

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

Rapportage t/m  
monitoringjaar 2023



Sjoerd Duijns  
Karin Troost  
Erik van Winden  
Kees Rappoldt  
Jeroen Nienhuis  
Hans Schekkerman  
Eelke Folmer

Sovon-rapport 2024/16



## Colofon

© Sovon Vogelonderzoek Nederland 2024

Dit rapport is samengesteld in opdracht van de NAM

*Wijze van citeren:* Wijze van citeren: Duijns, S., Troost K., van Winden E., Rappoldt K., Nienhuis J., Schekkerman H. & Folmer, E.O. 2024. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2023. Sovon-rapport 2024/16. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

*Foto's:* Harvey van Diek, Hans Schekkerman

*ISSN-nummer:* 2212 5027

Sovon Vogelonderzoek Nederland

Toernooiveld 1

6525 ED Nijmegen

*e-mail:* [info@sovon.nl](mailto:info@sovon.nl)

*website:* [www.sovon.nl](http://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 en/of opdrachtgever.

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

## Rapportage t/m monitoringjaar 2023

Sjoerd Duijns - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Karin Troost - Wageningen Marine Research

Erik van Winden - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Kees Rappoldt - EcoCurves

Jeroen Nienhuis - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Hans Schekkerman - Sovon Vogelonderzoek Nederland

Eelke O. Folmer - Ecospace

Sovon-rapport 2024/16

Dit rapport is samengesteld in opdracht van de NAM  
(Sovon project S2021.169)



# Inhoud

1	Samenvatting	6
2	Inleiding	8
3	Selectie vogelsoorten	10
4	Beslisschema	12
5	Monitoring data	14
5.1	Onderzoeksgebied	14
5.2	Hoogtekaart	14
5.3	Lodingen Rijkswaterstaat	14
5.4	LiDAR	14
5.5	Waterstanden	15
5.6	Bodemdieren	15
5.6.1	SIBES	15
5.6.2	WOT litorale surveys waddenzee	15
5.7	Vogeltellingen	16
6	Wadmap: van benthos naar proxy	17
6.1	Algemeen	17
6.2	Berekeningswijze Wadmap	17
6.3	Voedseleecologie vogels	18
6.3.1	Functionele respons	18
6.3.2	Prooikeuze	18
6.3.3	Voedselbehoefte en beschikbare foerageertijd	20
6.4	Berekende proxies	20
7.	Structural Equation Modelling - SEM Methodiek	22
7.1	Constructie dataset - linken van aantallen met droogvalduur en benthos	22
7.2	Beschrijving SEM methodiek	22
7.3	Voedselaanbod door het jaar heen	23
7.3.1	Beschikbaarheid en bereikbaarheid	23
7.3.2	Vorbereiding data per soort	24
8.	Resultaten monitoring	26
8.1	Ontwikkelingen Waddenzee	26
8.2	Droogvallende mosselbanken	26
8.3	Ontwikkelingen bodemdieren Waddenzee	26
8.4	Voedselaanbod Pinkegat-Zoutkamperlaag	27
8.4.1	Schelpdieren	27
8.4.2	Kreeftachtigen	28
8.4.3	Wormen	28
8.5	Vogels	29
8.5.1.	Bergeend	29
8.5.2	Pijlstaart	32
8.5.3	Scholekster	34
8.5.4	Kluut	37
8.5.5	Zilverplevier	39
8.5.6	Bontbekplevier	42
8.5.7	Kanoet	45
8.5.8	Drieteenstrandloper	48
8.5.9	Bonte Strandloper	50

8.5.10 Rosse Grutto	53
8.5.11 Wulp	56
8.5.12 Tureluur	59
8.5.13 Steenloper	61
9 Resultaten en discussie SEM Methodiek	64
9.1 Scholekster biomassa	64
9.2 Scholekster SEM resultaten	66
9.3 Uitkomsten beslisschema SEM	68
9.4 Verschil in aanwezige en geschatte vogels	69
9.5 Analyse van de latente variabele in het MLV gebied	69
10 Algemene discussie en conclusies	71
10.1 Signaleringsmonitoring & signalering	71
10.2 Ecologische verklaringen van waargenomen veranderingen	73
10.2.1 Drukfactoren en hun effect(en)	74
10.2.2 Voedsellandschap	74
10.2.3 Kwaliteit van de HVP	75
10.2.4 Verstoringslandschap	76
10.2.5 Droogvalduur en bodemdaling in het studiegebied	76
11 Aanbevelingen	80
Literatuur	81
Bijlage I – Trends in de proxies	88
Bijlage II – Trend in SEM proxy <i>Nhat</i>	93
Bijlage III – Trend in SEM proxy <i>Fp</i>	97

# 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 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 (benaderingen) 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.

Naast deze aanpak is vanaf 2021 de evaluatie uitgebreid met een nieuwe analysetechniek, namelijk structurele vergelijkingsmodellering, 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 geanalyseerd. Het doel van SEM is om 'ruwe' correlaties tussen direct waargenomen variabelen zoals beschikbaarheid en kwaliteit van voedsel en aantallen vogels te verklaren. In deze rapportage is deze analyse verder ontwikkeld door de droogvalduur net als in Wadmap in het model mee te nemen; in de vorige versie werd gebruik gemaakt van een enkele droogvalduurkaart gebaseerd op het gemiddelde over drie jaren. Bovendien zijn gebieden waarbinnen geanalyseerd

wordt anders gekozen, en gebaseerd op een kaart van de relatie tussen HVP's en laagwaterfoerageergebieden in de Nederlandse Waddenzee. Daarnaast zijn ook dezelfde 13 soorten vogels geanalyseerd als in de Wadmap proxy benadering, om een goed vergelijk tussen de verschillende methoden mogelijk te maken. Daarom is naast het huidige beslisschema een SEM versie toegevoegd.

Het zwaartepunt van dit rapport over de monitoring t/m het monitoringjaar 2023 betreft vooral nog 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 prooilijst, welke jaarlijks geëvalueerd wordt. Beide methoden (Wadmap en SEM) worden geëvalueerd op eenduidigheid bij het doorlopen van het beslisschema.

Daarnaast wordt voor elk van de 13 onderzoeksoorten het aantalsverloop in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag over de periode 1994/1995 – 2022/2023 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 1994/1995) en voor de korte termijn (vanaf 2011/2012).

## Conclusies rapportagejaar 2023

Toepassing van het beslisschema op de resultaten t/m monitoringjaar 2023 leidt tot de volgende conclusies:

- Voor 26 onderzochte soort-seizoen combinaties luidt de conclusie dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling.
- Voor 5 soorten (Bergeend, Kluut, Kanoet, Steenloper en Bontbekplevier), wijkt de ontwikkeling van de aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag in *positieve* zin af van de aantalsontwikkeling elders (overige delen Nederlandse Waddenzee, Duitse en Deense Waddenzee).
- Voor 4 soorten (Zilverplevier, Rosse Grutto, Tureluur en Wulp), wijkt de ontwikkeling van de aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag in *negatieve* zin af van de aantalsontwikkeling elders (overige delen Nederlandse Waddenzee, Duitse en Deense Waddenzee).
- Voor 2 soort-seizoen combinaties (Scholekster in september en januari) vertoonde een gevalideerde proxy voor draagkracht (*BMaanw*) een negatieve trend. Omdat de negatieve trend van aantallen in het Pinkegat en Zoutkamperlaag niet verschilde met de trend elders, is in het beslisschema

geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn voor negatieve effecten van bodemdaling.

- Voor 16 soort-seizoen combinaties is er geen gevalideerde proxy voor draagkracht voorhanden, maar waren de proxies onderling sterk gecorreleerd en was er geen sprake van een negatieve ontwikkeling van de gezamenlijke trend in de proxies.

In vergelijking met de voorgaande rapportage (Duijns *et al.* 2023), waarin de Pijlstaart als 'geen uitspraak mogelijk' uit het beslisschema kwam, is er in deze rapportage voor geen soort een aanwijzing voor bodemdalingseffecten gevonden.

De SEM analyse is uitgebreid naar alle soorten en laat zien dat de voedselbeschikbaarheid niet bij alle soorten de aantallen vogels in de verschillende deelgebieden even goed kan verklaren. Dit laatste geldt met name bij soorten met een breed prooienspectrum, en soorten die in grote groepen foerageren.

Voor 2 soort-seizoen combinaties (Scholekster in september en januari) vertoonde de SEM proxy een negatieve trend, net zoals bij de Wadmap methode. Er zijn nog geen verschillen in trends in het Pinkegat en Zoutkamperlaag met de trends elders, maar deze signalering is wel belangrijk. Net als in het beslisschema van Wadmap, is in het beslisschema van de SEM geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn voor negatieve effecten van bodemdaling.

### Adviezen Auditcommissie 2023

De Auditcommissie - onderdeel van de Commissie voor de milieu effect rapportage - komt in haar evaluatie van het meest recente monitoringrapport (Duijns *et al.* 2023) tot de volgende aanbeveling (Auditcommissie 2023):

**De Auditcommissie adviseert nog een extra stap in het schema in te bouwen wanneer er bij het ontbreken van duidelijke trends in vogelaantallen en draagkracht wordt geconcludeerd dat er 'geen uitspraak mogelijk' is, om zodoende toch tot een uitspraak te komen.**

De Auditcommissie is van mening dat op basis van eerdere resultaten van het monitoringsprogramma echter wel degelijk mogelijk en ook nodig een uitspraak te doen over een al dan niet optredend effect. Uit de voorgaande rapportages blijkt dat een analyse van mogelijke oorzaken tot de conclusie leidt dat geen effect van bodemdaling optreedt. De Auditcommissie adviseert deze stappen zichtbaar te maken in het beslisschema.

Onze reactie:

**De onderzoekers begrijpen de wens van de commissie, maar zijn van mening dat niet altijd met zekerheid is te concluderen dat een effect van bodemdaling op de aantallen vogels aantoonbaar is, gezien de complexiteit en dynamiek van het systeem. Echter, we zijn wel van mening dat het huidige beslisschema geëvalueerd dient te worden en stellen voor dit in de aankomende 6-jaarlijkse evaluatie te doen. Te meer, omdat de huidige Wadmap aanpak wellicht een minder prominente rol krijgt in de analyse, gezien de stappen die zijn gezet met de SEM. Daarnaast is het goed mogelijk dat een andere parameter dan alleen de aantalsontwikkeling van de vogels, de eerste stap in het beslisschema krijgt. Dit willen we graag toelichten en bespreken met de Auditcommissie.**

## 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).

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 destijds 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.

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

1. **Opp**: het areaal geschikt foerageerhabitat op basis van de berekende opnamesnelheid van voedsel en een energetisch bepaalde minimaal benodigde opnamesnelheid van de betrokken vogelsoort.
2. **BMaanw**: de aanwezige biomassa aan prooidier-soorten die deel uitmaken van het 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 oppervlakte waar de kritische opnamesnelheid gehaald wordt, d.w.z. waar het voedsel oogstbaar is
7. **FROogstDr**: de berekende opnamesnelheden, gesommeerd over de oppervlakte 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 (maanden) in het jaar. In totaal dus 26 soort-seizoen combinaties. Een belangrijke aanname is dat voedsel de allesbepalende factor is in het bepalen van de draagkracht van de Waddenzee voor wadvogels.

Voor elk van de 13 onderzoeksoorten wordt het aantalsverloop in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag over de periode 1994/1995 – 2022/2023 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 1994/1995) en voor de korte termijn (vanaf 2011/2012).

Naast deze aanpak is vanaf 2021 de evaluatie uitgebreid met een nieuwe analysetechniek, namelijk structurele vergelijkingsmodellering, 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 zoals aantallen vogels en beschikbaar benthos te verklaren. Een SEM omvat de constructie van een theoretisch model, waarbij de (veronderstelde) causale verbanden 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.

Het zwaartepunt van dit rapport over de monitoring t/m het monitoringjaar 2023 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 prooijst, welke jaarlijks geëvalueerd wordt.

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.

Ook wordt een extra beslisschema toegevoegd aan de reeds bestaande methodiek, om de uitkomsten van de SEM analyse te doorlopen om een conclusie te kunnen nemen over mogelijke effecten van de bodemdaling door gaswinning uit de MLV-velden. Om beide methoden te vergelijken is gekozen het beslisschema alleen aan te passen met de relevante output van de SEM. Met andere woorden, waar eerder de proxies geëvalueerd worden op trends, is dit in de huidige rapportage ook gedaan met de geschatte latente variabele 'foerageerpotentieel' (FP).

### 3 Selectie vogelsoorten

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

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.

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. Daarnaast laten een recent onderzoek zien, dat er reeds een klein, maar significant verschil, in gemiddelde korrelgrootte is aangetoond in het MLV gebied over een periode van 12 jaar, wat tot een verandering in samenstelling van bodemdieren laat zien (de la Barra *et al.* 2023), maar niet in biomassa. Helaas zijn er geen gebied dekkende gegevens beschikbaar over de situatie van voor de gaswinning begon.

Kwelders kunnen vaker overstromen, 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 (van de Pol *et al.* 2010a, Bailey *et al.* 2017, 2019, Duijns *et al.* 2024). 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 drooggevallen 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 (Ens & Kats 2004, Cervenc *et al.* 2015), 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 (Jouta *et al.* 2018, Enners *et al.* 2020). 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 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 draagkracht te

ontwikkelen. Voor 13 soorten zijn hiertoe de eerste stappen gezet (Ens *et al.* 2015b, Ens *et al.* 2016), en vervolgens gebruikt in vervolgrapportages. 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 bodemdalingsgebied (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					
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	betnhos	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	

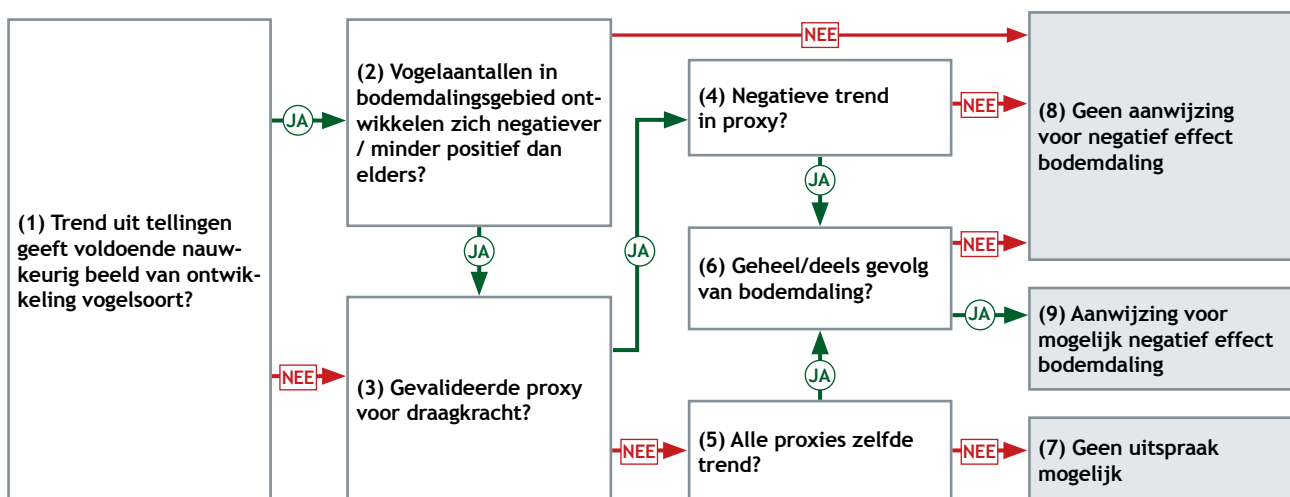
## 4 Beslisschema

De jaarlijkse rapportages van de Auditcommissie hebben ertoe geleid dat het huidige beslisschema stapsgewijs is aangepast, naar de huidige vorm (Tabel 4.1 en als schema in Figuur 4.1). Zo werd eerder de wens uitgesproken om zowel de vogeltellingen als de informatie over draagkracht beide te benutten en te interpreteren in het licht van de gaswinning (Auditcommissie 2016). Een verschil met het door de NAM gehanteerd beslisschema is dat bij het Sovon beslisschema nog een 3e mogelijkheid is, namelijk geen uitspraak mogelijk. De

Commissie beoordeelde echter dat er wel een uitspraak mogelijk moet zijn (Auditcommissie 2023). Zoals in de samenvatting is beschreven, begrijpen we deze wens, maar zijn van mening dat niet altijd met zekerheid is te concluderen dat een effect van bodemdaling op de aantallen vogels aantoonbaar is, gezien de complexiteit en dynamiek van het systeem. Desalniettemin stellen we voor dat het huidige beslisschema in de aankomende 6-jaarlijkse evaluatie te evalueren en aan te passen in overleg met Auditcommissie.

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.

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	



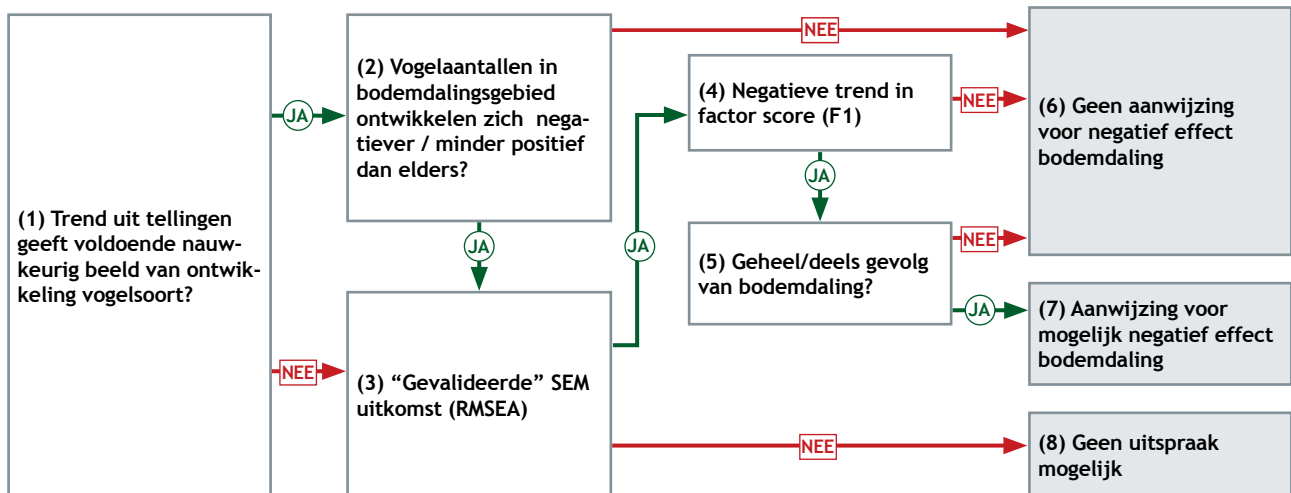
Figuur 4.1. Het beslisschema hoe de monitoring en resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels. Dit schema is nodig om het “Hand aan de kraan”-principe mogelijk te maken. In open boxen staan vragen over de monitoringresultaten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

Daarnaast is het huidige beslisschema aangepast om de resultaten uit de SEM te evalueren op een vergelijkbare manier. Om beide methoden te vergelijken is gekozen het beslisschema alleen aan te passen met de relevante output van de SEM. Met andere woorden, waar eerder

de proxies geëvalueerd werden op trends (stap 3, 4 en 5 in het huidige schema), is dit hier voor de geschatte latente variabele ‘foerageerpotentieel’ (FP) gedaan (Tabel 4.2 en als schema in Figuur 4.2).

Tabel 4.2. 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.

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 → 7
3	Is er sprake van een gevalideerde SEM uitkomst?	Y → 4 N → 6
4	Vertoont de factor score F1 een negatieve trend?	Y → 5 N → 7
5	Is de negatieve trend in de F1 geheel of deels het gevolg van bodemdaling?	Y → 8 N → 7
6	Geen uitspraak mogelijk	
7	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling	
8	Aanwijzing voor mogelijk negatief effect bodemdaling	



Figuur 4.2. Het beslisschema hoe de monitoring en resultaten uit de Structural Equation Modelling (SEM) 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 monitoring-resultaten 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 (e.g. Ens *et al.* 2021b, Duijns *et al.* 2022, Duijns *et al.* 2023). Waar nodig wordt hier kort aanvullende informatie bij gegeven.

### 5.1 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied betreft de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag. Figuur 5.1 is een LiDAR opname uit 2022 van het gehele Friesche Zeegat, waaronder de komberging van het Pinkegat en Zoutkamperlaag.

### 5.2 Hoogtekaart

Jaarlijks wordt in opdracht van de NAM de hoogte van de wadplaten in Pinkegat en Zoutkamperlaag bepaald met LiDAR (zie ook Figuur 5.1). De laagstgelegene delen van het wad worden daarbij niet altijd gekarteerd. Die gaten in de hoogtemeting worden opgevuld met de Waddenzee-brede hoogtemetingen van Rijkswaterstaat.

### 5.3 Lodingen Rijkswaterstaat

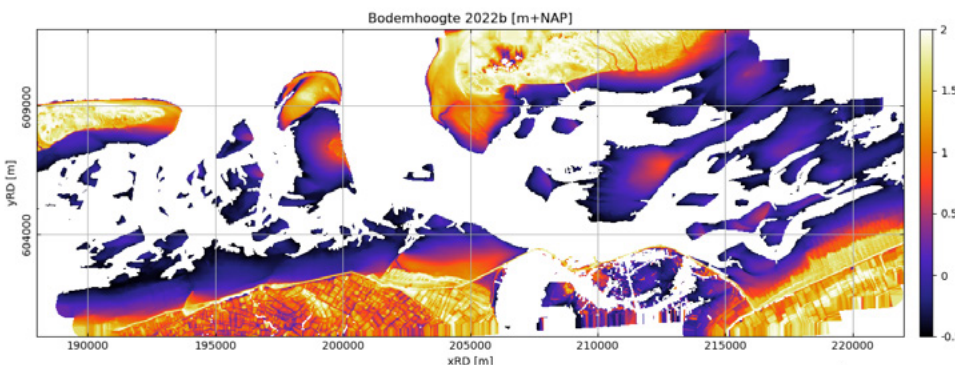
In de loop van zes jaar worden alle delen van de Waddenzee gekarteerd door Rijkswaterstaat, voornamelijk met lodingen vanaf peilschepen. Voor de periode 2006-2012 wordt in de berekeningen de hoogtekaart cyclus5 (Elias & Wang 2013) gebruikt om de gaten in de LiDAR metingen op te vullen. Voor de periode 2013-2020 wordt daarvoor de hoogtekaart 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.

### 5.4 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

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
2008 voorjaar	2010 voorjaar
2008 najaar/winter	2010 voorjaar
2009 voorjaar	2010 voorjaar
2009 najaar/winter	2010 voorjaar
2010 voorjaar	2010 voorjaar
2010 najaar/winter	2011 najaar
2011 voorjaar	2011 voorjaar
2011 najaar/winter	2011 najaar
2012 voorjaar	2011 voorjaar
2012 najaar/winter	2012 najaar
2013 voorjaar	2014 voorjaar
2013 najaar/winter	2013 najaar
2014 voorjaar	2014 voorjaar
2014 najaar/winter	2013 najaar
2015 voorjaar	2016 voorjaar
2015 najaar/winter	2016 najaar
2016 voorjaar	2016 voorjaar
2016 najaar/winter	2016 najaar
2017 voorjaar	2017 voorjaar
2017 najaar/winter	2017 najaar
2018 voorjaar	2018 voorjaar
2018 najaar/winter	2018 najaar
2019 voorjaar	2019 voorjaar
2019 najaar	2019 voorjaar
2020 voorjaar	2020 najaar
2020 najaar	2020 najaar
2021 voorjaar	2021 najaar
2021 najaar	2021 najaar
2022 voorjaar	2022 najaar
2022 najaar	2022 najaar
2023 voorjaar	2023 najaar
2023 najaar	2023 najaar



Figuur 5.1. Ligging van het Friesche zeegat, waarin onderzoeksgebied Pinkegat en Zoutkamperlaag zich bevinden. (Overgenomen uit Gawehn 2023).

kaarten voor het najaar van 2014 en 2015 zijn mislukt en vervangen door respectievelijk uit 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, en logischerwijs worden de berekeningen in dat jaar ook met de LiDAR kaart uit dat jaar gedaan (Tabel 5.1).

## 5.5 Waterstanden

De waterstandsmetingen zijn aangevuld met de metingen over de periode t/m december 2024. Voor interpolatie van waterstanden tussen stations is gebruik gemaakt van het programma InterTides (Rappoldt *et al.* 2014).

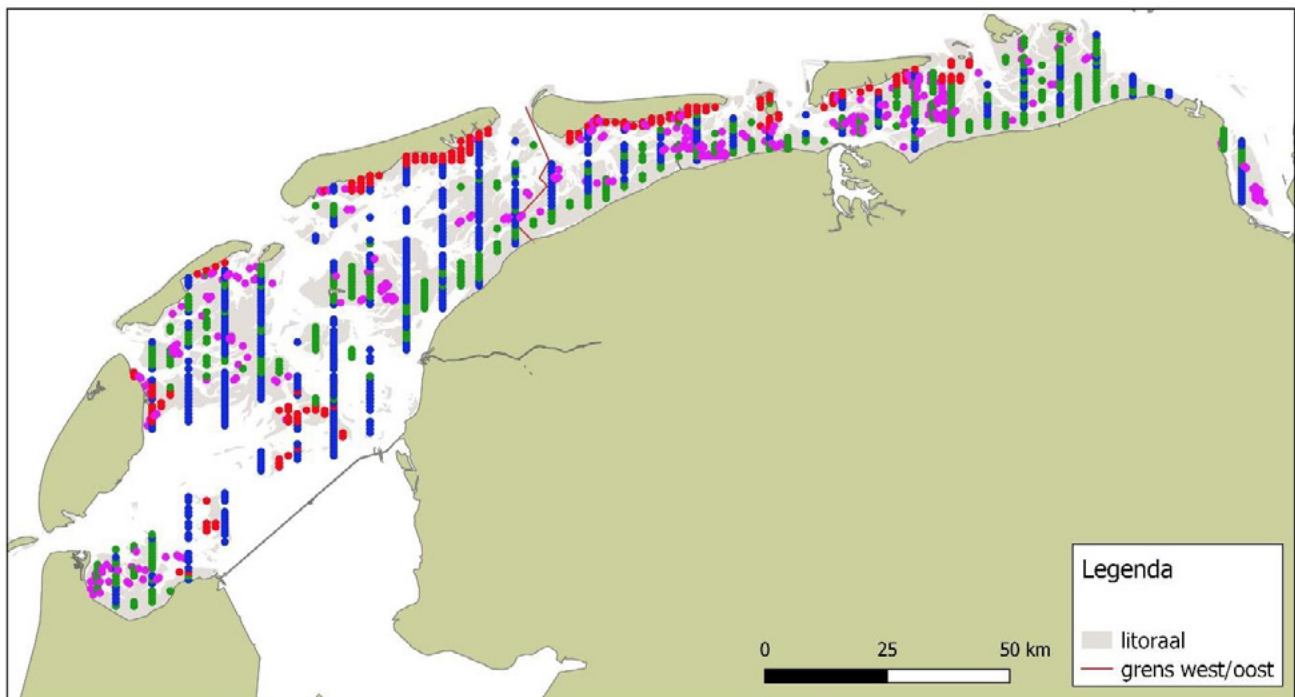
## 5.6 Bodemdieren

### 5.6.1 SIBES

Het NIOZ heeft de SIBES-monsters van het studiegebied (Pinkegat/Zoutkamperlaag) t/m het seizoen 2023 uitgewerkt. Daarnaast is data van het SIBES grid over de Waddenzee (Bijleveld *et al.* 2012) beschikbaar over de jaren 2008-2015 en 2019-2022, welke in vorige rapportage ook zijn gebruikt (Duijns *et al.* 2023).

### 5.6.2 WOT litorale surveys waddenzee

De WOT litorale schelpdiersurveys (bestanden van Kokkels en Mossels en contouren van mosselbanken, oesterbanken en gemengde banken; Figuur 5.2), die jaarlijks worden uitgevoerd door WMR, waren beschikbaar van 2008 t/m 2023 (Troost *et al.* 2022). Daarbij moet aangetekend worden dat de contouren van de schelpdierbanken uit 2022 en 2023 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.



Figuur 5.2. Overzicht van de mosselbanken, oesterbanken en gemengde banken, die jaarlijks worden verzameld in het kader van de WOT litorale schelpdiersurveys. Alle in 2021 bemonsterde stations zijn per stratum weergegeven in een andere kleur. De paarse punten liggen in mossel- en oesterbanken, de rode en groene in gebieden waar kokkelbanken verwacht worden, en blauwe liggen in het resterende gebied. Overgenomen uit Troost *et al.* 2022).

## 5.7 Vogeltellingen

Voor de analyse van de vogelaantallen konden de wintervogeltellingen van de Waddenzee tot en met de winter van 2023/2024 worden gebruikt. Op zowel de korte termijn (vanaf 2011/2012) als de lange termijn (vanaf 1994/1995) is de trend geassocieerd, zoals dat ook gebeurt in de meetnetten van het NEM (Figuur 5.3).

Beoordeling	Symbool	gemiddelde jaarlijkse verandering			Criteria (BI = betrouwbaarheidsinterval)	Omschrijving	
		0,95	1,00	1,05			
<b>sterke toename</b> (strong increase)	<b>++</b>				•—	ondergrens BI >1,05	sign. >5% toename/jaar (verdubbeling in 15 jaar)
<b>matige toename</b> (moderate increase)	<b>+</b>				•—	$1,00 < \text{ondergrens BI} \leq 1,05$	sign. toename, maar niet zeker of deze > 5% / jaar is
<b>stabiel</b> (stable)	<b>0</b>		•—		•—	BI omvat 1,00 maar ondergrens BI $\geq 0,95$ en bovengrens BI $\leq 1,05$	geen significante aantalsverandering
<b>matige afname</b> (moderate decline)	<b>-</b>	•—			•—	$0,95 \leq \text{bovengrens BI} < 1,00$	sign. afname, maar niet zeker of deze >5% / jaar is
<b>sterke afname</b> (steep decline)	<b>--</b>	•—			•—	bovengrens BI <0,95	sign. >5% afname/jaar (halvering in 15 jaar)
<b>onzeker</b> (uncertain)	<b>?</b>	•—			•—	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 5.3. 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.



## 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 rekt 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 toegekend 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. 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.

## 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:

$$IR = \frac{a * d}{b + d}$$

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 formule 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 prooisoorten potentieel voedsel zijn is voor elk van de geselecteerde vogelsoorten een uitgebreide literatuurstudie verricht (e.g. Ens *et al.* 2015b, Ens *et al.* 2016). 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:

- Stapelvoedsel. Dit zijn prooisoorten die met grote regelmaat het hoofdvoedsel van de populatie vormen.
- Aanvullende voedselbronnen. Dit zijn prooisoorten die regelmatig gegeten worden, maar zelden het hoofdvoedsel vormen.
- Sporadische voedselbronnen. Dit zijn prooisoorten 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 prooilijst), en (b) stapelvoedsel en aanvullende voedselbronnen (lange prooilijst).

Tabel 6.1. Prooikeuze van de onderzochte wadvogelsoorten op basis van een review van gepubliceerde literatuur (Ens et al. 2015b, Ens et al. 2016, Folmer et al. 2021). XX = Stapelvoedsel, prooisoorten die met grote regelmaat het hoofdvoedsel van de populatie vormen; X = Aanvullende voedselbronnen, dit zijn prooisoorten die regelmatig gegeten worden, maar zelden het hoofdvoedsel vormen. + = Sporadische voedselbronnen, dit zijn prooisoorten 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	Bontbekplevier	Bonte Strandloper	Tureluur	Steenloper
Witte dunschaal	<i>Abra alba</i>	X		+	X	X	+			XX	X	X
Tere dunschaal	<i>Abra tenuis</i>	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			+		XX	X	+	
Strandkrab	<i>Carcinus maenas</i>	+	+	X	XX	XX	+	XX	X		XX	XX
Kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	XX	+	+	XX	X	+	+		+	+	X
Slijkgarnaal	<i>Corophium volutator</i>		XX	X	+	X	+		X	X	XX	XX
Garnaal	<i>Crangon crangon</i>		+	+	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>		+				+					XX
Veelkleurige Zeeduizendpoot	<i>Hediste diversicolor</i>	X	XX	XX	+	XX	XX	XX	XX	XX	XX	X
Draadworm	<i>Heteromastus filiformis</i>		X	X			+		XX	X	+	
Wadslakje	<i>Hydrobia ulvae</i>		+	X	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
Marenzelleria	<i>Marenzelleria viridis</i>		X	X					XX	X	+	
Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	XX	+		XX			XX				
Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	XX		+	X	X	+	+		+	+	XX
Zandzager	<i>Nephtys hombergii</i>			X		X	XX		X	XX	XX	
Zandkokerworm	<i>Pygospio elegans</i>						+					
Wapenworm	<i>Scoloplos armiger</i>	+		XX		XX	XX		XX	X	X	
Platte Slijkgaper	<i>Scrobicularia plana</i>	XX	+		XX	X	+	X		X		
Tere platschelp	<i>Tellina tenuis</i>	X			X	X	+			XX		
kleine ongedetermineerde wormen'			X	X	+				XX	X	+	

### 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.

- Het van lichaamsgewicht afhankelijke 'basaalmetabolisme' (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.
- 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.

De gehanteerde schattingen voor gewicht, BMR en FMR staan in Tabel 6.2. De totale beschikbare foerageertijd voor een wadvogel is in het rekenmodel op 12 uur per etmaal gesteld, uitgaande van de aannamen dat alle voedsel in het intergetijdengebied wordt verzameld, dat dit habitat 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 minimaal benodigde opnamesnelheid van de betrokken vogelsoort. Dit is de proxy voor draagkracht zoals toegepast door Kraan *et al.* (2009).
2. **BMAanw**: de aanwezige biomassa aan prooidiersoorten die deel uitmaken van het dieet.
3. **BMoogst**: de oogstbare prooibiomassa. Dit is de biomassa prooidieren in gebieden waar de drempelwaarde 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 oppervlakte waar de kritische opnamesnelheid gehaald wordt, d.w.z. waar het voedsel oogstbaar is
7. **FROogstDr**: de berekende opnamesnelheden, gesommeerd over de oppervlakte waar de kritische opnamesnelheid gehaald wordt, en vermenigvuldigd met de lokale droogvalduur

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 <sup>1</sup>	125/150	96/109	jul	237	jan	386
Steenloper	110	87	aug	215	jan	297

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

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 2023. Daarbij zijn de volgende beslissingen genomen:

1. Berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de korte prooijst.
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 hoogwater-vluchtplaatsen statistisch te relateren aan het beschikbare voedsel op de nabijgelegen wadplaten. In dit hoofdstuk wordt eerst uitgelegd hoe een dataset met vogelaantallen en benthosdichtheden in de kolommen en in de rijen de observaties per deelgebied geconstrueerd is, en vervolgens wordt kort de SEM methodiek zelf kort besproken.

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

In voorgaande rapportages is gebruik gemaakt van 30 Virtuele HVP deelgebieden, waarop de analyse werd uitgevoerd (Duijns *et al.* 2022, Duijns *et al.* 2023). Deze aanpak had echter een belangrijke aanname, namelijk dat de getelde soorten ook daadwerkelijk in de vonoroi gebieden foerageren. Een ander aspect was dat er 30 resultaten per soort uitkomen, die individueel geïnterpreteerd moeten worden en het niet eenvoudig is om tot eenduidige conclusies te komen. In eerdere MLV rapportages is reeds gebruik gemaakt van een bestaande kaart, welke de laagwaterfoerageergebieden koppelt aan de hoogwatertelgebieden (Ens *et al.* 2017a), en hiervoor is nu ook gekozen, omdat deze gebieden de realiteit beter benaderen en de resultaten makkelijker geïnterpreteerd kunnen worden.

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

Deze sectie beschrijft hoe de aantallen vogels geteld binnen de 12 deelgebieden zijn gekoppeld aan de benthosdichtheden in het intergetijdengebied waar deze vogels worden geacht te foerageren. Voor deze dataset is deelgebied 12. Eems-Dollard niet meegenomen, conform eerdere rapportages (Duijns *et al.* 2022, Duijns *et al.* 2023). Per vogelsoort is de 'kwaliteit' van de deelgebieden in termen van nabijgelegen voedsel, berekend aan de hand van de volgende stappen:

Een grid met celgrootte 750 x 750 m werd over de hele Nederlandse Waddenzee gelegd om de abiotische variabele droogvalduur te koppelen aan prooidichtheid. 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 prooikeuze en de lengte van de prooien. Voor Scholekster, Kanoet en Steenloper worden ook de WMR mosselbank data (MosKok) gebruikt in de analyse. Omdat de verschillen tussen MosKok mosselpunten groot is, is een groot aantal monsters nodig om een betrouwbare schatting van de numerieke dichtheid en de biomassadichtheid binnen een mosselbank te verkrijgen. In plaats van het oppervlak mosselbank per gridcel 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 het asvrij drooggewicht (AVDG) en lengte van Mosselen (zie paragraaf 2.2.4 in Folmer *et al.* 2021), is de numerieke dichtheid en biomassadichtheid per gridcel berekend. Het totale AVDG per benthossoort en gridcel zijn berekend door individuele dichtheden te vermenigvuldigen met het oppervlak van een gridcel en vervolgens te sommeren.

Op basis van kennis van het gebruik van foerageergebieden van wadvogels in de Waddenzee en de aanname dat wadvogels vliegkosten tussen HVP's en foerageergebieden minimaliseren, zijn foerageergebieden gekoppeld aan de getelde HVP's binnen dit gebied (zie Ens *et al.* 2017a, Folmer *et al.* 2021 voor een discussie over deze aanname).

### 7.2 Beschrijving SEM methodiek

*Structural equation modelling* (SEM) is een statistische methode waarbij factor analyse gecombineerd kan worden met regressieanalyse (Bollen 2014). Bij factor analyse wordt een (*latente*) variabele opgebouwd uit een set variabelen (*indicatoren*) met gedeelde variantie-covariantie. Deze factor beschrijft de gedeelde variantie van de set variabelen. De *loadings* beschrijven de relatie tussen de factor en de indicatoren; hoe groter de *loading*, hoe sterker de relatie tussen de *factor* en de *indicator*. Met SEM is het mogelijk om de relatie tussen latente variabelen en andere gemeten variabelen te analyseren. Een belangrijk voordeel ten opzichte van multi-pele regressie is dat de effecten van individuele predictoren (biomassa van de benthossoorten) te beoordelen zijn via de factor loadings en dat eliminatie van predictoren niet nodig is.

In onderstaande analyses is het foerageerpotentieel een latente variabele ( $F$  samengesteld uit de indicatoren  $P_s$ ) en wordt het effect van op  $F$  het aantal vogels per deelgebied ( $N$ ) geschat. De relatie tussen de latente variabele  $F$  en de  $P_s$  kan in matrix notatie als volgt worden geschreven:

$$\begin{matrix} P_1 & \alpha_1 & 1 \\ [P_2] & [\alpha_2] & + [\lambda_{P_2}][F] = \alpha_p + \Lambda_p F \\ P_3 & \alpha_3 & \lambda_{P_3} \end{matrix}$$

en de relatie tussen  $N$  en  $F$  is:

$$N = \alpha_N + \Lambda_N F + \epsilon$$

$P_s$  is de totale gewogen prooi biomassa voor iedere benthos soort,  $\alpha_p$  is de intercept vector,  $\Lambda_p$  is de vector met factor loadings en  $F$  is de latente variabele foerageer potentieel. De coëfficiënt van  $\lambda_{P_1}$  is gelijkgesteld aan 1 en  $\lambda_{P_2}$  en  $\lambda_{P_3}$  worden geschat in relatie tot  $\lambda_{P_1}$ .  $\Lambda_N$  is de regressiecoëfficiënt die het effect  $F$  op  $N$  geeft.

Om een nauwkeurig beeld te krijgen van de ontwikkeling van de voedselsituatie per deelgebied worden de trends in  $F$  in detail beschouwd door tijdserieplots te beoordelen. Hierbij worden deelgebied Ameland en Friese kust Oost (deelgebied nummer 6 en 7 in Figuur 7.1) onderscheiden van de andere 10 deelgebieden.

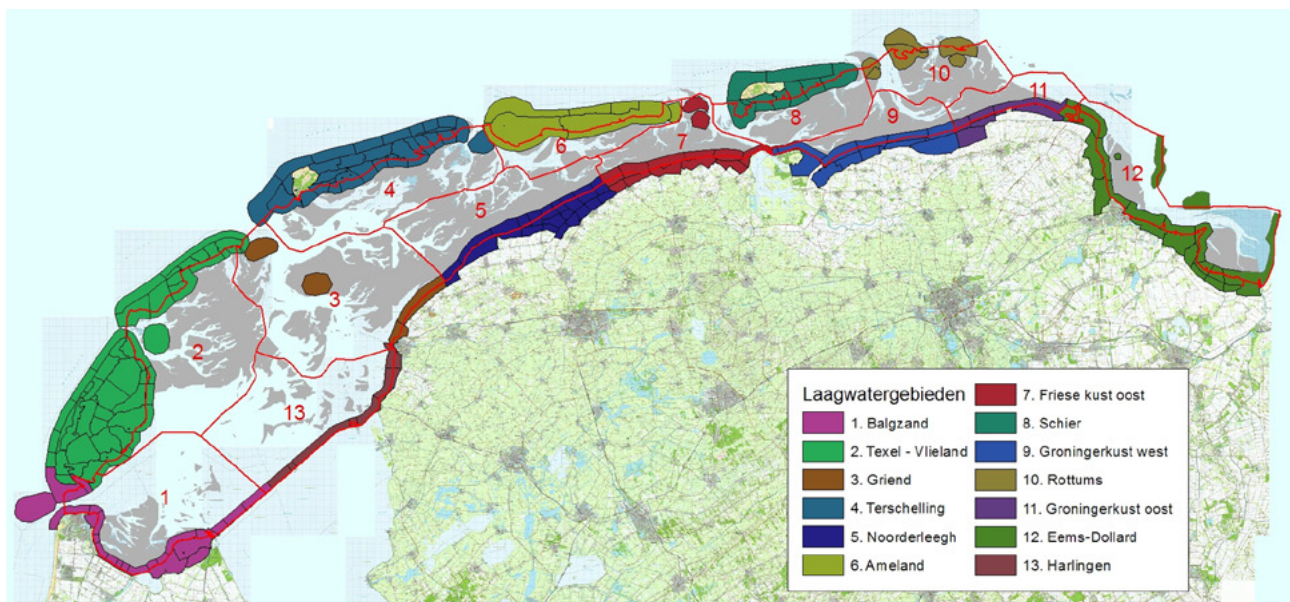
## 7.3 Voedselaanbod door het jaar heen

Het totale aanbod aan ‘vogelvoedsel’ in de wadbodem varieert in de loop van het jaar, door reproductie en sterfte van de bodemdieren maar ook door groei en seizoensvariatie in de conditie van individuen (Beukema 1974). Verder zijn lang niet alle bodemdieren ook bereikbaar voor wadvogels. Afhankelijk van hun snavel-lengte en manier van foerageren zit een variabel deel van de prooien te diep ingegraven om vangbaar te zijn. Bij veel soorten bodemdieren varieert de ingraafdiepte, of de frequentie waarmee ze uit een permanente gang naar het wadoppervlak komen, in de loop van het seizoen.

Naast een verticaal patroon, volgt de biomassa van het benthos ook een seizoenspatroon. Dit is beschreven in Beukema (1974) en de getallen in Figuur 7.2 zijn daarop gebaseerd. De SIBES bemonstering vindt voornamelijk plaats in de maanden juli en augustus wanneer de biomassa maximaal is. De in andere maanden beschikbare biomassa wordt berekend door de dichtheden in juli te vermenigvuldigen met de fractie ten opzichte van juli (in juli op 1 gesteld).

### 7.3.1 Beschikbaarheid en bereikbaarheid

Naast de variatie in biomassa is de bereikbaarheid van de prooien van belang. Dit is een functie van de



Figuur 7.1. Overzicht van de relatie tussen HVP telgebieden en 12 laagwaterfoerageergebieden in de Nederlandse Waddenzee (Ens et al. 2017a)

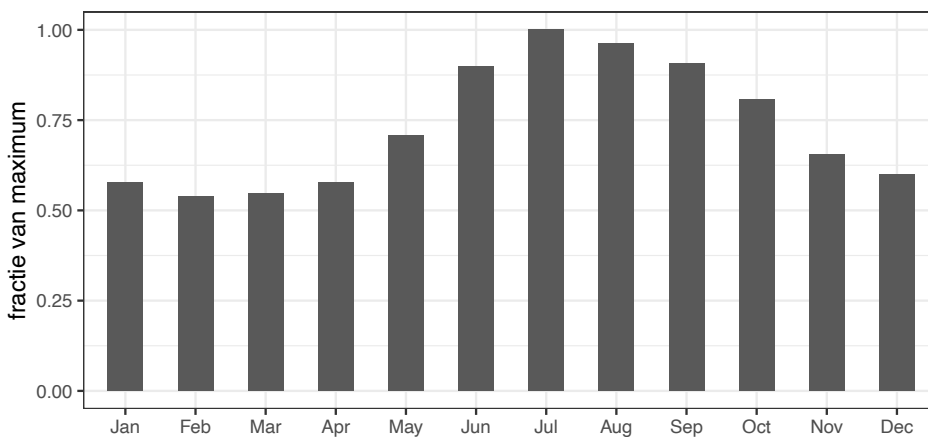
snavelengte van de vogels en de ingraafdiepte van de prooien. De ingraafdiepte van bodemdieren hangt af van de soort, de grootte van het individu en de maand. Grote individuen zitten in de regel dieper dan kleine individuen en gedurende de wintermaanden zitten bodemdieren dieper dan in de zomer (Duijns *et al.* 2015). De grootte- en seizoensspecifieke ingraafdieptes kunnen worden beschreven met een gamma-verdeling. Op dezelfde manier als in Wadmap is de fractie bereikbaar (d.w.z. de fractie die dieper zit dan de gemiddelde snavelengte van de vogelsoort) doorgerekend naar de bereikbare biomassa.

Van de Wadpier (*Arenicola marina*) zit een groot deel van de individuen meestal op een voor de vogels onbereikbare diepte en is slechts een beperkt deel van de tijd actief aan de oppervlakte waardoor de beschikbaarheid voor wadvogels beduidend lager is dan de aanwezigheid. Figuur 7.3 illustreert de maandelijkse beschikbaarheid zoals afgeleid in eerdere rapportages (Ens *et al.* 2015b), en reeds geïmplementeerd in Wadmap.

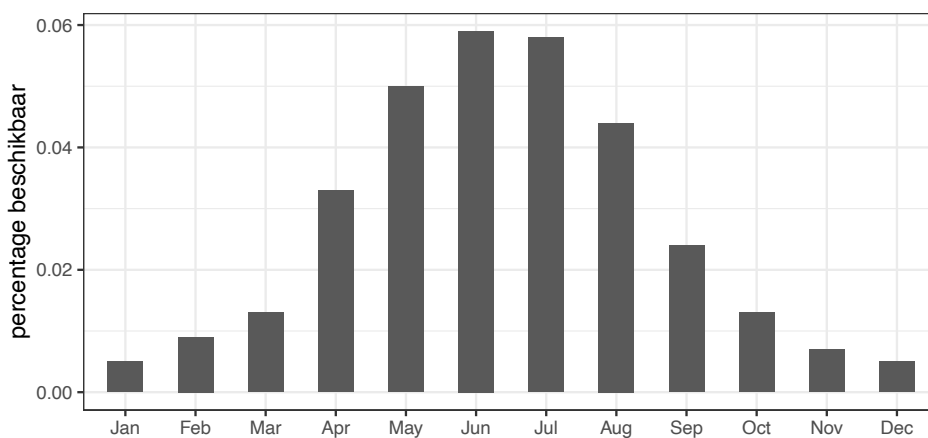
### 7.3.2 Voorbereiding data per soort

Hieronder wordt stapsgewijs kort beschreven welke selecties en keuzes zijn gemaakt voor de SEM berekeningen per vogelsoort.

1. Selectie van prooien op basis van dieet en lengte. Dezelfde soorten als in Wadmap zijn geselecteerd. Voor Kluut en Zilverplevier zijn er slechts twee prooi-soorten met score 1. Omdat dit ertoe leidt dat de SEM niet geschat kan worden zijn in het geval van de Kluut ook de draadworm en marenzelleria en voor Zilverplevier ook de slijkgarnaal en de draadworm meegenomen. In het geval van ontbrekende asvrij-drooggewichten (AVDG) worden deze geschat op basis van de lengte/grootte van de bodemdieren (imputing d.m.v. interpolatie).
2. Berekening van fractie beschikbaar op basis van ingraafdiepte en snavelengte (voor zomer en winter). Deze berekening wordt gedaan op het niveau van de individuele benthosmonsters. Voor methodische details zie Ens *et al.* (2018).



Figuur 7.2. Veranderingen in de aanwezige biomassa van benthossoorten gedurende het jaar op basis van Beukema 1974.



Figuur 7.3. Beschikbaarheid van Wadpiëren gedurende het jaar.



3. Voor ieder monster en benthossoort worden de biomassa en dichtheid gesommeerd. Ieder monster wordt ruimtelijk gekoppeld aan het grid en op het niveau van de gridcellen wordt per soort het gemiddelde van de dichtheid en biomassa berekend. Voor de WMR dataset wordt de biomassa per gridcel berekend.
4. Op het niveau van gridcel worden SIBES en WMR mosseldata gecombineerd.
5. Selectie van gridcellen die binnen de foerageergebieden vallen. De foerageergebieden zijn soort specifieke deelgebieden van het wad die geschikt geacht worden voor verschillende soorten vogels. Alleen voor Tureluur en Kluut is deze beperkende selectie relevant; voor alle andere hier geanalyseerde soorten is aangenomen dat het gehele wad gebruikt wordt.
6. Weging op basis van de droogvalduur uit Intertides (Rappoldt *et al.* 2014), en de afstand tussen gridcellen en dichtstbijzijnde HVP op basis van een negatief exponentiele relatie ( $l=0.1$ ; Folmer *et al.* 2021).
7. De biomassa (na bovenstaande beschreven selectie en weging) wordt gesommeerd op het niveau van de 12 deelgebieden.
8. Weging voor de activiteit van de Wadpier.
9. Koppeling van het aantal vogels per deelgebied aan het beschikbare benthos.
10. Log-transformatie van de benthos dichtheden en aantal vogels.
11. Analyse SEM.
12. Relaties aantallen en geschatte aantallen vogels per maand evalueren.
13. Relatie latente variabele  $F$  met de SEM schatting evalueren.
14. Relatie latente variabele  $Fp$  en som van biomassa evalueren.
15. Evaluatie trend SEM proxy door middel van regressie.

## 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 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 gebruikt voor een zeer gedetailleerde analyse van de habitateisen van de 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 omgevingscondities gevonden rond welke de gemeenschap sprongsgewijs verandert.

### 8.2 Droogvallende mosselbanken

Een 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 (van der Meer *et al.* 2019, 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 oesters vestigen. Na 30

jaar is het areaal “mosselbanken” weer op het niveau van voor de verdwijning, 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 van 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

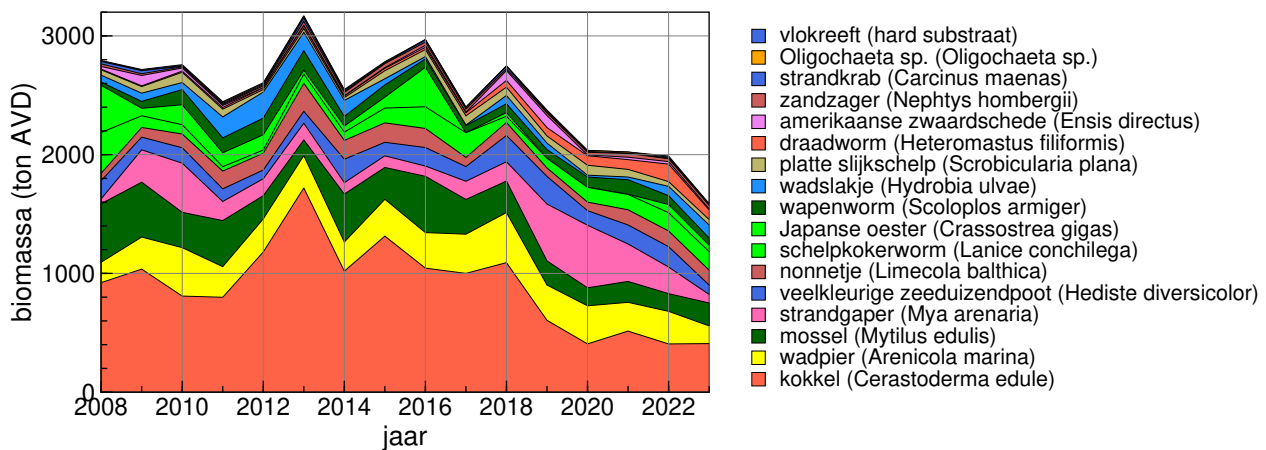
Sommige soorten bodemdieren, zoals de Kokkel *Cerastoderma edule*, de Schelpkokerworm *Lanice conchilega* en de Zandzager *Nephtys hombergii*, zijn gevoelig voor vorstperiodes en kunnen massaal sterven in een strenge winter, zodat er overal schaarste optreedt (Beukema *et al.* 1993). Na zo'n strenge winter is er dan vaak weer massale broedval. 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). Daarnaast zijn in frequentie toenemende hittegolven een probleem voor Kokkels, en zo stierf een groot deel van het kokkelbestand in de zomers van 2018-2020 (Troost & van Asch 2018). De toenemende frequentie van hittegolven zou nadelig kunnen uitpakken voor het kokkelbestand (Suykerbuyk *et al.* 2021).

## 8.4 Voedselaanbod Pinkegat-Zoutkamperlaag

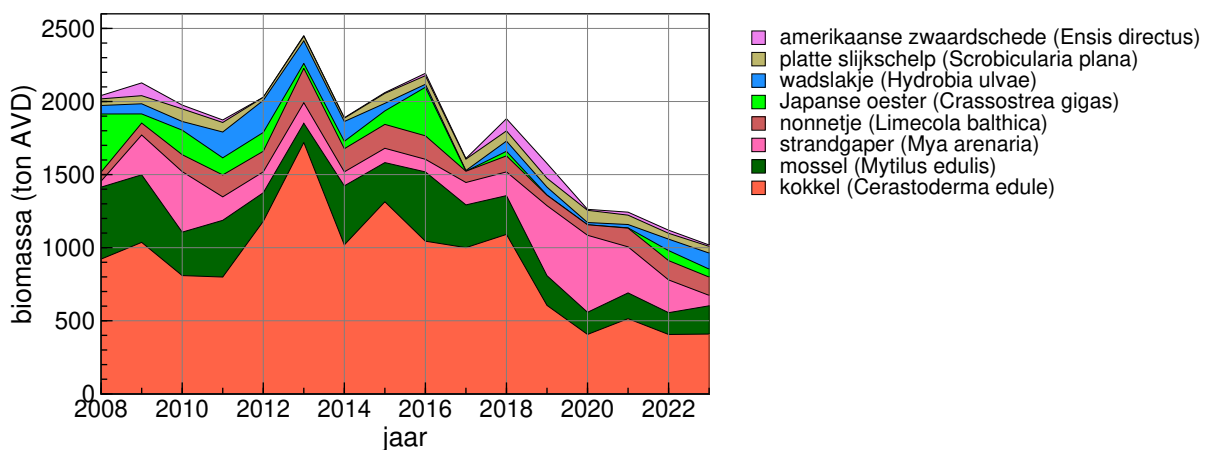
De ontwikkeling van de totale biomassa van bodemdieren in Pinkegat en Zoutkamperlaag is weergegeven in Figuur 8.1. Ongeveer 25% - 40% van de biomassa bestaat uit Kokkels. Vanaf 2018 lijkt er bij meerdere soorten sprake te zijn van een afname, deels als gevolg van een afname in het Kokkelbestand. Die afname van het Kokkelbestand is zichtbaar in de hele Waddenzee (Troost *et al.* 2022), en komt deels door het uitblijven van nieuwe broedval en overmatige sterfte door hittegolven.

### 8.4.1 Schelpdieren

Wanneer alleen naar de schelpdieren wordt gekeken lijkt de totale beschikbaarheid daarvan af te nemen, door met name de Kokkel (Figuur 8.2). 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, al laten die wel grote variatie tussen jaren zien.



Figuur 8.1. 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.



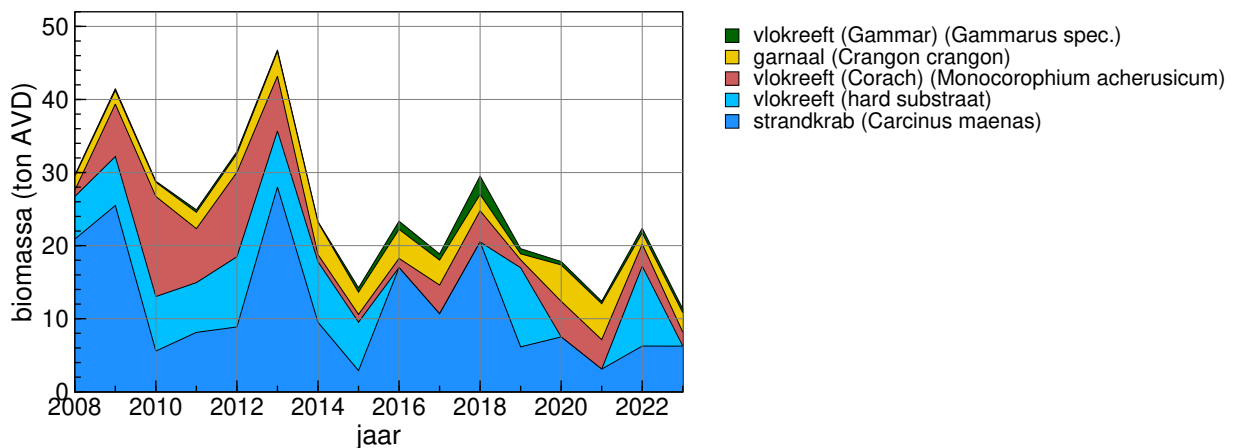
Figuur 8.2. Ontwikkeling van de totale biomassa schelpdieren (in tonnen asvrij drooggewicht) in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag in de winter, onderverdeeld naar de verschillende soorten schelpdieren.

### 8.4.2 Kreeftachtigen

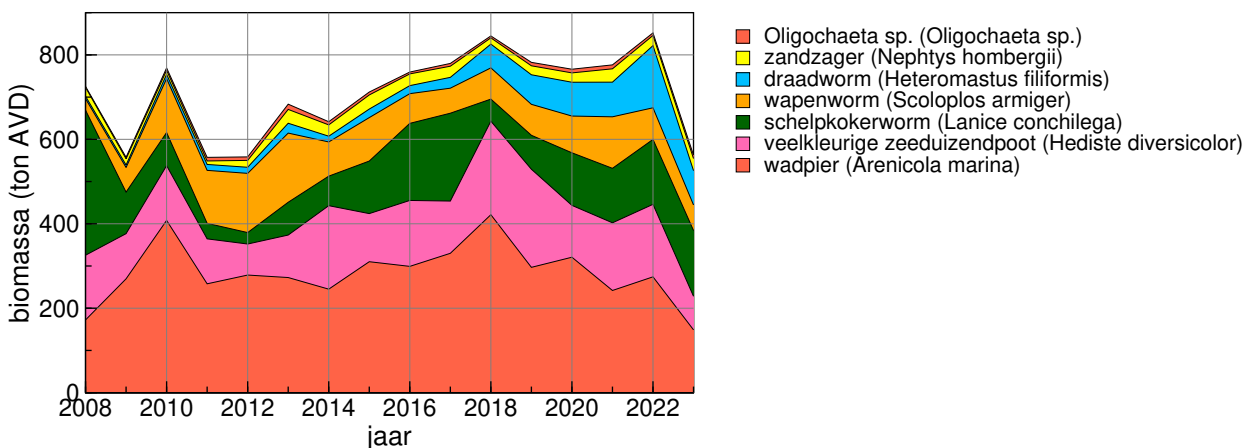
De bestanden van kreeftachtigen fluctueren zeer sterk als gevolg van sterke fluctuaties in het bestand van Strandkrabben en dat van Langsprietkreeftjes, al lijkt er na de piek in 2013, een langzame afname zichtbaar (Figuur 8.3). De soorten in deze groep zijn heel mobiel en laten zich niet heel goed bemonsteren (Taal *et al.* 2020), zodat niet kan worden uitgesloten dat deze fluctuaties voor een deel het gevolg zijn van toevallige bemonsteringsvariatie. In vergelijking tot de andere bodemdieren is het aandeel kreeftachtigen erg klein (maximaal 45 ton AVD in de winter, terwijl het totale bestand aan bodemdieren fluctueert tussen 2000 en 3000 ton AVD in de winter; Figuur 8.1). Deze soortgroep is wel relevant, want kreeftachtigen worden door veel vogels benut (zie ook Tabel 6.1). In vergelijking met vorige jaren, zijn er door het NIOZ veranderingen doorgevoerd in de naamgeving van Vlokreeftjes, welke hier beide gegeven zijn. Dit levert geen veranderingen in biomassa op t.o.v. voorgaande rapportages (e.g., Duijns *et al.* 2023)

### 8.4.3 Wormen

Na jaren van een lichte stijging in het bestand van wormen (Figuur 8.4), lijkt 2023 een jaar, waar veel soorten zijn afgenomen. Wormen vormen na de schelpdieren een belangrijk deel van de biomassa van bodemdieren. Binnen de wormen heeft de Wadpier, waarvan het bestand vanaf 2018 langzaam achteruit gaat, het grootste aandeel biomassa, gevolgd door de Veelkleurige Zeeduizendpoot, de Schelpkokerworm en de Rode Draadworm.



Figuur 8.3. 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.



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

## 8.5 Vogels

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

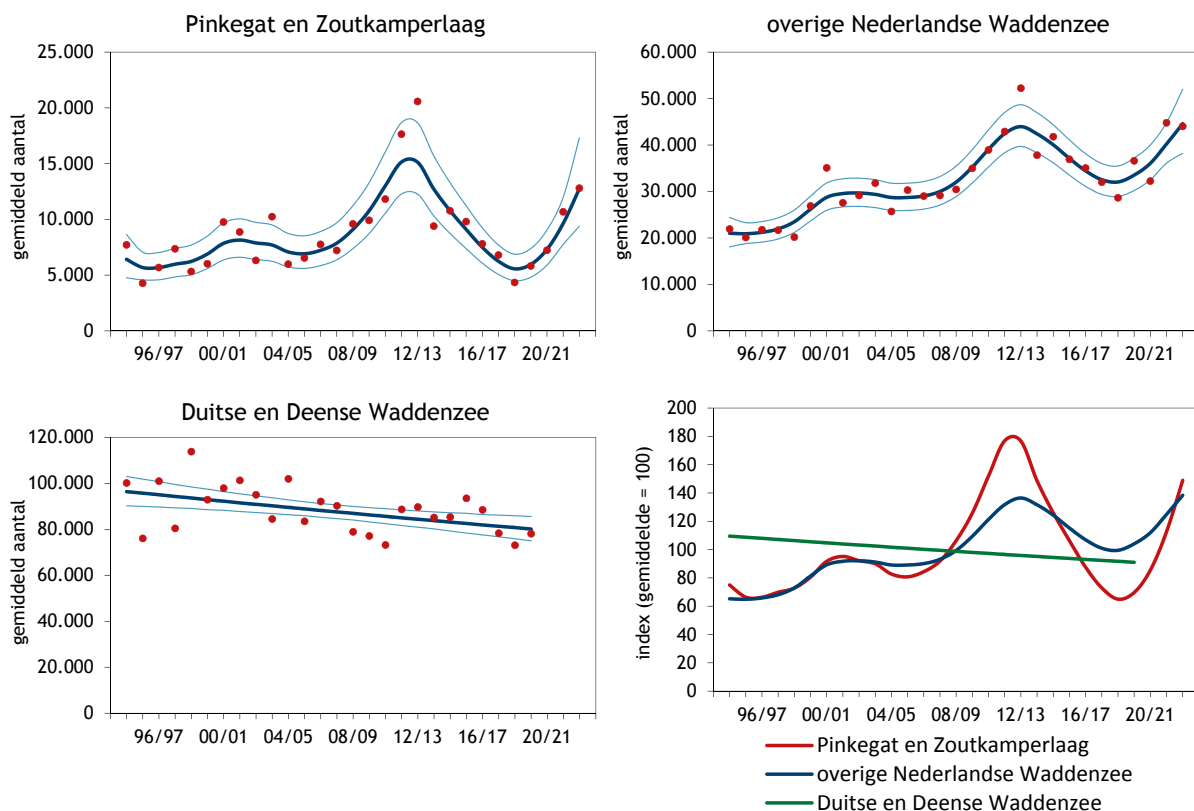
1. De waargenomen trend in de aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag en een vergelijking met de aantalsontwikkelingen elders: in de rest van de Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee (waarvoor de gegevens t/m 2021 beschikbaar waren), en langs de gehele Oost-Atlantische vliegroute (van Roomen *et al.* 2022). De trends worden geclassificeerd volgens de NEM-criteria (Figuur 5.5)
2. Figuren met het verloop van alle proxies voor beide seizoenen in Pinkegat-Zoutkamperlaag. De resultaten van de trendberekeningen over de proxies staan in Bijlage I.
3. Mogelijke verklaringen voor de waargenomen trends in aantallen en proxies worden kort bediscussieerd.
4. Voor de proxies voor draagkracht worden de volgende resultaten van de validatie-berekeningen uit de rapportage over het monitoringjaar 2018 (Ens *et al.* 2019):
  - a. Of er een gevalideerde proxy voor draagkracht is

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 één 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 1995-2023 laten de aantallen Bergeenden in Pinkegat en Zoutkamperlaag een matige toename zien, en bij de korte termijn trend (2011/2012 – 2022/2023 is sprake van een stabiele populatie (Figuur 8.5; Tabel 8.1). Dit komt overeen met de trends in de rest van de overige Waddenzee, terwijl de Duitse en Deense aantallen een matige afname laten zien, op korte en op lange termijn. Op Europese schaal zien we dezelfde patronen als in de Duitse en Deense Waddenzee.



Figuur 8.5. 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.

De Waddenzee is van groot belang voor ruiende en overwinterende Bergeenden en bijna de gehele 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. 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 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 slijkigere delen van de Waddenzee – mogelijk wordt de verspreiding dan vooral bepaald door het voedselaanbod en in mindere mate door verstoring.

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 8.6 en Bijlage I).

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

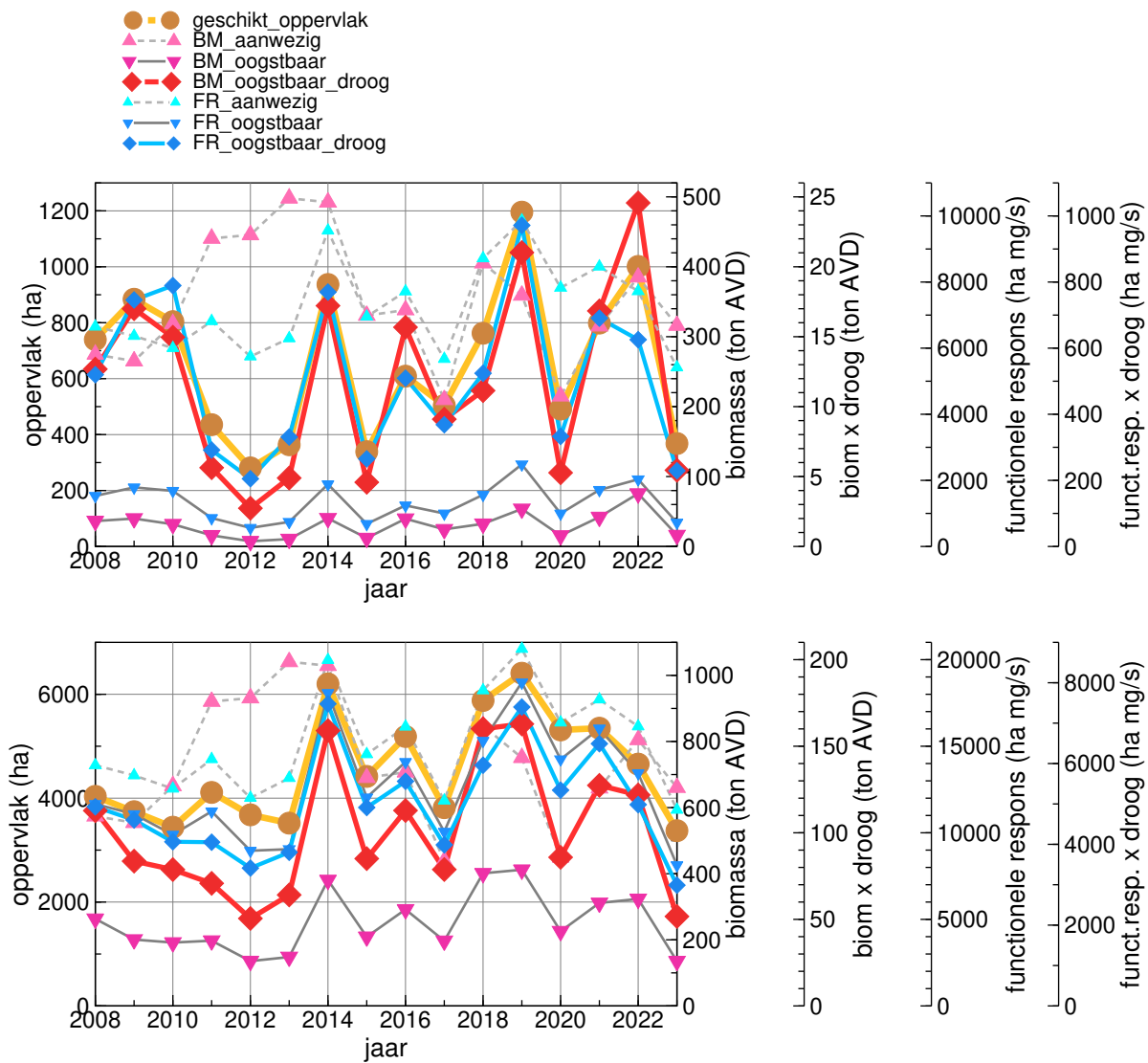
Tabel 8.1. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Bergeend voor Pinkegat/ Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Bergeend Label	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2011/2012		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.02	+	Matige toename	0.98	0	Stabiel
Rest Nederlandse Waddenzee	1.03	+	Matige toename	1.00	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.99	-	Matige afname	0.99	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegroute (NW-Eur)	1.01*	+	Matige toename	0.99	-	Matige afname

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

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 / minder positief dan elders?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

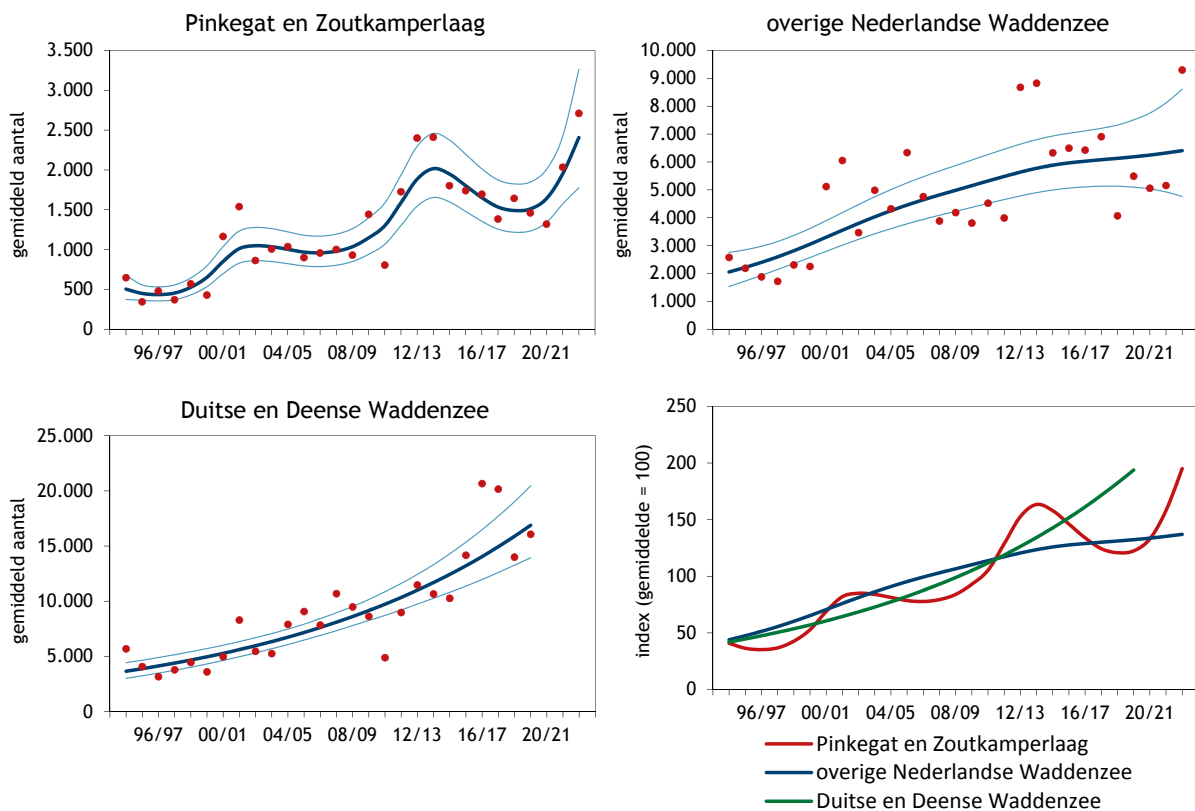


Figuur 8.6. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Bergeend in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in de winter (boven) en de nazomer (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

### 8.5.2 Pijlstaart

Op de lange termijn nemen de aantallen Pijlstaarten overal nog toe (Figuur 8.7; Tabel 8.3). Op de korte termijn is er een matige toename in het Pinkegat en Zoutkamperlaag, terwijl er een stabiele ontwikkeling is in andere delen van de Nederlandse Waddenzee, terwijl in het Duitse en Deense deel de soort nog steeds matig toeneemt. De Waddenzee is van groot belang voor de Europese populatie (Kleefstra *et al.* 2022). De trend van de in West-Europa overwinterende 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 Één proxy laat wel een significante afname zien met ongeveer 5% per jaar (*BMaanw* in november en januari), welke in de vorige rapportage ook al een negatieve trend vertoonde (Duijns *et al.* 2023, Bijlage I). Kijkend naar het dieet van deze soort, lijkt deze trend te komen door de afname in schelpdieren en kreeftachtigen. Daarnaast zoeken Pijlstaarten op het wad niet alleen op de daar aanwezige 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.



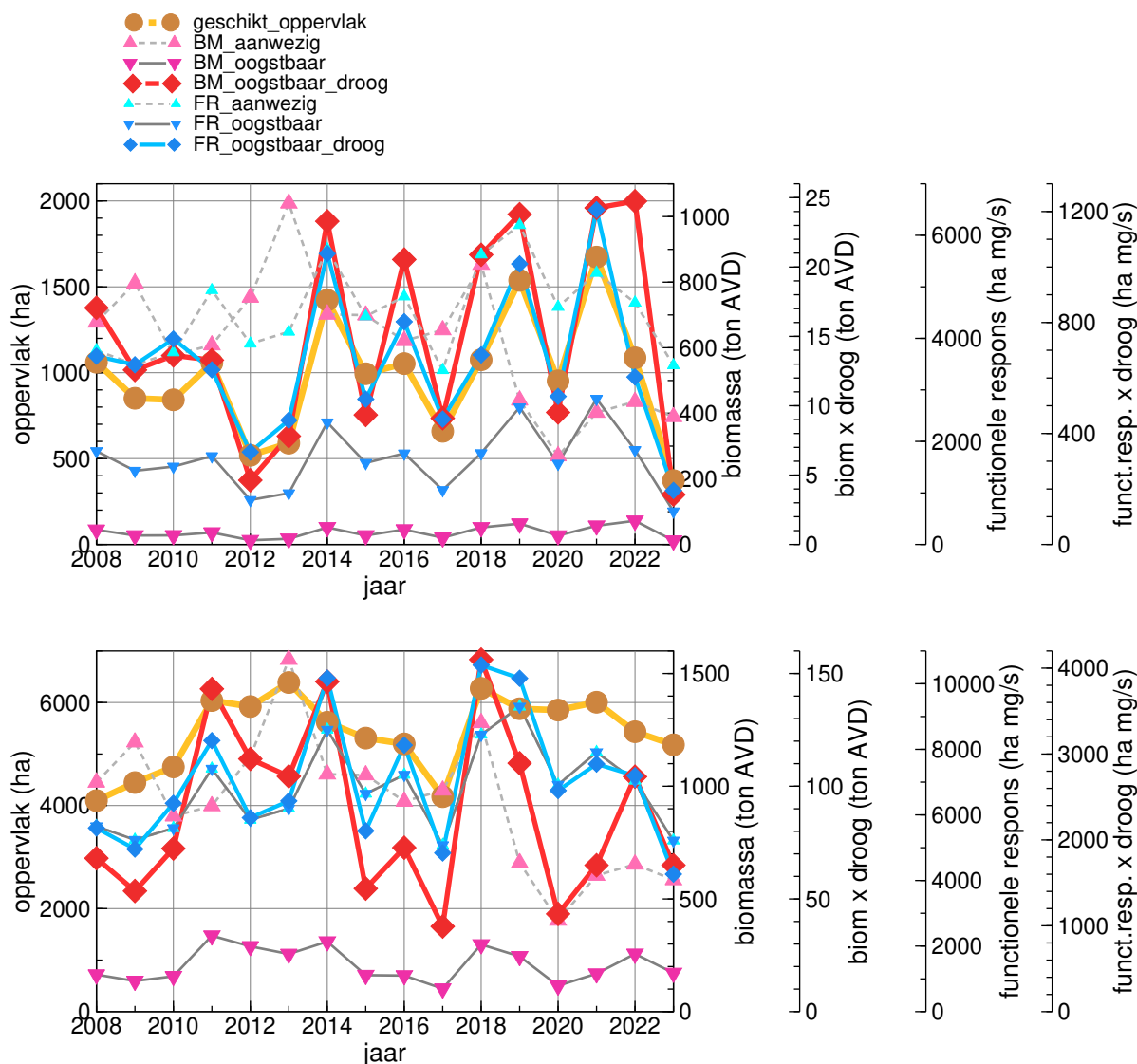
Figuur 8.7. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Pijlstaart in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag, vergeleken met het verloop van het seizoensgemiddelde in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee.

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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Pijlstaart Label	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.06	+	Matige toename	1.04	+	
Overige Nederlandse Waddenzee	1.04	+	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 8.8. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Pijlstaart in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 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.

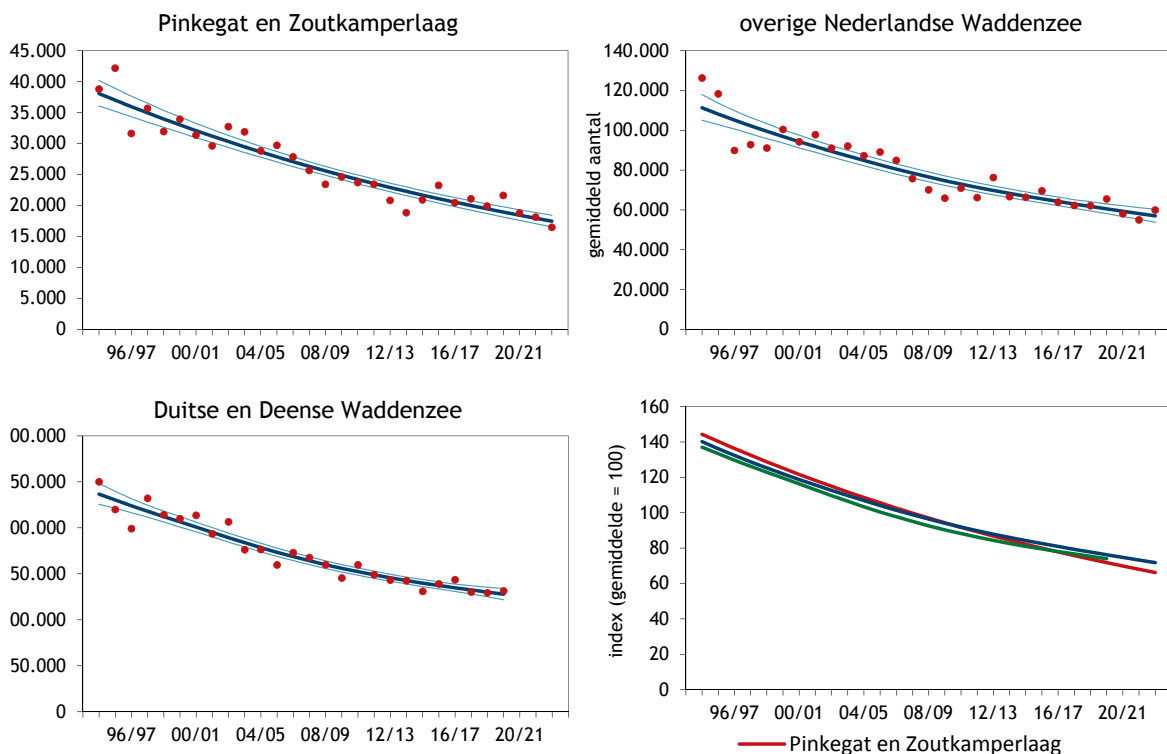
	jan.	sept.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y → 2	Y → 2
2 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever / minder positief dan elders?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect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

Toepassing van het beslisschema leidt tot de conclusie dat er geen uitspraak mogelijk is, noch in de herfst of winter (Tabel 8.4).

### 8.5.3 Scholekster

De aantallen Scholeksters die in de Waddenzee overwinteren nemen al jaren af sinds 1990 (van de Pol *et al.* 2010b, Van der Jeugd *et al.* 2014, Kleefstra *et al.* 2022). 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 1994/1995) als op de korte termijn (vanaf 2010/2011; Figuur 8.9 en 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: overbevising 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 (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).



Figuur 8.9. 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.

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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Scholekster	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.97	-	Matige afname	0.97	-	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)

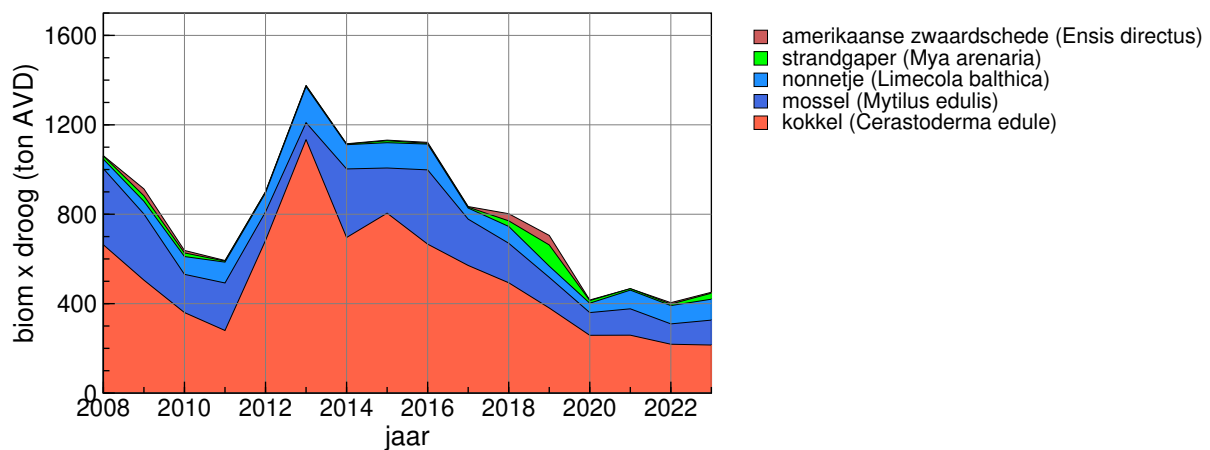
\*\*Dit betreft de periode 2011-2020 (van Roomen *et al.* 2022)



Kokkels zijn de belangrijkste voedselbron voor Scholeksters in Pinkegat – Zoutkamperlaag volgens de berekeningen met Wadmap (Figuur 8.10). De eerder geconstateerde afname in het Kokkelbestand in de hele Waddenzee sinds de grote broedval in 2011 is ook hier duidelijk zichtbaar (Figuur 8.2). Sindsdien is er geen (grote) broedval geweest in, en in combinatie met de

hitte van afgelopen jaren zomers is er verhoogde sterfte (Zhou *et al.* 2022), en blijft het aanbod Kokkels laag.

Zowel voor de nazomer als voor de winter is *BMAanw* een gevalideerde proxy voor draagkracht (Ens *et al.* 2019). De negatieve trend (4% per jaar) voor deze proxy is significant, zowel in de nazomer, als in de

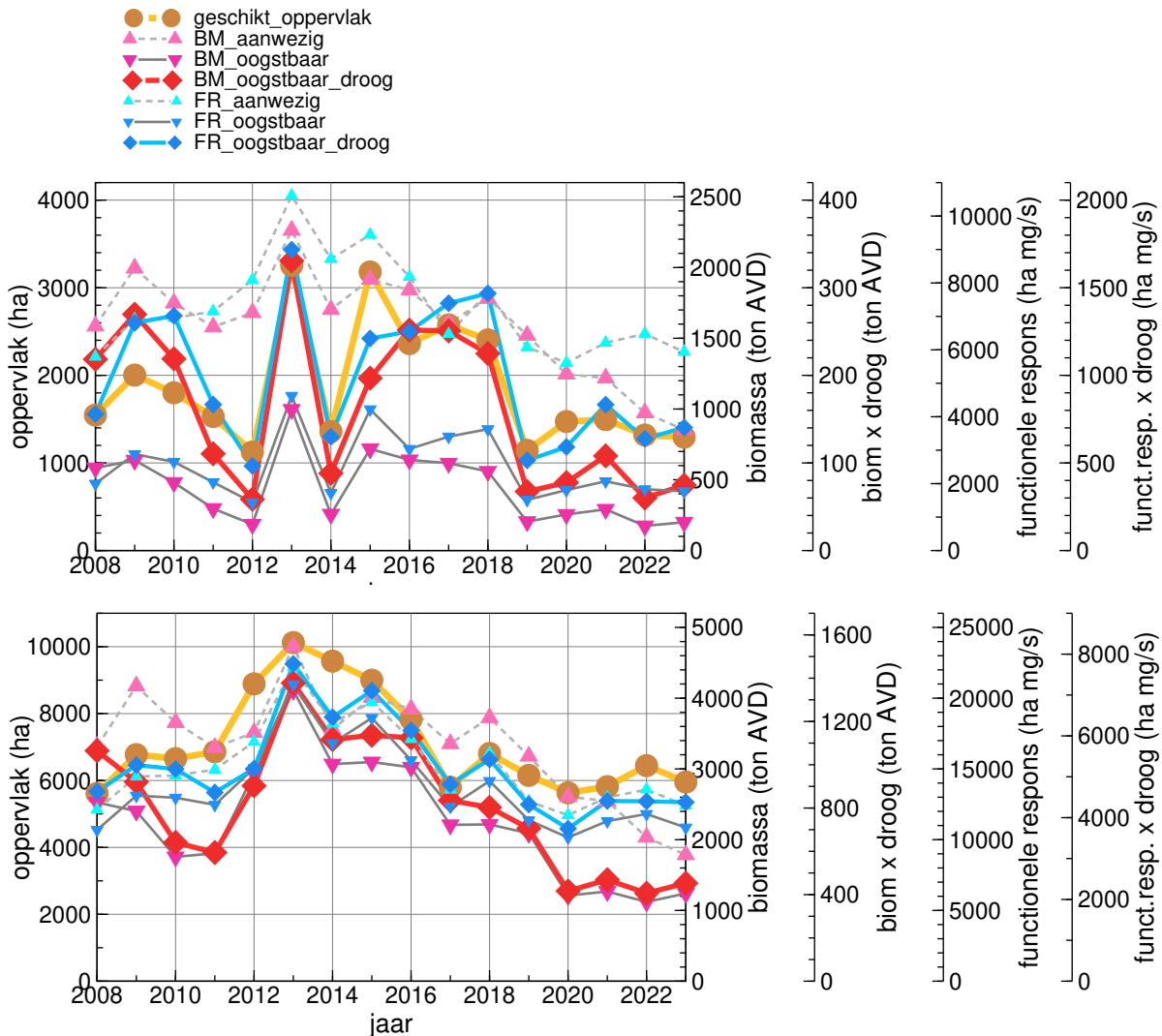


Figuur 8.10. Verloop van de voor Scholeksters oogstbare biomassa schelpdieren in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag in het najaar voor de jaren 2008-2022.

winter (Figuur 8.11) en daarnaast laten de proxies *BMoogstDroog* en *BMoogst* in het najaar ook een negatieve trend zien, en in de winter is de proxy *BMoogstDroog* ook negatief. De andere proxies vertonen geen significante trend (Bijlage I). Dit kunnen we waarschijnlijk verklaren door het feit dat er vanaf 2013 een afname zichtbaar is in het kokkelbestand, mede als gevolg van het uitblijven van nieuwe broedval van Kokkels in het bodemdalingsgebied en

de hittegolven van afgelopen jaren. Die uitblijvende broedval en de impact van deze hittegolven is niet beperkt tot het bodemdalingsgebied, maar het geval in de hele Waddenzee (Troost *et al.* 2022).

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



Figuur 8.11. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Scholekster in Zoutkamperlaag-Pindegat voor de jaren 2008-2022 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.

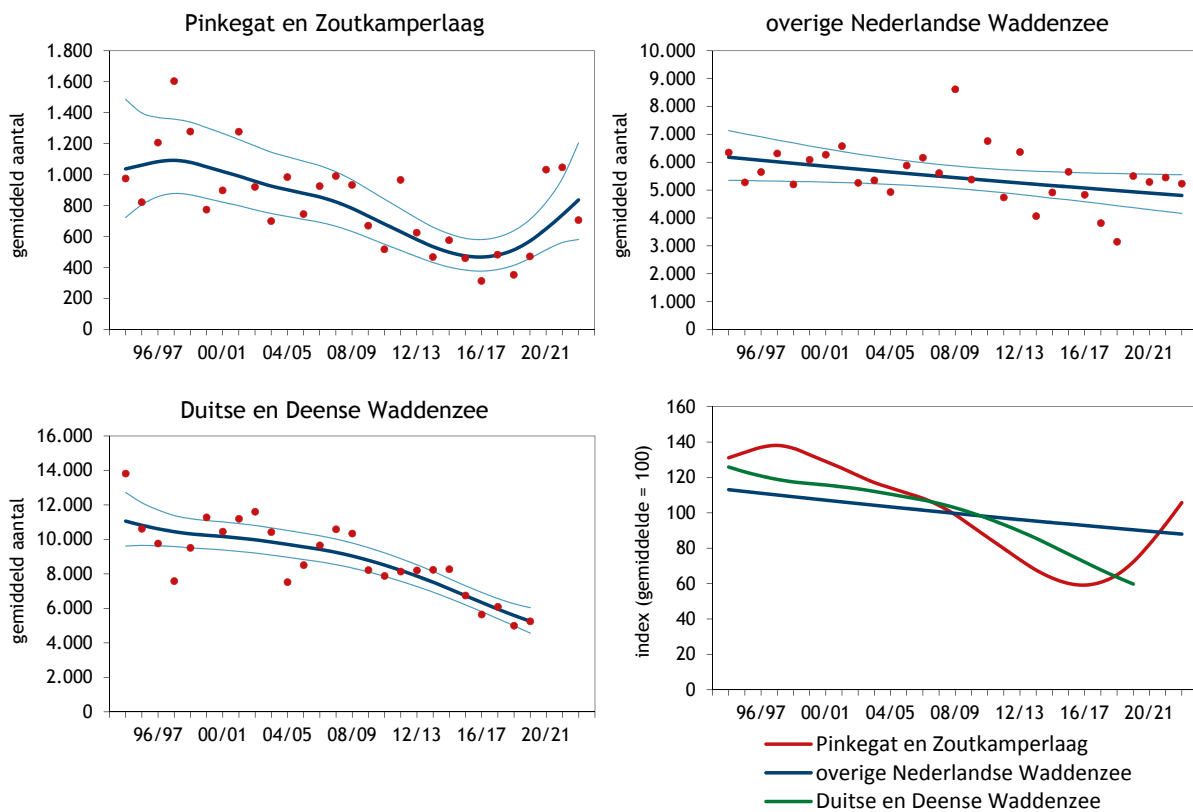
	jan.	sept.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y → 2	Y → 2
2 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect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

#### 8.5.4 Kluut

Na jaren van een afname, zien we de laatste 3 jaar een toename van de aantallen Kluten in Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.12 en Tabel 8.7), al is de periode te kort om van een statistische toename te spreken. Elders in de Waddenzee nemen de aantallen af (Kleefstra *et al.* 2022; Figuur 8.13). Op de lange termijn wordt de populatietrend als stabiel beoordeeld, wat voornamelijk komt door de toename van de laatste tijd en dat het aantal bijna gelijk is als halverwege de jaren 90. Op de korte termijn is de trend onzeker, maar in het Pinkegat en Zoutkamperlaag lijkt in positieve zin af te wijken van de rest van de Nederlandse en Internationale Waddenzee. Dit komt overeen 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) en dat ze waarschijnlijk specifieke eisen stellen aan hun habitat.

De afname van het noordelijke deel van de populatie is het gevolg van een laag broedsucces (Van der Jeugd *et al.* 2014, Koffijberg *et al.* 2021, Manche *et al.* 2023). Mogelijke oorzaken van dit lage broedsucces zijn een verhoogd predatierisico van nesten en jongen (vooral langs de vastelandskust).



Figuur 8.12. 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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011). Ook weergegeven de trend van de hele populatie die gebruik maakt van de Oost-Atlantische vliegroute.

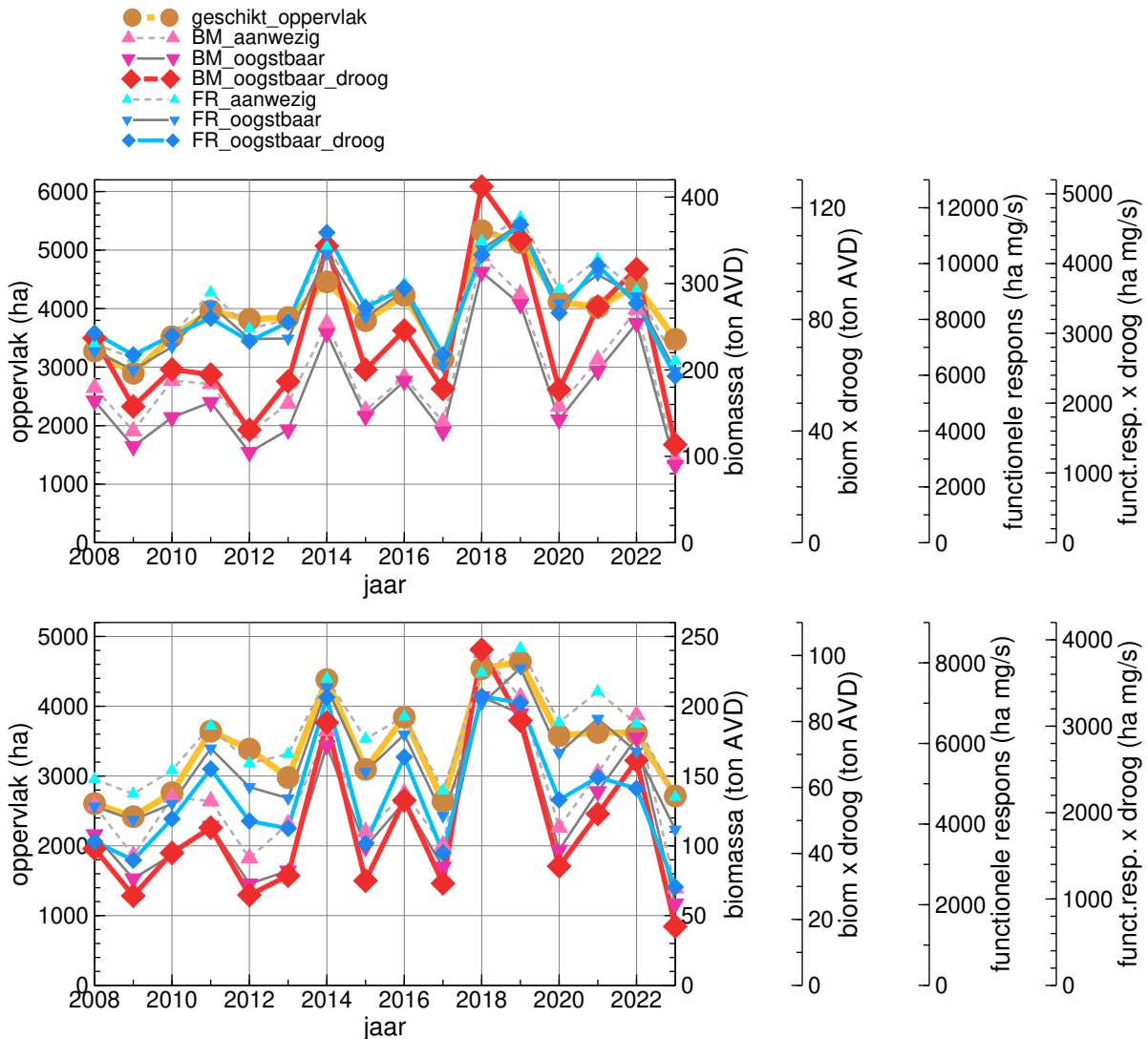
Kluut Label	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.99	0	Stabiel	1.03	?	Onzeker
Overige Nederlandse Waddenzee	0.99	-	Matige afname	0.99	-	Matige afname
Duitse en Deense Waddenzee	0.97	-	Matige afname	0.95	-	Matige 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)

Noch in nazomer, noch in najaar is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht (Ens *et al.* 2019). Alle proxies laten een wisselende trend zien (Figuur 8.13), maar voor al die trends geldt dat geen van deze een verandering laat zien (Bijlage I). Dit is waarschijnlijk het gevolg van het soort specifieke voedselaanbod in Pinkegat en Zoutkamperlaag.

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



Figuur 8.13. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Kluut in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in de nazomer (boven) en het najaar (onder). De berekende trendwaarden voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

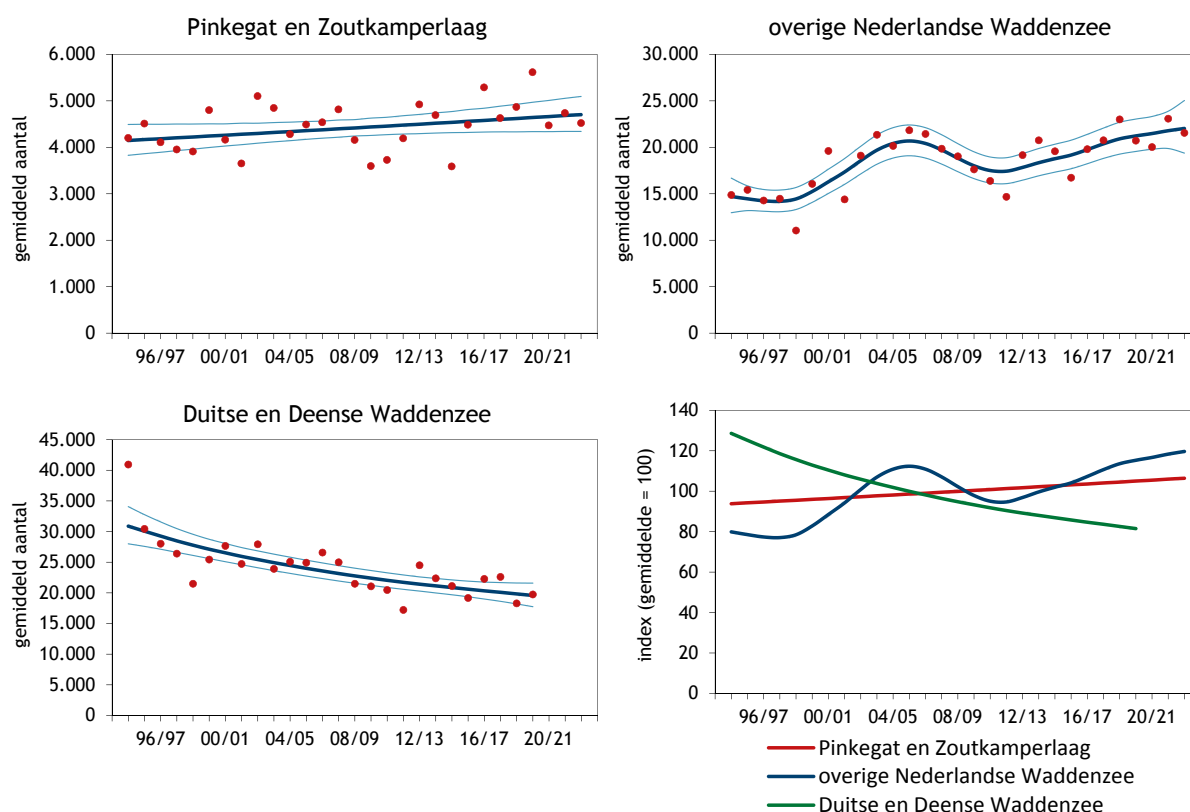
Tabel 8.8. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Kluut in september en november.

	sept.	nov.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	N → 3	N → 3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N → 5	N → 5
5 Alle proxies zelfde trend?	Y → 4	Y → 4
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

### 8.5.5 Zilverplevier

De trend van de aantallen Zilverplevieren in Pinkegat en Zoutkamperlaag lijkt al langere tijd toe te nemen, maar wordt nog steeds als stabiel beoordeeld (Figuur 8.14; 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 *taymyrensis* 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.



Figuur 8.14. 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.

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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

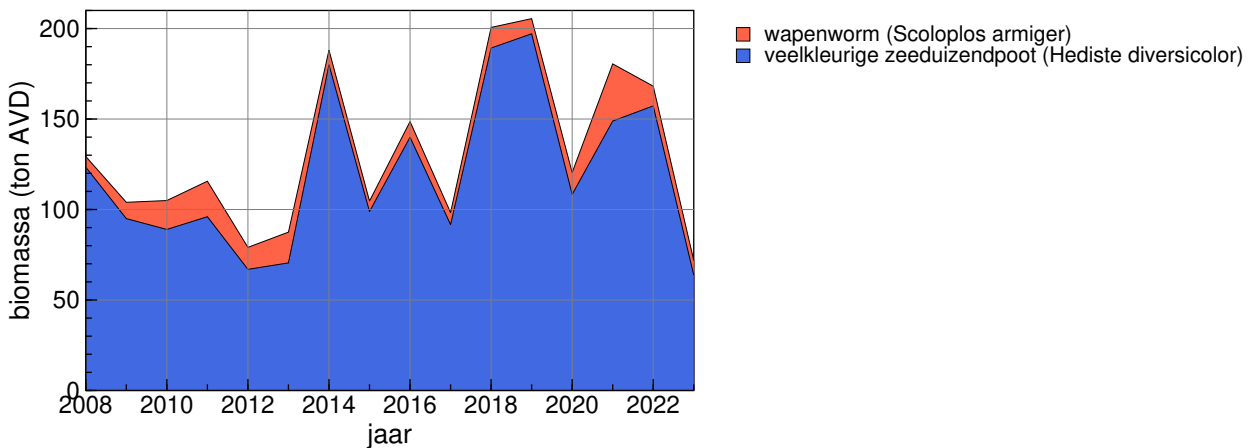
Zilverplevier	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.00	0	Stabiel	1.00	0	Stabiel
Rest Nederlandse Waddenzee	1.01	+	Matige toename	1.02	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	0.98	-	Matige afname	0.99	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegrouete	1.02*	+	Matige toename	0.97	-	Matige afname

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



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 8.15), al laat het laatste jaar (2023), wel een behoorlijke afname zien.

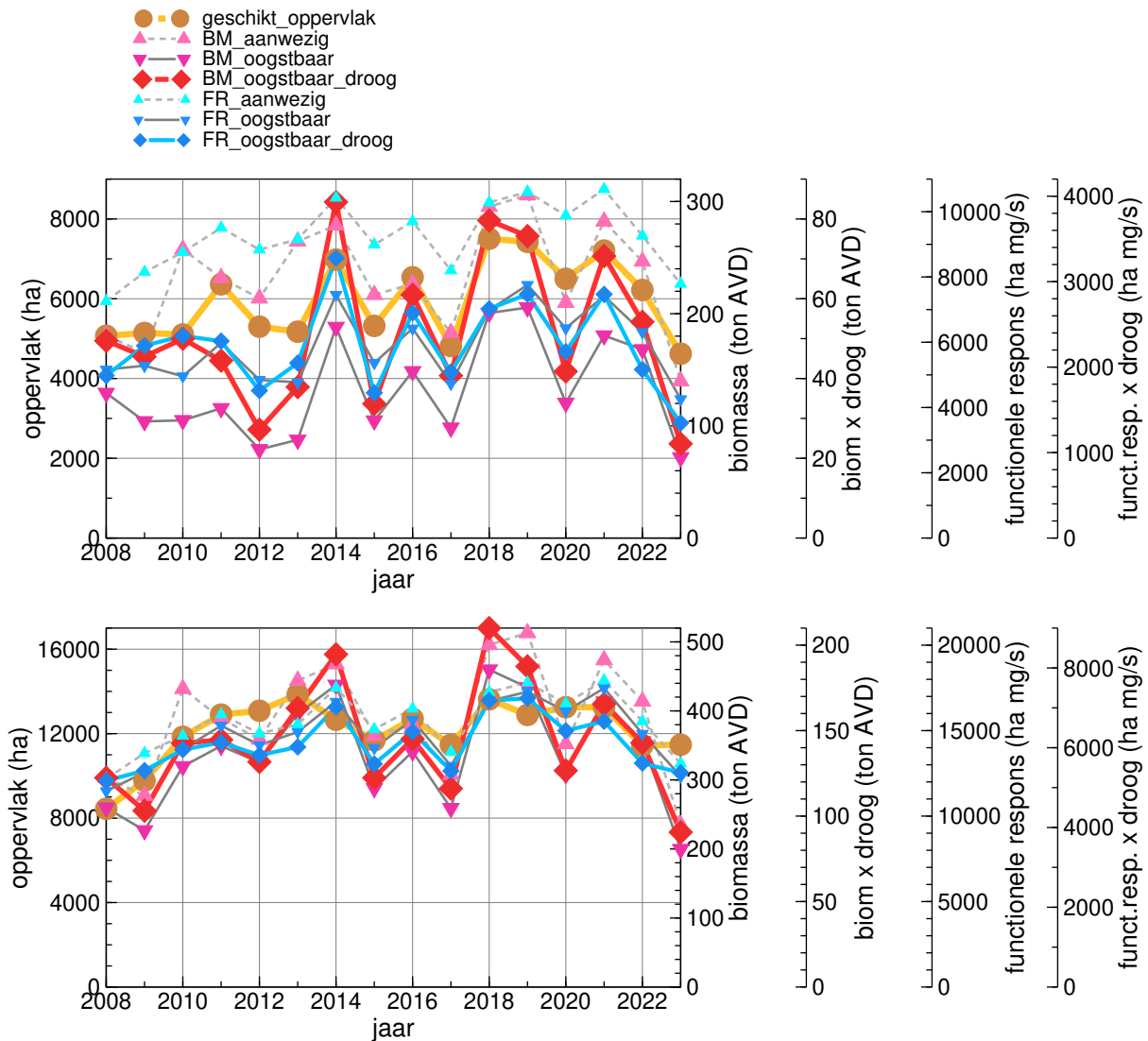


Figuur 8.15. Verloop van voor Zilverplevieren oogstbare biomassa bodemdieren in de winter in Pinkegat-Zoutkamperlaag.



De validatieberekeningen leiden 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 8.16). Geen van de proxies laat een verandering zien (Bijlage I).

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



Figuur 8.16. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Zilverplevier in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 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.

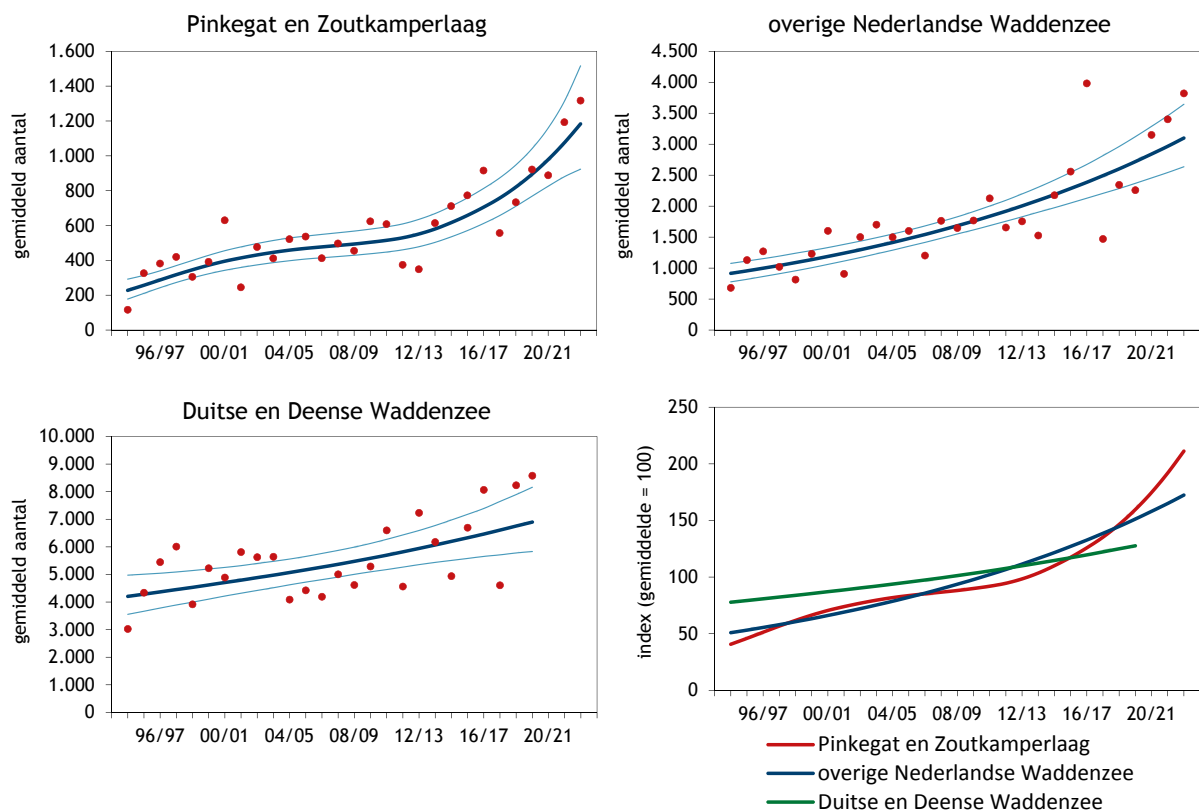
	jan.	mei
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y → 2	Y → 2
2 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect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

### 8.5.6 Bontbekplevier

Er is een duidelijke toename zichtbaar in het aantalsverloop voor Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.17), 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 de laatste jaren 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 *psammodymus* 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 *psammodymus* 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.



Figuur 8.17. Aantalsverloop (seizoensgemiddelde) van de Bontbekplevier in de komberegingen 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 8.11. Resultaten trendanalyse van de seizoensgemiddelden voor de Bontbekplevier voor Pinkegat/ Zoutkamperlaag, rest Nederlandse Waddenzee, de Duitse en Deense Waddenzee en de Oost-Atlantische vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Bontbekplevier	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011			
	Label	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag		1.06	+	Matige toename	1.08	+	Matige toename
Rest Nederlandse Waddenzee		1.04	+	Matige toename	1.04	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee		1.02	+	Matige toename	1.02	+	Matige toename
Oost-Atlantische vliegroute, <i>hiaticula</i>		1.02*	+	Matige toename	0.99***	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroute, <i>tundrae</i>		?	?	Onzeker	?	?	Onzeker
Oost-Atlantische vliegr., <i>psammodymus</i>		0.98**	-	Matige afname	0.99***	0	Stabiel

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

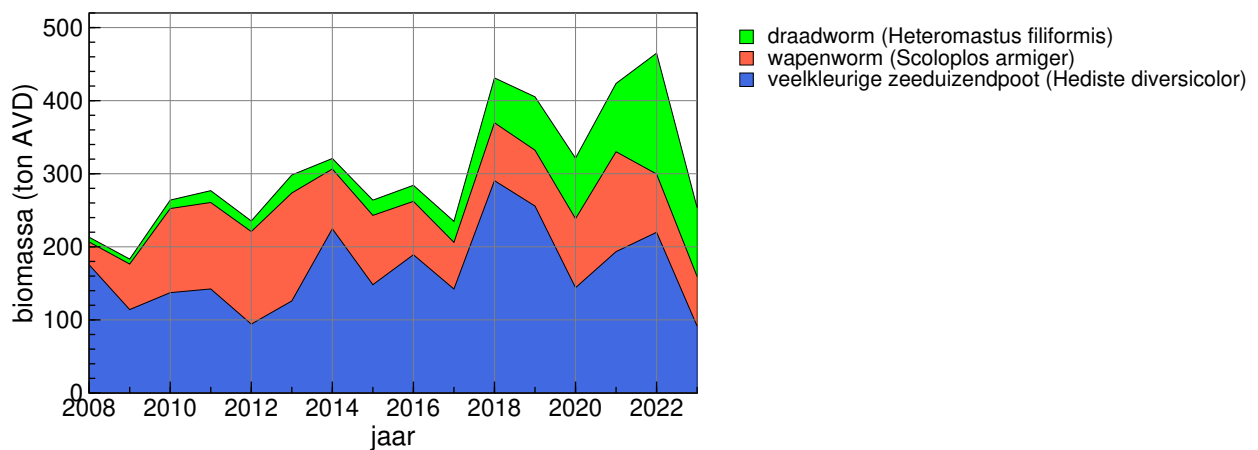
\*\* Betreft 1979-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

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



De Bontbekplevier is een echte wormeneter die naast Zeeduizendpoten en Wapenwormen ook relatief veel kleinere wormen eet zoals Draadwormen *Heteromastus* (Figuur 8.18). Net als de Zilverplevier zou de soort daarom kunnen profiteren van een toename hiervan.

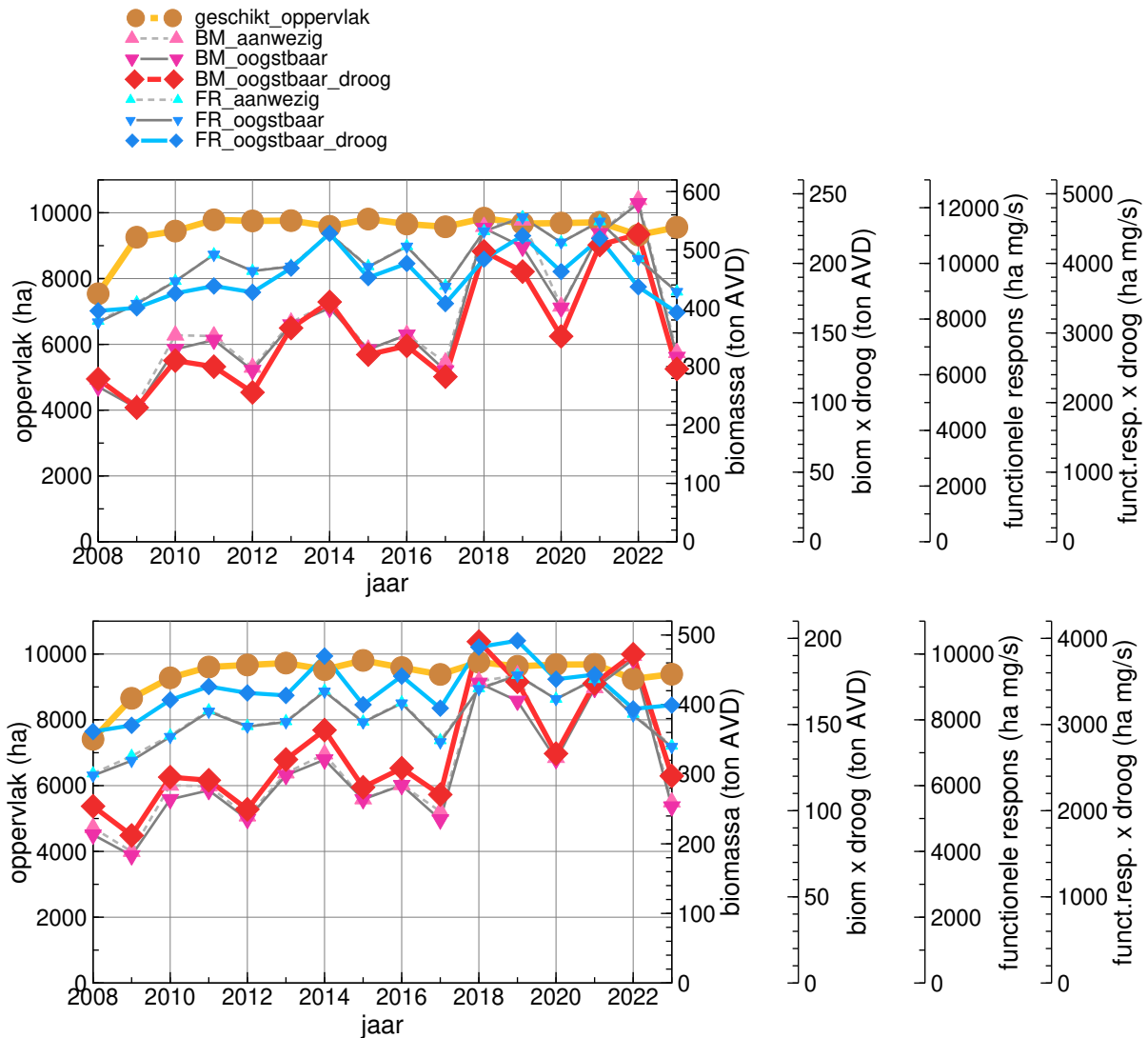
Inderdaad vertonen 5 van de 7 berekende proxies voor de Bontbekplevier, een significante toenemende trend, met 1,2 tot 3,9 %/jr (zie Bijlage I en Figuur 8.19), al is ook hier een behoorlijke daling in 2023 te zien.



Figuur 8.18. Verloop van de met Wadmap berekende voor Bontbekplevieren in mei oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2022.

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 (zie Bijlage I voor details).

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



Figuur 8.19. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Bontbekplevier in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in de nazomer (boven) en het voorjaar (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

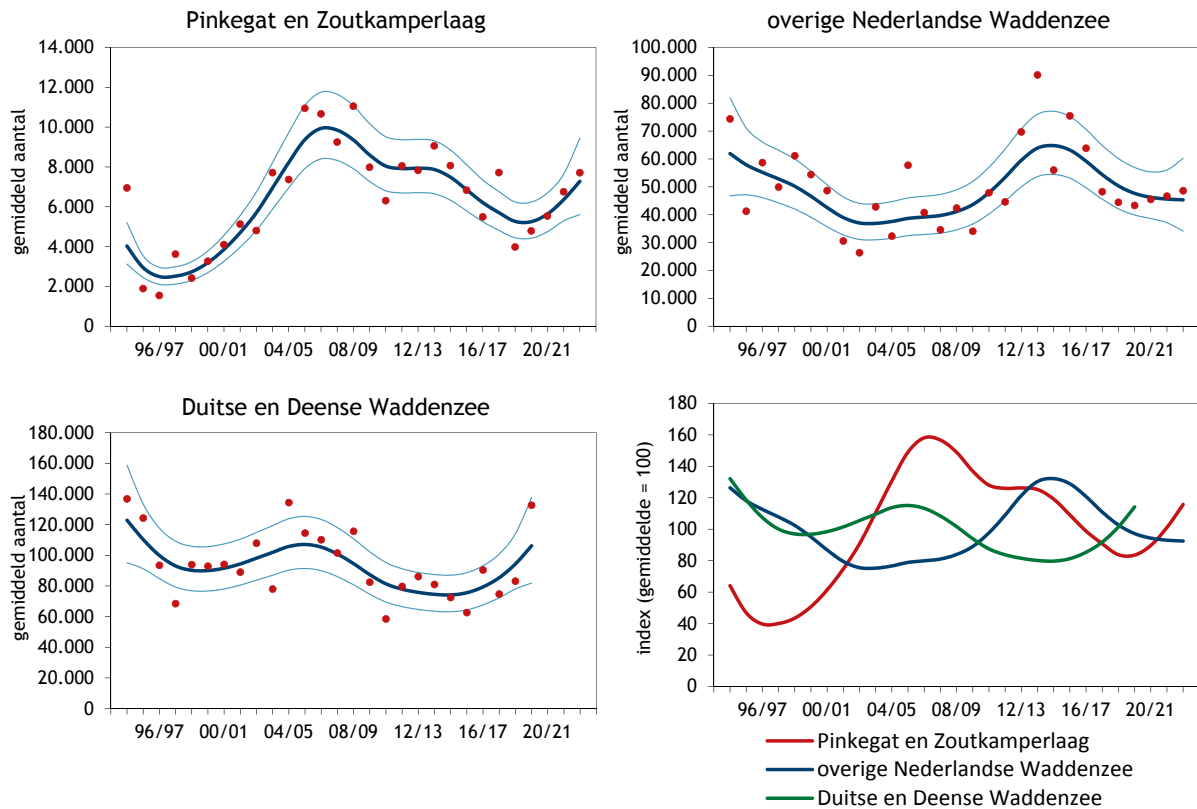
Tabel 8.12. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Bontbekplevier voor mei en september.

	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?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

### 8.5.7 Kanoet

In de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag laat de lange termijn trend een matige toename zien, terwijl de korte termijn trend als stabiel wordt beoordeeld (Figuur 8.21). In de Nederlandse Waddenzee worden de aantallen als stabiel beoordeeld, zowel de korte termijn, als de lange termijn trend (Tabel 8.13). 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 lange termijn leidt tot de conclusie dat in Pinkegat/Zoutkamperlaag de trend een matige toename laat zien, en dat de lange termijn trend in de rest van de Nederlandse Waddenzee en de Duitse en Deense Waddenzee onzeker beoordeeld is (Tabel 8.13).



Figuur 8.21. 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.

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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Kanoet Label	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbol	Beoordeling	Jaarverand	Symbol	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.02	+	Matige toename	0.99	0	Stabiel
Rest Nederlandse Waddenzee	0.99	0	Stabiel	0.99	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.99	0	Stabiel	1.03	?	Onzeker
Oost-Atlantische vliegroute ( <i>islandica</i> )	1.01*	+	Matige toename	0.98**	0	Matige afname
Oost-Atlantische vliegroute ( <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)

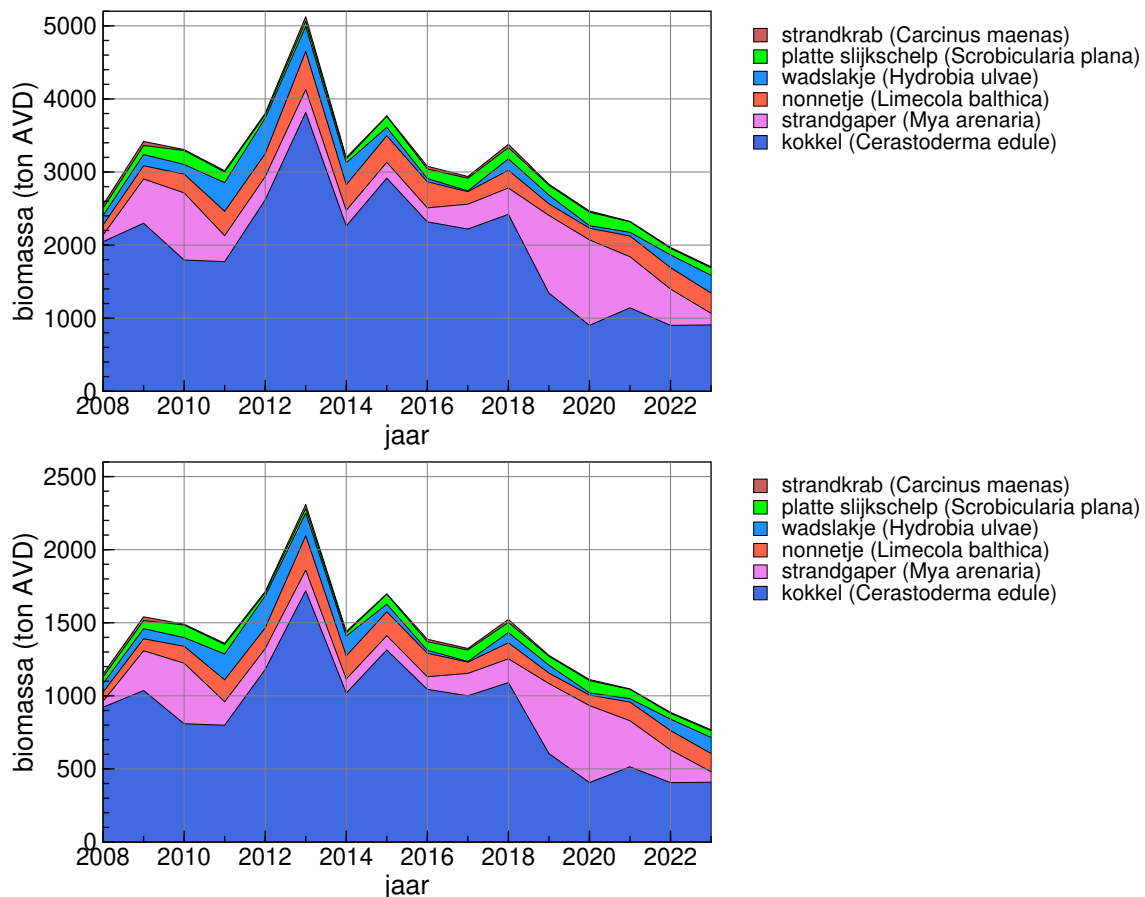
De Kanoetstrandloper heeft twee ondersoorten die maken gebruik van de Waddenzee. De ondersoort *islandica* broedt op de toendra van Groenland en Canada en overwintert in de Waddenzee (Piersma 2007). De ondersoort *canutus* broedt op de Siberische toendra, trekt in de nazomer door in de Nederlandse Waddenzee 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 8.21). 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 westelijke Waddenzee in die periode betekende dat 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).

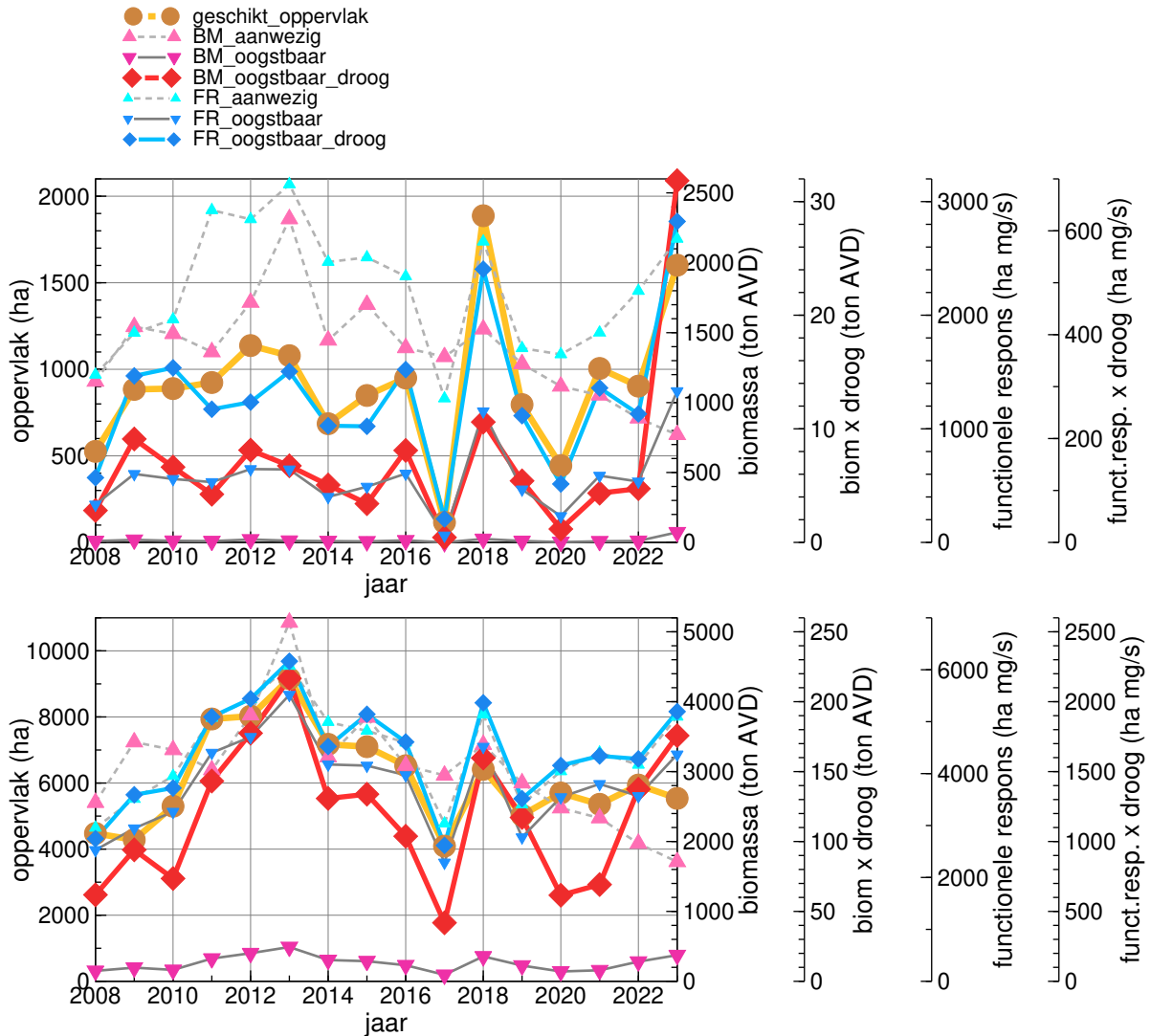
Tussen 2012-2014 was er sprake van een herstel van het Nonnetje in de westelijke Waddenzee (Compton *et al.* 2016), waardoor het gebied waarschijnlijk aantrekkelijker werd voor de Kanoet. Hierna is de beschikbare biomassa van Nonnetjes nagenoeg gelijk gebleven, maar voornamelijk de Kokkel laat nogal wat schommelingen tussen jaren zien en vanaf 2020 lijkt de biomassa aanwezig stabiel, maar op een lager niveau (Figuur 8.22).



Figuur 8.22. Verloop van de voor Kanoeten aanwezige biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2022 voor nazomer (boven) en winter (onder).

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, hoewel één proxy een negatieve trend laat zien, *BMaanw* in zowel winter als najaar (Figuur 8.23 en Bijlage I)

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).



Figuur 8.23. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Kanoet in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in de winter (boven) en de nazomer (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

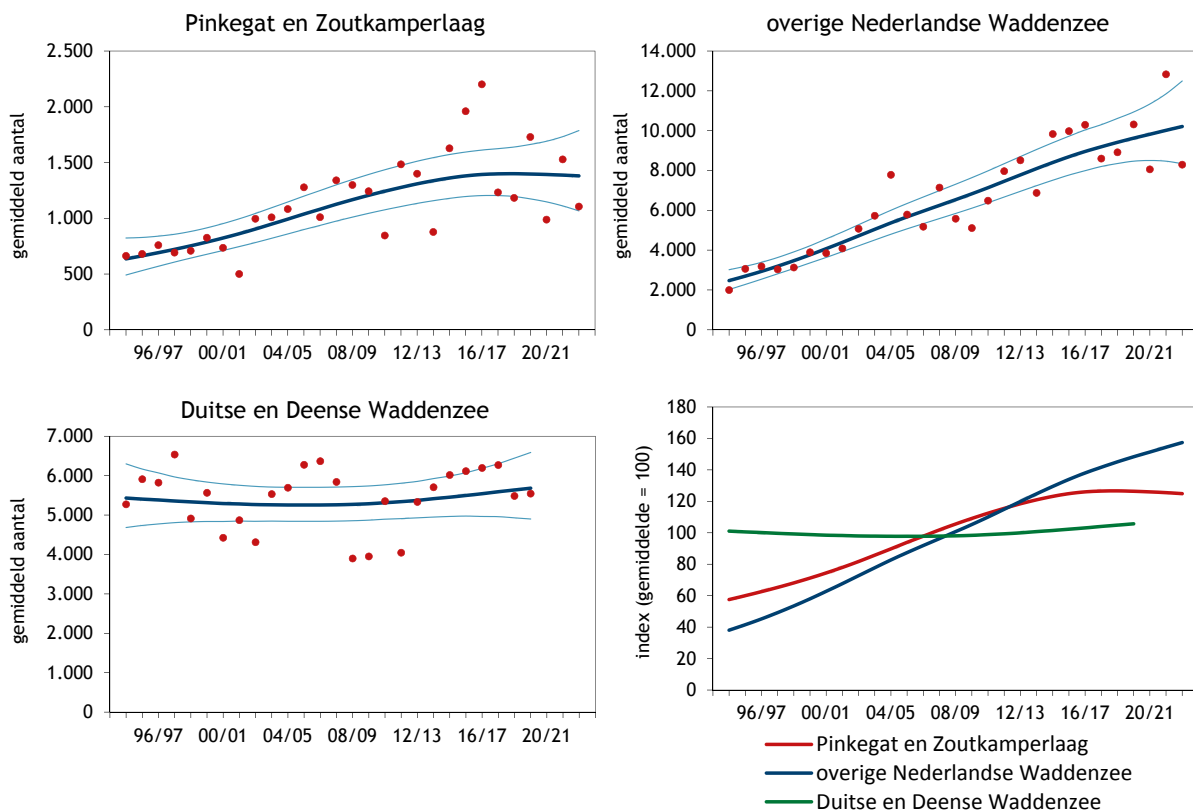
Tabel 8.14. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Kanoet voor januari en augustus.

	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 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever / minder positief dan elders?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

### 8.5.8 Drieteenstrandloper

Vanaf 1994/1995 is er sprake van een duidelijke toename van de aantallen Drieteenstrandlopers in de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.24). Vanaf 2008 is er meer variatie waarneembaar, hoewel de korte termijntrend als stabiel wordt beoordeeld (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 opvallende 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).



Figuur 8.24. 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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

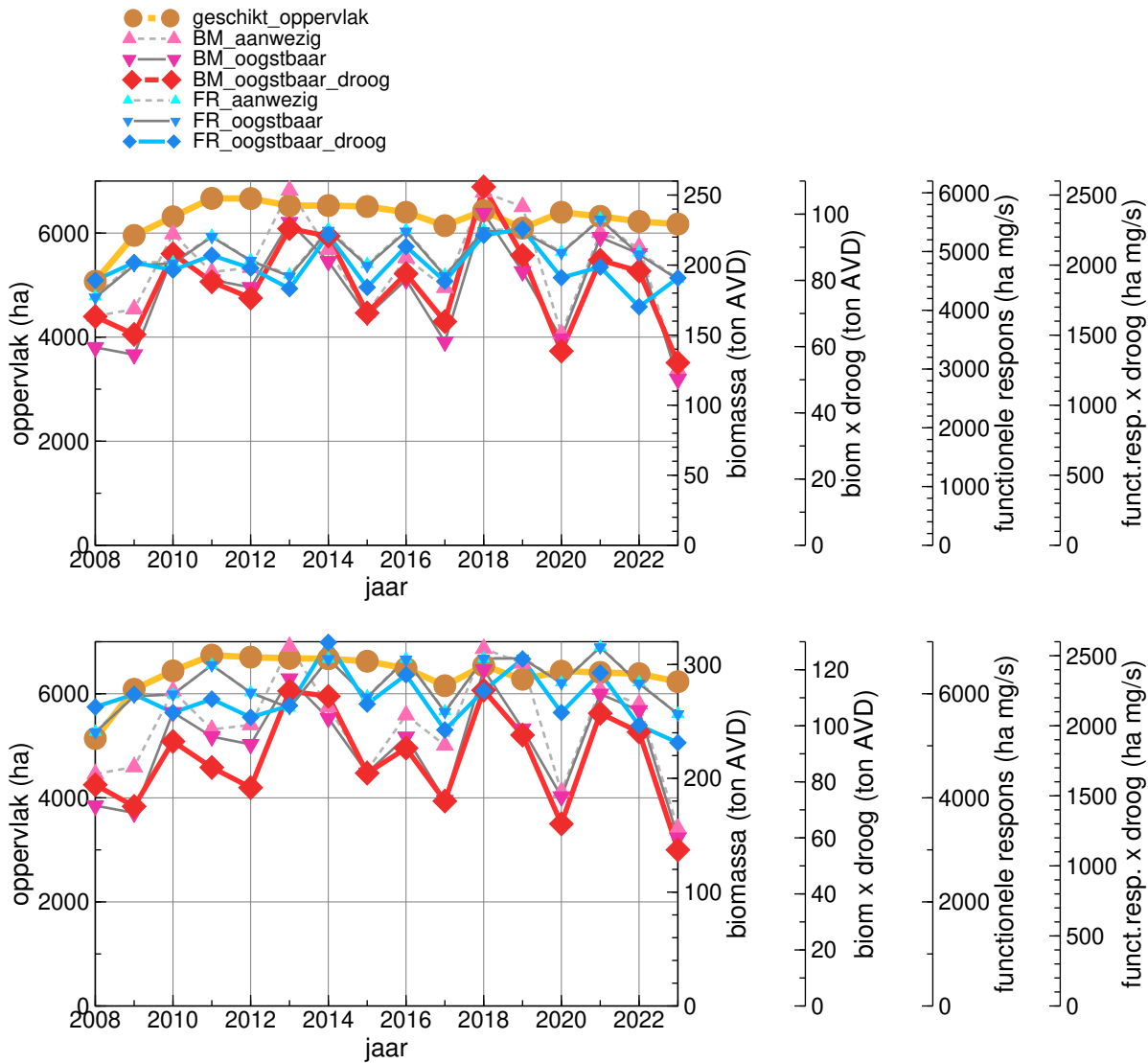
Drieteenstrandloper	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.03	+	Matige toename	1.01	0	Stabiel
Overige Nederlandse Waddenzee	1.05	+	Matige toename	1.03	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	1.00	0	Stabiel	1.01	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)



Voor de Drieteenstrandloper werd geen gevalideerde proxy voor draagkracht gevonden, noch in het voorjaar, noch in de zomer (Ens *et al.* 2019). Er is wel een zeer hoge onderlinge correlatie tussen de proxies. Geen van de proxies laat een negatieve trend zien (Figuur 8.25 en Bijlage I).

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



Figuur 8.25. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Drieteenstrandloper in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in het voorjaar (boven) en in de nazomer (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in Bijlage I.

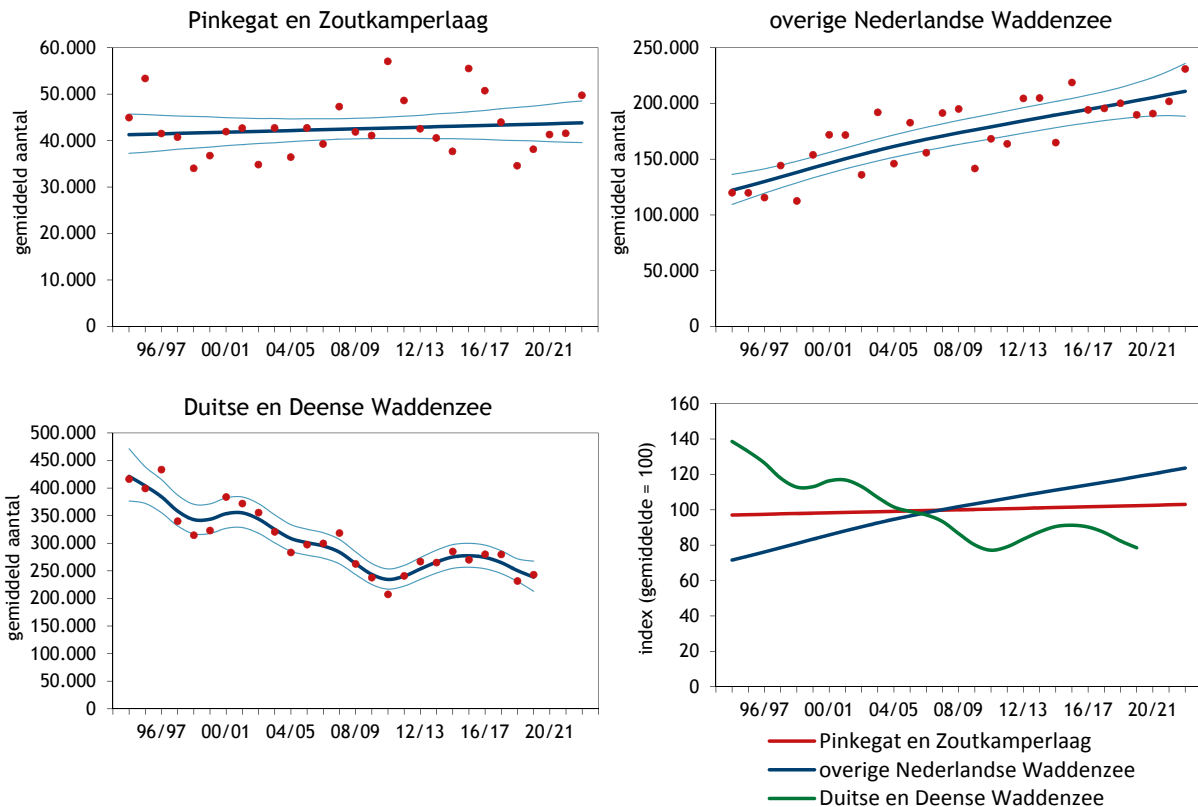
Tabel 8.16. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Drieteenstrandloper in mei en augustus.

	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?	Y → 3	Y → 3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N → 5	Y → 5
5 Alle proxies zelfde trend?	Y → 4	Y → 4
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

### 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 8.26). Deze beoordeling contrasteert met de trend voor de rest van de Nederlandse Waddenzee, welke een matige toename laat zien, voor zowel de korte als de lange termijn trend. 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 8.26. 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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

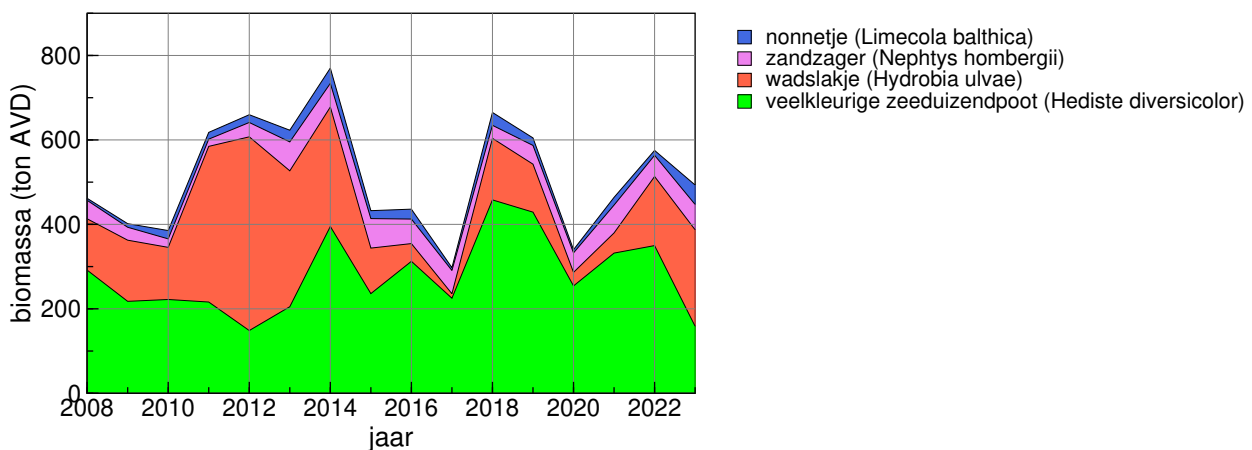
Bonte Strandloper	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.00	0	Stabiel	0.99	0	Stabiel
Overige Nederlandse Waddenzee	1.02	+	Matige toename	1.01	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	0.98	-	Matige afname	1.00	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, al zijn er grote jaarlijkse variaties in dichtheden (Figuur 8.27).

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 een afname in overleving aangetoond, wat erop duidt daar veranderingen hebben plaatsgevonden, welke de populatieomvang negatief beïnvloeden, al blijven de oorzaken van deze afname onduidelijk (Pakanen & Thorup 2016).

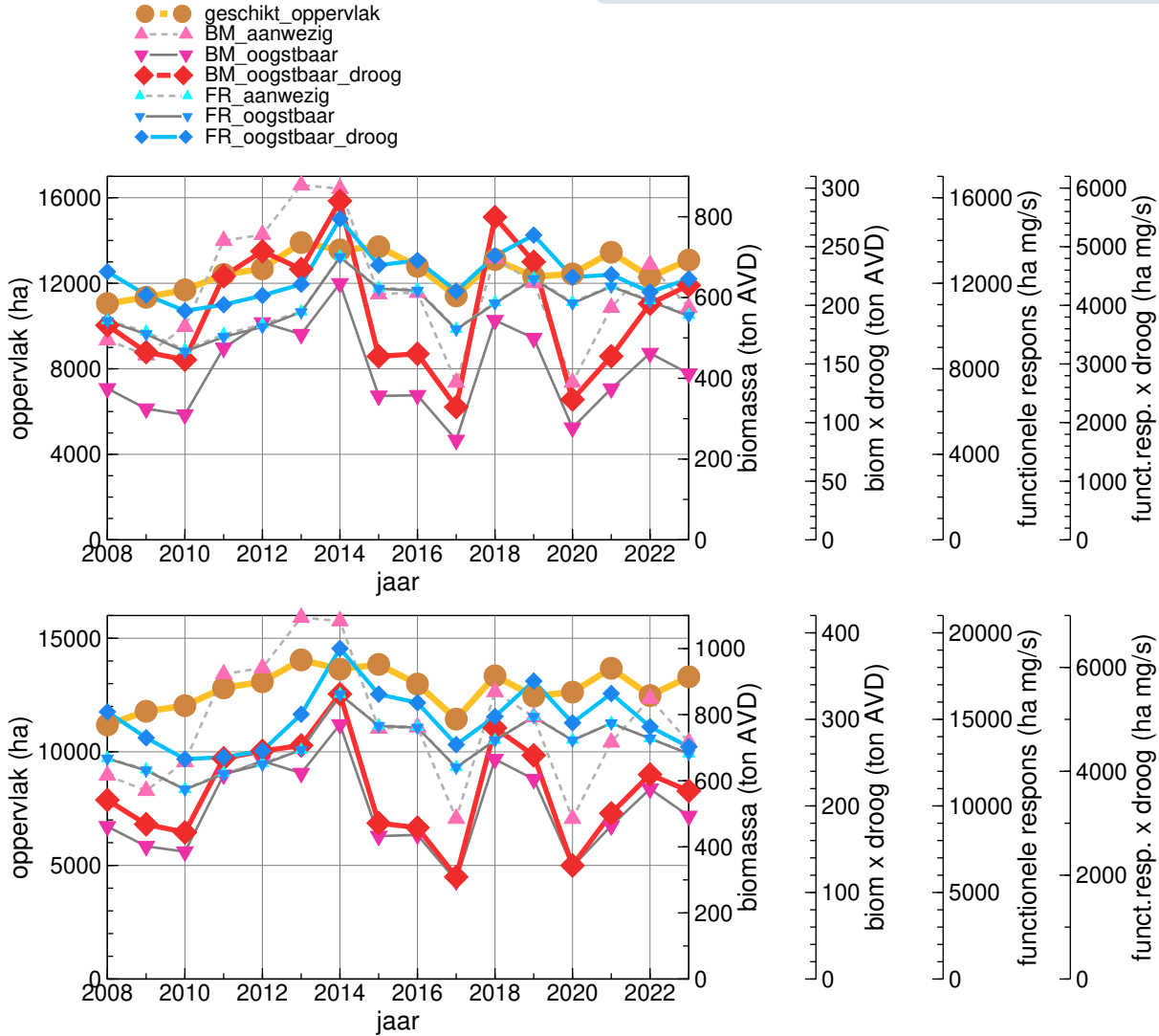


Figuur 8.27. Verloop van de voor Bonte Strandlopers oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2022 voor nazomer.

Voor de nazomer zijn er gevalideerde proxies voor draagkracht: oppervlakte (Opp) scoort het best, maar ook Fraanw en FRoogst scoren hoog (Ens *et al.* 2019). Ook in het voorjaar was 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. Één van de drie

gevalideerde proxies (FRoogst) laat in zowel voor- als najaar laten een significante toename van ~1,1% per jaar in Pinkegat en Zoutkamperlaag zien (Figuur 8.28 en Bijlage I).

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



Figuur 8.28. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Bonte Strandloper in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in het voorjaar (boven) en de nazomer (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.

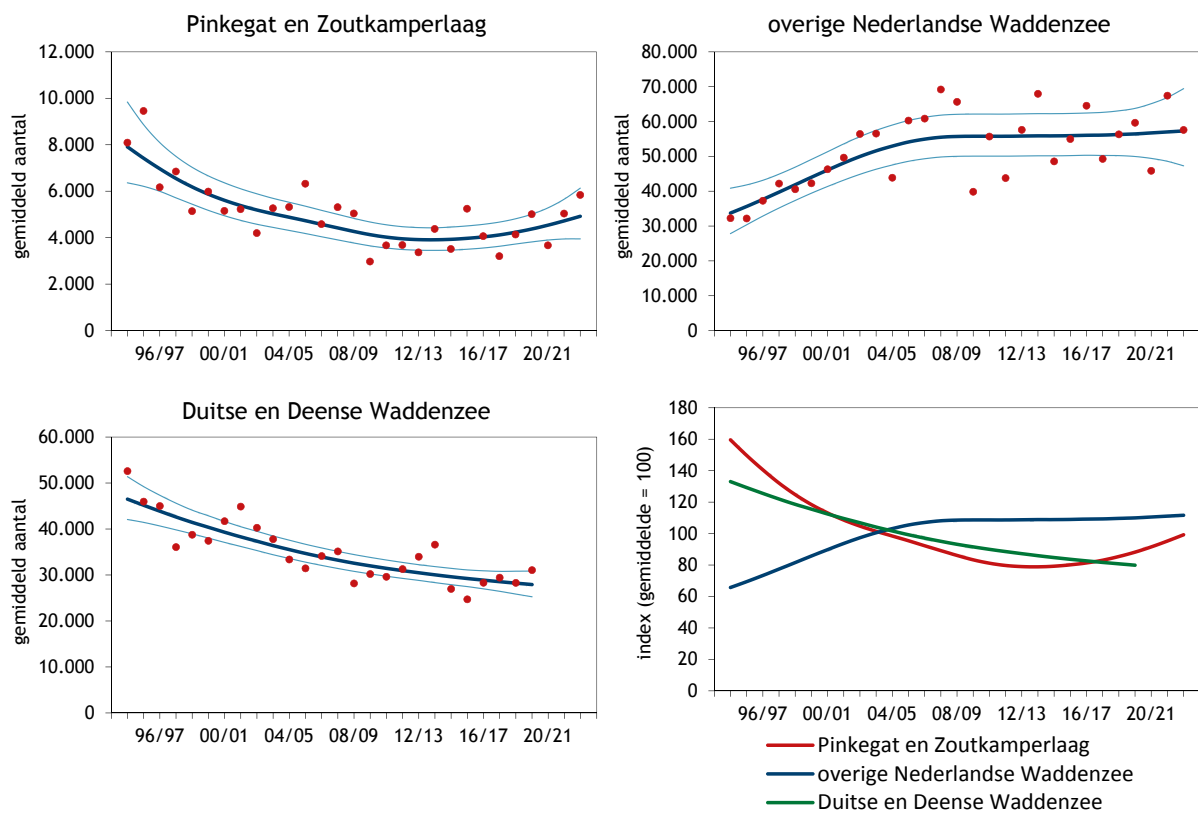
	mei	sept.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y → 2	Y → 2
2 Ontwikkelen vogelaantallen in bodemdalingsgebied zich negatiever / minder positief dan elders?	Y → 3	Y → 3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy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

### 8.5.10 Rosse Grutto

De aantallen Rosse Grutto's in het bodemdalingsgebied Pinkegat en Zoutkamperlaag laten een duidelijke matige afname zien vanaf 1994/1995 (Figuur 8.29), maar op de korte termijn is de trend stabiel (Tabel 8.19). In de rest van de Nederlandse Waddenzee is laat deze soort een matige toename zien. 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 flywaypopulatie 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 *taymyrensis* de Waddenzee aan. Deze (grotere) populatie neemt al langere tijd af (van Roomen *et al.* 2022). In de rekenmaand mei vormen doortrekkende *taymyrensis* vermoedelijk de meerderheid van de aanwezige vogels; in augustus is de verdeling wellicht meer gelijk (Duijns *et al.* 2012).



Figuur 8.29. 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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Rosse Grutto Label	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbool	Beoordeling	Jaarverand	Symbool	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.98	-	Matige afname	1.02	0	Stabiel
Rest Nederlandse Waddenzee	1.02	+	Matige toename	1.00	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.98	-	Matige afname	0.99	-	Matige afname
Oost-Atlantische vliegr., <i>lapponica</i>	1.01*	+	Matige toename	0.96**	+	Matige toename
Oost-Atlantische vliegr., <i>taymyrensis</i>	0.98***	-	Matige afname	0.94**	-	Matige afname

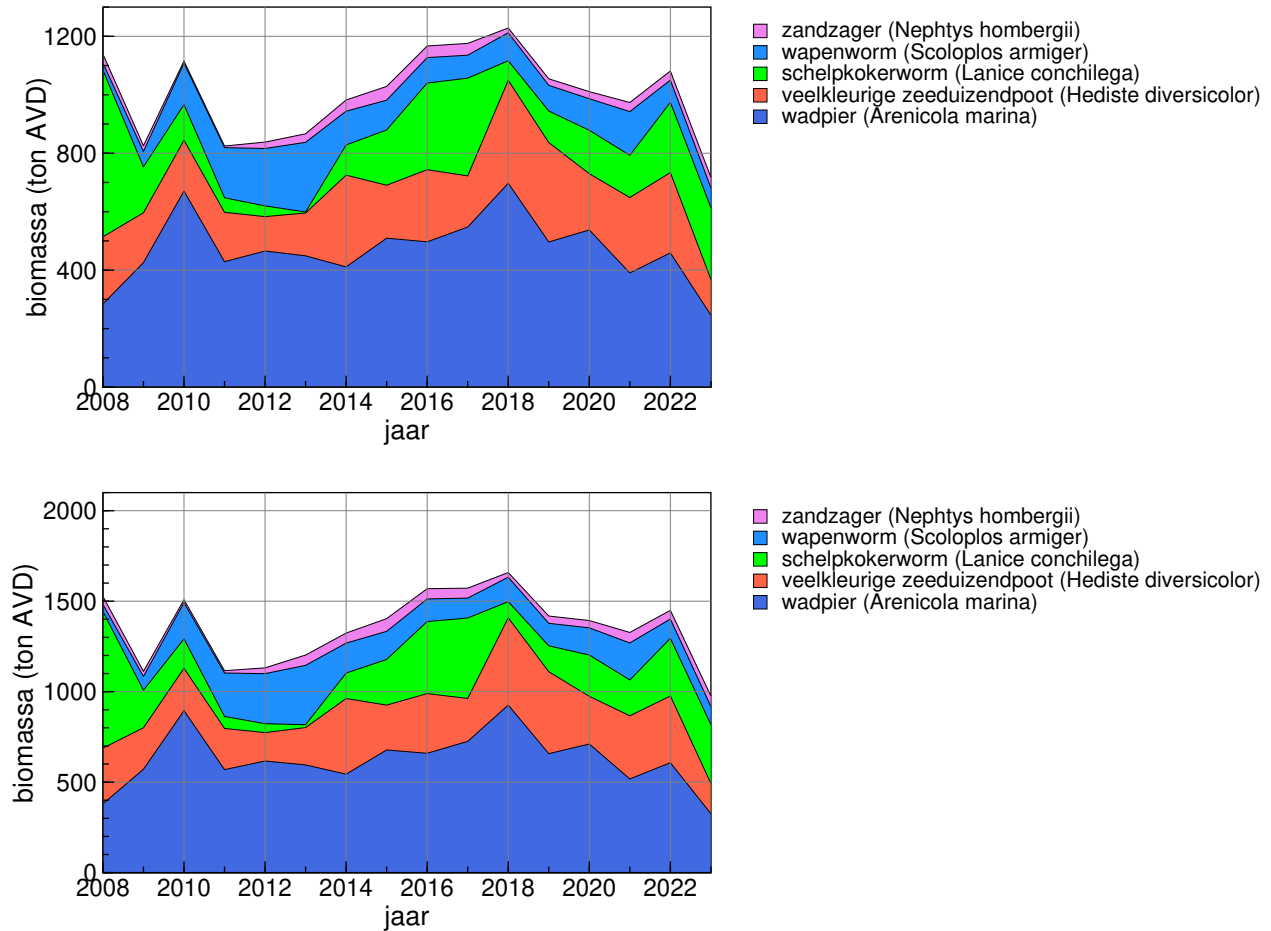
\* Betreft 1975-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

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

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

De belangrijke prosoorten voor Rosse Grutto's zijn de Wadpier *Arenicola marina* en de Zeeduizendpoot *Hediste diversicolor*, welke in het Pinkegat en Zoutkamperlaag ongeveer gelijk zijn gebleven (Figuur 8.30). Zeeduizendpooten zijn vooral in de winter belangrijk als voedsel en Wadpieren in voor- en najaar, wanneer zij door hun gedrag meer beschikbaar zijn aan het oppervlak (Duijns *et al.* 2013, Duijns *et al.* 2015). Rakhimberdiev en collega's (2018) lieten zien dat de jaarlijkse overlevingskans van *taymyrensis*

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 afnemende trend van de *taymyrensis*-populatie, lijkt dit mitigatie-effect echter niet voldoende te zijn.

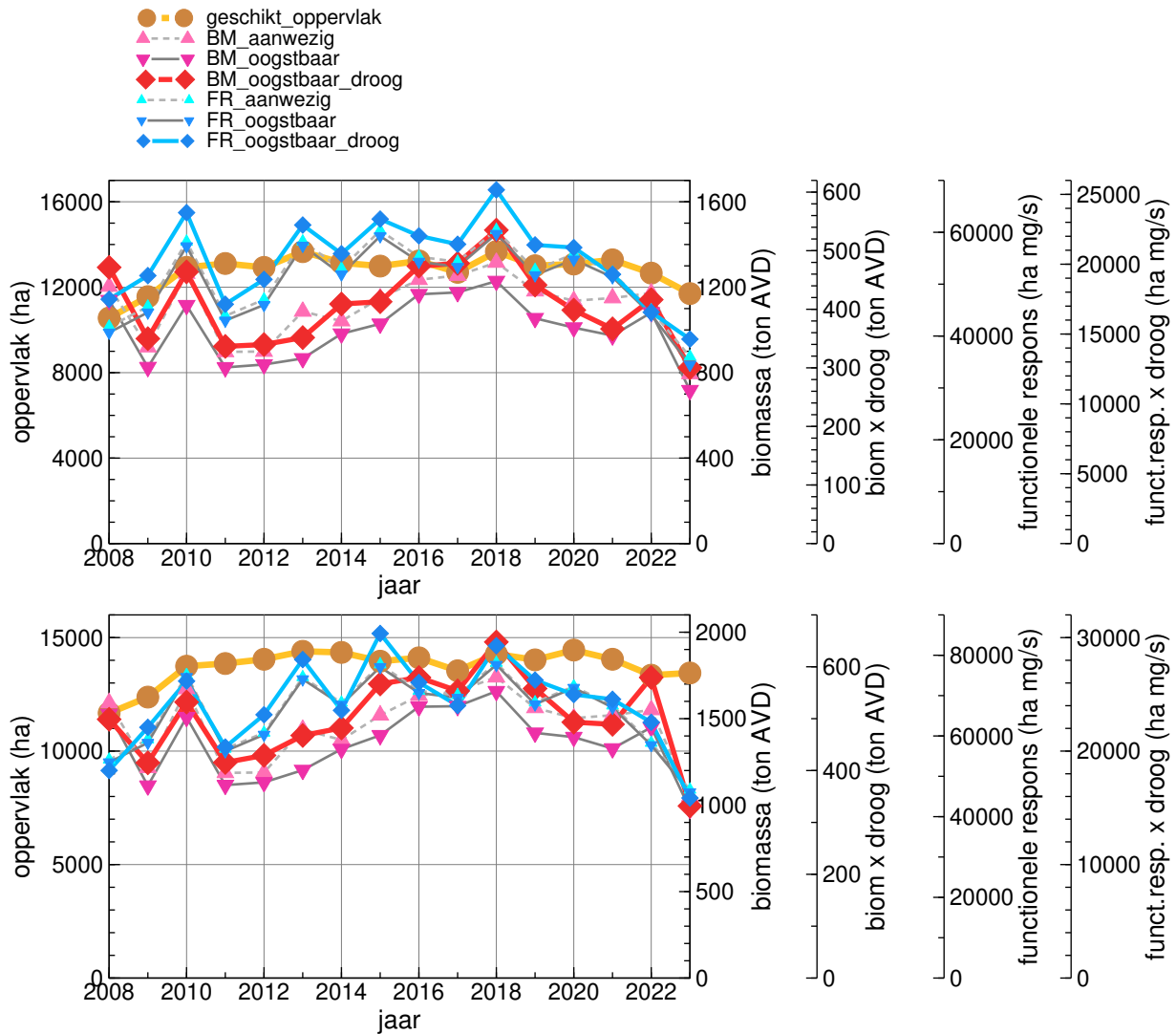


Figuur 8.30. Verloop van de voor Rosse Grutto's oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2022 voor voorjaar (boven) en zomer (onder).

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 relatief goed, maar bereikt 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 er is geen verandering in de trendrichting vastgesteld (Figuur 8.31, Bijlage I).

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



Figuur 8.31. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Rosse Grutto in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in het voorjaar (boven) en de zomer (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

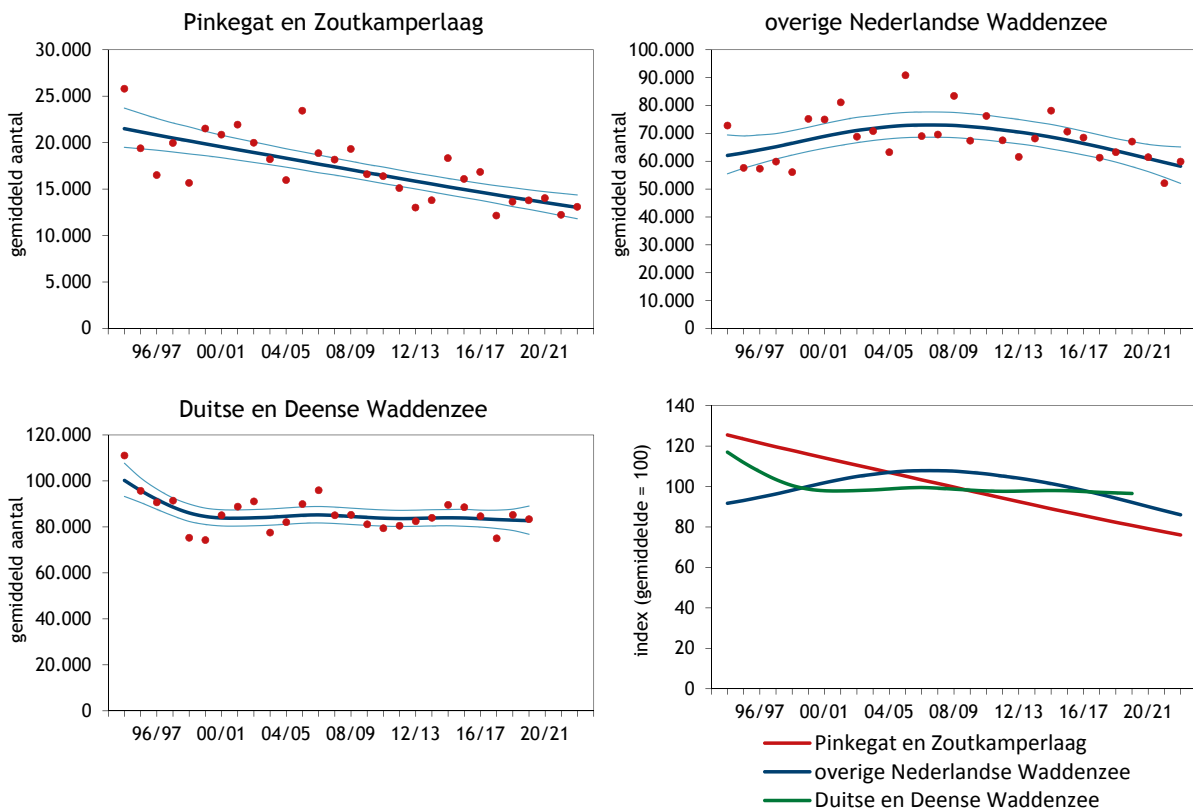
Tabel 8.20. Weergave in tabelvorm van het beslisschema hoe monitoring resultaten vertaald kunnen worden naar uitspraken over het al of niet optreden van effecten van bodemdaling op de wadvogels, toegepast op de Rosse Grutto in mei en augustus.

	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 / minder positief dan elders?	Y → 3	Y → 3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	N → 5	Y → 5
5 Alle proxies zelfde trend?	Y → 4	Y → 4
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

### 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 lange termijn een stabiele trend laat zien (Figuur 8.32, Tabel 8.21), maar op de korte termijn laat deze soort een matige

afname zien. In de internationale Waddenzee is er ook een matige afname te zien over de lange termijn, 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)



Figuur 8.32. 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.

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 vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Wulp Label	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbol	Beoordeling	Jaarverand	Symbol	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.98	-	Matige afname	0.98	-	Matige afname
Overige Nederlandse Waddenzee	1.00	0	Stabiel	0.98	-	Matige afname
Duitse en Deense Waddenzee	0.99	-	Matige afname	1.00	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroute (NW Eur)	0.99*	-	Matige afname	1.00**	-	Stabiel

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

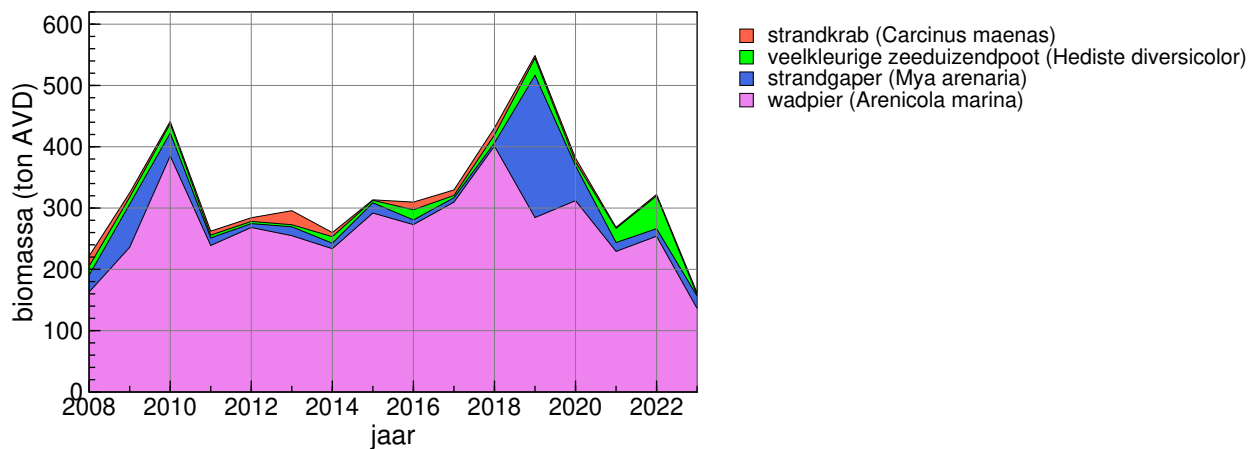
\*\* Betreft de periode 2009-2018 (van Roomen *et al.* 2022)





Er zijn geen aanwijzingen dat het voedselaanbod verslechtert in Pinkegat en Zoutkamperlaag (Figuur 8.33). 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 geen systematische monitoring van lokale veranderingen in het verstoringslandschap. De Wulp is veruit de schuwste wadvogel

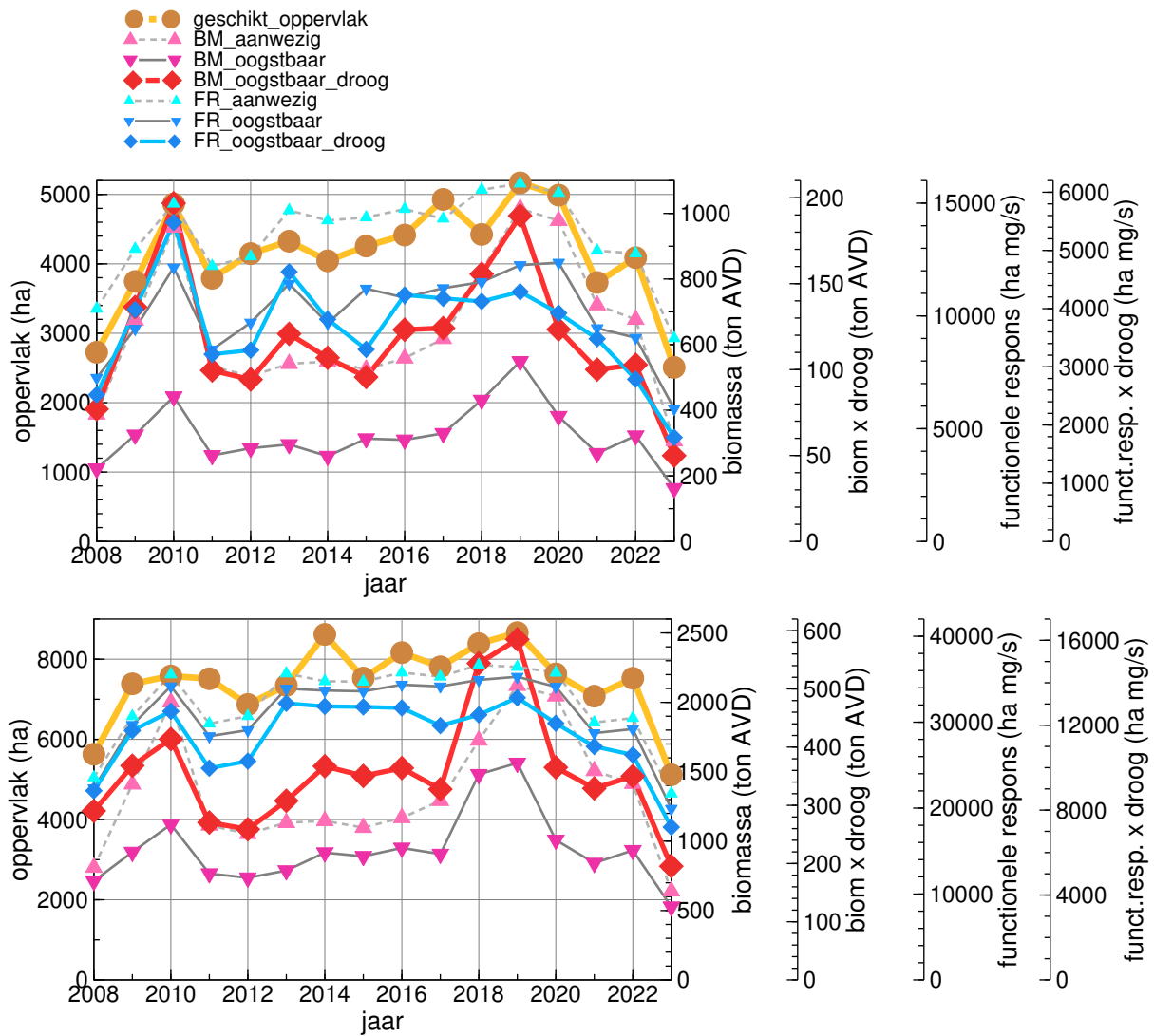
met de grootste opvliegafstand voor mensen (Spaans *et al.* 1996, Krijgsveld *et al.* 2022), zodat lokale veranderingen in het verstoringslandschap grote gevolgen kunnen hebben. Zo is in de periode 2015-2017 de dijk op Ameland versterkt en de werkzaamheden bleken veel grotere gevolgen te hebben voor de overtijende 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).



Figuur 8.33. Verloop van de voor Wulpen oogstbare biomassa in Pinkegat en Zoutkamperlaag in de periode 2008-2023 voor voorjaar (boven) en nazomer (onder).

Geen van de proxies laat een significante trend zien, al zien we de laatste jaren wel een daling, maar de periode is te kort om van een trend te spreken. (Figuur 8.33).

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



Figuur 8.34. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Wulp in Zoutkamperlaag-Pindegat voor de jaren 2008-2022 in de winter (boven) en de nazomer (onder). De berekende trendwaarden voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

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 / minder positief dan elders?	Y → 3	Y → 3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy voor draagkracht?	Y → 4	N → 5
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?	N → 8	
5 Vertonen alle proxies dezelfde trend?		Y → 4
4 Vertoont de proxy voor draagkracht een negatieve trend?		N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

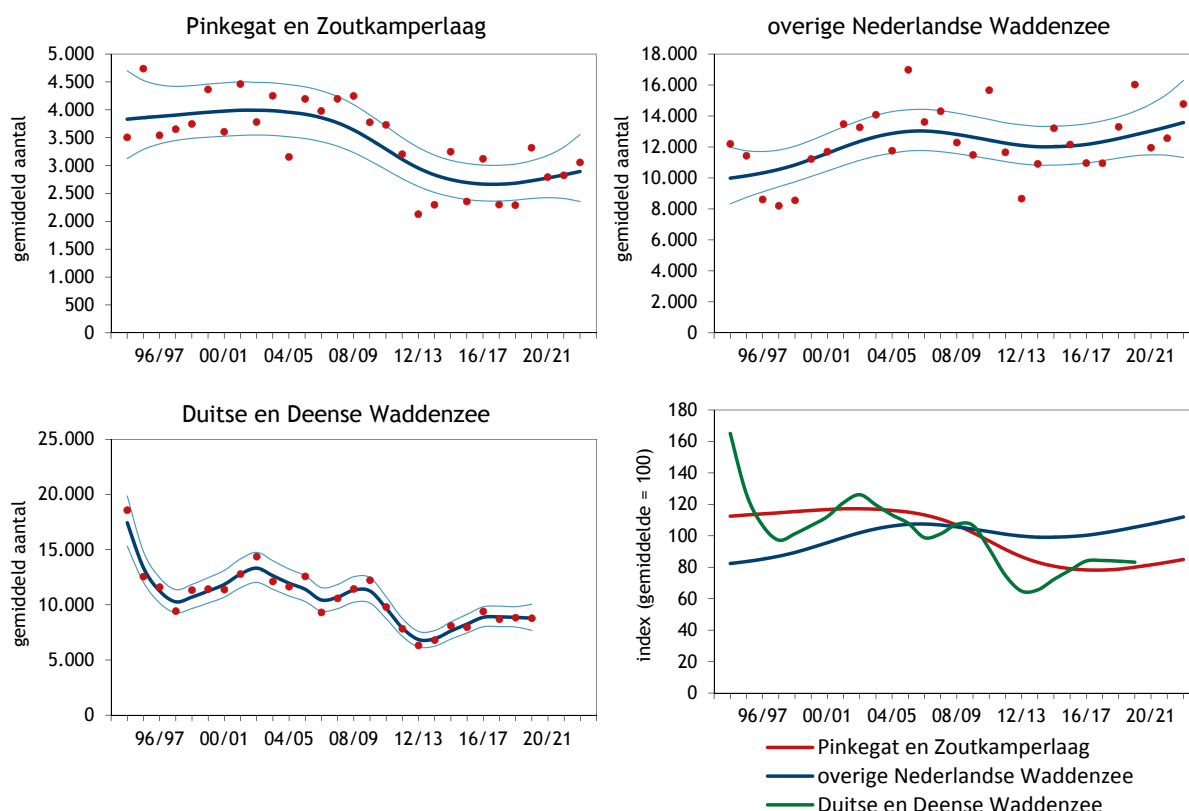
### 8.5.12 Tureluur

In de kombergingen van Pinkegat en Zoutkamperlaag nemen de aantallen Tureluurs vanaf 2010 langzaam af (Figuur 8.34, 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 (van Roomen *et al.* 2022).

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 trekende 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).

Voorgaande jaren leek er enige discrepantie te zitten tussen de trends over de onderzoeksperiode in de aantallen Tureluurs in Pinkegat en Zoutkamperlaag en



Figuur 8.35. 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 1994/1995) en de korte termijn (vanaf 2010/2011).

Tureluur Label	Vanaf 1994/1995			Vanaf 2010/2011		
	Jaarverand	Symbol	Beoordeling	Jaarverand	Symbol	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	0.99	0	Stabiel	0.99	0	Stabiel
Overige Nederlandse Waddenzee	1.01	+	Matige toename	1.01	0	Stabiel
Duitse en Deense Waddenzee	0.97	-	Matige afname	0.99	0	Stabiel
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)

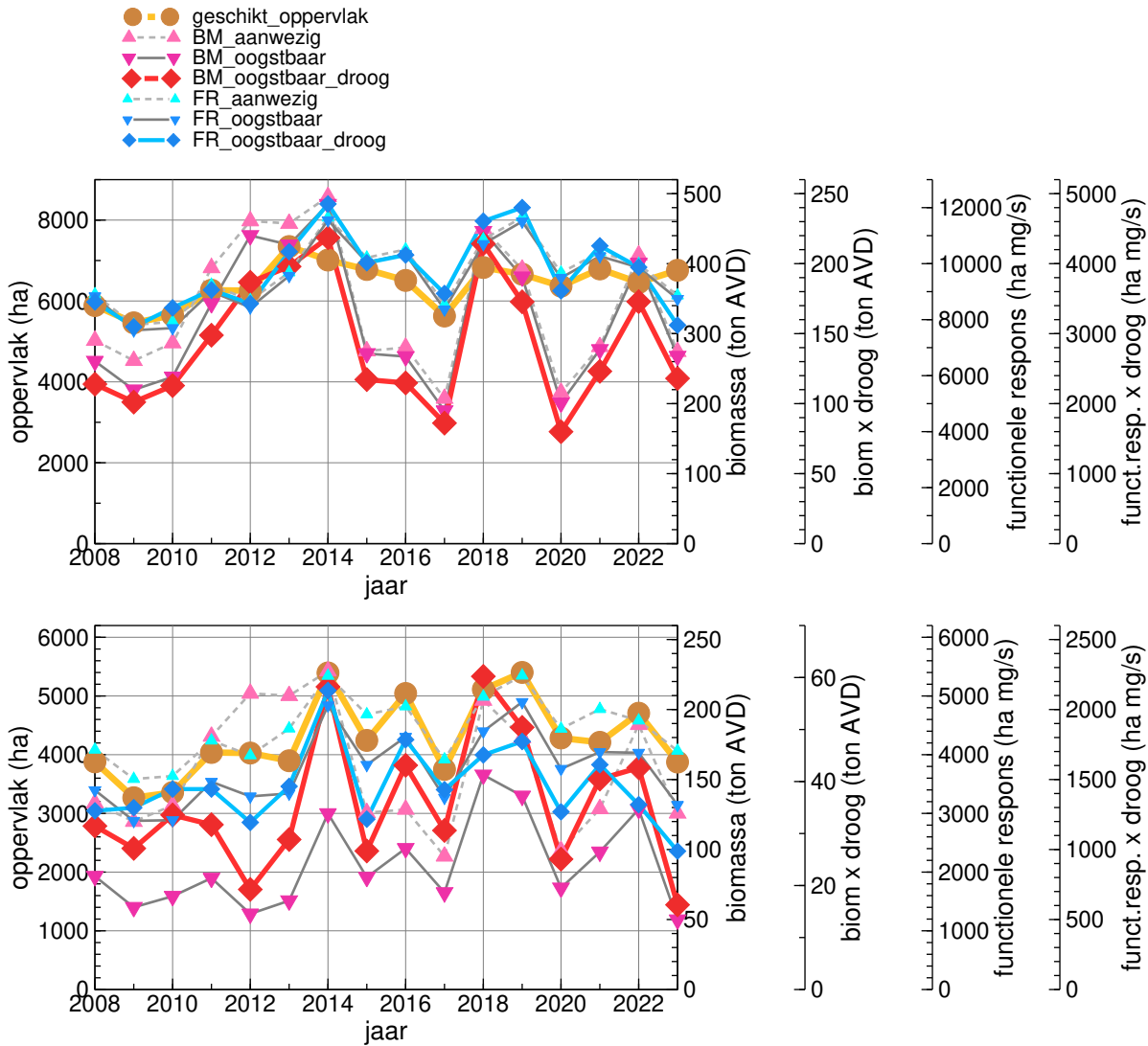
\*\*\* Betreft de periode 2008-2017 (van Roomen *et al.* 2022)

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

in de berekende proxies voor voedselbeschikbaarheid (Figuur 8.35), maar dat beeld is aan het veranderen. Voor de meeste proxies is de trendrichting toenemend, maar niet significant. 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). Deze ontwikkeling 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.

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



Figuur 8.36. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Tureluur in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 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.

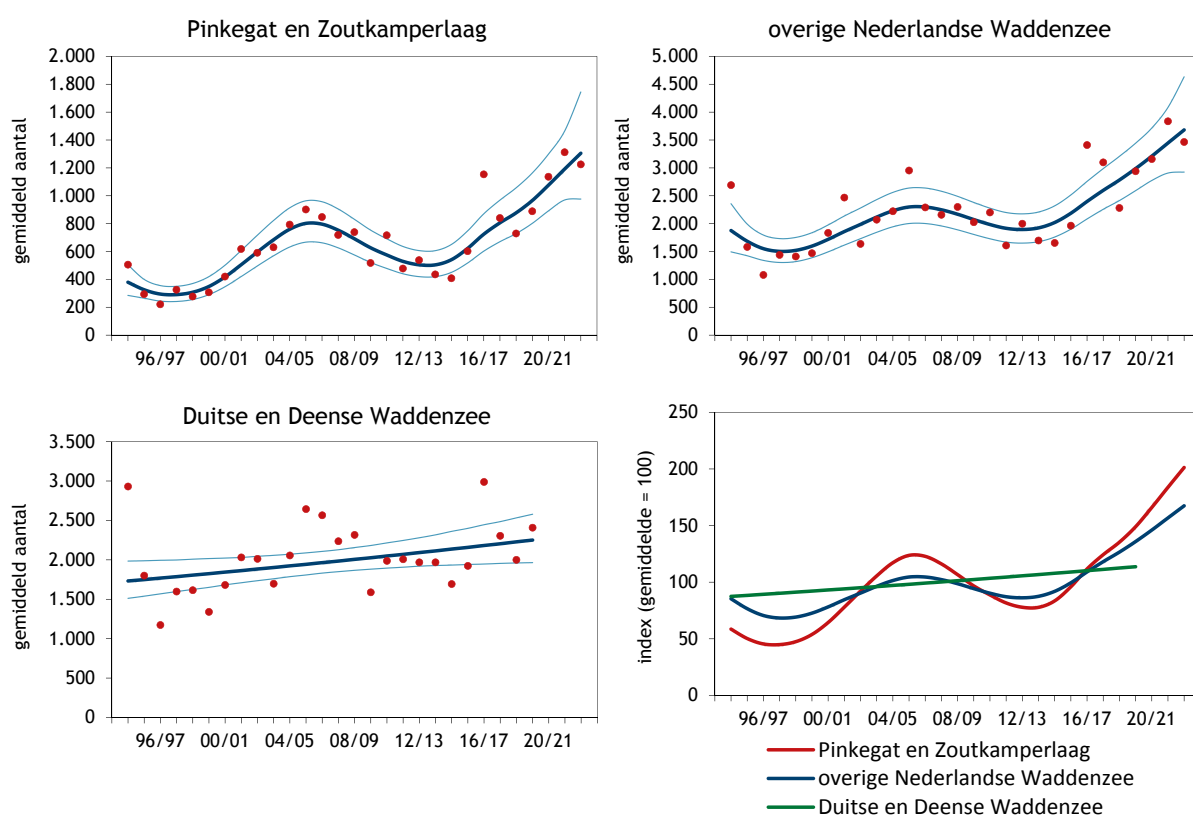
	jan.	jul.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y → 2	Y → 2
2 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever / minder positief dan elders?	Y → 3	Y → 3
3 Is er sprake van een gevalideerde proxy 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
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

### 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 2012 is er zelfs sprake van een sterke toename (Figuur 8.36, Tabel 8.25). De trend in de internationale Waddenzee lijkt op dit golvende patroon, maar minder sterk. De trend wordt voor de korte en lange termijn in de Duitse en Deense Waddenzee beoordeeld als een matige toename.

Veruit de grootste populatie Steenlopers die door ons land trekt en hier overwintert is afkomstig uit de Groenlandse en Noordoost Canadese broedgebieden (*A.i. morinella*) en omvat 200.000-260.000

individuen. Deze populatie is op de lange termijn toegenomen, maar op de korte termijn stabiel (Hornman *et al.* 2022). 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)



Figuur 8.37. 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 vliegroute voor de lange termijn (vanaf 1994) en de korte termijn (vanaf 2010).

Steenloper Label	Vanaf 1994			Vanaf 2010		
	Jaarverand	Symbol	Beoordeling	Jaarverand	Symbol	Beoordeling
Pinkegat en Zoutkamperlaag	1.05	+	Matige toename	1.09	++	Sterke toename
Overige Nederlandse Waddenzee	1.02	+	Matige toename	1.06	+	Matige toename
Duitse en Deense Waddenzee	1.01	+	Matige toename	1.01	+	Matige toename
Oost-Atlantische vliegroute (Nearctisch)	1.02*	+	Matige toename	0.99***	0	Stabiel
Oost-Atlantische vliegroute (Palearctisch)	0.97**	-	Matige afname	1.02***	x	Onzeker

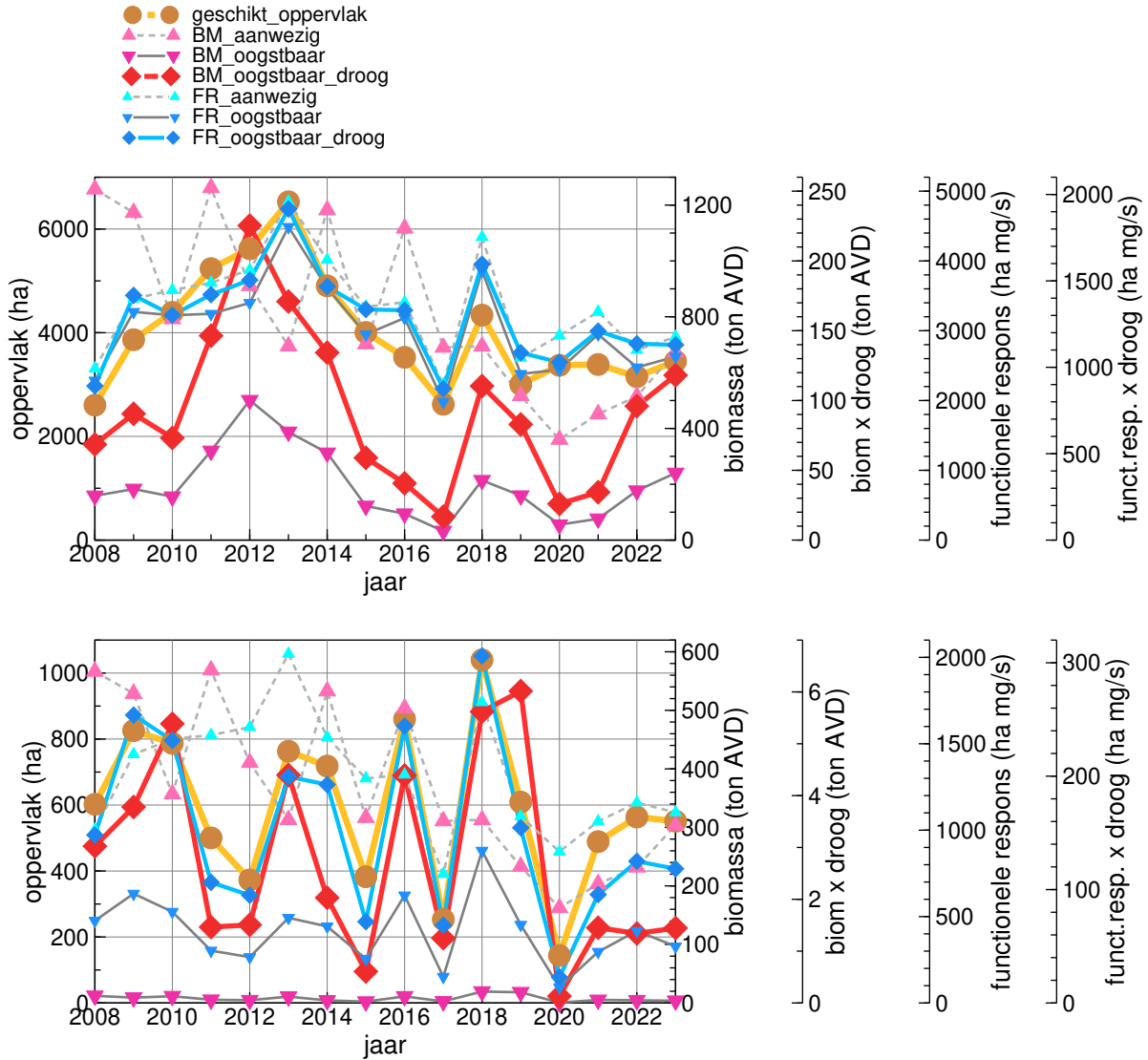
\* Betreft de periode 1977-2020 (van Roomen *et al.* 2022)

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

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

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 hoger in de zomer dan in de winter. Alle proxies vertonen geen trend, behalve een

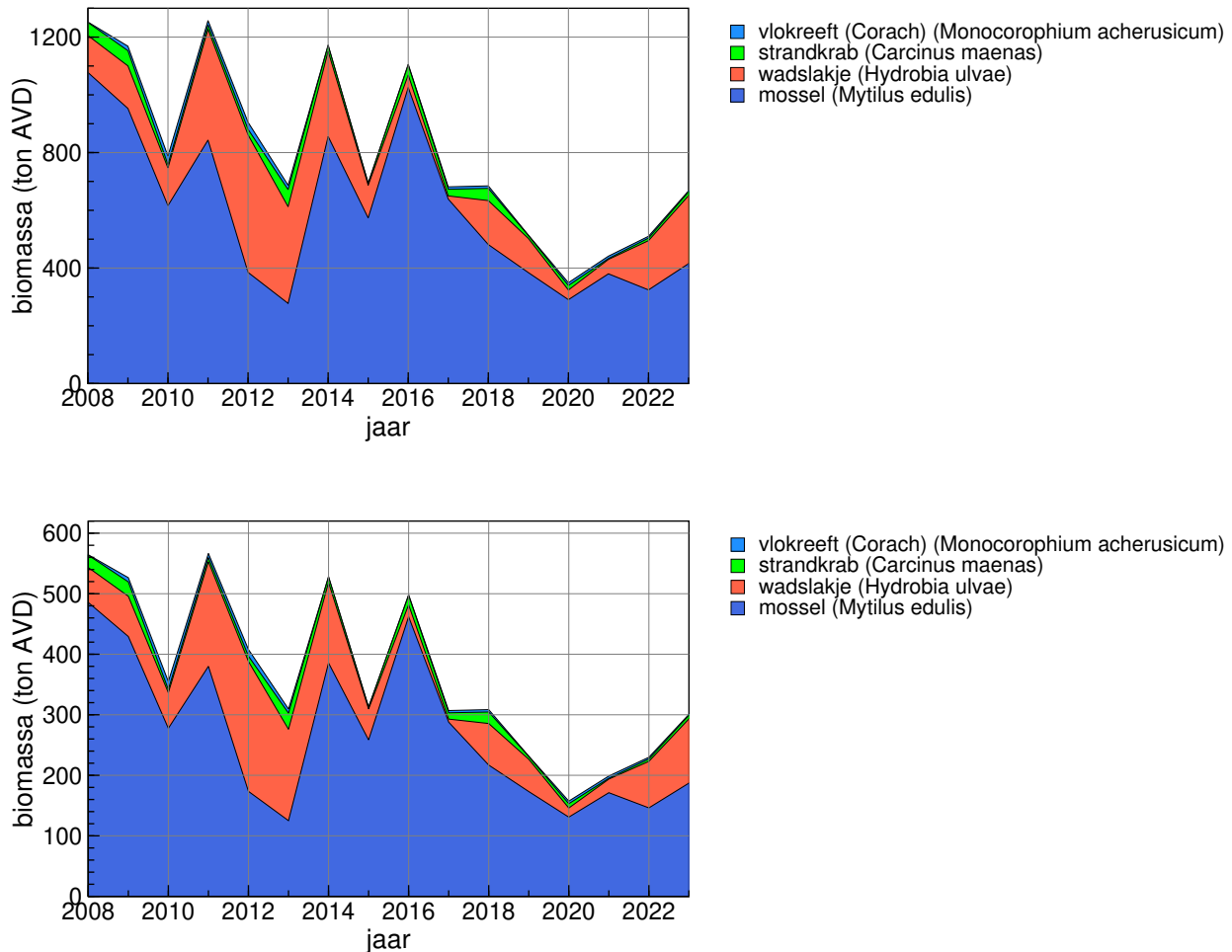
negatieve significante trend voor *BMaanw*, waar de afname 6,8% per jaar in beide seizoenen is (Figuur 8.37 en Bijlage I). Dat is zowel in de winter als in de zomer primair het gevolg van de afname van de biomassa Kokkels en de fluctuaties van de Strandkrab (Figuur



Figuur 8.38. Verloop van de proxies voor draagkracht voor de Steenloper in Zoutkamperlaag-Pinkegat voor de jaren 2008-2022 in de nazomer (boven) en de winter (onder). De berekende trendwaardes voor de verschillende proxies en eventuele significantie staan in de appendix.

8.38). 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 Zoutkamperlaag.

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



Figuur 8.39. Verloop van de proxy BMaanw in Pinkegat-Zoutkammerplaag voor de Steenloper in de nazomer (boven) en de winter (onder). De proxy behelst de biomassa van alle prooi-soorten die als stapelvoedsel

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.

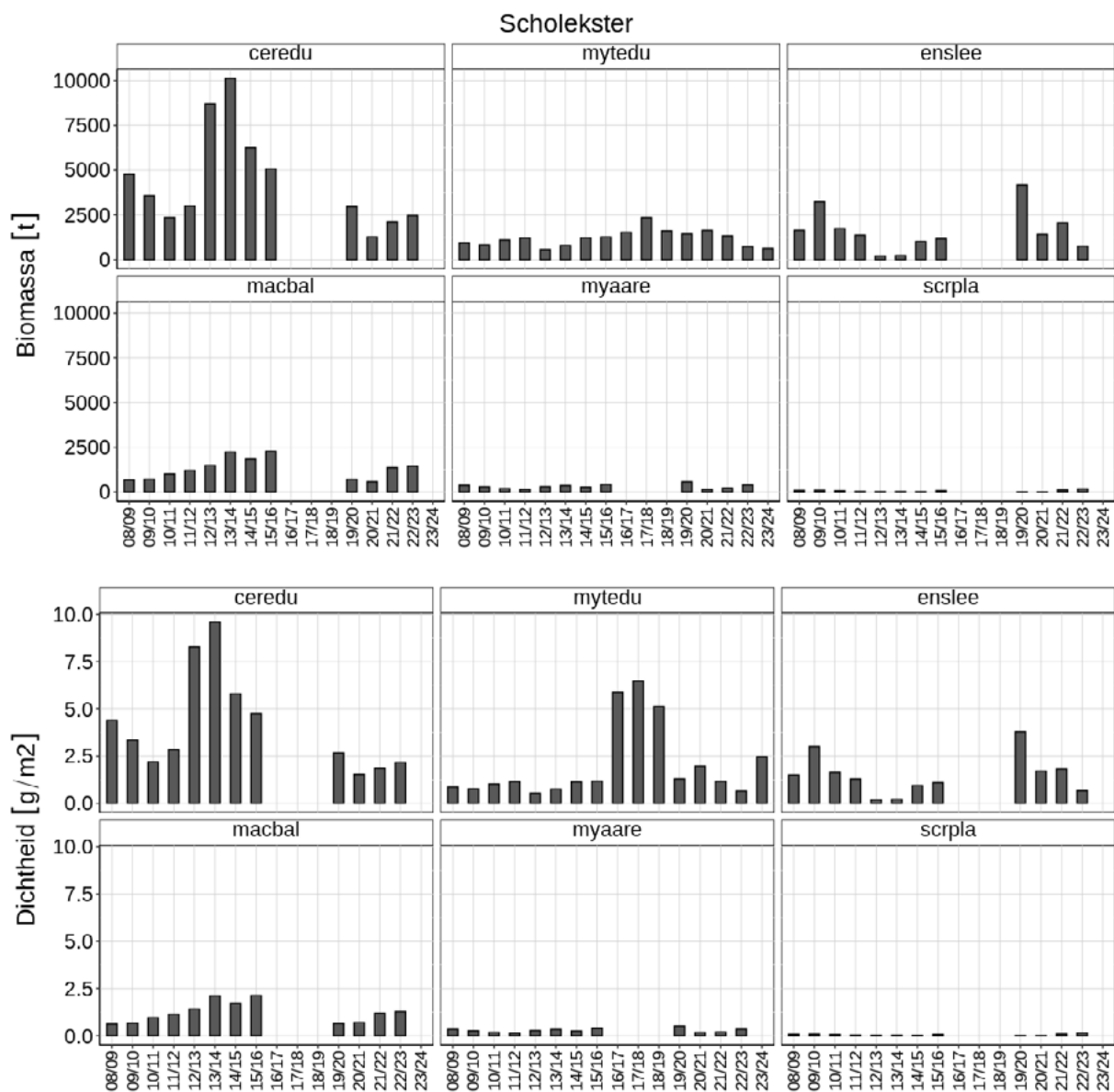
	Jan.	Aug.
1 Trend uit tellingen geeft voldoende nauwkeurig beeld van ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied?	Y → 2	Y → 2
2 Vogelaantallen in bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever (of minder positief) dan elders?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect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

## 9 Resultaten en discussie SEM Methodiek

In navolging van de vorige twee rapportages (Duijns *et al.* 2022, Duijns *et al.* 2023), wordt in dit hoofdstuk een vervolg gegeven aan deze methode. Zo worden dezelfde soorten behandeld als in de Wadmap berekeningen om een beeld gegeven van de verspreiding van het voedsel en de aantallen vogels in de verschillende deelgebieden (zie ook Hoofdstuk 7). Deze data zijn met een Structural Equation Model (SEM) geanalyseerd. Voor elke soort zijn dezelfde stappen doorlopen, en om de leesbaarheid te bevorderen is ervoor gekozen om de resultaten van 1 soort wat uitgebreider te bespreken, waarna een samenvatting volgt voor de andere soorten.

### 9.1 Scholekster biomassa

Als eerste wordt er naar de beschikbare biomassa in alle deelgebieden gekeken (Figuur 9.1), waar de totale biomassa (ton) in de nazomer op de wadplaten voor de Scholekster te zien is. Tevens is in dezelfde figuur de biomassa dichtheid opgenomen ( $\text{g}/\text{m}^2$ ). In de analyses wordt de beschikbare biomassa wordt gewogen voor droogvalduur en voor vliegafstand (niet in Figuur). In termen van biomassa is de Kokkel de belangrijkste prooi soort. De gemiddelde biomassadichtheid van het Mesheft (*enslee*), Strandgaper (*myaare*) en de platte



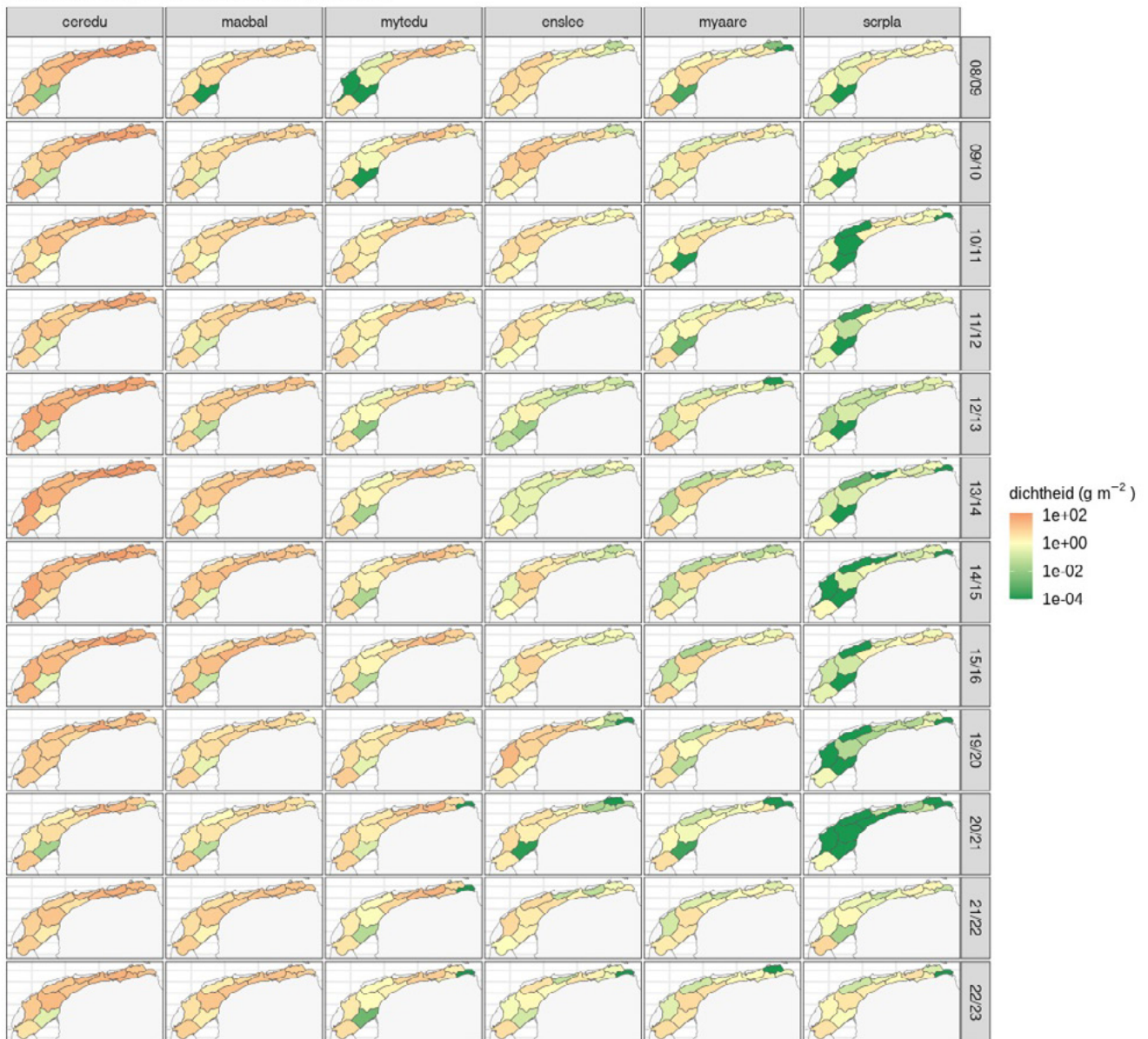
Figuur 9.1. In de periode 2008/2009 - 2015/2016 en 2019/2020 - 2022/2023 is de gemiddelde biomassa (t) en dichtheid ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) op de wadplaten voor de Scholekster zien. In termen van biomassa dichtheid, is de kokkel de belangrijkste prooi soort gevolgd door het nonnetje en de mossel en mesheften. De gemiddelde biomassa dichtheid van de strandgaper (*myaare*) en de platte slijkgaper (*scrpla*) zijn beduidend lager. Opvallend is de grote variatie in koksels en mosselen tussen de jaren.



Slijkgaper (*scrpla*) zijn beduidend lager. Opvallend is de grote variatie in de biomassadichtheid van Kokkels tussen de jaren en de gestage afname sinds 2013/2014. Deze figuur heeft overeenkomsten met de figuur uit Wadmap (Figuur 8.10). Twee belangrijke verschillen met Wadmap zijn dat in dit geval een weging heeft plaatsgevonden voor de vliegafstand tussen wadplaat en HVP, en dat dit op Waddenzee brede schaal is berekend. Overigens is voor de jaren 2015-2018 de SIBES-bemonstering alleen uitgewerkt voor het MLV gebied en nog niet op Waddenzee-brede schaal.

Vervolgens is gekeken naar de relatie tussen de aantallen Scholeksters op de HVP met de voedselbeschikbaarheid (Figuur 9.2), en is feitelijk dezelfde data, alleen op een andere manier weergegeven. De dichtheden voedsel 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 corresponderen op het eerste gezicht redelijk

Scholekster: prooidichtheid (september)



Figuur 9.2 Gemiddelde prooidichtheden voor Scholeksters op de wadplaten in combinatie met de aantallen Scholeksters in het desbetreffende deelgebied. De dichtheden voedsel in de oostelijke Waddenzee zijn hoger dan in de westelijke Waddenzee.

met de voedseldichtheid. Wat opvalt is dat de aantallen Scholeksters van de vastelandskust relatief laag zijn ten opzichte van de eilanden.

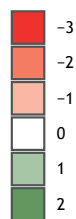
Op basis van het geschatte model kunnen de residuen onderzocht worden. Figuur 9.3 laat zien dat nabij het Balgzand, op de Waddeneilanden en rondom Griend meer vogels zitten dan verwacht zou worden op basis van het voedsel (in combinatie met de aanname van een ideaal vrije verdeling) en dat met name op de kwelders van de Friese en Groningse vasteland er minder Scholeksters zitten dan verwacht. Dit patroon is robuust door de jaren heen en tussen maanden.

## 9.2 Scholekster SEM resultaten

Er is een SEM geschat door de gehele dataset waarbij ieder punt als een onafhankelijke observatie wordt beschouwd. Omdat het benthos één maal per jaar wordt bemonsterd, en de (gewogen) beschikbaarheid van benthos in verschillende maanden op basis van vaste relaties wordt geschat, is er een sterke mate van afhankelijkheid tussen de maanden binnen een seizoen. Voor de aantallen vogels is dit minder het geval maar hier kan plaatstrouw ertoe leiden dat tellingen in verschillende maanden van hetzelfde jaar niet als onafhankelijk kunnen worden gezien. Deze afhankelijkheden worden hier genegeerd omdat het doel van de SEM analyse niet zozeer is om hypothesen te toetsen (waarvoor onafhankelijke observaties nodig zijn), maar om de ontwikkeling over jaren van de latente variabele foerageerpotentieel te kwantificeren, en om een eventuele mismatch tussen het getelde aantal vogels en het op basis van voedselaanbod voorspelde aantal vogels te analyseren.

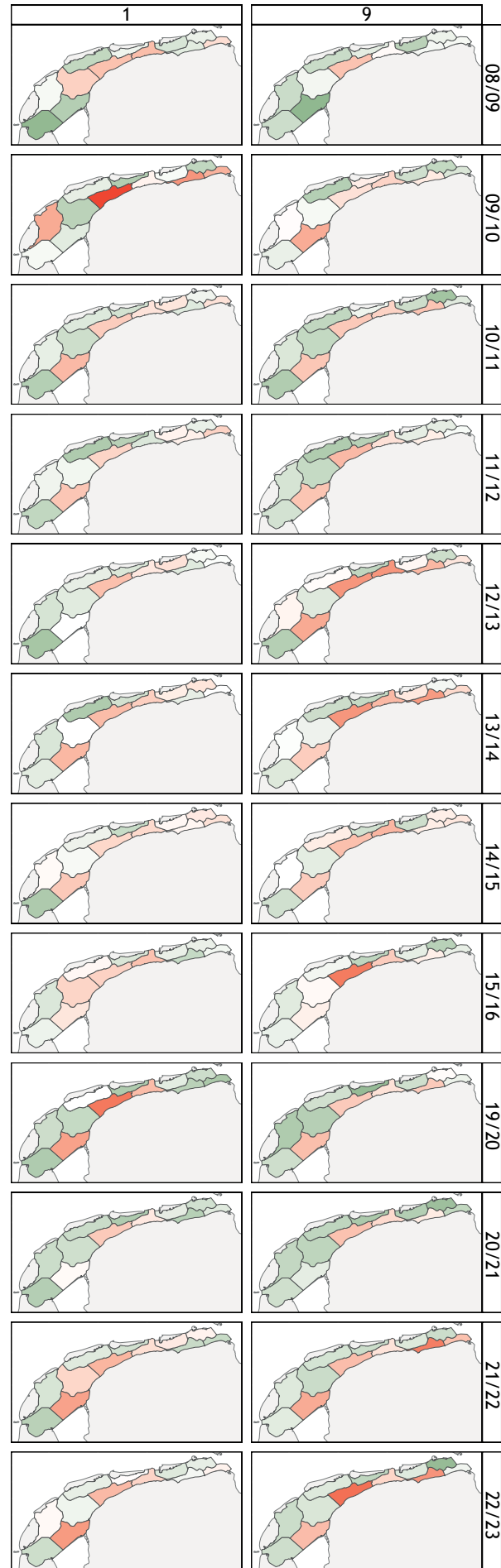
Voor deze rapportage is nog niet gekozen om modellen te beoordelen en uit te sluiten wanneer niet voldaan wordt aan alle aannames, maar om de lezer een idee te geven over de fit van het model en hoe goed de schattingen zijn. Daarom staat in Tabel 9.1 een gedetailleerd overzicht (o.a. *RMSEA*, chi square,  $R^2$ ), van de SEM per soort en maand gegeven.

residual



Figuur 9.3. De residuen (mismatch) van het aantal Scholeksters ten opzichte van het voedsel voor de maanden september en januari.

## Scholekster - mismatch



Het model voor de Scholekster als geheel fit de data niet heel erg goed ( $RMSEA = 0.118$ ), maar ook niet heel slecht (aannahme is dat de score idealiter  $<0.1$ ). Dit wordt grotendeels verklaard door een mismatch tussen het aantal vogels en het beschikbare voedsel op de wadplaten. Desalniettemin zijn de resultaten logisch en consistent. De factor analyse laat zien dat de biomassa van de verschillende soorten grotendeels goed met elkaar corresponderen. Een uitzondering zijn Mesheften die juist op laag gelegen wad in de westelijke Waddenzee onder Vlieland in hoge dichtheden voorkomt terwijl de dichtheden van andere prooisorten 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) is 42% in de winter en 48% in het najaar. Dat is - gezien de kennis over de voedsel生态学 van de Scholekster - waarschijnlijk het gevolg van dat ook andere factoren dan voedsel bepalend zijn voor de HVP keuze van scholeksters (zie ook paragraaf 10.3). Overigens zijn de proxies uit Wadmap gevalideerd als er  $>25\%$  van de variantie verklaard werd (Ens *et al.* 2017b), dus deze SEM uitkomsten voor Scholeksters zit in dezelfde orde van grootte. 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.

Algemeen zijn de schattingen en de verklaarde variantie tussen de aantallen vogels en voedsel best goed. Met name voor soorten waar nog kennislacunes zitten in het dieet (Tureluur, Pijlstaart en Kluut), is de fit matig, maar dat is te verwachten. Opvallend is de lage verklaarde variatie bij Kanoeten, maar dit kan deels aan het feit liggen dat ze zich erg geconcentreerd op het wad verplaatsen, en dat een belangrijke prooi, de Garnaal, niet goed gemonsterd wordt.

De geschatte latente variabele ‘foerageerpotentieel’ ( $F_p$ ) is berekend per maand, en kan geïnterpreteerd worden als een proxy, zoals de andere proxies in Wadmap. Door deze op dezelfde manier te analyseren (regressie over tijdsperiode), kunnen we het beslisschema invullen.

Soort	<i>rmsea</i>	<i>chisq</i>	$R^2$
Pijlstaart	0.058	5.958	0,06 (1) 0,12 (11)
Drieteenstrandloper	0.093	22.526	0,60 (5) 0,68 (9)
Steenloper	0.106	72.919	0,35 (1) 0,34 (9)
Wulp	0.114	28.730	0,39 (1) 0,60 (9)
Scholekster	0.118	84.101	0,42 (1) 0,48 (9)
Kluut	0.126	30.812	0,10 (9) 0,15 (11)
Tureluur	0.152	78.068	0,1 (1) 0,18 (9)
Zilverplevier	0,158	65.354	0,39 (1) 0,45 (5)
Kanoet	0.164	525.902	0,21 (1) 0,28 (9)
Bergeend	0.169	10.269	0,49 (9)
Bontbekplevier	0.234	88.918	0,15 (5) 0,45 (9)
Bonte Strandloper	0.261	107.949	0,68 (5) 0,65 (9)
Rosse Grutto	0.272	210.033	0,63 (5) 0,64 (9)

Tabel 9.1. Overzicht van de belangrijkste resultaten uit de SEM analyse. Normaal gesproken wordt aangenomen dat de  $RMSEA <0.1$  zou moeten zijn, en dat is hier alleen bij Pijlstaart en Drieteenstrandloper. De getallen achter de  $R^2$  tussen haakjes refereren naar de gerekende maand.

Tabel 9.2. 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 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 / minder positief dan elders?	N → 8	N → 8
<b>8 Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling</b>	<b>Y</b>	<b>Y</b>

### 9.3 Uitkomsten beslisschema SEM

In het huidige beslisschema (en dus ook het SEM beslisschema), begint met de vraag of de trend uit de tellingen een voldoende nauwkeurig beeld geeft van de ontwikkeling in de aantallen van een vogelsoort in bodemdalingsgebied? Dat is in dit voorbeeld het geval (zie ook Tabel 8.5), dus de vervolgvraag is dan of de vogelaantallen in het bodemdalingsgebied zich negatiever / minder positief ontwikkelen dan elders? Ook

hier is het antwoord nee, zodat de conclusie leidt dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling. Dit betekent natuurlijk niet dat er geen negatieve effecten te verwachten zijn in de toekomst. Daarom is het ook van belang naar de SEM proxy (FP) te kijken, of er al trends waarneembaar zijn, die in de toekomst mogelijk wel een negatief effect laten zien. Daarom is net als met de proxies van Wadmap een algeheel overzicht gemaakt van alle uitkomsten (Tabel 9.3).

Tabel 9.3. Toepassing van het beslisschema over hand aan de kraan (Tabel 4.2 en Figuur 4.2) op de 13 onderzochte wadvogelsoorten op basis van de in dit hoofdstuk gepresenteerde resultaten. De vragen en conclusies uit het beslisschema worden kolomsgewijs behandeld, waarbij Y = ja, N = nee en ? is niet met zekerheid te zeggen. 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 bodemdalingsgebied ontwikkelen zich negatiever / minder positief dan elders?	Gevalideerde SEM uitkomst?	Negatieve trend in FPhat?	Geheel/deels gevolg van bodemdaling?	Geen uitspraak mogelijk	Aanwijzing voor mogelijk negatief effect bodemdaling	Geen aanwijzing voor negatief effect bodemdaling
Bergeend	jan	Y	N	Y	N				Y
	sep	Y	N	Y	N				Y
Pijlstaart	jan	Y	N	Y	N				Y
	nov	Y	N	Y	N				Y
Scholekster	jan	Y	N	Y	Y	?			Y
	sep	Y	N	Y	Y	?			Y
Kluut	sep	N	N	Y	N				Y
	nov	N	N	Y	N				Y
Zilverplevier	jan	Y	N	Y	N				Y
	mei	Y	N	Y	N				Y
Bontbekplevier	mei	Y	N	Y	N				Y
	sept	Y	N	Y	N				Y
Kanoet	jan	Y	N	Y	N				Y
	aug	Y	N	Y	N				Y
Drieteenstrandloper	mei	Y	Y	Y	N				Y
	aug	Y	Y	Y	N				Y
Bonte Strandloper	mei	Y	Y	Y	N				Y
	sep	Y	Y	Y	N				Y
Rosse Grutto	mei	Y	Y	Y	N				Y
	aug	Y	Y	Y	N				Y
Wulp	jan	Y	Y	Y	N				Y
	sep	Y	Y	Y	N				Y
Tureluur	jan	Y	Y	Y	N				Y
	jul	Y	Y	Y	N				Y
Steenloper	jan	Y	N	Y	N				Y
	aug	Y	N	Y	N				Y

Op basis van de trendinformatie uit Hoofdstuk 8, en huidige analyse leidt het beslisschema tot de conclusie dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling (Tabel 9.3). Alleen voor de Scholekster is er een negatieve trend gevonden. Dit is ook gevonden in de Wadmap analyse, en lijkt voornamelijk veroorzaakt te worden door een afname in voedselbeschikbaarheid, van met name Kokkels. Het uitblijven van een broedval en de toename in sterfte door hittegolven zijn hiervoor de belangrijkste oorzaken, al is niet onderzocht of het in het MLV gebied harder achtergaat dan elders. Daarom komen we tot de conclusie dat er met deze methode geen aanwijzingen hebben voor negatief effect van bodemdaling.

#### 9.4 Verschil in aanwezige en geschatte vogels

Het uitgangspunt van de SEM (en dit geldt ook voor de Wadmap simulaties), is dat vogels zich ideaal en vrij verdelen. Dat betekent dat de vogels zullen overtuigen in de nabijheid van de gebieden waar de hoogste voedselopname gerealiseerd kan worden. Uit de SEM analyses blijkt dat de relaties tussen de hoeveelheid voedsel op de wadplaten en het aantal vogels op de nabijgelegen HVP's niet altijd even sterk zijn. Deze mismatch kan ontstaan wanneer de voedselsituatie door de hele Waddenzee gunstig is waardoor het niet veel uitmaakt of de vogels op de allerbeste plek zitten. Een mismatch kan ook ontstaan doordat de relatie van de voorkeursprooien en een aantal soorten niet goed bekend is (zoals Kluut en Bonte Strandloper). Ook kan het zo zijn dat bepaalde HVP's onaantrekkelijk zijn (bijvoorbeeld door verstoring) zodat de vogels op grotere afstand van de foerageergebieden zitten dan dat ze idealiter zouden willen. Een andere mogelijke oorzaak van een mismatch is dat verschillende individuen binnen een soort verschillende diëten hebben. Zo is het bekend dat sommige Scholeksters zich specialiseren op schelpdieren terwijl andere zich meer richten op wormen (van de Pol *et al.* 2009). Ook zijn er grote verschillen tussen de seksen bij Wulpen en Rosse Grutto's, waarbij de kleinere mannen andere prooien prefereren dan de grotere vrouwtjes (Zwarts & Esselink 1989, Duijns & Piersma 2014). Door specialisatie op een bepaalde prooi wordt deze voor een deel van de populatie belangrijker. Dit soort ogenschijnlijke subtiele verschillen kunnen een mismatch veroorzaken als daar bij het modelleren geen rekening mee wordt gehouden. De SEM methode biedt de mogelijkheid om meer detail te modelleren. Er zou bijvoorbeeld gekozen kunnen worden om twee latente variabelen te specificeren op basis van inter-individuele verschillen in dieet of op basis van correlaties in het voorkomen van verschillende benthosoorten. Het ligt voor de hand dat als

een individu zich specialiseert op een beperkt aantal soorten, dit soorten betreft die op de wadplaten samen voorkomen.

Op dit moment wordt rekening gehouden met habitat-effecten door deelgebieden a-priori uit te sluiten (Kluut en Tureluur) op basis van observaties van voorkomen van steltlopers op het wad. Een andere manier om rekening te houden met het habitat is om in het SEM explicieter verbanden tussen het habitat en de vogels op te nemen.

#### 9.5 Analyse van de latente variabele in het MLV gebied

In deze analyse is de relatie tussen de latente variabele  $F$ , het getelde aantal vogels (*rekens*), het voorspelde aantal vogels (*yhat*) en de residuen (*res*) in detail geanalyseerd. Uit de analyses blijkt dat  $F$  een nuttige proxy is voor de voedselsituatie. Dit is in het rapport van 2022 systematisch onderzocht door de correlatie tussen  $F$  en de wadmap proxies te analyseren (Duijns *et al.* 2022). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de proxy  $F$  anders is dan de proxies uit wadmap omdat in de SEM analyse de aantallen vogels een responsvariabele vormen zodat een samenhang tussen  $F$  en vogelaantallen in zekere mate 'wordt afgedwongen', terwijl in de Wadmap analyses alleen naar het voedsel (in combinatie met de functionele respons wordt gekeken).

Het idee is dat de benthosoorten die via de latente variabele het sterkste effect hebben op het aantal vogels de sterkste loading krijgen. Wanneer  $F$  een solide reflectie is van de voedselsituatie kan in principe ook voor de tussenliggende jaren buiten het MLV gebied het verloop van  $F$  onderzocht worden. In het geval van de SEM modellen die hier gebruik zijn, zijn daarvoor Bayesiaanse methoden nodig en in dit rapport is dat niet verder uitgewerkt, vanwege beperkte tijd. Wel is het verloop van de voedselsituatie per soort in MLV-gebied ten opzichte van de rest van de Waddenzee onderzocht. In volgende jaren zou ervoor gekozen kunnen worden om de trend in deze proxy uit te werken met behulp van Bayesiaanse methoden. Een betere optie is om te wachten tot de SIBES-monsters van de tussenliggende jaren uit de rest van de gehele Waddenzee ook zijn uitgewerkt. Daarnaast zou het nuttig zijn om op systematische wijze de trends van de voedselsituatie in het MLV gebied te vergelijken met die daarbuiten - of met een deelgebied dat sterk lijkt op het MLV gebied.

De aanpassingen die in de SEM berekeningen zijn gedaan, hebben geleid tot een verbetering van de model-fit. Zo was de *RMSEA* voor de Scholekster in de vorige

rapportage 0.174, terwijl deze nu op 0.118 uitkomt (hoe lager hoe beter). In toekomstige analyses bovenstaande suggesties geïmplementeerd kunnen worden, om uiteindelijk tot een betrouwbaar model te komen, dat beter de benutting van de HVP's en de ontwikkeling van het benutbare voedselaanbod zal kunnen beschrijven.

## 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 – 2022/2023) en de korte termijn (2010/2011 – 2022/2023) 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 MLV velden gaat de belangstelling primair uit naar de trends op korte termijn, omdat die samenvallen met de periode 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 6 soorten nemen de aantallen toe en voor 3 soorten is de trend negatief in Pinkegat en Zoutkamperlaag. Ten opzichte van de rest van de Nederlandse Waddenzee (9 trends positief en 2 negatief) zijn de trends in Pinkegat en Zoutkamperlaag 1 keer extra negatief. Vergeleken met de Duitse en Deense Waddenzee is het beeld

Tabel 10.1. Samenvatting van de trends in het seizoensgemiddelde aantal voor de 13 onderzochte wadvogelsoorten voor de periode 2010/2011 - 2022/2023. 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	0.98	1.00	0.99	0	0	-	YN
Pijlstaart	1.04	1.01	1.06	+	0	+	YN
Scholekster	0.97	0.98	0.98	-	-	-	YN
Kluut	1.03	0.99	0.95	?	-	-	N
Zilverplevier	1.00	1.02	0.99	0	+	-	YN
Bontbekplevier	1.08	1.04	1.02	+	+	+	YN
Kanoet	0.99	0.99	1.03	0	0	?	YN
Drieteenstrandloper	1.01	1.03	1.01	0	+	0	YY
Bonte Strandloper	1.00	1.01	1.00	0	+	0	YY
Rosse Grutto	1.02	1.00	0.99	0	0	-	YY
Wulp	0.98	0.98	1.00	-	-	0	YY
Tureluur	0.99	1.01	0.99	0	0	0	YY
Steenloper	1.09	1.06	1.01	++	+	+	YN

iets positiever (7 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 combinaties kan het verloop van de gevalideerde proxy gebruikt worden om in het beslisschema te oordelen over mogelijk negatieve effecten van bodemdaling. In het geval van de Scholekster is er een negatieve trend voor *BMaanw* in Januari en Augustus gevonden, evenals een negatieve trend in de proxy *BMoogstDroog*. De reden dat er hier de conclusie luidt dat er geen aanwijzingen zijn voor

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, N = nee en ? is niet met zekerheid te zeggen. 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 bodemdalinggebied 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	N	N	Y	N				Y
	sep	Y	N	N	Y	N				Y
Pijlstaart	jan	Y	N	N	Y	Y	N			Y
	nov	Y	N	N	Y	Y	N			Y
Scholekster	jan	Y	N	Y	Y	Y	?			Y
	sep	Y	N	Y	Y	Y	?			Y
Kluut	sep	N	N	N	Y	N				Y
	nov	N	N	N	Y	N				Y
Zilverplevier	jan	Y	N	N	Y	N				Y
	mei	Y	N	N	Y	N				Y
Bontbekplevier	mei	Y	N	N	Y	N				Y
	sept	Y	N	N	Y	N				Y
Kanoet	jan	Y	N	N	Y	Y	?			Y
	aug	Y	N	N	Y	Y	?			Y
Drieteenstrandloper	mei	Y	Y	N	Y	N				Y
	aug	Y	Y	N	Y	N				Y
Bonte Strandloper	mei	Y	Y	N	Y	N				Y
	sep	Y	Y	Y	Y	N				Y
Rosse Grutto	mei	Y	Y	N	Y	N				Y
	aug	Y	Y	Y	Y	N				Y
Wulp	jan	Y	Y	N	Y	N				Y
	sep	Y	Y	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	Y	?			Y
	aug	Y	N	N	Y	Y	?			Y



een mogelijk negatief effect van bodemdaling, komt doordat de trends in andere gebieden niet anders zijn dan in het MLV gebied. Daarnaast vindt de afname van Kokkels plaats in de hele Waddenzee, en dus ook voor het MLV-gebied, zodat het beschikbare biomassa afneemt.

Samenvattend leidt de toepassing van het beslisschema op de resultaten t/m monitoringjaar 2023 weergegeven in Tabel 10.1 en 10.2, tot de volgende conclusies:

- Voor 26 onderzochte soort-seizoen combinaties luidt de conclusie dat er geen aanwijzingen zijn voor een negatief effect van bodemdaling.
- Voor 10 soort-seizoen combinaties (Zilverplevier, Bonte Strandloper, Rosse Grutto, Wulp en Tureluur), wijkt de ontwikkeling van de aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag in negatieve zin af van de aantalsontwikkeling elders (overige delen Nederlandse Waddenzee). Wanneer de ontwikkeling van de aantallen in Pinkegat en Zoutkamperlaag vergeleken wordt met de Duitse en Deense Waddenzee, zien we deze afwijking niet meer.
- Voor 3 soort-seizoen combinaties (Bonte Strandloper in september, Rosse Grutto in augustus en Wulp in september), was geen gevalideerde proxy voor draagkracht die een negatieve trend vertoonde.
- Voor 2 soort-seizoen combinaties (Scholekster in augustus en januari) vertoonde een gevalideerde

proxy voor draagkracht (*BMaanw*) een negatieve trend. Omdat de negatieve trend van aantallen in het Pinkegat en Zoutkamperlaag niet verschilde met de trend elders, is in het beslisschema geconcludeerd dat er geen aanwijzingen zijn voor negatieve effecten van bodemdaling.

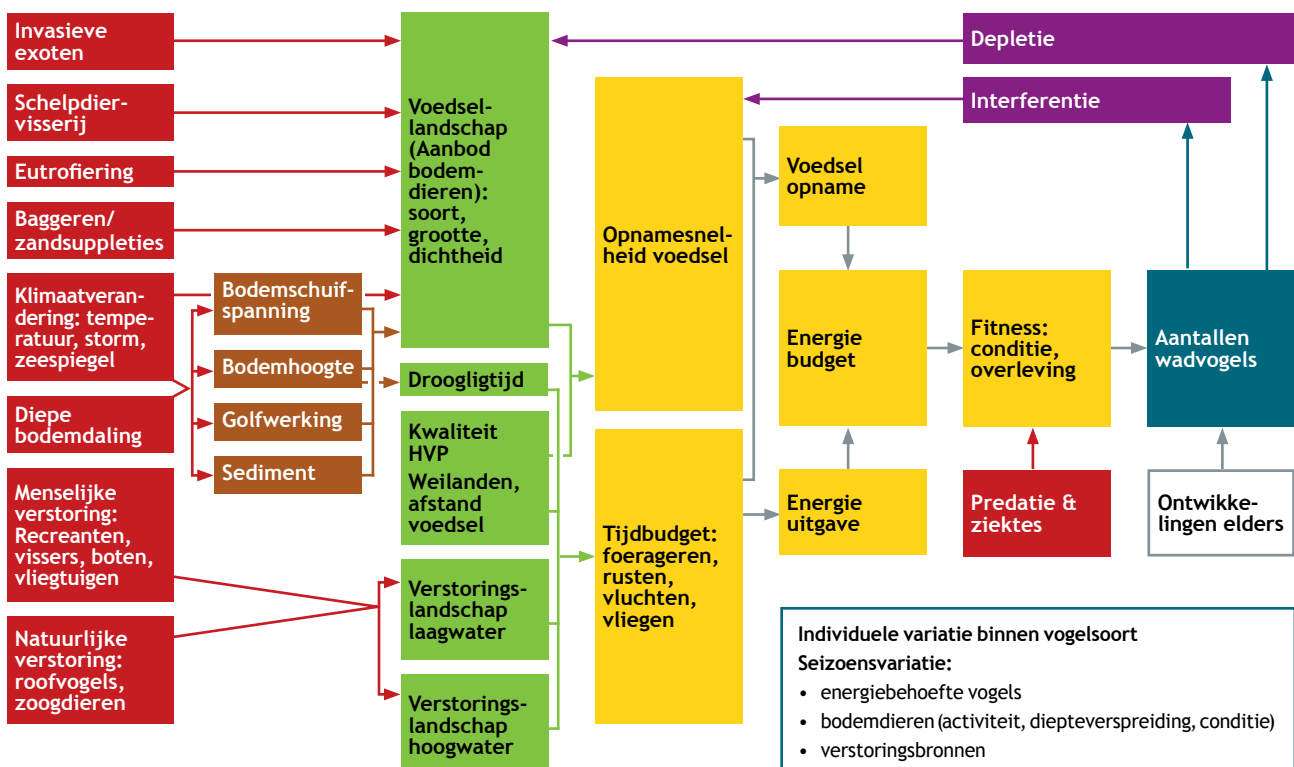
- Voor 16 soort-seizoen combinaties is er geen gevalideerde proxy voor draagkracht voorhanden, maar waren de proxies onderling sterk gecorreleerd en was er geen sprake van een negatieve ontwikkeling van de gezamenlijke trend in de proxy.

## 10.2 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



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 getijdpopulatie.

onderling gecorreleerd zijn, is beargumenteerd 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. Dat was een van de redenen om een alternatieve rekenmethode te ontwikkelen (SEM), waarbij de relatie tussen proxy en vogelaantallen een hogere correlatie zouden laten zien. In dit hoofdstuk worden de opties besproken om in de toekomst een beter onderbouwd antwoord te kunnen geven.

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 verschillende vogelsoorten binnen het bodemdalingsgebied? Dat vereist dat we het effect van bodemdaling door gaswinning kunnen onderscheiden van de effecten van de andere drukfactoren.

### 10.2.1 Drukfactoren en hun effect(en)

Een groot aantal factoren heeft waarschijnlijk effect op het voedsellandschap en de droogligtijd van het wad (Figuur 10.1). Een aantal factoren (cursief aangegeven in het schema van de effectketen) varieert wel binnen de Waddenzee, en in sommige gevallen via een gradiënt van west naar oost en er is waarschijnlijk geen sprake van sterk contrasterende effecten op het voedsellandschap in verschillende krombergingen 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 dan in de oostelijke Waddenzee (van Stralen *et al.* 2012).
- **Eutrofiëring**. 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 eutrofiëring 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.* 2017, Penning *et al.* 2021). Daarnaast zijn langdurige hittegolven, die laatste jaren steeds vaker voorkomen, funest voor de overleving van met name Kokkels (Suykerbuyk *et al.* 2021).
- 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).
- **Diepe bodemdaling**. Eerder is de gevoeligheid van de proxies voor bodemdaling onderzocht 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 (Kraan *et al.* 2010, Folmer *et al.* 2017). Kleine maar systematische veranderingen in sediment en bodemhoogte zullen op de lange duur desondanks zeker effect hebben op de bodemdieren.

### 10.2.2 Voedsellandschap

Voor vijf soort-seizoen combinaties kan op basis van de Waddenzee-brede gegevens het voedsellandschap beschreven worden met een gevalideerde proxy voor draagkracht: Scholekster in januari en september, Bonte Strandloper in september, Wulp in september en Rosse Grutto in augustus (Ens *et al.* 2019). Deze signaleringsmonitoring kan verbeterd worden, als voor meer vogelsoorten gevalideerde proxies voor draagkracht ontwikkeld zouden kunnen worden. Anderzijds biedt de SEM analyse goede aanknopingspunten om verder te ontwikkelen en zodoende tot minder verschillende proxies per soort te komen.

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 Zoutkamerplaag vergelijkbare

gebieden bestaan, wat betreft de samenhang tussen voedselgebied en hoogwatervluchtplaatsen. Zoals eerder gemeld zijn niet alle verklarende variabelen voor de vogelaantallen goed in beeld gekomen. Met name het verstoringslandschap tijdens hoog- en laagwater ontbreekt, maar een complete invulling hiervan is ook verre van eenvoudig

Abiotische variabelen zoals sedimentsamenstelling kunnen ook een nuttige toevoeging zijn in de analyse, om vergelijkbare referentiegebieden te kiezen. Zo is langs de vastelandkust is het wad veel slijkgiger dan onder de eilanden (Figuur 10.2). De Kluut lijkt aangepast om met zijn dunne opgewipte snavel door zacht slijk te ‘maaïen’ en zo op de tast zijn prooidieren te vinden. De grote aantallen Kluten worden dan ook langs de vastelandskust geteld; zie ook Figuur 9.31. Omgekeerd lijkt de Drieteenstrandloper aangepast om hard over het zandige strand te rennen en de HVP's van deze soort liggen dan ook zelden op de vastelandkust, maar op de eilanden. Ook de Rosse Grutto preferereert zeer zandig sediment, terwijl Kanoeten op niet zeer zandig of zeer slijkgig sediment gevonden worden en Scholeksters op alle soorten sediment worden aangetroffen (e.g. Yates *et al.* 1993, Granadeiro *et al.* 2004, Ens *et al.* 2005).

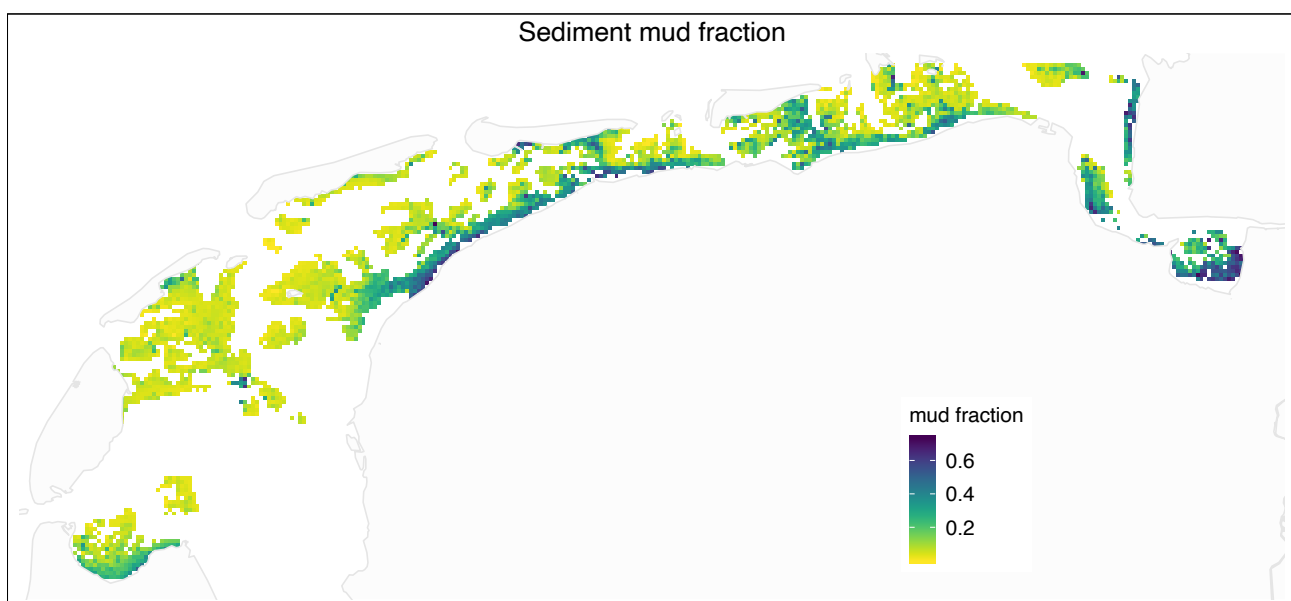
Door bepaalde laagwatergebieden voor bepaalde soorten als geschikt en ongeschikt aan te merken, is hiermee in zekere mate al rekening gehouden in Wadmap (Ens *et al.* 2017a). In de voorlaatste rapportage is hier onderzoek naar gedaan. Met uitzondering van de Steenloper is het verschil in de gemiddelde sediment samenstelling tussen ‘aan’ en ‘uit’ gebieden waar de soort wordt geacht wel, respectievelijk niet te foerageren zeer significant en in de verwachte richting voor de betreffende vogelsoorten (Ens *et al.* 2020),

maar de 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 slijbgehalte (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.

### 10.2.3 Kwaliteit van de HVP

In de berekeningen worden kenmerken (‘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 overtuigen 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 predatierisico (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, Kleefstra *et al.* 2023). Op deze manier kan er daardoor een onderbenutting ontstaan van de HVP (Folmer *et al.* 2021, Kleefstra *et al.* 2023).
- **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



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

HVP's is het voedselaanbod daarom afgewaardeerd met toenemende afstand (Folmer *et al.* 2021). In de SEM analyse lijken de effecten van vlieggkosten erg mee te vallen.

- **Aanwezigheid binnendijkse foerageermogelijkheden.** Verschillende vogelsoorten gebruiken in meer of mindere mate weilanden of ondiepe binnendijkse wateren in de omgeving om te foerageren. Overwinterende Scholeksters kunnen massaal in de weilanden naar voedsel zoeken als het wad bij langdurige stormperiodes niet droogvalt (Goss-Custard & Durell 1988, Ens *et al.* 2015a). Overwinterende Wulpen foerageren ook vaak in de omliggende weilanden (Ens & Zwarts 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.

#### 10.2.4 Verstoringslandschap

Het verstoringslandschap heeft naast het voedsellandschap mogelijk ook een groot effect op de aantallen vogels. In vorige rapportages is hier uitgebreid bij stil gestaan en hier zullen de belangrijkste zaken kort samengevat worden.

Naast de vele menselijke verstoringsbronnen zijn er ook natuurlijke verstoringsbronnen, 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 (Duijns *et al.* 2014, Buiten *et al.* 2016). Sinds 1989/1990 worden naast de overtuigende steltlopers ook standaard de roofvogels geteld tijdens de door Sovon gecoördineerde hoogwatertellingen in de Waddenzee. De Slechtvalk is 's winters vooral talrijk in de oostelijke Waddenzee.

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 toepassingen. 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, kan dit ook helpen om betere en vergelijkbare referentiegebieden te kiezen.

#### 10.2.5 Droogvalduur en bodemdaling in het studiegebied

In deze rapportage wordt gesignaleerd dat een aantal van in Wadmap berekende proxies voor voedselaanbod voor wadvogels een dalende trend zichtbaar wordt, vooral als gevolg van een afname in de bestanden van enkele talrijke soorten schelpdieren (o.a. Kokkel). Ook de beschikbaarheid van kreeftachtige prooidieren lijkt af te nemen, zij het dat deze trend veelal (nog) niet significant is door grotere schommelingen tussen jaren. Voedselaanbod voor wormeneters vertoont vooralsnog geen afname. Aan veranderingen in het voedselaanbod kunnen vele verschillende oorzaken ten grondslag liggen. Bij de schelpdieren is variatie in broedval een belangrijke factor, evenals sterfte tijdens zomerse hittegolven (Suykerbuyk *et al.* 2021). Dergelijke oorzaken staan los van de gaswinning. Mogelijke effecten van de gaswinning op het voedselaanbod verlopen via daling van de bodem, die hypothetisch kan leiden tot een verminderd plaatoppervlak, een lagere hoogte en daardoor kortere droogvalduur (beschikbaarheid als foerageergebied), of veranderingen in de sediment samenstelling (de la Barra *et al.* 2023). Deze kunnen op hun beurt de bestanden van bodemdieren beïnvloeden (de la Barra *et al.* 2023), maar ook rechtstreeks de beschikbaarheid (in oppervlak en tijd) van foerageergebied voor wadvogels. Omdat de fluctuaties in het voedselaanbod door andere factoren zo groot kunnen zijn dat ze eventuele effecten van de gaswinning snel zullen overschaduwen, is het interessant om ook wat specifiek te kijken naar patronen in deze hoogteligging en droogvalduur.

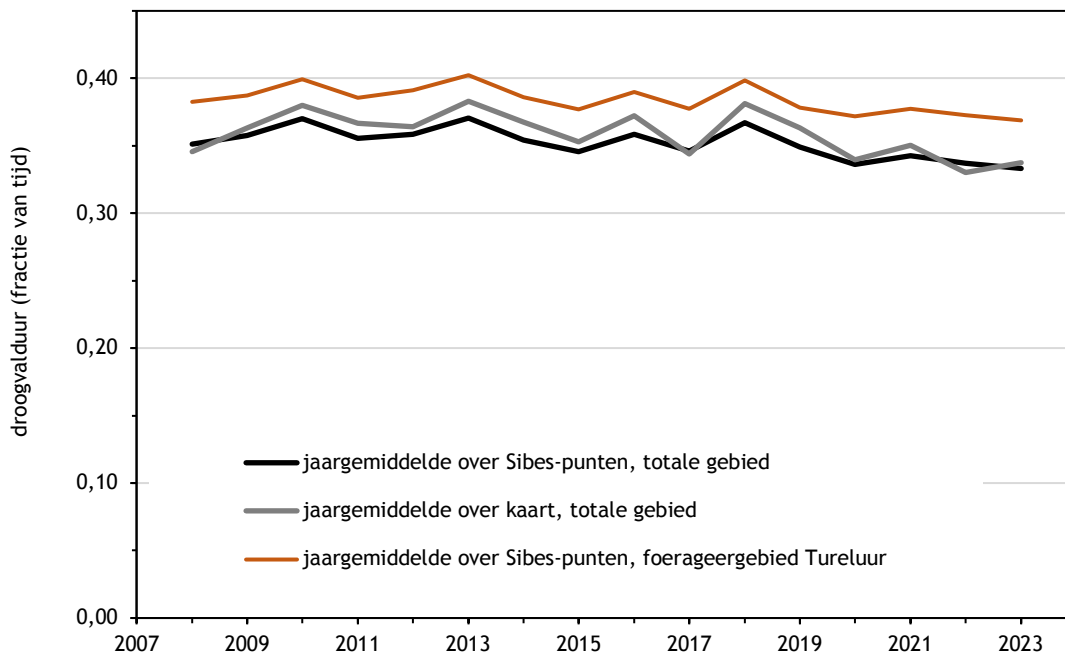
In de meest recente rapportage van Deltares over de LiDAR-metingen aan het areaal en de hoogteligging van wadplaten in het Pinkegat-Zoutkamperlaag (Gawehn 2023), wordt beschreven dat sinds de aanvang van de metingen in 2010 de ontwikkeling van het areaal van de wadplaten in verschillende deelgebieden grote variaties laat zien. Op de geaggregeerde schaal van het gehele kombergingsgebied heffen deze ruimtelijke variaties elkaar op en valt de ontwikkeling van het totale plaatareaal en de plaathoogte binnen de onzekerheidsmarge van de LiDAR metingen. In de deelgebieden waar de meeste diepe bodemdaling wordt verwacht, vindt ook niet de grootste afname van oppervlak of hoogteligging van de platen plaats. Daarmee laten de LiDAR data volgens Deltares geen effect van bodemdaling door gaswinning zien. De gemeten veranderingen weerspiegelen volgens het rapport vooral natuurlijke dynamiek in de ligging van grote geulen in het gebied, met als gevolg plaaterosie in sommige

gebieden en plaatopbouw elders. Desalniettemin heeft op meerdere plaatsen in het studiegebied een flinke afname van de plaathoogtes plaatsgevonden, met name in het deelgebied Pinkegat. Hier doen we een eerste poging na te gaan of deze ontwikkeling ook merkbaar doorwerkt in de foerageermogelijkheden voor wadvogels, zoals benaderd met de in Wadmap berekende proxies.

In Wadmap is voor elk punt in het studiegebied waar de bodemfauna is bemonsterd (SIBES) de hoogteligging bepaald, voornamelijk op basis van de LiDAR-metingen. Voor de laagste delen van het intergetijdengebied, waar tijdens de LiDAR-vluchten nog water stond, zijn data van de vaklodingen door Rijkswaterstaat gebruikt, die worden uitgevoerd in een cyclus van 6 jaar. Hetzelfde geldt voor het gehele gebied in 2008-2009, voordat de LiDAR-monitoring aanving (zie ook 5.3). De hoogtegegevens in Wadmap zijn dus niet exact dezelfde als de gegevens gebruikt in het Deltares rapport, maar wel voor een aanzienlijk deel. Ook zijn niet voor alle jaren unieke metingen gebruikt (zie ook tabel 5.1), wat vooral invloed zal hebben op de variatie tussen jaren maar minder op de trend over de langere termijn. In Wadmap is de hoogteligging van de meetpunten gecombineerd met gegevens over gemeten getijhoogtes (berekend met Intertides, Rappoldt *et al.* 2014) tot een getal voor de droogvalduur: de proportie van de tijd dat het meetpunt boven de waterlijn lag.

Deze droogvalduur speelt een rol in twee van de in Wadmap berekende proxies: in 'BMoogstDroog' en

'FroogstDroog' zijn de lokale oogstbare biomassa aan prooidieren, respectievelijk de daar te behalen voedselopnamesnelheid, vermenigvuldigd met de (fractionele) droogvalduur in de betreffende reken-maand. In de Wadmap-uitvoer wordt naast deze proxies echter ook de droogvalduur zelf geïntegreerd tot getallen op de schaal van het gehele kombergingsgebied. Hieronder zijn de jaarlijkse gemiddelde droogvalduren berekend over alle SIBES monsterpunten in het foerageergebied van de vogelsoort en over alle kaart-pixels in dit foerageergebied (d.w.z. met weging voor het variabele oppervlak dat aan elk Sibes-punt is gekoppeld). Deze twee maten ontlopen elkaar weinig in niveau en variaties in de tijd (Figuur 10.3). Ze zijn ook gelijk voor het merendeel van de vogelsoorten, omdat al het droogvallende wad in het studiegebied tot hun foerageergebied wordt gerekend. Alleen voor de zes soorten waarvoor is verondersteld dat ze delen van het plaatareaal niet benutten (zie Ens *et al.* 2017), krijgt de gemiddelde droogvalduur een andere waarde. In Figuur 10.3 is dit uitgewerkt voor de Tureluur, waarvoor enkele verder van de vastelands- en eilandkusten gelegen wadgebieden 'uit' zijn gezet als foerageergebied. Het dichterbij de kust gelegen wad waar Tureluurs wel foerageren ligt in het algemeen hoger, resulterend in een langere droogvalduur. Ook hier is het verloop over de jaren echter vrijwel hetzelfde, doordat het uitgesloten gebied slechts een beperkt deel van het totale wad beslaat. Dit geldt ook voor de overige soorten met een gelimiteerd foerageergebied, zodat de ontwikkeling in het Pinkegat-Zoutkamperlaag als geheel als representatief mag worden verondersteld voor alle soorten.



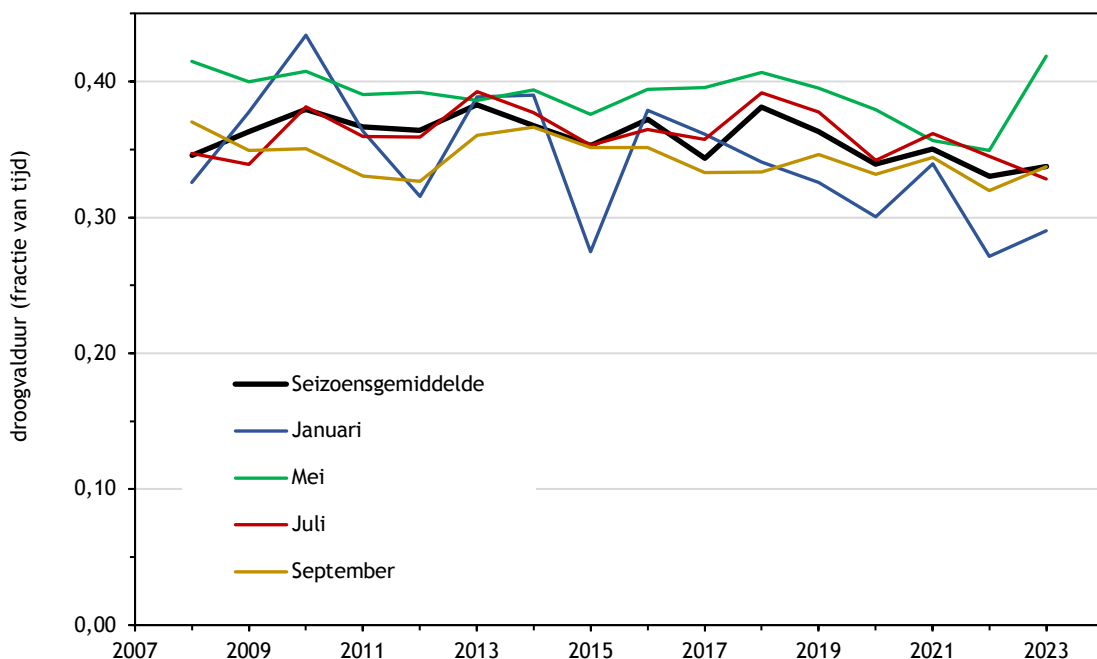
Figuur 10.3. Jaargemiddelde droogvalduren (fractie van de tijd) van intergetijdengebied in het Pinkegat-Zoutkamperlaag, gemiddeld over alle kaartpixels, over alle Sibes-punten in het gebied, en alle Sibes-punten in het potentiële foerageergebied van de Tureluur.

De nulhypothese in dit scenario gaat uit van geen verandering van droogvalduur over tijd. Toetsing is gedaan door middel lineaire regressie (zie ook trends in proxies), waarbij de nulhypothese verworpen wordt, indien de  $p < 0.05$  en er dus sprake is van een significante trend. De gemiddelde droogvalduur in het gebied vertoont over 2008-2023 een significante afname met gemiddeld 0.5% per jaar ( $p = 0.044$ , berekeningswijze als voor de trend in de proxies). Op basis van de loglineaire trendlijn is de gemiddelde droogvalduur over de gehele onderzoeksperiode met ongeveer 7% afgenomen, maar in de laatste jaren van de meetreeks, vanaf 2018, lijkt deze afname wat sneller te verlopen dan aan het begin. De precisie van de meetpunten kunnen we niet exact geven en zal verder onderzocht moeten worden.

De in Figuur 10.3 getoonde droogvalduren zijn berekend over het gehele jaar (seizoen: juli-juni). In Wadmap wordt de gemiddelde droogvalduur ook bepaald over de specifieke maand(en) waarvoor de proxies worden berekend (Figuur 10.4). Met name in de wintermaanden vertoont deze laatste een duidelijk grotere variatie van jaar op jaar, doordat dan vaker voorkomende perioden met krachtige wind het getij opstuwen of juist tegenhouden, wat in een maandgemiddelde sterker doorwerkt dan over een heel jaar. De trend over de gehele onderzoeksperiode verschilt ook tussen rekenmaanden. In januari is er een duidelijke afname (ca. -22% over de hele onderzoeksperiode,  $p = 0.024$ ). In september is deze afname kleiner maar ook nog net significant (-7%,  $p = 0.048$ ), maar in mei

net niet (-7%,  $p = 0.10$ ) en juli is geen afname zichtbaar (-3%,  $p = 0.48$ ). Dat in de winter een duidelijk afnemende trend zichtbaar is in de droogvalduur maar in de zomer niet, suggereert dat die afname vooral tot stand komt door veranderingen in de getijhoogtes, omdat op het eerste gezicht niet waarschijnlijk lijkt dat de ontwikkeling van de plaathoogtes duidelijk verschilt tussen winter en zomer. In de analyse van de LiDAR-data door Deltares (Gawehn 2023), is echter een correlatie gevonden tussen het optreden van stormachtige condities uit westelijke windrichting en een afname in plaatareaal in het komberingsgebied. Westelijke wind drijft de waterstand op, wat op zichzelf leidt tot een geringere droogvalduur, maar waardoor ook de golven een groter plaatareaal kunnen bereiken en eroderen. De wadplaten van het Pinkegat liggen iets lager, waardoor dit effect relatief sterker is dan in de Zoutkamperlaag. Het is dus denkbaar dat een toename van stormachtige condities in de wintermaanden de drijvende kracht is achter de waargenomen ontwikkeling in de droogvalduren. Of zo'n toename daadwerkelijk heeft plaatsgevonden is hier niet onderzocht.

De gemiddelde droogvalduur is ook te berekenen met weging naar het lokale voedselaanbod. Plekken waar veel voedsel ligt, wegen dan zwaarder mee dan plekken waar weinig voedsel ligt. Dan gaan de gemiddelden iets verschillen tussen vogelsoorten in samenhang met het dieet (prooilijs). De ontwikkeling van deze 'gewogen droogvalduren' komt redelijk overeen tussen soorten die foerageren op verschillende prooi-



Figuur 10.4. Maandgemiddelde droogvalduren (fractie van de tijd) van intergetijdengebied in het Pinkegat-Zoutkamperlaag over alle Sibes-punten in het gebied in januari, mei, juli en september. Ter vergelijking is ook het verloop van de jaargemiddelde droogvalduur weergegeven.

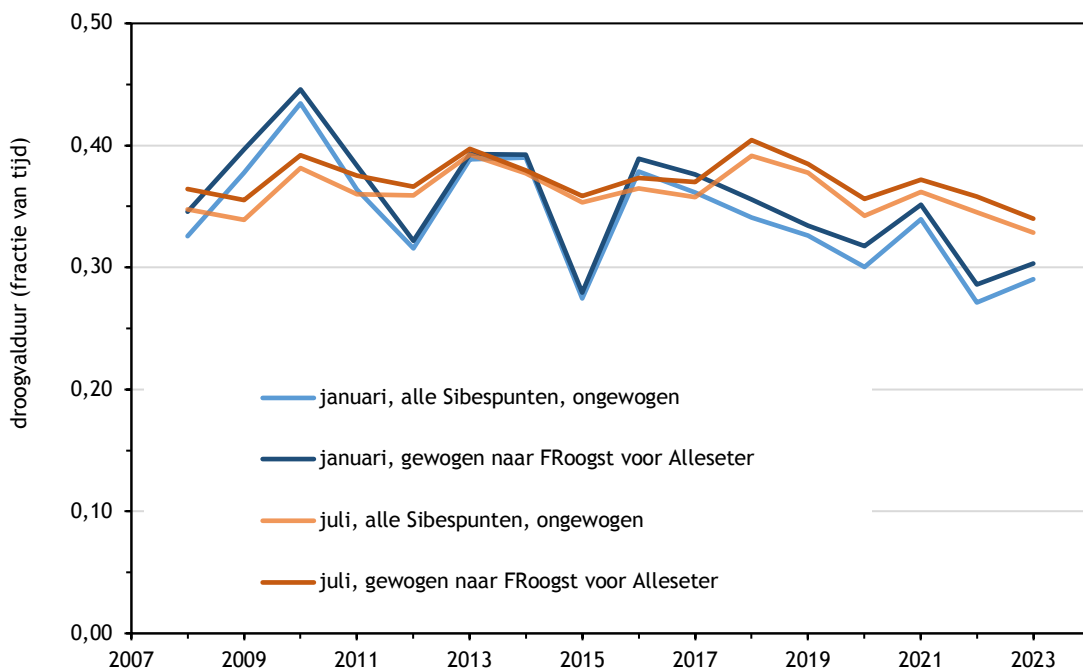
typen (schelpen, wormen, kreeftachtigen). Ze verschilt ook nauwelijks van die van de ongewogen maand specifieke droogvalduren (figuur 10.5). Hieruit is te concluderen dat er geen duidelijke verandering is geweest in de verspreiding van de voedselbestanden over hoger en lager gelegen delen van het wad.

Samenvattend indiceren de Wadmap resultaten dat de gemiddelde droogvalduur van het wad in kombergingsgebied Pinkegat-Zoutkamperlaag sinds 2008 is afgenomen met ongeveer 7%, d.w.z. ongeveer 37 minuten per etmaal. Het is goed te realiseren dat het hier over droogvalduur gaat, niet over plaatoppervlak. Per Sibespunt wordt aan de hand van de hoogteligging van het punt (t.o.v. NAP) en de gemeten getijhoogtes bepaald hoe lang het droog ligt, en die droogvalduur wordt gemiddeld over alle punten in het gebied.

De afname in droogvalduur is vooral zichtbaar in de winter (ca. 22%, bijna 2 uur per etmaal), maar nauwelijks in de zomer. Een toename van relatief hoge waterstanden door stormachtige omstandigheden in de winter is de meest waarschijnlijke verklaring van deze ontwikkeling, al is dat hier niet verder onderzocht. De afnemende trend in de Wadmap-proxies *BMoogstDroog* en *FRoogstDroog* voor een aantal vogelsoorten zal mede tot stand zijn gekomen door deze ontwikkeling in de droogvalduur van het wad, maar veranderingen in de voedselbestanden zelf spelen hierin een grotere rol. Er lijkt geen duidelijke verandering te zijn ge-

weest in de verspreiding van de voedselbestanden over hoger en lager gelegen delen van het wad. De getijamplitude in de oostelijke Waddenzee is ordegrrootte 1.5m, en dus ook het hoogteverschil. Voor de bodemdieren die het vogelvoedsel vormen, kan het flink uitmaken of hun locatie per getij 10 uur droogvalt of 2 uur. En dus is de vraag interessant of het voedsel bij veranderingen in hoogteligging van het wad gewoon meebeweegt, of opschuift doordat het op een bepaalde preferente hoogte in de getijkolom gebonden is.

Een oorzakelijk verband tussen de afnemende droogvalduur en de gaswinning valt niet te leggen zolang er geen aanwijzingen zijn dat er netto bodemdaling plaatsvindt, die is terug te voeren op die gaswinning. Hoe de afnemende droogvalduur doorwerkt op de voedselopname van wadvogels kan overigens verschillen tussen vogelsoorten, en is daarom ook moeilijk precies te voorspellen. Voor soorten die foerageren op de hoger gelegen wadplaten of nabij de verschuivende waterlijn zal het effect hiervan kleiner zijn, dan voor soorten die vooral foerageren op de lager in het intergetijdengebied gelegen platen. Vooralsnog vertaalt de gesignaleerde trend zich niet in een afnemende trend in de aantallen van veel vogelsoorten (2 van de 13; tabel 10.1), maar het is denkbaar dat dat bij voortzetting ervan wel kan gaan gebeuren, een reden om de ontwikkelingen goed te blijven volgen. Daarnaast zou het zinvol zijn om deze droogvalduur trends op Waddenzee brede schaal te onderzoeken of er vergelijkbare trends waarneembaar zijn.



Figuur 10.5. Maandgemiddelde droogvalduren (fractie van de tijd) gewogen naar de hoeveelheid voedsel (proxy: Functionele Respons) op alle Sibes-punten in Pinkegat-Zoutkamperlaag vergeleken met de ongewogen gemiddelden, in januari en juli.

## 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 ons begrip van 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 ecologische verklaringen van de waargenomen veranderingen opgehangen aan een uitwerking van de effectketen tussen drukfactoren, zoals diepe bodemdaling, en de vogelaantallen.

Dit leidt tot de volgende aanbevelingen:

- In de volgende rapportage zou er meer aandacht besteed moeten worden aan de monitoring van de droogvalduur en eventuele trends in het MLV gebied.
- Om de SEM methode verder te ontwikkelen zou het raadzaam zijn om verschillende scenario's te modelleren door middel van simulaties met de geschatte SEM modellen. Op die manier zouden bijvoorbeeld de effecten van veranderende droogvalduur of van veranderende voedselcondities op de proxies en vogelaantallen beter geïnterpreteerd kunnen worden. Dergelijke simulaties bieden inzicht in de gevoeligheid van de proxies worden onderzocht en kan helpen bij het verder ontwikkelen van een beslisschema rondom "hand aan de kraan".
- Onderzoek of (menselijke) verstoringen van belang zijn, naast voedsel op het wad, bij het verklaren van de verspreiding van de wadvogels in de Waddenzee.
- Voor de SEM analyse is het van belang dat de Sibes data van de benthos van alle jaren beschikbaar is.
- Evalueer de beslisschema's.
- Evalueer de SEM methode met Wadmap in meer detail, om tot een onderbouwde keuze te komen voor toekomstige monitoringsjaren



## Literatuur

- 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. Utrecht.
- Auditcommissie. 2016. Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2015. Rapport nr. 3110, Utrecht.
- Auditcommissie. 2023. Monitoring aardgaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Advies Auditcommissie over de resultaten van het monitoringsjaar 2022. Rapport nr. 3731, Utrecht.
- Bailey, L. D., B. J. Ens, C. Both, D. Heg, K. Oosterbeek, M. van de Pol. 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., B. J. Ens, C. Both, D. Heg, K. Oosterbeek, M. van de Pol. 2019. Habitat selection can reduce effects of extreme climatic events in a long-lived shorebird. *Journal of Animal Ecology* **88**:1474-1485.
- Beukema, J. J. 1974. Seasonal changes in the biomass of the macro-benthos of a tidal flat area in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* **8**:94-107.
- 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., G. C. Cadée. 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., R. Dekker, J. Drent. 2017. 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., K. Essink, H. Michaelis, L. Zwarts. 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., J. A. van Gils, J. van der Meer, A. Dekinga, C. Kraan, H. W. van der Veer, T. Piersma. 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., P. Tatner. 1991. Intraspecific variation in avian energy expenditure: correlates and constraints. *Ibis* **133**:236-245.
- Buiter, R., L. Govers, T. Piersma. 2016. Knooppunt Waddenzee. Bornmeer, Gorredijk.
- Cadée, G. C. 2008. Scholeksters en Japanse oesters. *Natura* **6**:6-7.
- Cervencl, A., K. Troost, E. Dijkman, M. de Jong, C. J. Smit, M. F. Leopold, B. J. Ens. 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., W. Bodnar, A. Koolhaas, A. Dekinga, S. Holthuijsen, J. ten Horn, N. McSweeney, J. A. van Gils, T. Piersma. 2016. Burrowing behavior of a deposit feeding bivalve predicts change in intertidal ecosystem state. *Frontiers in Ecology and Evolution* **4**.
- Cresswell, W., D. P. Whitfield. 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., E. M. Dijkman, G. de Kort, A. Meijboom. 2004. De verspreiding en uitbreiding van de Japanse Oester in de Nederlandse Waddenzee. Imares, Den Burg.
- de la Barra, P., G. Aarts, A.I. Bijleveld. 2023. The effects of gas extraction under intertidal mudflats on sediment and macrozoobenthic communities. *Journal of Applied Ecology* **61**:390-405.
- Dessborn, L., A. L. Brochet, J. Elmberg, P. Legagneux, M. Gauthier-Clerc, M. Guillemain. 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.

- Duijns, S., N. A. Hidayati, T. Piersma. 2013. Bar-tailed godwits *Limosa l. lapponica* eat polychaete worms wherever they winter in Europe. *Bird Study* **60**:509-517.
- Duijns, S., J. Jukema, B. Spaans, P. van Horssen, T. Piersma. 2012. Revisiting the proposed leap-frog migration of bar-tailed godwits along the East-Atlantic flyway. *Ardea* **100**:37-43.
- Duijns, S., K. Oosterbeek, J. Krol, W. E. van Duin, S. Deuzeman, J. Postma, C. Kampichler. 2024. Onderzoek naar de relatie tussen bodemdaling en kans op overstroming van kwelderbroedvogels op Ameland. 2023/34, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Duijns, S., T. Piersma. 2014. Interference competition in a sexually dimorphic shorebird: prey behaviour explains intraspecific competition. *Animal Behaviour* **92**:195-201.
- Duijns, S., K. Troost, E. van Winden, K. Rappoldt, J. Nienhuis, H. Schekkerman, E. O. Folmer. 2023. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2022. Sovon-rapport 2022/35, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Duijns, S., K. Troost, E. van Winden, H. Schekkerman, K. Rappoldt, J. Nienhuis, E. O. Folmer. 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.
- Duijns, S., J. G. B. van Dijk, B. Spaans, J. Jukema, W. F. de Boer, T. Piersma. 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., J. A. van Gils, J. Smart, T. Piersma. 2015. Phenotype-limited distributions: short-billed birds move away during times that prey bury deeply. *Royal Society Open Science* **2**:150073.
- Duijns, S., J. A. van Gils, B. Spaans, J. ten Horn, M. Brugge, T. Piersma. 2014. Sex-specific winter distribution in a sexually dimorphic shorebird is explained by resource partitioning. *Ecology and Evolution* **4**:4009-4018.
- Elias, E., Z. B. Wang. 2013. Abiotische gegevens voor monitoring effect bodemdaling. Deltares, Delft.
- Enners, L., N. Guse, P. Schwemmer, A. L. J. Chagas, C. C. Voigt, S. Garthe. 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, D. A. Stroud, editors. *Waterbirds around the world*. The Stationery Office Limited, Edinburgh, UK.
- Ens, B., B. Aarts, K. H. Oosterbeek, M. Roodbergen, H. Sierdsema, R. Slaterus, W. Teunissen. 2009a. Onderzoek naar de oorzaken van de dramatische achteruitgang van de Scholekster in Nederland. *Limosa* **82**:83-92.
- Ens, B. J., B. Aarts, C. Hallmann, K. Oosterbeek, H. Sierdsema, R. Slaterus, G. Troost, C. van Turnhout, P. Wiersma, E. van Winden. 2011. Scholeksters in de kniel: onderzoek naar de oorzaken van de dramatische achteruitgang van de Scholekster in Nederland. SOVON-onderzoeksrapport 2011/13, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., J. Blew, M. W. J. Roomen, C. A. M. Van Turnhout. 2009b. Exploring contrasting trends of migratory waterbirds in the Wadden Sea. *Wadden Sea Ecosystem No. 27*, Wilhelmshaven, Germany.
- Ens, B. J., A. G. Brinkman, E. M. Dijkman, H. W. G. Meesters, M. Kersten, A. Brenninkmeijer, F. Twisk. 2005. Modelling the distribution of waders in the Westerschelde; what is the predictive power of abiotic variables? *Alterra-rapport 1193*, Alterra, Wageningen.
- Ens, B. J., A. Dokter, K. Rappoldt, K. Oosterbeek. 2015a. Wat bepaalt de draagkracht van de Waddenzee voor wadvogels: onderzoek naar het verspreidingsgedrag van scholeksters. Sovon-rapport 2015/02, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., R. Eckhardt, C. Kampichler, R. Kleefstra, H. Schekkerman, J. van Wijk, J. Nienhuis. 2021a. Aard en omvang verstoring van overtuigende wadvogels voor de kwelder bij Westhoek – seizoen 2020 (nulmeting (To) dynamisch zonereren). Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

- Ens, B. J., R. K. H. Kats. 2004. Evaluatie van voedsel-reservering voor eidereenden in de Waddenzee - rapportage in het kader van EVA II deelproject B2. Alterra, Wageningen.
- Ens, B. J., M. Kersten, J. Krol, J. van der Meer, J. Wijsman, H. Schekkerman, C. J. Smit, K. Rappoldt. 2016. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2015. Sovon-rapport 2016/15, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., M. Kersten, J. Wijsman, J. van der Meer, H. Schekkerman, E. van Winden, K. Rappoldt. 2017a. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2016. Sovon-rapport 2017/15, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., R. Kleefstra, E. A. J. van Winden, F. Polwijk, M. Vroom, E. van der Zee, A. Rippen, M. Sikkema. 2017b. Monitoring van verstoring en potentiële verstoringbronnen van vogels en zeehonden in de Waddenzee - seizoen 2016. Sovon Vogelonderzoek Nederland / Altenburg & Wymenga, Nijmegen / Veenwouden.
- Ens, B. J., J. Krol, J. van der Meer, H. Piening, J. Wijsman, H. Schekkerman, K. Rappoldt. 2015b. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., A. C. Smaal, J. de Vlas. 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, Wageningen.
- Ens, B. J., K. Troost, E. van Winden, H. Schekkerman, K. Rappoldt, J. van Kessel, J. Nienhuis. 2020. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2019. Sovon-rapport 2020/25, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., K. Troost, E. Winden, H. Schekkerman, C. Rappoldt, J. van Kessel, J. Nienhuis. 2021b. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2020. Sovon-rapport 2021/35, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., J. van der Meer, K. Troost, E. van Winden, H. Schekkerman, K. Rappoldt. 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, Nijmegen.
- Ens, B. J., J. van der Meer, K. Troost, E. van Winden, H. Schekkerman, K. Rappoldt. 2019. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2018. Sovon-rapport 2019/22, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Ens, B. J., L. Zwarts. 1980. Wulpen op het wad van Moddergat. *Watervogels* **5**:108-120.
- Exo, K.-M., F. Hillig, F. Bairlein. 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., A. Dekinga, S. Holthuijsen, J. van der Meer, D. Mosk, T. Piersma, H. van der Veer. 2017. Species distribution models of intertidal benthos.
- Folmer, E. O., B. J. Ens, E. M. van der Zee. 2021. Analysis of high tide roost use and benthos availability for twelve shorebird species in the Dutch Wadden Sea. A&W rapport 19-469, Sovon-rapport 2021/52, Ecospace Ecological Research and Consultancy, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek bv.
- Gawehn, M. 2023. Monitoring wadplaatareaal Friesche Zeegat met LiDAR (2010-2022). 11206685-005, Deltares, Delft.
- Goss-Custard, J. D., S. Durell. 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., A. D. West, M. G. Yates, R. W. G. Caldow, R. A. Stillman, L. Bardsley, J. Castilla, M. Castro, V. Dierschke, S. Durell, G. Eichhorn, B. J. Ens, K. M. Exo, P. U. Udayangani-Fernando, P. N. Ferns, P. A. R. Hockey, J. A. Gill, I. Johnstone, B. Kalejta-Summers, J. A. Masero, F. Moreira, R. V. Nagarajan, I. P. F. Owens, C. Pacheco, A. Perez-Hurtado, D. Rogers, G. Scheiffarth, H. Sitters, W. J. Sutherland, P. Triplet, D. H. Worrall, Y. Zharikov, L. Zwarts, R. A. Pettifor. 2006. Intake rates and the functional response in shorebirds (Charadriiformes) eating macro-invertebrates. *Biological Reviews* **81**:501-529.

- Granadeiro, J. P., J. Andrade, J. M. Palmeirim. 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.
- Hornman, M., M. Kavelaars, K. Koffijberg, E. van Winden, P. van Els, R. Kleefstra, A. van Kleunen, B. Hssel, C. van Turnhout, L. Soldaat. 2022. Watervogels in Nederland in 2020/2021. Sovon rapport 2022/58 & RWS-rapport BM 22.22, Sovon Vogelonderzoek Nederland.
- Jouta, J., P. de Goeij, T. Lok, E. Velilla, C. J. Camphuysen, M. Leopold, H. W. van der Veer, H. Olf, O. Overdijk, T. Piersma. 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., A. Brenninkmeijer, J. de Jong. 2014. De hvp op de Feugelpölle. Effect van verstoring op het aantal vogels. A&W-rapport 2033, A&W, Feanwälden.
- Kersten, M., A. Brenninkmeijer, J. Krol, A. Kijk in de Vegte, J. T. de Jong. 2016. De HVP op de Feugelpolle in 2016. Effect van werkzaamheden aan de waddijk op het aantal vogels tijdens hoogwater. Ecosense rapport 3, Ecosense, Groningen.
- Kersten, M., T. Piersma. 1987. High-levels of energy-expenditure in shorebirds - metabolic adaptations to an energetically expensive way of life. *Ardea* **75**:175-187.
- Kleefstra, R., T. Bregnballe, J. Frikke, K. Günther, B. Hälterlein, M. B. Hansen, M. Hornman, J. Ludwig, J. Meyer, G. Scheiffarth. 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., E. Groenhof, H. Schekkerman, E. van Winden, J. Nienhuis, S. Duijns. 2023. Aard en omvang verstoring van overtijende wadvogels voor de kwelder bij Westhoek – seizoen 2022 (effectmeting (T1) dynamisch zoneren). Sovon-rapport 2023/22, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- Kleefstra, R., H. Schekkerman. 2019. De ‘krombekken’ van Westhoek. *Limosa* **92**:65-73.
- Kleefstra, R., C. Smit, C. Kraan, G. Aarts, J. van Dijk, M. de Jong. 2011. Het toegenomen belang van de Nederlandse Waddenzee voor ruiende Bergeenden. *Limosa* **84**:145-154.
- Koffijberg, K., J. Blew, K. Eskildsen, K. Günther, B. Koks, K. Laursen, L. Rasmussen, P. Potel, P. Südbek. 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., P. de Boer, S. C. V. Geelhoed, J. Nienhuis, H. Schekkerman, K. Oosterbeek, J. Postma. 2021. Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2019. Sovon-rapport 2021/40, Wageningen Marine Research-rapport CO64/21, Nijmegen.
- Kraan, C., G. Aarts, J. Van der Meer, T. Piersma. 2010. The role of environmental variables in structuring landscape-scale species distributions in seafloor habitats. *Ecology* **91**:1583-1590.
- Kraan, C., J. A. van Gils, B. Spaans, A. Dekinga, A. I. Bijleveld, M. van Roomen, R. Kleefstra, T. Piersma. 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., B. Klaassen, J. van der Winden. 2022. Verstoring van vogels door recreatie. Literatuurstudie van verstoringsgevoeligheid en overzicht van maatregelen. Deel 2 soortbesprekingen., Uitgave Vogelbescherming Nederland, Zeist.
- Manche, P., R. Kleefstra, H. Schekkerman, M. van Roomen, S. Duijns. 2023. Verdiepende monitoring van kustbroedvogels in Wij&Wadvogels: Jaarrapportage 2022. Sovon rapport 2023/32.
- Meesters, H. W. G., K. S. Dijkema, W. E. van Duin, C. J. Smit, N. M. J. A. Dankers, P. J. H. Reijnders, R. K. H. Kats, M. L. de Jong. 2006. Natuurwaarden in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag en mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinnig. Alterra rapport 1310, Alterra rapport 1310, Wageningen.
- Miller, R. S. 1967. Pattern and process in competition. *Advances in Ecological Research* **4**:1-74.

- NAM. 2014. Monitoringprogramma Waddenwoningen 2014-2019 - Bijlage bij de Wnb-vergunningen voor gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. EP201403214360.
- Navedo, J. G., J. S. Gutiérrez, P. Salmón, D. Arranz, M. Novo, D. J. Díaz-Cosín, A. G. Herrera, J. A. Masero. 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., O. Thorup. 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., A. S. Kers, R. Jentink, J.-R. Hendriks, M. J. Baptist. 2020. Toelichting op de zoute ecotopenkaart Waddenzee 2017. Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening.
- Penning, E., L. L. Govers, R. Dekker, T. Piersma. 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., J. J. Beukema, G. C. Cadée, R. Dekker, P. W. Goedhart, J. M. van Iperen, M. F. Leopold, P. M. J. Herman. 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., P. Prokosch, D. Bredin. 1992. The migration system of Afro-Siberian Knots *Calidris canutus canutus*. *Wader Study Group Bulletin* **64**:52–63.
- Rakhimberdiev, E., S. Duijns, J. Karagicheva, C. J. Camphuysen, VRS Castricum, A. Dekinga, R. Dekker, A. Gavrilov, J. ten Horn, J. Jukema, A. Saveliev, M. Soloviev, T. L. Tibbitts, J. A. van Gils, T. Piersma. 2018. Fuelling conditions at staging sites can mitigate Arctic warming effects in a migratory bird. *Nature Communications* **9**:4263.
- Rakhimberdiev, E., P. J. van den Hout, M. Brugge, B. Spaans, T. Piersma. 2015. Seasonal mortality and sequential density dependence in a migratory bird. *Journal of Avian Biology* **46**:332-341.
- Rappoldt, C., B. J. Ens. 2013. Het effect van bodemdaling op overwinterende Scholeksters in de Waddenzee. Een modelstudie met WEBTICS. EcoCurves rapport 17/ Sovon-rapport 2013/19, EcoCurves en Sovon Vogelonderzoek Nederland, Haren/Nijmegen.
- Rappoldt, C., B. J. Ens, H. Schekkerman. 2019. Wadvogel habitat model Wadmap; Technische documentatie. EcoCurves rapport 30, EcoCurves, Haren.
- Rappoldt, C., O. R. Roosenschoon, D. W. G. van Kraalingen. 2014. Intertides: maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. EcoCurves Rapport 19, EcoCurves, haren.
- Spaans, B., L. W. Bruinzeel, C. J. Smit. 1996. Effecten van verstoring door mensen op wadvogels in de Waddenzee en de Oosterschelde. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO).
- Suykerbuyk, W., L. Van den Boogaart, A. Hamer, B. Walles, K. Troost, M. Tangelder. 2021. Hittestress op intergetijdenplaten van de Oosterschelde. rapport Co26/21, Wageningen Marine Research, Wageningen.
- Taal, M., A. Cado van der Lelij, P. Herman, W. Stolte, T. Boudewijn, H. van der Jagt, S. Duijns, P. Goethals. 2020. Update Evaluatiemethodiek: verhaallijnen.
- Thies, L., P. Tomkovich, N. d. Remedios, T. Lislevand, P. Pinchuk, J. Wallander, J. Dänhardt, B. Þórisson, D. Blomqvist, C. Küpper. 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. 2013. Recent temperature extremes at high northern latitudes unprecedented in the past 600 years. *Nature* **496**:201-205.
- Tomkovich, P. S., M. Y. Soloviev. 2001. Social organisation of sanderlings breeding at Northern Taimyr, Siberia. *Ornithologia* **29**:125-136.
- Troost, K., M. van Asch. 2018. Effecten van handkorkelvisserij op het kokkelbestand in de Waddenzee. Een theoretische benadering. Wageningen University & Research rapport Co72/18, Wageningen Marine Research, Yerseke.

- Troost, K., M. van Asch, E. Brummelhuis, D. van den Ende, Y. van Es, K. J. Perdon, J. van der Pool, C. van Zweeden, J. van Zwol. 2021. Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2020. CVO rapport 21.001, Stichting Wageningen Research, Centrum voor Visserijonderzoek (CVO), IJmuiden.
- Troost, K., M. van Asch, D. van den Ende, Y. van Es, K. J. Perdon, J. van der Pool, Suykerbuyk, W., C. van Zweeden, J. van Zwol. 2022. Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2021. CVO rapport: 22.011, IJmuiden.
- van de Kam, J., B. Ens, T. Piersma, L. Zwarts. 2004. Shorebirds: an illustrated behavioural ecology. KNNV Publishers, Utrecht.
- van de Pol, M., B. J. Ens, D. Heg, L. Brouwer, J. Krol, M. Maier, K.-M. Exo, K. Oosterbeek, T. Lok, C. M. Eising, K. Koffijberg. 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., B. J. Ens, K. Oosterbeek, L. Brouwer, S. Verhulst, J. M. Tinbergen, A. L. Rutten, M. d. Jong. 2009. Oystercatchers' bill shapes as a proxy for diet specialization: More differentiation than meets the eye. *Ardea* **97**:335-347, 313.
- van de Pol, M., Y. Vindenes, B. E. Saether, S. Engen, B. J. Ens, K. Oosterbeek, J. M. Tinbergen. 2010b. Effects of climate change and variability on population dynamics in a long-lived shorebird. *Ecology* **91**:1192-1204.
- van den Ende, D., K. Troost, M. van Asch, J. Perdon, C. van Zweeden. 2020. Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen van de Nederlandse zoute getijdenwateren in 2019: bestand en arealen. CVO rapport: 19.022, 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., B. J. Ens, M. Versluijs, H. Schekkerman. 2014. Geïntegreerde monitoring van vogels van de Nederlandse Waddenzee. Vogeltrekstation report 2014-01 / Sovon-rapport 2014/18, Vogeltrekstation / Sovon, Wageningen / Nijmegen.
- van der Meer, J., N. Dankers, B. J. Ens, M. van Stralen, K. Troost, A. M. Waser. 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., B. J. Ens. 1997. Models of interference and their consequences for the spatial distribution of ideal and free predators. *Journal of Animal Ecology* **66**:846-858.
- van Gils, J. A., S. R. de Rooij, J. van Belle, J. van der Meer, A. Dekinga, T. Piersma, R. Drent. 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., S. Lisovski, T. Lok, W. Meissner, A. Ożarowska, J. de Fouw, E. Rakhimberdiev, M. Y. Soloviev, T. Piersma, M. Klaassen. 2016. Body shrinkage due to Arctic warming reduces red knot fitness in tropical wintering range. *Science* **352**:819-821.
- van Gils, J. A., T. Piersma, A. Dekinga, B. Spaans, C. Kraan. 2006. Shellfish dredging pushes a flexible avian top predator out of a marine protected area. *PLOS Biology* **4**:2399-2404.
- van Roomen, M., G. Citegetse, O. Crowe, T. Dodman, W. Hagemeyer, K. Meise, H. Schekkerman. 2022. East Atlantic Flyway Assessment 2020. The status of coastal waterbird populations and their sites. Wadden Sea Flyway Initiative p/a CWSS, Wilhelmshaven, Germany, Wetlands International, Wageningen, The Netherlands, BirdLife International, Cambridge, United Kingdom
- van Roomen, M., S. Nagy, R. Foppen, T. Dodman, G. Citegetse, A. Ndiaye. 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.
- van Stralen, M., K. Troost, C. van Zweeden. 2012. Ontwikkeling van banken Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) op droogvallende platen in de Waddenzee. Rapport 2012.101, Imares, Scharendijke
- van Turnhout, C., M. van Roomen. 2008. Drieteenstrandlopers in Nederland: steeds meer wad- steeds minder strandvogel? *Limosa* **81**:1-10.

Wang, Z. B., W. D. Eysink. 2005. Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning. Vloedkommen van het Friesche Zeegat. Rapport Z3995.

Waser, A. M., S. Deuzeman, A. K. w. Kangeri, E. van Winden, J. Postma, P. de Boer, J. van der Meer, B. J. Ens. 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., J. D. Goss-Custard, S. McGrorty, K. H. Lakhani, S. Durell, R. T. Clarke, W. E. Rispin, I. Moy, T. Yates, R. A. Plant, A. J. Frost. 1993. Sediment characteristics, invertebrate densities and shorebird densities on the inner banks of the Wash. *Journal of Applied Ecology* **30**:599-614.

Zhou, Z., T. J. Bouma, G. S. Fivash, T. Ysebaert, L. van Ijzerloo, J. van Dalen, B. van Dam, B. Walles. 2022. Thermal stress affects bioturbators' burrowing behavior: A mesocosm experiment on common cockles (*Cerastoderma edule*). *Science of The Total Environment* **824**:153621.

Zwarts, L., P. Esselink. 1989. Versatility of male curlews *Numenius arquata* preying upon *Nereis diversicolor*: deploying contrasting capture modes dependent on prey availability. *Marine Ecology Progress Series* **56**:255-269.

Zwarts, L., J. H. Wanink. 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., J. H. Wanink, B. J. Ens. 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.













## Bijlage II - Trend in SEM proxy Nhat

Trends over 2008-2023 voor de geschatte aantallen vogels (*Nhat*) uit de SEM analyse in alle deelgebieden. De gaswinning vind plaats onder Ameland, en de gebieden waarvan een mogelijk negatief effect te verwachten is Ameland en Friese kust Oost (gebied 6 en 7 uit Figuur 7.1). Trendmodel:  $\ln(Fp) \sim \text{Year} + \text{Month}$ . Gegeven zijn de schatting van het intercept van dit trendmodel (beta), met standaardfout (beta.se), Student's t statistic (t\_value) en overschrijdingskans (P\_value) voor de toets of Intercept afwijkt van 0, de schatting van de hellingshoek (slope) met standaardfout (SE) en t-statistic en overschrijdingskans voor de afwijking van 0, en het significantieniveau hiervan (\*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001). De laatste kolom geeft aan tot welke veranderingsfactor de slope leidt over een periode van 16 jaar (bv. 1,30 is 30% toename).

Deelgebied	Soort	Maand	beta	beta.se	tvalue	Pvalue	sign.	uitspraak	factor na 16jr
Ameland	Kluut	9	0,017650679	0,013749624	1,283720846	0,23	ns	.	1,33
Ameland	Kluut	11	0,032862942	0,02637822	1,245836219	0,24	ns	.	1,69
Ameland	Rosse_grutto	5	-0,001193667	0,030504194	-0,039131228	0,97	ns	.	0,98
Ameland	Rosse_grutto	9	-0,004692471	0,044124975	-0,106345016	0,92	ns	.	0,93
Ameland	Wulp	1	-0,017613445	0,017377941	-1,01355192	0,33	ns	.	0,75
Ameland	Wulp	9	-0,006816981	0,026535131	-0,256903982	0,80	ns	.	0,90
Ameland	Bonte_Strandloper	5	0,006738441	0,0347995	0,193636144	0,85	ns	.	1,11
Ameland	Bonte_Strandloper	9	0,028333237	0,041820454	0,569894269	0,58	ns	.	1,46
Ameland	Kanoet	1	-0,029940737	0,022388789	-1,337309347	0,21	ns	.	0,62
Ameland	Kanoet	9	-0,020167326	0,020073001	-1,004699103	0,34	ns	.	0,72
Ameland	Scholekster	1	-0,024634302	0,006993567	-3,522423162	0,01	*	afname met 2,4%/jr	0,67
Ameland	Scholekster	9	-0,026226431	0,007453434	-3,518704512	0,01	*	afname met 2,6%/jr	0,66
Ameland	Pijlstaart	1	0,001200485	0,007767409	0,15455412	0,88	ns	.	1,02
Ameland	Pijlstaart	11	0,008910014	0,011234086	0,793123124	0,45	ns	.	1,15
Ameland	Bontbekplevier	5	-0,012568947	0,016888153	-0,744246346	0,47	ns	.	0,82
Ameland	Bontbekplevier	9	-0,018528287	0,028331868	-0,653973371	0,53	ns	.	0,74
Ameland	Tureluur	1	-0,005237802	0,009275823	-0,564672459	0,58	ns	.	0,92
Ameland	Tureluur	9	0,000626364	0,013799374	0,045390735	0,96	ns	.	1,01
Ameland	Drieteenstrandloper	5	0,010479889	0,05724323	0,183076482	0,86	ns	.	1,18
Ameland	Drieteenstrandloper	9	-0,004994087	0,059887465	-0,083391192	0,94	ns	.	0,92
Ameland	Bergeend	9	0,003176294	0,021009987	0,151180189	0,88	ns	.	1,05
Ameland	Steenloper	1	-0,021717215	0,015237576	-1,425240782	0,18	ns	.	0,71
Ameland	Steenloper	9	-0,016004022	0,015466644	-1,034744342	0,33	ns	.	0,77
Friese kust oost	Kluut	9	0,00858472	0,016029176	0,535568351	0,60	ns	.	1,15
Friese kust oost	Kluut	11	0,013022478	0,023926236	0,544276073	0,60	ns	.	1,23
Friese kust oost	Rosse_grutto	5	0,009213871	0,019238768	0,478922107	0,64	ns	.	1,16
Friese kust oost	Rosse_grutto	9	0,024253932	0,028398672	0,854051628	0,41	ns	.	1,47
Friese kust oost	Wulp	1	-0,002394422	0,013284022	-0,18024824	0,86	ns	.	0,96
Friese kust oost	Wulp	9	0,006172486	0,016492899	0,374251125	0,72	ns	.	1,10
Friese kust oost	Bonte_Strandloper	5	0,004941633	0,033544375	0,147316291	0,89	ns	.	1,08
Friese kust oost	Bonte_Strandloper	9	0,001506079	0,040608999	0,037087328	0,97	ns	.	1,02
Friese kust oost	Kanoet	1	-0,011681934	0,029145051	-0,40082049	0,70	ns	.	0,83
Friese kust oost	Kanoet	9	-0,002900291	0,029352704	-0,098808323	0,92	ns	.	0,95
Friese kust oost	Scholekster	1	-0,010460786	0,007102481	-1,472835463	0,17	ns	.	0,85
Friese kust oost	Scholekster	9	-0,009806853	0,007775785	-1,261204234	0,24	ns	.	0,85
Friese kust oost	Pijlstaart	1	0,009974529	0,009917478	1,005752628	0,34	ns	.	1,17
Friese kust oost	Pijlstaart	11	0,022538693	0,015231587	1,479733719	0,17	ns	.	1,43
Friese kust oost	Bontbekplevier	5	0,00368662	0,021655785	0,170237205	0,87	ns	.	1,06
Friese kust oost	Bontbekplevier	9	0,01043683	0,035266168	0,295944549	0,77	ns	.	1,18
Friese kust oost	Tureluur	1	-0,006535508	0,009886889	-0,661027777	0,52	ns	.	0,90
Friese kust oost	Tureluur	9	-0,000547714	0,01080618	-0,050685239	0,96	ns	.	0,99
Friese kust oost	Drieteenstrandloper	5	-0,043113514	0,053180282	-0,810704884	0,44	ns	.	0,50
Friese kust oost	Drieteenstrandloper	9	-0,048697516	0,054763378	-0,889235066	0,39	ns	.	0,46
Friese kust oost	Bergeend	9	-0,003325323	0,018390355	-0,180818864	0,86	ns	.	0,95
Friese kust oost	Steenloper	1	0,001687083	0,014711427	0,114678374	0,91	ns	.	1,03
Friese kust oost	Steenloper	9	0,009174115	0,01460258	0,628253014	0,54	ns	.	1,16
Balgzand	Kluut	9	0,017904888	0,019100739	0,937392409	0,37	ns	.	1,33
Balgzand	Kluut	11	0,028047431	0,036254944	0,773616734	0,46	ns	.	1,57
Balgzand	Rosse_grutto	5	0,049685039	0,032476737	1,5298655	0,16	ns	.	2,21
Balgzand	Rosse_grutto	9	0,071051977	0,042961613	1,653847985	0,13	ns	.	3,12
Balgzand	Wulp	1	0,002133375	0,017261638	0,123590529	0,90	ns	.	1,03
Balgzand	Wulp	9	0,02825133	0,029440797	0,95959798	0,36	ns	.	1,57
Balgzand	Bonte_Strandloper	5	0,020767263	0,032225396	0,644437782	0,53	ns	.	1,39
Balgzand	Bonte_Strandloper	9	0,020138095	0,043461048	0,463359635	0,65	ns	.	1,38
Balgzand	Kanoet	1	-0,016615933	0,017202709	-0,965890454	0,36	ns	.	0,77
Balgzand	Kanoet	9	-0,00155816	0,015508718	-0,100469958	0,92	ns	.	0,98
Balgzand	Scholekster	1	-0,005358504	0,008346354	-0,642017395	0,54	ns	.	0,92
Balgzand	Scholekster	9	-0,002370281	0,010509688	-0,225532975	0,83	ns	.	0,96
Balgzand	Pijlstaart	1	0,002778555	0,009851302	0,282049524	0,78	ns	.	1,05
Balgzand	Pijlstaart	11	0,012445885	0,016986421	0,732696119	0,48	ns	.	1,22
Balgzand	Bontbekplevier	5	0,003431266	0,016700482	0,205459122	0,84	ns	.	1,06
Balgzand	Bontbekplevier	9	0,012716054	0,027024657	0,470535265	0,65	ns	.	1,23
Balgzand	Tureluur	1	-0,005183396	0,0109513	-0,473313288	0,65	ns	.	0,92
Balgzand	Tureluur	9	0,005604703	0,01408587	0,397895397	0,70	ns	.	1,09



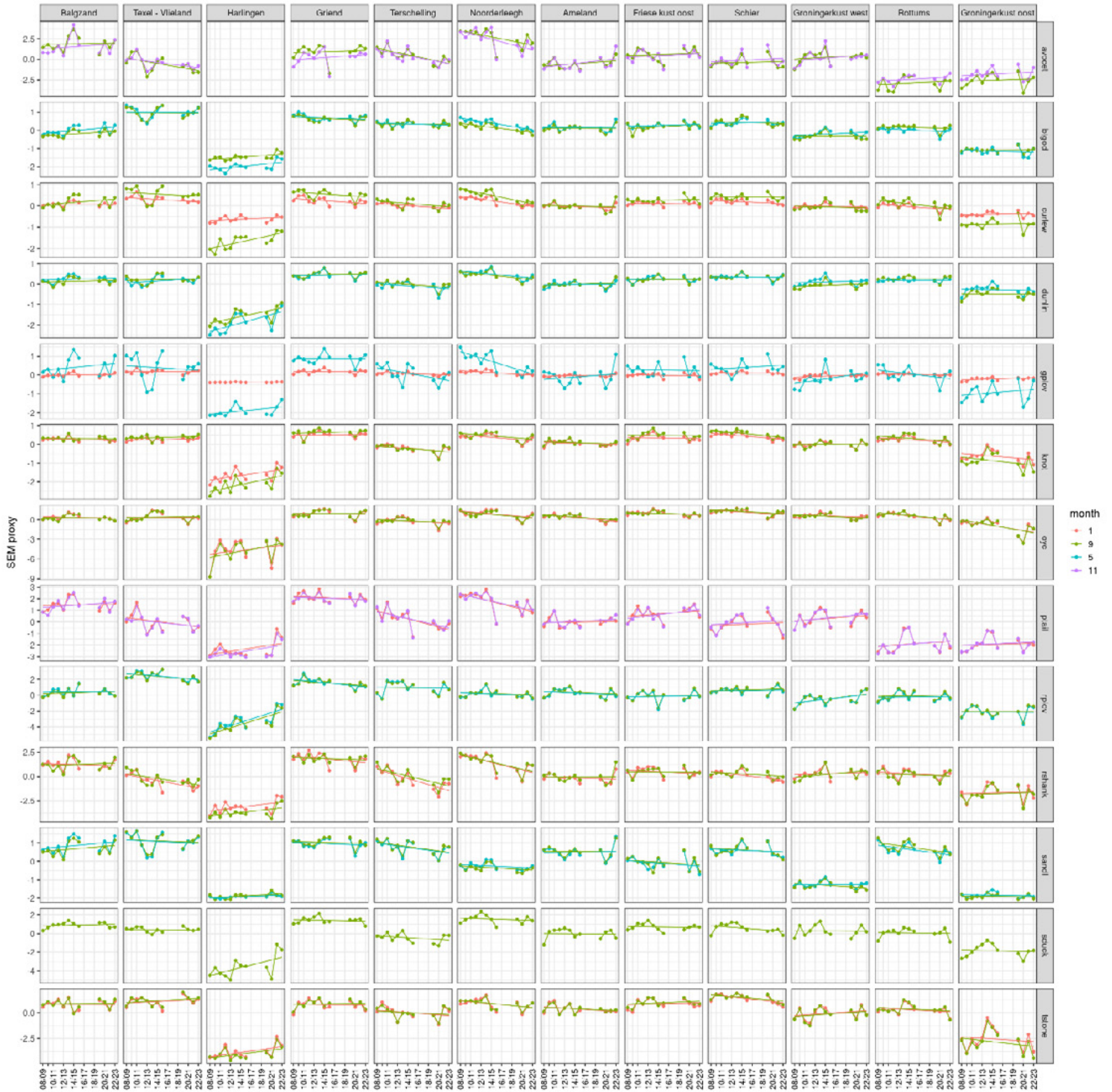


Deelgebied	Soort	Maand	beta	beta.se	tvalue	Pvalue	sign.	uitspraak	factor na 16jr
Schier	Bergeend	9	-0,036464229	0,0181663	-2,007245777	0,07	ns	.	0,56
Schier	Steenloper	1	-0,035546626	0,012616331	-2,817509118	0,02	*	afname met 3,5%/jr	0,57
Schier	Steenloper	9	-0,031777746	0,011929671	-2,663733171	0,02	*	afname met 3,1%/jr	0,60
Terschelling	Kluut	9	-0,039801311	0,014592695	-2,72748189	0,02	*	afname met 3,9%/jr	0,53
Terschelling	Kluut	11	-0,055082036	0,023571332	-2,336823192	0,04	*	afname met 5,4%/jr	0,41
Terschelling	Rosse_grutto	5	-0,021895362	0,019847687	-1,103169486	0,30	ns	.	0,70
Terschelling	Rosse_grutto	9	-0,01443098	0,035605817	-0,405298391	0,69	ns	.	0,79
Terschelling	Wulp	1	-0,0324648	0,013259841	-2,448355255	0,03	*	afname met 3,2%/jr	0,59
Terschelling	Wulp	9	-0,036808668	0,021731042	-1,693828935	0,12	ns	.	0,55
Terschelling	Bonte_Strandloper	5	-0,072613103	0,038894199	-1,866939153	0,09	ns	.	0,31
Terschelling	Bonte_Strandloper	9	-0,086494224	0,046345975	-1,866272605	0,09	ns	.	0,25
Terschelling	Kanoet	1	-0,058734776	0,028564989	-2,05618063	0,07	ns	.	0,39
Terschelling	Kanoet	9	-0,049507313	0,026560652	-1,863934372	0,09	ns	.	0,45
Terschelling	Scholekster	1	-0,014094055	0,011526408	-1,222762078	0,25	ns	.	0,80
Terschelling	Scholekster	9	-0,01228064	0,012102578	-1,014712675	0,33	ns	.	0,82
Terschelling	Pijlstaart	1	-0,032696963	0,011543427	-2,832517708	0,02	*	afname met 3,2%/jr	0,59
Terschelling	Pijlstaart	11	-0,047555058	0,019258379	-2,469317758	0,03	*	afname met 4,6%/jr	0,47
Terschelling	Bontbekplevier	5	-0,004213079	0,024818346	-0,169756657	0,87	ns	.	0,93
Terschelling	Bontbekplevier	9	-0,006171309	0,041451603	-0,148879862	0,88	ns	.	0,91
Terschelling	Tureluur	1	-0,049029385	0,012392166	-3,956482346	0,00	***	afname met 4,8%/jr	0,46
Terschelling	Tureluur	9	-0,047538966	0,014272773	-3,330744916	0,01	*	afname met 4,6%/jr	0,47
Terschelling	Drieteenstrandloper	5	-0,096723103	0,050225642	-1,925771378	0,08	ns	.	0,21
Terschelling	Drieteenstrandloper	9	-0,108225946	0,05720993	-1,891733573	0,09	ns	.	0,18
Terschelling	Bergeend	9	-0,024208127	0,024356065	-0,993925995	0,34	ns	.	0,68
Terschelling	Steenloper	1	-0,024296551	0,021989805	-1,10490068	0,30	ns	.	0,68
Terschelling	Steenloper	9	-0,018734364	0,022358253	-0,837917144	0,42	ns	.	0,74
Texel - Vlieland	Kluut	9	-0,032181688	0,017970854	-1,790771265	0,10	ns	.	0,60
Texel - Vlieland	Kluut	11	-0,042273402	0,021703783	-1,947743486	0,08	ns	.	0,51
Texel - Vlieland	Rosse_grutto	5	-0,006285809	0,046787966	-0,134346704	0,90	ns	.	0,90
Texel - Vlieland	Rosse_grutto	9	-0,002672466	0,071013544	-0,037633191	0,97	ns	.	0,96
Texel - Vlieland	Wulp	1	-0,031617752	0,023940387	-1,320686745	0,22	ns	.	0,60
Texel - Vlieland	Wulp	9	-0,020646058	0,037730494	-0,547198206	0,60	ns	.	0,72
Texel - Vlieland	Bonte_Strandloper	5	0,048828945	0,040594806	1,202837265	0,26	ns	.	2,18
Texel - Vlieland	Bonte_Strandloper	9	0,037133927	0,05340483	0,695329001	0,50	ns	.	1,81
Texel - Vlieland	Kanoet	1	0,007801783	0,016914247	0,461255138	0,65	ns	.	1,13
Texel - Vlieland	Kanoet	9	0,019448196	0,017805562	1,092253985	0,30	ns	.	1,37
Texel - Vlieland	Scholekster	1	-0,003021039	0,013333495	-0,226575183	0,83	ns	.	0,95
Texel - Vlieland	Scholekster	9	0,001042059	0,016445525	0,063364295	0,95	ns	.	1,02
Texel - Vlieland	Pijlstaart	1	-0,0160717	0,01283576	-1,252103516	0,24	ns	.	0,77
Texel - Vlieland	Pijlstaart	11	-0,02018178	0,020683234	-0,975755531	0,35	ns	.	0,72
Texel - Vlieland	Bontbekplevier	5	-0,028268696	0,015026117	-1,881304169	0,09	ns	.	0,64
Texel - Vlieland	Bontbekplevier	9	-0,044174612	0,02620847	-1,685509025	0,12	ns	.	0,49
Texel - Vlieland	Tureluur	1	-0,032554786	0,010379772	-3,136368059	0,01	*	afname met 3,2%/jr	0,59
Texel - Vlieland	Tureluur	9	-0,030900842	0,012749697	-2,423652995	0,04	*	afname met 3%/jr	0,61
Texel - Vlieland	Drieteenstrandloper	5	-0,032558898	0,077191184	-0,421795552	0,68	ns	.	0,59
Texel - Vlieland	Drieteenstrandloper	9	-0,032735834	0,077450649	-0,42266701	0,68	ns	.	0,59
Texel - Vlieland	Bergeend	9	-0,001902918	0,013560014	-0,140333071	0,89	ns	.	0,97
Texel - Vlieland	Steenloper	1	0,006556412	0,01717487	0,381744499	0,71	ns	.	1,11
Texel - Vlieland	Steenloper	9	0,015744377	0,016091848	0,978407037	0,35	ns	.	1,29



## Bijlage III - Trend in SEM proxy FP

Trends over 2008-2023 voor de latente variabele foerageerpotentieel (*FP*) uit de SEM analyse in alle deelgebieden, geordend van West naar oost. De gaswinning vind plaats onder Ameland, en de gebieden waarvan een mogelijk negatief effect te verwachten is Ameland en Friese kust Oost (gebied 6 en 7 uit Figuur 7.1). Op de y-as is de SEM proxy (*FP*) uitgezet tegen de jaren op de x-as. Trends zijn berekend voor alle soorten en maanden, waarbij alleen een significante trend van de Scholekster in deelgebied Ameland is gevonden.





In opdracht van:



**NAM**

Sovon Vogelonderzoek Nederland

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

E [info@sovon.nl](mailto:info@sovon.nl)  
I [www.sovon.nl](http://www.sovon.nl)

