmap

Wadmap rekent een getal uit dat een maat is voor de geschiktheid van het beschouwde gebied voor een bepaalde wadvogelsoort. Daarmee is deze habitatgeschiktheid een proxy voor draagkracht. De berekening wordt gedaan voor het bemonsteringsgrid van SIBES (Bijleveld *et al.* 2012). Aan elk van de gridpunten wordt een oppervlak toegekend. Het is dan een gridcel. Voor de benthos soorten in het dieet van een vogelsoort kunnen we dan een totale biomassa schatten.

Om aan een monsterpunt een bijbehorend oppervlak toe te kennen wordt een maximale afstand gehanteerd van 400 m – de straal van een cirkelvormig gebied rond het monsterpunt. Als er binnen 800 m een ander monsterpunt ligt, dan wordt er een lijn getrokken tussen de twee punten op even grote afstand van beide punten, de zogenaamde Voronoi polygonen. Aan monsterpunten die verder dan 400 m verwijderd zijn van alle andere punten zou op die manier een oppervlak van 50 ha toegewezen worden. In de berekeningen wordt dat echter begrensd tot 30 ha,

iets meer dan het oppervlak dat hoort bij een gridafstand van 500 m. De berekeningen worden gedaan op een resolutie van 20 m, dus voor kaartvakken van 20 x 20 m. Zo'n "pixel" wordt toegerekend aan een SIBES punt P als: (1) Het op minder dan 400m afstand van P ligt, en (2) Het dichterbij P ligt dan bij elk ander SIBES punt. Komt hierdoor het totaal aan P toegekend oppervlak boven de 30 ha, dan worden pixels verwijderd, te binnen met degene die het verst van P verwijderd zijn; zie Figuur 6.1.

Voor de Scholekster en de Kanoet worden behalve de SIBES monsters ook de punten van de WMR schelpdiersurvey meegenomen. Dat gebeurt alleen voor zover die punten binnen de contouren van een mosselbank liggen. Doordat de WMR schelpdiersurvey de mosselbanken relatief intensief bemonstert, leidt dat tot een duidelijke toename van het totaal aantal monsterpunten binnen de mosselbank contouren.

Voedsel dat bijna nooit droogvalt, levert naar verwachting een kleinere bijdrage aan de habitat geschiktheid. Om daar rekening mee te houden kunnen we de totale biomassa op een gridcel vermenigvuldigen met de droogvalduur (een fractie van de tijd).

Wanneer ook de functionele respons en de voedselbehoefte van de vogels bekend is, dan kunnen we alleen gridcellen beschouwen waar de opnamesnelheid groter is dan de gemiddeld te realiseren snelheid bij een gemiddelde foerageerduur van 12 uur per etmaal. Daarnaast kunnen we ook de kwaliteit van een dergelijke gridcel karakteriseren als de opnamesnelheid die de vogels er kunnen halen.



Figuur 6.1. Oppervlak toegekend aan SIBES punten berekend met een resolutie van 20m voor de bemonstering van Pinkegat Zoutkamperlaag van 2015. De toegekende oppervlakken zijn in willekeurige kleuren weergegeven. Pixels met een hoogte onder de -200 cm zijn wit om de geulen weer te geven. Niet toegekend oppervlak is zwart en grijze gebieden liggen buiten de regiokaart (overgenomen uit Rappoldt *et al.* 2019).

6.3. Voedselecolgie vogels

6.3.1. Functionele respons

Het verband tussen de opnamesnelheid van voedsel en de dichtheid van de prooidieren is de functionele respons, welke een centrale positie heeft in Wadmap. Dit verband kan worden uitgebreid door ook interferentie mee te nemen, dat wil zeggen dat de toenemende last die dieren van elkaar ondervinden bij het voedsel zoeken als de dichtheid van soortgenoten toeneemt (Miller 1967). Als de opnamesnelheid wordt beschreven als functie van zowel de dichtheid prooidieren als de dichtheid soortgenoten, wordt gesproken van de gegeneraliseerde functionele respons (van der Meer & Ens 1997). Bij berekeningen die zich enkel baseren op metingen aan het voedselaanbod is het per definitie onmogelijk om interferentie mee te nemen, en dus concentreren wij ons op de “eenvoudige” functionele respons om het oogstbare voedselaanbod te berekenen.

Goede empirische metingen aan de functionele respons zijn slechts beschikbaar voor een beperkt aantal vogelsoorten en prooidieren. Daarom is gekozen om een empirisch bepaalde functionele respons, welke geacht wordt “algemeen” geldig te zijn. Op basis van een groot aantal gepubliceerde veldmetingen van opnamesnelheden van op het wad foeragerende steltlopers en dichtheden van hun prooien zijn voorspellende vergelijkingen afgeleid voor de relaties tussen deze grootheden (Goss-Custard *et al.* 2006). Daarbij is de volgende beschrijving van de functionele respons gebruikt:

$$IR = (a \cdot d) / (b + d)$$

waarin IR de opnamesnelheid is (mg asvrij drooggewicht (AVDG) per sec), d de dichtheid aan prooidieren (n/m^2), a de asymptoot van de hyperbolische functie (d.w.z. het plafond aan de opnamesnelheid dat wordt bereikt bij grotere prooidichtheden), en b de prooidichtheid waarbij de IR de helft van de asymptotische waarde bereikt ('half-asymptootwaarde').

Hoewel op basis van andere parameters, beschrijven bovenstaande formules en Holling's *disc equation* dezelfde functie (Holling 1959). De parameters zijn dan ook gerelateerd. De zoeksnelheid a (ook wel 'instantane ontdekkingsoppervlak') uit Holling's model is gelijk aan de verhouding a/b uit de Goss-Custard formulering, en de hannestijd h is gelijk aan $1/a$. Voor vogelsoorten en prooien waar daadwerkelijke metingen aan functionele respons beschikbaar waren, zoals Scholekster, Rosse Grutto en Kanoet zijn deze gebruikt. Voor de Kanoet is een geoptimaliseerd dieet model van Hirakawa (1995) gebruikt, welke

door van Gils *et al.* (2005) voor de Kanoet is aangepast als een *Digestive Rate Model* (DRM). Dit model houdt rekening met het feit dat Kanoeten de prooien, meestal schelpdieren, in hun geheel inslikken en dus niet alleen te maken hebben met de energie-inhoud van het ingeslikte vlees, maar ook met de ballast van de schelp. Voor een uitgebreide beschrijving van de wijze waarop de parameters voor de functionele respons voor de verschillende vogelsoorten zijn geschat verwijzen wij naar Ens *et al.* (2015b).

6.3.2. Prooikeuze

Om te bepalen welke prooi-soorten potentieel voedsel zijn is voor elk van de geselecteerde vogelsoorten een uitgebreide literatuurstudie verricht (e.g. Ens *et al.* 2016, Ens *et al.* 2015b). Daarnaast is een vergelijk gemaakt met de prooikeuze en grootte indeling van Folmer *et al.* (2021). Op basis hiervan is voor elke vogelsoort de prooien verdeeld in:

1. **Stapelvoedsel.** Dit zijn prooi-soorten die met grote regelmaat het hoofdvoedsel van de populatie vormen.
2. **Aanvullende voedselbronnen.** Dit zijn prooi-soorten die regelmatig gegeten worden, maar zelden het hoofdvoedsel vormen.
3. **Sporadische voedselbronnen.** Dit zijn prooi-soorten die wel eens in het dieet worden vastgesteld, maar nooit het hoofdvoedsel vormen.

De resultaten zijn samengevat in Tabel 6.1. Proxies voor draagkracht kunnen berekend worden voor (a) alleen het stapelvoedsel (korte prooijijst), en (b) stapelvoedsel en aanvullende voedselbronnen (lange prooijijst).

6.3.3. Voedselbehoefte en beschikbare foerageertijd

Om de voedselbehoefte van de verschillende soorten te kunnen inschatten, is het van belang een inschatting van de energie uitgaven te maken, welke in twee componenten onderverdeeld kunnen worden.

1. Het van lichaamsgewicht afhankelijke 'basaal-metabolisme' (*Basal Metabolic Rate* BMR) is gedefinieerd als het energieverbruik van een (warmbloedig) dier in rust in een thermoneutrale omgeving, waarin hij geen extra energie hoeft te spenderen aan het handhaven van zijn lichaamstemperatuur.
2. De uitgaven van vrij levende vogels in het veld (veldmetabolisme of *Field Metabolic Rate* FMR) liggen gemiddeld gesproken bij de meeste soorten ongeveer tussen twee en drie maal BMR (Bryant & Tatner 1991); bij wadvogels rond de 2.5 x BMR (Kersten & Piersma 1987). Ze variëren echter in de loop van het seizoen, in de Waddenzee vooral onder invloed van variatie in de temperatuur, en daarnaast door seizoensspecifieke activiteiten zoals rui en de opvet periode.

Tabel 6.1. Prooikeuze van de onderzochte wadvogelsoorten op basis van een review van gepubliceerde literatuur ver-richt (Ens et al. 2016, Ens et al. 2015b, Folmer et al. 2021). XX = Stapelvoedsel. Dit zijn prooi-soorten die met grote regelmaat het hoofdvoedsel van de populatie vormen; X = Aanvullende voedselbronnen. Dit zijn prooi-soorten die re-gelmatig gegeten worden, maar zelden het hoofdvoedsel vormen. + = Sporadische voedselbronnen. Dit zijn prooi-soor-ten die wel eens in het dieet worden vastgesteld, maar nooit het hoofdvoedsel vormen.

prooi-soort	wetenschappelijke naam	Scholekster	Kluut	Zilverplevier	Kanoet	Drieteenstrandloper	Rosse Grutto	Wulp	Bergeend	Pijlstaart	Bontbekplevier	Drieteenstrandloper	Bonte Strandloper	Tureluur	Steenloper
Witte dunschaal	<i>Abra alba</i>	X		+	X	X	+		x			x	XX	X	X
Tere dunschaal	<i>Abra tenuis</i>	X			X	X			x			x	XX	X	X
Ambergele Zeeduizendpoot	<i>Alitta succinea</i>	+	XX	XX		XX	XX	XX			XX		XX	XX	X
Groene Zeeduizendpoot	<i>Alitta virens</i>		XX	XX		XX	XX	XX			XX		XX	XX	X
Wadpier	<i>Arenicola marina</i>	X		+			XX	XX			+				
Slangpier	<i>Capitella capitata</i>		X	X			+		x	x	XX		X	+	
Strandkrab	<i>Carcinus maenas</i>	+	+	X	XX	XX	+	XX	+	+	X	xx		XX	XX
Kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	XX	+	+	XX	X	+	+	x	xx		x	+	+	X
Slijkgarnaal	<i>Corophium volutator</i>		XX	X	+	X	+		xx	x	X	x	X	XX	XX
Garnaal	<i>Crangon crangon</i>		+	+	XX	XX	+	+		+		xx	X	X	XX
Japanse oester	<i>Crassostrea gigas</i>	+													
Amerikaanse Zwaardschede	<i>Ensis directus</i>	XX					+								
Groengele wadpier	<i>Eteone longa</i>						+	+							
vlokreeftje	<i>Gammarus sp.</i>		+				+		x	x					XX
Veelkleurige Zeeduizendpoot	<i>Hediste diversicolor</i>	X	XX	XX	+	XX	XX	XX	x	xx	XX	xx	XX	XX	X
Draadworm	<i>Heteromastus filiformis</i>		X	X			+		x	x	XX		X	+	
Wadslakje	<i>Hydrobia ulvae</i>		+	X	XX		+		xx	xx	X		XX	XX	XX
Schelpkokerworm	<i>Lanice conchilega</i>	+		X			XX	X						X	
Alikruik	<i>Littorina littoralis</i>	+	+	+	+		+	+	+				+		X
Nonnetje	<i>Limecola balthica</i>	XX		+	XX	X	+	x	xx	x		x	XX	X	X
Marenzelleria	<i>Marenzelleria viridis</i>		X	X					x	x	XX		X	+	
Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	XX	+		XX			XX	+						
Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	XX		+	X	X	+	+	x	x		x	+	+	XX
Zandzager	<i>Nephtys hombergii</i>			X		X	XX		x	x	X	x	XX	XX	
Zandkokerworm	<i>Pygospio elegans</i>						+								
Wapenworm	<i>Scoloplos armiger</i>	+		XX		XX	XX				XX	x	X	X	
Platte Slijkgaper	<i>Scrobicularia plana</i>	XX	+		XX	X	+	X	x			x	X		
Tere platschelp	<i>Tellina tenuis</i>	X			X	X	+		x			x	XX		
kleine ongedetermineerde wormen'			X	X	+				x	x	XX		X	+	

De gehanteerde schattingen voor gewicht, BMR en FMR staan in Tabel 6.2.

De totale beschikbare foerageertijd voor een wad-vogel is in het rekenmodel op 12 uur per etmaal ge-steld, uitgaande van de aannamen dat alle voedsel in het intergetijdengebied wordt verzameld, dat dit ha-bitat gemiddeld 12 uur per etmaal beschikbaar is, en dat de vogels er zowel bij daglicht als in het donker kunnen foerageren.

6.4. Berekende proxies

Met Wadmap kunnen de volgende proxies voor draagkracht worden berekend:

1. **Opp:** het areaal geschikt foerageerhabitat op basis van de berekende opnamesnelheid van voedsel en een energetisch bepaalde ondergrens aan de opnamesnelheid. Dit is de proxy voor draagkracht zoals toegepast door Kraan et al. (2009).
2. **BMaanw:** de aanwezige biomassa aan prooidieren op basis van dieet.
3. **BMoogst:** de oogstbare prooibiomassa. Dit is de biomassa prooidieren in gebieden waar de drem-

Tabel 6.2. Gebruikte gemiddelde gewichten, basaalmetabolisme (BMR), en geschatte energie uitgaven (Field Metabolic Rate FMR) in twee 'rekenmaanden', voor de dertien modelsoorten die in dit rapport beschreven worden. (Bron: Ens et al. 2016).

	gewicht (g)	BMR (kJ/d)	maand 1	FMR (kJ/d)	maand 2	FMR (kJ/d)
Bergeend	1050	453	sep	1087	jan	1359
Pijlstaart	758	357	nov	1000	jan	1071
Scholekster	500	263	jan	843	sep	685
Kluut	337	198	sep	514	nov	593
Zilverplevier	219	144	mei	404	jan	461
Bontbekplevier	55	53	mei	142	sep	137
Kanoet	120	93	sep	241	jan	316
Drieteenstrandloper	49	48	mei	129	sep	125
Bonte Strandloper	49	48	mei	130	sep	125
Rosse Grutto	321	191	aug	496	mei	534
Wulp	757	357	jan	1070	sep	856
Tureluur ¹	125/150	96/109	jul	237	jan	386
Steenloper	110	87	aug	215	jan	297

¹ Tureluurs aanwezig in juli zijn *T.t. totanus* (125g), in januari *T.t. robusta* (150g).

pelwaarde in opnamesnelheid gehaald wordt en komt overeen met de proxy voor draagkracht zoals toegepast door Zwarts et al. (1996).

4. **BMoogstDr:** de beschikbare oogstbare prooibiomassa. Dit is de oogstbare prooibiomassa vermenigvuldigd met de lokale droogvalduur
5. **FRAanw:** de opnamesnelheden berekend voor het aanwezige voedsel, gesommeerd over de totale oppervlakte
6. **FRoogst:** de berekende opnamesnelheden, gesommeerd over de oppervlaktes waar de kritische opnamesnelheid gehaald wordt, d.w.z. waar het voedsel oogstbaar is
7. **FRoogstDr:** de berekende opnamesnelheden, gesommeerd over de oppervlaktes waar de kritische opnamesnelheid gehaald wordt, en vermenigvuldigd met de lokale droogvalduur

In deze rapportage zijn alle zeven proxies voor alle vogelsoorten de proxy waarden berekend voor Pinkegat en Zoutkamperlaag over de monitoring jaren 2008 t/m 2021. Daarbij zijn de volgende beslis-

singen genomen:

1. Berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de korte prooilijst.
2. Diepteverspreiding van schelpdieren afhankelijk van grootte en seizoen is overeenkomstig de reeds eerder gerapporteerde verbanden (Ens et al. 2018).
3. Diepteverspreiding van wormen afhankelijk van grootte is overeenkomstig de eerder gerapporteerde verbanden (Ens et al. 2018).
4. Er is besloten om de slecht bekende seizoensvariatie in diepte voor wormen niet in rekening te brengen.
5. Voor de Wadpier is seizoensactiviteit in rekening gebracht op basis van de eerder beschreven analyse van die activiteit (Ens et al. 2018).
6. Net als eerder zijn voor Bontbekplevier, Drieteenstrandloper, Kluut, Pijlstaart, Steenloper en Tureluur delen van het wad aangemerkt als ongeschikt en niet meegenomen in de berekening (Ens et al. 2017a).

7. Structural Equation Modelling - Sem Methodiek

Het doel van de Structural Equation Modelling (SEM) analyse is om de aantallen vogels op de hoog-watervluchtplaatsen statistisch te relateren aan het nabijgelegen beschikbare voedsel op de wadplaten. In dit hoofdstuk wordt eerst uitgelegd hoe een dataset met vogelaantallen en benthos dichtheden in de kolommen en in de rijen de observaties per HVP geconstrueerd is en vervolgens wordt kort de SEM methodiek zelf kort besproken. De SEM analyse is uitgevoerd voor de Kanoet, Rosse Grutto, Scholekster en Bonte Strandloper waarbij gebruik is gemaakt van de tellingen in de maand september.

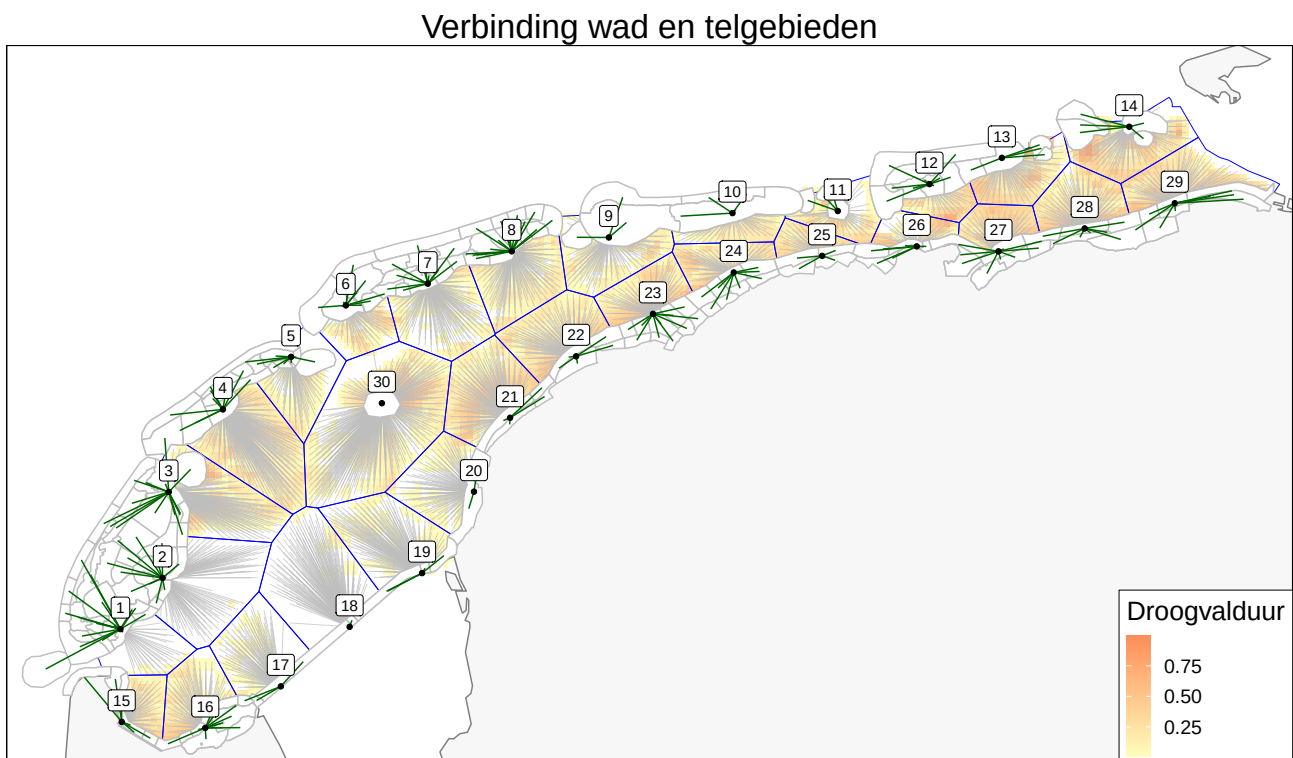
Om per vogelsoort het voedsellandschap te genereren, is gebruik gemaakt van de kennis over prooi-keuze (Tabel 6.1) en de ruimtelijke verspreiding van benthos (aantallen en biomassa) op basis van de SIBES (Figuur 5.3) en WMR (Figuur 5.4) moskok datasets. Alleen de prooi-soorten die als stapelvoedsel zijn gedefinieerd, zijn in de SEM analyse gebruikt. De gemiddelde droogvalduur is afkomstig van de module Intertides (Rappoldt *et al.* 2014).

7.1. Constructie dataset - linken van aantallen met droogvalduur en benthos

Deze sectie beschrijft hoe de aantallen vogels geteld

op de HVP's zijn gekoppeld aan de benthosdichtheden in het intergetijdengebied, waar deze vogels worden gedacht te foerageren in hetzelfde jaar. Per vogelsoort is de kwaliteit van de HVP's, in termen van nabijgelegen voedsel, berekend aan de hand van de volgende stappen:

- Een grid met celgrootte 750 x 750 m dat over de hele Nederlandse Waddenzee ligt, werd gemaakt om de abiotische variabele droogvalduur te koppelen aan prooi dichtheid (Figuur 7.1). De reden om de biotische en abiotische variabelen te aggregeren in een 750 m grid is om een homogene dataset te construeren die gebaseerd is op verschillende bemonstering programma's die variëren in de ruimtelijke resolutie. Per vogelsoort is een subset van de SIBES dataset genomen op basis van prooi-keuze en de lengte van de prooien (Tabel 6.1). Voor de meeste benthos monsters waren de aantallen individuen en de individuele lengtes en AsVrij Doog Gewicht (AVDG) bepaald. In de gevallen dat AVDG ontbrak, zijn deze berekend op basis van soort-specifieke relaties tussen lengte en AVDG (zie Folmer *et al.* 2021 voor details). Voor Scholekster en Kanoet worden ook de WMR mos-selbank data (MosKok) gebruikt in de analyse. Omdat de variatie tussen MosKok mossel punten groot is, is een groot aantal monsters nodig om



Figuur 7.1. De 30 Virtuele HVP's op ongeveer gelijke afstand „geplaatst” langs de kustzone van de Nederlandse Waddenzee.

een betrouwbare schatting van de numerieke dichtheid en de biomassa dichtheid binnen een bank te verkrijgen. In plaats van het oppervlak mosselbank per grid cel te linken aan een zeer beperkt aantal monsterpunten binnen die cel, hebben we gebruik gemaakt van de gemiddelde dichtheid van alle punten, maar onderscheid gemaakt tussen de oostelijke en westelijke Waddenzee. Op basis van de relatie tussen AVDG en lengte van Mosselen (zie paragraaf 2.2.4 in Folmer *et al.* 2021), is de numerieke dichtheid en biomassa dichtheid per grid-cel berekend. De totale AVDG per benthos soort en grid cel zijn berekend door individuele dichtheden te vermenigvuldigen met het oppervlak van een grid cel en vervolgens te sommeren.

- b. Omdat de telgebieden variëren in aantal, grootte en de ligging ten opzichte van het wad onregelmatig is, is het moeilijk om op een goede manier de aantallen vogels te koppelen aan de foerageergebieden. Om toch een ruimtelijk gebalanceerde verdeling van overtuigende vogelaantallen langs de rand van het wad te verkrijgen, zijn 30 virtuele HVP's op ongeveer gelijke afstand „geplaatst” langs de kustzone van de Nederlandse Waddenzee (exclusief Eems-Dollard; Figuur 7.1).
- c. Op basis van kennis van het gebruik van foerageergebieden van wadvogels in de Waddenzee en op basis van de aanname dat wadvogels vliegkosten tussen HVP's en foerageergebieden minimaliseren, zijn de foerageergebieden gekoppeld aan de virtuele HVP's op basis van vastgelegde foerageergebieden, en de kortste afstand (zie Folmer *et al.* 2021 voor een discussie over deze aanname). Deze “central place foraging” aanname (Aarts *et al.* 2021, Cairns 1989) leidt tot een Voronoi tessellatie van de foerageergebieden (Figuur 7.1). Op basis van de ideaal vrije verdeling is het aantal vogels per virtuele HVP een functie van de prooibeschikbaarheid in deze gebieden.
- d. Voor ieder jaar en iedere prooi-soort is de prooi-beschikbaarheid (P) per virtuele HVP berekend als een functie van de prooi biomassa in de grid cel-

$$P_{jst} = \sum_i b_{ist} \cdot w(d_{ij}) \cdot \tau_i$$

len binnen de foerageergebieden, de droogvalduur en de afstand tot de virtuele HVP.

- e. b_{ist} is de AVDG (g) van benthos soort (s) in cel (i) in jaar (t). Devaluatie of weging voor de afstand tussen virtuele HVP en gridcel is gebaseerd op de negatieve exponentiële functie; $w(d_{ij}) = e^{-\lambda d_{ij}}$. Hierbij is de afstand tussen cel en virtuele HVP. We hebben gekozen voor $\lambda = 0.1$ (zie Folmer *et al.* 2021 voor resultaten en discussie rondom de keuze voor de waarde van λ). τ_i is de gemiddelde droogvalduur (deze waarde ligt tussen 0-1; 0 is nooit droogvallend, 1 is altijd droog liggend).

7.2. Beschrijving sem methodiek

Structural equation modelling (SEM) is een statistische methode waarbij factor analyse gecombineerd kan worden met regressieanalyse (Bollen 2014). Het idee achter factor analyse is om een latente factor te definiëren op basis van een set variabelen, die onderling correleren. De latente variabele (i.e. de factor) beschrijft de gemeenschappelijke variatie tussen een set gemeten variabelen. Met SEM is het mogelijk om de relatie tussen een latente variabele en andere gemeten variabelen (in dit geval vogelaantallen op de HVP) te analyseren. Een voordeel van SEM ten opzichte van conventionele multi-pele regressie is dat de individuele benthos effecten bestudeerd kunnen worden door de factor *loadings* te beschouwen en dat niet-significante predictoren niet hoeven worden verwijderd (zoals bij conventionele multi-pele regressie).

Hier wordt het foerageerpotentieel gemodelleerd als een latente variabele (F) en het effect ervan op het aantal vogels (N) wordt statistisch geschat. De verschillende jaren zijn als factor groep gemodelleerd wat wil zeggen dat er voor ieder jaar een F, de parameters voor F en een regressie van F op het aantal vogels wordt geschat. In Folmer *et al.* (2021) worden de technische details van de methode beschreven en is tevens een illustratie op basis van gesimuleerde data gegeven. Om beter tegemoet te komen aan de aanname van een normale verdeling, is een log-transformatie toegepast op zowel de vogelaantallen als de prooidichtheden.

8. Resultaten monitoring

8.1. Ontwikkelingen waddenzee

De ontwikkelingen van het voedselaanbod voor de vogels in het bodemdalingsgebied vinden plaats binnen de context van de veranderingen in de Waddenzee. Het lijkt daarom zinvol deze veranderingen en kennis over onderliggende processen eerst kort te bespreken. Vooral ook omdat het deels om grootschalige processen op lange termijn gaat, waarbij de invloeden kunnen verschillen tussen delen van de Waddenzee.

De gegevens verzameld in het kader van de SIBES bemonsteringen zijn recentelijk gebruikt voor een zeer gedetailleerde analyse van de habitateisen van de voldoende algemene bodemdiersoorten (Folmer *et al.* 2017). De meeste bodemdiersoorten van de Waddenzee blijken in hun voorkomen af te hangen van de omgevingsvariabelen overstromingsduur, korrelgrootte en zoutgehalte (Kraan *et al.* 2010). Voor sommige soorten zijn ook golfimpact en bodemschuifspanning door stroming van belang. De meeste bodemdiersoorten hebben een relatief brede niche: ze komen voor onder een breed spectrum van fysische condities, en er zijn geen kritische drempels in de omgeving gevonden rond welke de gemeenschap sprongsgewijs verandert.

8.2. Droogvallende mosselbanken

Misschien wel de meest ingrijpende ecologische gebeurtenis in de recente geschiedenis was het vrijwel volledige verdwijnen van de droogvallende mosselbanken rond 1990. Dit was het gevolg van een toename van de visserij op droogvallende mosselbanken in een periode met weinig broedval (Beukema & Cadée 1996, Ens *et al.* 2004). Na een betere bescherming zijn de droogvallende mosselbanken langzaam teruggekeerd (Troost *et al.* 2021).

Herstel van die banken vereiste grootschalige broedval en die is zeldzaam en onvoorspelbaar. Van grootschalige broedval van Mosselen in de Nederlandse Waddenzee was slechts sprake in 1994, 2001, 2003, 2016 en 2018 (van den Ende *et al.* 2020), gemiddeld eens in de zeven jaar. Tijdens het herstel van de droogvallende mosselbanken vond ook een uitbreiding van de Japanse oester plaats, een exoot die al sinds 1983 in de Nederlandse Waddenzee voorkwam (Dankers *et al.* 2004), maar zich pas rond 2003 massaal begon uit te breiden. Aanvankelijk leek het alsof de Japanse oesters de mosselbanken overwoekerden en de Mossel misschien geheel zouden verdringen, maar ondertussen ontwikkelen zich steeds meer gemengde banken waar de Mossels zich tussen de oes-

ters vestigen. Na 30 jaar is het areaal “mosselbanken” weer op het niveau van voor de verdwijning (zie ook Figuur 5.4), al zal het aandeel gemengde banken waarschijnlijk blijven groeien en ook het totale areaal zou nog kunnen toenemen (van der Meer *et al.* 2019). De gegevens die van der Meer *et al.* (2019) gebruiken voor hun berekeningen zijn gebaseerd op de jaren 1999-2013 en de toen voorspelde toename is inderdaad opgetreden (Troost *et al.* 2021).

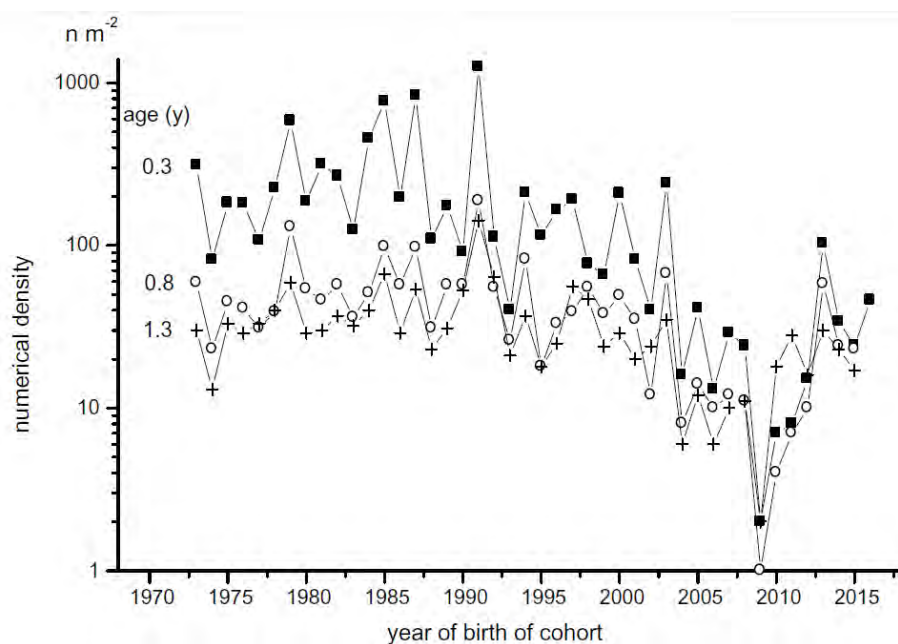
De samenstelling van de banken is belangrijk, omdat Scholeksters en Kanoeten, die op de banken voornamelijk Mossels eten, negatief worden beïnvloed naarmate de dichtheid Japanse oesters hoger is (Waser *et al.* 2016). Scholeksters kunnen wel Japanse oesters openen (Cadée 2008), maar dit zijn alleen de kleinere exemplaren.

Behalve mosselvisserij op de platen was er rond 1990 ook sprake van grootschalige mechanische kokkelvisserij op de wadplaten. In sommige jaren kon een aanzienlijk deel van het kokkelbestand worden opgevist (Ens *et al.* 2004). In 2005 werd de mechanische kokkelvisserij verboden. Ten tijde van de mechanische kokkelvisserij was er sprake van kleinschalige handmatige kokkelvisserij, maar de omvang daarvan is toegenomen na het beëindigen van de mechanische kokkelvisserij (Troost & van Asch 2018). De kokkelbestanden zijn toegenomen, maar net als bij Mossels is er maar af en toe sprake van een massale broedval.

8.3. Ontwikkelingen bodemdieren waddenzee

Het Nonnetje *Limecola balthica* werd gekenmerkt door een hele stabiele populatie opbouw, tot aan het begin van deze eeuw de populatie instortte (Figuur 8.1). Dit patroon werd eerst beschreven voor het Balgzand, maar is ook elders in de Waddenzee waargenomen (Beukema *et al.* 2017b). De verklaring wordt gezocht in negatieve gevolgen van de mechanische kokkelvisserij (Piersma *et al.* 2001), maar ook hogere temperaturen als gevolg van klimaatverandering en daarnaast de uitbraak van een onbekende ziekte (Beukema *et al.* 2017a).

Sommige soorten bodemdieren, zoals de Kokkel *Cerastoderma edule*, de Schelpkokerworm *Lanice conchilega* en de Zandzager *Nephtys hombergi*, zijn gevoelig voor vorstperiodes en kunnen massaal sterven in een strenge winter, zodat er overall schaarste optreedt (Beukema *et al.* 1993). Na zo'n strenge winter is er dan vaak weer massale broedval.



Figuur 8.1. Lange-termijn (1973-2016) gegevens van de halfjaarlijkse (einde winter en einde zomer) schattingen van de dichtheid recruten van het Nonnetje (*Limecola balthica*) op het Balgzand, in aantallen per m^2 (gemiddeld over 15 raaien). Dichtheden zijn bepaald voor drie leeftijden van elke recruit van elk cohort: (dichte vierkanten) in de zomer op een leeftijd van 0,3 jaar, (open rondjes) in de winter op een leeftijd van 0,8 jaar, en (kruizen) in de zomer op een leeftijd van 1,3 jaar. Bron: (Beukema et al. 2017a).

Deze broedval levert veel voedsel voor de kleine wadvogels met korte snavels, maar als de prooidieren ouder en groter worden graven ze zich dieper in en worden ze prooi voor de grotere wadvogels met een langere snavel (Zwarts & Wanink 1993).

8.4. voedselaanbod pinkegat-zoutkamperlaag

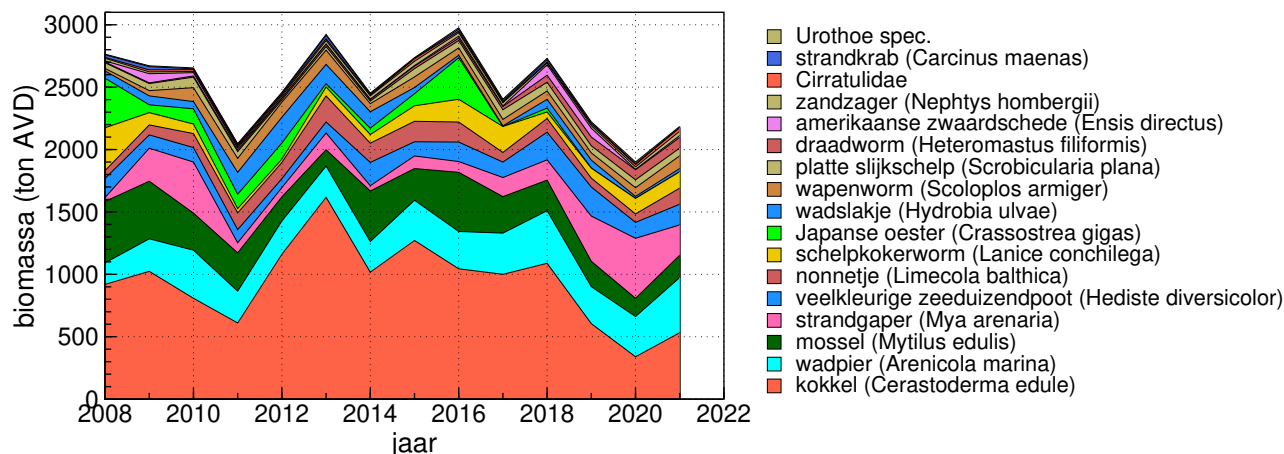
De ontwikkeling van het totale biomassa van de bodemdieren in Pinkegat en Zoutkamperlaag is weergegeven in Figuur 8.2. Ongeveer 25% - 50% van de biomassa bestaat uit Kokkels. Er is geen duidelijke trend over de hele periode, maar de laatste jaren lijkt er wel sprake van een afname, als gevolg van een afname in het Kokkelbestand. Die afname van het Kokkelbestand is zichtbaar in de hele Waddenzee

(Troost et al. 2021).

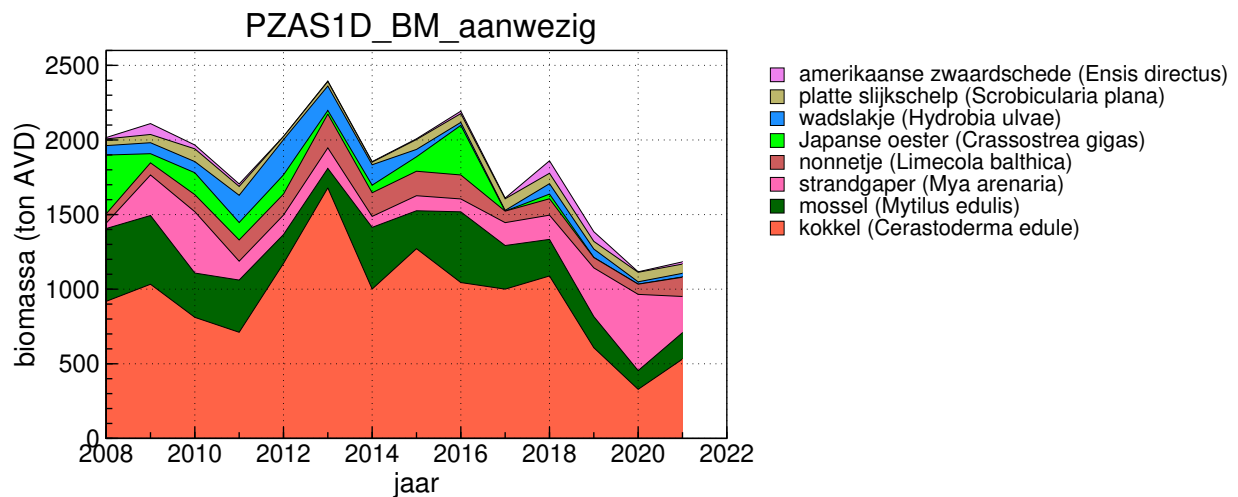
8.4.1. Schelpdieren

Wanneer alleen naar de schelpdieren wordt gekeken, dan lijkt de totale beschikbaarheid af te nemen, door met name de Kokkel (Figuur 8.3). De piek van de Kokkel in 2013 is het gevolg van de massale broedval in 2011, waarvan de Kokkels in 2013 sterk gegroeid waren. De sterke afname tussen 2018 en 2020 is mede het gevolg van een grote sterfte van droogvallende Kokkels tijdens hittegolven in de nazomers van 2018 en 2019 (Troost et al. 2021). De andere scheldieren zoals Mossel, Strandgaper, Nonnetje en Wadslakje lijken redelijk stabiel.

De bestanden van de Amerikaanse Zwaardschede daarentegen zijn marginaal. In de Nederlandse kustwateren is dit tegenwoordig vervuut de algemeenste



Figuur 8.2. Ontwikkeling van de totale biomassa bodemdieren (in tonnen asvrij drooggewicht) in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag in de winter, onderverdeeld naar de verschillende soorten prooidieren.



HabitatModel 1.31 14 april 2022, 11:31 File: Monitoring2022_S_HWPLOTSchelpenWinterPZAS1D_BM_aanwezig.eps, page 1

Figuur 8.3. Ontwikkeling van de totale biomassa schelpdieren (in tonnen asvrij drooggewicht) in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag in de winter, onderverdeeld naar de verschillende soorten schelpdieren.

soort (Troost *et al.* 2021). Het is een sublitorale soort die alleen in de laagste delen van het litoraal voorkomt. Scholeksters kunnen een zeer hoge predatiedruk uitoefenen op die schaarse litorale exemplaren (Dokter *et al.* 2017). De laatste jaren lijkt er wel sprake van een afname in het bestand schelpdieren als gevolg van de afname in het Kokkelbestand, een Waddenzee-breed fenomeen. In 2020 is er zelfs sprake van een absoluut dieptepunt in de biomassa Kokkels door het uitblijven van broedval, al zien we in 2021 een langzame kentering van dit beeld.

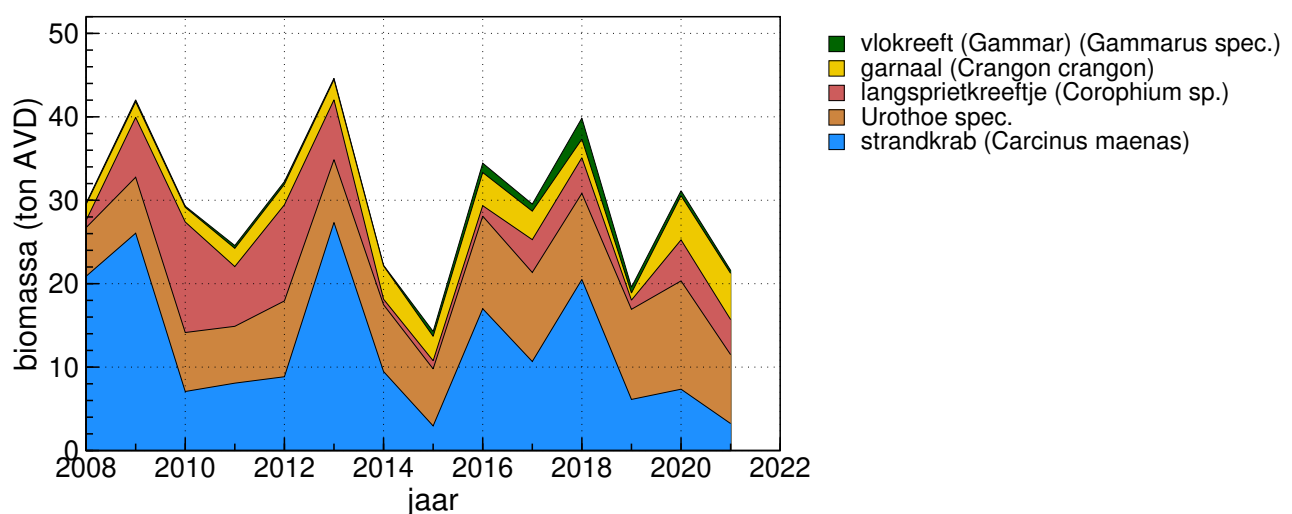
8.4.2. Kreeftachtigen

De bestanden kreeftachtigen fluctueren zeer sterk als gevolg van sterke fluctuaties in het bestand Strandkrabben en het bestand aan Langsprietkreeftjes, maar er is geen duidelijke trend

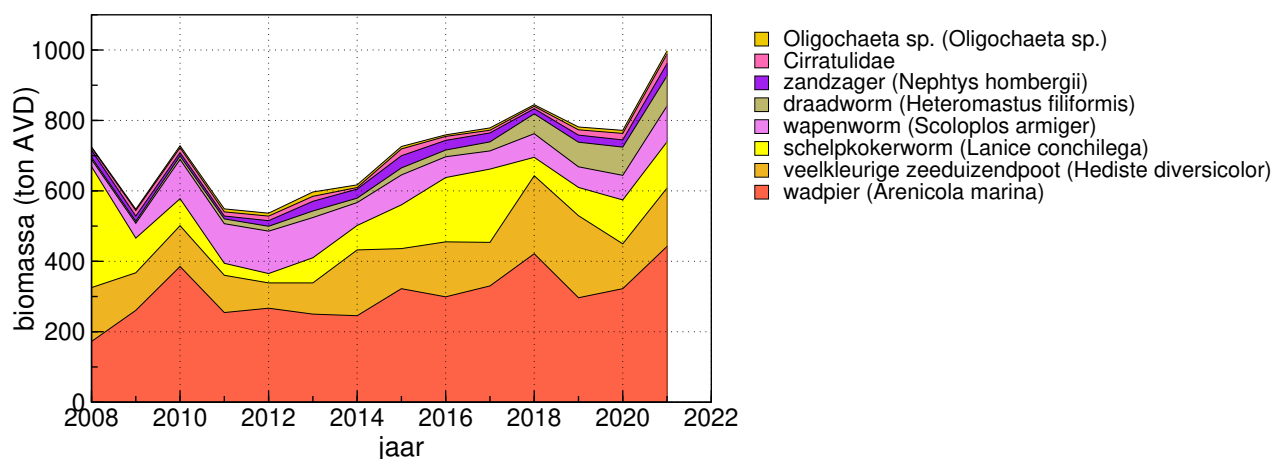
(Figuur 8.4). Deze soorten in deze groep soorten zijn heel mobiel en laten zich niet heel goed bemonsteren (Taal *et al.* 2020). Er kan daarom niet worden uitgesloten dat deze fluctuaties voor een deel het gevolg zijn van *sampling variance*. In vergelijking tot de andere bodemdieren is het relatieve aandeel kreeftachtigen minimaal (maximaal 45 ton AVD in de winter, terwijl het totale bestand aan bodemdieren fluctueert tussen 2000 en 3000 ton AVD in de winter; Figuur 8.2). Deze soortgroep is wel relevant, want kreeftachtigen worden door veel vogels benut (zie ook Tabel 6.1).

8.4.3. Wormen

Er lijkt sprake van een lichte stijging in het bestand wormen (Figuur 8.5), waarbij opvalt dat de Schelpkokerworm heel variabel is tussen de verschil-



Figuur 8.4. Ontwikkeling van de totale biomassa kreeftachtigen (in tonnen asvrij drooggewicht) in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag in de winter, onderverdeeld naar de verschillende soorten kreeftachtigen.



Figuur 8.5. Ontwikkeling van de totale biomassa wormen (in tonnen asvrij drooggewicht) in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag in de zomer, onderverdeeld naar de verschillende wormensoorten.

lende jaren. Wormen vormen na de schelpdieren een belangrijk deel van de biomassa bodemdieren. Binnen de wormen heeft de Wadpier, welke redelijk constant lijkt, het grootste aandeel, gevolgd door de Veelkleurige Zeeduizendpoot, de Schelpkokerworm en de Wapenworm.

8.5. Vogels

De resultaten voor de vogels worden per soort beschreven. De soortbeschrijvingen bestaan uit de volgende onderdelen:

1. De resultaten van de trend in aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag en de vergelijking met de aantalsontwikkelingen elders: de rest van de Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee (waarvoor de gegevens t/m 2019 beschikbaar waren) en de populatieaantallen langs de Oost-Atlantische vliegroute (van Roomen *et al.* 2022). De trends worden geclassificeerd volgens de NEM-criteria (Figuur 5.5).
2. Figuren over het verloop van alle proxies voor beide seizoenen in Pinkegat-Zoutkamperlaag. De resultaten van de trendberekeningen over de proxies staan in de appendix.
3. Mogelijke verklaringen voor de waargenomen trends in aantallen en proxies wordt kort bediscussieerd.
4. Voor de proxies voor draagkracht worden de volgende resultaten in de tekst herhaald van de validatie-berekeningen uit de rapportage over het monitoringjaar 2018 (Ens *et al.* 2019):
 - a. Of er een gevalideerde proxy voor draagkracht werd gevonden. Hierbij is een grenswaarde van 25% verklaarde variantie voor model 1 aangehouden (Ens *et al.* 2019).
 - b. De mate waarin de proxies onderling correleren. Hierbij is een grenswaarde van 0,65

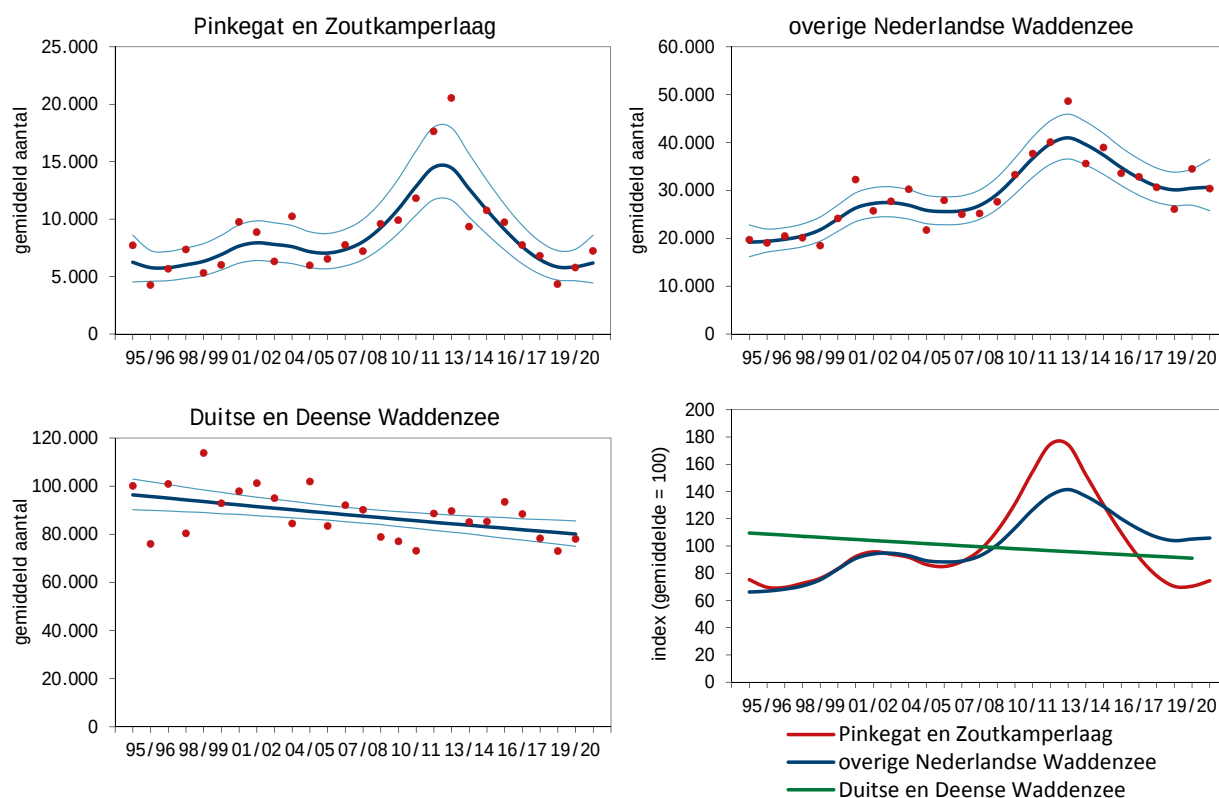
aangehouden: beneden deze waarde wordt de gemiddelde correlatie als laag beoordeeld (Ens *et al.* 2019).

5. Het beslisschema wordt toegepast op de resultaten, wat leidt tot een van de volgende conclusies:
 - a. Geen uitspraak mogelijk
 - b. Geen aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling
 - c. Aanwijzingen voor een mogelijk negatief effect van bodemdaling

8.5.1. Bergeend

Over de periode 1994-2021 waren de aantallen Bergeenden in Pinkegat en Zoutkamperlaag stabiel, maar over de afgelopen tien jaar er is sprake van een matige afname (Figuur 8.6; Tabel 8.1). Dit contrasteert in negatieve zin met de korte-termijn trends in de rest van de Waddenzee, die zowel in het Nederlandse als het Duitse en Deense deel stabiel zijn. Op Europese schaal zien we dezelfde patronen als in het Pinkegat en Zoutkamperlaag. Zo is de Europese flyway-populatie over de lange termijn (1976-heden) matig toegenomen, maar laat deze populatie op de korte termijn (2011-heden) een matige afname zien (van Roomen *et al.* 2022).

De Waddenzee is van groot belang voor ruiende en overwinterende Bergeenden en bijna 100% van de populatie gebruikt de Waddenzee (Kleefstra *et al.* 2022). Het Nederlandse deel daarvan wordt vooral steeds belangrijker als ruigebied (Kleefstra *et al.* 2011). De in augustus ruiende Bergeenden concentreren zich in enorme groepen langs de Friese kust ten westen van Holwerd, dus buiten de komberging Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.7). Lagere aantallen komen voor op Balgzand, in de Dollard, onder de Rottums en soms kleine groepen langs de Friese en Groningse kust. Tijdens de rui worden alle vliegveren tegelijkertijd afgeworpen en kunnen de



Figuur 8.6. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Bergeend in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

eenden dus niet vliegen, wat een verhoogde kwetsbaarheid voor predatie met zich meebrengt. Het is aannemelijk dat de eenden dan extra schuw zijn en de rustigste gebieden in de Waddenzee opzoeken, waar ook nog voldoende voedsel ligt.

Na de ruiperiode (dus ook in de rekenmaanden september en januari) komt de soort veel meer verspreid voor in de slijkgigere delen van de Waddenzee – mogelijk wordt de verspreiding dan vooral bepaald door het voedselaanbod en in mindere mate door verstoring.

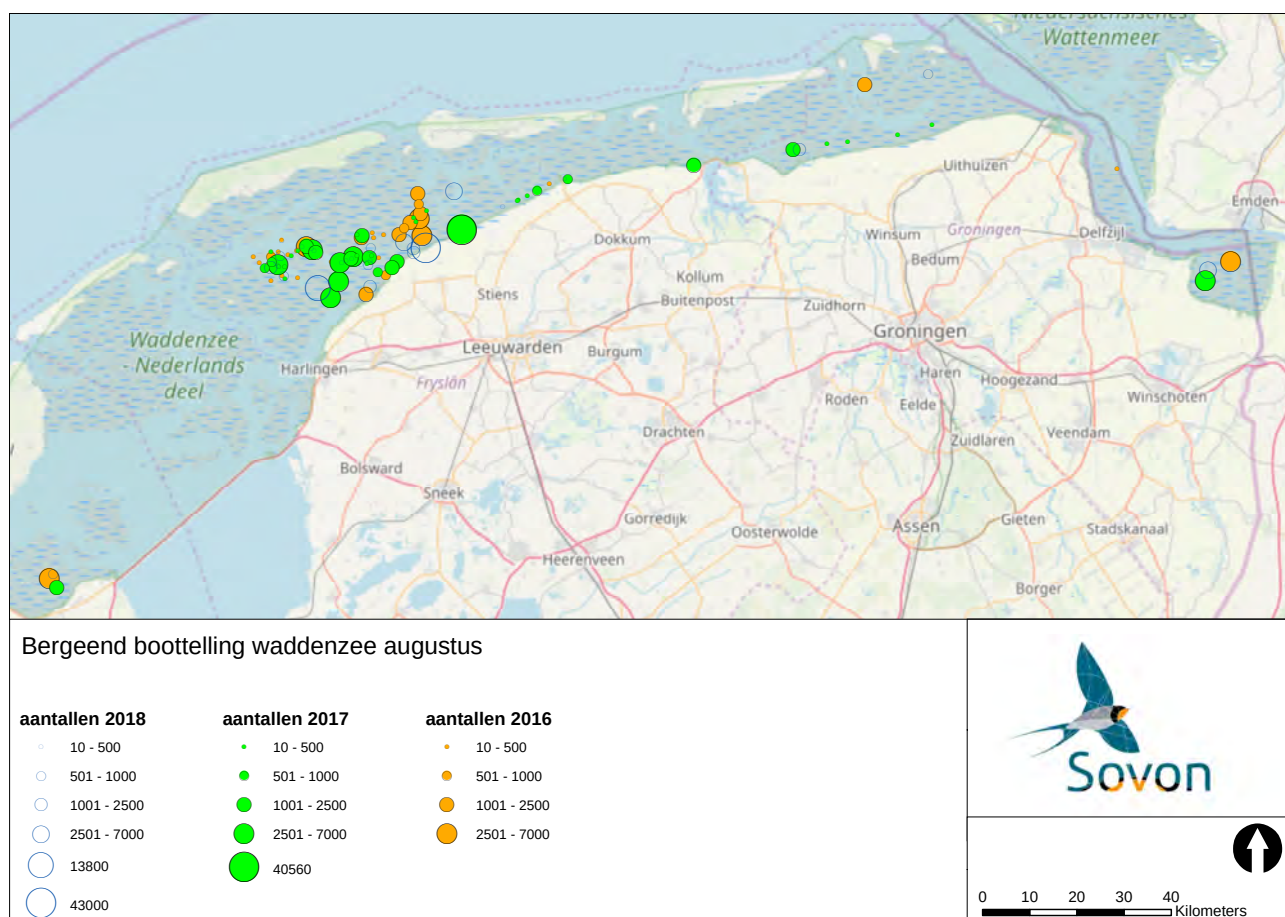
Naar de oorzaken van de grote aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2010-2013 en de

afname sindsdien kunnen wij slechts gissen. Kraan *et al.* (2006) en Kleefstra *et al.* (2011) lieten zien dat de toename van ruiende Bergeenden langs de Friese kust samenviel met een forse toename van de Slijkgarnaal *Corophium sp.* (ook wel aangeduid als Langsprietkreeft), een belangrijke prooi. Het wad langs de westelijke en centrale delen van de Friese noordkust kent recent de hoogste dichtheden aan Slijkgarnalen in de gehele Nederlandse Waddenzee. Meer oostwaarts, richting Pinkegat/Zoutkamperlaag, zijn ze aanzienlijk lager (Folmer *et al.* 2017), en daarnaast blijkt uit de SIBES-data dat de biomassa van *Corophium* in Pinkegat en Zoutkamperlaag in 2014-2019 aanzienlijk lager was dan in 2009-2013 (Figuur 8.4). De voor de Bergeend

Tabel 8.1. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Bergeend voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Bergeend Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.00	0	Stabiel	0.95	-	Matige afname
Rest Nederlandse Waddenzee	1.02	0	Stabiel	0.99	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	1.00	0	Stabiel	1.01	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroute (NW-Eur)	1.01*	+	Matige toename	0.99	-	Matige afname

* Betreft de periode 1976-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.7. Verspreiding van de ruiende Bergeenden in de Nederlandse Waddenzee eind juli 2016, 11 augustus 2017 en 13 augustus 2018. Gebaseerd op boottellingen door de WaddenUnit met vrijwilligers van Sovon.

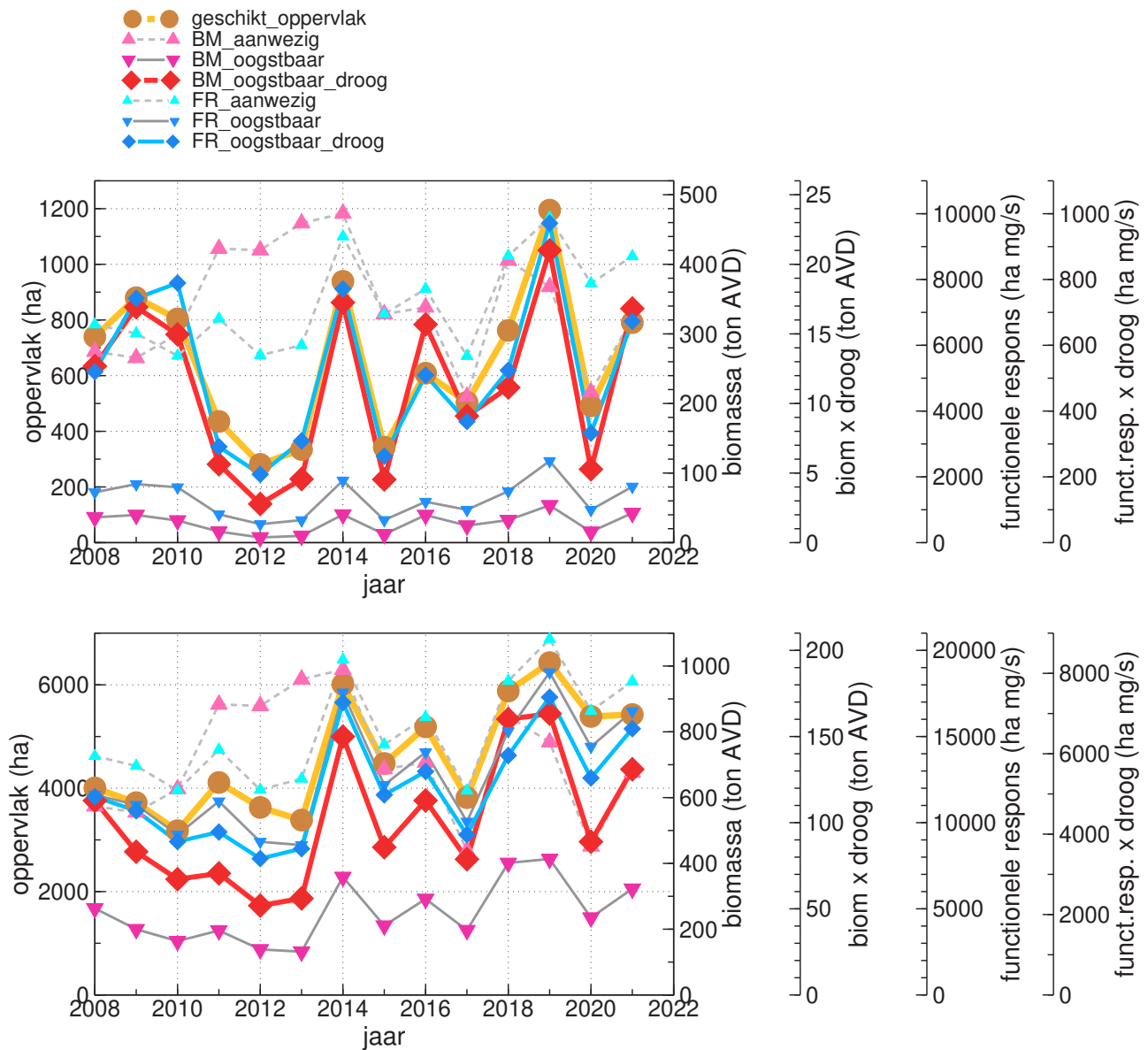
berekende proxies voor voedselbeschikbaarheid, die ook andere prooisorten dan de Slijkgarnaal omvatten, laten echter geen significante trends in de tijd zien, of juist een toename (Opp. in september, +4.1 %/jr). Het is daarmee niet duidelijk dat de aantalsafname van Bergeenden in Pinkegat/ Zoutkamperlaag wordt veroorzaakt door een afnemend voedselaanbod. Het is ook denkbaar dat deze een herverdeling weerspiegelt die wordt gestuurd doordat het voedselaanbod elders op het westelijke Friese wad aanzien-

lijk gunstiger is.

Voor de Bergeend kon geen gevalideerde proxy voor draagkracht ontwikkeld worden (Ens *et al.* 2019). De meeste proxies zijn wel sterk gecorreleerd en geen van de proxies laat een negatieve trend zien in Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.8). Een aantal proxies laat zelfs een significante positieve toename zien (appendix). Dit geldt zowel voor de winterperiode als voor de nazomer.

Tabel 8.2. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Bergeend in januari en september.

		jan.	sept.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	Y→3	Y→3
3	Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N→5	N→5
5	Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4	Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y



Figuur 8.8. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Bergeend in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de winter (boven) en de nazomer (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

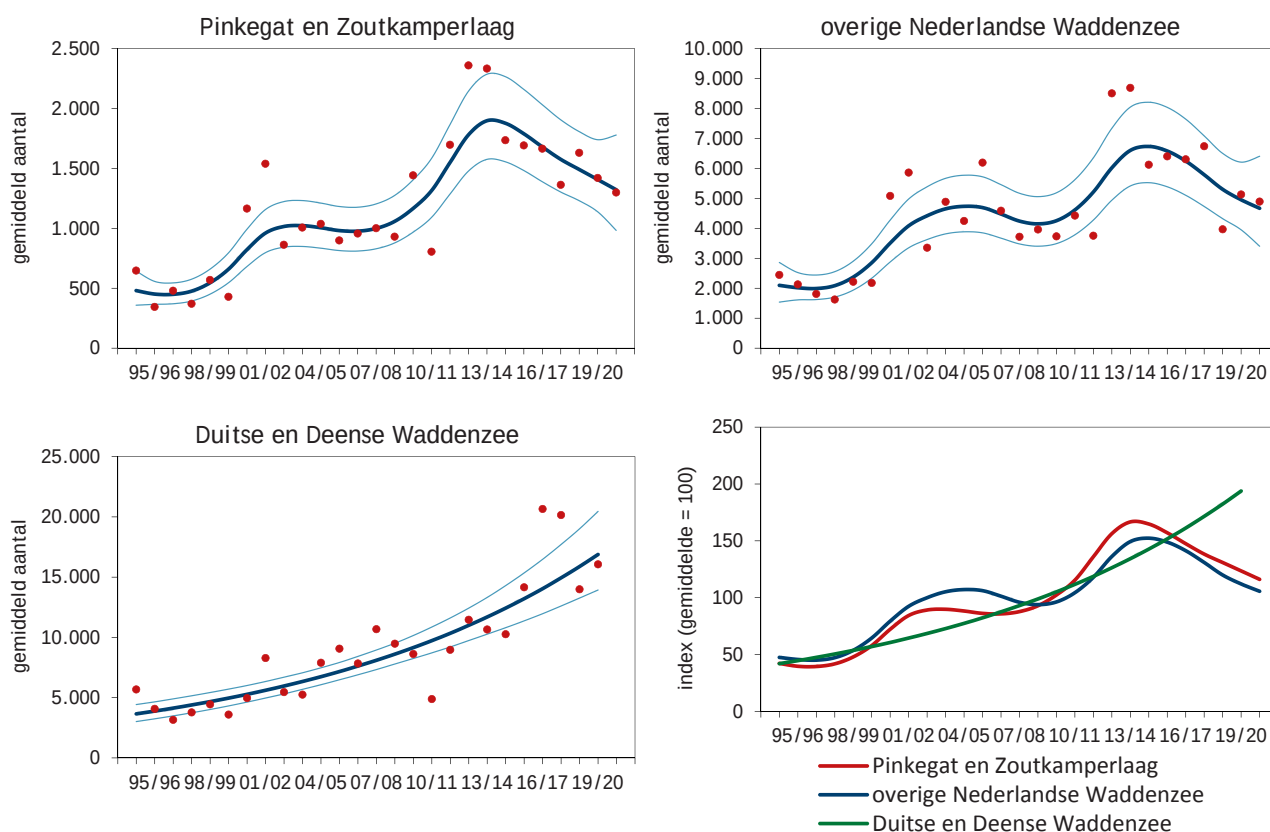
Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de winterperiode, noch in de nazomer zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.2).

8.5.2. Pijlstaart

Op de lange termijn nemen de aantallen Pijlstaarten sterker toe in Pinkegat en Zoutkamperlaag dan in de rest van de Waddenzee (Figuur 8.9; Tabel 8.3). Op de korte termijn is de trend in Pinkegat en Zoutkamperlaag stabiel, evenals in andere delen van de Nederlandse Waddenzee, na een langdurige toename, maar in het Duitse en Deense deel neemt de soort nog steeds toe. De Waddenzee is van groot belang voor de Europese populatie (Kleefstra *et al.* 2022). De trend van de in West-Europa over-

winterende flyway-populatie is positief op de lange termijn (1975-2020) zowel als op de korte termijn (van Roomen *et al.* 2022). Er zijn al met al geen aanwijzingen dat de aantalsontwikkeling in Pinkegat en Zoutkamperlaag in negatieve zin afwijkt van de andere gebieden.

Een verklaring voor de algemeen toenemende trend is moeilijk te geven. De meeste voor deze soort berekende proxies voor voedselbeschikbaarheid laten sinds 2008 geen significante trend te zien, maar voor drie ervan is wel sprake van een significante toename met ongeveer 2-3% per jaar (FRAanw in november en januari, Oppervlak in november en FRoogst in januari). Pijlstaarten op het wad zijn voor hun voedsel echter niet alleen aangewezen op de daar aanwezige



Figuur 8.9. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Pijlstaart in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

bodemfauna. Bladdelen en zaden van kwelderplanten kunnen ook een belangrijke rol spelen in het dieet (Dessborn *et al.* 2011), en (veranderingen in) de beschikbaarheid daarvan is niet gemeten en dus ook niet verwerkt in de proxies.

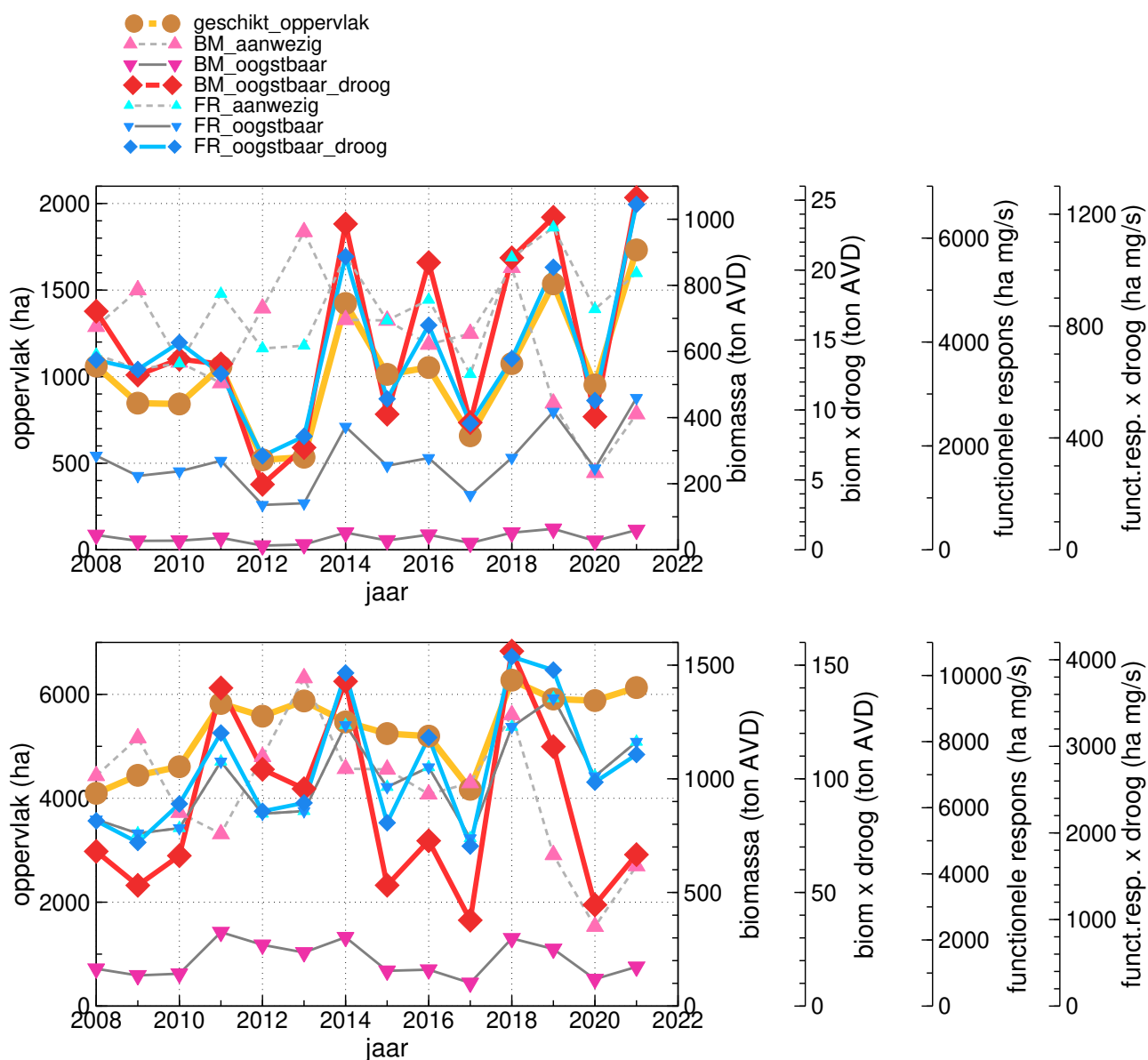
Voor de Pijlstaart kon geen gevalideerde proxy voor draagkracht ontwikkeld worden, maar de meeste proxies zijn sterk gecorreleerd (januari gemiddeld 0,61 en november gemiddeld 0,61; Ens *et al.* 2019a). Geen van de proxies laat een duidelijke negatieve trend zien (Figuur 8.10). Voor een aantal proxies is de trend zelfs significant positief (appendix). Deze conclusies gelden zowel voor de herfst als de winter.

Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de winterperiode, noch in de herfst zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.4).

Tabel 8.3. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Pijlstaart voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Pijlstaart Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.04	+	Matige toename	1.01	0	Stabiel
Overige Nederlandse Waddenzee	1.03	+	Matige toename	1.01	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	1.06	+	Matige toename	1.06	+	Matige toename
Oost-Atlantische vliegroute (NW Eur)	1.01*	+	Matige toename	1.02	0	Matige toename

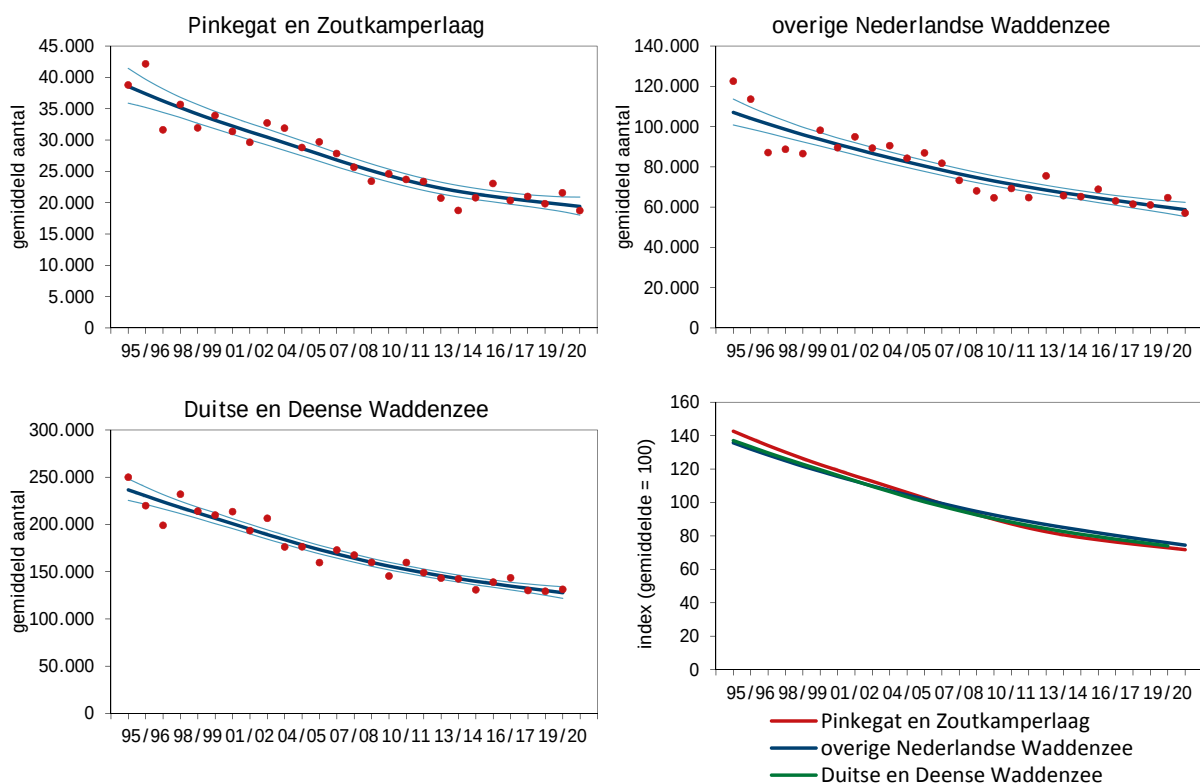
* Betreft periode 1975-2020 (van Roomen *et al.* 2022).



Figuur 8.10. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Pijlstaart in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de winter (boven) en de herfst (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

Tabel 8.4. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Pijlstaart in januari en september.

	jan.	sept.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	N→3	N→3
3 Gevalideerde proxy voor draagkracht	N→5	N→5
5 Alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4 Negatieve trend in proxy?	N→8	N→8
8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y



Figuur 8.11. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Scholekster in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

8.5.3. Scholekster

De aantallen Scholeksters die in de Waddenzee overwinteren nemen al jaren af sinds 1990 (Kleefstra *et al.* 2022, van de Pol *et al.* 2010b, Van der Jeugd *et al.* 2014). In heel West-Europa is de trend negatief over de periode 1990-2010 (van Roomen *et al.* 2015). Opvallend is dat de trend voor de totale populatie langs de Oost-Atlantische vliegroute op de lange termijn (1976-2020) als stabiel wordt beoordeeld (Tabel 8.5). Dit heeft echter te maken met het feit dat er tot ongeveer 1990 sprake was van een toename. In de Waddenzee neemt de Scholekster overal af, zowel op de lange termijn (vanaf 1994) als op de korte termijn (vanaf 2009; Figuur 8.11, Tabel 8.5). Er is sprake

van een afnemende populatie en de trendverschillen zijn niet groot, maar er kan niet worden uitgesloten dat de trend in Pinkegat en Zoutkamperlaag een iets sterkere afname laat zien dan elders.

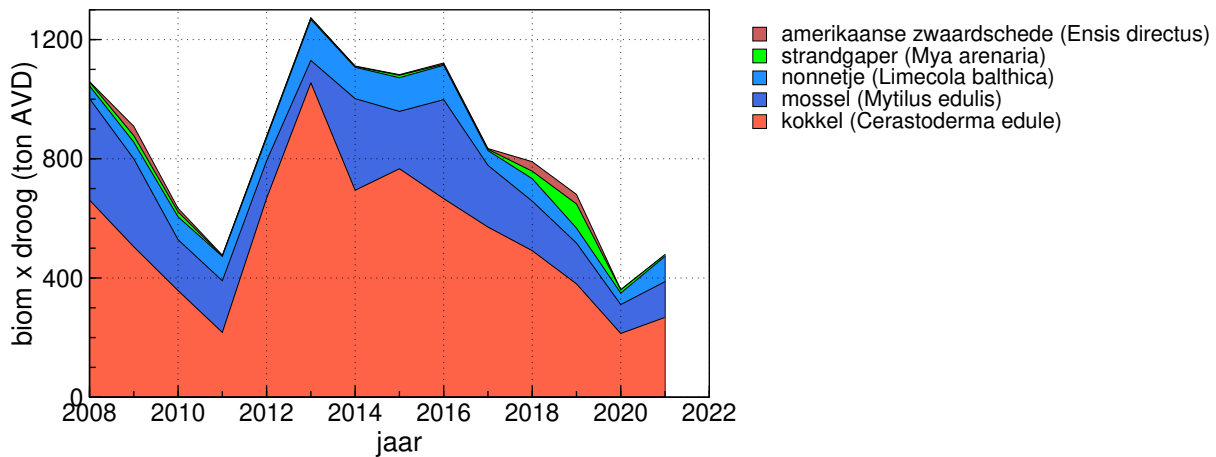
Een groot aantal factoren spelen een rol bij de achteruitgang van de Scholekster in de Waddenzee in de winterperiode: overbevissing van de mosselbanken eind jaren tachtig van de vorige eeuw, het sindsdien overgroeid raken van de terugkerende mosselbanken door Japanse oester, de kokkelvisserij (de mechanische kokkelvisserij is stopgezet in 2004, maar de handmatige kokkelvisserij heeft meer ruimte gekregen) en het instorten van de populatie Nonnetjes

Tabel 8.5. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Scholekster voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Scholekster Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbol	Beoordeling	Jaarverand	Symbol	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.97	-	Matige afname	0.98	-	Matige afname
Overige Nederlandse Waddenzee	0.98	-	Matige afname	0.98	-	Matige afname
Duitse en Deense Waddenzee	0.98	-	Matige afname	0.98	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegroute (NW Eur)	1.00*	0	Stabiel	0.98**	-	Matige afname

*Dit betreft de periode 1976-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

**Dit betreft de periode 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

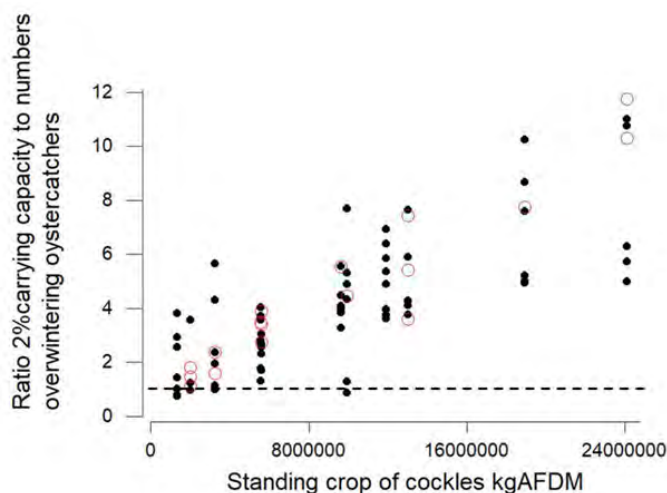


Figuur 8.12. Verloop van de voor Scholeksters oogstbare biomassa schelpdieren in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag in het najaar voor de jaren 2008-2021.

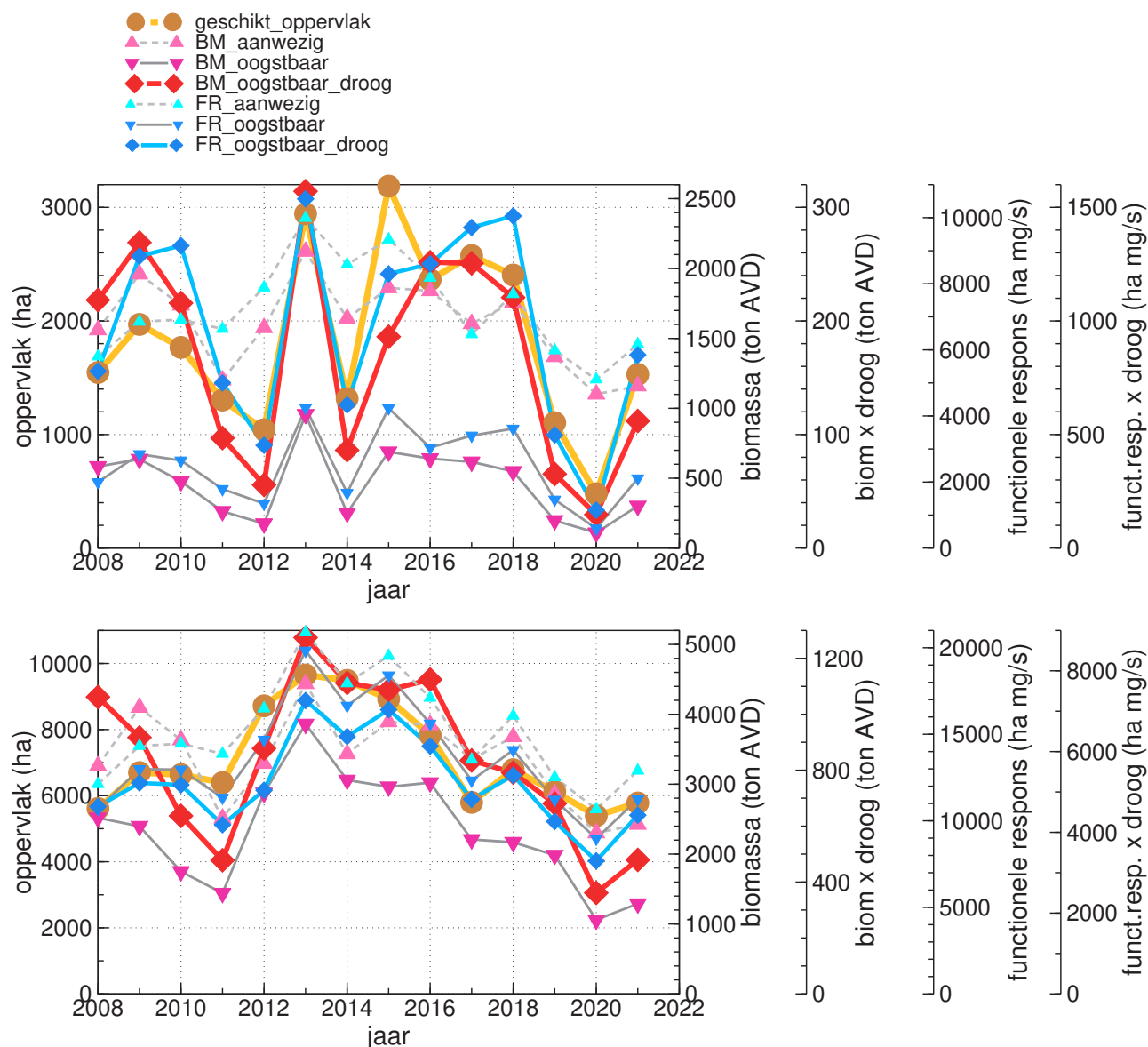
(Ens *et al.* 2009a, Ens *et al.* 2011, Rappoldt & Ens 2013). Veel Scholeksters die in de Waddenzee overwinteren broeden op de kwelders in het gebied, of binnendijs op de eilanden of in Noord-Nederland. Ook daar zijn problemen: een toename van het overstromingsrisico van de kwelders (van de Pol *et al.* 2010a) en het relatieve onvermogen van Scholeksters om zich aan te passen (Bailey *et al.* 2017, 2019), een toename van predatierisico op de vastelandskwelders en de intensivering van de landbouw (Ens *et al.* 2011).

Kokkels zijn de belangrijkste voedselbron voor Scholeksters in Pinkegat – Zoutkamperlaag volgens de berekeningen met Wadmap (Figuur 8.12). De eerder geconstateerde afname in het Kokkelbestand in de hele Waddenzee sinds de grote broedval in 2011 is ook hier duidelijk zichtbaar (Figuur 8.3). De kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag komen ruwweg overeen met vangstgebieden 6 en 7 van de handkokkelvisserij (Troost & van Asch 2018), zie Figuur 8.13. In de jaren 2012/2013 – 2016/2017 is in de gehele Nederlandse Waddenzee gemiddeld 1,5%

Figuur 8.13. De vangstgebieden in de Waddenzee, dus de gebieden waarvoor de handkokkelvangst wordt geregistreerd, genummerd van 1 t/m 9. De voor handkokkelvisserij permanent gesloten gebieden (A) zijn roze ingekleurd, de lotingsgebieden (C) geel, en het overige gebied betreft het permanent open gebied (D). (Bron: Troost & van Asch 2018).



Figuur 8.14. De verhouding tussen de voorspelde draagkracht in termen van het kokkelbestand en de schatting van de aanwezige Scholeksters als functie van het aanwezige kokkelbestand per deelgebied per jaar. De waarde 4 betekent dat de draagkracht vier keer hoger was dan nodig om de geschatte aanwezige Scholeksters in het deelgebied van voldoende voedsel te voorzien tot de lente. De rode cirkels geven de gebied-jaar combinaties aan waarin de kokkelvangst meer bedroeg dan het aanwezige bestand op 1 september. Bron: Goss-Custard & Stillman (2020).



Figuur 8.15. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Scholekster in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de winter (boven) en de nazomer (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

Tabel 8.6. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Scholekster in januari en september.

		jan.	sept.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	Y→3	Y→3
3	Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	Yà4	Y→4
4	Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	Nà8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

- 2,5% van het oogstbare bestand opgevist (Troost & van Asch 2018). In de meeste jaren is de bevissing in Pinkegat en Zoutkamperlaag daar ver onder. Lokaal kan de vangst aanzienlijk zijn, zeker als een aantal jaren in hetzelfde gebied veel wordt gevestigd, zoals in visgebied 2 in de jaren 2013/2014 – 2016/2017. Zonder goede vangstgegevens over alle jaren van de monitoring is het echter onmogelijk om het effect op het voedselaanbod voor de Scholekster in kaart te brengen.

Recent is er een onderzoek gepubliceerd, waarin gekeken werd of door de oogst van de handkockelaars de draagkracht wordt aangetast voor Scholeksters (Goss-Custard & Stillman 2020). De grenswaarde voor deze draagkracht is zo gedefinieerd dat de met het model (MORPH), berekende mortaliteit als gevolg van voedseltekort onder adulte Scholeksters in de winter niet boven de 2% mag komen. In hun berekeningen over de kokkelvisserij in de acht deelgebieden voor de jaren 2008 t/m 2018 vinden ze drie jaar-gebied combinaties waarin de draagkracht werd overschreden: gebied 4 in 2011 en gebieden 1 en 3 in 2018 (Figuur 8.14). Ze concluderen dat het regelmatig voorkomt dat er lokaal meer dan 2,5% tot soms wel 27% wordt opgevist van het Kokkelbestand, maar dat er altijd voldoende overblijft voor de Scholeksters volgens hun draagkracht. Echter, er was sprake van grote beperkingen aan de beschikbare gegevens, dus het blijft onzeker hoe deze resultaten te interpreteren zijn.

Zowel voor de nazomer als voor de winter is BMAanw een gevalideerde proxy voor draagkracht (Ens *et al.* 2019). De trend voor deze proxy is niet significant (Figuur 8.15). De meeste proxies zijn onderling sterk gecorreleerd (januari gemiddeld 0,65 en september gemiddeld 0,78). Ook de andere proxies vertonen geen significante trend (Appendix A). Dit ondanks het feit dat het voedselaanbod een minimum bereikte in het seizoen 2019/2020, als gevolg van het uitblijven van nieuwe broedval van Kokkels in het bodemdalingsgebied. Die uitblijvende

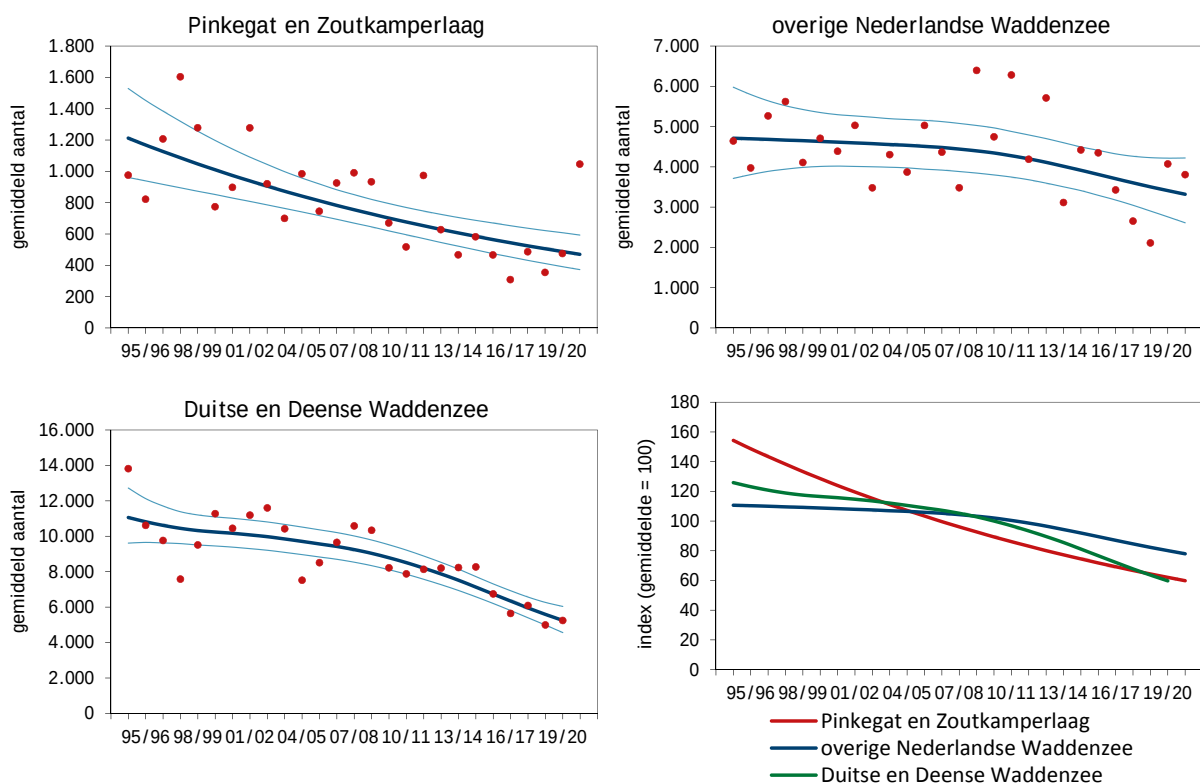
broedval is niet beperkt tot het bodemdalingsgebied, maar het geval in de hele Waddenzee (Troost *et al.* 2021). In 2021 lijkt het aanbod weer iets toe te nemen, maar van een massale broedval is echter niet te spreken.

Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de winterperiode, noch in de nazomer zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.6).

8.5.4. Kluut

Er is sprake van een duidelijke afname in de aantallen Kluten in Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.16; Tabel 8.7). Ook elders in de Waddenzee nemen de aantallen af (Kleeftra *et al.* 2022; Figuur 8.16). Zowel op de korte als de lange termijn wordt de afname overal als matig beoordeeld, waarbij de getallen suggereren dat de afname in Pinkegat en Zoutkamperlaag misschien iets sterker is dan in de rest van de Nederlandse Waddenzee. Dit contrasteert met de ontwikkelingen langs de gehele Oost-Atlantische vliegroute, waar de populatie toeneemt op de lange termijn, en onzeker is op de korte termijn (Tabel 8.7). De populatiegrootte wordt geschat op 100.000 – 110.000, wat betekent dat maar een klein deel van die populatie gebruik maakt van de Waddenzee (van Roomen *et al.* 2022).

Deze discrepantie betekent dat de toename in het zuidelijke deel van de Europese populatie zo sterk is, dat de afname in het noordelijke deel van de populatie meer dan gecompenseerd wordt. Het noordelijke deel van de populatie is ook meteen het noordelijkste deel van de populatie. Er broeden geen Kluten ten noorden van de Waddenzee. Het merendeel van deze Kluten overwintert ten zuiden van de Waddenzee. De afname van het noordelijke deel van de populatie is het gevolg van een laag broedsucces (Koffijberg *et al.* 2021, Van der Jeugd *et al.* 2014). Mogelijke oorzaken van dit lage broedsucces zijn een verhoogd predatierisico van nesten en jongen (vooral langs de vastelandskust), verhoogd overstromingsrisico en



Figuur 8.16. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Kluut in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

Tabel 8.7. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Kluut voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009). Ook weergegeven de trend van de hele populatie die gebruikt maakt van de Oost-Atlantische vlieg-route.

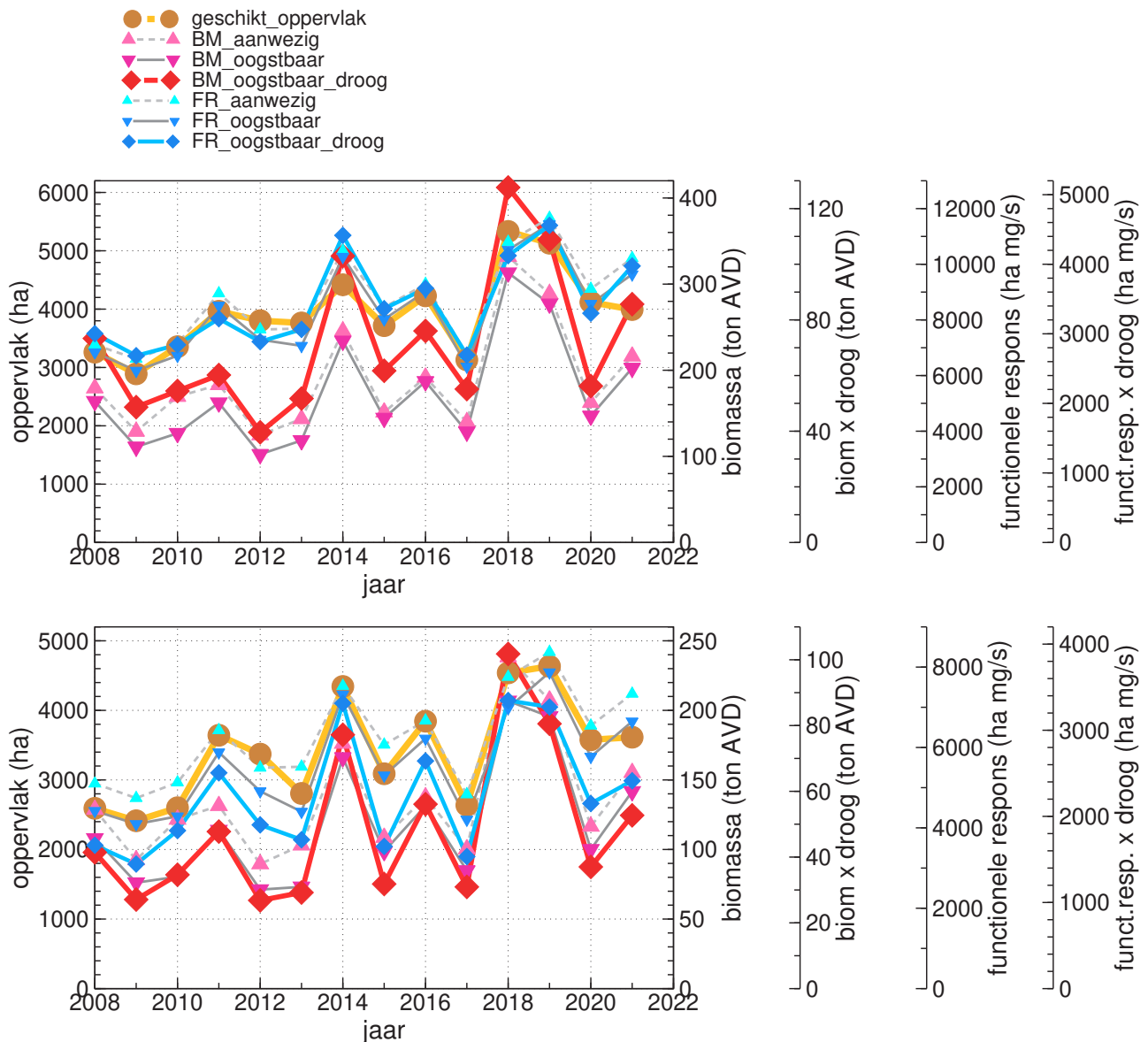
Kluut Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.96	-	Matige afname	0.96	-	Matige afname
Overige Nederlandse Waddenzee	0.99	-	Matige afname	0.98	-	Matige afname
Duitse en Deense Waddenzee	0.97	-	Matige afname	0.95	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegroute (NW Eur)	1.01*	+	Matige toename	1.01**	0	Stabiel

* gebaseerd op de periode 1978-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

** gebaseerd op de periode 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

Tabel 8.8. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Kluut in september en november.

		Sept.	Nov.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	Y→3	Y→3
3	Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N→5	N→5
5	Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4	Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y



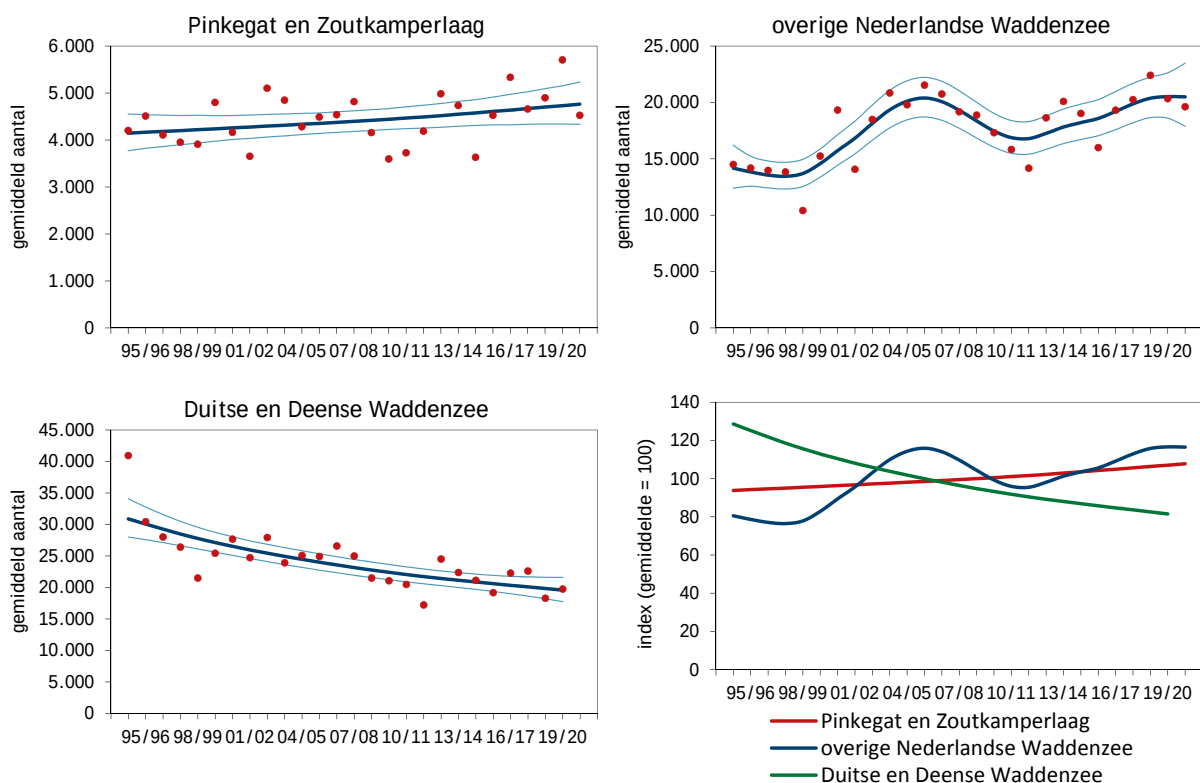
Figuur 8.17. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Kluut in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de nazomer (boven) en het najaar (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

mogelijk een verslechtering van het voedselaanbod voor de jongen (Koffijberg *et al.* 2017), maar dit blijft onzeker (Koffijberg *et al.* 2021).

Noch in nazomer, noch in najaar is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht (Ens *et al.* 2019). Alle proxies laten een positieve trend zien (Figuur 8.17) en die trend is voor 8 verschillende proxies significant (zie Appendix A). Zo stijgt

BMOogst in November met 4,7% en FRAanw met 3,1% per jaar. Dit is het gevolg van het soort specifieke voedselaanbod in Pinkegat en Zoutkamperlaag in 2018 en 2019.

Conclusie na doorlopen beslisschema luidt dat zowel in de nazomer als in het najaar aanwijzingen ontbreken voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.8).



Figuur 8.18. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Zilverplevier in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

8.5.5. Zilverplevier

De trend van de aantallen Zilverplevieren in Pinkegat en Zoutkamperlaag is al langere tijd toenemend geweest, maar is nu min of meer stabiel (Figuur 8.18; Tabel 8.9). In de rest van de Nederlandse Waddenzee is een minimale toename zichtbaar. Deze trends steken nogal af tegen de ontwikkelingen elders; in de Duitse Waddenzee neemt de soort af (Kleefstra *et al.* 2022). De Oost-Atlantische *flyway* populatie als geheel is op de lange termijn toegenomen maar toont recent ook een matige afname (van Roomen *et al.* 2022).

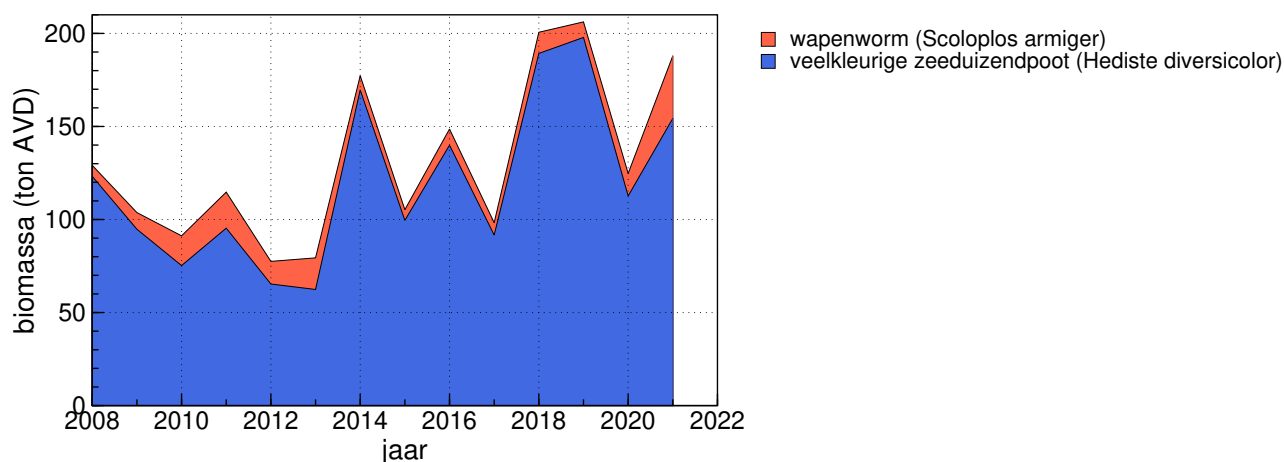
De belangrijkste broedgebieden van Zilverplevieren

die de Waddenzee aandoen, liggen in de toendra van Noord-Siberië, met name Yamal en Taimyr (Exo *et al.* 2019). De geconstateerde recente afname deelt deze *flyway* populatie, komt overeen met enkele andere steltlopersoorten die hier broeden (o.a. Krombekstrandloper, de ondersoort *canutus* van de Kanoet, de ondersoort *taimyrensis* van de Rosse Grutto), maar niet met soorten uit westelijker gelegen delen van de Arctis (Bonte Strandloper, Bontbekplevier; van de Kam *et al.* 2004). Er speelt hier dus mogelijk een gemeenschappelijke 'regionale' oorzaak in het broedgebied. Naast klimaatverandering (fenologische vervroeging en toename van droogte in de zomer) is ook het afzwakken van drie-

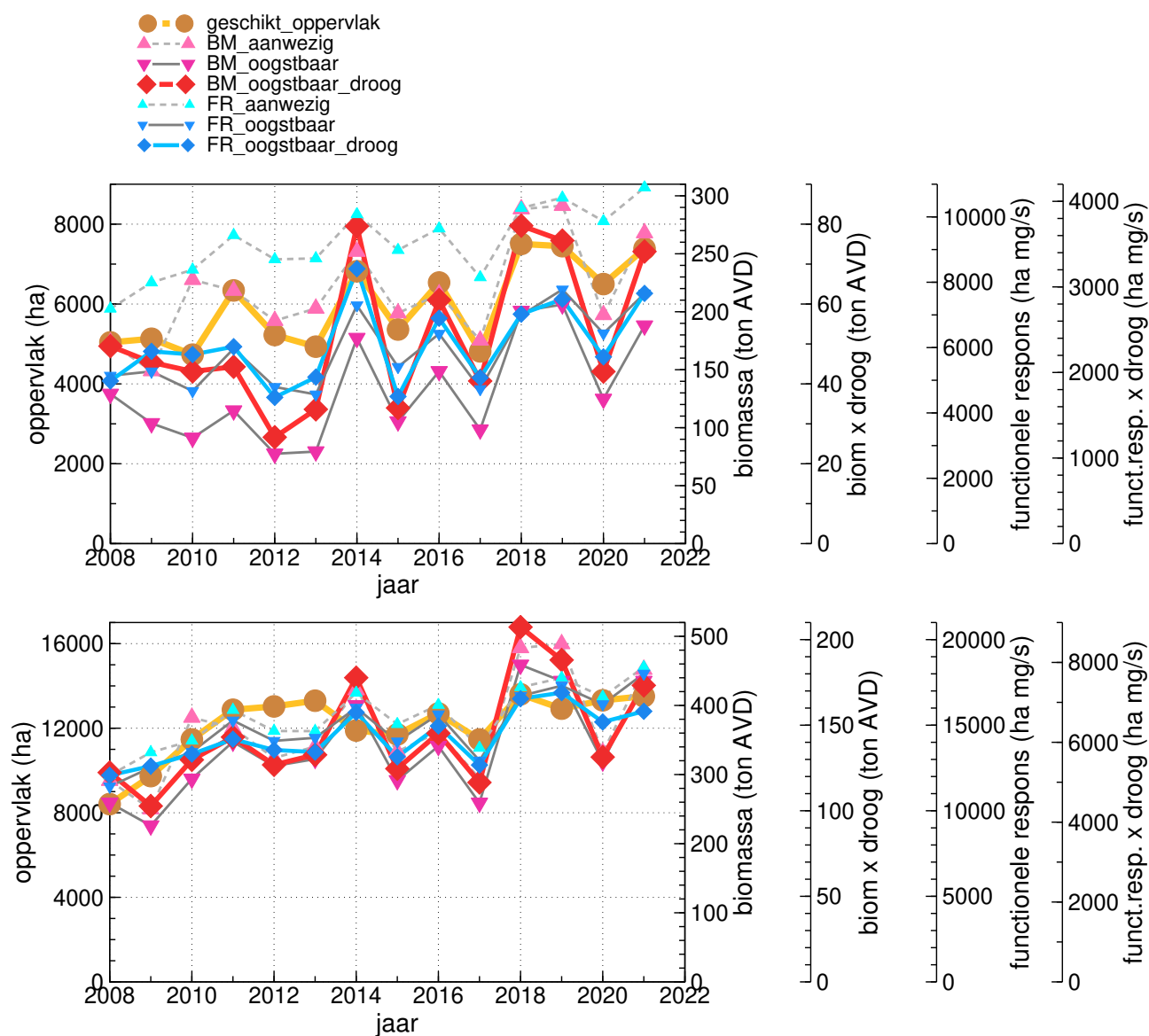
Tabel 8.9. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Zilverplevier voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Zilverplevier Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.01	0	Stabiel	1.01	0	Stabiel
Rest Nederlandse Waddenzee	1.01	+	Matige toename	1.01	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.98	-	Matige afname	0.99	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegroute	1.02*	+	Matige toename	0.97	-	Matige afname

* Betreft de periode 1978-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.19. Verloop van voor Zilverplevieren oogstbare biomassa bodemdieren in de winter in Pinkegat-Zoutkamperlaag.



Figuur 8.20. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Zilverplevier in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de winter (boven) en voorjaar (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

Tabel 8.10. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Zilverplevier in januari en mei.

		jan.	mei
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

jarige lemmingcycli in deze regio sinds het midden van de jaren '90 benoemd als mogelijke factor van belang; hierdoor treden 'topjaren' waarin de vogels bijna ongehinderd door predators jongen kunnen produceren minder vaak op (Schekkerman *et al.* 2018).

Een mogelijke verklaring voor de met het bovenstaande contrasterende toename van Zilverplevieren in de Waddenzee is dat door het minder frequent optreden van winterse vorstperioden, als gevolg van klimaatverandering, een groter aandeel van de vogels hier blijft overwinteren in plaats van verder naar het zuiden en/of westen te trekken. Van zeven in West-Europa overwinterende steltlopersoorten laat de Zilverplevier na de Wulp de grootste noord-oostwaartse verschuiving in wintersverspreiding zien (Maclean *et al.* 2008), wat erop duidt dat regionale aantalsveranderingen samenhangen met toenemende januari temperatuur. Dit verklaart echter niet de negatieve trend in de eveneens opwarmende Duitse en Deense Waddenzee, en het blijft dus onzeker wat de verklaring voor deze trend is.

Het contrast tussen de toename van Zilverplevieren in de Nederlandse Waddenzee en de populatie-ontwikkeling elders kan wijzen op een 'lokale' oorzaak. De Zilverplevier is een uitgesproken wormeneter. De Zeeduizendpoot is de belangrijkste prooi-soort in veel gebieden, en een toename van de beschikbaarheid hiervan zou zo'n lokale factor kunnen vormen (Figuur 8.19). Er is vaak gesuggereerd dat de grootschalige afname van schelpdierbestanden in de Nederlandse Waddenzee in begin jaren '90 - samenvallend met een periode van intensieve visserij op schelpdieren - heeft geleid tot een toename van wormen en daarmee van wormenetende wadvogels (Kraan *et al.* 2004, van Roomen *et al.* 2005). In Pinkegat en Zoutkamperlaag is sinds 2008 inderdaad een algehele toename van de biomassa van het dieet, met ca. 30% over de periode 2008-2021 (Figuur 8.5).

De validatieberekeningen leidden voor de Zilverplevier niet tot een gevalideerde proxy voor

voedsel-beschikbaarheid (Ens *et al.* 2019), maar er is wel een sterke onderlinge correlatie tussen de verschillende proxies en met name in het voorjaar is het patroon opvallend gelijk (Figuur 8.20). Op de proxy BMoogstDr in Jan en FRoogstDr in januari na, laten de overige proxies laten een significant stijgende trend zien (1,9-4,7 %/jr; zie details in de appendix).

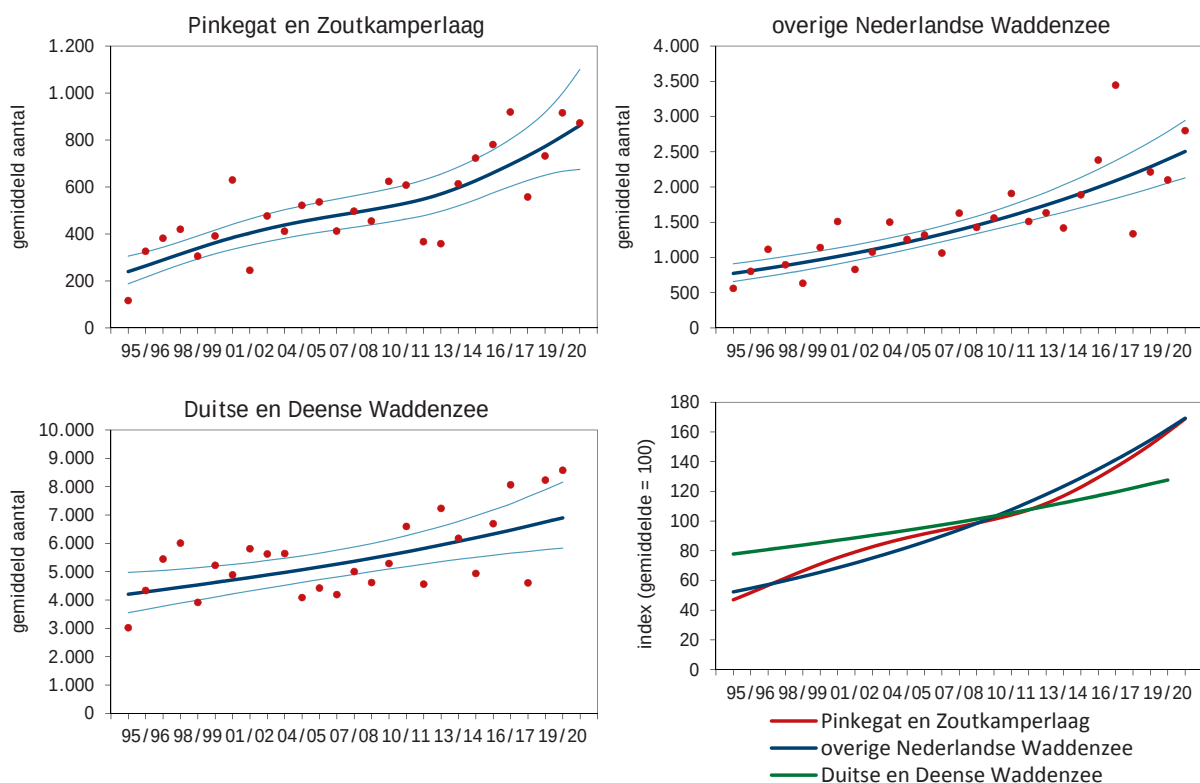
Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de winter, noch in het voorjaar zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.10).

8.5.6. Bontbekplevier

Er is een duidelijke toename zichtbaar in het aantalsverloop voor Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.21), evenals de korte termijn (Tabel 8.11). Ook in de rest van de Nederlandse en in de Duitse en Deense Waddenzee neemt de Bontbekplevier toe. De trend in Pinkegat en Zoutkamperlaag is iets positiever dan in Duitsland en Denemarken, maar zeker vergelijkbaar met omringende gebieden.

Bontbekplevieren in de Nederlandse Waddenzee behoren tot verschillende *flyway*-populaties. De ondersoort *hiaticula* omvat broedvogels uit West-Europa en Zuid-Scandinavië, en *psammodromus* arctische vogels uit IJsland, Groenland en Canada. Broedvogels van noordelijk Eurazië behoren tot de ondersoort *tundrae* (Thies *et al.* 2018). Waarschijnlijk zijn de grootste aantallen doortrekkers in de Waddenzee in de rekenmaanden september en mei Scandinavische broedvogels uit deze laatste populatie. De recente trend voor *psammodromus* is stabiel, na een eerdere afname (van Roomen *et al.* 2022). De veel kleinere aantallen in de Waddenzee broedende en overwinterende Bontbekplevieren behoren tot de in aantal afnemende *hiaticula* populatie.

De Bontbekplevier is een echte wormeneter die naast Zeeduizendpoten en Wapenwormen ook relatief veel kleinere wormen eet zoals Draadwormen *Heteromastus* (Figuur 8.22). Net als de Zilverplevier zou de soort daarom kunnen profiteren van een



Figuur 8.21. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Bontbekplevier in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

toename hiervan. Inderdaad vertonen alle voor de Bontbekplevier berekende proxies voor voedselaanbod, die vooral wormensoorten omvatten, een significante toenemende trend, met 1,2 tot 5,5 %/jr (zie appendix en Figuur 8.23).

Hoewel de verschillende proxies noch in het voorjaar, noch in het najaar voldeden aan het criterium van een gevalideerde proxy, vertonen ze wel hoge onderlinge correlaties (Ens *et al.* 2019), en allemaal dezelfde (toenemende) trendrichting (appendix).

Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de nazomer, noch in het voorjaar zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.12).

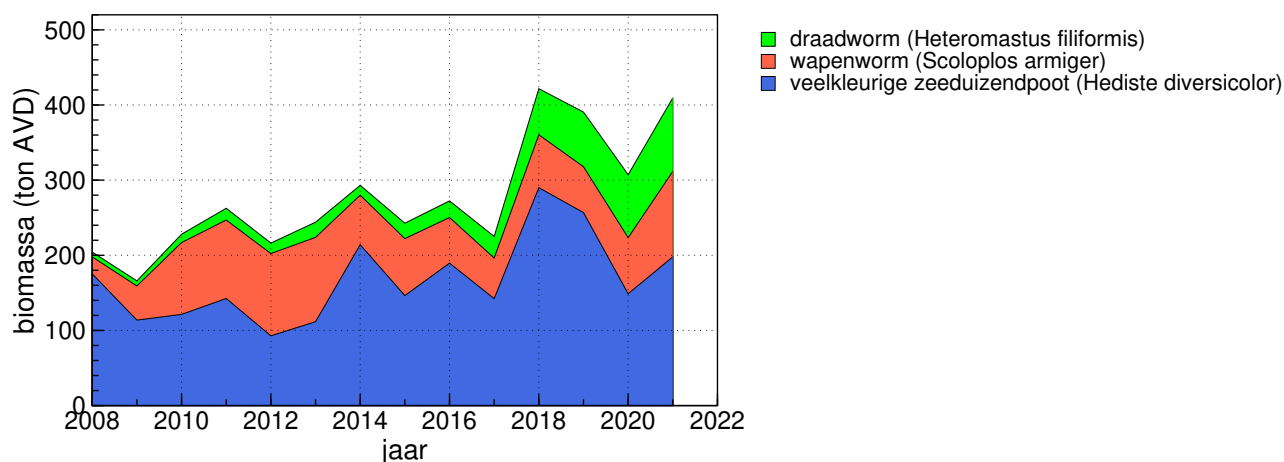
Tabel 8.11. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Bontbekplevier voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegrouete voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Bontbekplevier Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.05	+	Matige toename	1.05	+	Matige toename
Rest Nederlandse Waddenzee	1.05	+	Matige toename	1.05	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	1.02	+	Matige toename	1.02	+	Matige toename
Oost-Atlantische vliegrouete, <i>hiaticula</i>	1.02*	+	Matige toename	0.99***	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegrouete, <i>tundrae</i>	?	?	Onzeker	?	?	Onzeker
Oost-Atlantische vliegrouete, <i>psammodyroma</i>	0.98**	-	Matige afname	0.99***	0	Stabiel

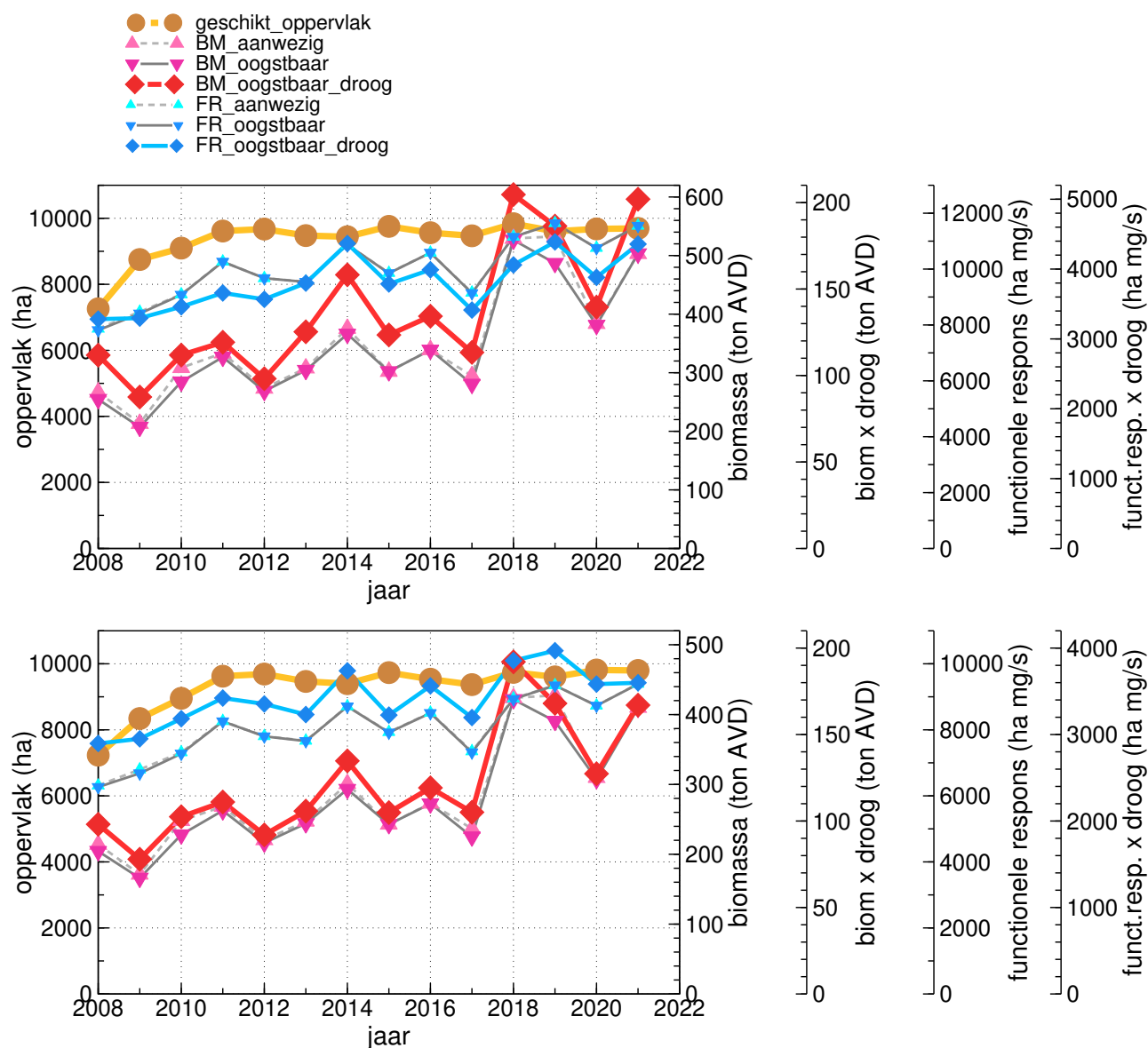
* Betreft 1978-2016 (van Roomen *et al.* 2022)

** Betreft 1979-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

*** Betreft 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.22. Verloop van de met Wadmap berekende voor Bontbekplevieren in mei oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2021.



Figuur 8.23. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Bontbekplevier in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de nazomer (boven) en het voorjaar (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

Tabel 8.12. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Bontbekplevier voor mei en september.

		mei	sept.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Ontwikkelen vogelaantallen in bodemdalingsgebied zich negatiever / minder positief dan elders?	Y→3	Y→3
3	Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N→5	N→5
5	Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4	Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

8.5.7. Kanoet

In de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag nemen de aantallen Kanoeten toe tot 2008, maar daarna is sprake van een afname (Figuur 8.24). In de Nederlandse Waddenzee nemen de aantallen toe vanaf 2000, maar vanaf 2015 is sprake van een afname. In Nedersaksen zijn de aantallen stabiel en in Sleeswijk-Holstein zien we de laatste jaren weer een toename (Kleefstra *et al.* 2022). Een formele beoordeling van de trend op korte termijn leidt tot de conclusie dat in Pinkegat/Zoutkamperlaag de trend een matige afname laat zien, maar dat de trend in de rest van de Nederlandse Waddenzee stabiel is (Tabel 8.13).

Twee ondersoorten maken gebruik van de Waddenzee. De ondersoort *islandica* broedt op de toendra van Groenland en Canada en overwintert in de Waddenzee (Piersma 2007). De ondersoort *canutus* broedt op de Siberische toendra, trekt in de nazomer door in de Nederlandse Waddenzee en overwintert in Afrika (Piersma *et al.* 1992). In het voorjaar wordt de Duitse Waddenzee als tussenstop gebruikt. De totale populatie van de ondersoort *islandica* lijkt na een toename stabiel, terwijl de ondersoort *canutus* afneemt (Tabel 8.13).

De afname van de ondersoort *canutus* heeft mogelijk te maken met de door klimaatverandering veroorzaakte mismatch tussen de beschikbaarheid van insecten en de *timing* van de opgroei van de kuikens (van Gils *et al.* 2016). Daardoor groeien de kuikens minder goed en worden ze minder groot en hebben ze ook minder lange snavels, waardoor ze in het overwinteringsgebied in Afrika minder hoogwaardig voedsel kunnen vinden.

Gemiddeld genomen verblijven er veel meer Kanoeten in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee dan in het oostelijke deel (Ens *et al.* 2009b). In de periode 1990-2006 namen de aantallen in het westen steeds verder af, terwijl de aantallen in het oosten zo sterk toenamen, dat er op het laatst zelfs gemiddeld meer Kanoeten in het oosten dan in het westen voorkwamen. Die toename in de oostelijke Waddenzee in die periode is ook goed te zien in het aantalsverloop in Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.24). Het verschil in aantalsverloop viel samen met het herstel van schelpdieren na de overbevissing rond 1990 (Ens 2006). Schelpdieren als Kokkel en Mossel namen snel toe in de oostelijke Waddenzee en ook het Nonnetje was veel talrijker in de oostelijke Waddenzee na 1997 (Ens *et al.* 2009b). De schaarste aan Nonnetjes in de

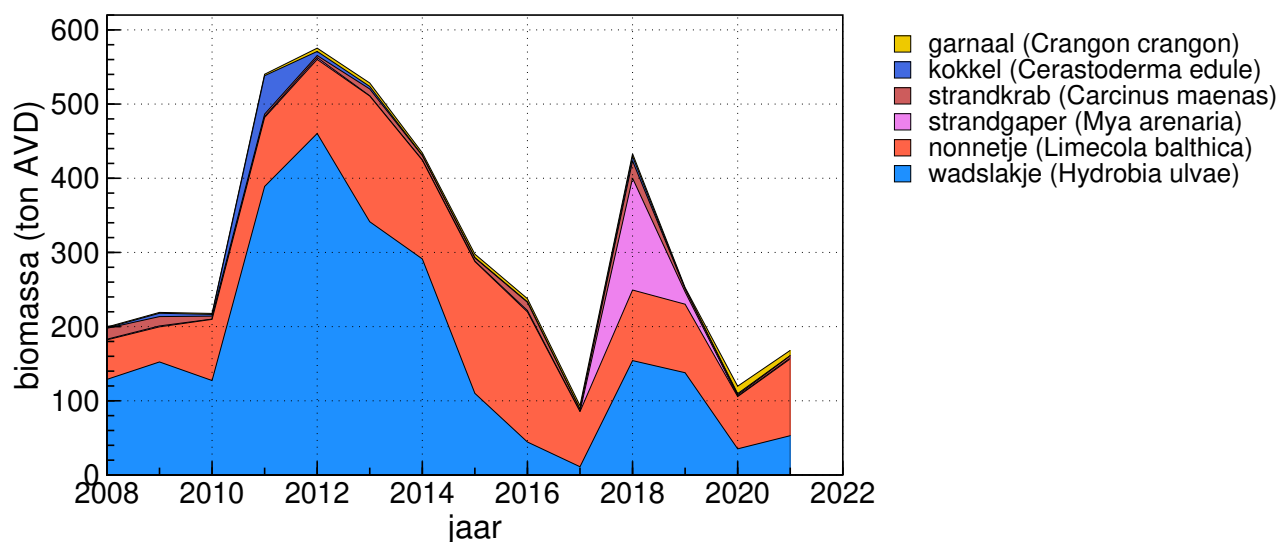
Tabel 8.13. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Kanoet voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de totale populatie van de ondersoorten *islandica* en *canutus* voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Kanoet Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.01	0	Matige toename	0.95	-	Matige afname
Rest Nederlandse Waddenzee	0.99	0	Stabiel	1.00	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.99	0	Matige afname	1.02	?	Onzeker
Oost-Atlantische vliegroue (<i>islandica</i>)	1.01*	+	Matige toename	0.98**	0	Matige afname
Oost-Atlantische vliegroue (<i>canutus</i>)	0.98***	-	Matige afname	0.96**	-	Onzeker

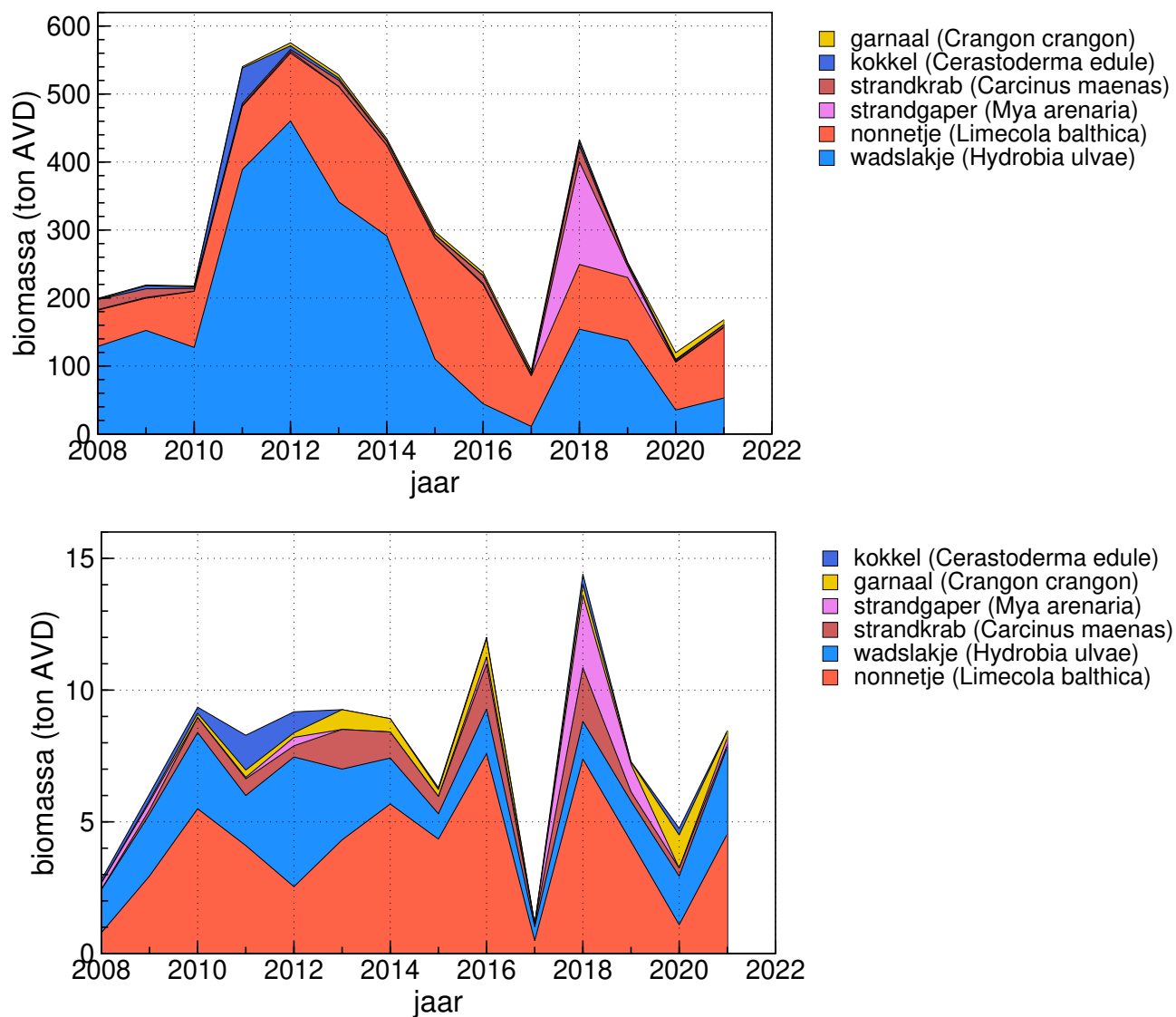
* Betreft de periode 1975-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

** Betreft de periode 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

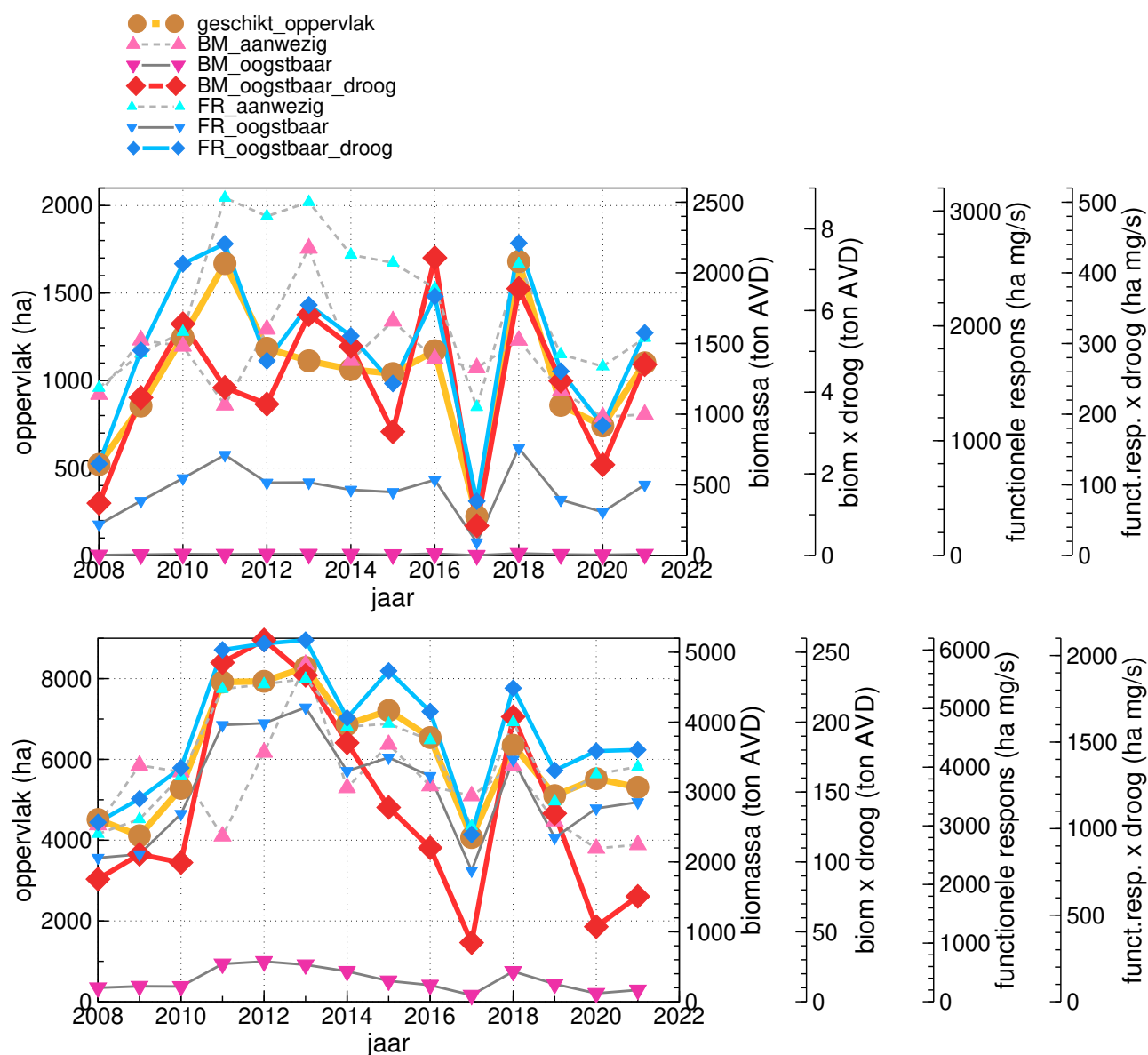
*** Betreft de periode 1979-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.24. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Kanoet in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.



Figuur 8.25. Verloop van de voor Kanoeten oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2021 voor nazomer (boven) en winter (onder).



Figuur 8.26. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Kanoet in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de winter (boven) en de nazomer (onder). De berekende trendwaarden voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

Tabel 8.14. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Kanoet voor januari en augustus.

	jan.	aug.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2 Ontwikkelen vogelaantallen in bodemdalingsgebied zich negatiever / minder positief dan elders?	Y→3	Y→3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N→5	N→5
5 Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	N→8
8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

westelijke Waddenzee in die periode betekende dat de minder profijtlijke dikschalige Kokkels het hoofdvoedsel vormden (van Gils *et al.* 2006). De afname in geschikte Kokkels in de periode 1996-2006 in de westelijke Waddenzee ging gepaard met een afname van Kanoeten aldaar (Kraan *et al.* 2009), en een afname in de overleving (Rakhimberdiev *et al.* 2015).

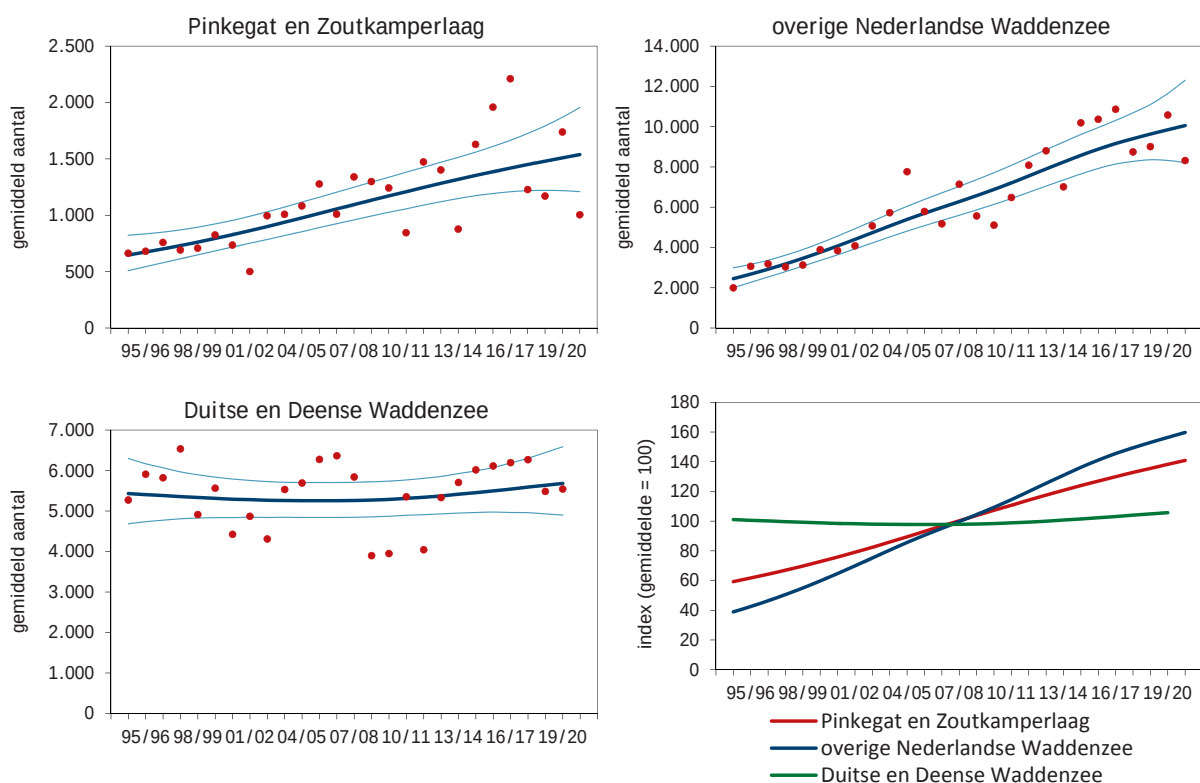
Tussen 2012-2014 was er sprake van een herstel van het Nonnetje in de westelijke Waddenzee (Compton *et al.* 2016), waardoor het gebied waarschijnlijk aantrekkelijker werd voor de Kanoet. De berekeningen met Wadmap bevestigen dat het Nonnetje een belangrijke voedselbron is in Pinkegat en Zoutkamperlaag, met name in de winter (Figuur 8.25).

Voor de Kanoet kon geen van de proxies gevalideerd worden, noch in de zomer, noch in de winter (Ens *et al.* 2019). De onderlinge correlatie tussen de proxies is redelijk hoog en geen van de proxies laat een significante verandering zien (Figuur 8.26; appendix).

Conclusie na doorlopen van het beslisschema: noch in de nazomer, noch in het voorjaar zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.14).

8.5.8. Drieteenstrandloper

Vanaf 1994 is er sprake van een duidelijke toename van de aantallen Drieteenstrandlopers in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.27).

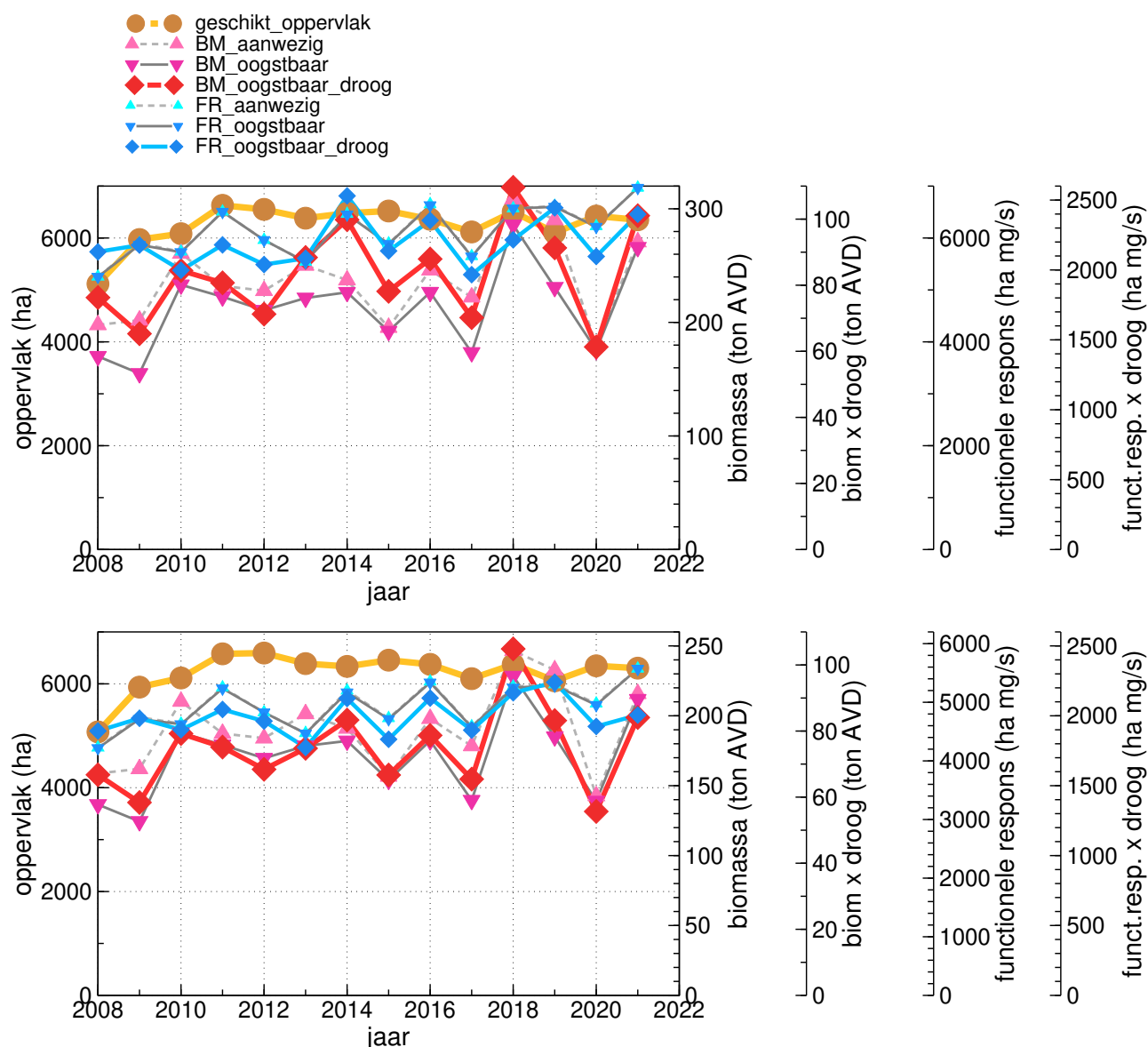


Figuur 8.27. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Drieteenstrandloper in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

Tabel 8.15. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Drieteenstrandloper voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de populatie langs de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Drieteenstrandloper Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	jaarverand	Symbool	Beoordeling	jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.03	+	Matige toename	1.03	+	Matige toename
Overige Nederlandse Waddenzee	1.06	+	Matige toename	1.04	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	1.00	0	Stabiel	1.01	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroute (NW Eur)	1.03	+	Matige toename	0.99	0	Stabiel

* Betreft de periode 1979-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.28. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Drieteenstrandloper in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de nazomer (boven) en het voorjaar (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

8.27). Vanaf 2008 is er meer variatie waarneembaar, waardoor de trend als onzeker werd geclassificeerd, maar in deze laatste trendanalyse weer als een matige toename wordt geclassificeerd (Tabel 8.15). Ook in de Nederlandse Waddenzee als geheel nemen de aantallen Drieteenstrandlopers al jaren behoorlijk toe, in tegenstelling tot de Duitse en Deense Waddenzee, waar de aantallen fluctueren en de trend als stabiel wordt beoordeeld (Kleefstra *et al.* 2022). De toename in de Nederlandse Waddenzee komt overeen met de spectaculaire toename van de totale populatie langs de Oost-Atlantische trekweg van jaarlijks 3% sinds 1979 (van Roomen *et al.* 2022), al is de korte termijn trend nu stabiel en lijkt de groei er uit.

Er bestaan diverse hypothesen betreffende de opval-

lende toename in de populatie Drieteenstrandlopers. De opwarming van de aarde, waarbij de effecten het grootst zijn in het Arctisch gebied (Tingley & Huybers 2013), zou een mogelijkheid bieden voor Drieteenstrandlopers om vaker *double-brooding* kunnen toepassen, waarbij zowel mannetje als vrouwtje een legsel uitbroeden (Tomkovich & Soloviev 2001). In Nederland gaat de toename van de populatie gepaard met een verandering in habitatkeus. Was de Drieteenstrandloper vroeger vooral een vogel van het Noordzeestrand, tegenwoordig wordt de vogel meer en meer op het (zandige) wad in de Waddenzee gezien (van Turnhout & van Roomen 2008).

Voor de Drieteenstrandloper werd geen gevalideerde proxy voor draagkracht gevonden, noch in

Tabel 8.16. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Drieteenstrandloper in mei en augustus.

		mei	aug.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Ontwikkelen vogelaantallen in bodemdalingsgebied zich negatiever / minder positief dan elders?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

het voorjaar, noch in de zomer (Ens *et al.* 2019). Er is wel een zeer hoge onderlinge correlatie tussen de proxies (gemiddeld 0,90 in de zomer en 0,92 in het voorjaar). Alle proxies laten een positieve trend zien, waarvan er 2 in het voorjaar als in de zomer significant zijn; F Raanw en F Roogst (Figuur 8.28 en zie Appendix A).

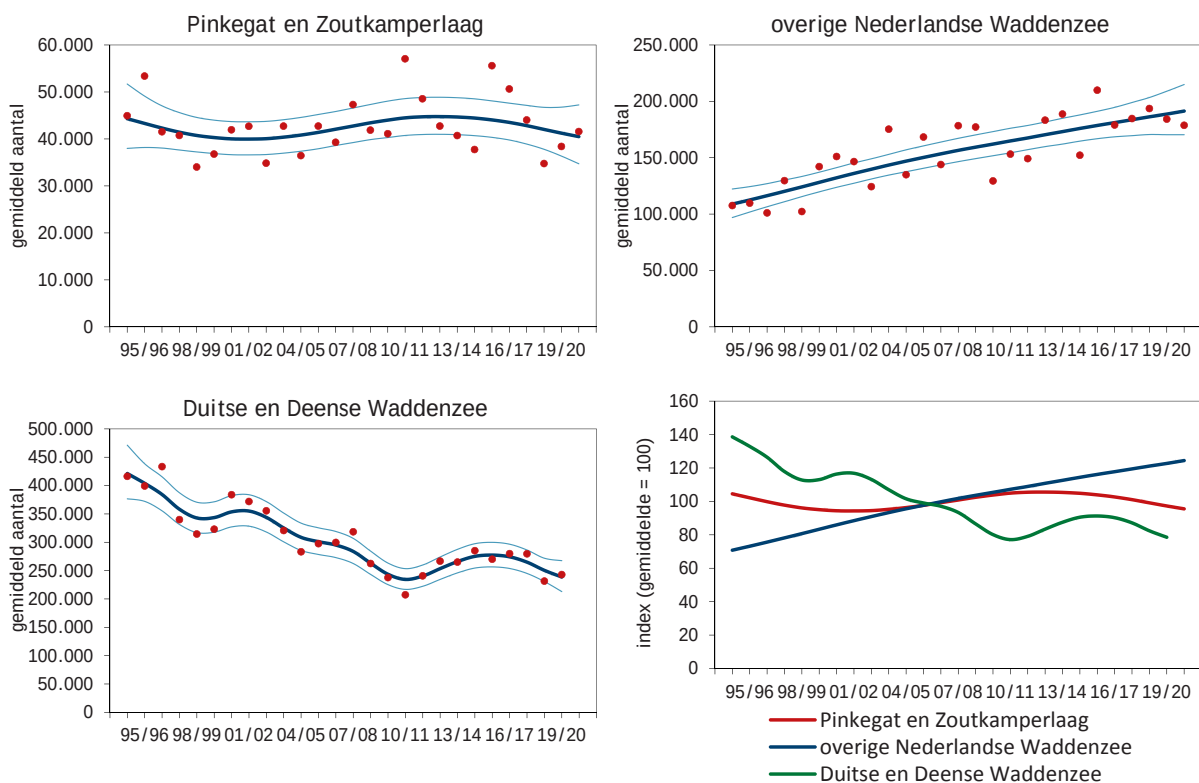
Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de nazomer, noch in het voorjaar zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.16).

8.5.9. Bonte Strandloper

In de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag zijn zowel op de korte als de lange termijn de aantallen Bonte Strandlopers stabiel (Figuur 8.29).

Deze beoordeling contrasteert met de trend voor de rest van de Nederlandse Waddenzee, welke een matige toename laat zien (Figuur 8.29). In de Duitse en Deense Waddenzee nemen de aantallen al jaren af (Kleefstra *et al.* 2022), al is de trend op de korte termijn stabiel (Tabel 8.17).

Het overgrote deel van de 'bontjes' in de Waddenzee behoort tot de in Scandinavië en Noord-Rusland broedende en in Europa overwinterende ondersoort *alpina*, waarvan de populatie na een eerdere afname recent als stabiel wordt beoordeeld (van Roomen *et al.* 2022). De aantallen van de op IJsland en in NW-Europa broedende en in Afrika overwinterende ondersoort *schinzii* nemen op de korte termijn weer toe (van Roomen *et al.* 2022), maar zijn in de Waddenzee vrij schaars.



Figuur 8.29. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Bonte Strandloper in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

Tabel 8.17. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Bonte Strandloper voor Pinkegat/ Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de populatiegrootte van de ondersoort alpina langs de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Bonte Strandloper Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	jaarverand	Symbool	Beoordeling	jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.00	0	Stabiel	0.99	0	Stabiel
Overige Nederlandse Waddenzee	1.02	+	Matige toename	1.02	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	0.98	-	Matige afname	1.00	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroute, ssp. <i>alpina</i>	1.00*	?	Onzeker	0.98	-	Matige afname

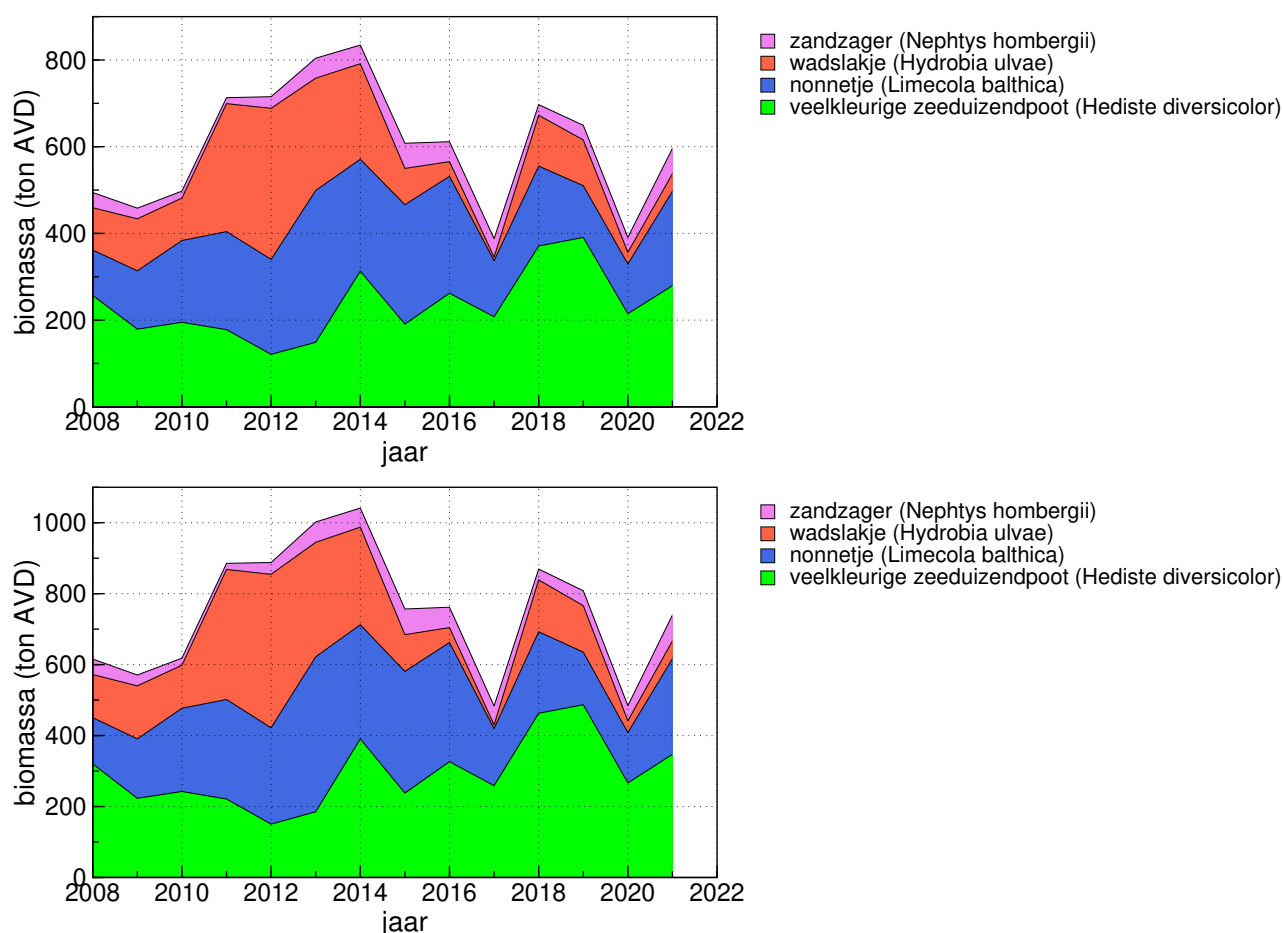
* Betreft de periode 1976-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

De stabiele situatie voor Bontjes in Pinkegat en Zoutkamperlaag wijkt af van de overige Nederlandse Waddenzee. De verklaring kan liggen in het feit dat het op populatieniveau langzaam achteruit gaat voor deze soort (van Roomen *et al.* 2022), maar dat het beschikbare voedsel in Pinkegat en Zoutkamperlaag over de lange termijn redelijk stabiel is gebleven (Figuur 8.30).

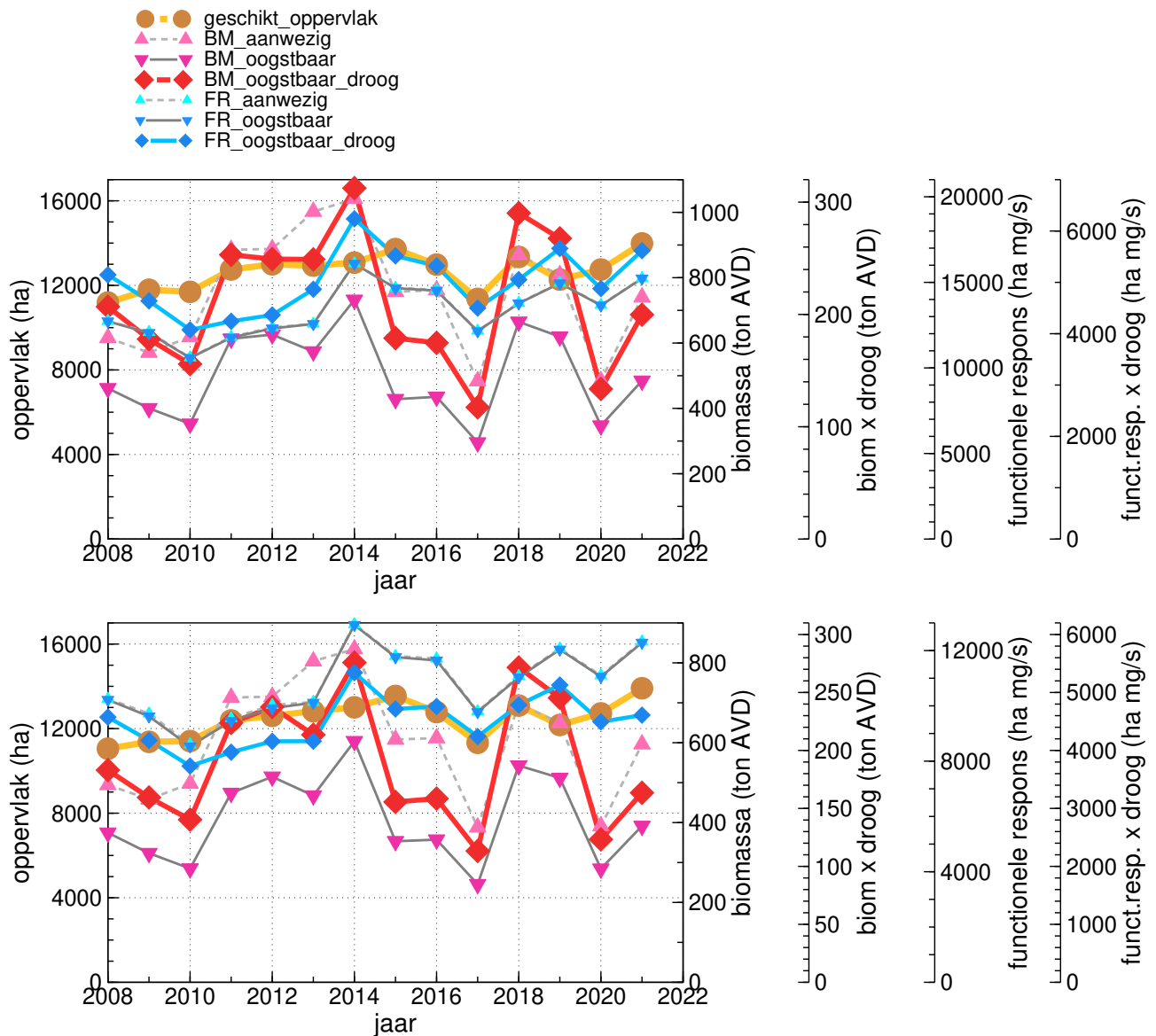
Een andere mogelijke verklaring voor de toename van Bonte Strandlopers in de Nederlandse

Waddenzee kan wellicht komen door de afname in het Duitse en Deense deel van de Waddenzee, waardoor er verschuiving heeft plaatsgevonden. Voor de Baltische ondersoort *schinzii* is recent een afname in overleving aangetoond (Pakanen & Thorup 2016), wat erop duidt daar veranderingen hebben plaatsgevonden, welke de populatieomvang negatief beïnvloeden, al blijven de oorzaken van deze afname onduidelijk (Pakanen & Thorup 2016).

Voor de nazomer hebben we gevalideerde proxies



Figuur 8.30. Verloop van de voor Bonte Strandlopers oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2021 voor voorzomer (boven) en nazomer (onder).



Figuur 8.31. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Bonte Strandloper in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de nazomer (boven) en het voorjaar (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

Tabel 8.18. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Bonte Strandloper in mei en september.

	mei	sept.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	Y→3	Y→3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N→5	Y→4
5 Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	N→8
8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

voor draagkracht: oppervlakte (Opp) scoort het best, maar ook Fraanw en FRoogst scoren hoog (Ens *et al.* 2019). Ook in het voorjaar is model 1 significant voor deze proxies, maar de verklaarde variantie bereikt niet het criterium van 25%. In beide seizoenen zijn de verschillende proxies sterk gecorreleerd. Alle drie deze gevalideerde proxies (Opp, FRAanw en FRoogst) in zowel voor- als najaar laten een significante toename van ~1,5% per jaar in Pinkegat en Zoutkamperlaag zien (Figuur 8.31 en Appendix A).

Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in het najaar, noch in het voorjaar zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.18).

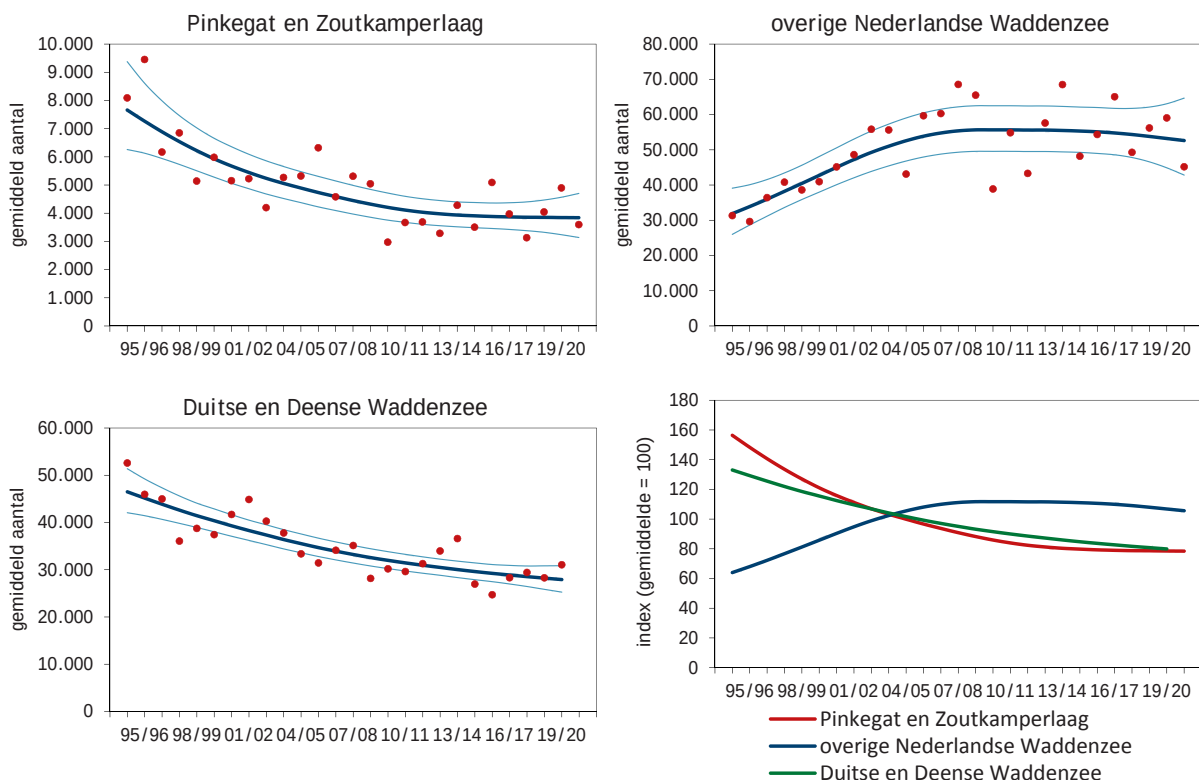
8.5.10. Rosse Grutto

De aantallen Rosse Grutto's in het bodemdalingsgebied Pinkegat en Zoutkamperlaag laten een duidelijke afname zien vanaf 1994 (Figuur 8.32), maar op de korte termijn is de trend stabiel (Tabel 8.19). In de rest van de Nederlandse Waddenzee is deze trend ook stabiel, maar na een eerdere toename. In de Duitse en Deense Waddenzee nemen de Rosse Grutto's al langere tijd af, zowel op de korte als lange termijn (Tabel 8.19; Kleefstra *et al.* 2022).

Hoe deze 'regionale' trends (gebaseerd op seizoensgemiddelden) zich verhouden tot de ontwikkeling

van de *flyway*populatie als geheel is moeilijk te beoordelen doordat in de Nederlandse Waddenzee een mix van twee populaties aanwezig is (Duijns *et al.* 2009). In Nederland overwinterende Rosse Grutto's die behoren tot de westelijke ondersoort *lapponica*, waarvan de populatie over de lange termijn in omvang toeneemt, maar op de korte termijn een afname laat zien (van Roomen *et al.* 2022). In het voorjaar en nazomer doen ook belangrijke aantallen van de in Siberië broedende en in Afrika overwinterende ondersoort *taiymyrensis* de Waddenzee aan. Deze (grotere) populatie neemt al langere tijd af (van Roomen *et al.* 2022). In de rekenmaand mei vormen doortrekkende *taiymyrensis* vermoedelijk de meerderheid van de aanwezige vogels; in augustus is de verdeling wellicht meer gelijk (Duijns *et al.* 2012).

De belangrijke prooisorten voor Rosse Grutto's zijn de Wadpier *Arenicola marina* en de Zeeduizendpoot *Hediste diversicolor*, welke in het Pinkegat en Zoutkamperlaag zijn toegenomen (Figuur 8.33). Op basis hiervan zou eerder een toenemend dan een stabiel aantal Rosse Grutto's verwacht kunnen worden. De trendrichting over de onderzoeksjaren is voor alle proxies toenemend (met 1,1%-2,5% per jaar; zie ook Figuur 8.34). Zeeduizendpooten zijn vooral in de winter belangrijk als voedsel en Wadpiëren in voor- en najaar, wanneer zij door hun gedrag meer beschikbaar zijn aan het oppervlak (Duijns *et al.*



Figuur 8.32. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Rosse Grutto in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

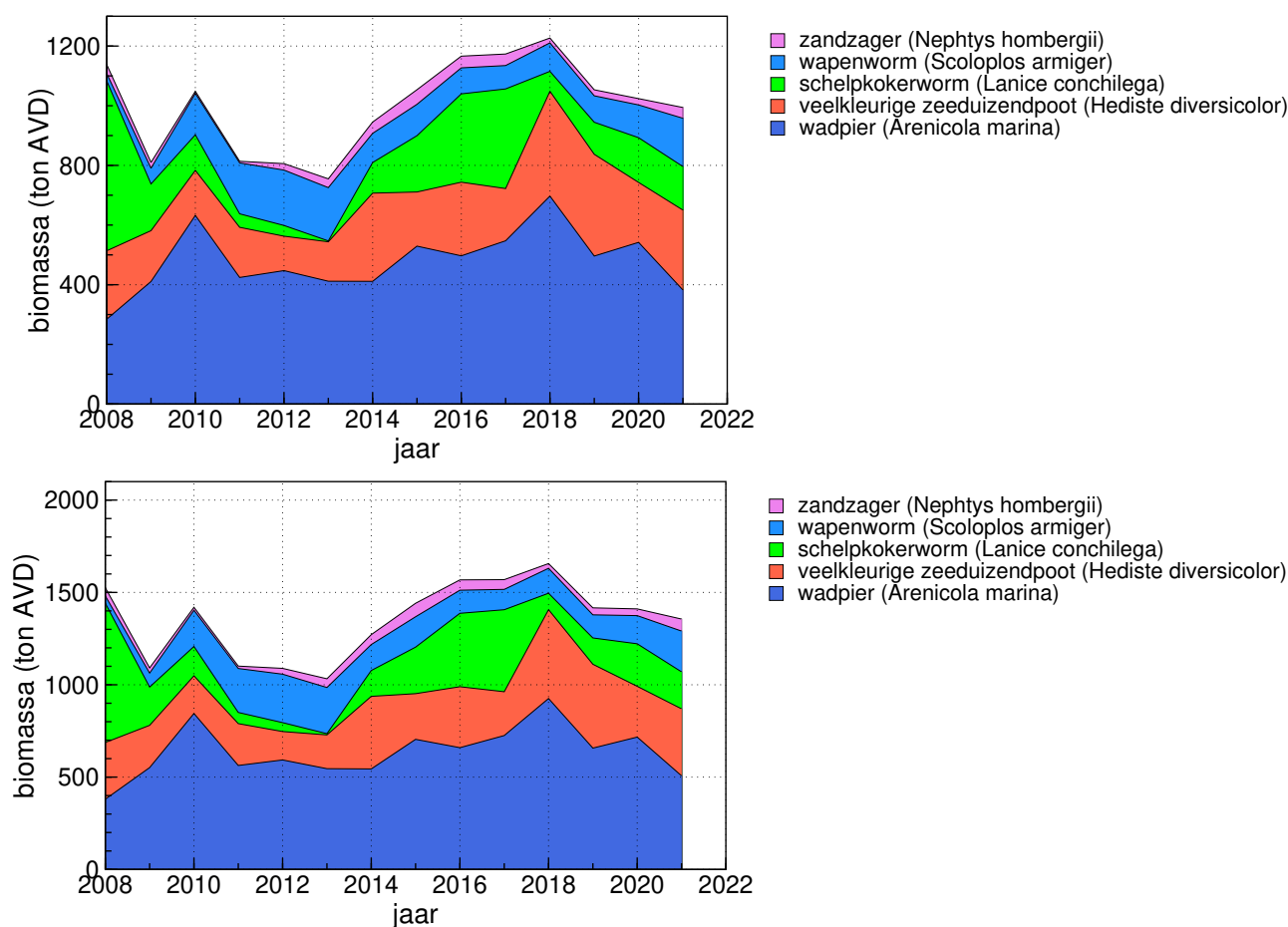
Tabel 8.19. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Rosse Grutto voor Pinkegat/ Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, Duitse en Deense Waddenzee en de populatie-aantallen langs Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Rosse Grutto Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	jaarverand	Symbool	Beoordeling	jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.97	-	Matige afname	0.99	0	Stabiel
Rest Nederlandse Waddenzee	1.02	+	Matige toename	0.99	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.98	-	Matige afname	0.99	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegr., lapponica	1.01*	+	Matige toename	0.96**	+	Matige toename
Oost-Atlantische vliegr., taimyrensis	0.98***	-	Matige afname	0.94**	-	Matige afname

* Betreft 1975-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

** Betreft 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

*** Betreft 1979-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

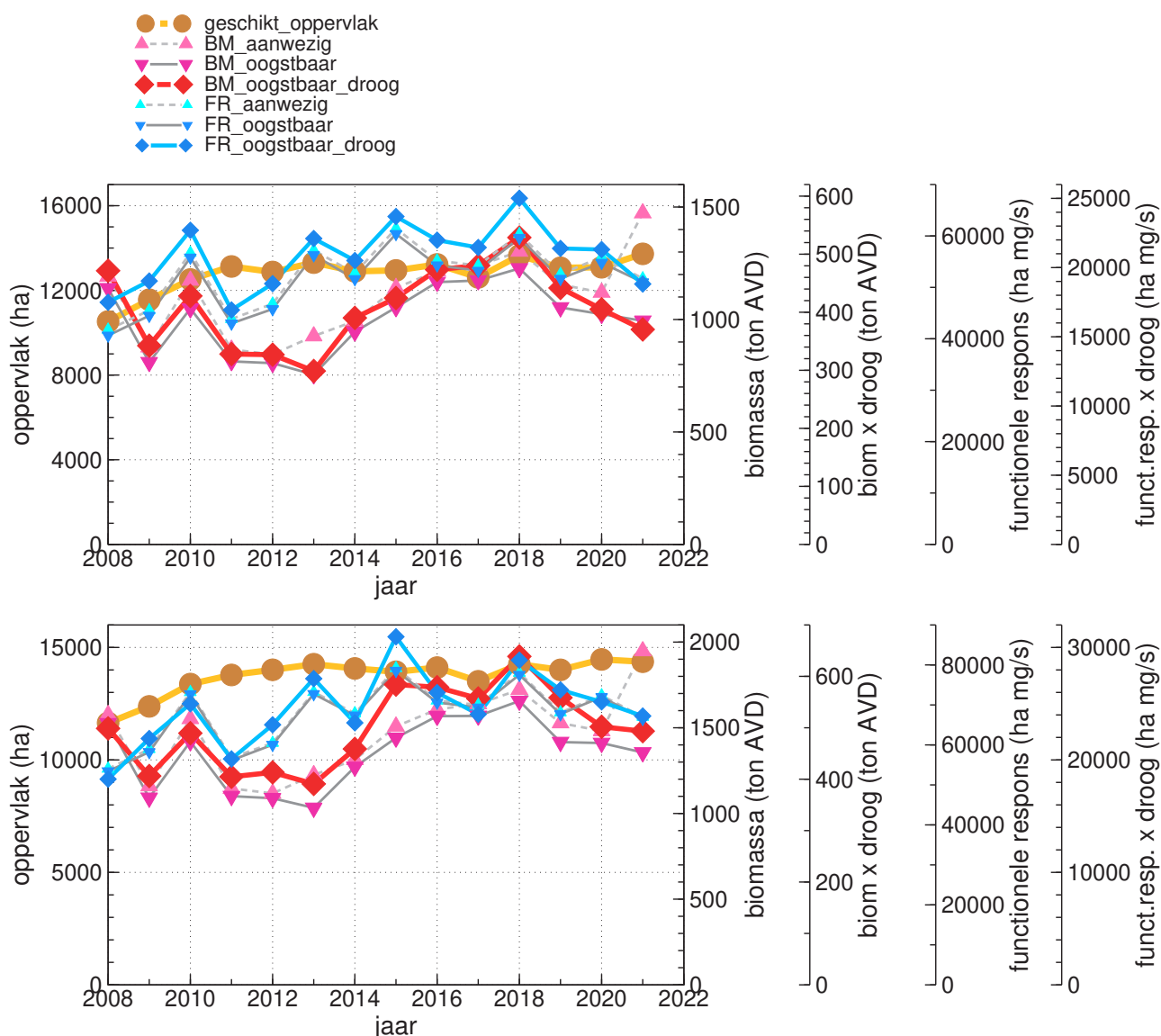


Figuur 8.33. Verloop van de voor Rosse Grutto's oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2021 voor voorjaar (boven) en zomer (onder).

2013, Duijns *et al.* 2015). Rakhimberdiev en collega's (2018) lieten zien dat de jaarlijkse overlevingskans van *taimyrensis* Rosse Grutto's gecorreleerd is met hun opvetsnelheid tijdens de voorjaars stopover in de Waddenzee, welke op zijn beurt weer samenhangt met het aanbod van Wadpieren. De toename van Wadpieren in de Nederlandse Waddenzee biedt daarmee enige mitigatie tegen het vermoedelijk negatieve effect van klimaatverandering in de arctische

broedgebieden. Gezien de sterk afnemende trend van de *taimyrensis*-populatie, lijkt dit mitigatie-effect echter niet voldoende te zijn.

In de zomer (augustus) kunnen bijna alle proxies als gevalideerd worden aangemerkt, met uitzondering van FRoogstDr. De proxies Opp en BMAanw scoren het hoogst met respectievelijk 42% en 41% verklaarde variantie. In mei doen deze proxies het ook



Figuur 8.34. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Rosse Grutto in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in het voorjaar (boven) en de zomer (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

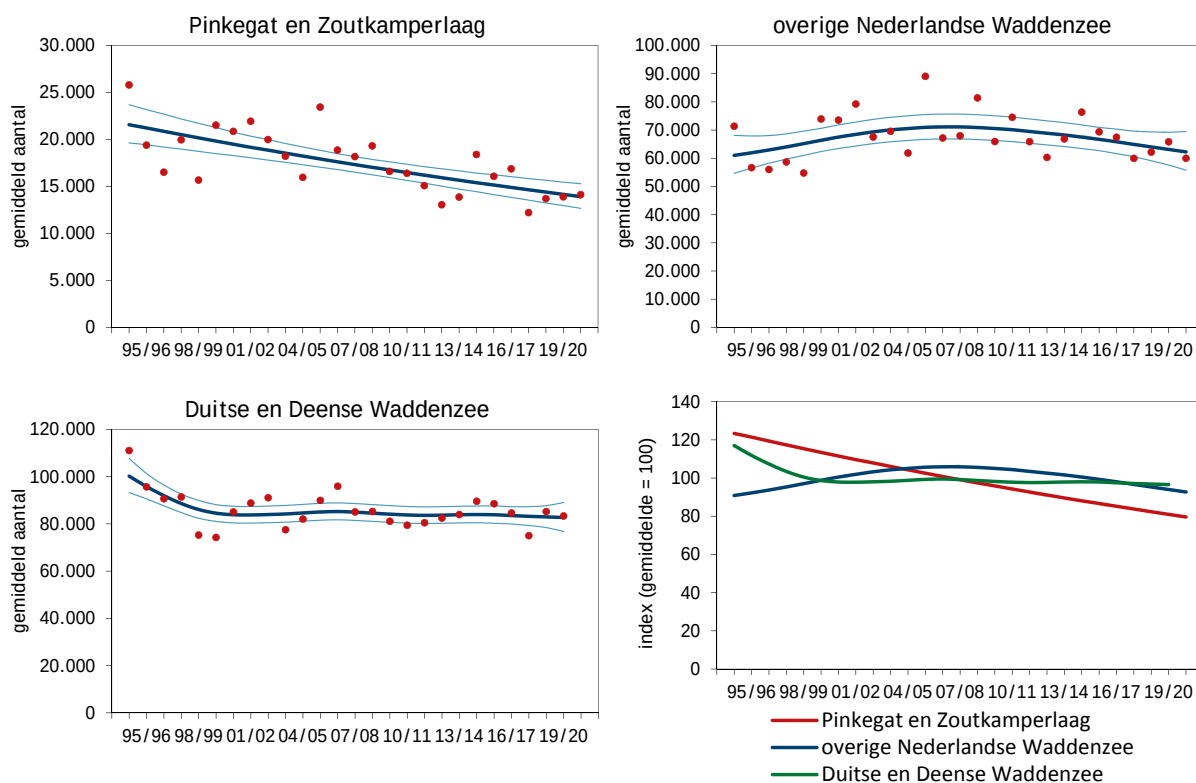
relatief goed, maar bereiken niet het criterium van 25% verklaarde variantie (Ens *et al.* 2019). In beide seizoenen is er sprake van een sterke onderlinge correlatie tussen de proxies, en de trendrichting is voor alle proxies positief, variërend van 1,0% tot 2,5% per jaar (Figuur 8.34), met zes significante toenames in augustus (Opp, BMaanw, BMoogstDr, FRaanw,

FRoogst en FRoogstDr) en vier in mei (Opp, BMaanw, FRaanw en FRoogst, zie Appendix A).

Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de zomer, noch in het voorjaar zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.20).

Tabel 8.20. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Rosse Grutto in mei en augustus.

		mei	aug.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y



Figuur 8.35. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Wulp in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

8.5.11. Wulp

In de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag nemen de aantallen Wulpen al jaren af, terwijl in de rest van de Nederlandse Waddenzee de aantallen stabiel zijn (Figuur 8.35, Tabel 8.21). In de internationale Waddenzee lijken de aantallen stabiel (na een initiële afname), maar er zijn opvallende verschillen tussen landen, en een afname op de korte termijn in de West-Europese populatie (van Roomen *et al.* 2022; zie ook Tabel 8.21).

Als gevolg van klimaatverandering is de verspreiding van wadvogels in Europa buiten het broedseizoen in noordoostelijke richting verschoven en de Wulp is met een afstand van 119 km in de periode 1981-2000

daar het meest extreme voorbeeld van (Maclean *et al.* 2008). Mogelijk dat de afname in de Waddenzee als geheel daardoor minder sterk is dan de afname van de totale populatie. Echter, de afname in Pinkegat en Zoutkamperlaag lijkt wel gelijk aan de afname van de totale populatie.

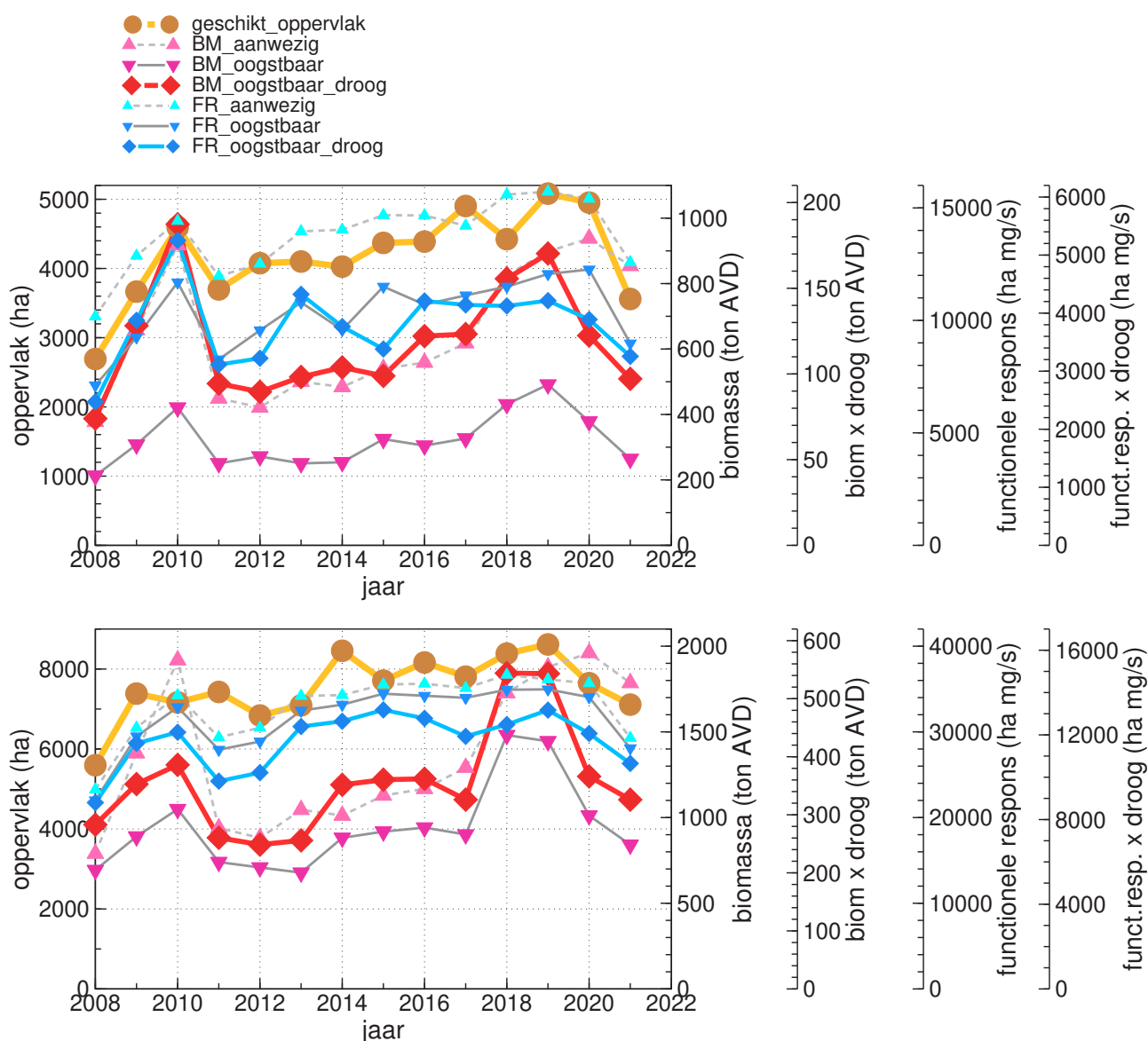
Er zijn geen aanwijzingen dat het voedselaanbod verslechtert in Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.36). Hierbij moet worden aangetekend dat naast het wad met laagwater, de weilanden ook een belangrijk voedselgebied vormen (Navedo *et al.* 2019). Het voedselaanbod in de weilanden is echter geen onderdeel van de monitoring, zodat hier geen conclusies over kunnen worden getrokken. Er is ook

Tabel 8.21. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Wulp voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegroue voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Wulp Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	jaarverand	Symbool	Beoordeling	jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.98	-	Matige afname	0.98	-	Matige afname
Overige Nederlandse Waddenzee	1.00	0	Stabiel	0.99	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.99	-	Matige afname	1.00	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroue (NW Eur)	0.99*	-	Matige afname	1.00**	-	Stabiel

* Betreft de periode 1980-2018 (van Roomen *et al.* 2022)

** Betreft de periode 2009-2018 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.36. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Wulp in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de winter (boven) en de nazomer (onder). De berekende trendwaarden voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

geen systematische monitoring van lokale veranderingen in het verstoringslandschap. De Wulp is veruit de schuwste wadvogel met de grootste opvliegafstand voor mensen (Krijgsveld *et al.* 2022, Spaans *et al.* 1996), zodat lokale veranderingen in het verstoringslandschap grote gevolgen kunnen hebben. Zo is in de periode 2015-2017 de dijk op Ameland versterkt en de werkzaamheden bleken veel grotere gevolgen te hebben voor de overtiende vogels dan eerder voorspeld, waarbij de Wulpen het sterkst reageerden op de werkzaamheden (Kersten *et al.* 2014); naar schatting ontbrak er 74% ten opzichte van de nulmonitoring van 2014 (Kersten *et al.* 2016).

In de nazomer voldoen alle proxies aan het validatie criterium van 25% verklaarde variantie voor model 1 (Ens *et al.* 2019). Vooral Opp, BMoogst, FRAanw en

FRoogst scoren hoog (34,8% - 38,3% verklaarde variantie). Voor januari is het beeld hetzelfde, maar geen van de proxies bereikt het criterium van 25% verklaarde variantie voor model 1, al is het model wel significant voor deze proxies. De onderlinge correlaties tussen de proxies is hoog. In beide seizoenen 0,93.

Alle proxies laten een toename zien, variërend tussen 1,5% en 4,7% per jaar (Appendix A). De positieve trend is significant voor Opp, BMAanw, FRAanw en FRoogst in de nazomer (september), en voor Opp, BMAanw, FRAanw en FRoogst in de winter (Figuur 8.36).

Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de nazomer, noch in de winter zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.22).

Tabel 8.22. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Wulp in januari en september.

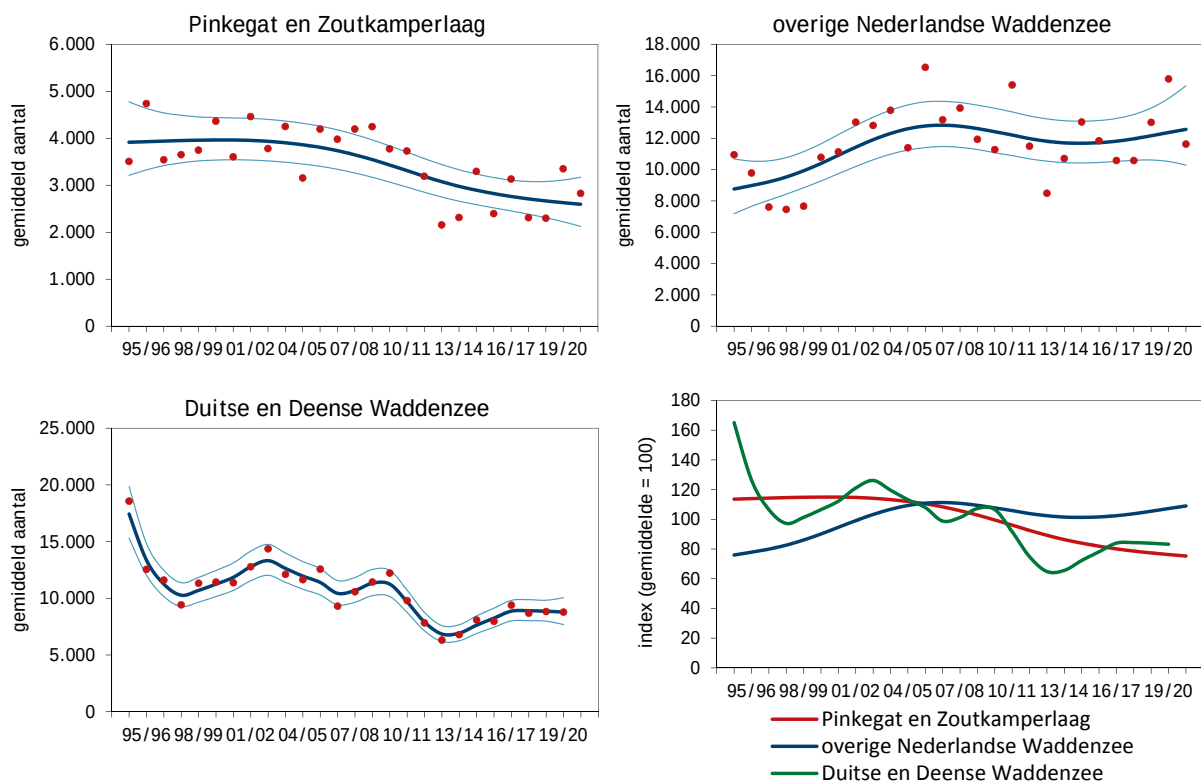
		jan.	sept.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	Y→3	Y→3
3	Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N→5	Y→4
5	Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4	Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

8.5.12. Tureluur

In de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag nemen de aantallen Tureluurs vanaf 2010 langzaam af (Figuur 8.37; Tabel 8.23). Dit beeld komt niet overeen met het aantalsverloop in de rest van de Nederlandse Waddenzee, maar wel met de trend in de internationale Waddenzee (Kleefstra *et al.* 2022). Tureluurs uit drie verschillende *flyway*-populaties doen in de loop van het jaar de Nederlandse Waddenzee aan. In het winterhalfjaar behoort het merendeel van de aanwezige vogels tot de IJslandse ondersoort *robusta*, waarvan de lange en korte termijn trend als matige toename beoordeeld wordt (Tabel 8.23). In de doortrekperioden, vooral in de

nazomer, zijn ook Europese Tureluurs (ondersoort *totanus*) talrijk op het wad, vermoedelijk vooral vogels uit Noord-Europa. De W-Europese en vooral in ZW-Europa overwinterende populatie is stabiel; de vooral naar NW-Afrika trekkende Noord-Europese populatie neemt recent af (van Roomen *et al.* 2022). Al met al ontwikkelen de aantallen Tureluurs in Pinkegat en Zoutkamperlaag zich dus niet ongunstiger dan op grootschaliger (populatie)niveaus (Tabel 8.23).

Er lijkt enige discrepantie te zitten tussen de trends over de onderzoeksperiode in de aantallen Tureluurs in Pinkegat en Zoutkamperlaag (trend matige afna-



Figuur 8.37. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Tureluur in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

Tabel 8.23. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Tureluur voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

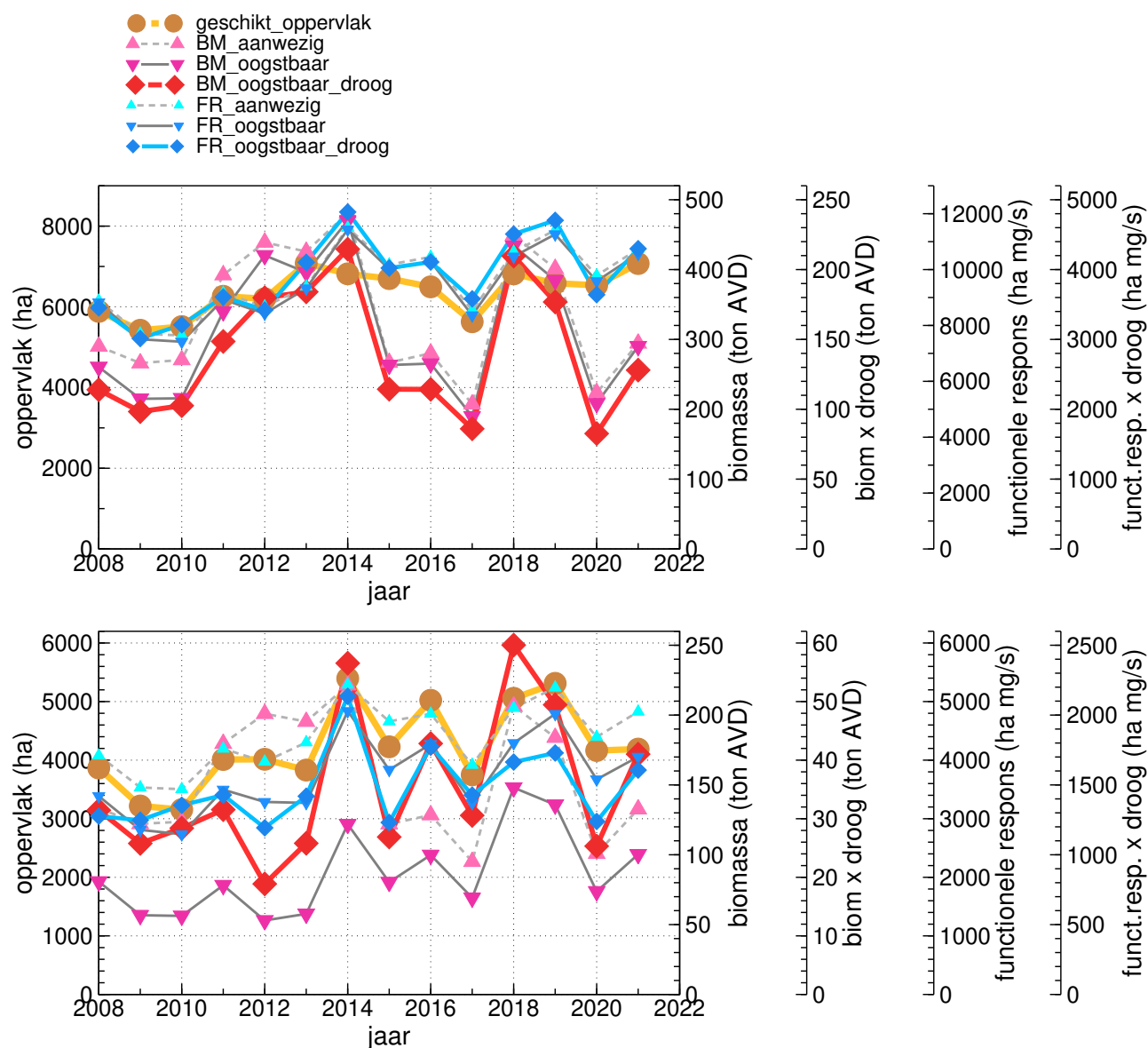
Tureluur Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.98	-	Matige afname	0.97	-	Matige afname
Overige Nederlandse Waddenzee	1.01	0	Matige toename	1.00	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.97	-	Matige afname	0.98	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegr, <i>totanus</i> N-Eur	0.98*	-	Matige afname	1.00***	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegr, <i>totanus</i> W-Eur	0.99*	0	Matige afname	1.00***	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegr, <i>robusta</i> IJsland	1.01**	0	Matige toename	1.00****	0	Stabiel

* Betreft de periode 1980-2017 (van Roomen *et al.* 2022)

** Betreft de periode 1975-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

*** Betreft de periode 2008-2017 (van Roomen *et al.* 2022)

**** Betreft de periode 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.38. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Tureluur in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de zomer (boven) en de winter (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

Tabel 8.24. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Tureluur in januari en juli.

		Sept.	Nov.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	Y→3	Y→3
3	Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N→5	N→5
5	Vertonen alle proxies dezelfde trend?	Y→4	Y→4
4	Vertoont de proxies voor draagkracht een negatieve trend?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

me) en in de berekende proxies voor voedselbeschikbaarheid (Figuur 8.38). Voor de meeste proxies is de trendrichting toenemend (0,0 tot +4,6 % per jaar), zij het slechts in de helft van de gevallen significant (winter: Opp, BMoogst, FRAanw en FRoogst; zomer: Opp, FRAanw, FRoogst en FRoogstDr). Dit verschil kan erop duiden dat andere factoren dan voedsel in het geding zijn, maar welke is niet geheel duidelijk. De afname van de Noord-Europese *totanus*-populatie als geheel zou hierin een rol kunnen spelen.

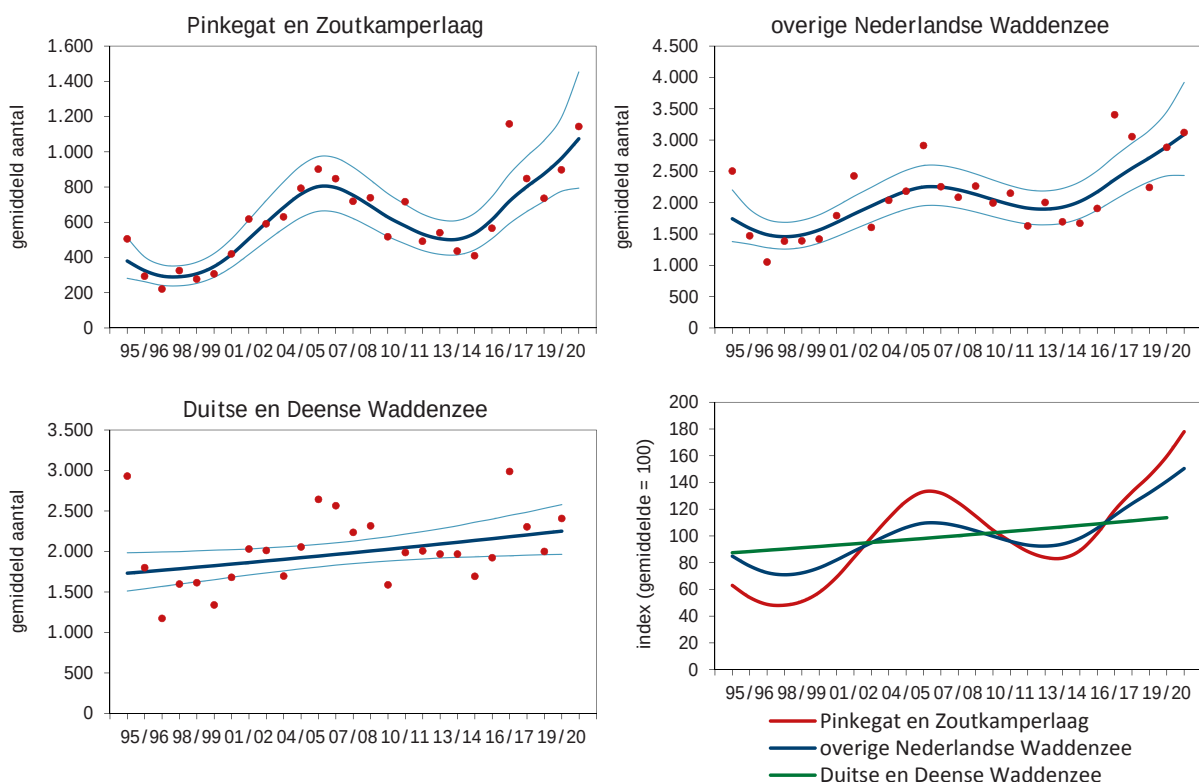
Voor de Tureluur is het niet gelukt een gevalideerde proxy voor draagkracht te ontwikkelen, noch in de winter, noch in de zomer (Ens *et al.* 2019). De proxies zijn echter sterk onderling gecorreleerd, met

een positieve trendrichting, zij het niet alle significant (zie hierboven).

Conclusie na doorlopen beslisschema: noch in de zomer, noch in de winter zijn er aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 8.24).

8.5.13. Steenloper

De aantallen Steenlopers in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag nemen toe tussen 1997 en 2005, daarna weer af en vanaf ongeveer 2015 is er weer sprake van een matige toename (Figuur 8.39; Tabel 8.25). De trend in de internationale Waddenzee lijkt op dit golvende patroon, maar de analyse berekent een rechte lijn. De trend wordt voor



Figuur 8.39. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Steenloper in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

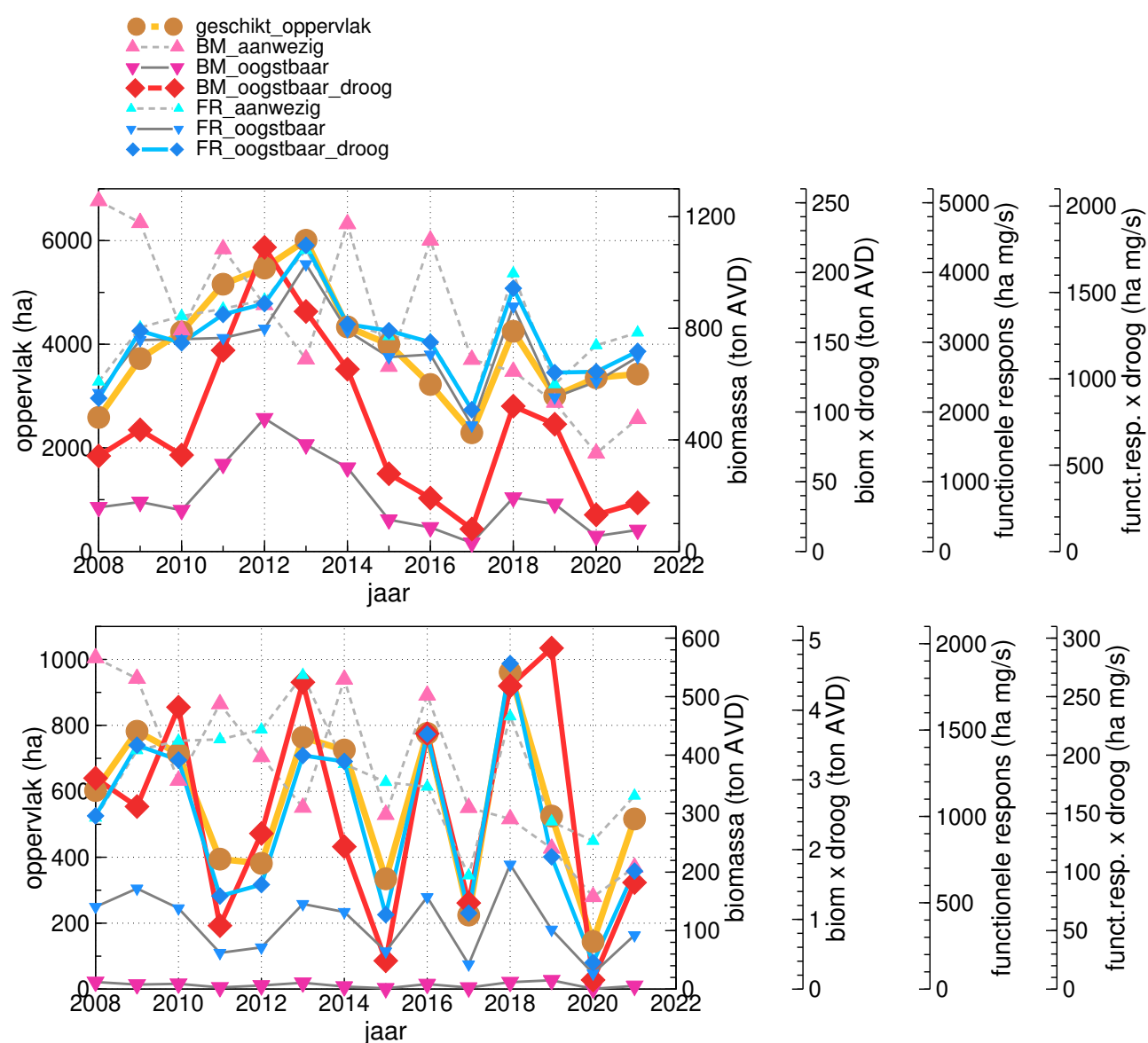
Tabel 8.25. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Steenloper voor Pinkegat/Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de totale populaties van de Oost-Atlantische vlieg-route voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2009).

Steenloper Label	Vanaf 1994			Vanaf 2009		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.04	+	Matige toename	1.05	+	Matige toename
Overige Nederlandse Waddenzee	1.02	+	Matige toename	1.04	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	1.01	+	Stabiel	1.01	+	Matige toename
Oost-Atlantische vliegroute (Nearctisch)	1.02*	+	Matige toename	0.99***	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroute (Paeartisch)	0.97**	-	Matige afname	1.02***	x	Onzeker

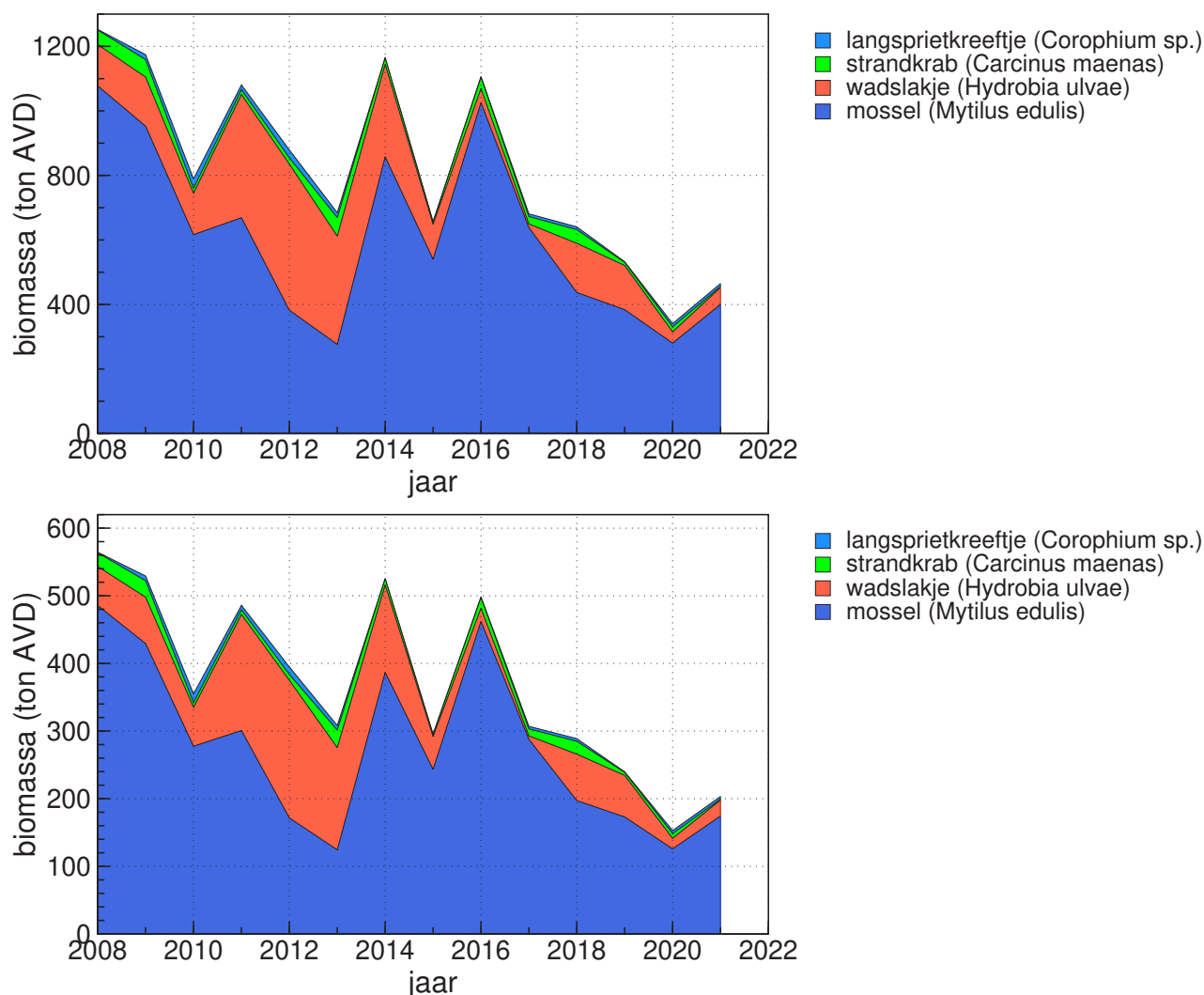
* Betreft de periode 1977-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

** Betreft de periode 1980-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

*** Betreft de periode 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Figuur 8.40. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Steenloper in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2021 in de nazomer (boven) en de winter (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.



Figuur 8.41 Verloop van de proxy BMaanw in Pinkegat-Zoutkamerplaag voor de Steenloper in de nazomer (boven) en de winter (onder). De proxy behelst de biomassa van alle prooi-soorten die als stapelvoedsel.

de korte en lange termijn in de Duitse en Deense Waddenzee beoordeeld als een matige toename. De Steenlopers in de Waddenzee behoren tot twee populaties. Vogels die in Scandinavië en de Russische toendra broeden gebruiken de Waddenzee als tussenstop tijdens de trek en overwinteren in West-Afrika. Steenlopers die in de Waddenzee overwinteren broeden op de toendra van Canada en Groenland. Op de lange termijn is er sprake van een afname van de Palearctische Afrika-gangers, maar een toename van de in Europa overwinterende Nearctische broedvogels, maar op de korte termijn wordt de Nearctische populatie als stabiel beoordeeld, terwijl de Palearctische populatie als onzeker wordt beoordeeld (van Roomen *et al.* 2022, Tabel 8.25).

Voor de Steenloper is geen gevalideerde proxy voor draagkracht gevonden, noch in de zomer, noch in de winter. De proxies zijn onderling wel gecorreleerd,

maar die correlatie is duidelijk hoger in de zomer (gemiddeld 0,77), dan in de winter (gemiddeld 0,61). Alle proxies vertonen eenzelfde en wel negatieve trend, maar alleen voor BMaanw is de afname van 7,1% per jaar in beide seizoenen significant (Figuur 8.40; Appendix A). Dat is zowel in de winter als in de zomer primair het gevolg van de afname van de biomassa Mossels (Figuur 8.41). Mosselbanken zijn een belangrijk foerageerhabitat voor Steenlopers, en de foerageerdichtheid op mosselbanken is meer dan tien keer hoger dan op het omliggende wad (Waser *et al.* 2016). Het blijft wel opvallend dat alle proxies een negatieve trend laten zien, terwijl de aantallen juist stijgen, zowel in het Pinkegat en Zoutkamerplaag.

Conclusies na doorlopen beslisschema: op basis van de positieve trend in aantallen in Pinkegat en Zoutkamerplaag zijn er geen aanwijzingen voor een negatief effect van bodemdaling. (Tabel 8.26).

Tabel 8.26. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Steenloper in januari en augustus.

		Aug.	Jan.
1	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y→2	Y→2
2	Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	N→8	N→8
8	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	Y	Y

9. Resultaten en discussie sem methodiek

In dit hoofdstuk wordt voor de Scholekster, Kanoet, Rosse Grutto en Bonte Strandloper eerst een beeld gegeven van de verspreiding van het voedsel en de aantallen vogels op de virtuele HVP's. Deze data zijn met een *Structural Equation Model* (SEM) - zoals beschreven in de methode (zie Hoofdstuk 7) - geanalyseerd. De SEM resultaten worden hier globaal besproken. In Appendix B - SEM aantallen als functie van foerageerpotentieel, zijn de gedetailleerde resultaten (o.a. de goodness of fit, AIC, RMSEA, parameter schattingen en varianties), van de SEM gegeven.

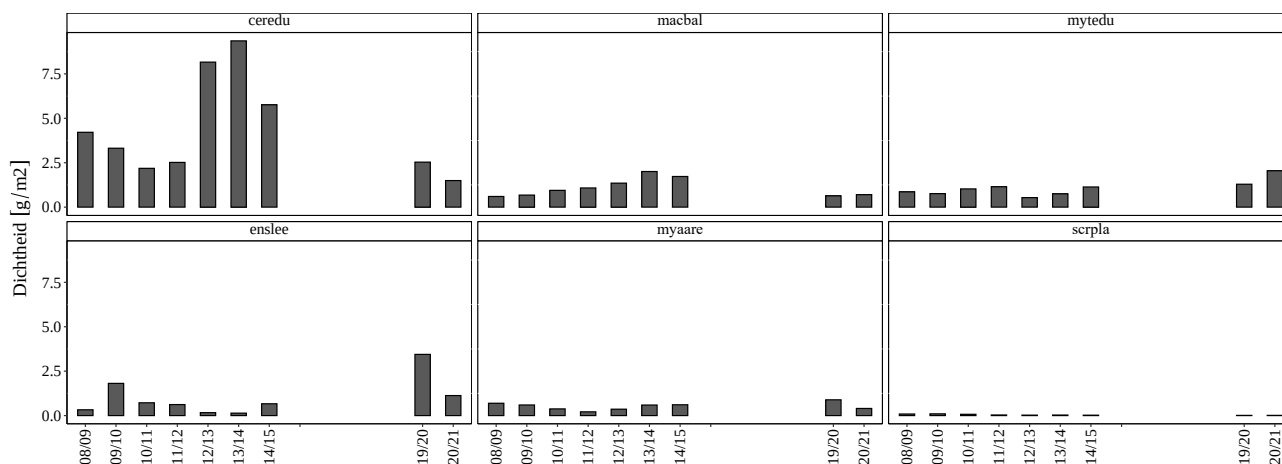
9.1. Scholekster

Figuur 9.1 laat voor de periode 2008-2014 en 2020-2021 de gemiddelde biomassa dichtheid (g/m^2) op de wadplaten voor de Scholekster zien. In termen van biomassa dichtheid, is de Kokkel de belangrijkste prooi soort gevolgd door het Nonnetje en de Mossel en Amerikaanse Zwaardschede (ensis). De gemiddelde biomassa dichtheid van de Strandgaper (myaare) en de Platte Slijkgaper (scrpla) zijn beduidend lager. Opvallend is de grote variatie in de biomassa dichtheid van Kokkels tussen de jaren.

In de kaarten van Figuur 9.2 zijn de gemiddelde prooi dichtheden op de wadplaten in combinatie met de aantallen Scholeksters op de HVP's weergegeven. De voedsel dichtheden in de oostelijke Waddenzee zijn hoger dan in de westelijke Waddenzee. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de hoge dichtheden

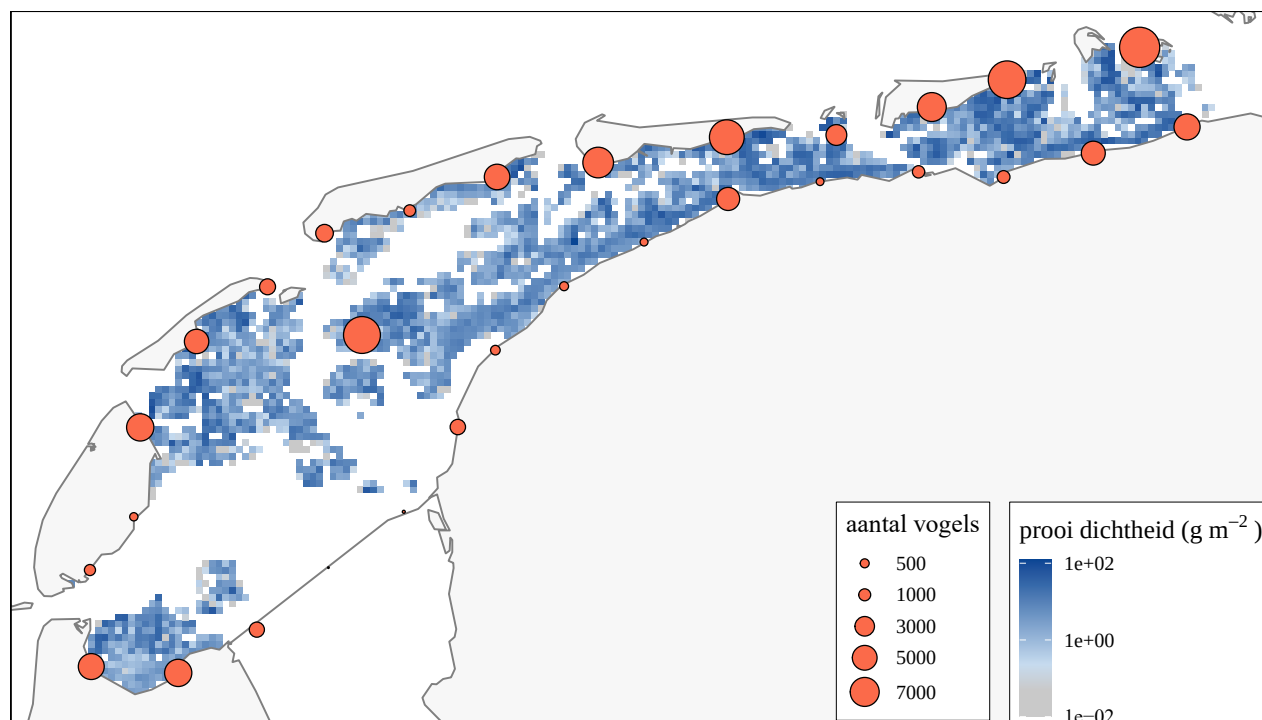
Kokkels in de oostelijke Waddenzee. Hoge dichtheden van de Strandgaper worden langs de vastelandskust van het Friese wad op Ballastplaat aangetroffen. De aantallen vogels op de HVP's corresponderen op het eerste gezicht redelijk met de voedseldichtheid. Wat opvalt is dat de aantallen Scholeksters op de HVP's van het vastelandskust relatief laag zijn ten opzichte van de eilanden.

De SEM als geheel fit de data niet erg goed ($\text{RMSEA} = 0.17$). Dit komt grotendeels door een mismatch tussen het aantal vogels op de HVP's en het beschikbare voedsel op de wadplaten. Desalniettemin zijn de resultaten logisch en consistent (appendix B - D). De factor analyse laat zien dat de biomassa's van de verschillende benthos soorten grotendeels met elkaar correleren. Een uitzondering is enslee, die juist op laag gelegen wad in de westelijke Waddenzee onder Vlieland in hoge dichtheden voorkomt terwijl de dichtheden van andere prooi soorten hier laag zijn (Figuur 9.2). De resultaten tussen de jaren zijn consistent. De R^2 voor de regressie van F op N (foerageerpotentieel op het aantal vogels) varieert tussen de 14% (2019) en 50% (2008). Dat is - gezien de kennis over de voedsel ecologie van de Scholekster - waarschijnlijk het gevolg van dat ook andere factoren dan voedsel bepalend zijn voor de HVP keuze van Scholeksters. Op basis van de positieve en sterke relatie tussen de F en het aantal Scholeksters kan worden geconcludeerd dat F een goede voedsel proxy is voor de voedselsituatie van de Scholekster.

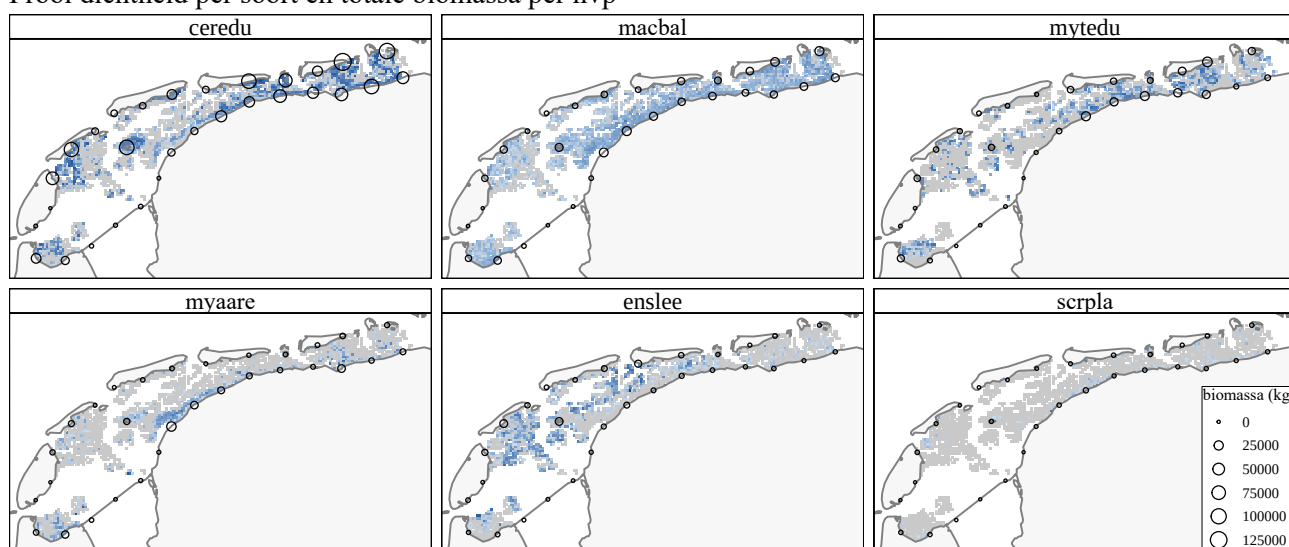


Figuur 9.1. De gemiddelde biomassa dichtheid (g/m^2) van de verschillende prooien van de Scholekster in 2008-2014 en 2020-21.

Scholekster



Prooi dichtheid per soort en totale biomassa per hvp



Figuur 9.2. Gemiddelde prooi dichtheden en het gemiddelde aantal Scholeksters op de virtuele HVP's. De bovenste kaart laat de som van de individuele prooi dichtheden zien.

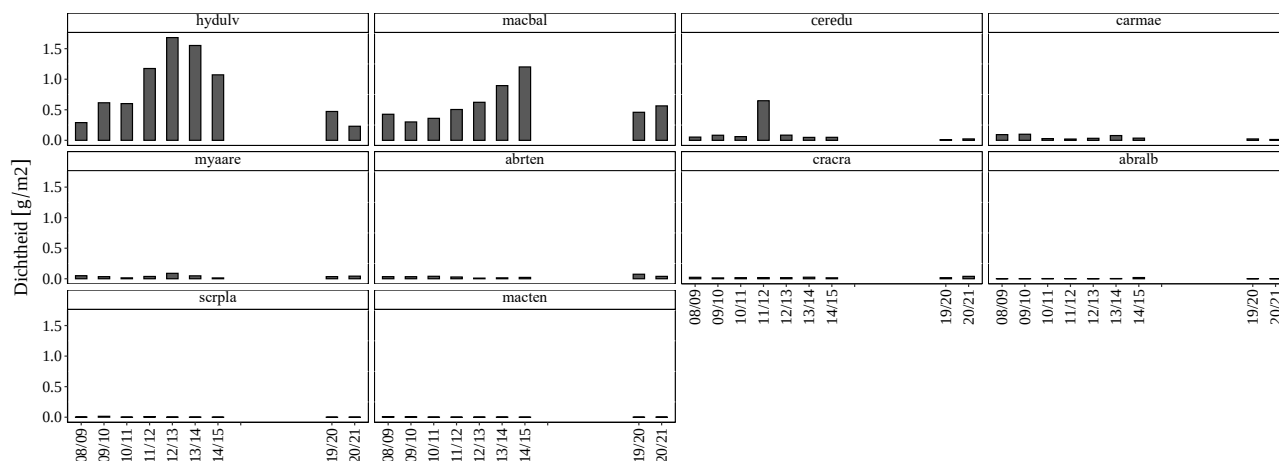
9.2. Kanoet

Figuur 9.3 laat voor de periode 2008-2014 en 2020-2021 de gemiddelde biomassa dichtheid (g/m^2) op de wadplaten voor de Kanoet zien. Het Wadslakje, Nonnetje en de Kokkel zijn de prooi-soorten met de hoogste biomassa dichtheid. De jaar op jaar variatie in de biomassa van de meest abundante soorten is aanzienlijk. Opvallend is de hoge biomassa dichtheid aan Kokkels in 2011 die in de jaren erna verdwenen is. Dit komt doordat Kokkels na het eerste jaar te groot zijn om door Kanoeten gegeten te worden.

In de kaarten van Figuur 9.4 zijn de gemiddelde prooi dichtheden op de wadplaten in combinatie met de aantallen Kanoeten op de HVP's weergegeven. De hoogste prooidichtheden worden ten oosten van Griend, langs de Friese kust aangetroffen en op het Brakzand ten zuiden van Schiermonnikoog. Opvallend is dat de voedseldichtheid op de wadplaten ten zuiden van Vlieland en Terschelling laag zijn. Het Wadslakje komt langs de gehele vastelandskust en ook op het wantij van Schiermonnikoog in hoge dichtheden voor. Het Nonnetje wordt vrijwel overal aangetroffen, al zijn de dichtheden onder Vlieland en Terschelling laag.

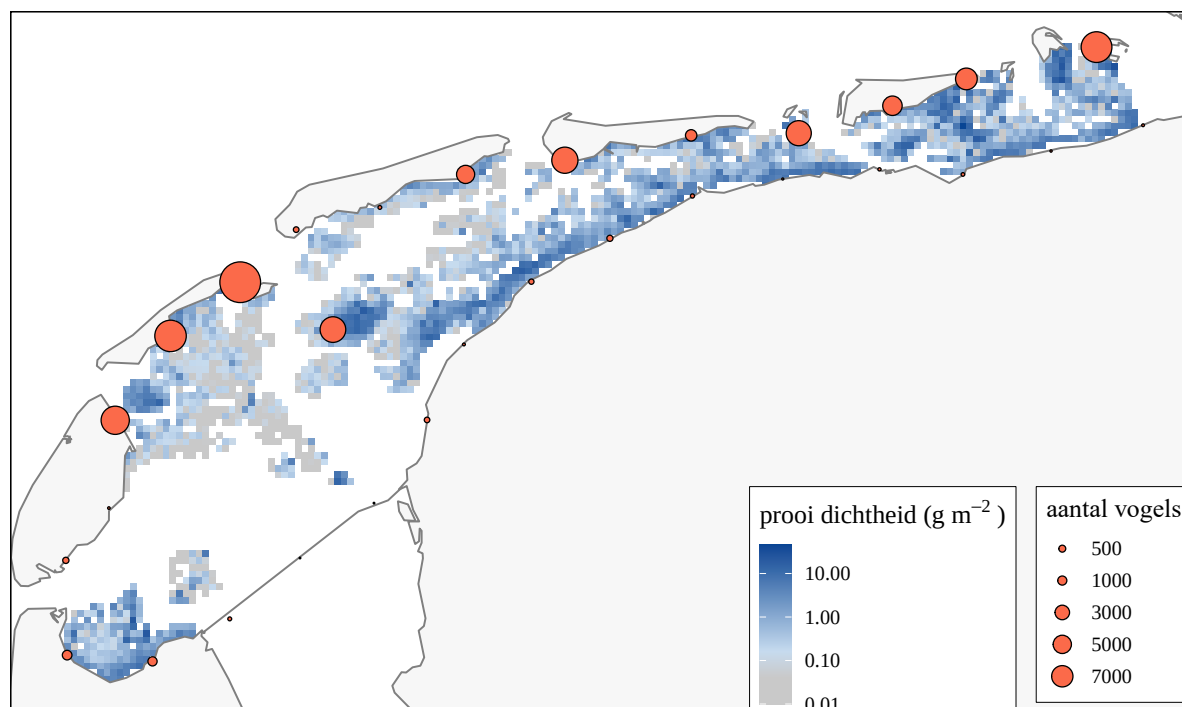
De grootste aantallen Kanoeten overtijden op Vlieland (Richel) en de Rottums. Langs de vastelandskust zijn de aantallen Kanoeten opvallend laag terwijl de voedselbeschikbaarheid hier relatief hoog. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat Kanoeten graag op hoge platen overtijden en niet in kwelders.

Net als bij de Scholekster fit de SEM de data niet heel goed ($\text{RMSEA} = 0.17$). Zoals hierboven beschreven is de match tussen de vogels op de HVP's en het voedsel op het wad niet sterk. De factor analyse (appendix B) laat zien dat de biomassa's van de verschillende benthos soorten grotendeels met elkaar correleren. De resultaten van de factoranalyse tussen de jaren zijn consistent. Voor vrijwel alle jaren is er een zwak positief (en steeds statistisch insignificant) verband tussen F en N en de bijbehorende R^2 is steeds laag. Vanwege de zwakke relatie tussen voedsel en vogels kan geconcludeerd worden dat F geen goede proxy is voor het aantal Kanoeten.

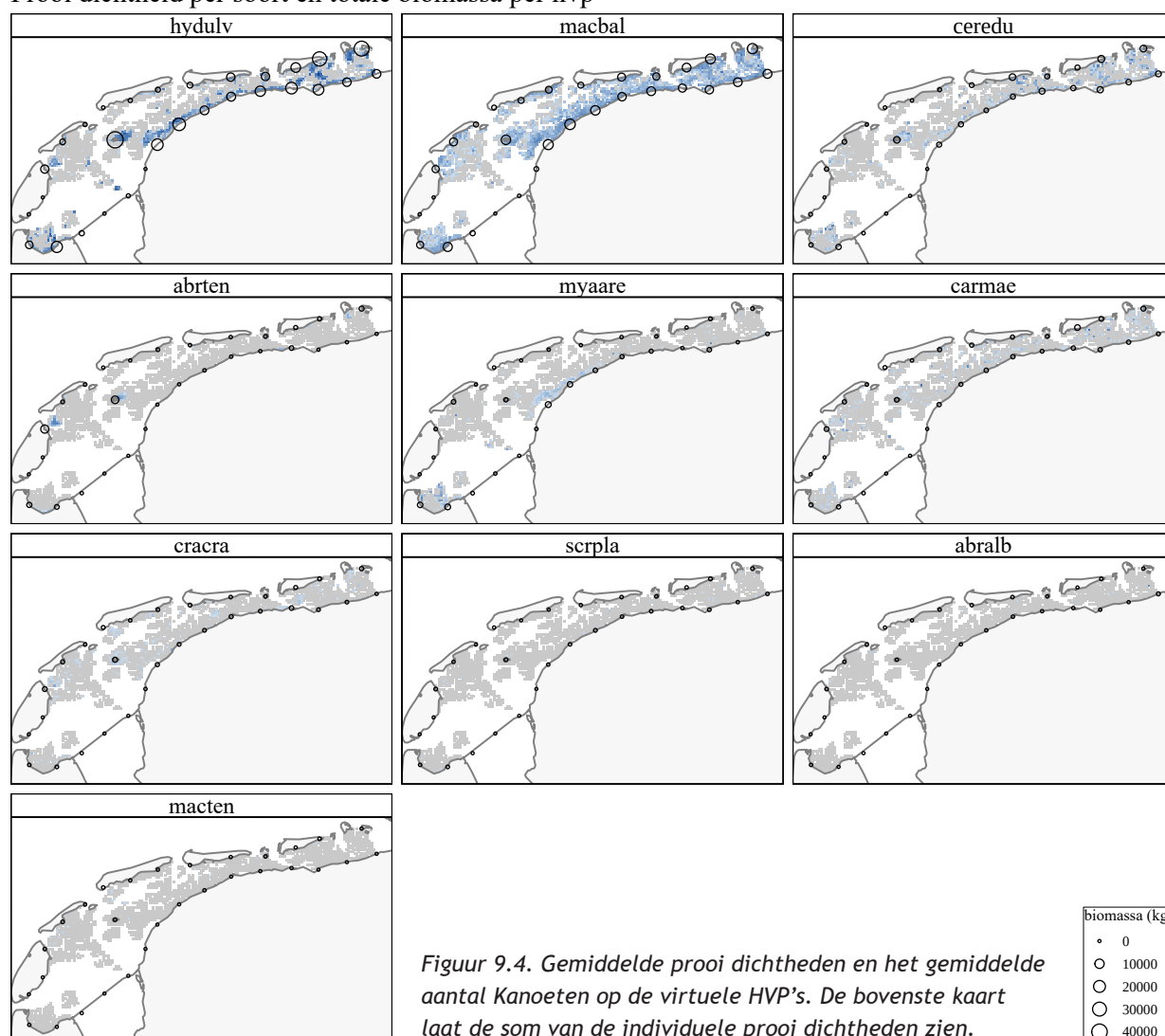


Figuur 9.3. De gemiddelde biomassa dichtheid (g/m^2) van de verschillende prooiën van de Kanoet in 2008-2014 en 2020-21.

Kanoet



Prooi dichtheid per soort en totale biomassa per hvp



Figuur 9.4. Gemiddelde prooi dichtheden en het gemiddelde aantal Kanoeten op de virtuele HVP's. De bovenste kaart laat de som van de individuele prooi dichtheden zien.

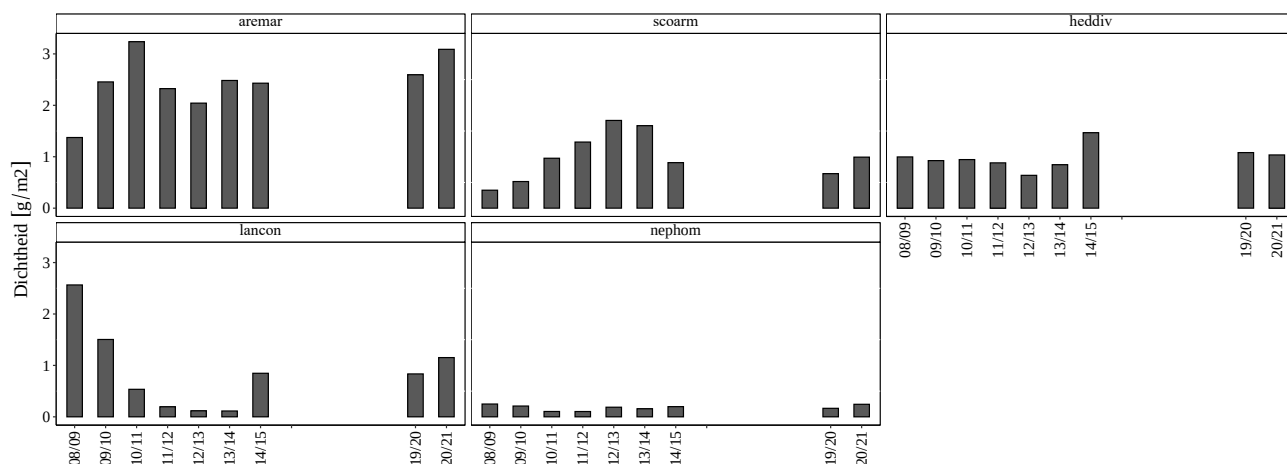
9.3. Rosse Grutto

Figuur 9.5 laat voor de periode 2008-2014 en 2020-2021 de gemiddelde biomassa dichtheid (g/m^2) van de prooien voor de Rosse Grutto zien. De Wadpier (*Arenicola marina*), de Wapenworm (*Scoloplos armiger*) en de Zeeduizendpoot (*Hediste diversicolor*) zijn de belangrijkste prooien in termen van biomassa. De jaar op jaar variatie van de meeste prooien is relatief laag vergeleken met de prooien van de meeste schelpdiereters.

In de kaarten van Figuur 9.6 zijn de gemiddelde prooidichtheden op de wadplaten in combinatie met de aantallen Rosse Grutto's op de HVP's weergegeven. De ruimtelijke variatie in prooidichtheden zijn relatief beperkt, al zijn de dichtheden op de zandige platen in de westelijke Waddenzee gemiddeld wel iets hoger dan in de meer slibrijke oostelijke Waddenzee.

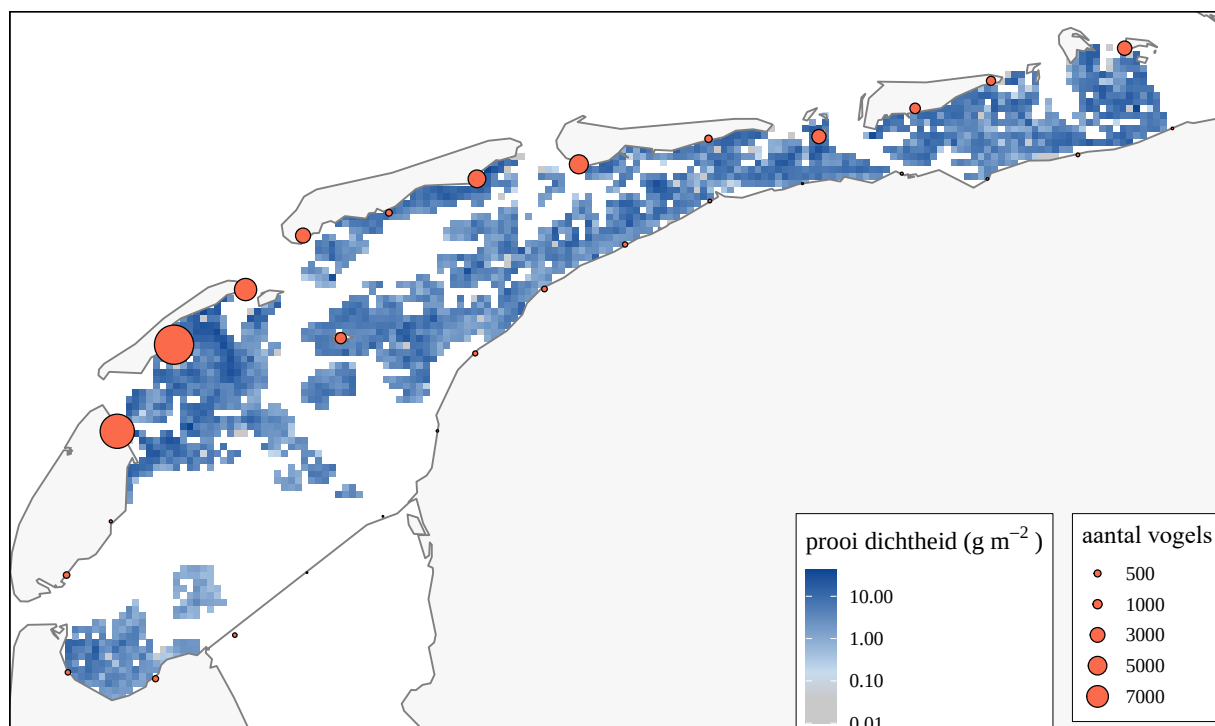
De grootste aantallen Rosse Grutto's overtijten op noord Texel en Vlieland (incl. Richel). Net als bij de Kanoeten zijn de aantallen Rosse Grutto's op de HVP's op het vaste land laag. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat ook Rosse Grutto's graag op hoge platen overtijten en niet in kwelders.

Zoals op basis van Figuur 9.6 ook al verwacht kon worden is de fit van de SEM niet erg goed ($\text{RMSEA} = 0.242$). Hoewel op grote ruimtelijke schaal (oostelijke vs westelijke Waddenzee) de Rosse Grutto's wel in de nabijheid van hun voedsel overtijten is op de schaal van de virtuele HVP's de fit niet goed. Dit heeft grotendeels te maken met het feit dat er op de vastelandskust vrijwel geen Rosse Grutto's overtijten terwijl er in de nabijheid wel voedsel beschikbaar is (met name Zeeduizendpoot). De factoranalyse (appendix B) is robuust in de zin dat de prooi-soorten van de Rosse Grutto onderling sterk correleren en de R^2 tussen de latente variabele F en de afzonderlijke prooi-soorten is hoog. Ook de relatie tussen de F en N is voor ieder jaar statistisch significant. De R^2 -en van de regressies van N op F variëren tussen de 0.10 - 0.25 wat suggereert dat belangrijke factoren die bepalend zijn voor N niet in het model zijn opgenomen en dat er meetfout in N zit. Desalniettemin kan dankzij de gevonden relaties gesteld worden dat F een robuuste proxy is voor de voedselcondities voor de Rosse Grutto.

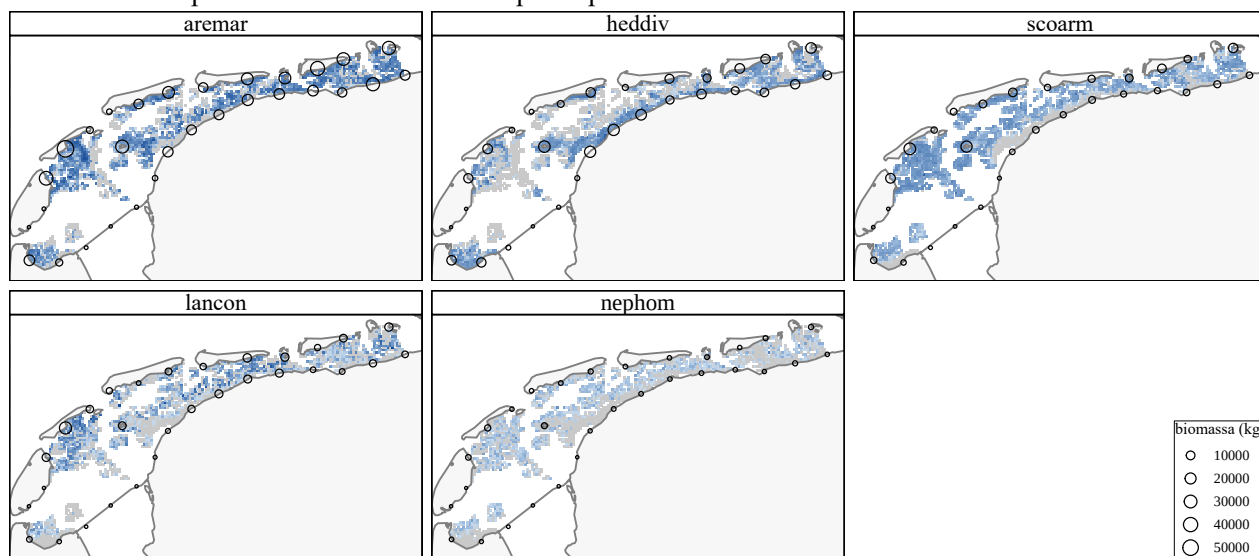


Figuur 9.5. De gemiddelde biomassa dichtheid (g/m^2) van de verschillende prooien van de Rosse Grutto in 2008-2014 en 2020-21.

Rosse Grutto



Prooi dichtheid per soort en totale biomassa per hvp



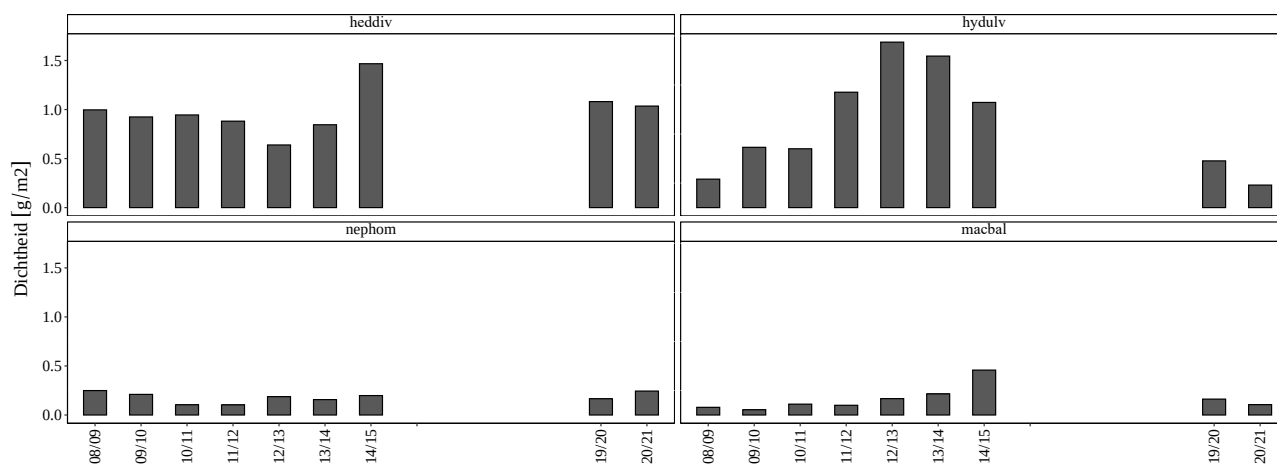
Figuur 9.6. Gemiddelde prooi dichtheden en het gemiddelde aantal Rosse Grutto's op de virtuele HVP's. De bovenste kaart laat de som van de individuele prooi dichtheden zien.

9.4. Bonte Strandloper

De prooi-soorten voor de Bonte Strandloper die in de hoogste dichtheid voorkomen zijn de Zeeduizendpoot en het Wadslakje gevolgd door de Wapenworm en het Nonnetje (Figuur 9.9). De jaar op jaar variatie van de wormen en het Nonnetje zijn relatief beperkt maar het Wadslakje varieert wel sterk.

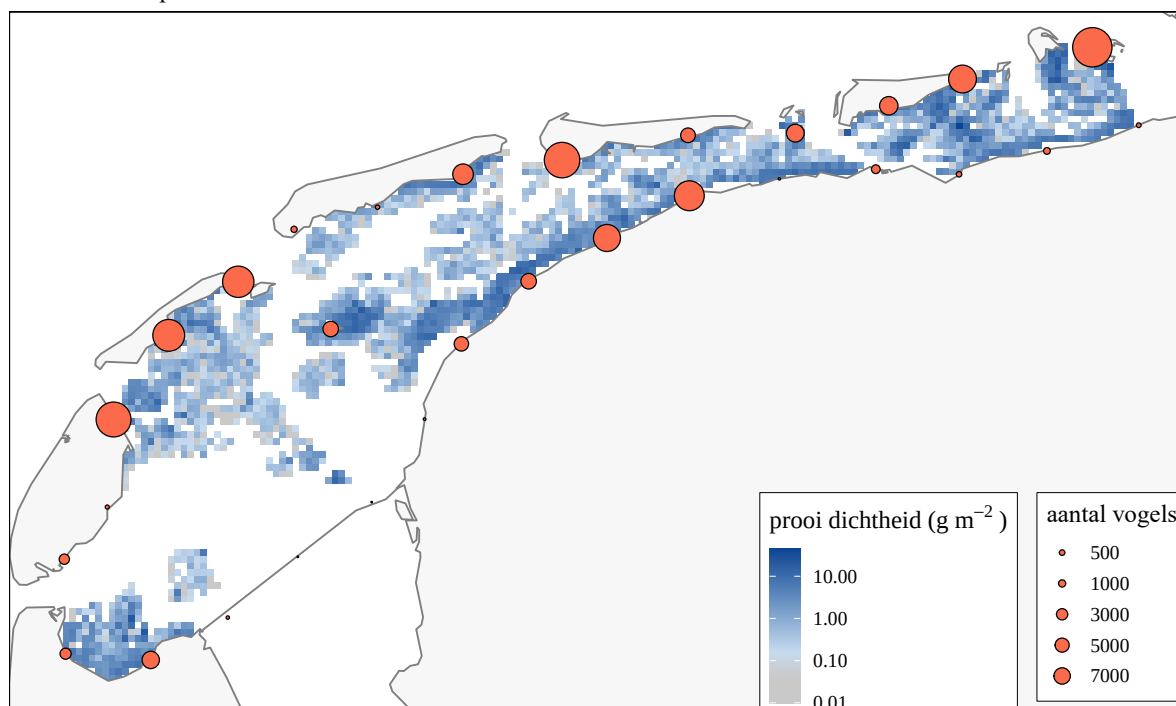
Zowel de Zeeduizendpoot als het Wadslakje komen met name langs de Friese vastelandskust, ten oosten van Griend en op het wantij van Schiermonnikoog in relatief hoge dichtheden voor (Figuur 9.8). De Bonte Strandloper komt vrijwel op alle HVP's voor, al zijn de dichtheden langs de Groningse vastelandskwel-ders en op West Terschelling opvallend laag.

Ook voor de Bonte Strandloper kan alleen het voedsel op het wad de aantallen op de HVP's niet goed verklaren en de fit van de SEM is matig (RMSEA=0.196). De correlatie tussen de prooi-soorten is redelijk sterk en de R^2 -en van de prooien op F zijn voor alle jaren redelijk hoog. De zandzager is de soort het minst sterk beschreven wordt door de latente variabele F. De regressie van N op F is voor alle jaren significant en de R^2 -en van deze relaties variëren tussen 0.2 en 0.5. Hoewel het model als geheel de aantallen Bonte Strandlopers niet goed kan verklaren zijn de relaties binnen het model logisch en statistisch significant en kan worden geconcludeerd dat F een robuuste proxy is voor de voedselcondities en de aantallen Bonte Strandlopers.

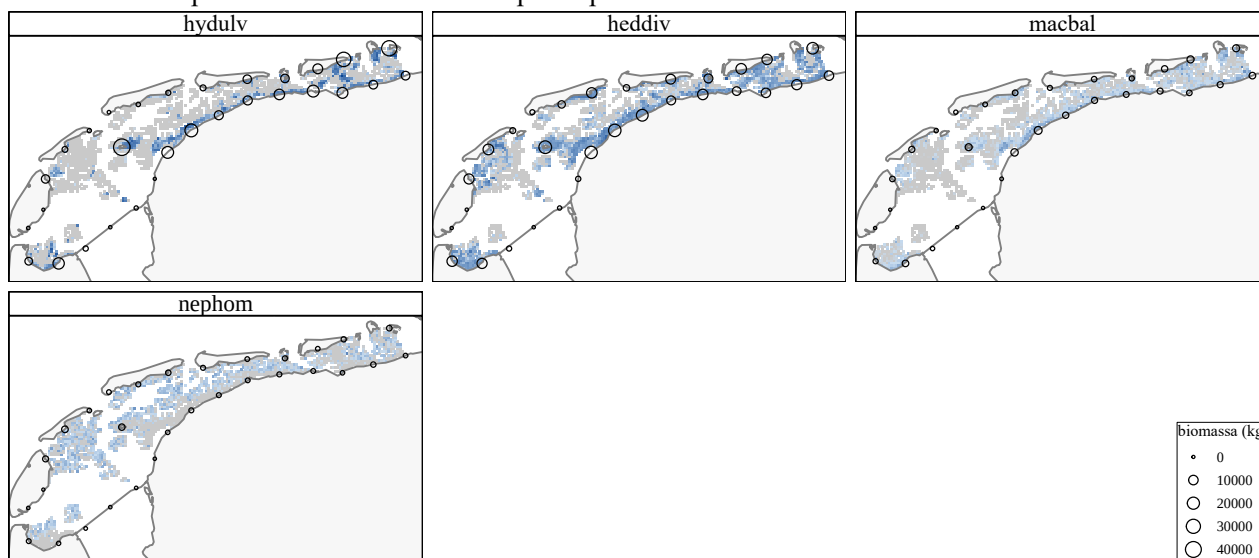


Figuur 9.7. De gemiddelde biomassa dichtheid (g/m^2) van de verschillende prooien van de Bonte Strandloper in 2008-2014 en 2020-21.

Bonte Strandloper



Prooi dichtheid per soort en totale biomassa per hvp



Figuur 9.8. Gemiddelde prooi dichtheden en het gemiddelde aantal Bonte Strandlopers op de virtuele HVP's. De bovenste kaart laat de som van de individuele prooi dichtheden zien.

9.5. Vergelijk wadmap en sem methodiek

In deze paragraaf vergelijken we resultaten van Waddenzee-brede analyses van het voedselaanbod voor wadvogels zoals verkregen met Wadmap en met SEM. Doel hiervan is na te gaan in hoeverre de twee methoden overeenkomende signalen opleveren over de geschiktheid van deelgebieden op het wad als foerageergebied voor wadvogels en de variatie daarin in ruimte en tijd. Hoewel de twee analyses grotendeels gebaseerd zijn op dezelfde meetgegevens (bodemfaunabemonsteringen SIBES en Moskok) zijn er ook belangrijke verschillen.

In Wadmap worden de proxies voor draagkracht (voedselbeschikbaarheid) berekend uit gegevens over bodemfauna, hoogteligging en overspoelingsduur, onafhankelijk van gegevens over de vogelaantallen. Met die laatste zijn de Wadmap-uitkomsten pas achteraf geconfronteerd, in de validatiestap. In de SEM-analyse spelen de vogeltellingen een directe rol, doordat de latente variabele ‘foerageerpotentieel’ (F) zodanig wordt samengesteld uit de verschillende gemeten potentiële prooi-soorten dat het SEM de best mogelijke voorspelling geeft van het aantal vogels op de virtuele HVP. In de rekenstappen in Wadmap zijn een aantal aspecten van het gedrag van foeragerende vogels (zoals prooikeuze samenghangend met grootte en dichtheid van verschillende aanwezige prooien) en van prooidieren (zoals diepteverspreiding en oppervlakte-activiteit) in rekening gebracht. Hierbij is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van gepubliceerde onderzoeksgegevens, maar er zijn ook aannames gedaan die onzekerheden meebrengen. In de SEM spelen dergelijke aannames geen essentiële rol; in beginsel zoekt de analyse louter correlatief naar samenhang tussen getelde vogelaantallen en de gemeten aanwezigheid van voedsel. Hierdoor geeft deze benadering minder inzicht in de onderliggende processen, maar is zij wel eenvoudiger toepasbaar en zijn mogelijk onrealistische aannames niet nodig. Inzicht in de mate van overeenkomst tussen de resultaten van beide benaderingen kan daarom helpen bij de keuze voor een in de komende jaren te hanteren aanpak.

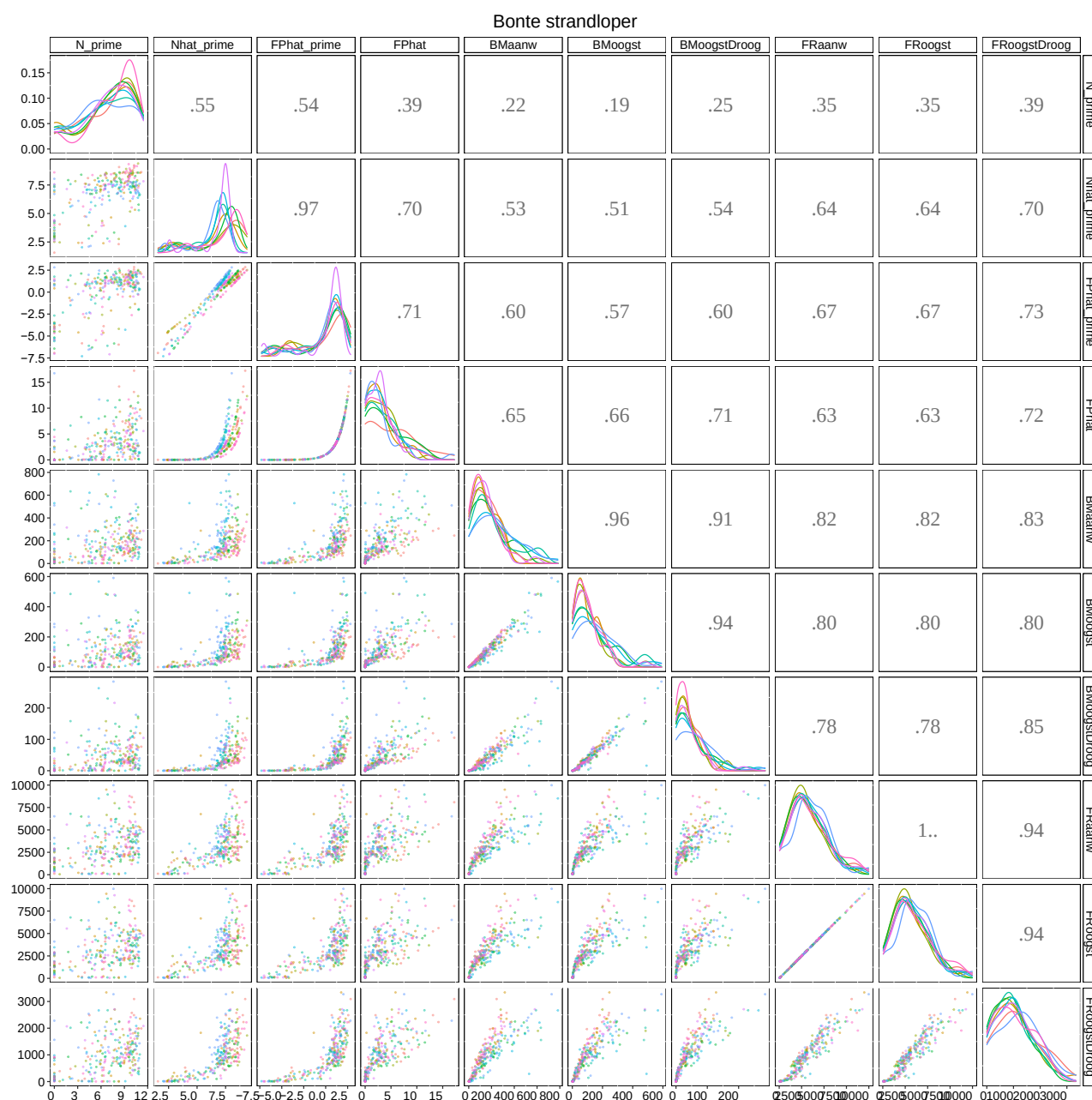
Om deze vergelijking te kunnen maken, zijn voor de jaren waarvoor de SIBES-bodemfaunabemonstering voor de gehele Waddenzee is uitgewerkt (2008-2014, 2019, 2020), parallelle berekeningen gemaakt met beide methoden. Hiertoe is de voor de SEM-analyse gebruikte indeling van de Waddenzee in 30 ‘virtuele HVP’s met bijbehorend foerageergebied overgenomen in Wadmap, en zijn in de SEM-analyse de in Wadmap gebruikte prooilijsten per vogelsoort toegepast (Tabel 6.1). Op deze wijze zijn vier vogelsoorten doorgerekend: Scholekster, Kanoet, Rosse

Grutto en Bonte Strandloper. Deze vertegenwoordigen variatie tussen wadvogelsoorten in prooikeuze (schelp- vs. wormeneters), lichaamsgrootte, en sociaal gedrag en foerageerverspreiding (groepsgewijs of meer verspreid met interferentie tussen individuen). Gerekend is voor de maand september, de het kortst na de jaarlijkse zomerse SIBES-bemonstering vallende maand waaruit voor alle jaren vrijwel volledige HVP-tellingen uit de hele Waddenzee beschikbaar zijn.

De output van Wadmap bestaat uit de zeven verschillende proxies voor draagkracht (Opp t/m FRoogstDr, zie paragraaf 6.4), voor elke combinatie van vogelsoort, virtuele HVP en jaar. De hier gebruikte output van de SEM bestaat uit de geschatte latente variabele ‘foerageerpotentieel’ (FPhat) en het op basis daarvan voorspelde aantal vogels (Nhat) voor dezelfde combinaties. Daarnaast is voor deze combinaties ook het werkelijk aanwezige, getelde aantal vogels (N) beschikbaar. Als globale maat voor de overeenkomst tussen verschillende outputvariabelen gebruiken we hier de correlatie ertussen over alle combinaties van jaar en HVP per vogelsoort, uitgedrukt in de correlatiecoëfficiënt ($r = 1$ of -1 : perfecte recht evenredige samenhang; $r = 0$: geen samenhang, m.u.v. een kwadratisch verband (parabool). Dit is een wat grove benadering (één correlatie is berekend over zowel de verschillende gebieden als de verschillende jaren binnen elk gebied) maar wel bruikbaar in vergelijkende zin. Omdat de samenhang tussen variabelen niet altijd lineair verloopt is deze grafisch weergegeven in x-y scatterplots (zie Figuur 9.9).

Figuur 9.9 en Figuur 9.10 geven als voorbeeld de resultaten voor Bonte Strandloper (het beeld bij de andere soorten is vergelijkbaar, zie Appendix C). Figuur 9.9 geeft een overzicht van de samenhang tussen de verschillende grootheden: de getelde vogelaantallen, de SEM-output en de Wadmap-proxies. Hier is onder meer te zien dat er een aanzienlijke mate van samenhang is tussen de Wadmap-proxies en de SEM-uitvoer, en een wat minder nauwe correlatie met de getelde aantallen. Figuur 9.10 geeft de samenhang tussen de Wadmap-proxy FRoogstDroog en het met SEM berekende foerageerpotentieel in de verschillende jaren. Te zien is dat in alle jaren een duidelijke samenhang aanwezig is.

Figuren voor de andere drie onderzochte soorten geven een vergelijkbaar beeld en zijn te vinden in Appendix C. We bespreken de soorten hier niet een voor een maar hebben de voornaamste resultaten samengevat in Tabel 9.1. Daarin zijn een aantal pa-

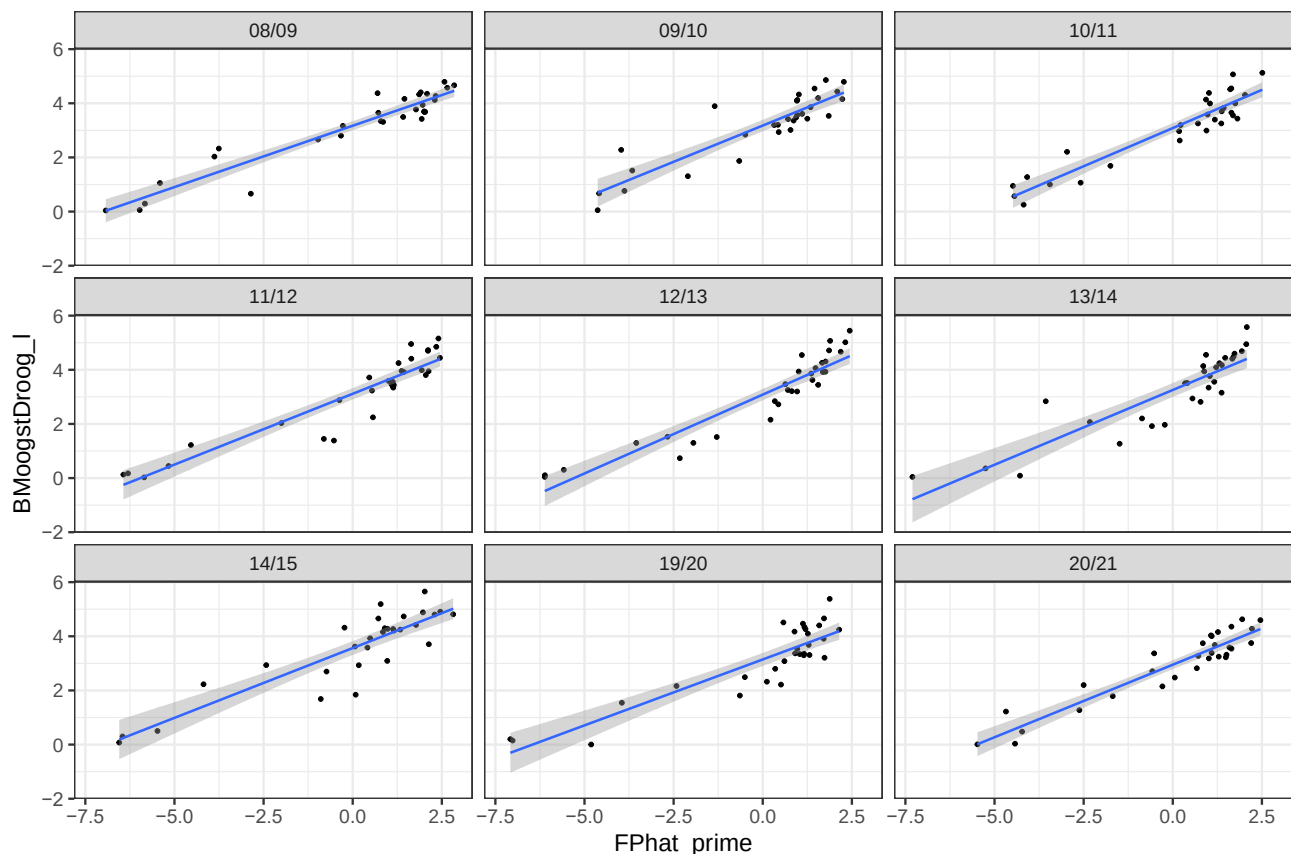


Figuur 9.9. Samenhang tussen de voorspellingen van foerageerpotentieel van de SEM-analyse (Nhat_prime t/m FPhat) per virtuele HVP en jaar en de proxies uit Wadmap (7 proxies, Oppervlak t/m FRoogstDr), en de op deze HVP's getelde vogelaantallen (N_prime), hier voor de Bonte Strandloper. De toevoeging “_prime” in de variabelenaam betekent dat de betreffende variabele een logaritmische schaal heeft. Linksonder wordt de samenhang grafisch weergegeven (stipkleuren representeren jaren), rechtsboven is dit samengevat in de correlatiecoëfficiënt. De figuurtjes op de diagonaal geven jaarlijkse frequentieverdelingen weer van de waarden van de betreffende grootte.

tronen te herkennen:

- Het globale beeld van samenhang tussen verschillende groottheden is voor de vier hier beschouwde soorten tamelijk vergelijkbaar. Vooral de resultaten voor Bonte Strandloper, Rosse Grutto en Scholekster lijken veel op elkaar. Die voor de Kanoet wijken hier iets meer van af, maar zonder een heel ander beeld te geven.
- Bij alle soorten zijn er duidelijke positieve correlaties tussen Wadmap-proxies en de SEM-uitvoer,

met een correlatiecoëfficiënt r in de grootteorde 0.4-0.7. Deze samenhang wordt mede veroorzaakt door variatie in oppervlak tussen de HVP-gebieden; een groot gebied zal gemiddeld grotere proxy- of SEM-waarden en meer vogels opleveren. De variatie in grootte is voor de virtuele HVP-gebieden echter vrij beperkt (m.u.v. Griend), omdat die regelmatig gespreid door de Waddenzee zijn gelegd (Figuur 7.1). Wadmap en SEM geven dus deels gelijkgerichte signalen over de kwaliteit



Figuur 9.10. Samenhang tussen de Wadmap-proxy BMoogstDroog en de SEM-output foerageerpotentieel (FPhat_prime, log-schaal) voor Bonte Strandloper in verschillende jaren.

van gebieden als foerageerhabitat voor vogels in de Waddenzee. De correlaties tussen Wadmap-proxies en SEM-uitvoer zijn echter minder sterk dan die tussen Wadmap-proxies onderling (tussen proxies $r \approx 0.5-0.99$), wat aangeeft dat de resultaten van de twee analysebenaderingen niet helemaal inwisselbaar zijn.

- De correlaties tussen de SEM-uitvoer en de getelde vogelaantallen ($r \approx 0.3-0.5$) zijn in het algemeen groter dan die tussen Wadmap-proxies en deze aantallen ($r \approx 0.1-0.4$). Dat is logisch omdat een relatie met de getelde aantallen in het SEM wordt opgelegd, maar in Wadmap niet. Desondanks is ook in de SEM-analyse het aandeel verklaarde variantie in de getelde vogelaantallen per HVP tamelijk beperkt (voor de Scholekster tussen 0.12-0.5, Kanoet 0.05-0.3, Rosse Grutto 0.1-0.25, Bonte Strandloper 0.2-0.6). Dat betekent dat ook met deze aanpak een aanzienlijk deel van die variatie onverklaard blijft. Dit deel wordt dus veroorzaakt door andere factoren dan het beschikbare voedsel. Het kan daarbij gaan om variatie veroorzaakt door niet gemeten omgevingsfactoren maar ook door toevallige fluctuaties en fouten in de getelde aantallen. Deze variatie veroorzaakt 'ruis' die de kans verkleint om eventuele effecten van de gaswinning te kunnen aan-

tonen. Denkbaar is dat door extra variabelen mee te nemen in de analyse het aandeel verklaarde variantie nog verhoogd kan worden, en daarmee de zeggingskracht van de monitoring vergroot, maar of dit een heel groot verschil gaat maken is de vraag. Toevallige aantalsfluctuaties (zoals door tijdelijke verplaatsingen van vogels tussen HVP's) zullen altijd een rol blijven spelen, en tellingen van grote groepen overtuigende wadvogels kennen flinke foutmarges (Rappoldt et al. 1985). Desalniettemin is het de moeite waard om in de komende jaren te proberen extra omgevingsfactoren te kwantificeren en mee te nemen. Dit is in de SEM-analyse gemakkelijker te realiseren dan in Wadmap. Te denken valt aan factoren zoals sedimentsamenstelling, verstoringdruk, nabijheid (of niet) van geprefereerde habitats om te overtijen, aanwezigheid van alternatieve of extra foerageermogelijkheden binnendijks (zie ook de effectketen (Figuur 10.1). Bovendien is de aanname over de gebruikte koppeling tussen virtuele HVP's en voedselgebied nog niet goed onderzocht voor het gros van de soorten. Voor een territoriale soort als de Scholekster lijkt het wel aardig te kloppen (Bakker et al. 2021).

De huidige analyse valt waarschijnlijk ook op enkele

andere aspecten nog te verbeteren. In het huidige SEM wordt nog geen onderscheid gemaakt tussen aanwezigheid en beschikbaarheid (op een met de snavel bereikbare diepte in het sediment) van prooidieren voor foeragerende vogels. In Wadmap gebeurt dat tot op zekere hoogte wel via de geprogrammeerde diepteverdelingen en oppervlakte-activiteit,

maar met de nodige aannames en ongetwijfeld niet perfect. Een andere optie is om de fracties in de top/bodem te gebruiken om de beschikbaarheid voor de kortsnavelige steltlopers te berekenen. Een andere optie is om als responsvariabele niet alleen de in september getelde aantallen te gebruiken maar ook die in andere maanden.

*Tabel 9.1. Samenvatting van enkele relevante vergelijkingen van de resultaten van analyses met Wadmap en SEM. De tabel is gebaseerd op de correlaties tussen grootheden zoals geïllustreerd in Figuur 9.9 voor Bonte Strandloper en in Appendix 14 voor de andere drie soorten. Voor verschillende groepen van correlaties (combinaties van grootheden) zijn hier per soort de hoogste en laagste r-waarden weergegeven als indicatie voor de mate van samenhang. Om het lezen te vergemakkelijken en omdat de exacte grenswaarden minder relevant zijn, zijn deze r-waarden afgerond op 1 decimaal, tenzij $r > 0.95$. De SEM-uitvoer omvat de grootheden *Nhat_prime* en *FPhat_prime*, de Wadmap-proxies zijn de zeven proxies Oppervlak t/m FRoogstDroog.*

correlatie tussen	Bonte Strandloper	Kanoet	Rosse Grutto	Scholekster
SEM-uitvoer vs. N geteld	0.5-0.6	0.3-0.4	0.4-0.4	0.5-0.6
Wadmap-proxies vs. N geteld	0.2-0.4	0.0-0.1	0.3-0.4	0.3-0.4
Wadmap-proxies vs. SEM: <i>Nhatp</i>	0.5-0.7	0.4-0.6	0.6-0.7	0.5-0.6
Wadmap-proxies vs. SEM: <i>FPhatp</i>	0.6-0.7	0.4-0.6	0.6-0.7	0.5-0.6
Wadmap-proxies onderling	0.7-0.96	0.5-0.96	0.8-0.99	0.7-0.99

10. Algemene discussie en conclusies

10.1. Signaleringsmonitoring & signalering

Voor elk van de onderzochte soorten is het aantalsverloop in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag over de lange termijn (periode 1994/1995 – 2019/2020) en de korte termijn (2009/2010 – 2019/2020) gerapporteerd en vergeleken met het aantalsverloop in de rest van de Nederlandse Waddenzee, als ook met het aantalsverloop in de Duitse en Deense Waddenzee. De trendvergelijkingen voor de lange termijn zijn vooral bedoeld om enige context te geven. In dat kader moet ook de trendvergelijking met de ontwikkeling van de populatie-aantallen langs de hele Oost-Atlantische vliegroute worden gezien (van Roomen *et al.* 2022). Voor bodemdaling als gevolg van de gaswinning uit de velden bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (MLV velden) gaat het primair om de trends op korte termijn, omdat die samenvallen met het begin van de gaswinning uit de MLV velden. De resultaten voor die korte termijn zijn samengevat in Tabel 10.1.

Voor 4 soorten is de situatie stabiel, voor 3 soorten nemen de aantallen toe en voor 6 soorten is de trend negatief in Pinkegat en Zoutkamperlaag. T.o.v. de rest van de Nederlandse Waddenzee (6 trends negatief en 4 positief) zijn de trends in Pinkegat en Zoutkamperlaag iets vaker negatief. T.o.v. de Duitse en Deense Waddenzee is het beeld positiever (6 negatieve trends en 3 positieve in de Duitse en Deense Waddenzee). Op basis van deze trendinformatie leidt het beslisschema tot de conclusie dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 10.2).

In de rapportage t/m het monitoringjaar 2018 is veel aandacht besteed om de proxies voor draagkracht te valideren (Ens *et al.* 2019), waarbij vijf soort-seizoen combinaties aan de criteria voor een gevalideerde proxy voldeden: Scholekster-najaar, Scholekster-winter, Bonte Strandloper-najaar, Rosse Grutto-najaar en Wulp-najaar. Voor deze soort-seizoen

Tabel 10.1. Samenvatting van de trends in het seizoensgemiddelde voor de 13 onderzochte wadvogelsoorten voor de periode 2009-2021. Voor Pinkegat-Zoutkamperlaag, de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee is de trend als jaarlijkse factor gegeven en is beoordeeld of de trend positief (+), stabiel (0), onduidelijk (?) dan wel negatief (-) was. In de laatste kolom is aangegeven bij welke soorten volgens het beslisschema de trendinformatie een betrouwbaar beeld geeft van de trendontwikkeling in het bodemdalingsgebied (Y of N). In het eerste geval wordt daarna gekeken of de vogelaantallen zich negatiever of minder positief dan elders ontwikkelen (YN). Als dat niet het geval is (YY) luidt de conclusie dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling.

	Pinkegat-Zoutkamperlaag	Rest Nederlandse Waddenzee	Duitse & Deense Waddenzee	Pinkegat-Zoutkamperlaag	Rest Nederlandse Waddenzee	Duitse & Deense Waddenzee	Eerste stappen beslisschema
Bergeend	0.95	0.99	0.99	-	0	-	YN
Pijlstaart	1.01	1.01	1.06	0	0	+	YY
Scholekster	0.98	0.98	0.98	-	-	-	YY
Kluut	0.96	0.98	0.95	-	-	-	YY
Bontbekplevier	1.05	1.05	1.02	+	+	+	YY
Zilverplevier	1.01	1.01	0.99	0	0	-	YY
Kanoet	0.95	1.00	1.02	-	0	?	YN
Drieteenstrandloper	1.03	1.04	1.01	+	+	0	YY
Bonte Strandloper	0.99	1.02	1.00	0	+	0	YN
Rosse Grutto	0.99	0.99	0.99	0	0	-	YY
Wulp	0.98	0.99	1.00	-	0	0	YN
Tureluur	0.97	1.00	0.98	-	0	-	YN
Steenloper	1.05	1.04	1.01	+	+	+	YY

combinaties kan het verloop van de gevalideerde proxy gebruikt worden om in het beslisschema te oordelen over mogelijk negatieve effecten van bodemdaling. In alle gevallen laat de proxy geen significante negatieve trend zien en luidt de conclusie dat

er geen aanwijzingen zijn voor een mogelijk negatief effect van bodemdaling.

Op twee uitzonderingen na (Pijlstaart-herfst en Pijlstaart-winter) bleken de proxies onderling sterk

Tabel 10.2. Toepassing van het beslisschema over hand aan de kraan (Tabel 4.1 en Figuur 4.1) op de 13 onderzochte wadvogelsoorten op basis van de in hoofdstuk 8 gepresenteerde resultaten. De vragen en conclusies uit het beslisschema worden kolomsgewijs behandeld, waarbij Y = ja en N = nee. De vragen en antwoorden die tot de uiteindelijke conclusie leiden zijn vetgedrukt met een grijze achtergrond. Voor zover mogelijk zijn ook de andere vragen beantwoord, maar omdat die antwoorden geen effect hebben op de eindconclusie (ook al kunnen ze die eindconclusie wel versterken) zijn ze niet vet gedrukt en niet op een grijze ondergrond weergegeven.

	maand	Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling vogelsoort?	Vogelaantallen in bodemdalingen-bied ontwikkelen zich negatiever / minder positief dan elders?	Gevalideerde draagkracht proxy?	Alle proxies zelfde trend en sterk gecorreleerd?	Negatieve trend in proxy?	Geheel/deels gevolg van bodemdaling?	Geen uitspraak mogelijk	Aanwijzing voor mogelijk negatief effect bodemdaling	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling
Bergeend	jan	Y	Y	N	Y	N				Y
	sep	Y	Y	N	Y	N				Y
Pijlstaart	jan	Y	N	N	Y	N				Y
	nov	Y	N	N	Y	N				Y
Scholekster	jan	Y	N	Y	Y	N				Y
	sep	Y	N	Y	Y	N				Y
Kluut	sep	Y	N	N	Y	N				Y
	nov	Y	N	N	Y	N				Y
Bontbekplevier	mei	Y	N	N	Y	N				Y
	sept	Y	N	N	Y	N				Y
Zilverplevier	jan	Y	N	N	Y	N				Y
	mei	Y	N	N	Y	N				Y
Kanoet	jan	Y	Y	N	Y	N				Y
	aug	Y	Y	N	Y	N				Y
Drieteenstrandloper	mei	Y	N	N	Y	N				Y
	aug	Y	N	N	Y	N				Y
Bonte Strandloper	mei	Y	Y	N	Y	N				Y
	sep	Y	Y	Y	Y	N				Y
Rosse Grutto	mei	Y	N	N	Y	N				Y
	aug	Y	N	Y	Y	N				Y
Wulp	jan	Y	N	N	Y	N				Y
	sep	Y	N	Y	Y	N				Y
Tureluur	jan	Y	Y	N	Y	N				Y
	jul	Y	Y	N	Y	N				Y
Steenloper	jan	Y	N	N	Y	N				Y
	aug	Y	N	N	Y	N				Y

gecorrleerd en lieten dezelfde trend zien. Deze gezamenlijke trend kan daarom dan gebruikt worden om te besluiten of de draagkracht zich in positieve dan wel negatieve zin ontwikkelt, omdat alle beschikbare kennis over de voedsel-ecologie is verwerkt in de proxies. De verschillende proxies richten zich vooral op de vraag hoe het voedsellandschap het beste gekarakteriseerd kan worden. Uiteraard maakt een sterk gebieds-effect daarbij duidelijk dat er meer factoren een rol spelen dan alleen voedsel.

Samenvattend leidt de toepassing van het beslisschema op de resultaten t/m monitoringjaar 2021 weergegeven in Tabel 10.1 en Tabel 10.2, tot de volgende conclusies:

- Voor alle 26 onderzochte soort-seizoen combinaties luidt de conclusie dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling.
- Voor 5 soort-seizoen combinaties (Bergeend, Pijlstaart, Kanoet en Bonte Strandloper), wijkt de ontwikkeling van de aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag af van de aantalsontwikkeling elders (overige delen Nederlandse Waddenzee, Duitse en Deense Waddenzee). De Zilverplevier laat als enige soort een toename in Pinkegat en Zoutkamperlaag zien, terwijl de aantalsontwikkeling elders een afname laat zien.
- Voor 5 soort-seizoen combinaties (Scholekster in beide seizoenen, Bonte Strandloper in september, Rosse Grutto in augustus en Wulp in september) was er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht die in alle gevallen geen negatieve trend vertoonde.
- Voor 16 soort-seizoen combinaties werd geen gevalideerde proxy voor draagkracht gevonden, maar waren de proxies onderling sterk gecorrleerd en was er geen sprake van een negatieve ontwikkeling van de gezamenlijke trend in de proxy.
- In vergelijking met de voorgaande rapportage (Ens *et al.* 2021b), waar voor de Pijlstaart geen betrouwbare conclusie getrokken kon worden en voor de Steenloper de trendinformatie als onzeker werd beoordeeld, zijn er nu geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling. Dit heeft voornamelijk te maken met de verandering in de trends in het bodemdalingsgebied. Zo laat de Pijlstaart volgens de laatste trendberekeningen een stabiele trend zien, en laat de Steenloper een matige toename zien.

10.2. Aanbevelingen Auditcommissie

De Auditcommissie (2021) komt in haar evaluatie van het meest recente monitoringrapport (Ens *et al.* 2021b) tot de conclusie dat met de inzet van ver-

schillende *machine learning* algoritmes om soort specifieke verspreidingsmodellen voor bodemdieren te ontwikkelen op basis van sediment, droogligtijd, schuifspanning en golfwerking (Folmer *et al.* 2017), invulling is gegeven aan het eerdere advies om *machine learning* toe te passen (Auditcommissie 2020, 2021).

De Auditcommissie komt in haar evaluatie van het meest recente monitoringrapport (Ens *et al.* 2021b) tot een tweetal adviezen (Auditcommissie 2021):

1. De Auditcommissie adviseert na te gaan of *machine learning*, binnen de nu beschikbare gegevens, ook nog breder ingezet kan worden, bijvoorbeeld om niet eerder gedetecteerde verbanden tussen diepe-bodemdeling, morfologie en ecologie bloot te leggen.

Dit advies heeft er voor gezorgd dat de aanpak die nu gekozen is (het berekenen van proxies in Wadmap), zal worden aangevuld met de voorgestelde verbetering, de aanpak van de SEM analyses (*Structural Equation Modelling*). Deze statistische aanpak heeft de mogelijkheid om de keuze van andere en/of meerdere referentiegebieden mee te nemen. Ook biedt deze aanpak de mogelijkheid om vogelaantallen en voedselaanbod in hetzelfde gebied te analyseren. Deze vernieuwde aanpak is in deze aankomende rapportage voor het eerst toegepast, en kan worden gezien als een aanvulling op de Wadmap berekeningen. Echter, gezien de complexiteit van deze aanpak, zal deze aanpak jaarlijks verbeterd en verfijnd worden, zodat er na 3 jaar een volledige analyse op deze manier verwacht kan worden.

2. De Auditcommissie adviseert om de benthosgegevens van 2014, 2019 en eventueel 2020 en stelt voor ga na of tot een scherpere afbakening van referentiegebieden voor de wadplaten gekomen kan worden.

De SIBES data zijn ondertussen beschikbaar uit 2014, 2019 en 2020. Deze gegevens worden daarom in de nieuwe rapportage opgenomen. Het is niet mogelijk om de data van de benthos uitgezocht te hebben in het jaar dat de vogelgegevens verzameld worden, doordat de SIBES bemonstering pas gedurende de zomer en nazomer wordt verzameld en de uitwerking is een intensieve en tijdrovende bezigheid, welke niet gereed is in het najaar voor de analyse. Waar zoveel mogelijk aan gewerkt gaat worden, is de periode tussen de trends van de voedselbeschikbaarheid en vogelaantallen zo klein mogelijk gemaakt dienen te worden en er gestreefd wordt na een periode van maximaal 1 jaar verschil. Daarnaast biedt de SEM modellering de mogelijkheid om tot

een scherpere afbakening van referentiegebieden voor de wadplaten te komen. Hiervoor zijn in deze rapportage de eerste stappen gezet, en zullen deze in de komende 2 jaarrapportages (2023/2024) steeds prominenter aan bod komen.

3. Daarnaast doet de Auditcommissie ook nog een aanbeveling t.a.v. de verlaagde frequentie van de LiDAR-meting: In de opzet van de nieuwe monitoringscyclus is de meetfrequentie voor de LiDAR-metingen teruggebracht naar eenmaal per jaar. De Auditcommissie adviseert in de komende rapportage aan te geven wat de gevolgen zijn van het ontbreken van een tweede LiDAR-meting voor de voor- en najaarsanalyse van de voedselbeschikbaarheid voor aanwezige vogels.

In de huidige rapportage kan hier nog weinig over gezegd worden, maar de verwachting is dat het effect zeer gering zal zijn, omdat bij de tot nu toe gebruikte LiDAR gegevens er regelmatig 1 meting niet goed was en dat een van de metingen voor twee seizoenen gebruikt moest worden. Daarnaast worden vanaf heden de LiDAR gegevens gebruikt met correctie voor het referentievlak, wat feitelijk belangrijker is de beschikking te hebben over LiDAR-metingen uit voor- en najaar. Ook moeten de LiDAR metingen voor de laaggelegen delen worden aangevuld met de vaklodingen van RWS, welke plaatsvinden met een

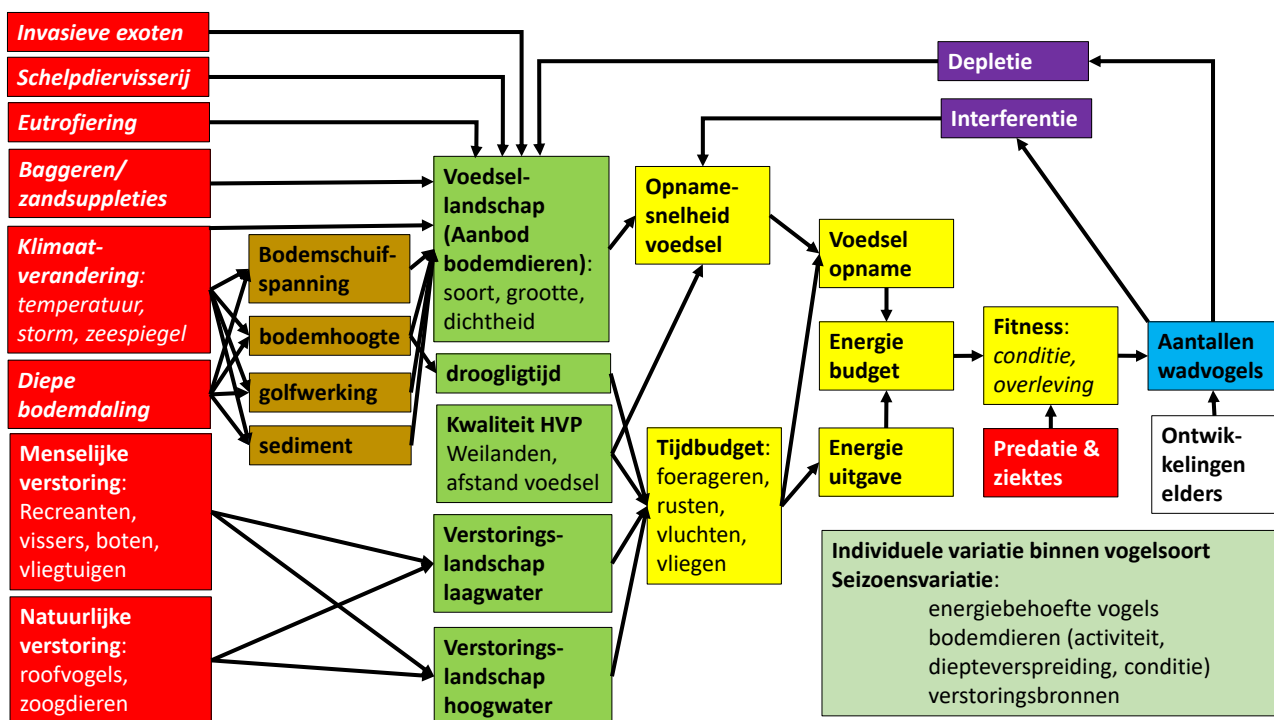
frequentie van eens in de 6 jaar. Een LiDAR meting op een gunstig moment in het jaar waarbij ook de diepe delen kunnen worden gemeten is veel waardevoller dan twee metingen op het moment in het jaar waarbij die diepe delen gemist worden. Ten slotte is in een eerste verkenning gekeken naar de variantie van metingen in het voedselaanbod en de waterstanden (Rappoldt & Ens 2013). Hieruit bleek dat de jaarlijkse variatie in het voedselaanbod en de waterstanden zeer groot is (o.a. onder invloed van wind), welke waarschijnlijk groter is dan de variatie tussen de LiDAR metingen.

10.3. Ecologische verklaringen van waargenomen veranderingen

In het beslisschema worden twee vragen gesteld die direct verbonden zijn met een ecologische verklaring voor de waargenomen veranderingen in vogelaantallen:

1. Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?
2. Is de waargenomen daling in de proxy (of proxies) voor draagkracht geheel of gedeeltelijk veroorzaakt door bodemdaling?

Op de eerste vraag luidt het antwoord bevestigend voor een beperkt aantal vogelsoorten. Omdat in veel gevallen de verschillende proxies voor draagkracht sterk onderling gecorreleerd zijn, is beargumenteerd



Figuur 10.1 Schematische weergave van de effectketen die beschrijft hoe verschillende drukfactoren, waaronder bodemdaling door gaswinning, doorwerken op de vogelaantallen in het leefgebied van een getijdepopulatie.

dat de gezamenlijke trend van niet gevalideerde, maar wel gecorreleerde, proxies ook gebruikt kon worden om te onderzoeken of er sprake is van een negatieve trend in de proxy.

In dit hoofdstuk worden de opties besproken om in de toekomst wel zo'n antwoord te kunnen geven. Daarbij is de verwachting dat de voorgestelde aanpak ook tot een groter aantal gevalideerde proxies voor draagkracht zal leiden.

De effectketen die aangeeft hoe bodemdaling effect kan hebben op aantallen vogels (Figuur 10.1), beschrijft in meer detail hoe drukfactoren (rood), zoals diepe bodemdaling door gaswinning, via abiotiek (bruin), voedsellandschap en verstoringslandschap (groen), doorwerken op tijd- en energiebudget en fitness van de vogels (geel) en daarmee uiteindelijk op de aantallen vogels (blauw). Die vogelaantallen worden natuurlijk ook bepaald door ontwikkelingen elders (wit) en er is een terugkoppeling van vogelaantallen via voedselconcurrentie (paars) naar het voedsel(landschap). Sommige variatiebronnen, zoals veranderingen in de loop van het seizoen (waarmee we wel rekening houden in de berekeningen met Wadmap, zijn niet expliciet in het schema opgenomen, maar alleen benoemd in een los kader (lichtgroen). De tijdschaal waarop dit schema betrekking heeft, varieert van dagen tot jaren.

De vraag vanuit de signaleringsmonitoring voor vogels kan nu als volgt worden geformuleerd: Is er een meetbaar negatief effect van bodemdaling door gaswinning op de getijdpopulaties binnen het bodemdalingsgebied? Dat vereist dat we het effect van bodemdaling door gaswinning kunnen onderscheiden van de effecten van de andere drukfactoren. In de laatste rapportage (Ens *et al.* 2021b), zijn een aantal zaken reeds uitvoerig besproken, waaronder draagkrachtmodellen, proxies voor draagkracht, leefgebied getijdpopulaties (LGP), drukfactoren en hun effecten, het voedsellandschap en het verstoringslandschap. De leefgebied getijdpopulaties (LGP) aanpak is uiteindelijk gekozen om een vergelijk te maken met de resultaten uit Wadmap.

10.3.1. Drukfactoren en hun effect(en)

Een groot aantal drukfactoren heeft waarschijnlijk effect op het voedsellandschap en de droogligtijd van het wad (Figuur 10.1). Een aantal drukfactoren (cursief aangegeven in het schema van de effectketen) varieert wel binnen de Waddenzee, maar waarschijnlijk via een gradiënt van west naar oost en er is waarschijnlijk geen sprake van sterk contrasterende effecten op het voedsellandschap in LGP's die vlakbij elkaar liggen. Het gaat om:

- **Invasieve exoten**, zoals de Japanse oester.

Daarvan is bekend dat de ontwikkeling eerder op gang kwam in de westelijke Waddenzee dan in de oostelijke Waddenzee (van Stralen *et al.* 2012).

- **Eutrofiering**. Toevoer van de nutriënten naar de westelijke Waddenzee vanuit het IJsselmeer is eerst toegenomen en daarna afgenomen met duidelijke effecten op de bodemdieren (Philippart *et al.* 2007). In de oostelijke Waddenzee neemt de eutrofiering minder snel af.
- **Klimaatverandering** heeft veel verschillende effecten op het voedsellandschap. Wintertemperaturen hebben effect op de broedval, overleving en conditieverlies van bodemdieren (Beukema *et al.* 2017a, Penning *et al.* 2021). De oostelijke Waddenzee is 's winters kouder dan de westelijke Waddenzee en klimaatverandering kan deze gradiënt verzwakken of versterken. Het getijverschil is in de oostelijke Waddenzee sterker dan in de westelijke Waddenzee en een, door opwarming van de aarde, versterkte zeespiegelstijging zal waarschijnlijk meer effect hebben in de oostelijke Waddenzee.

Sterk contrasterende effecten op korte afstand zijn wel te verwachten bij:

- **Schelpdiervisserij**. Er zijn grote lokale verschillen in de omvang van de handkokkelvisserij van jaar op jaar (Troost & van Asch 2018). Tot nu zijn de vangsten niet verdisconteerd in de berekeningen van de proxies. Dit zal vooral effect hebben op de proxies voor de Scholekster. De omvang van de vangsten wordt goed geregistreerd, maar dat geldt niet voor de locatie van de vangsten. Om de kokkelvangsten te verwerken in de proxy berekeningen moet de locatie van die vangsten nauwkeuriger worden vastgelegd, of er moeten aannames worden gedaan over die locatie (bijvoorbeeld plekken met de grootste Kokkels eerst).
- **Diepe bodemdaling**. Eerder onderzochten wij de gevoeligheid van de proxies voor bodemdaling en welk deel van de variatie in proxywaardes verklaard kon worden door variatie in gemeten bodemhoogte (Ens *et al.* 2017b). De wijze waarop diepe bodemdaling uitwerkt op de wadbodem wordt wat betreft hoogteligging vastgelegd met de LiDAR metingen die onderdeel zijn van de monitoring. Het voorkomen van bodemdieren is gerelateerd aan bodemhoogte, maar het verband is niet erg sterk door de hoge tolerantie van veel bodemdieren (Beukema 2002, Folmer *et al.* 2017). Er zijn ook relaties met sedimentsamenstelling, maar ook hier is de tolerantie van de bodemdieren groot (Folmer *et al.* 2017, Kraan *et al.* 2010). Kleine maar systematische veranderingen in sediment en bodemhoogte zullen op de lange duur desondanks zeker effect hebben op de bodemdieren.

Door te analyseren welk deel van de variatie in de te onderzoeken proxy verklaard kan worden door de waargenomen variatie in de hoogte van de wadbodembodem, kan bepaald worden of er een negatieve relatie is met bodemdaling. Zo ja, dan kan bepaald worden welk deel van de negatieve trend verklaard kan worden door bodemdaling. Een dergelijke analyse is echter alleen zinvol als er sprake is van een gevalideerde proxy voor draagkracht.

10.3.2. Voedsellandschap

Voor vijf soort-seizoen combinaties kan op basis van de Waddenzee-brede gegevens over de jaren 2008-2013 het voedsellandschap beschreven worden met een gevalideerde proxy voor draagkracht: Scholekster in jan. en sept., Bonte Strandloper in sept., Wulp in sept. en Rosse Grutto in aug. (Ens *et al.* 2019).

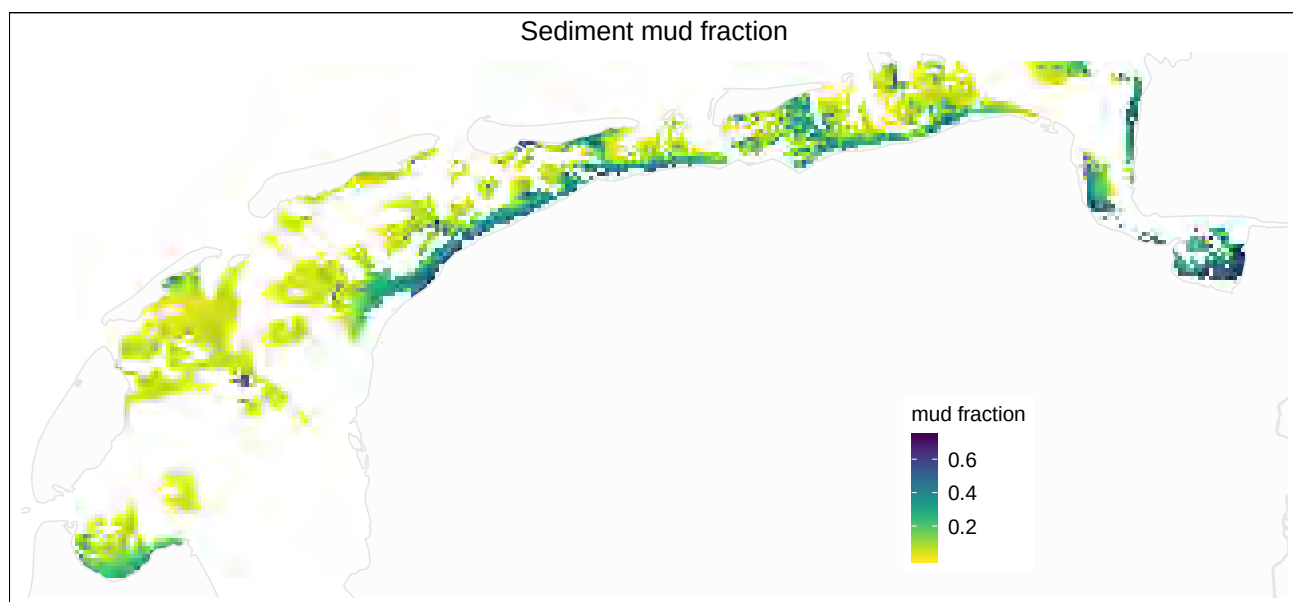
De signaleringsmonitoring kan verbeterd worden, als voor meer vogelsoorten gevalideerde proxies voor draagkracht ontwikkeld zouden kunnen worden. Zoals eerder vermeld zijn er ondertussen meer SIBES gegevens beschikbaar over meerdere jaren, welke noodzakelijk zijn deze proxies te ontwikkelen. Echter het was gezien de beschikbare tijd niet mogelijk deze toevoeging in deze rapportage op te nemen.

De keuze van referentiegebieden kan ook verbeterd worden. Daarbij moet wel worden aangetekend dat de vogels tijdens hoogwater geteld worden, waar de vogels wachten op laagwater om weer op de wadplaten naar voedsel te kunnen zoeken. Referentiegebieden moeten dus uit met Pinkegat en Zoutkamperlaag vergelijkbare gebieden bestaan, wat betreft de samenhang tussen voedselgebied en hoog-

watervluchtplaatsen. Zoals eerder gemeld zijn niet alle verklarende variabelen voor de vogelaantallen goed in beeld gekomen. Met name het verstoringslandschap tijdens hoog- en laagwater ontbreekt.

Abiotische variabelen zoals sedimentsamenstelling kunnen ook een nuttige toevoeging zijn in de analyse, omdat veel benthische soorten redelijk specifieke eisen stellen aan hun omgeving (Kraan *et al.* 2010). Daarnaast zou dit het mogelijk maken om vergelijkbare referentiegebieden te kiezen. Zo is langs de vastelandkust is het wad veel slikkiger dan onder de eilanden (Figuur 10.2). De Kluut lijkt aangepast om met zijn dunne opgewipte snavel door zacht slik te 'maaien' en zo op de tast zijn prooidieren te vinden. De grote aantallen Kluten worden dan ook langs de vastelandskust geteld. Omgekeerd lijkt de Drieteenstrandloper aangepast om hard over het zandige strand te rennen en de HVP's van deze soort liggen dan ook nooit op de vastelandkust, maar op de eilanden. Ook de Rosse Grutto prefereert zeer zandig sediment, terwijl Kanoeten op niet zeer zandig of zeer slikkig sediment gevonden worden en Scholeksters op alle soorten sediment worden aangetroffen (e.g. Ens *et al.* 2005, Granadeiro *et al.* 2004, Yates *et al.* 1993).

Door bepaalde laagwatergebieden voor bepaalde soorten als geschikt en ongeschikt aan te merken, is hier in zekere mate al rekening mee gehouden (Ens *et al.* 2017a). In de voorlaatste rapportage is hier onderzoek naar gedaan. Met uitzondering van de Steenloper is het verschil in de gemiddelde sediment samenstelling tussen 'aan' en 'uit' gebieden zeer significant en in de verwachte richting voor de betreffende vogelsoorten (Ens *et al.* 2020), maar de



Figuur 10.2. Sedimentsamenstelling (percentage slib) in de Waddenzee. Bron: Folmer *et al.* (2017).

verklaarde variantie was voor veel soorten gering. De expert-inschatting over het gebruik van de potentiële foerageergebieden door deze zeven soorten zijn daarom niet zonder meer te vervangen door het gemiddelde slibgehalte (of korrelgrootte) van de SIBES-monsters in die gebieden. In een verkenning waarbij de met hoogwater getelde vogelaantallen per gebied werden gerelateerd aan de gemiddelde sedimentsamenstelling, werd zelfs geen enkele aanwijzing gevonden voor een relatie. Nieuwe validatieberekeningen, waarbij de bodemdiergegevens en de sedimentgegevens niet worden gemiddeld per gebied, maar samenhangend per monsterpunt worden gebruikt, zullen hier naar verwachting uitkomst bieden.

10.3.3. Kwaliteit van de HVP

In de berekening van de proxies wordt de kwaliteit van de HVP tot nu toe niet meegenomen. De volgende factoren kunnen een rol spelen:

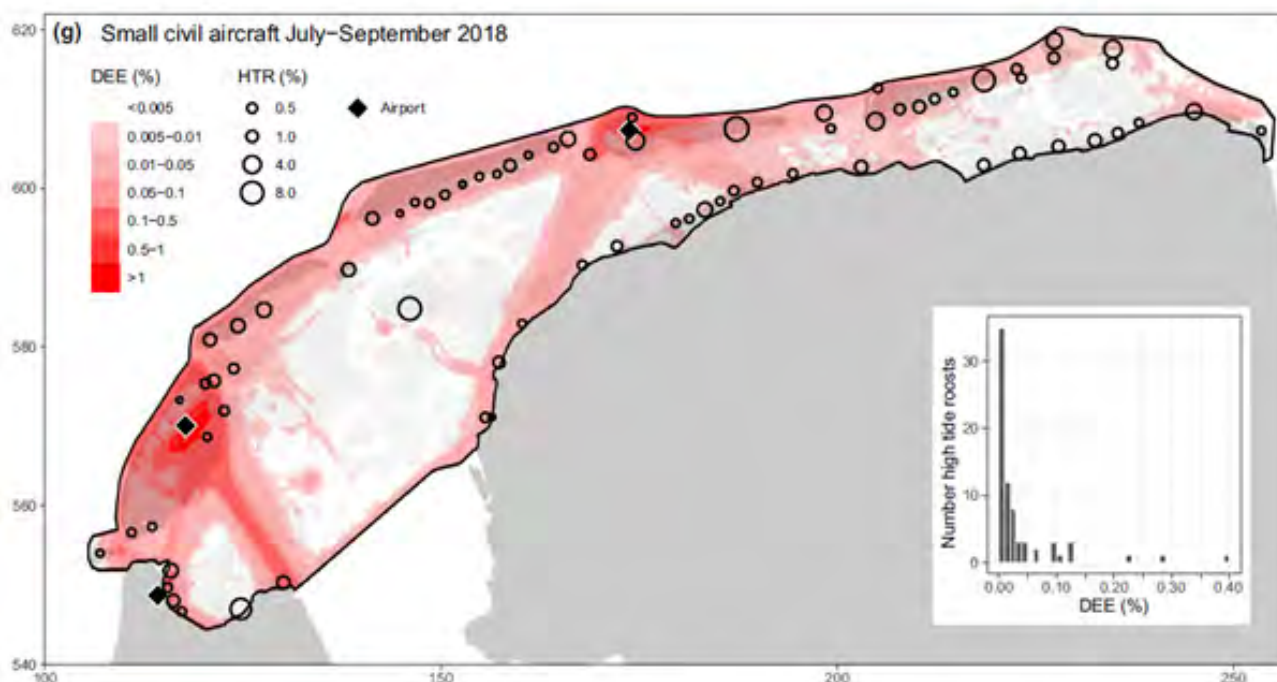
- **Habitat.** Er zijn opvallende verschillen in habitatvoorkeur tussen vogelsoorten (Koffijberg et al. 2003). Tijdens hoogwater kunnen wadvogels overtijen op kale zandplaten, kwelders, dijken en binnendijks in polders. Kanoeten prefereren kale zandplaten, terwijl Scholeksters regelmatig op dijken worden gezien. Deze voorkeuren hangen mogelijk samen met het predatie-risico (of de “inschatting” van dat predatierisico door de vogels) in de verschillende habitats.
- **Verstoring.** Sommige HVP's liggen dicht langs fiets- of wandelpaden en kunnen daardoor vaak verstoord worden (Ens et al. 2021a). Op deze manier kan er daardoor een onderbenutting ontstaan van de HVP (Folmer et al. 2021).
- **Afstand tot de laagwaterfoerageergebieden.** Hoe verder de vogels moeten vliegen naar het voedselgebied, hoe hoger de energetische kosten. In de berekeningen aan onder- en overbenutting van HVP's is het voedselaanbod daarom afgewaardeerd met toenemende afstand (Folmer et al. 2021). In toekomstige validatie-berekeningen van de proxies zou dit ook kunnen worden ingebracht.
- **Aanwezigheid binnendijkse foeragemogelijkheden.** Verschillende vogelsoorten gebruiken in meer of mindere mate weilanden in de omgeving om te foerageren. Overwinterende Scholeksters kunnen massaal in de weilanden naar voedsel zoeken als het wad bij langdurige stormperiodes niet droogvalt (Ens et al. 2015a, Goss-Custard & Durell 1988); zie ook Figuur 10.3. Overwinterende Wulpen foerageren ook vaak in de omliggende weilanden (Ens & Zwartz 1980). Rosse Grutto's die opvetten in het voorjaar om naar het hoge noorden te trekken verlengen hun foerageertijd door met hoogwater in de weilanden naar voedsel te zoeken (Duijns et al. 2009). Voor een aantal vogelsoorten zijn dus ook de binnendijkse graslanden belangrijk in het bepalen van de lokale draagkracht in de verschillende delen van de Waddenzee.

10.3.4. Verstoringslandschap

Het verstoringslandschap heeft naast het voedsellandschap mogelijk ook een groot effect op de aantallen vogels in een LGP (zie ook Figuur 10.4). In dit hoofdstuk beschrijven we de vorderingen die gemaakt zijn in het meten van het verstoringsland-



Figuur 10.3. Foeragerende Wulpen en Scholeksters die in de polder van Terschelling naar voedsel zoeken (en daarbij beroofd worden door Stormmeeuwen). Foto genomen op 26 november 2017.



Figuur 10.4. Het verstoringlandschap voor Scholeksters veroorzaakt door sportvliegtuigjes in de gehele Nederlandse Waddenzee voor juli-september 2018, waarbij de voorspelde verstoringskosten zijn uitgedrukt als procentuele verhoging van de dagelijkse energiebehoefte (DEE). Ook weergegeven de omvang van de HVP's als percentage van de totale populatieomvang van ongeveer 100.000 (inzet: frequentieverdeling van HVP's ten opzichte van gemiddelde verstoringskosten rond de HVP). (Bron: van der Kolk et al. 2020a).

schap en de mogelijkheden om het verstoringlandschap voor alle belangrijke verstoringbronnen in kaart te brengen.

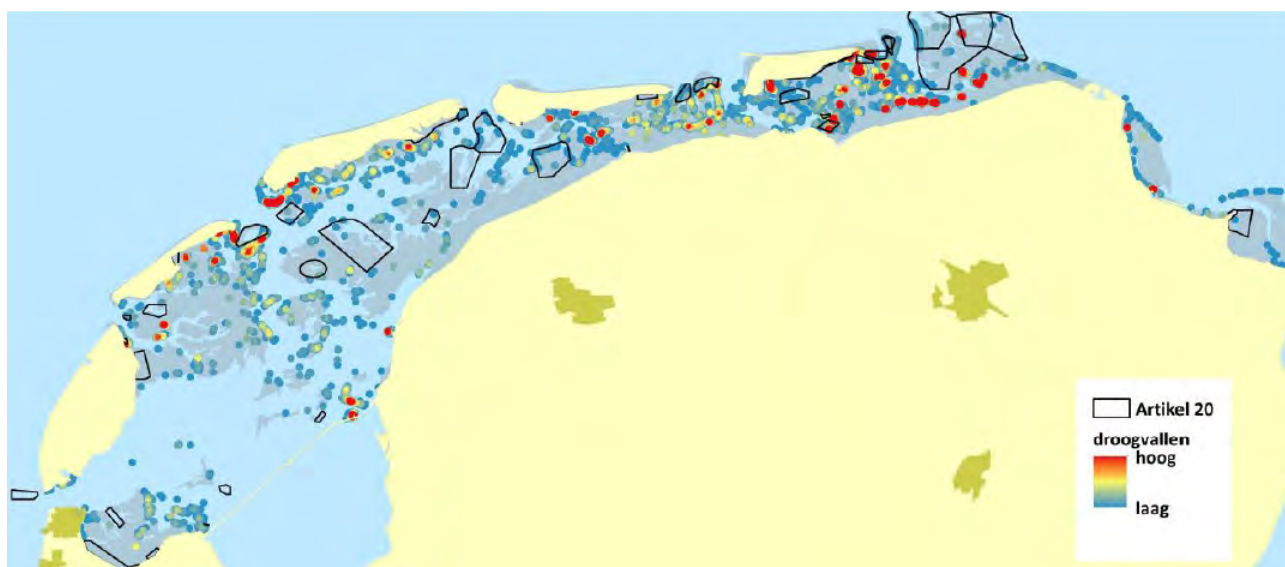
In het kader van CHIRP <https://www.chirpscholekster.nl/> is uitgebreid onderzoek gedaan naar verstoring van Scholeksters door vliegtuigen (van der Kolk et al. 2020a, van der Kolk et al. 2020c, van der Kolk et al. 2021). Omdat zowel de Scholeksters als de vliegtuigen met GPS waren uitgerust kon het tijd- en energieverlies door verstoring goed bepaald worden. Een belangrijk element is de dosis-effect relatie bij elk type vliegtuig. Als voorbeeld de kans op verstoring en de na verstoring afgelegde vluchtafstand als functie van de afstand tot het vliegtuig en de hoogte van het vliegtuig. De combinatie van deze dosis-effect relaties met gegevens over het vliegverkeer van sportvliegtuigjes in de hele Waddenzee maakt het mogelijk het verstoringlandschap als gevolg van deze verstoringbron Waddenzee-breed in kaart te brengen (Figuur 10.4).

Naast verschillen tussen verstoringbronnen zijn er ook verschillen tussen vogelsoorten. Overtijdende Rosse Grutto's lijken veel meer verstoord te worden door vliegtuigen en roofvogels, dan Wulpen (van der Kolk et al. 2020b), die van alle steltlopersoorten de grootste opvliegafstand hebben voor wandelaars (Krijgsveld et al. 2022). Wellicht lopen Rosse

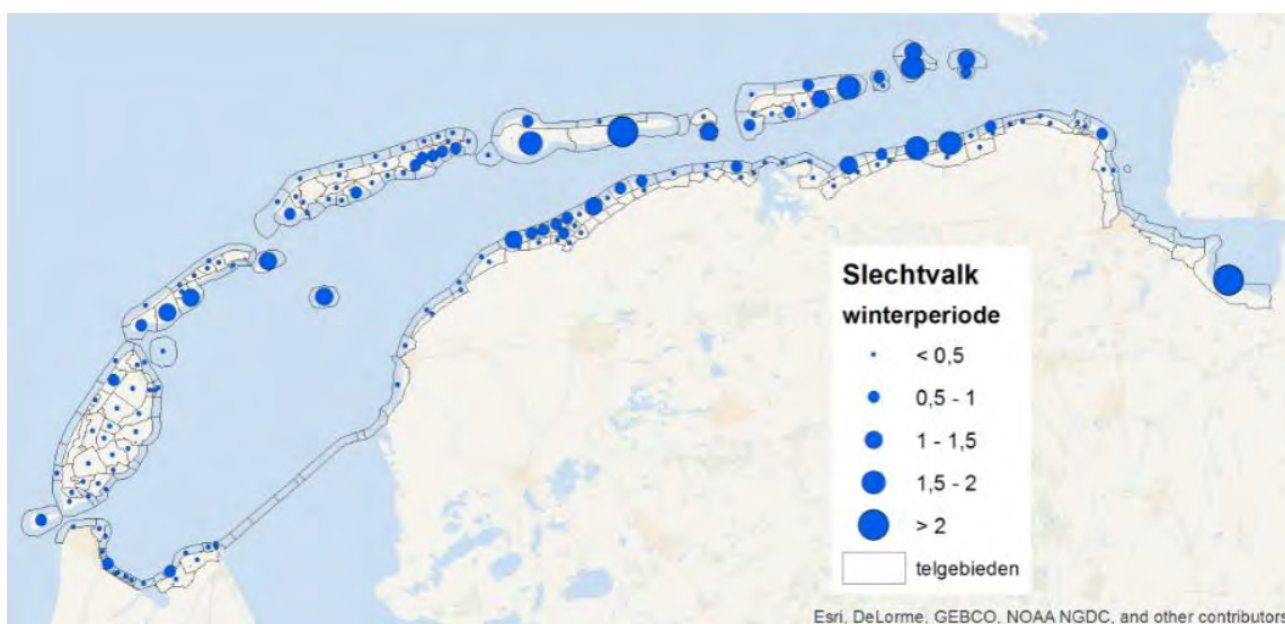
Grutto's meer risico door een Slechtvalk gepakt te worden dan Wulpen.

Doordat schepen die langer dan 20 m zijn, verplicht zijn om AIS te voeren, welke elke paar minuten hun positie vastlegt, kunnen de vaarbewegingen van allerlei typen schepen Waddenzee-breed worden vastgelegd. Wanneer de AIS-gegevens worden gekoppeld met het getijde, kan berekend worden waar (en wanneer) deze boten droogvallen en voor verstoring van de voedselzoekende vogels kunnen zorgen (Figuur 10.5; Meijles et al. 2018).

Naast de vele menselijke verstoringbronnen zijn er ook natuurlijke verstoringbronnen, met name roofvogels. Het predatierisico van overwinterende wadvogels kan soms hoog zijn (Cresswell & Whitfield 1994, Whitfield 2003), maar het kan er ook voor zorgen dat bepaalde (voedselrijke) gebieden gemeden worden omdat het predatierisico hoog is (van den Hout 2009). In de Waddenzee lijkt hiervan ook sprake, zo verplaatsen Kanoeten en Rosse Grutto's tegenwoordig in het najaar van de oostelijke naar de westelijke Waddenzee, wellicht om hoge predatie door Slechtvalken te voorkomen (Buiter et al. 2016, Duijns et al. 2014). Sinds 1989/1990 worden naast de overtijdende steltlopers ook standaard de roofvogels geteld tijdens de door Sovon gecoördineerde hoogwatertellingen in de Waddenzee. De Slechtvalk



Figuur 10.5. Punt dichtheidkaart van droogvallers tijdens het vaarseizoen 2017 voor het gehele Waddengebied op basis van AIS. Ook aangegeven de grenzen van artikel 20 gebieden, waar droogvallen niet is toegestaan. (Bron: Meijles et al. 2018).



Figuur 10.6. Verspreiding van de Slechtvalk in de Waddenzee in het winterseizoen op basis van de door Sovon georganiseerde hoogwatertellingen. (Bron: Ens et al. 2017b).

is 's winters vooral talrijk in de oostelijke Waddenzee (Figuur 10.6).

Om in een studie zoals deze, de mogelijke effecten van bodemdaling op de watervogels te bepalen, is het van belang eventuele 'confounding' factoren uit te sluiten. Het verstoringslandschap goed in kaart brengen vergt nogal een continue inspanning, waar in feite al sprake van is, maar dan voor andere toe-

passingen. Wat ontbreekt is een geautomatiseerde bewerking en interpretatie van de verschillende gegevensbronnen (AIS, radar, strava, predatortellingen, e.d.). Wanneer er een goed beeld van het verstoringslandschap gevormd is, zal dit ook helpen om betere en vergelijkbare referentiegebieden te kiezen, een goede suggestie van de Auditcommissie tijdens de Zeegse meeting van 2021.

11. Aanbevelingen

In de afgelopen jaren is gewerkt aan een signaleringsmonitoring van eventuele negatieve gevolgen van bodemdaling door gaswinning op beschermde vogelsoorten. Hiervoor zijn proxies voor draagkracht ontwikkeld. Dankzij de hoge onderlinge correlatie voldeden zij als instrument voor de signaleringsmonitoring, maar het beperkte succes bij de validatie betekent dat begrip over de factoren die verspreiding van de onderzochte wadvogels in de Waddenzee bepalen en veranderingen in die verspreiding sturen vooralsnog beperkt is. In het voorgaande hoofdstuk zijn de aanbevelingen van de Auditcommissie besproken en de discussie over de ecologische verklaringen van de waargenomen veranderingen is opgehangen aan een uitwerking van de effectketen tussen drukfactoren, zoals diepe bodemdaling, en de vogelaantallen. Dit leidt tot de volgende aanbevelingen:

- (1) Probeer een inschatting te maken van de omvang van de handkorkelvisserij in de afgelopen jaren in de verschillende LGP's en verdisconteer dit in de draagkracht proxies en de SEM voor de Scholekster.
- (2) In de volgende rapportage kan onderzocht worden of sedimentsamenstelling, naast voedsel, een rol speelt bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee en kunnen vergelijkbare referentiegebieden gekozen worden.
- (3) Onderzoek of binnendijkse foerageermogelijkheden, naast voedsel op het wad zelf, van belang zijn bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee.
- (4) Onderzoek of predatierisico en (menselijke) verstoring van belang zijn, naast voedsel op het wad, bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee. Zo zou het aantal Slechtvalken in de Waddenzee (Figuur 10.6), in de SEM analyse meegenomen kunnen worden als een onderdeel van het verstoringslandschap.
- (5) Onderzoek de variatie van de hoogwatertellingen binnen en tussen jaren, gezien het belang van de aantallen in de beoordeling voor effecten van bodemdaling.
- (6) De SIBES data bestaat nu uit de totale biomassa per monsterpunt. Dit betekent dat voor sommige soorten een overschatting is van het beschikbare deel (vnl de vogels met korte snavels zoals Kanoet, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper en Bontbekplevier). In de monsternamen wordt onderscheid gemaakt in de bovenste 4 cm van het monster en de onderste 16 cm. In de volgende rapportage zou dit onderscheid ook meegenomen dienen te worden.

12. Literatuur

- AARTS G., MUL E., FIEBERG J., BRASSEUR S., VAN GILS J.A., MATTHIOPOULOS J. & RIOTTE-LAMBERT L. 2021. Individual-level memory is sufficient to create spatial segregation among neighboring colonies of central place foragers. *The American Naturalist* 198:E37-E52.
- AUDITCOMMISSIE. 2014. Advies evaluatie 2007 t/m 2012 en rapportage 2013 van de Auditcommissie. Monitoring van aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Rapport 2796-83, Utrecht, 1-24.
- AUDITCOMMISSIE. 2016. Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2015. 3110, Utrecht, 1-24.
- AUDITCOMMISSIE. 2020. Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2019. 3467, Utrecht, 1-17.
- AUDITCOMMISSIE. 2021. Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2020. 3534, Utrecht, 1-17.
- BAILEY L.D., ENS B.J., BOTH C., HEG D., OOSTERBEEK K. & VAN DE POL M. 2017. No phenotypic plasticity in nest-site selection in response to extreme flooding events. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 372:20160139.
- BAILEY L.D., ENS B.J., BOTH C., HEG D., OOSTERBEEK K. & VAN DE POL M. 2019. Habitat selection can reduce effects of extreme climatic events in a long-lived shorebird. *Journal of Animal Ecology* 88:1474-1485.
- BAKKER W., B. ENS B.J., DOKTER A., VAN DER KOLK H.-J., RAPPOLDT K., VAN DE POL M., TROOST K., VAN DER VEER H.W., BIJLEVELD A.I., VAN DER MEER J., OOSTERBEEK K., JONGEJANS E. & ALLEN A.M. 2021. Connecting foraging and roosting areas reveals how food stocks explain shorebird numbers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 259:107458.
- BEUKEMA J.J. 2002. Expected changes in the benthic fauna of Wadden Sea tidal flats as a result of sea-level rise or bottom subsidence. *Journal of Sea Research* 47:25-39.
- BEUKEMA J.J. & CADÉE G.C. 1996. Consequences of the sudden removal of nearly all mussels and cockles from the Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology* 17:279-289.
- BEUKEMA J.J., DEKKER R. & DRENT J. 2017a. Dynamics of a *Limecola (Macoma) balthica* population in a tidal flat area in the western Wadden Sea: effects of declining survival and recruitment. *Helgoland Marine Research* 71:1-12.
- BEUKEMA J.J., DEKKER R. & DRENT J. 2017b. Parallel changes of *Limecola (Macoma) balthica* populations in the Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 585:71-79.
- BEUKEMA J.J., ESSINK K., MICHAELIS H. & ZWARTS L. 1993. Year-to-year variability in the biomass of macrobenthic animals on tidal flats of the Wadden Sea: how predictable is this food source for birds? *Journal of Sea Research* 31:319-330.
- BIJLEVELD A.I., VAN GILS J.A., VAN DER MEER J., DEKINGA A., KRAAN C., VAN DER VEER H.W. & PIERSMA T. 2012. Designing a benthic monitoring programme with multiple conflicting objectives. *Methods in Ecology and Evolution* 3:526-536.
- BOLLEN K.A. 2014. Structural equations with latent variables. John Wiley & Sons.
- BRYANT D.M. & TATNER P. 1991. Intraspecific variation in avian energy expenditure: correlates and constraints. *Ibis* 133:236-245.
- BUTTER R., GOVERS L. & PIERSMA T. 2016. Knooppunt Waddenzee. Bornmeer, Gorredijk.
- CADÉE G.C. 2008. Scholeksters en Japanse oesters. *Natura* 6:6-7.
- CAIRNS D.K. 1989. The regulation of seabird colony size: a Hinterland model. *American Naturalist* 134:141-146.
- CERVENČA A., TROOST K., DIJKMAN E., DE JONG M., SMIT C.J., LEOPOLD M.F. & ENS B.J. 2015. Distribution of wintering common eider *Somateria mollissima* in the Dutch Wadden Sea in relation to available food stocks. *Marine Biology* 162:153-168.
- COMPTON T.J., BODNAR W., KOOLHAAS A., DEKINGA A., HOLTHUIJSEN S., TEN HORN J., MCSWEENEY N., VAN GILS J.A. & PIERSMA T. 2016. Burrowing behavior of a deposit feeding bivalve predicts change in intertidal ecosystem state. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4.
- CRESSWELL W. & WHITFIELD D.P. 1994. The effects of raptor predation on wintering wader populations at the Tynninghame estuary, southeast Scotland. *Ibis* 136:223-232.
- DANKERS N.M.J.A., DIJKMAN E.M., DE KORT G. & MEIJBOOM A. 2004. De verspreiding en uitbreiding van de Japanse Oester in de Nederlandse Waddenzee. *Imares, Alterra-rapport* 909, Den Burg, 1-52.
- DESSBORN L., BROCHET A.L., ELMBERG J., LEGAGNEUX P., GAUTHIER-CLERC M. & GUILLEMAIN M. 2011. Geographical and temporal patterns in the diet of pintail *Anas acuta*, wigeon *Anas penelope*, mallard *Anas platyrhynchos* and teal *Anas crecca* in the Western Palearctic. *European Journal of Wildlife Research* 57:1119-1129.
- DOKTER A.M., VAN LOON E.E., RAPPOLDT C., OOSTERBEEK K., BAPTIST M.J., BOUTEN W. & ENS B.J. 2017. Balancing food and density-dependence in

- the spatial distribution of an interference-prone forager. *Oikos* 126:1184-1196.
- DUIJNS S., HIDAYATI N.A. & PIERSMA T. 2013. Bar-tailed godwits *Limosa l. lapponica* eat polychaete worms wherever they winter in Europe. *Bird Study* 60:509-517.
- DUIJNS S., JUKEMA J., SPAANS B., VAN HORSSSEN P. & PIERSMA T. 2012. Revisiting the proposed leap-frog migration of bar-tailed godwits along the East-Atlantic flyway. *Ardea* 100:37-43.
- DUIJNS S., VAN DIJK J.G.B., SPAANS B., JUKEMA J., DE BOER W.F. & PIERSMA T. 2009. Foraging site selection of two subspecies of bar-tailed godwit *Limosa lapponica*: time minimizers accept greater predation danger than energy minimizers. *Ardea* 97:51-59.
- DUIJNS S., VAN GILS J.A., SMART J. & PIERSMA T. 2015. Phenotype-limited distributions: short-billed birds move away during times that prey bury deeply. *Royal Society Open Science* 2:150073.
- DUIJNS S., VAN GILS J.A., SPAANS B., TEN HORN J., BRUGGE M. & PIERSMA T. 2014. Sex-specific winter distribution in a sexually dimorphic shorebird is explained by resource partitioning. *Ecology and Evolution* 4:4009-4018.
- ELIAS E. & WANG Z.B. 2013. Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling. *Deltares Delft*, 1-67.
- ENNERS L., GUSE N., SCHWEMMER P., CHAGAS A.L.J., VOIGT C.C. & GARTHE S. 2020. Foraging ecology and diet of Eurasian spoonbills (*Platalea leucorodia*) in the German Wadden Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 233:106539.
- ENS B. 2006. The conflict between shellfisheries and migratory waterbirds in the Dutch Wadden Sea. Pages 806 - 811 in G. C. Boere, C. A. Galbraith, and D. A. Stroud, editors. *Waterbirds around the world*. The Stationery Office Limited, Edinburgh, UK.
- ENS B., AARTS B., OOSTERBEEK K.H., ROODBERGEN M., SIERDSEMA H., SLATERUS R. & TEUNISSEN W. 2009a. Onderzoek naar de oorzaken van de dramatische achteruitgang van de Scholekster in Nederland. *Limosa* 82:83-92.
- ENS B.J., AARTS B., HALLMANN C., OOSTERBEEK K., SIERDSEMA H., SLATERUS R., TROOST G., VAN TURNHOUT C., WIERSMA P. & VAN WINDEN E. 2011. Scholeksters in de knel: onderzoek naar de oorzaken van de dramatische achteruitgang van de Scholekster in Nederland. *Sovon Vogelonderzoek Nederland* Nijmegen, 1-120.
- ENS B.J., BLEW J., VAN ROOMEN M.W.J. & VAN TURNHOUT C.A.M. 2009b. Exploring contrasting trends of migratory waterbirds in the Wadden Sea. *Wadden Sea Ecosystem No. 27.*, Willemshaven, Germany, 1-50.
- ENS B.J., BRINKMAN A.G., DIJKMAN E.M., MEESTERS H.W.G., KERSTEN M., BRENNINKMEIJER A. & TWISK F. 2005. Modelling the distribution of waders in the Westerschelde; what is the predictive power of abiotic variables?, Alterra Wageningen, 1-140.
- ENS B.J., DOKTER A., RAPPOLDT K. & OOSTERBEEK K. 2015a. Wat bepaalt de draagkracht van de Waddenzee voor wadvogels: onderzoek naar het verspreidingsgedrag van scholeksters. *Sovon Vogelonderzoek Nederland*, 2015/02, Nijmegen, 1-134.
- ENS B.J., ECKHARDT R., KAMPICHLER C., KLEEFSTRA R., SCHEKKERMAN H., VAN WIJK J. & NIENHUIS J. 2021a. Aard en omvang verstoring van overwinterende wadvogels voor de kwelder bij Westhoek – seizoen 2020 (nulmeting (To) dynamisch zoneren). *Sovon Vogelonderzoek Nederland* Nijmegen,
- ENS B.J. & KATS R.K.H. 2004. Evaluatie van voedsel-reservering voor eidereenden in de Waddenzee - rapportage in het kader van EVA II deelproject B2. *Alterra*, Alterra rapport 931, Wageningen, 1-155.
- ENS B.J., KERSTEN M., KROL J., VAN DER MEER J., WIJSMAN J., SCHEKKERMAN H., SMIT C.J. & RAPPOLDT K. 2016. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2015. *Sovon Vogelonderzoek Nederland*, *Sovon-rapport 2016/15*, Nijmegen, 1-82.
- ENS B.J., KERSTEN M., WIJSMAN J., VAN DER MEER J., SCHEKKERMAN H., VAN WINDEN E. & RAPPOLDT K. 2017a. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2016. *Sovon Vogelonderzoek Nederland*, *Sovon-rapport 2017/15*, Nijmegen, 1-72.
- ENS B.J., KLEEFSTRA R., VAN WINDEN E.A.J., POLWIJK F., VROOM M., VAN DER ZEE E., RIPPEN A. & SIKKEMA M. 2017b. Monitoring van verstoring en potentiële verstoringbronnen van vogels en zeehonden in de Waddenzee - seizoen 2016. *Sovon Vogelonderzoek Nederland / Altenburg & Wymenga*, *Sovon-rapport 2017/30*; A&W-rapport 2349 Nijmegen / Veenwouden, 1-83.
- ENS B.J., KROL J., VAN DER MEER J., PIENING H., WIJSMAN J., SCHEKKERMAN H. & RAPPOLDT K. 2015b. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag. *Sovon Vogelonderzoek Nederland*, *Sovon-rapport 2015.15*, Nijmegen, 1-60.
- ENS B.J., SMAAL A.C. & DE VLAS J. 2004. The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde. Final report on the second phase of the scientific evaluation of the Dutch shellfish fishery policy (EVA II). *Alterra*, *Alterra-rapport 1011*; RIVO-rapport C056/04; RIKZ-rapport RKZ/2004.031, Wageningen, 1-212.
- ENS B.J., TROOST K., VAN WINDEN E., SCHEKKERMAN H., RAPPOLDT K., VAN KESSEL J. & NIENHUIS J. 2020. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. *Sovon Vogelonderzoek Nederland*, *Sovon-rapport*

- 2020/25, Nijmegen, 1-82.
- ENS B.J., TROOST K., VAN WINDEN E., SCHEKKERMAN H., RAPPOLDT C., VAN KESSEL J. & NIENHUIS J. 2021b. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2020. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Sovon-rapport 2021/35, Nijmegen, 1-100.
- ENS B.J., VAN DER MEER J., TROOST K., VAN WINDEN E., SCHEKKERMAN H. & RAPPOLDT K. 2018. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2017. Sovon Vogelonderzoek Nederland, 2018/14, Nijmegen, 1-70.
- ENS B.J., VAN DER MEER J., TROOST K., VAN WINDEN E., SCHEKKERMAN H. & RAPPOLDT K. 2019. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2018. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Sovon-rapport 2019/22, Nijmegen, 1-88.
- ENS B.J. & ZWARTS L. 1980. Wulpen op het wad van Moddergat. Watervogels 5:108-120.
- EXO K.-M., HILLIG F. & BAIRLEIN F. 2019. Migration routes and strategies of grey plovers (*Pluvialis squatarola*) on the East-Atlantic flyway as revealed by satellite tracking. Avian Research 10:28.
- FOLMER E., DEKINGA A., HOLTHUIJSEN S., VAN DER MEER J., MOSK D., PIERSMA T. & VAN DER VEER H.. 2017. Species distribution models of intertidal benthos.
- FOLMER E.O., ENS B.J. & VAN DER ZEE E.M. 2021. Analysis of high tide roost use and benthos availability for twelve shorebird species in the Dutch Wadden Sea. Ecospace Ecological Research and Consultancy, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek bv, A&W rapport 19-469, Sovon-rapport 2021/52, 1-187.
- GOSS-CUSTARD J.D. & DURELL S. 1988. The effect of dominance and feeding method on the intake rates of Oystercatchers, *Haematopus ostralegus*, feeding on mussels. Journal of Animal Ecology 57:827-844.
- GOSS-CUSTARD J.D. & STILLMAN R.A. 2020. How manual cockle-raking may affect availability of cockles *Cerastoderma edule* for oystercatchers *Haematopus ostralegus* in the Dutch Wadden Sea. Bournemouth University Bournemouth, 1-99.
- GOSS-CUSTARD J.D., WEST A.D., YATES M.G., CALDOW R.W.G., STILLMAN R.A., BARDSLEY L., CASTILLA J., CASTRO M., DIERSCHKE V., DURELL S., EICHORN G., ENS B.J., EXO K.M., UDAYANGANI-FERNANDO P.U., FERNS P.N., HOCKEY P.A.R., GILL J.A., JOHNSTONE I., KALEJTA-SUMMERS B., MASERO J.A., MOREIRA F., NAGARAJAN R.V., OWENS I.P.F., PACHECO C., PEREZ-HURTADO A., ROGERS D., SCHEIFFARTH G., SITTERS H., SUTHERLAND W.J., TRIPLET P., WORRALL D.H., ZHARIKOV Y., ZWARTS L. & PETTIFOR R.A. 2006. Intake rates and the functional response in shorebirds (Charadriiformes) eating macro-invertebrates. Biological Reviews 81:501-529.
- GRANADEIRO J.P., ANDRADE J. & PALMEIRIM J.M. 2004. Modelling the distribution of shorebirds in estuarine areas using generalised additive models. Journal of Sea Research 52:227-240.
- HIRAKAWA H. 1995. Diet optimization with a nutrient or toxin constraint. Theoretical Population Biology 47:331-346.
- HOLLING C.S. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. Canadian Entomologist 91:385-398.
- JOUTA J., DE GOEIJ P., LOK T., VELILLA E., CAMPHUYSEN C.J., LEOPOLD M., VAN DER VEER H.W., OLFF H., OVERDIJK O. & PIERSMA T. 2018. Unexpected dietary preferences of Eurasian spoonbills in the Dutch Wadden Sea: spoonbills mainly feed on small fish not shrimp. Journal of Ornithology 159:839-849.
- KERSTEN M., BRENNINKMEIJER A. & DE JONG J. 2014. De hvp op de Feugelpölle. Effect van versterking op het aantal vogels. A&W, A&W-rapport 2033, Feanwâlden, 69.
- KERSTEN M., BRENNINKMEIJER A., KROL J., KIJK IN DE VEGTE A. & DE JONG J.T. 2016. De HVP op de Feugelpölle in 2016. Effect van werkzaamheden aan de waddijk op het aantal vogels tijdens hoogwater. Ecosense, Ecosense rapport 3, Groningen, 79.
- KERSTEN M. & PIERSMA T. 1987. High-levels of energy-expenditure in shorebirds - metabolic adaptations to an energetically expensive way of life. Ardea 75:175-187.
- KLEEFSTRA R., BREGNBALLE T., FRIKKE J., GÜNTHER K., HÄLTERLEIN B., HANSEN M.B., HORNMAN M., LUDWIG J., MEYER J. & SCHEIFFARTH G. 2022. Trends of migratory and wintering waterbirds in the Wadden Sea 1987/1988 - 2019/2020., Common Wadden Sea Secretariat, Expert Group Migratory Birds Wilhelmshaven, Germany.,
- KLEEFSTRA R. & SCHEKKERMAN H. 2019. De 'krombekken' van Westhoek. Limosa 92:65-73.
- KLEEFSTRA R., SMIT C., KRAAN C., AARTS G., VAN DIJK J. & DE JONG M. 2011. Het toegenomen belang van de Nederlandse Waddenzee voor ruiende Bergeenden. Limosa 84:145-154.
- KOFFIJBERG K., BLEW J., ESKILDSEN K., GÜNTHER K., KOKS B., LAURSEN K., RASMUSSEN L., POTEL P. & SÜDBECK P. 2003. High tide roosts in the Wadden Sea. A Review of Bird Distribution, Protection Regimes and Potential Sources of Anthropogenic Disturbance. Project 34.
- KOFFIJBERG K., DE BOER P., GEELHOED S.C.V., NIENHUIS J., SCHEKKERMAN H., OOSTERBEEK K. & POSTMA J. 2021. Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2019. Nijmegen, 48.
- KOFFIJBERG K., FRIKKE J., HÄLTERLEIN B., LAURSEN K., REICHERT G. & SOLDAAT L. 2017. Breeding birds.

- Wadden Sea quality status report 2017. Page 19 in S.E.A. Kloepper, editor. Common Wadden Sea secretariat, Wilhelmshaven, Germany.
- KRAAN C., AARTS G., VAN DER MEER J. & PIERSMA T. 2010. The role of environmental variables in structuring landscape-scale species distributions in seafloor habitats. *Ecology* 91:1583-1590.
- KRAAN C., PIERSMA T., DEKINGA A. & FEY B. 2006. Bergeenden vinden slijkgarnaaltjes en rust op nieuwe ruiplaats bij Harlingen. *Limosa* 79:19-24.
- KRAAN C., PIERSMA T., DEKINGA A., VAN DER MEER J., VAN GILS J.A., SPAANS B., KOOLHAAS A. & RAAIJMAKERS C. 2004. Korte termijn effecten van de mechanische kokkelvisserij in de Westelijke Waddenzee op bodemfauna. Koninklijk NIOZ, Koninklijk NIOZ-Intern rapport, Texel, 20.
- KRAAN C., VAN GILS J.A., SPAANS B., DEKINGA A., BIJLEVELD A.I., VAN ROOMEN M., KLEEFSTRA R. & PIERSMA T. 2009. Landscape-scale experiment demonstrates that Wadden Sea intertidal flats are used to capacity by molluscivore migrant shorebirds. *Journal of Animal Ecology* 78:1259-1268.
- KRIJGSVELD K.L., KLAASSEN B. & VAN DER WINDEN J. 2022. Verstoring van vogels door recreatie. Literatuurstudie van verstoringsevoeligheid en overzicht van maatregelen. Deel 2 soortbesprekingen., Uitgave Vogelbescherming Nederland Zeist,
- MACLEAN I.M.D., AUSTIN G.E., REHFISCH M.M., BLEW J., CROWE O., DELANY S., DEVOS K., DECEUNINCK B., GUNTHER K., LAURSEN K., VAN ROOMEN M. & WAHL J. 2008. Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology* 14:2489-2500.
- MEESTERS H.W.G., DIJKEMA K.S., VAN DUIN W.E., SMIT C.J., DANKERS N.M.J.A., REIJNDERS P.J.H., KATS R.K.H. & DE JONG M.L. 2006. Natuurwaarden in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag en mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinnig. Alterra rapport 1310, Alterra rapport 1310, Wageningen, 1-191.
- MEIJLES E., VAN DER VEEN E., RIJNKS R., VROOM M. & SIJTSMA F. 2018. Monitoring vaarrecreatie op de Waddenzee - seizoen 2017. AIS en Radar. Programma naar een Rijke Waddenzee Leeuwarden, 44.
- MILLER R.S. 1967. Pattern and process in competition. *Advances in Ecological Research* 4:1-74.
- NAM. 2014. Monitoringprogramma Waddenwinningen 2014-2019 - Bijlage bij de Wnb-vergunningen voor gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. 29.
- NAM. 2021. Monitoringprogramma Waddenwinningen 2020-2026 - Bijlage bij de Wnb-vergunningen voor gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. 29.
- NAVEDO J.G., GUTIÉRREZ J.S., SALMÓN P., ARRANZ D., NOVO M., DÍAZ-COSÍN D.J., HERRERA A.G. & MASERO J.A. 2019. Food supply, prey selection and estimated consumption of wintering Eurasian curlews feeding on earthworms at coastal pastures. *Ardea* 107:263-274.
- PAKANEN V.-M. & THORUP O. 2016. Apparent adult survival of the critically endangered Baltic dunlin *Calidris alpina schinzii* during a period of strong population decline. *Bird Study*:1-10.
- PAREE E., KERS A.S., JENTINK R., HENDRIKS J.-R. & BAPTIST M.J. 2020. Toelichting op de zoute ecotopenkaart Waddenzee 2017. Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening 1-58.
- PENNING E., GOVERS L.L., DEKKER R. & PIERSMA T. 2021. Advancing presence and changes in body size of brown shrimp Crangon crangon on intertidal flats in the western Dutch Wadden Sea, 1984–2018. *Marine Biology* 168:160.
- PHILIPPART C J.M., BEUKEMA J.J., CADÉE G.C., DEKKER R., GOEDHART P.W., VAN IPEREN J.M., LEOPOLD M.F. & HERMAN P.M.J. 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10:96-119.
- PIERSMA T. 2007. Using the power of comparison to explain habitat use and migration strategies of shorebirds worldwide. *Journal of Ornithology* 148:S45-S59.
- PIERSMA T., KOOLHAAS A., DEKINGA A., BEUKEMA J.J., DEKKER R. & ESSINK K. 2001. Long-term indirect effects of mechanical cockle-dredging on intertidal bivalve stocks in the Wadden Sea. *Journal of Applied Ecology* 38:976-990.
- PIERSMA T., PROKOSCH P. & BREDIN D. 1992. The migration system of Afro-Siberian Knots *Calidris canutus canutus*. *Wader Study Group Bulletin* 64:52–63.
- RAKHIMBERDIEV E., DULJNS S., KARAGICHEVA J., CAMPHUYSEN C.J., VRS CASTRICUM, DEKINGA A., DEKKER R., GAVRILOV A., TEN HORN J., JUKEMA J., SAVELIEV A., SOLOVIEV M., TIBBITTS T.L., VAN GILS J.A. & PIERSMA T. 2018. Fuelling conditions at staging sites can mitigate Arctic warming effects in a migratory bird. *Nature Communications* 9:4263.
- RAKHIMBERDIEV E., VAN DEN HOUT P.J., BRUGGE M., SPAANS B. & PIERSMA T. 2015. Seasonal mortality and sequential density dependence in a migratory bird. *Journal of Avian Biology* 46:332-341.
- RAPPOLDT C. & ENS B.J. 2013. Het effect van bodemdaling op overwinterende Scholeksters in de Waddenzee. Een modelstudie met WEBTICS. EcoCurves en Sovon Vogelonderzoek Nederland, EcoCurves rapport 17/ Sovon-rapport 2013/19, Haren/Nijmegen, 87.
- RAPPOLDT C., ENS B.J. & SCHEKKERMAN H. 2019. Wadvogel habitat model Wadmap; Technische documentatie. EcoCurves Haren, 1-114.
- RAPPOLDT C., KERSTEN M. & SMIT C.J. 1985. Errors in large-scale shorebird counts. *Ardea* 73:13-24.
- RAPPOLDT C., ROOSENSCHOON O.R. & VAN KRAALINGEN D.W.G. 2014. Intertides: maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. EcoCurves, EcoCurves Rapport 19, haren, 1-36.

- SCHEKKERMAN H., GYUEYE FALL K., NAGY S. & VAN ROOMEN M. 2018. Patterns in trends of waterbird populations using the coastal East Atlantic Flyway, update 2017. Pages 21-32 in M. van Roomen, S. Nagy, G. Citegetse & H. Schekkerman, editors. East Atlantic Flyway Assessment 2017: the status of coastal waterbird populations and their sites. Wadden Sea Flyway Initiative p/a CWSS, Wilhelmshaven / Wageningen / Cambridge.
- SPAANS B., BRUINZEEL L.W. & SMIT C.J. 1996. Effecten van verstoring door mensen op wadvogels in de Waddenzee en de Oosterschelde. Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek (IBN-DLO).
- TAAL M., CADO VAN DER LELIJ A., HERMAN P., STOLTE W., BOUDEWIJN T., VAN DER JAGT H., DULJNS S. & GOETHALS P. 2020. Update Evaluatiemethodiek: verhaallijnen.
- THIES L., TOMKOVICH P., REMEDIOS N.D., LISLEVAND T., PINCHUK P., WALLANDER J., DÄNHARDT J., PÓRISSEON B., BLOMQVIST D. & KÜPPER C. 2018. Population and subspecies differentiation in a high latitude breeding wader, the common ringed plover *Charadrius hiaticula*. *Ardea* 106:163-176.
- TINGLEY M.P. & P. HUYBERS P. 2013. Recent temperature extremes at high northern latitudes unprecedented in the past 600 years. *Nature* 496:201-205.
- TOMKOVICH P.S. & SOLOVIEV M.Y. 2001. Social organisation of sanderlings breeding at Northern Taimyr, Siberia. *Ornithologia* 29:125-136.
- TROOST K. & VAN ASCH M. 2018. Effecten van handkockelvisserij op het kokkelbestand in de Waddenzee. Een theoretische benadering. Wageningen Marine Research, rapport C072/18, Yerseke, 1-23.
- TROOST K., VAN ASCH M., E. BRUMMELHUIS E., VAN DEN ENDE D., VAN ES Y., PERDON K.J., VAN DER POOL J., VAN ZWEEDEN C. & VAN ZWOL J. 2021. Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2020. Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), CVO rapport: 21.001, IJmuiden, 1-96.
- VAN DE KAM J., ENS B., PIERSMA T. & ZWARTS L. 2004. Shorebirds: an illustrated behavioural ecology. KNNV Publishers, Utrecht.
- VAN DE POL M., ENS B.J., HEG D., BROUWER L., KROL J., MAIER M., EXO K.-M., OOSTERBEEK K., LOK T., EISING C.M. & KOFFIJBERG K. 2010a. Do changes in the frequency, magnitude and timing of extreme climatic events threaten the population viability of coastal birds? *Journal of Applied Ecology* 47:720-730.
- VAN DE POL M., VINDENES Y., SAETHER B.E., ENGEN S., ENS B.J., OOSTERBEEK K. & TINBERGEN J.M. 2010b. Effects of climate change and variability on population dynamics in a long-lived shorebird. *Ecology* 91:1192-1204.
- VAN DEN ENDE D., TROOST K., VAN ASCH M., PERDON J. & VAN ZWEEDEN C. 2020. Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen van de Nederlandse zoute getijdenwateren in 2019: bestand en area-len. Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO) IJmuiden,
- VAN DEN HOUT P.J. 2009. Mortaliteit is het topje van een ijsberg van angst. Over slechtvalken en steltlopers in de Waddenzee. *Limosa* 82:122-133.
- VAN DER JEUGD H.P., ENS B.J., VERSLUIS M. & SCHEKKERMAN H. 2014. Geïntegreerde monitoring van vogels van de Nederlandse Waddenzee. Vogeltrekstation / Sovon, Vogeltrekstation report 2014-01 / Sovon-rapport 2014/18, Wageningen / Nijmegen, 1-260.
- VAN DER KOLK H.-J., ALLEN A.M., ENS B.J., OOSTERBEEK K., JONGEJANS E. & VAN DE POL M. 2020a. Spatiotemporal variation in disturbance impacts derived from simultaneous tracking of aircraft and shorebirds. *Journal of Applied Ecology* 57:2406-2418.
- VAN DER KOLK H.-J., ENS B.J., OOSTERBEEK K., BOUTEN W., ALLEN A.M., FRAUENDORF M., LAMERIS T.K., OOSTERBEEK T., DEUZEMAN S., DE VRIES K., JONGEJANS E. & VAN DE POL M. 2020b. Shorebird feeding specialists differ in how environmental conditions alter their foraging time. *Behavioral Ecology* 31:371-382.
- VAN DER KOLK H., KRIJGSVELD K.L., LINSSSEN H., DIERTENS R., DOLMAN D., JANS M., FRAUENDORF M., ENS B.J. & VAN DE POL M. 2020c. Cumulative energetic costs of military aircraft, recreational and natural disturbance in roosting shorebirds. *Animal Conservation* 23:359-372.
- VAN DER KOLK H.J., ENS B.J., FRAUENDORF M., JONGEJANS E., OOSTERBEEK K., BOUTEN W. & VAN DE POL M. 2021. Why time-limited individuals can make populations more vulnerable to disturbance. *Oikos* 130:637-651.
- VAN DER MEER J., DANKERS N., ENS B.J., VAN STRALEN M., TROOST K. & WASER A.M. 2019. The birth, growth and death of intertidal soft-sediment bivalve beds: no need for large-scale restoration programs in the Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* 22:1024-1034.
- VAN DER MEER J. & ENS B.J. 1997. Models of interference and their consequences for the spatial distribution of ideal and free predators. *Journal of Animal Ecology* 66:846-858.
- VAN DER VEGT H. & VAN DER LUGT M. 2021. Monitoring wadplaatareaal Friesche Zeegat met LiDAR (2010-2020). *Deltares* 69.
- VAN GILS J.A., DE ROOIJ S.R., VAN BELLE J., VAN DER MEER J., DEKINGA A., PIERSMA T. & DRENT R. 2005. Digestive bottleneck affects foraging decisions in red knots *Calidris canutus*. I. Prey choice. *Journal of Animal Ecology* 74:105-119.
- VAN GILS J.A., LISOVSKI S., LOK T., MEISSNER W., OŻAROWSKA A., DE FOUW J., RAKHIMBERDIEV E., SOLOVIEV M.Y., PIERSMA T. & KLAASSEN M. 2016.

- Body shrinkage due to Arctic warming reduces red knot fitness in tropical wintering range. *Science* 352:819-821.
- VAN GILS J.A., PIERSMA T., DEKINGA A., SPAANS B. & KRAAN C. 2006. Shellfish dredging pushes a flexible avian top predator out of a marine protected area. *PLoS Biology* 4:2399-2404.
- VAN ROOMEN M., CITEGETSE G., CROWE O., DODMAN T., HAGEMELJER W., MEISE K. & SCHEKKERMAN H. 2022. East Atlantic Flyway Assessment 2020. The status of coastal waterbird populations and their sites. Wilhelmshaven, Germany, Wetlands International, Wageningen, The Netherlands, BirdLife International, Cambridge, United Kingdom
- VAN ROOMEN M., NAGY S., FOPPEN R., DODMAN T., CITEGETSE G. & NDIAYE A. 2015. Status of coastal waterbird populations in the East Atlantic Flyway. With special attention to flyway populations making use of the Wadden Sea. Leeuwarden, The Netherlands / Nijmegen, The Netherlands / Wageningen, The Netherlands / Cambridge, United Kingdom / Wilhelmshaven, Germany., 1-79.
- VAN ROOMEN M.W.J., VAN TURNHOUT C., VAN WINDEN E.A.J., KOKS B., GOEDHART P.W., LEOPOLD M.F. & SMIT C.J. 2005. Trends van bentivore watervogels in de Nederlandse Waddenzee 1975-2002: grote verschillen tussen schelpdiereneters en wormeneters. *Limosa* 78:21-38.
- VAN STRALEN M., TROOST K. & VAN ZWEEDEN C. 2012. Ontwikkeling van banken Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) op droogvallende platen in de Waddenzee. *Imares*, 2012.101, Scharendijke 1-26.
- VAN TURNHOUT C. & VAN ROOMEN M. 2008. Drieteenstrandlopers in Nederland: steeds meer wad- steeds minder strandvogel? *Limosa* 81:1-10.
- WANG Z.B. & EYSINK W.D. 2005. Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning. Vloedkommen van het Friesche Zeegat. Rapport Z3995, 1-140.
- WASER A.M., DEUZEMAN S., KANGERI A.K.W., VAN WINDEN E., POSTMA J., DE BOER P., VAN DER MEER J. & ENS B.J. 2016. Impact on bird fauna of a non-native oyster expanding into blue mussel beds in the Dutch Wadden Sea. *Biological Conservation* 202:39-49.
- WHITFIELD D.P. 2003. Redshank *Tringa totanus* flocking behaviour, distance from cover and vulnerability to sparrowhawk *Accipiter nisus* predation. *Journal of Avian Biology* 34:163-169.
- YATES M.G., GOSS-CUSTARD J.D., MCGRORTY S., LAKHANI K.H., DURELL S., CLARKE R.T., RISPIN W.E., MOY I., YATES T., PLANT R.A. & FROST A.J. 1993. Sediment characteristics, invertebrate densities and shorebird densities on the inner banks of the Wash. *Journal of Applied Ecology* 30:599-614.
- ZWARTS L. & WANINK J.H. 1993. How the food supply harvestable by waders in the Wadden Sea depends on the variation in energy density, body weight, biomass, burying depth and behavior of tidal-flat invertebrates. *Netherlands Journal of Sea Research* 31:441-476.
- ZWARTS L., WANINK J.H. & ENS B.J. 1996. Predicting seasonal and annual fluctuations in the local exploitation of different prey by oystercatchers *Haematopus ostralegus*: A ten-year study in the Wadden Sea. *Ardea* 84A:401-440.

Bijlagen

Bijlage 1. Trends in de proxies

Trends over 2008-2021 voor de proxies voor draagkracht (7 proxies voor elk van de 26 soort-seizoen combinaties) in Pinkegat en Zoutkamperlaag en de bijbehorende statistische beoordeling van de significantie. Trendmodel: $\ln(\text{Proxy}) \sim \text{SIBESYear}$.

Vogelmaand	Proxy	Intercept	SE_int	t_int	P_int	slope	SE_slope	t_slope	P_slope***	uitspraak	Factor 13jr
Bergeend_Jan	Oppervlak	-18,603	60,351	-0,31	0,76	0,012	0,030	0,41	0,686	geen sign. verandering	1,18
Bergeend_Jan	BMaanw	20,561	36,061	0,57	0,58	-0,007	0,018	-0,41	0,690	geen sign. verandering	0,91
Bergeend_Jan	BMoogst	-42,619	86,041	-0,50	0,63	0,023	0,043	0,53	0,604	geen sign. verandering	1,34
Bergeend_Jan	BMoogstDr	-28,539	89,248	-0,32	0,75	0,015	0,044	0,35	0,736	geen sign. verandering	1,22
Bergeend_Jan	FRaanw	-48,928	20,818	-2,35	0,04	0,029	0,010	2,78	0,017*	toename met 2,9%/jr	1,45
Bergeend_Jan	FRoogst	-20,967	62,040	-0,34	0,74	0,014	0,031	0,45	0,659	geen sign. verandering	1,20
Bergeend_Jan	FRoogstDr	-10,608	66,517	-0,16	0,88	0,008	0,033	0,25	0,805	geen sign. verandering	1,11
Bergeend_Sep	Oppervlak	-71,768	22,604	-3,18	0,01	0,040	0,011	3,55	0,004**	toename met 4,1%/jr	1,68
Bergeend_Sep	BMaanw	21,299	36,062	0,59	0,57	-0,007	0,018	-0,41	0,690	geen sign. verandering	0,91
Bergeend_Sep	BMoogst	-89,400	43,770	-2,04	0,06	0,047	0,022	2,17	0,051	geen sign. verandering	1,84
Bergeend_Sep	BMoogstDr	-84,207	45,859	-1,84	0,09	0,044	0,023	1,94	0,077	geen sign. verandering	1,77
Bergeend_Sep	FRaanw	-48,191	20,818	-2,31	0,04	0,029	0,010	2,78	0,017*	toename met 2,9%/jr	1,45
Bergeend_Sep	FRoogst	-68,694	27,342	-2,51	0,03	0,039	0,014	2,86	0,014*	toename met 4%/jr	1,66
Bergeend_Sep	FRoogstDr	-62,375	29,041	-2,15	0,05	0,035	0,014	2,44	0,031*	toename met 3,6%/jr	1,58
Bontbek_Mei	Oppervlak	-18,917	8,370	-2,26	0,04	0,014	0,004	3,35	0,006**	toename met 1,4%/jr	1,20
Bontbek_Mei	BMaanw	-98,378	22,919	-4,29	0,00	0,052	0,011	4,54	0,001***	toename met 5,3%/jr	1,96
Bontbek_Mei	BMoogst	-102,077	22,124	-4,61	0,00	0,053	0,011	4,87	0,000***	toename met 5,5%/jr	2,00
Bontbek_Mei	BMoogstDr	-89,892	22,324	-4,03	0,00	0,047	0,011	4,24	0,001**	toename met 4,8%/jr	1,84
Bontbek_Mei	FRaanw	-37,917	9,365	-4,05	0,00	0,023	0,005	5,01	0,000***	toename met 2,4%/jr	1,35
Bontbek_Mei	FRoogst	-39,248	9,641	-4,07	0,00	0,024	0,005	5,00	0,000***	toename met 2,4%/jr	1,37
Bontbek_Mei	FRoogstDr	-25,882	8,748	-2,96	0,01	0,017	0,004	3,89	0,002**	toename met 1,7%/jr	1,25
Bontbek_Sep	Oppervlak	-15,084	8,334	-1,81	0,10	0,012	0,004	2,91	0,013*	toename met 1,2%/jr	1,17
Bontbek_Sep	BMaanw	-97,320	22,999	-4,23	0,00	0,051	0,011	4,49	0,001***	toename met 5,3%/jr	1,95
Bontbek_Sep	BMoogst	-100,856	22,154	-4,55	0,00	0,053	0,011	4,81	0,000***	toename met 5,4%/jr	1,99
Bontbek_Sep	BMoogstDr	-91,956	22,954	-4,01	0,00	0,048	0,011	4,22	0,001**	toename met 4,9%/jr	1,87
Bontbek_Sep	FRaanw	-36,683	9,396	-3,90	0,00	0,023	0,005	4,88	0,000***	toename met 2,3%/jr	1,34
Bontbek_Sep	FRoogst	-37,424	9,574	-3,91	0,00	0,023	0,005	4,87	0,000***	toename met 2,3%/jr	1,35
Bontbek_Sep	FRoogstDr	-27,737	9,485	-2,92	0,01	0,018	0,005	3,79	0,003**	toename met 1,8%/jr	1,26
BonteStrandloper_Mei	Oppervlak	-11,316	7,822	-1,45	0,17	0,010	0,004	2,65	0,021*	toename met 1%/jr	1,14
BonteStrandloper_Mei	BMaanw	11,987	34,381	0,35	0,73	-0,003	0,017	-0,16	0,873	geen sign. verandering	0,96
BonteStrandloper_Mei	BMoogst	4,486	38,285	0,12	0,91	0,001	0,019	0,04	0,970	geen sign. verandering	1,01
BonteStrandloper_Mei	BMoogstDr	18,861	39,825	0,47	0,64	-0,007	0,020	-0,34	0,738	geen sign. verandering	0,92
BonteStrandloper_Mei	FRaanw	-26,837	12,437	-2,16	0,05	0,018	0,006	2,90	0,013*	toename met 1,8%/jr	1,26
BonteStrandloper_Mei	FRoogst	-27,710	12,610	-2,20	0,05	0,018	0,006	2,93	0,013*	toename met 1,9%/jr	1,27
BonteStrandloper_Mei	FRoogstDr	-15,764	11,906	-1,32	0,21	0,012	0,006	2,03	0,065	geen sign. verandering	1,17
BonteStrandloper_Sep	Oppervlak	-5,494	6,098	-0,90	0,38	0,007	0,003	2,45	0,021*	toename met 0,7%/jr	1,10
BonteStrandloper_Sep	BMaanw	18,067	24,014	0,75	0,46	-0,006	0,012	-0,48	0,637	geen sign. verandering	0,93
BonteStrandloper_Sep	BMoogst	14,103	26,598	0,53	0,60	-0,004	0,013	-0,30	0,769	geen sign. verandering	0,95
BonteStrandloper_Sep	BMoogstDr	25,481	27,952	0,91	0,37	-0,010	0,014	-0,72	0,478	geen sign. verandering	0,88
BonteStrandloper_Sep	FRaanw	-24,245	8,559	-2,83	0,01	0,017	0,004	3,94	0,001***	toename met 1,7%/jr	1,24
BonteStrandloper_Sep	FRoogst	-24,532	8,600	-2,85	0,01	0,017	0,004	3,96	0,001***	toename met 1,7%/jr	1,25
BonteStrandloper_Sep	FRoogstDr	-16,694	10,231	-1,63	0,11	0,013	0,005	2,46	0,021*	toename met 1,3%/jr	1,18
Drieteen_Mei	Oppervlak	-3,985	8,324	-0,48	0,64	0,006	0,004	1,53	0,152	geen sign. verandering	1,09
Drieteen_Mei	BMaanw	-16,988	20,901	-0,81	0,43	0,011	0,010	1,06	0,309	geen sign. verandering	1,15
Drieteen_Mei	BMoogst	-27,686	22,513	-1,23	0,24	0,016	0,011	1,46	0,171	geen sign. verandering	1,24

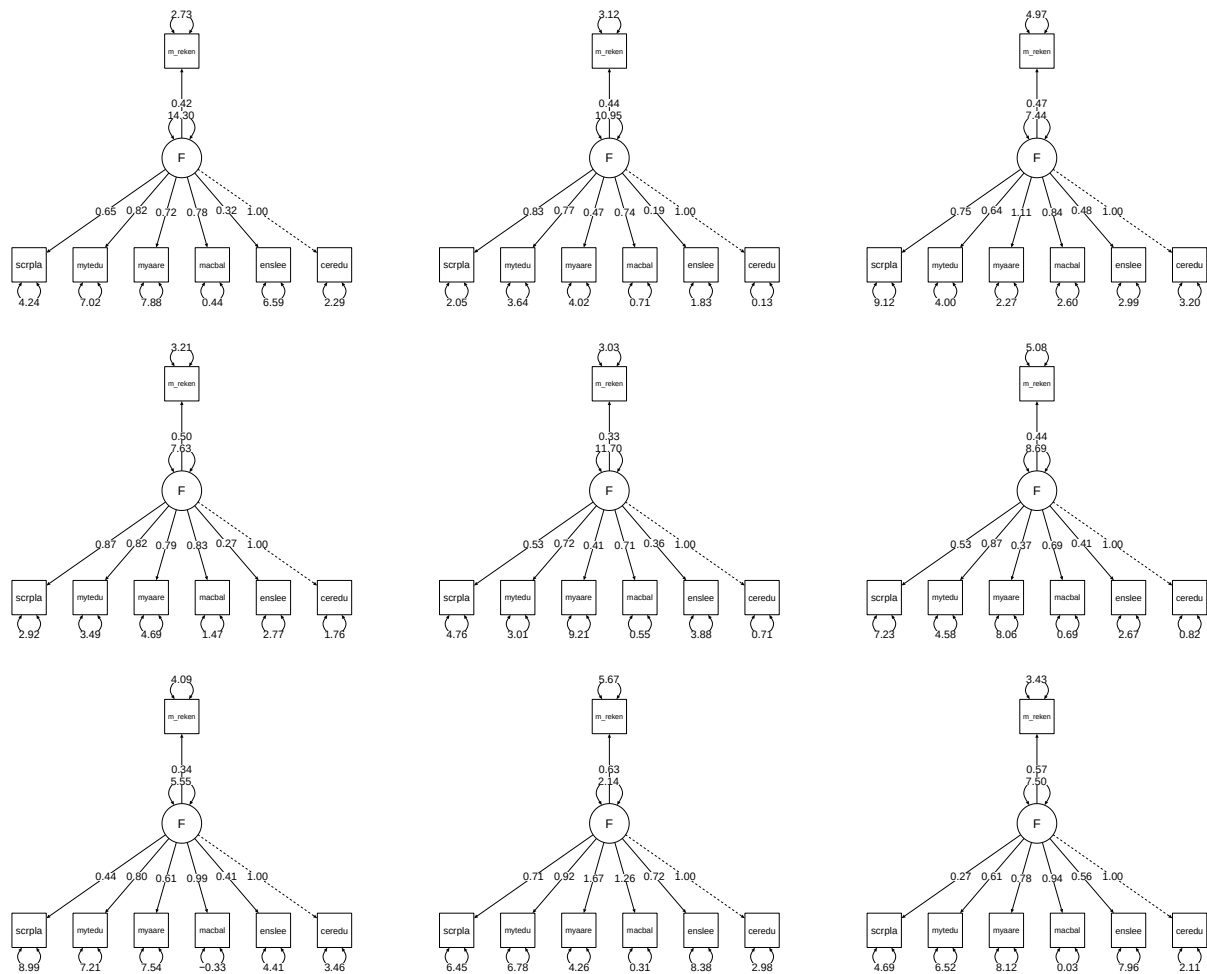
Vogelmaand	Proxy	Intercept	SE_int	t_int	P_int	slope	SE_slope	t_slope	P_slope***	uitspraak	Factor 13jr
Drieteen_Mei	BMoogstDr	-17,643	22,052	-0,80	0,44	0,011	0,011	1,00	0,339	geen sign. verandering	1,15
Drieteen_Mei	FRaanw	-16,047	8,658	-1,85	0,09	0,012	0,004	2,84	0,015*	toename met 1,2%/jr	1,17
Drieteen_Mei	FRoogst	-16,117	8,623	-1,87	0,09	0,012	0,004	2,85	0,014*	toename met 1,2%/jr	1,17
Drieteen_Mei	FRoogstDr	-3,655	8,783	-0,42	0,68	0,006	0,004	1,28	0,224	geen sign. verandering	1,08
Drieteen_Sep	Oppervlak	-5,270	8,180	-0,64	0,53	0,007	0,004	1,71	0,112	geen sign. verandering	1,09
Drieteen_Sep	BMaanw	-18,444	20,629	-0,89	0,39	0,012	0,010	1,16	0,269	geen sign. verandering	1,17
Drieteen_Sep	BMoogst	-29,094	22,306	-1,30	0,22	0,017	0,011	1,54	0,149	geen sign. verandering	1,25
Drieteen_Sep	BMoogstDr	-19,833	22,622	-0,88	0,40	0,012	0,011	1,07	0,305	geen sign. verandering	1,17
Drieteen_Sep	FRaanw	-16,944	8,789	-1,93	0,08	0,013	0,004	2,92	0,013*	toename met 1,3%/jr	1,18
Drieteen_Sep	FRoogst	-17,075	8,771	-1,95	0,08	0,013	0,004	2,94	0,012*	toename met 1,3%/jr	1,18
Drieteen_Sep	FRoogstDr	-5,910	9,991	-0,59	0,57	0,007	0,005	1,36	0,198	geen sign. verandering	1,09
Kanoet_Aug	Oppervlak	10,858	33,559	0,32	0,75	-0,001	0,017	-0,06	0,949	geen sign. verandering	0,99
Kanoet_Aug	BMaanw	43,900	28,649	1,53	0,15	-0,018	0,014	-1,25	0,234	geen sign. verandering	0,79
Kanoet_Aug	BMoogst	98,768	73,998	1,33	0,21	-0,046	0,037	-1,26	0,232	geen sign. verandering	0,55
Kanoet_Aug	BMoogstDr	91,137	74,325	1,23	0,24	-0,043	0,037	-1,16	0,268	geen sign. verandering	0,57
Kanoet_Aug	FRaanw	2,294	30,986	0,07	0,94	0,003	0,015	0,19	0,849	geen sign. verandering	1,04
Kanoet_Aug	FRoogst	5,624	36,379	0,15	0,88	0,001	0,018	0,07	0,946	geen sign. verandering	1,02
Kanoet_Aug	FRoogstDr	0,625	35,140	0,02	0,99	0,003	0,017	0,19	0,852	geen sign. verandering	1,04
Kanoet_Jan	Oppervlak	21,670	71,079	0,30	0,77	-0,007	0,035	-0,21	0,838	geen sign. verandering	0,91
Kanoet_Jan	BMaanw	44,041	28,899	1,52	0,15	-0,018	0,014	-1,27	0,227	geen sign. verandering	0,79
Kanoet_Jan	BMoogst	-12,606	90,069	-0,14	0,89	0,007	0,045	0,16	0,875	geen sign. verandering	1,10
Kanoet_Jan	BMoogstDr	-13,782	89,379	-0,15	0,88	0,007	0,044	0,17	0,869	geen sign. verandering	1,10
Kanoet_Jan	FRaanw	28,619	39,115	0,73	0,48	-0,010	0,019	-0,54	0,602	geen sign. verandering	0,87
Kanoet_Jan	FRoogst	18,354	73,874	0,25	0,81	-0,006	0,037	-0,16	0,872	geen sign. verandering	0,92
Kanoet_Jan	FRoogstDr	23,862	68,260	0,35	0,73	-0,009	0,034	-0,27	0,793	geen sign. verandering	0,89
Kluut_Nov	Oppervlak	-57,288	24,197	-2,37	0,04	0,032	0,012	2,70	0,019*	toename met 3,3%/jr	1,53
Kluut_Nov	BMaanw	-61,094	36,418	-1,68	0,12	0,033	0,018	1,81	0,095	geen sign. verandering	1,53
Kluut_Nov	BMoogst	-87,507	42,171	-2,08	0,06	0,046	0,021	2,19	0,049*	toename met 4,7%/jr	1,81
Kluut_Nov	BMoogstDr	-90,239	53,899	-1,67	0,12	0,047	0,027	1,74	0,107	geen sign. verandering	1,83
Kluut_Nov	FRaanw	-51,925	19,108	-2,72	0,02	0,030	0,009	3,17	0,008**	toename met 3,1%/jr	1,48
Kluut_Nov	FRoogst	-60,846	23,964	-2,54	0,03	0,034	0,012	2,90	0,013*	toename met 3,5%/jr	1,57
Kluut_Nov	FRoogstDr	-62,756	35,627	-1,76	0,10	0,035	0,018	1,98	0,071	geen sign. verandering	1,58
Kluut_Sep	Oppervlak	-43,187	19,146	-2,26	0,04	0,026	0,010	2,69	0,020*	toename met 2,6%/jr	1,39
Kluut_Sep	BMaanw	-60,764	36,419	-1,67	0,12	0,033	0,018	1,81	0,095	geen sign. verandering	1,53
Kluut_Sep	BMoogst	-81,204	40,386	-2,01	0,07	0,043	0,020	2,14	0,054	geen sign. verandering	1,75
Kluut_Sep	BMoogstDr	-72,800	41,526	-1,75	0,11	0,038	0,021	1,85	0,088	geen sign. verandering	1,64
Kluut_Sep	FRaanw	-51,594	19,108	-2,70	0,02	0,030	0,009	3,17	0,008**	toename met 3,1%/jr	1,48
Kluut_Sep	FRoogst	-53,594	21,104	-2,54	0,03	0,031	0,010	2,97	0,012*	toename met 3,2%/jr	1,50
Kluut_Sep	FRoogstDr	-44,118	19,863	-2,22	0,05	0,026	0,010	2,63	0,022*	toename met 2,6%/jr	1,40
Pijlstaart_Jan	Oppervlak	-64,259	45,244	-1,42	0,18	0,035	0,022	1,57	0,142	geen sign. verandering	1,58
Pijlstaart_Jan	BMaanw	95,971	42,863	2,24	0,04	-0,044	0,021	-2,09	0,059	geen sign. verandering	0,56
Pijlstaart_Jan	BMoogst	-78,744	64,402	-1,22	0,24	0,041	0,032	1,28	0,226	geen sign. verandering	1,70
Pijlstaart_Jan	BMoogstDr	-67,281	67,239	-1,00	0,34	0,035	0,033	1,04	0,319	geen sign. verandering	1,57
Pijlstaart_Jan	FRaanw	-50,087	22,051	-2,27	0,04	0,029	0,011	2,65	0,021*	toename met 2,9%/jr	1,46
Pijlstaart_Jan	FRoogst	-60,201	46,649	-1,29	0,22	0,034	0,023	1,45	0,173	geen sign. verandering	1,55
Pijlstaart_Jan	FRoogstDr	-46,346	48,900	-0,95	0,36	0,026	0,024	1,08	0,301	geen sign. verandering	1,41
Pijlstaart_Nov	Oppervlak	-32,285	16,209	-1,99	0,07	0,020	0,008	2,52	0,027*	toename met 2%/jr	1,30
Pijlstaart_Nov	BMaanw	96,378	42,863	2,25	0,04	-0,044	0,021	-2,09	0,059	geen sign. verandering	0,56
Pijlstaart_Nov	BMoogst	18,454	52,524	0,35	0,73	-0,007	0,026	-0,25	0,806	geen sign. verandering	0,92
Pijlstaart_Nov	BMoogstDr	19,502	62,824	0,31	0,76	-0,008	0,031	-0,24	0,814	geen sign. verandering	0,91
Pijlstaart_Nov	FRaanw	-49,681	22,051	-2,25	0,04	0,029	0,011	2,65	0,021*	toename met 2,9%/jr	1,46
Pijlstaart_Nov	FRoogst	-49,681	22,051	-2,25	0,04	0,029	0,011	2,65	0,021*	toename met 2,9%/jr	1,46
Pijlstaart_Nov	FRoogstDr	-49,602	33,126	-1,50	0,16	0,029	0,016	1,74	0,108	geen sign. verandering	1,45

Vogelmaand	Proxy	Intercept	SE_int	t_int	P_int	slope	SE_slope	t_slope	P_slope***	uitspraak	Factor 13jr
RosseGrutto_Aug	Oppervlak	-12,035	5,796	-2,08	0,06	0,011	0,003	3,72	0,003**	toename met 1,1%/jr	1,15
RosseGrutto_Aug	BMaanw	-41,545	18,749	-2,22	0,05	0,024	0,009	2,60	0,023*	toename met 2,5%/jr	1,37
RosseGrutto_Aug	BMoogst	-25,274	19,704	-1,28	0,22	0,016	0,010	1,65	0,125	geen sign. verandering	1,23
RosseGrutto_Aug	BMoogstDr	-35,800	18,100	-1,98	0,07	0,021	0,009	2,32	0,039*	toename met 2,1%/jr	1,31
RosseGrutto_Aug	FRaanw	-21,744	13,233	-1,64	0,13	0,016	0,007	2,48	0,029*	toename met 1,6%/jr	1,24
RosseGrutto_Aug	FRoogst	-22,510	13,364	-1,68	0,12	0,017	0,007	2,52	0,027*	toename met 1,7%/jr	1,24
RosseGrutto_Aug	FRoogstDr	-26,722	15,881	-1,68	0,12	0,018	0,008	2,32	0,039*	toename met 1,8%/jr	1,27
RosseGrutto_Mei	Oppervlak	-14,272	6,789	-2,10	0,06	0,012	0,003	3,50	0,004**	toename met 1,2%/jr	1,17
RosseGrutto_Mei	BMaanw	-41,824	18,749	-2,23	0,05	0,024	0,009	2,60	0,023*	toename met 2,5%/jr	1,37
RosseGrutto_Mei	BMoogst	-24,187	20,254	-1,19	0,26	0,015	0,010	1,53	0,151	geen sign. verandering	1,22
RosseGrutto_Mei	BMoogstDr	-19,370	22,627	-0,86	0,41	0,013	0,011	1,12	0,284	geen sign. verandering	1,18
RosseGrutto_Mei	FRaanw	-21,838	13,554	-1,61	0,13	0,016	0,007	2,41	0,033*	toename met 1,6%/jr	1,23
RosseGrutto_Mei	FRoogst	-23,019	13,824	-1,67	0,12	0,017	0,007	2,45	0,031*	toename met 1,7%/jr	1,24
RosseGrutto_Mei	FRoogstDr	-12,907	14,322	-0,90	0,39	0,011	0,007	1,59	0,137	geen sign. verandering	1,16
Scholekster_Jan	Oppervlak	55,643	68,547	0,81	0,43	-0,024	0,034	-0,70	0,495	geen sign. verandering	0,73
Scholekster_Jan	BMaanw	51,166	24,989	2,05	0,06	-0,022	0,012	-1,75	0,105	geen sign. verandering	0,75
Scholekster_Jan	BMoogst	115,062	82,804	1,39	0,19	-0,054	0,041	-1,32	0,212	geen sign. verandering	0,49
Scholekster_Jan	BMoogstDr	139,373	92,061	1,51	0,16	-0,067	0,046	-1,46	0,170	geen sign. verandering	0,42
Scholekster_Jan	FRaanw	27,503	26,142	1,05	0,31	-0,009	0,013	-0,71	0,490	geen sign. verandering	0,89
Scholekster_Jan	FRoogst	62,516	73,021	0,86	0,41	-0,027	0,036	-0,75	0,467	geen sign. verandering	0,70
Scholekster_Jan	FRoogstDr	93,326	82,524	1,13	0,28	-0,043	0,041	-1,05	0,315	geen sign. verandering	0,57
Scholekster_Sep	Oppervlak	31,194	27,494	1,13	0,28	-0,011	0,014	-0,81	0,432	geen sign. verandering	0,87
Scholekster_Sep	BMaanw	51,903	24,989	2,08	0,06	-0,022	0,012	-1,75	0,105	geen sign. verandering	0,75
Scholekster_Sep	BMoogst	77,577	47,203	1,64	0,13	-0,035	0,023	-1,48	0,165	geen sign. verandering	0,64
Scholekster_Sep	BMoogstDr	82,433	48,118	1,71	0,11	-0,038	0,024	-1,57	0,141	geen sign. verandering	0,61
Scholekster_Sep	FRaanw	28,241	26,142	1,08	0,30	-0,009	0,013	-0,71	0,490	geen sign. verandering	0,89
Scholekster_Sep	FRoogst	30,142	30,415	0,99	0,34	-0,010	0,015	-0,68	0,510	geen sign. verandering	0,88
Scholekster_Sep	FRoogstDr	36,274	29,037	1,25	0,24	-0,014	0,014	-0,96	0,358	geen sign. verandering	0,84
Tureluur_Jan	Oppervlak	-37,773	19,256	-1,96	0,07	0,023	0,010	2,39	0,034*	toename met 2,3%/jr	1,35
Tureluur_Jan	BMaanw	19,154	38,745	0,49	0,63	-0,007	0,019	-0,37	0,721	geen sign. verandering	0,91
Tureluur_Jan	BMoogst	-87,078	38,667	-2,25	0,04	0,045	0,019	2,37	0,036*	toename met 4,6%/jr	1,80
Tureluur_Jan	BMoogstDr	-66,851	42,545	-1,57	0,14	0,035	0,021	1,65	0,124	geen sign. verandering	1,57
Tureluur_Jan	FRaanw	-33,284	13,826	-2,41	0,03	0,021	0,007	3,01	0,011*	toename met 2,1%/jr	1,31
Tureluur_Jan	FRoogst	-46,318	19,110	-2,42	0,03	0,027	0,009	2,85	0,015*	toename met 2,7%/jr	1,42
Tureluur_Jan	FRoogstDr	-24,572	22,071	-1,11	0,29	0,016	0,011	1,44	0,174	geen sign. verandering	1,23
Tureluur_Jul	Oppervlak	-17,297	9,987	-1,73	0,11	0,013	0,005	2,61	0,023*	toename met 1,3%/jr	1,18
Tureluur_Jul	BMaanw	18,305	38,386	0,48	0,64	-0,006	0,019	-0,33	0,750	geen sign. verandering	0,92
Tureluur_Jul	BMoogst	-4,163	42,512	-0,10	0,92	0,005	0,021	0,23	0,821	geen sign. verandering	1,07
Tureluur_Jul	BMoogstDr	-0,270	45,144	-0,01	1,00	0,003	0,022	0,11	0,911	geen sign. verandering	1,03
Tureluur_Jul	FRaanw	-34,531	13,474	-2,56	0,02	0,022	0,007	3,24	0,007**	toename met 2,2%/jr	1,33
Tureluur_Jul	FRoogst	-35,278	14,288	-2,47	0,03	0,022	0,007	3,11	0,009**	toename met 2,2%/jr	1,33
Tureluur_Jul	FRoogstDr	-35,933	15,446	-2,33	0,04	0,022	0,008	2,86	0,014*	toename met 2,2%/jr	1,33
Steenloper_Aug	Oppervlak	44,842	36,943	1,21	0,25	-0,018	0,018	-0,99	0,341	geen sign. verandering	0,79
Steenloper_Aug	BMaanw	154,921	32,198	4,81	0,00	-0,074	0,016	-4,61	0,001***	afname met 7,1%/jr	0,38
Steenloper_Aug	BMoogst	197,453	91,146	2,17	0,05	-0,096	0,045	-2,11	0,056	geen sign. verandering	0,29
Steenloper_Aug	BMoogstDr	181,900	90,728	2,00	0,07	-0,088	0,045	-1,96	0,074	geen sign. verandering	0,32
Steenloper_Aug	FRaanw	24,458	27,389	0,89	0,39	-0,008	0,014	-0,60	0,560	geen sign. verandering	0,90
Steenloper_Aug	FRoogst	33,529	27,973	1,20	0,25	-0,013	0,014	-0,91	0,378	geen sign. verandering	0,85
Steenloper_Aug	FRoogstDr	22,195	28,330	0,78	0,45	-0,007	0,014	-0,53	0,604	geen sign. verandering	0,91
Steenloper_Jan	Oppervlak	97,063	70,243	1,38	0,19	-0,045	0,035	-1,29	0,220	geen sign. verandering	0,56
Steenloper_Jan	BMaanw	155,825	32,350	4,82	0,00	-0,074	0,016	-4,64	0,001***	afname met 7,2%/jr	0,38
Steenloper_Jan	BMoogst	140,980	125,420	1,12	0,28	-0,069	0,062	-1,11	0,288	geen sign. verandering	0,41
Steenloper_Jan	BMoogstDr	148,915	134,830	1,10	0,29	-0,074	0,067	-1,10	0,293	geen sign. verandering	0,38

Vogelmaand	Proxy	Intercept	SE_int	t_int	P_int	slope	SE_slope	t_slope	P_slope***	uitspraak	Factor 13jr
Steenloper_Jan	FRaanw	60,849	34,292	1,77	0,10	-0,027	0,017	-1,57	0,143	geen sign. verandering	0,71
Steenloper_Jan	FRoogst	108,321	76,401	1,42	0,18	-0,051	0,038	-1,34	0,204	geen sign. verandering	0,52
Steenloper_Jan	FRoogstDr	128,758	87,238	1,48	0,17	-0,062	0,043	-1,42	0,181	geen sign. verandering	0,45
Wulp_Jan	Oppervlak	-37,313	19,057	-1,96	0,07	0,023	0,009	2,39	0,034*	toename met 2,3%/jr	1,34
Wulp_Jan	BMaanw	-86,244	34,591	-2,49	0,03	0,046	0,017	2,68	0,020*	toename met 4,7%/jr	1,82
Wulp_Jan	BMoogst	-47,482	30,253	-1,57	0,14	0,026	0,015	1,76	0,104	geen sign. verandering	1,41
Wulp_Jan	BMoogstDr	-30,130	34,957	-0,86	0,41	0,017	0,017	1,00	0,338	geen sign. verandering	1,25
Wulp_Jan	FRaanw	-26,782	13,135	-2,04	0,06	0,018	0,007	2,76	0,017*	toename met 1,8%/jr	1,26
Wulp_Jan	FRoogst	-33,422	18,443	-1,81	0,10	0,021	0,009	2,31	0,039*	toename met 2,1%/jr	1,32
Wulp_Jan	FRoogstDr	-12,459	24,975	-0,50	0,63	0,010	0,012	0,83	0,424	geen sign. verandering	1,14
Wulp_Sep	Oppervlak	-22,056	12,495	-1,77	0,10	0,015	0,006	2,48	0,029*	toename met 1,5%/jr	1,22
Wulp_Sep	BMaanw	-85,507	34,591	-2,47	0,03	0,046	0,017	2,68	0,020*	toename met 4,7%/jr	1,82
Wulp_Sep	BMoogst	-54,690	28,442	-1,92	0,08	0,031	0,014	2,16	0,051	geen sign. verandering	1,49
Wulp_Sep	BMoogstDr	-51,280	29,194	-1,76	0,10	0,028	0,014	1,96	0,074	geen sign. verandering	1,45
Wulp_Sep	FRaanw	-23,317	14,519	-1,61	0,13	0,017	0,007	2,32	0,039*	toename met 1,7%/jr	1,24
Wulp_Sep	FRoogst	-24,551	15,072	-1,63	0,13	0,017	0,007	2,32	0,039*	toename met 1,7%/jr	1,25
Wulp_Sep	FRoogstDr	-18,327	14,833	-1,24	0,24	0,014	0,007	1,87	0,087	geen sign. verandering	1,20
Zilverplevier_Jan	Oppervlak	-49,020	17,780	-2,76	0,02	0,029	0,009	3,25	0,007**	toename met 2,9%/jr	1,45
Zilverplevier_Jan	BMaanw	-49,559	22,436	-2,21	0,05	0,027	0,011	2,45	0,031*	toename met 2,8%/jr	1,43
Zilverplevier_Jan	BMoogst	-86,891	38,268	-2,27	0,04	0,046	0,019	2,40	0,034*	toename met 4,7%/jr	1,81
Zilverplevier_Jan	BMoogstDr	-70,295	43,792	-1,61	0,13	0,037	0,022	1,69	0,116	geen sign. verandering	1,61
Zilverplevier_Jan	FRaanw	-36,387	10,247	-3,55	0,00	0,023	0,005	4,44	0,001***	toename met 2,3%/jr	1,34
Zilverplevier_Jan	FRoogst	-52,106	20,223	-2,58	0,02	0,030	0,010	3,01	0,011*	toename met 3,1%/jr	1,48
Zilverplevier_Jan	FRoogstDr	-34,661	25,196	-1,38	0,19	0,021	0,013	1,68	0,118	geen sign. verandering	1,31
Zilverplevier_Mei	Oppervlak	-36,112	13,918	-2,59	0,02	0,023	0,007	3,27	0,007**	toename met 2,3%/jr	1,34
Zilverplevier_Mei	BMaanw	-49,133	22,402	-2,19	0,05	0,027	0,011	2,46	0,030*	toename met 2,8%/jr	1,43
Zilverplevier_Mei	BMoogst	-60,244	22,860	-2,64	0,02	0,033	0,011	2,89	0,014*	toename met 3,3%/jr	1,53
Zilverplevier_Mei	BMoogstDr	-51,081	22,849	-2,24	0,05	0,028	0,011	2,45	0,030*	toename met 2,8%/jr	1,44
Zilverplevier_Mei	FRaanw	-36,141	10,264	-3,52	0,00	0,023	0,005	4,46	0,001***	toename met 2,3%/jr	1,34
Zilverplevier_Mei	FRoogst	-40,873	11,088	-3,69	0,00	0,025	0,006	4,55	0,001***	toename met 2,5%/jr	1,39
Zilverplevier_Mei	FRoogstDr	-29,301	10,264	-2,85	0,01	0,019	0,005	3,70	0,003**	toename met 1,9%/jr	1,28

Bijlage 2. Sem aantallen als functie van foerageerpotentieel

Scholekster

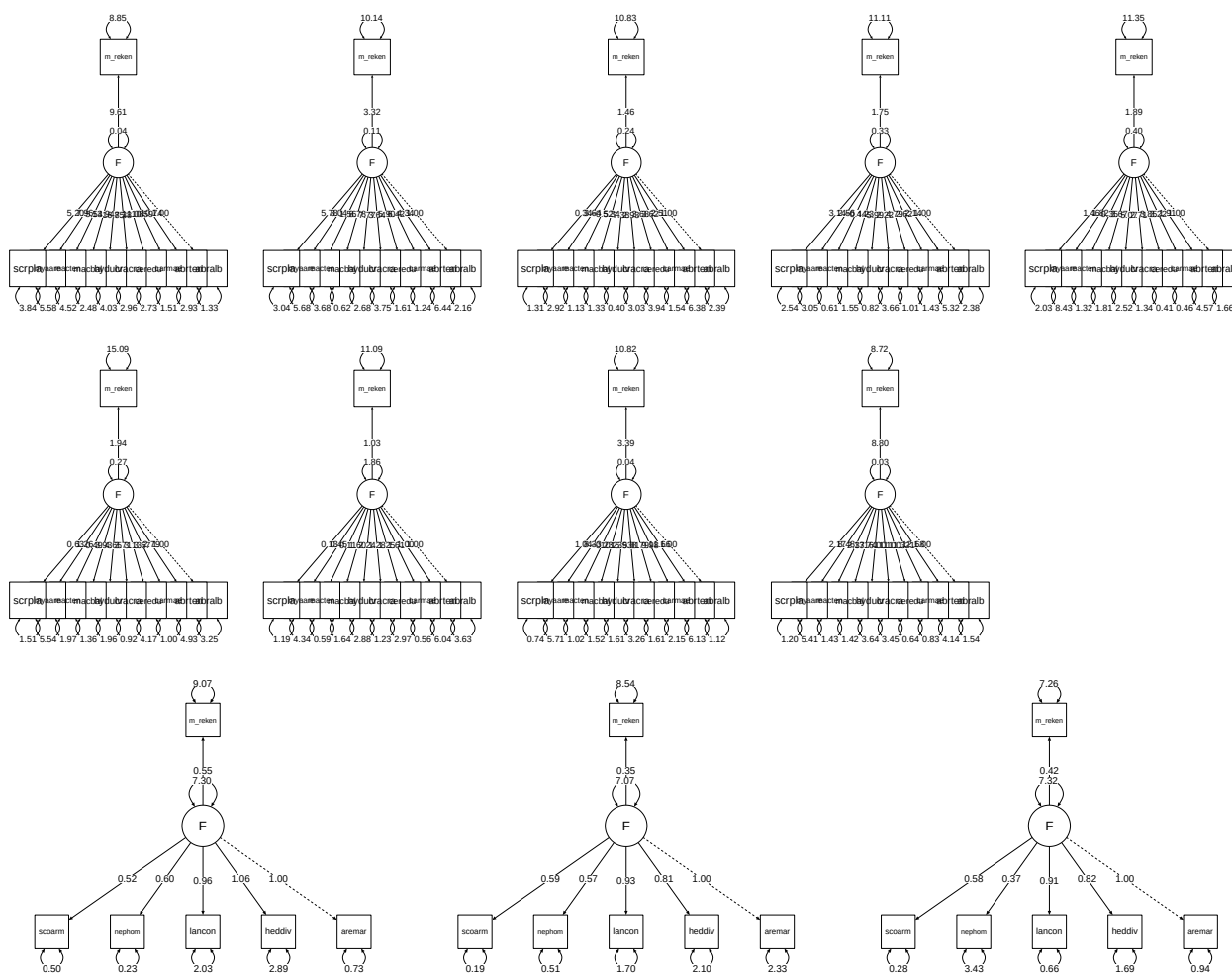


Figuur 13.1. SEM van de aantallen Scholeksters per virtuele HVP als functie van de latente variabele F (foerageerpotentieel) voor de jaren 2008-2014 en 2019-2020; ieder deel figuur betreft een jaar (linksboven is 2008 en rechtsonder is 2020). De getallen tussen F en de prooien zijn de factor loadings (standaardfouten zijn hier niet gegeven). De getallen die op de pijlen tussen F en m_reken (aantal vogels) staan, zijn de regressie coëfficiënten van de foerageerpotenties op het aantal vogels. De getallen die bij de tweekoppige pijlen onder de prooien en boven F staan en boven m_reken staan, zijn de varianties behorende bij die variabele.

Tabel 13.1. Overall fit parameters voor de Scholekster SEM.

	User Model	Baseline Model
Test statistic	240.365	1224.138
Df	126	189
P-waarde (Chi-sq)	0.000	0.000
RMSEA	0.174	
Comparative Fit Index (CFI)	0.89	

Kanoet

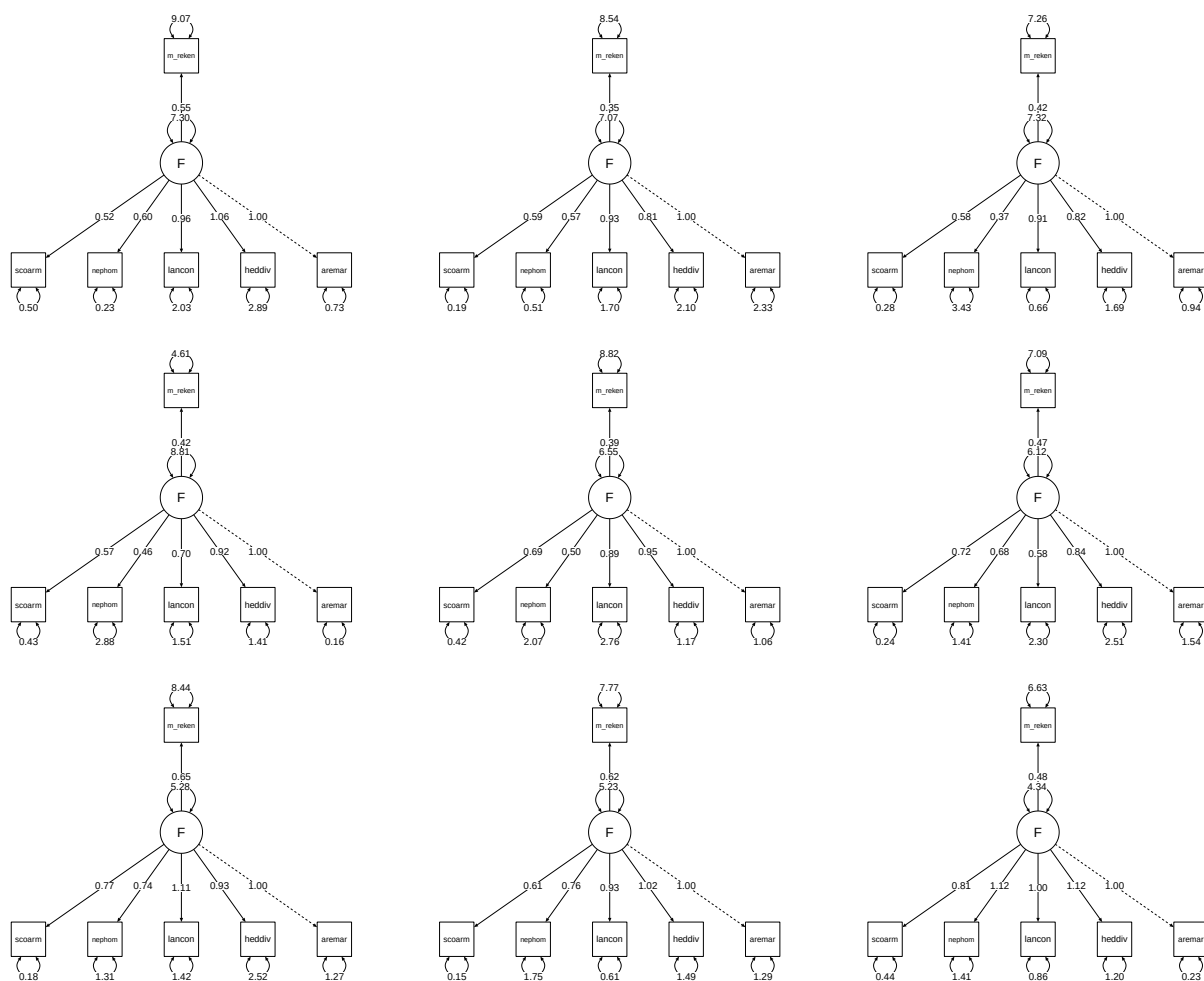


Figuur 13.2. SEM van de aantallen Kanoeten per virtuele HVP als functie van de latente variabele F (foerageerpotentieel) voor de jaren 2008-2014 en 2019-2020; ieder deel figuur betreft een jaar (linksboven is 2008 en rechtsonder is 2020). De getallen tussen F en de prooien zijn de factor loadings (standaardfouten zijn hier niet gegeven). De getallen die op de pijlen tussen F en m_reken (aantal vogels) staan, zijn de regressie coëfficiënten van de foerageerpotenties op het aantal vogels. De getallen die bij de tweekoppige pijlen onder de prooien en boven F staan en boven m_reken staan, zijn de varianties behorende bij die variabele.

Tabel 13.2 Overall fit parameters voor de Kanoeten SEM.

	User Model	Baseline Model
Test statistic	747.014	2143.962
Df	396	495
P-waarde (Chi-sq)	0.000	0.000
RMSEA	0.172	
Comparative Fit Index (CFI)	0.787	

Rosse Grutto

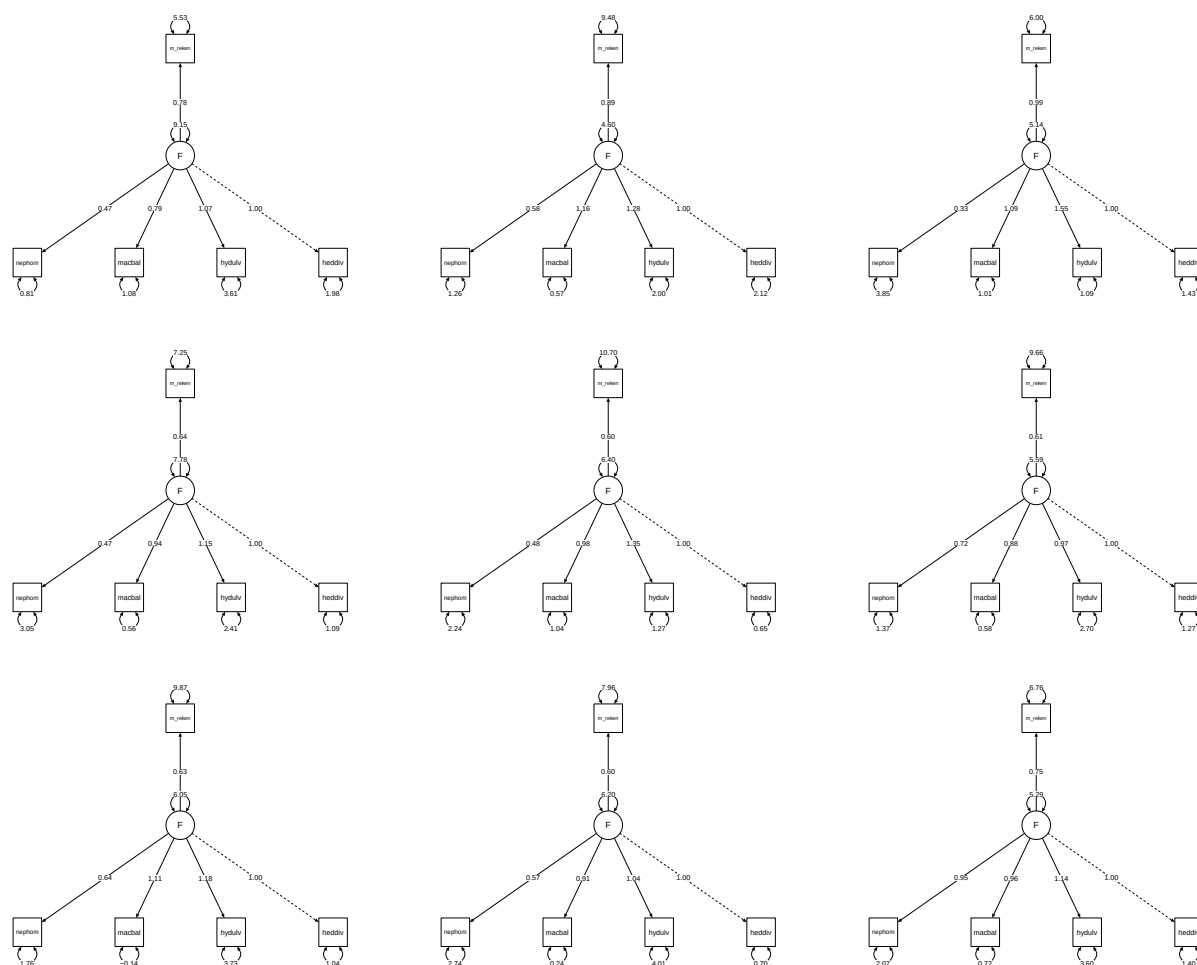


Figuur 13.3. SEM van de aantallen Rosse Grutto per virtuele HVP als functie van de latente variabele F (foerageerpotentieel) voor de jaren 2008-2014 en 2019-2020; ieder deel figuur betreft een jaar (linksboven is 2008 en rechtsonder is 2020). De getallen tussen F en de prooien zijn de factor loadings (standaardfouten zijn hier niet gegeven). De getallen die op de pijlen tussen F en m_reken (aantal vogels) staan, zijn de regressie coëfficiënten van de foerageerpotenties op het aantal vogels. De getallen die bij de tweekoppige pijlen onder de prooien en boven F staan en boven m_reken staan, zijn de varianties behorende bij die variabele.

Tabel 13.3. Overall fit parameters voor de Rosse Grutto SEM.

	User Model	Baseline Model
Test statistic	223.276	1670.609
Df	81	135
P-waarde (Chi-sq)	0.00	0.000
RMSEA	0.242	
Comparative Fit Index (CFI)	0.907	

Bonte strandloper



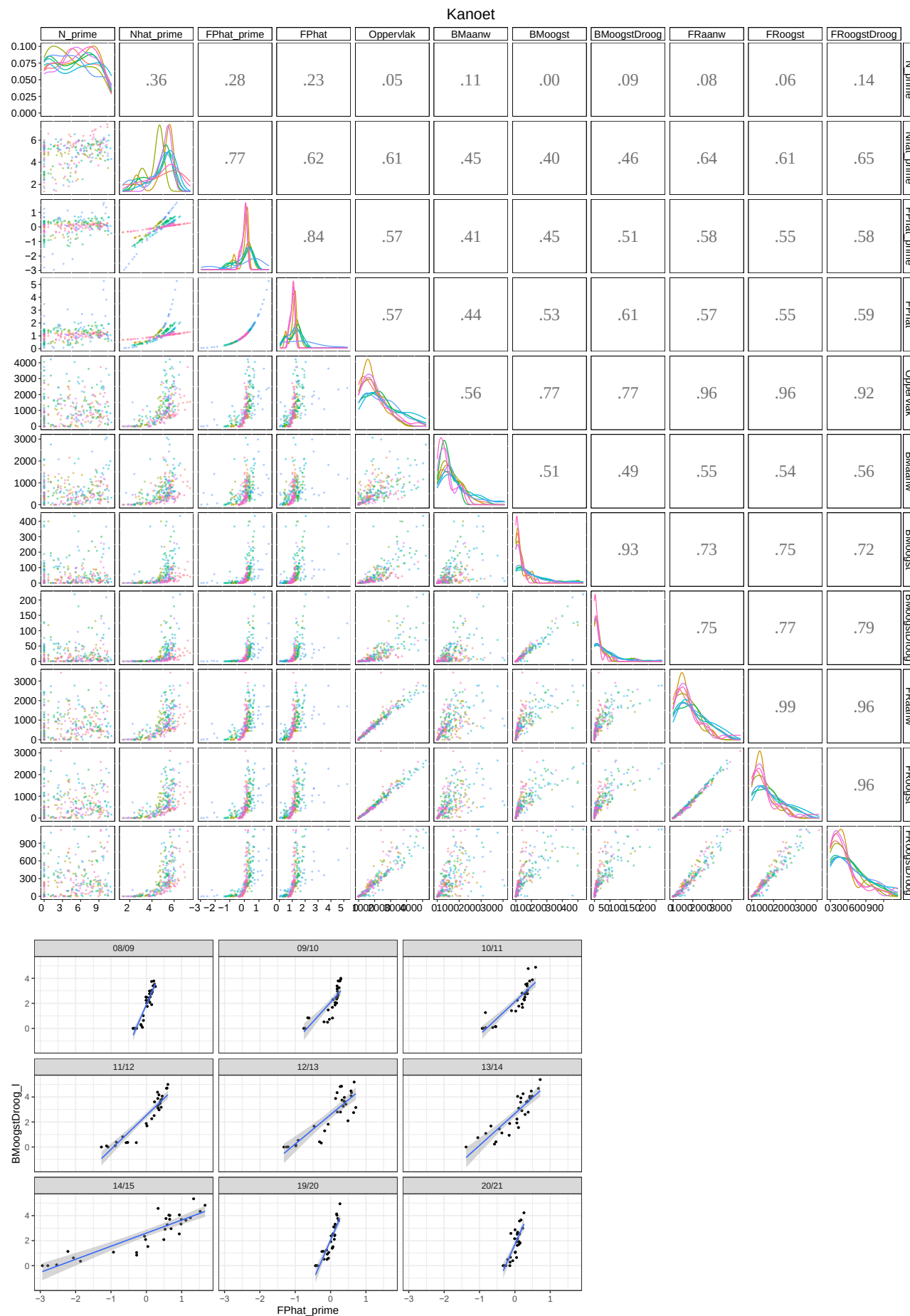
Figuur 13.4. SEM van de aantallen Bonte Strandloper per virtuele HVP als functie van de latente variabele F (foerageerpotentieel) voor de jaren 2008-2014 en 2019-2020; ieder deel figuur betreft een jaar (linksboven is 2008 en rechtsonder is 2020). De getallen tussen F en de prooien zijn de factor loadings (standaardfouten zijn hier niet gegeven). De getallen die op de pijlen tussen F en m_reken (aantal vogels) staan, zijn de regressie coëfficiënten van de foerageerpotenties op het aantal vogels. De getallen die bij de tweekoppige pijlen onder de prooien en boven F staan en boven m_reken staan, zijn de varianties behorende bij die variabele.

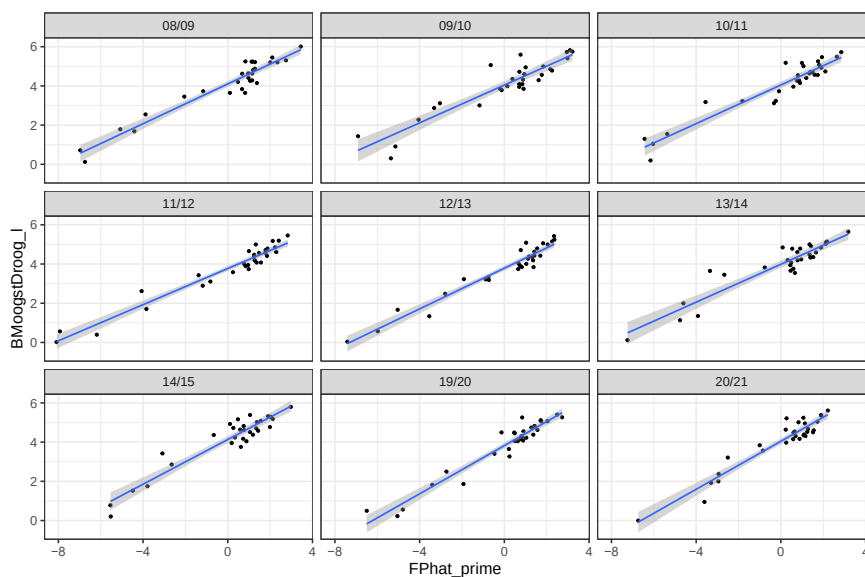
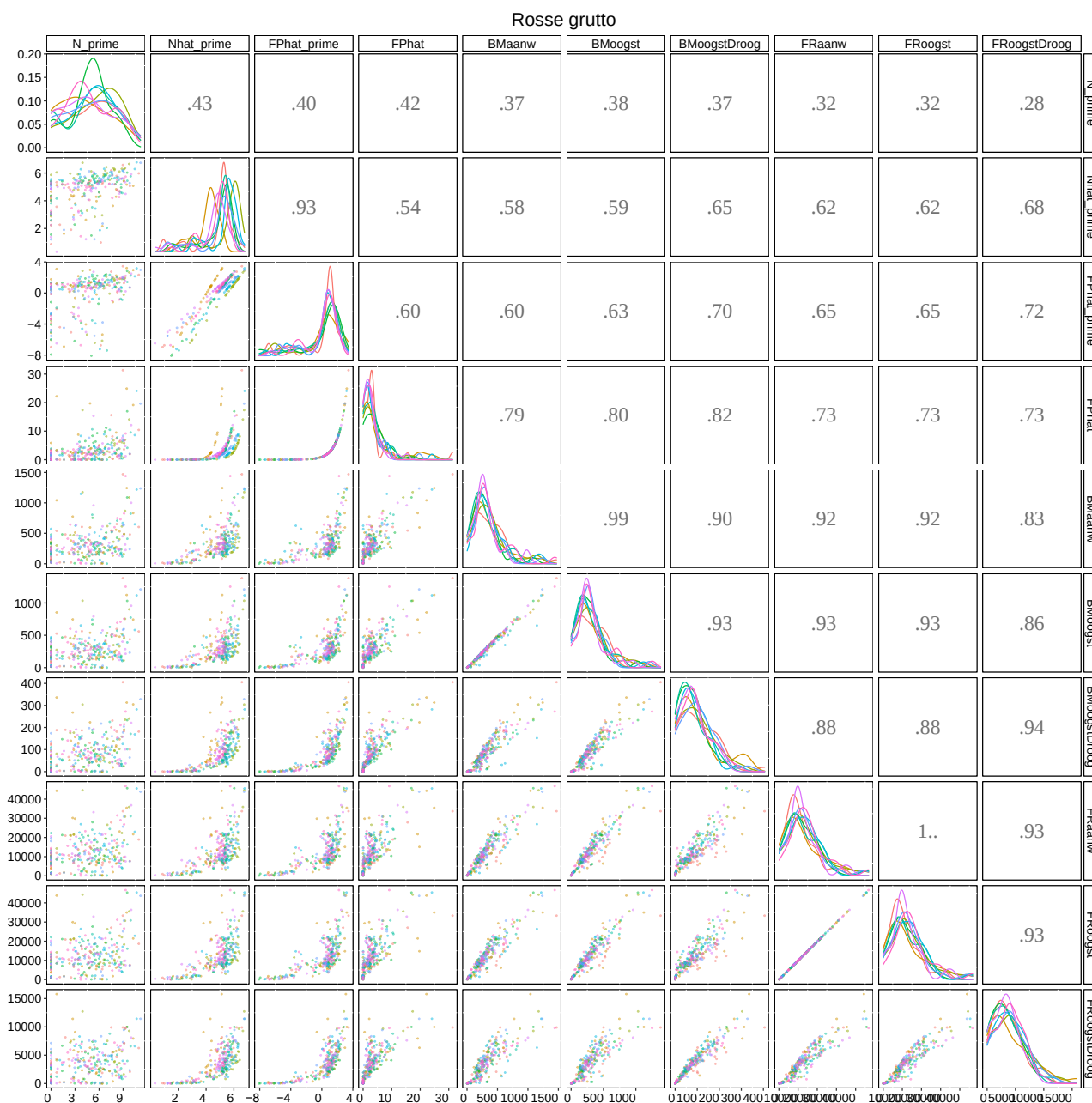
Tabel 13.4. Overall fit parameters voor de Bonte Strandloper SEM.

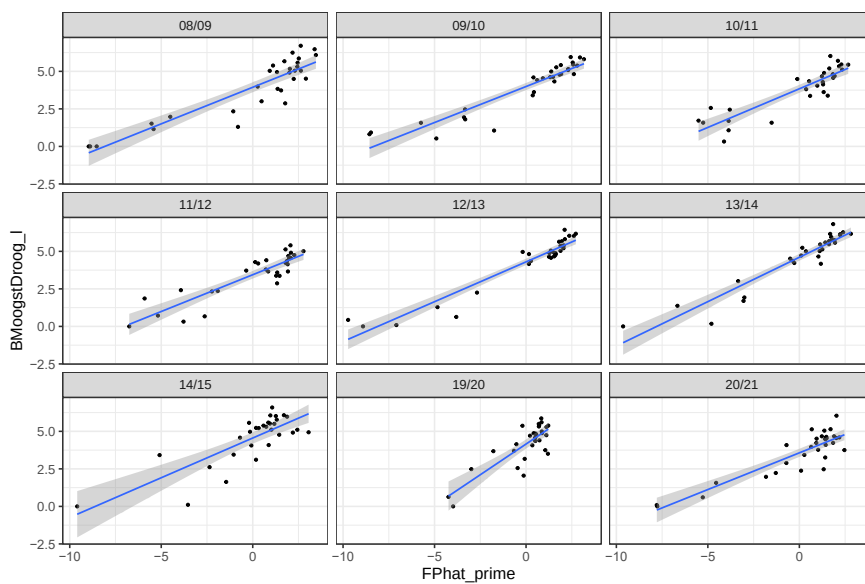
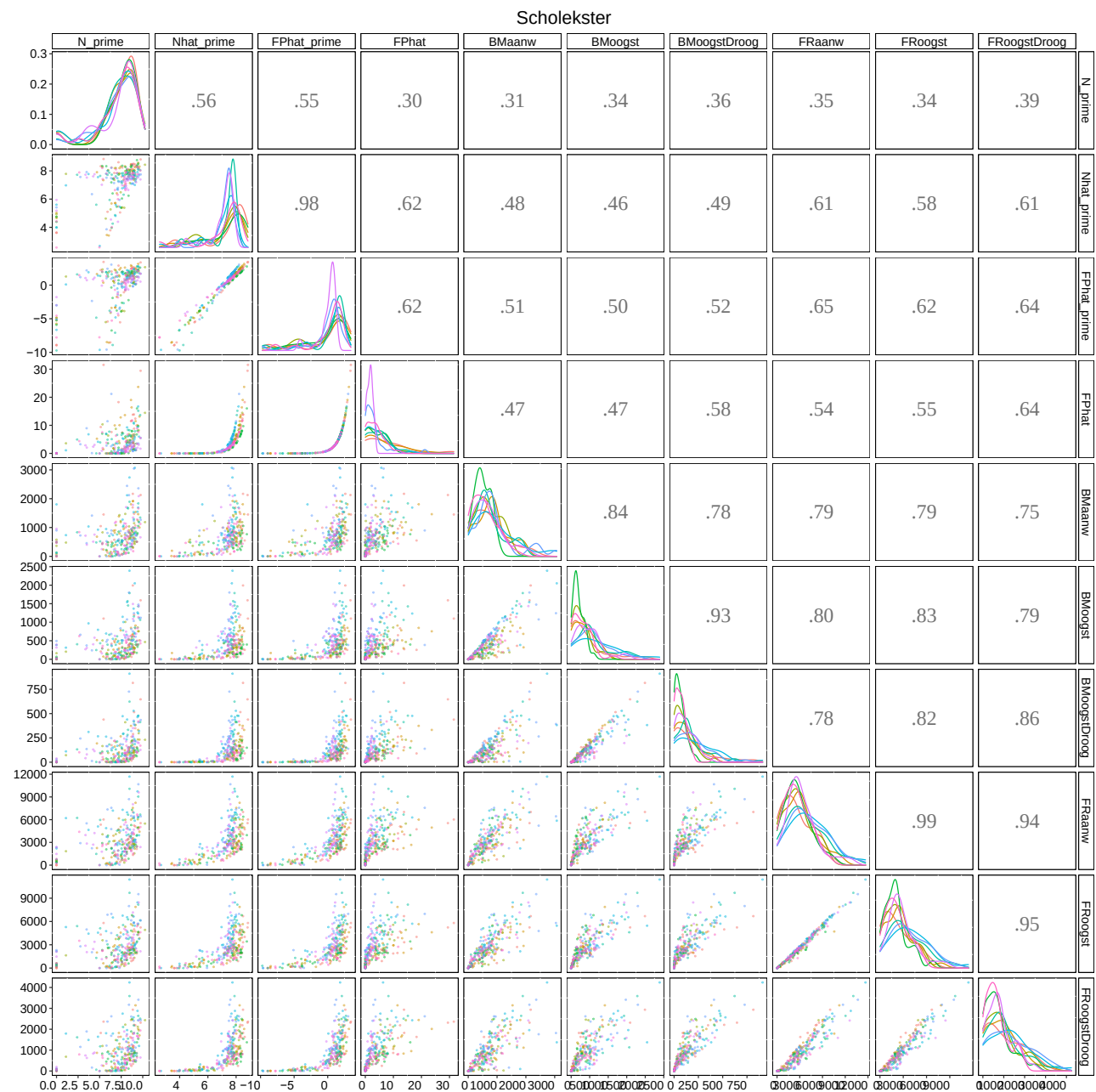
	User Model	Baseline Model
Test statistic	96.640	1112.789
Df	45	90
P-waarde (Chi-sq)	0.000	0.000
RMSEA	0.196	
Comparative Fit Index (CFI)	0.95	

Bijlage 3. Samenhang tussen de vogelaantallen, sem en wadmap-proxies

Figuren vergelijking uitkomsten Wadmap en SEM voor Kanoet, Rosse Grutto en Scholekster. Figuren voor Bonte Strandloper zijn te vinden in paragraaf 9.5; zie de bijschriften van Figuur 9.9 en Figuur 9.10.

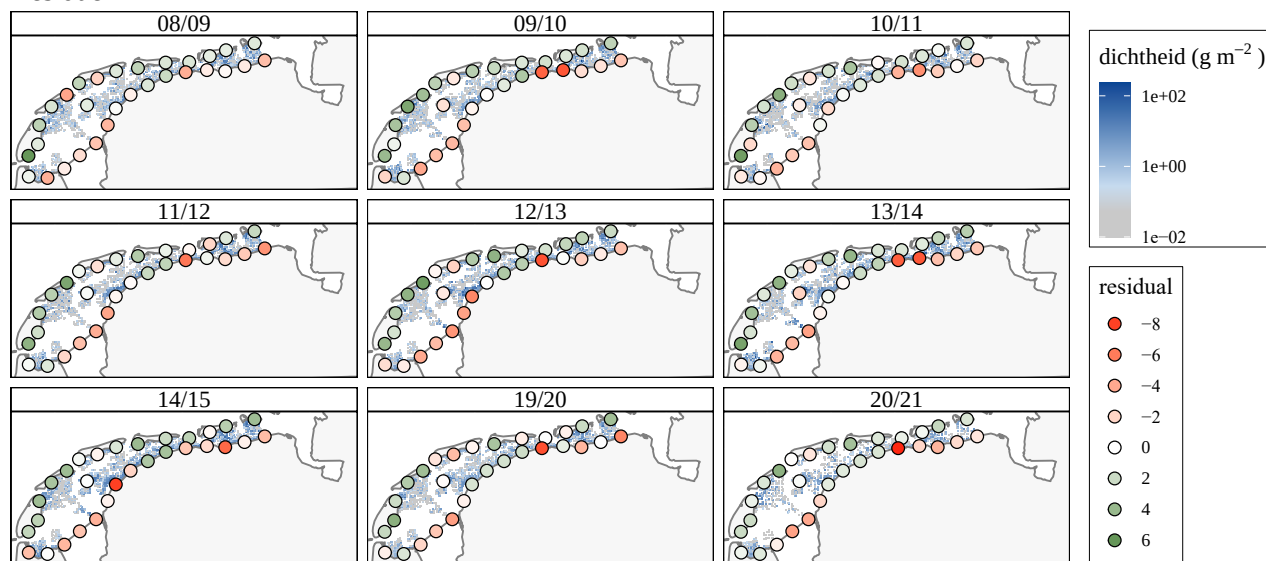




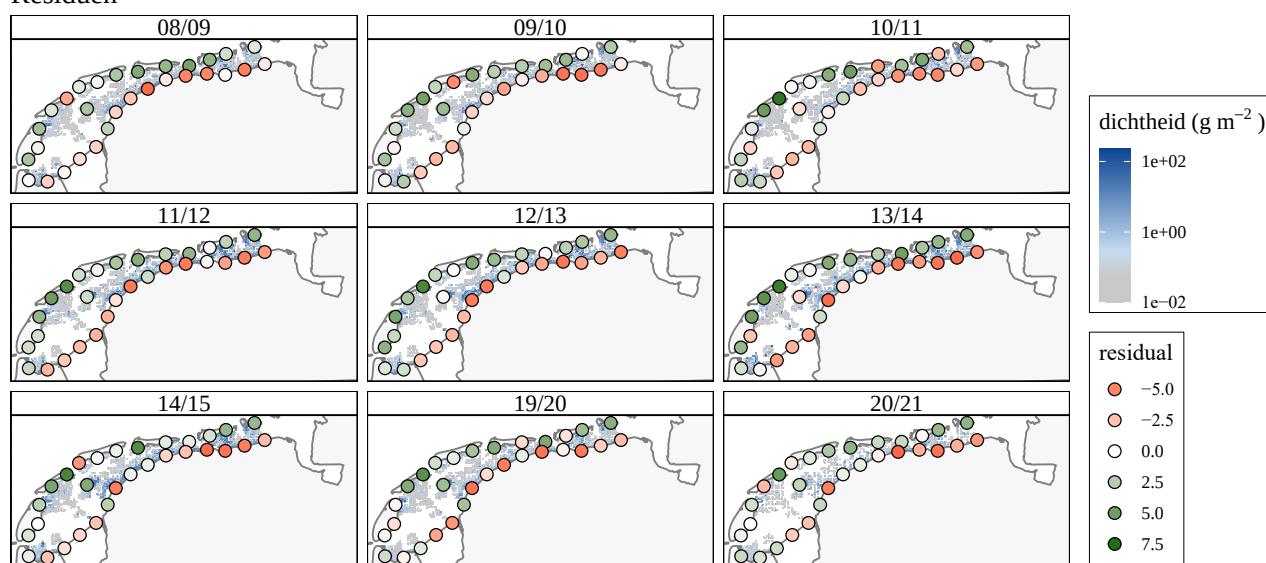


Bijlage 4. Overzicht van de mismatch tussen de verwachte aantallen vogels en het voedsel

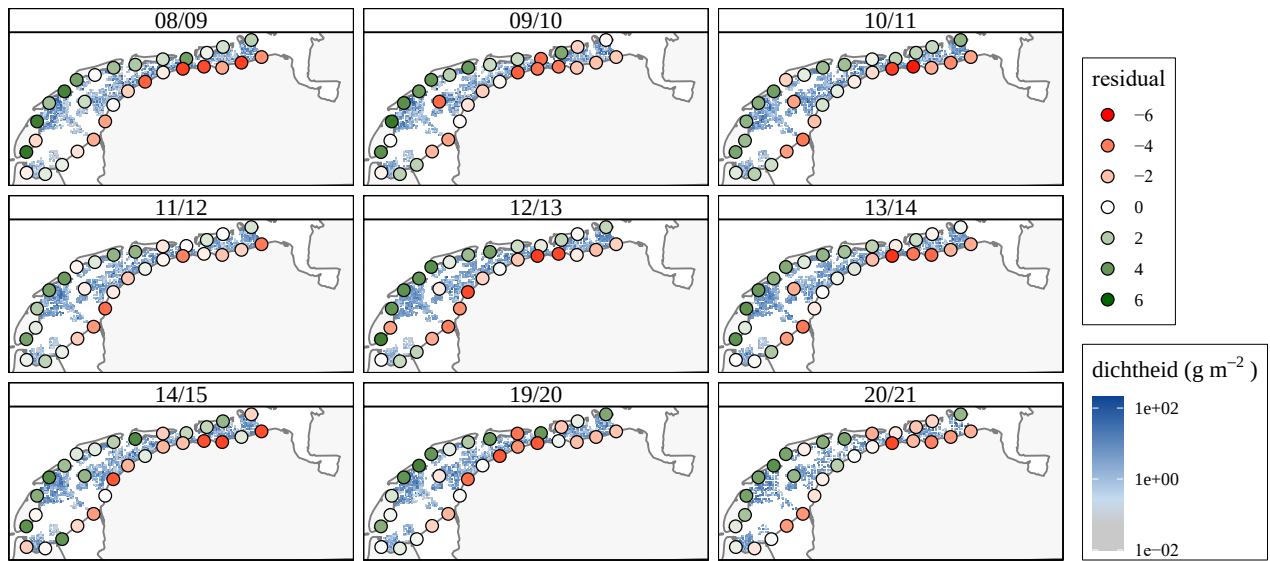
Residuen



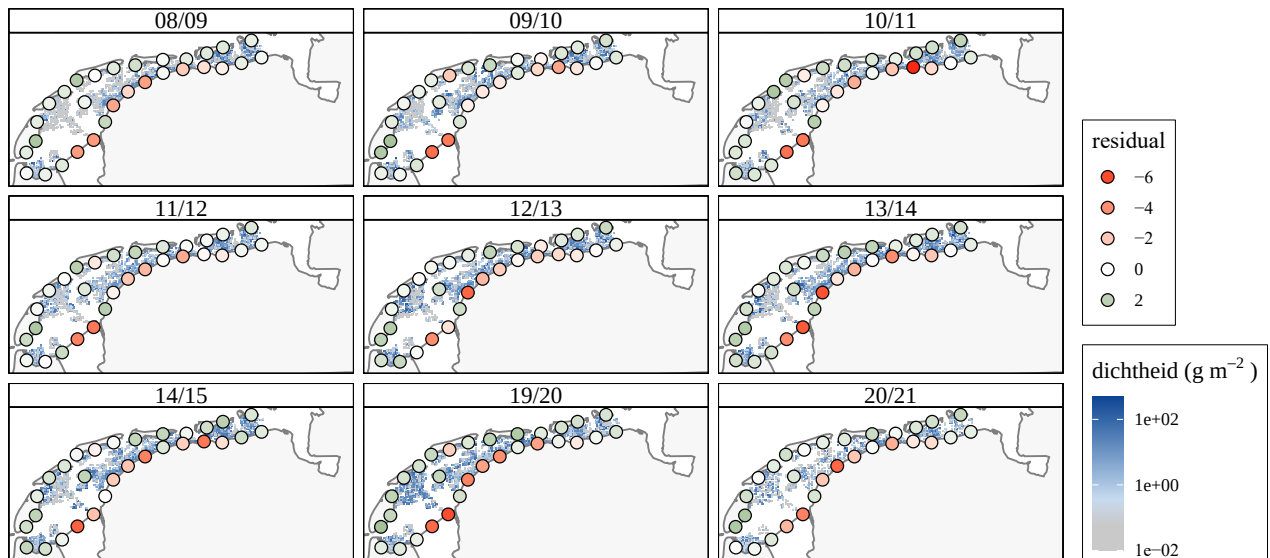
Residuen



Residuen

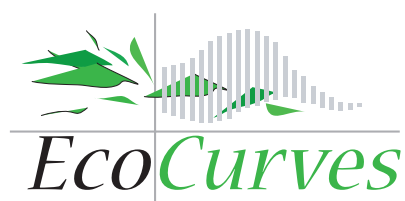


Residuen





Dit rapport is samengesteld in opdracht van de Nederlandse Aardolie Maatschappij



Sovon Vogelonderzoek Nederland

Postbus 6521
6503 GA Nijmegen
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen
T (024) 7 410 410

E info@sovon.nl
I www.sovon.nl



WAGENINGEN UR
For quality of life