

Potentie van ruimtelijke modellen als beleidsondersteunend instrument mbt het voorkomen van watervogels in de Zeeschelde

Thierry Onkelinx, Gunther Van Ryckegem, Dirk Bauwens, Paul Quataert &
Erika Van den Bergh



Met medewerking van Ingrid Verbessem, Alexander Van Braeckel, Jan Soors en Nico De Regge (INBO).

Met dank aan Waterwegen en Zeekanaal NV (W&Z) afdeling Zeeschelde voor de ondersteuning van de monitoring.

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzaam beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

Vestiging

INBO Brussel

Kliniekstraat 25, 1070 Brussel

www.inbo.be

Wijze van citeren:

Onkelinx, T., Van Ryckegem, G., Bauwens, D., Quataert, P. & Van den Bergh, E. (2008). Potentie van ruimtelijke modellen als beleidsondersteunend instrument mbt het voorkomen van watervogels in de Zeeschelde. Rapport INBO.R.2008.34. 113 pp + 3 bijlagen op CD-rom. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

depotnummer: D/2008/3241/280

rapportnummer: INBO.R.2008.34

Rapport in opdracht van Maritieme Toegang in navolging van het Memorandum van Vlissingen (2002) tussen Vlaanderen en Nederland inzake het gezamenlijk opstarten van een langlopend monitoring- en onderzoeksprogramma ter ondersteuning van de grensoverschrijdende samenwerking bij beleid en beheer, met als thema's Natuurlijkheid, Veiligheid, Toegankelijkheid, Visserij en Recreatie en Toerisme. Werkgroep Onderzoek & Monitoring Vlaams Nederlandse Schelde Commissie (WG O&M VNSC).

Samenvatting

De Lange Termijn Visie voor het Schelde-estuarium (LTVS) schrijft voor dat de Schelde in 2030 een gezond en duurzaam multifunctioneel estuarien ecosysteem is. Ter ondersteuning van LTVS werd een gemeenschappelijk Vlaams-Nederlands beleidsondersteunend onderzoeks- en monitoringprogramma (LTV O&M) geoperationaliseerd. Deze studie naar de potentie van ruimtelijke modellen als beleidsondersteunend instrument met betrekking tot het voorkomen van watervogels in de Zeeschelde is onderdeel van het LTV O&M programmaplan 2007.

Watervogels zijn belangrijke gebruikers van het Schelde-estuarium en er rusten een aantal internationale verplichtingen op de instandhouding van deze 'gebruiksfunctie'. Bovendien hebben watervogels een aantal troeven waardoor ze interessant zijn voor onderzoekers en beleidsmedewerkers. Ze zijn makkelijk waarneembaar, dank zij de lange teltraditie zijn er goede datasets, ze zijn maatschappelijk aaibaar, tonen habitatvoorkeur en vanuit hun positie in de voedselketen kunnen ze een signaalfunctie vervullen over de evolutie van het ecosysteem en de draagkracht ervan. Hun indicatorwaarde voor een beleidstoets lijkt dus voor de hand te liggen. Echter tot nu toe werd de bruikbaarheid van de watervogeldata tot het ontwikkelen van modellen als beleidsinstrument in de Zeeschelde niet onderzocht. Dit verkennende project heeft als hoofddoel te onderzoeken of het mogelijk is om op basis van de beschikbare gegevens (maandelijkse tellingen van oktober 1991 tot juni 2007) statistische modellen op te stellen die de aanwezigheid van geselecteerde watervogelsoorten in de tijd en in de ruimte voldoende kunnen voorspellen om ze als beleidsinstrument in te zetten.

In een eerste stap (zie ook Bijlage A) werden per soort **basismodellen** ontwikkeld (generalised linear models, glm), die de globale patronen in de dataset beschrijven: ruimtelijk patronen, lange termijn trends, seizoenale schommelingen en de interacties daartussen. Deze basismodellen onderzoeken niet de correlaties met soort en/of systeemspecifieke variabelen maar ze vormen het uitgangspunt de interpretatie van de **correlatieve soortmodellen** die wel omgevingsvariabelen koppelen aan de aanwezigheid en talrijkheid van de soorten. Op basis van een clusteranalyse van de percentages verklaarde variantie van de basismodellen werden Bergeend, Tafeleend en Wintertaling geselecteerd om een correlatief soortmodel te maken. De detailmodellen beschrijven de fluctuaties van de gemiddelde aantallen per teltraject en per winter. Er werden variabelen toegevoegd met betrekking tot de Europese vogelpopulatie, meteorologie, getij en habitat. De onderlinge correlatie tussen de variabelen werd onderzocht en alleen variabelen met een beperkte correlatie werden overgehouden.

De modelperformantie verhoogt van Tafeleend (zwakste model) over Bergeend tot Wintertaling (sterkste model). De variatie in de tijd wordt door de ontwikkelde modellen relatief goed voorspeld. De modellering toont het grote belang van de Europese trends die elk van de soorten vertoont. Het vorstgetal – een maat voor de strengheid van de winter – is een andere belangrijke temporele variabele voor Bergeend en Tafeleend. De overwinterende watervogels reageren gevoelig (significante correlatie) op koudeperiodes. In tweede instantie verhogen ruimtelijke variabelen de modelperformantie. Tijverschil wordt steeds geselecteerd als significante modelparameter. Een groter tijverschil, bij gelijke hellingsgraad, betekent meer intertidaal foerageergebied en correleert met hogere vogelaantallen. Habitatoppervlakte en afgeleide breedtematen – gemiddelde breedte

en een variatiemaat aan breedte per traject- verhogen de modelperformantie voor het Bergeend en het Wintertaling model. Habitatkenmerken verbeterden slechts beperkt het Tafeleendmodel. In het kader van deze studie werd ook het breuksteenhabitat (bijlage C) van naderbij onderzocht om een beter zicht te krijgen om het mogelijke belang van dit ecotoop voor watervogels. Hiervoor werd de bodemdiergemeenschap en het wier op de stenen gekwantificeerd. Het aanwezige voedselaanbod bleek aanzienlijk (gemiddeld 40g AFDWwier/m²) maar het foerageergedrag van de vogels correleert weinig met de wierbiomassa aanwezig. Dit doet ons vermoeden dat de aanwezige algen wellicht niet de voornaamste voedselbron waarop gevoerd wordt in de waterlijn van breuksteen. Mogelijk is de zone vooral interessant voor hyperbenthos. Dit werd echter niet onderzocht.

De uitgewerkte modellen zijn maar een eerste stap in de modelbouw op basis van modelvariabelen die, binnen het tijdsbestek van de studie, eenvoudig te koppelen waren aan de watervogeldata. Het toevoegen van fysico-chemische en hydrologische variabelen en voedselaanbod lijkt de aangewezen weg voor verder onderzoek.

De gepresenteerde correlatieve modellen tonen de potentie als hulpmiddel bij het opzetten van toetsingscriteria voor ecosysteemeigenschappen die door ingrepen beïnvloedt worden. Door variabelen te veranderen kunnen effecten op de vogelaantallen gesimuleerd worden. De betrouwbaarheid van deze simulatie moet echter verbeterd worden door het toevoegen van variabelen en het uitwerken van specifieke scenario's

Correlatieve modellen zijn in de Zeeschelde meer potentievol dan in de Westerschelde omdat watervogeltellingen bij laagwater vanop schepen gebeuren. Hierdoor kunnen de soorten en aantallen beter aan trajecten, ecotopen en lokale abiotische omstandigheden gerelateerd worden. Hiervoor is onvoldoende data voorhanden in de Westerschelde.

Abstract

Waterbirds are keystone species in the Schelde-estuary and there is an international conservation obligation for this ecosystem function. Moreover as secondary consumers they quickly respond to food web changes and because of their popularity and high perceptibility there is a long standing monitoring tradition resulting in extensive data set. Hence their recognition as valid indicators for ecosystem health. Changing human interferences influence the habitat quality of the Schelde-estuary for waterbirds. Models can be useful policy instruments to understand the impact of management measures and to manage these habitat changes.

Basic generalised linear models (glm) for each species describe general patterns in the database: spatial patterns, long term trends, seasonality and their interactions (Annex I). These basic models do not investigate species specific habitat correlations; they form the basis for the interpretation of the correlative linear mixed effect models (lme) that link environmental characteristics to species presence and numerosness. Based on the variance accounted for in the basic models Shelduck (*Tadorna tadorna*), Teal (*Anas crecca*) and Pochard (*Aythya ferina*) were selected as candidate species (Annex II) for **correlative species models**. These describe fluctuations of the mean numbers for each section per winter. Based on monthly bird data (1991-2007) temporal and spatial variables (population trends, meteorological data, tidal and habitat characteristics) were stepwise blocked from the selected pool of variables (linear mixed effects models (lme), AIC-criterion). Model power increased from Pochard over Shelduck to Teal. Of all included variables, international population trends and winter conditions significantly improved the temporal model resolution. Habitat characteristics improved the spatial model performance for the Teal and Shelduck model but not for the Pochard.

With these preliminary results we can show the possible use of bird habitat models to help both scientist and manager. However, there is need to improve model performance with addition of physico-chemical and hydrological variables and food availability data.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Abstract	5
I Inleiding	8
1 Context en beleidskader van het onderzoek	8
2 Doelstellingen	9
3 Werkwijze	10
II Verkennende analyses van de watervogeldatabank.....	11
1 Inleiding.....	11
2 Materiaal en methoden.....	11
A Gegevens in watervogeldatabank	11
B Beschrijving van de globale patronen.....	15
C Beschrijving van de basisanalyses	20
3 Resultaten	23
A Bergeend.....	23
B Tafeleend	35
C Wintertaling.....	45
D Alle watervogels (niet-meeuwen)	53
E Overige soorten.....	59
4 Multivariate analyse van resultaten basisanalyse	60
A Gemiddeld aantal dieren per analysejaar.....	61
B Aantal dieren per maand	64
C Motivering van de keuze van de soorten.....	69
III Modelbouw	70
1 Inleiding.....	70
2 Methoden	70
A Statistische modellen	70
B Gebruikte variabelen.....	71
C Strategie voor modelselectie	80
D Het voorstellen van de resultaten	82
3 Resultaten	83

A	<i>Bergeend</i>	83
B	<i>Tafeleend</i>	90
C	<i>Wintertaling</i>	97
IV	Conclusies	103
V	Referenties	109
VI	Bijlagen op CD-rom	110
A.	Basisanalyses overige soorten.....	111
B.	Algemene trends in de databank (1991-2007)	112
C.	Potentieel belang van breuksteen als foerageerhabitat voor watervogels - verkennend onderzoek in de Zeeschelde.....	113

I Inleiding

1 Context en beleidskader van het onderzoek

Sinds 2001 heeft de Technische Schelde Commissie de Lange Termijn Visie voor het Schelde-estuarium vastgesteld. Deze schrijft voor dat de Schelde in 2030 een gezond en multifunctioneel estuarien ecosysteem is dat op duurzame wijze kan gebruikt worden voor menselijke behoeften. Ter ondersteuning van deze Lange Termijn Visie werd het Memorandum van Vlissingen in 2002 door Vlaanderen en Nederland ondertekend. Hierin werd overeen gekomen om jaarlijks te investeren in gemeenschappelijk, beleidsondersteunend onderzoek en monitoring, teneinde onze systeemkennis uit te breiden.

In het kader van dit Memorandum werd het onderzoeks - en monitoringsprogramma van LTV O&M geoperationaliseerd. Jaarlijks werd aldus een Vlaams - Nederlands onderzoeksprogramma opgemaakt voor de thema's natuurlijkheid, veiligheid en toegankelijkheid, met aandacht voor de thema's vis & visserij en recreatie & toerisme. Deze studie naar de potentie van ruimtelijke modellen als beleidsondersteunend instrument met betrekking tot het voorkomen van watervogels in de Zeeschelde werd opgenomen in het programmaplan 2007 en goedgekeurd door de stuurgroep binnen de structuur van LTV O&M.

Het rapport is het resultaat van 6 maanden deskstudie. Sinds 1991 worden de watervogels langs de Zeeschelde tussen Gent en de Belgisch-Nederlandse grens maandelijks geteld. De vraag stelt zich of en in hoeverre we op basis van de beschikbare gegevens kunnen inschatten hoe bruikbaar watervogelmodellen zijn bij het onderbouwen van het gevoerde beleid in de Zeeschelde (VL). Een hierbij aansluitende vraag is welke bijkomende informatie we nodig hebben om een uitgebreid watervogelmodel op te stellen. In de Westerschelde (NL) werden reeds soortspecifieke modellen aangepast voor bijvoorbeeld de Scholekster en de Wulp (WEBTICS) (Rappoldt & Ens, 2005; Ens, Rappoldt & Zwarts, 2006).

Een watervogelmodel moet uiteindelijk een aanlevering zijn van betrouwbare informatie over de relatie tussen vogels, habitats, voedsel en gangbare processen. Dergelijk onderzoek zal deelresultaten aanleveren voor verschillende beleidsvragen/doelen:

- Het opzetten van toetsingscriteria voor de arealen schorren en slikken. B.v. welke habitatfactoren zijn echt belangrijk en hoeveel van elk type is wenselijk, de kritische oppervlakte, biodiversiteit (Europese Richtlijnen).
- Het bijdragen aan verhoging en behoud van biodiversiteit van de Schelde en instandhoudingsdoelen (Europese Richtlijnen).
- Hoe moeten compenserende en mitigerende maatregelen eruit zien (Europese Richtlijnen).
- Een beter inzicht krijgen in de draagkracht van het Schelde-estuarium.
- Opvullen van kennisleemten voor de bestaande beleidsonderbouwende documenten (NOP) en tools (OMES, ...).

2 Doelstellingen

Het hoofddoel van dit project is een potentieverkenning van watervogelmodellen in de Zeeschelde door op basis van de beschikbare gegevens een statistisch model op te stellen die de aanwezigheid van watervogels in de tijd en in de ruimte zo goed mogelijk voorspelt. Hierbij is een eerste stap (output 1) per soort basismodellen te ontwikkelen die de globale patronen in de dataset (ruimtelijk, lange termijn trend, seizoensale schommelingen, ...) beschrijven. Deze stap is essentieel om te vermijden dat het effect van andere variabelen gemaskeerd wordt of dat ten onrechte verbanden gevonden worden met factoren die toevallig gecorreleerd zijn met globale patronen in de dataset.

Deze basismodellen vormen dan het uitgangspunt om een model te bouwen die omgevingsvariabelen koppelt aan de aanwezigheid en de talrijkheid van de soorten (output 2). Hierbij zullen we ook stap voor stap nieuwe variabelen invoeren in functie van de beschikbaarheid en de kwaliteit.

Uit deze modelbouw zullen ook eventuele lacunes duidelijk worden en de bedoeling is op basis hiervan concrete aanbevelingen te geven naar de toekomst (output 3).

In het kader van de studie werd ook het mogelijke belang van het breuksteenhabitat voor watervogels nader onderzocht door de benthos en wiergemeenschap op en tussen breukstenen te onderzoeken (output 4). Dit habitatonderzoek moet het mogelijk maken om het gebruik van habitatmodellen in de Zeeschelde verder te onderbouwen.

3 Werkwijze

Het project is een samenwerking tussen onderzoeksgroep Ecosysteemdiversiteit en het team Biometrie, Methodologie en Kwaliteitszorg (BMK). Voor elke tussenstap zal het team 'BMK' (Thierry Onckelinx, Dirk Bauwens, Paul Quataert) de gegevens analyseren en vervolgens bespreken in overleg met het team 'Ecosysteemdiversiteit' (Gunther Van Ryckegem, Erika Van den Bergh) die instaat voor een correcte ecologische interpretatie. Het team 'Ecosysteemdiversiteit' staat ook in voor de aanlevering van de gegevens.

Het breuksteenhabitat werd onder de loep genomen door het team 'Ecosysteemdiversiteit'

II Verkennende analyses van de watervogeldatabank

1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de verkennende analyses van de watervogeldatabank. Voor we starten met het uitgebreid modelleren is het wenselijk om eerst inzicht te krijgen in de globale patronen die we in de gegevens kunnen verwachten. Eerst beschrijven we de basisanalyses en de globale patronen die we beschouwen. Dat zal de lezer toelaten om zelf de resultaten van de basisanalyses (grafieken en tabellen) te interpreteren. Dan volgt een gedetailleerde bespreking van de basisanalyse voor een beperkt aantal soorten. Voor de resultaten van de overige soorten verwijzen we naar de bijlage A. Deze bijlage zal echter beperkt blijven tot de relevante tabellen en grafieken. Hierdoor vermijden we langdradige, sterk gelijkende besprekingen.

2 Materiaal en methoden

A Gegevens in watervogeldatabank

A.1 Inzamelen van de gegevens

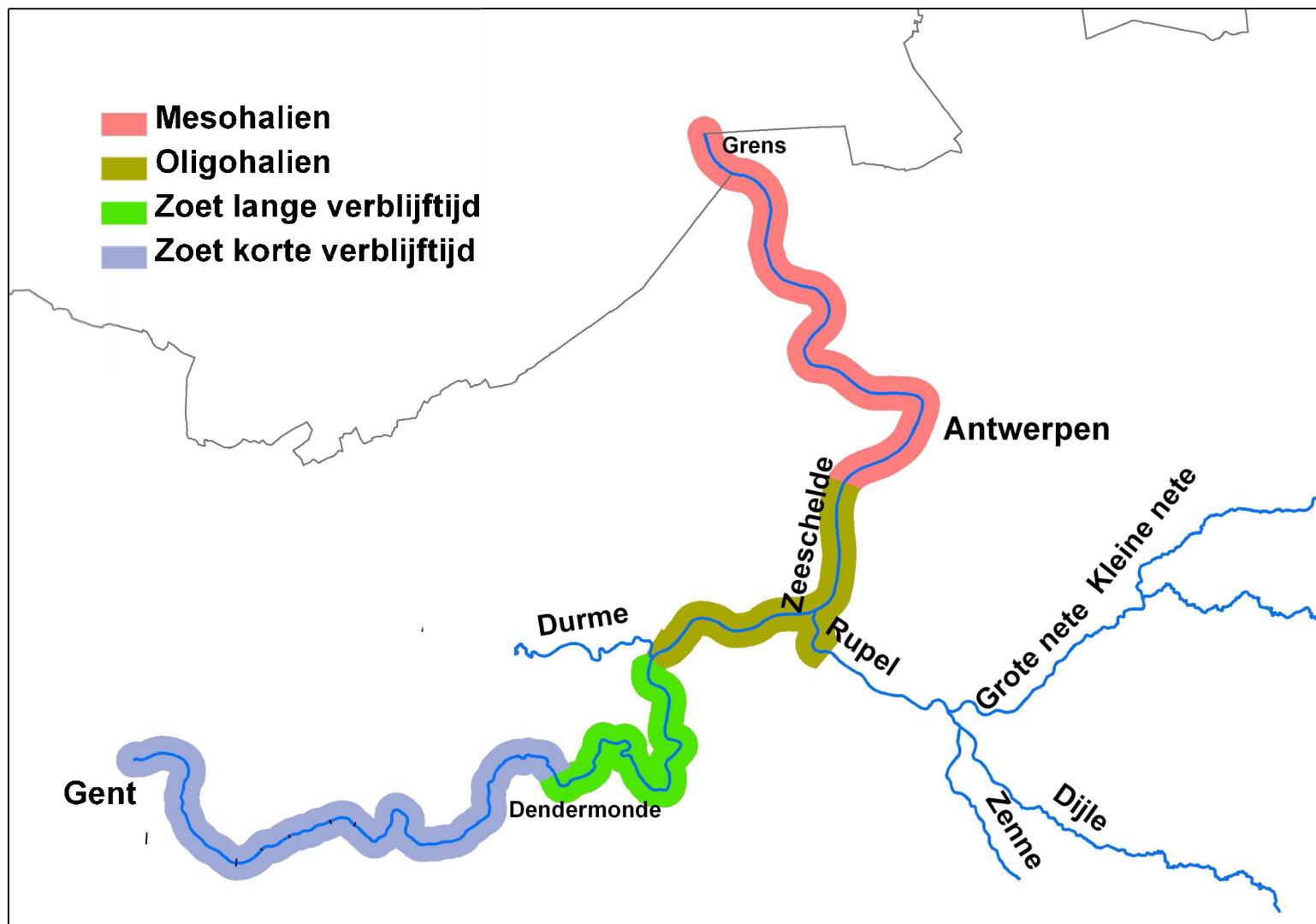
Sinds oktober 1991 tellen medewerkers van het INBO maandelijks het aantal watervogels langs de Zeeschelde vanaf de Belgisch-Nederlandse grens tot Gent. Oorspronkelijk werd enkel de winter (oktober – maart) geteld, vanaf 1993 wordt ook de zomer meegeteld. Vanaf de winter van 1995/1996 wordt ook een deel van de Rupel meegeteld (Rupelmonding – sas van Wintam). De tellingen gebeuren vanaf een boot en bij laag tij. Omdat het niet haalbaar is om het volledige onderzoeksgebied grondig te tellen tijdens de periode van laag tij, worden de telling gespreid over drie dagen. De dagen worden steeds gegroepeerd in het midden van de maand.

Bij de tellingen worden het studiegebied ingedeeld in trajecten. Dat zijn vaste, gemarkeerde secties van de Zeeschelde (voor een beschrijving van de trajecten zie Van Ryckegem et al., 2006). De tellingen van de aantallen aanwezige vogels gebeurt per traject. De indeling van trajecten over de

drie teldagen ligt vast. Dag één zijn de trajecten tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Antwerpen, dag twee is tussen Antwerpen en Dendermonde en dag drie is tussen Dendermonde en Gent. Alle watervogelsoorten worden geteld sinds het begin van de tellingen, de meeuwen worden geteld sinds oktober 1999.

De verkennende analyse beschouwt de watervogeldata van oktober 1991 tot en met juni 2007.

In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de beschikbare data en wordt de exploratieve data-analyse beschreven.



Figuur II-1. Ecozones Schelde-estuarium.

A.2 Manipulatie van de gegevens

In de databank vinden we voor elke maandelijkse telling per soort en per traject het waargenomen aantal dieren. Wanneer een soort tijdens een telling in een traject niet werd waargenomen, dan werd dat niet aan de databank toegevoegd. Deze nulwaarnemingen werden voor de analyses aan de gegevens toegevoegd.

Aan de databank werden drie variabelen toegevoegd: Aanwezig, Ecozone en Aslengte.

De variabele "Aanwezig" hebben we afgeleid van het aantal waargenomen dieren. Indien er minstens een dier werd waargenomen, krijgt Aanwezig de waarde 1. Als er geen dieren werden waargenomen is de waarde 0.

"Ecozone" geeft een indeling van de Zeeschelde in vier deelgebieden op basis van het zoutgehalte en de getij-gebonden verblijftijd van het water (Van Damme et al., 2001) (Figuur II-1). De deelgebieden zijn, in stroomopwaartse volgorde: mesohalien, oligohalien, zoet met lange verblijftijd en zoet met korte verblijftijd. We koppelden deze ecozone aan het traject. We hebben ons hiervoor gebaseerd op GIS-lagen met de ligging van teltrajecten en van transecten. Deze laatste bevat transecten die om de 50 m en loodrecht op de aslijn van de Schelde staan. Aan deze transecten is de ecozone als attribuutwaarde gekoppeld. Omdat de grenzen van de trajecten niet perfect samenvallen met de indeling volgens ecozone, kenden we het traject toe aan de ecozone met het grootste aantal transecten in het traject in kwestie.

Aslengte is zoals de naam het reeds doet vermoeden gebaseerd op de aslengte van de Schelde in een traject. We stelden echter vast dat sommige trajecten enkel één van beide oevers bevat, andere bevatten beide oevers. Om dit in rekening te brengen hebben we de gemiddelde aslengte langs beide oevers gebruikt. Een traject met slechts één oever zal dus de helft van de aslengte hebben van eenzelfde traject dat beide oevers bevat. Aslengte is nogal asymmetrisch verdeeld zodat we de $\log_{10}(x)$ -transformatie toegepast hebben. De lengte van de trajecten varieert aanzienlijk, waardoor *ceteris paribus* (i.e., de overige omstandigheden gelijkblijvend) de kans op aanwezigheid en het aantal vogels toenemen met de lengte van het traject. Daarom hebben we

voor alle analyses Aslengte als wegingsfactor gebruikt, zodat de waarden voor langere trajecten zwaarder doorwegen bij de gegevensverwerking.

Het merendeel van de watervogels zijn trekvogels die langs de Zeeschelde overwinteren. Voor de analyse op jaarbasis hebben we daarom niet het kalenderjaar gebruikt maar een "analysejaar" dat start op 1 juli van het voorgaande jaar en loopt tot en met 30 juni van het huidige jaar. Analysejaar 1994 loopt dus van 1 juli 1993 t.e.m. 30 juni 1994. Verder hebben we onze analyses beperkt tot de analysejaren waarvoor we van elke maand waarnemingen hebben. Voor de meeste soorten betekent dit vanaf 1 juli 1993, voor meeuwen vanaf 1 juli 2000.

Bij de analyse op maandbasis hebben we de variabele Tijd uitgedrukt als een decimaal cijfer met jaar als eenheid. De informatie van de maand hebben we toegevoegd door van het nummer van de maand de waarde één af te trekken, dit te delen door twaalf en het bekomen getal op te tellen bij het jaartal. Neem als voorbeeld juni 1999. Juni is de zesde maand, dus krijgen we $(6-1)/12 + 1999 = 1999.417$. We kunnen dit kort samenvatten tot $X.0 = \text{januari}$, $X.25 = \text{april}$, $X.5 = \text{juli}$ en $X.75 = \text{oktober}$ telkens in het jaar X .

Daarnaast hebben we nog twee bijkomende variabelen SinTijd en CosTijd gedefinieerd om de seizoenaliteit te modelleren. Deze variabelen zijn niets anders dan $\sin(2\pi\text{Tijd})$ en $\cos(2\pi\text{Tijd})$. Beide variabelen beschrijven dan een cyclische beweging met een periode van een jaar. Door een lineaire combinatie van deze termen op te nemen in een model, krijgen we een sinusoidale beweging waarvan zowel de amplitude als de tijdstippen waarop de pieken en dalen plaatsvinden, geschat worden op basis van de data.

B Beschrijving van de globale patronen

De basisanalyses gaan na of bepaalde globale patronen aanwezig zijn in de gegevens. Voor we dieper in gaan op de analyses zelf, zullen we eerst deze globale patronen toelichten. We beschouwen drie hoofdeffecten: verschillen tussen ecozones, lange termijn trends en seizoenaliteit. De basisanalyses zullen een combinatie van deze hoofdeffecten en hun interacties toelaten.

B.1 Verschil tussen de ecozones (Ecozone)

Wanneer we dit patroon in het model plaatsen, laten we toe dat elke ecozone een ander gemiddelde kan hebben.

B.2 Lange termijn trend (Tijd)

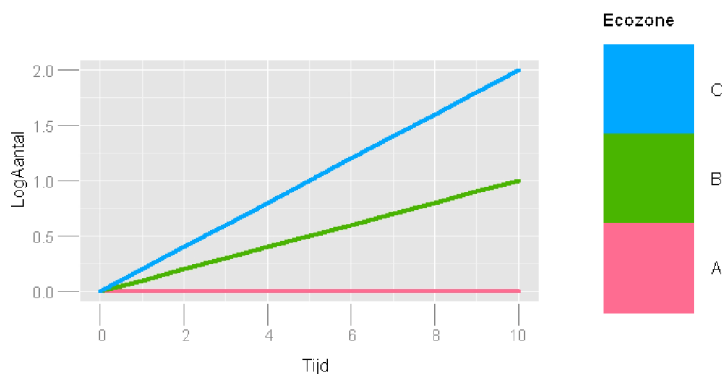
Het patroon Tijd moeten we interpreteren als een trend die we zien optreden over de volledige lengte van de tijdreeks. Hierbij hebben we ons beperkt tot een lineaire trend.

Het patroon impliceert een trend die in alle ecozones even sterk is. Om de interpretatie van de resultaten te vereenvoudigen hebben we de modellen teruggetransformeerd naar de oorspronkelijk schaal. Hierdoor wordt een lineaire trend in de log-schaal omgezet naar een exponentiële trend in de originele schaal .

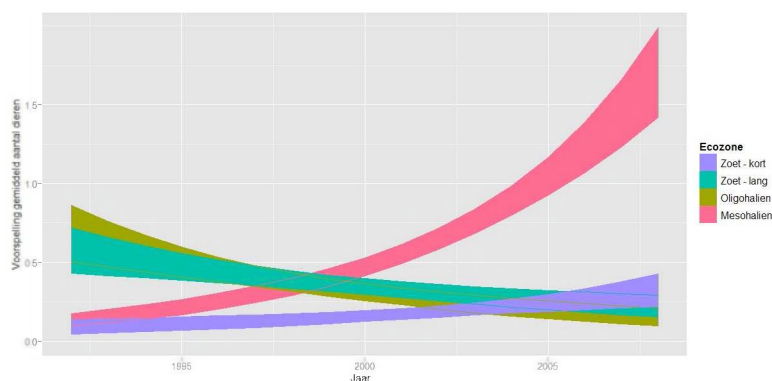
B.3 Verschillende lange termijn trends per ecozone (Ecozone:Tijd)

Dit patroon geeft het zogenaamde interactie-effect tussen Ecozone en Tijd weer. Dat laat toe dat elke ecozone een andere lange termijn trend heeft, wat zich uit in verschillen in de richtingscoëfficiënten tussen de rechten (Figuur II-2). Figuur II-3 geeft hiervan een realistisch voorbeeld. De interactie Ecozone:Tijd geeft aan dat de aantallen over de jaren heen stijgen in mesohalien en zoet – kort en dalen in oligohalien en zoet – lang.

In de praktijk zullen we dat patroon steeds samen met zijn hoofdeffecten (Ecozone en Tijd) gebruiken. Als we enkel de interactie in het model steken, dan dwingen we het model om de aantallen voor alle ecozones in het referentiejaar op een zelfde waarde te stellen (het intercept). Dit is vanuit een ecologisch standpunt niet realistisch. Bovendien is de interpretatie van de modelparameters eenvoudiger wanneer de hoofdeffecten in het model zitten. De parameter voor Ecozone geeft aan hoe de gemiddelden verschillen tussen de ecozones, ongeacht het jaartal. De parameter voor Tijd geeft de globale lange termijn trend weer over de Ecozones heen. De parameters voor Ecozone:Tijd geven dan weer hoe de trend in een specifieke ecozone afwijkt van de globale lange termijn trend.



Figuur II-2. Typevoorbeeld Ecozone:Tijd



Figuur II-3. Voorspelde gemiddelde aantallen per traject en per analysejaar van Oeverloper.

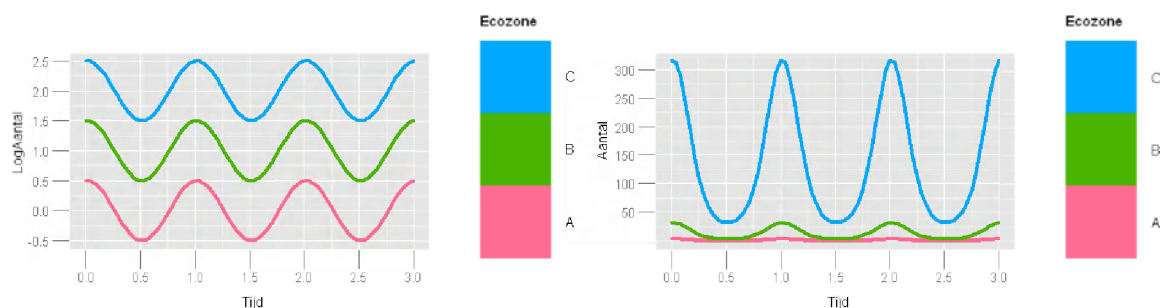
B.4 Seizoenaliteit (Seizoen)

Met seizoenaliteit bedoelen we jaarlijkse weerkerende schommelingen. Bij de watervogels verwachten dit vooral door trekgedrag. Klassiek gebruikt men een sinusfunctie $r \sin(2\pi t/p + \alpha)$ om dit te modelleren. Hierbij is t de tijd en p de duur van periode van een sinusgolf. In ons geval is t de variabele Tijd, met elke maand uitgedrukt als een decimale fractie met jaar als eenheid. Als periode van de sinusgolf kiezen we een jaar ($p=1$). Op die manier is de tijd tussen twee opeenvolgende pieken of dalen exact een jaar. Dat vereenvoudigt de formule tot $r \sin(2\pi t + \alpha)$. In deze formule is r de amplitude van de schommelingen. α is de faseverschuiving, hetgeen we kunnen interpreteren als het moment waarop de golfbeweging start tijdens het jaar. In deze vorm is de formule echter niet lineair in α , waardoor we de gewone regressietechnieken niet kunnen gebruiken. We kunnen deze formule schrijven als de som van een sinus en een cosinus:

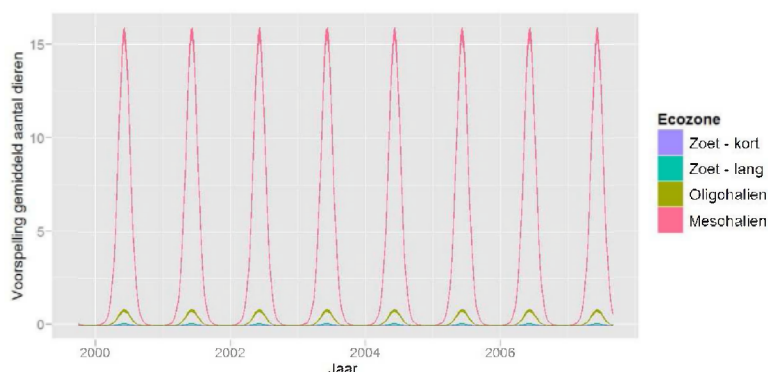
$r \sin(2\pi t + \alpha) = a_1 \sin(2\pi t) + a_2 \cos(2\pi t)$. Hierbij is $r = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$ en $\alpha = \arctan \frac{a_1}{a_2}$. Deze

formule is wel lineair in a_1 en a_2 .

We hebben daarom aan de dataset twee variabelen toegevoegd: $\text{SinTijd} = \sin(2\pi t)$ en $\text{CosTijd} = \cos(2\pi t)$. Door deze variabelen paarsgewijs aan het model toe te voegen, kunnen we de seizoensaliteit modelleren. Het gecombineerde effect van beide variabelen, die we bij het bespreken van de resultaten als een ondeelbaar paar moeten beschouwen, zullen we aanduiden als "Seizoen". Het typevoorbeeld in Figuur II-4 geeft het gecombineerde effect van Ecozone en Seizoen weer. We zien dat elke ecozone een ander gemiddelde heeft (= effect van Ecozone). Zowel de amplitude als de faseverschuiving van schommelingen zijn in alle ecozones gelijk (= effect van Seizoen). Omdat we aantallen in de log-schaal modelleren, zullen we het eindresultaat terugtransformeren. Dat heeft geen invloed op de faseverschuiving, maar de amplitudes van de schommelingen worden er echter wel door vervormd. Zo lijkt het alsof de amplitudes in de originele schaal wel verschillen tussen de ecozones. Figuur II-5 illustreert dit duidelijk.



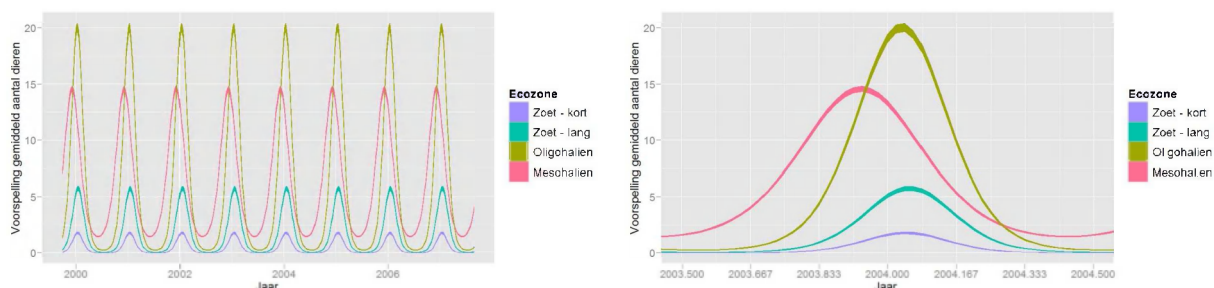
Figuur II-4. Typevoorbeeld Ecozone + Seizoen in de log-schaal (links) en in de originele schaal (rechts).



Figuur II-5. Voorspelde gemiddelde aantallen per traject en per maand van Visdief.

B.5 Verschillende seizoenaliteit per ecozone (Ecozone:Seizoen)

De interpretatie van de interactie tussen Ecozone en Seizoen is dat zowel de amplitude als de faseverschuiving kunnen verschillen tussen ecozones. Een verschil in amplitude betekent dat de grootte van de schommeling varieert tussen de ecozones. Een verschillende faseverschuiving betekent dat het moment waarop de populatie zijn piek of dal bereikt, verschilt tussen de ecozones. In Figuur II-6 wordt deze interactieterm geïllustreerd voor de Stormmeeuw.



Figuur II-6. Voorspelde gemiddelde aantallen per traject en per maand van Stormmeeuw.

B.6 Veranderende seizoenaliteit over een lange termijn (Tijd:Seizoen)

De interpretatie van de interactie tussen Tijd en Seizoen is conceptueel iets ingewikkelder. Het basisprincipe blijft hetzelfde: net zoals bij de vorige interactie zal de amplitude en de faseverschuiving wijzigen naargelang de waarde van het andere effect in de interactie. Bij de interactie met Ecozone was dat vrij eenvoudig omdat het ging over drie vaste waarden (4 ecozones waarvan we mesohalien als referentie gebruiken). Nu gaat het echter om Tijd, een continue

variabele. Dat impliceert dat de amplitude in de tijd geleidelijk zal toe- of afnemen. De schommeling tussen de seizoenen zullen groter of kleiner worden in de tijd. Ook de faseverschuiving kan geleidelijk wijzigen in de tijd. De betekenis hiervan is dat de pieken en dalen geleidelijk zullen opschuiven in de tijd. Zo is het mogelijk dat de piek bijvoorbeeld elk jaar een maand vroeger komt. Dat heeft twee belangrijke implicaties. De eerste is dat de data suggereren dat de periode van de seizoenale schommelingen niet exact een jaar is. Als de pieken vroeger komen, is de periode korter dan een jaar. De tweede implicatie is dat wanneer de tijdreeks lang genoeg is, de pieken opnieuw op een zelfde moment in het jaar vallen. Stel dat in 1995 de piek in juli valt en dat de piek elk jaar een maand vroeger valt. De volgende piek is dan in juni 1996. In 2001 valt de piek reeds in januari. In 2007, twaalf jaar na 1995, valt de piek opnieuw in juli.

C Beschrijving van de basisanalyses

We kunnen de basisanalyses in twee groepen opdelen: enerzijds de analyse van de aan- of afwezigheid en anderzijds de analyse van het aantal waargenomen dieren. Voor beide groepen voeren we de analyse uit op basis van gemiddelde cijfers per analysejaar en per winter en op basis van de gegevens per maand. Op die manier krijgen we zicht op zowel de veranderingen over de jaren heen (lange termijn) als op de fluctuaties binnen jaren (seizoenaliteit) in combinatie met de lange termijn veranderingen.

C.1 Gemiddelde kans op aanwezigheid per analysejaar

Deze analyse gaat na in hoeverre de gemiddelde kans op aanwezigheid van een gegeven vogelsoort in een traject verschilt tussen de ecozones en tussen jaren. De gemiddelde kans op aanwezigheid in een traject en per analysejaar is het aantal maandelijks tellingen waarbij de soort in dat traject en analysejaar werd waargenomen, gedeeld door het aantal maandelijks tellingen in dat traject en analysejaar.

We gaan na in hoeverre drie verschillende patronen voorkomen in de data. Het eerste patroon is het verschil tussen de ecozones. Dat patroon is aanwezig wanneer we statistisch kunnen aantonen dat de gemiddelde kans op aanwezigheid in minstens een ecozone afwijkt van de gemiddelde kans op aanwezigheid in de andere ecozones. Het tweede patroon is een globale lineaire wijziging over de jaren heen van de gemiddelde kans op aanwezigheid. Aangezien het een globale trend is, doet deze zich in alle ecozones gelijktijdig en even sterk voor. Het derde patroon is de interactie tussen

ecozone en tijd. Een dergelijke interactie impliceert dat minstens een ecozone een lange termijntrend heeft die afwijkt van de globale lange termijntrend.

Omdat we kansen willen modelleren, gebruiken we een logistische regressie i.p.v. de klassieke lineaire regressie.

C.2 Gemiddeld aantal dieren per analysejaar

Deze analyse is volledig gelijkaardig aan de vorige, met als verschil dat we nu het aantal dieren per traject en per maand, uitgemiddeld over een analysejaar, modelleren. We berekenen hiervoor het rekenkundig gemiddelde van het aantal dieren per telling in een bepaald traject en een bepaald analysejaar. Indien een soort niet werd waargenomen tijdens een telling dan veronderstellen we dat het aantal dieren nul was. Maanden zonder telling werden niet in rekening gebracht.

De patronen die we bekijken zijn dezelfde als in de vorige analyse. Daarom zullen we hun beschrijving niet herhalen. We gebruiken ditmaal een Poisson regressie omdat deze techniek het meest geschikt is om aantallen te modelleren. Deze techniek beschouwt de aantallen in de log-schaal.

C.3 Gemiddelde kans op aanwezigheid per winter

Deze analyse is opnieuw een variatie van de eerste analyse. Het enige verschil zit hem ditmaal in de gegevens die we gebruiken. In plaats van de gegevens uit een volledig analysejaar te gebruiken, beperken we ons tot de gegevens uit de wintermaanden (oktober – maart). De patronen die we bij deze analyse ontdekken zullen in de meeste gevallen sterk gelijken op de patronen van de analyse op basis van het volledige analysejaar. Wanneer we echter toch duidelijke verschillen zien dan impliceert dit dat de soort in kwestie tijdens de zomer anders reageert dan tijdens de winter.

C.4 Gemiddeld aantal dieren per winter

Ook deze analyse is een variatie op het thema. Het enige verschil met de analyse voor het aantal dieren per analysejaar is dat we nu enkel de gegevens uit de wintermaanden (oktober – maart) in rekening brengen.

C.5 Gemiddelde kans op aanwezigheid per maand

Een groot verschil met de vorige analyses is dat we de gegevens nu niet langer aggregeren per winter of per analysejaar. Voor elk geteld traject in een bepaalde maand krijgen we nu slechts twee mogelijke waarden: 1 als de soort aanwezig was en 0 als ze niet aanwezig was. Per ecozone en per maand krijgen we dan het percentage trajecten waarin de soort aanwezig was. Niet-getelde trajecten laten we buiten beschouwing.

De patronen die we in de vorige analyse bekeken (ecozone, tijd en hun interactie), bekijken we ook in deze analyse. Hun interpretatie is gelijkaardig. Nieuw aan deze analyse is de hogere temporele resolutie van de gegevens. We hebben per jaar immers 12 cijfers i.p.v. één. Dit laat ons toe om ook de seizoenale variabiliteit te modelleren. Behalve het hoofdeffect Seizoen ($\text{SinTijd} + \text{CosTijd}$) kunnen we ook de interacties met Ecozone ($\text{Ecozone:SinTijd} + \text{Ecozone:CosTijd}$) en Tijd (Tijd:SinTijd en Tijd:CosTijd) beschouwen.

C.6 Gemiddeld aantal dieren per maand

De laatste analyse die we uitvoeren is een analyse van de aantallen per maand. Het enige verschil met de voorgaande analyse is dat we nu het aantal dieren modelleren met een Poisson regressie, i.p.v. met een logistische regressie.

3 Resultaten

A Bergeend

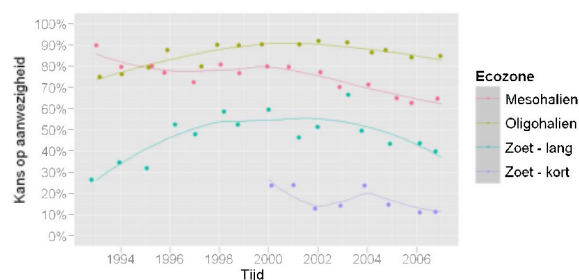
A.1 Gemiddelde kans op aanwezigheid per analysejaar

De gemiddelden per ecozone en per analysejaar geven aan dat er duidelijke verschillen zijn tussen de ecozones (Figuur II-7). De kans op aanwezigheid stroomafwaarts is duidelijk hoger dan in de twee zoete ecozones. Verder zien we dat de kans op aanwezigheid wijzigt in de tijd. In het mesohalien zien we een beperkte lineaire daling. In de overige ecozones zien we eerder een niet-lineaire trend, met een lagere kans tijdens de eerste en laatste teljaren en een hogere kans tijdens de periode 1998-2005. Dat laatste kan betekenen dat een lineaire relatie niet de meest geschikte is om deze gegevens te modelleren. Voor de eenvoud en de vergelijkbaarheid tussen de soorten, beschouwen we in de basisanalyse echter enkel lineaire trends. Tijdens de eigenlijke modelbouw zullen we uiteraard wel rekening houden met dergelijke imperfecties in het model.

We gaan vervolgens na welke patronen het basismodel als belangrijk weerhoudt. Tabel II-1 geeft de geselecteerde variabelen weer. De kolom Verklaard geeft het percentage van de totale variantie weer dat door de variabele in kwestie verklaard wordt. Ecozone verklaart de helft van de variabiliteit van de gemiddelde kans op aanwezigheid. Dit is een bevestiging van onze vermoedens op basis van Figuur II-7. In Figuur II-8 geven we de 95% betrouwbaarheidsintervallen weer van de door het model voorspelde gemiddelde kans op aanwezigheid. We zien in deze figuur opnieuw de duidelijke verschillen tussen de ecozones naar voor komen. Zo is de gemiddelde kans op aanwezigheid in de brakke zones duidelijk hoger dan in de zoete zones.

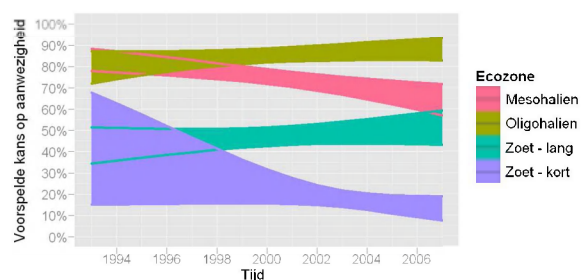
Tabel II-1. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een analysejaar van Bergeend met de effecten van ecozone, tijd en hun interactie. Het model verklaart 50% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			815	1375		
Ecozone	3	673.77	812	701	0.0000	49.0%
Tijd	1	0.45	811	701	0.5026	0.0%
Ecozone:Tijd	3	15.71	808	685	0.0013	1.1%



Figuur II-7. Bergeend: de gemiddelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende analysejaren.

Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-8. Bergeend: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende analysejaren.

Verder weerhoudt het model de interactie tussen Ecozone en Tijd als een significante term, ook al verklaart die slechts een beperkt deel (1.1%) van de variantie (Tabel I-1). Een dergelijke interactie betekent dat de tijdstrend in minstens een ecozone afwijkt van die in de andere ecozones. De gemiddelde kans op aanwezigheid bleef over de jaren heen min of meer constant in drie ecozones, terwijl ze licht afnam in het mesohalies. Op 16 jaar tijd daalde hier de gemiddelde kans op aanwezigheid met ongeveer 20% (Figuur I-14 en Figuur II-8).

Het model detecteerde geen significante globale lange termijntrend (Tabel II-1). Wanneer we naar de ruwe data kijken zonder rekening te houden met de verschillen tussen de ecozones, zien we geen globale lineaire wijziging in de gemiddelde kans op aanwezigheid. Daarom zouden we deze variabele uit het model kunnen halen. We kunnen dit echter niet doen omdat de interactie tussen Ecozone en Tijd wel in het model zit. Een model met een interactieterm zonder de bijhorende hoofdeffecten is moeilijk te interpreteren.

Besluit:

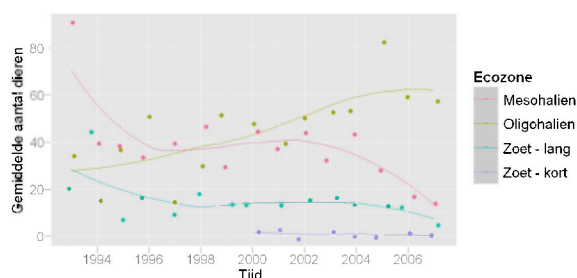
De gemiddelde kans op aanwezigheid van Bergeend per analysejaar verschilt in belangrijke mate tussen de ecozones. Wanneer we de volledige Zeeschelde beschouwen zien we geen globale (lineaire) wijziging met de tijd. Op niveau van de ecozones zien we echter wel dat de dalende trend in het mesohalies afwijkt van de trends in de andere ecozones.

A.2 Gemiddeld aantal dieren per analysejaar

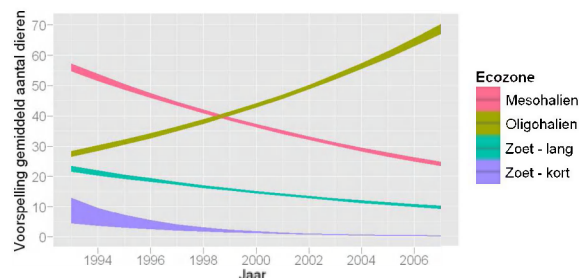
Figuur II-9 geeft een overzicht van de basisgegevens. De gemiddelde aantallen verschillen duidelijk tussen de ecozones. In het oligohalien en het mesohalien telden we gemiddeld een 40-tal dieren per traject en per maand, in zoet – lang was dit een 15-tal en in zoet – kort slechts 1 à 2. In deze laatste ecozone lijken de aantallen min of meer stabiel te blijven over de jaren heen. In het mesohalien en zoet – lang was er een afname en in het oligohalien een toename van het aantal Bergeenden gedurende de studieperiode.

Tabel II-2 geeft een overzicht van het model. We zien opnieuw Ecozone als een belangrijke variabele naar voor komen, die ongeveer een derde van de totale variantie verklaart. De voorspelde aantallen in de verschillende ecozones liggen bijgevolg behoorlijk uit elkaar (Figuur II-10).

Het model weerhoudt de globale lineaire lange termijntrend (Tijd) als een significante variabele, ook al verklaart deze slechts 0.1% van de totale variantie. We kunnen dus stellen dat er geen erg duidelijke lange termijntrend is die zich langs de volledige Zeeschelde voordoet.



Figuur II-9. Bergeend: het gemiddeld aantal dieren per maand en per traject in de verschillende analysejaren. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-10. Bergeend: 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde aantal dieren per traject en per maand in de verschillende analysejaren.

De interactie tussen Ecozone en Tijd verklaart 3% van de totale variantie. We zien bijgevolg duidelijke verschillen in de lange termijntrend tussen de ecozones. Enkel in het oligohalien blijken de aantallen te stijgen. De aantallen zijn er iets meer dan verdubbeld over een periode van 16 jaar. In de overige ecozones zijn de aantallen tijdens dezelfde zowat gehalveerd.

Tabel II-2. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per analysejaar van Bergeend met de effecten van ecozone, jaar en hun interactie. Het model verklaart 38% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			815	102136		
Ecozone	3	35614.01	812	66522	0.0000	34.9%
Tijd	1	145.56	811	66377	0.0000	0.1%
Ecozone:Tijd	3	3086.55	808	63290	0.0000	3.0%

Besluit:

Het gemiddelde aantal Bergeenden per analysejaar varieert in belangrijke mate tussen de ecozones. Wanneer we de volledige Zeeschelde beschouwen zien we geen (lineaire) wijzigingen in de tijd. Doch op niveau van de ecozones zien we dat de stijgende trend in het oligohalien duidelijk afwijkt van de dalende trends in de andere ecozones.

A.3 Gemiddelde kans op aanwezigheid per winter

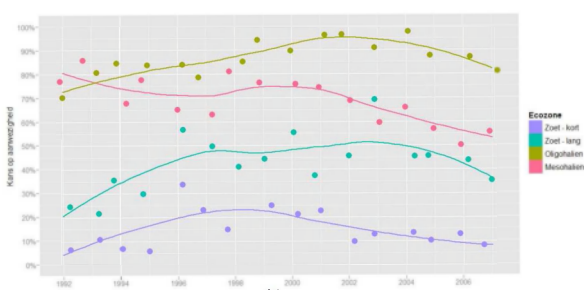
Het overzicht van de basisgegevens per winter (Figuur II-11) lijkt sterk op het overzicht per analysejaar (Figuur II-7). We kunnen dus vermoeden dat dezelfde patronen een belangrijk rol zullen spelen. Ons vermoeden wordt bevestigd wanneer we Tabel II-3 met Tabel II-1 vergelijken. De drie patronen verklaren in beide gevallen een gelijkaardig aandeel van de totale variantie. Het mag dan ook niet verwonderen dat Figuur II-12 en Figuur II-8 vrij sterk op elkaar gelijken. Als verschillen kunnen we aanhalen dat de daling in het mesohalien nu 25% (i.p.v. 20%) bedraagt. In het oligohalien en zoet – lang zien we nu iets forsere stijgingen: resp. 15% i.p.v. 5% en 15% i.p.v. 10%. De kans op aanwezigheid blijft in zoet – kort eerder constant.

Tabel II-3. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een winter van Bergeend met de effecten van ecozone, jaar en hun interactie. Het model verklaart 47% van de variantie.

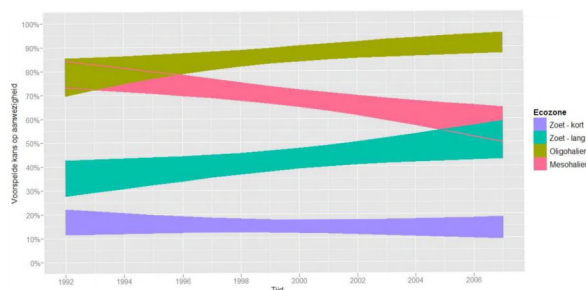
	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			767	1793		
Ecozone	3	808.58	764	985	0.0000	45.1%
Tijd	1	0.03	763	985	0.8661	0%
Ecozone:Tijd	3	28.12	760	957	0.0000	1.6%

Besluit:

In het geval van Bergeend maakt het relatief weinig uit of we de gegevens aggregeren per analysejaar of per winter. Toevoeging van de zomerdata zorgt voor een beperkte afvlakking van de patronen in de data. In beide gevallen is ecozone de factor die het belangrijkste deel van de variantie verklaart. Verder is er geen lange termijntrend over de volledige Zeeschelde. Binnen een ecozone zien we echter wel lange termijntrends: dalend in mesohalien, stijgend in oligohalien en zoet – lang en min of meer constant in zoet – kort.



Figuur II-11. Bergeend: de gemiddelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende winters. Waargenomen waarden met smoother.



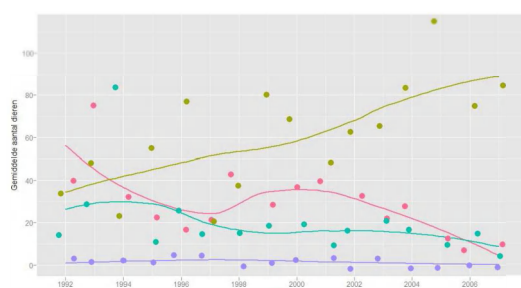
Figuur II-12. Bergeend: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende winters.

A.4 Gemiddeld aantal dieren per winter

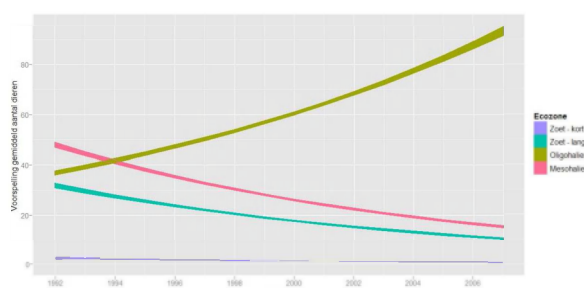
Zoals te verwachten lijken de patronen in Figuur II-13 sterk op deze van Figuur II-9. Een belangrijk verschil is evenwel de schaal van de assen. Zo zien we dat de aantallen in het oligohalien en zoet-lang beduidend hoger zijn wanneer we enkel de winter beschouwen. Dat is te verklaren door het hoge aantal overwinterende vogels in vergelijking met het aantal dieren dat tijdens de zomer aanwezig is. In het mesohalien zijn de aantallen lager wanneer we enkel de winter beschouwen, wat te verklaren is door de relatief hogere aantallen tijdens het broedseizoen en de zomer. In het zoet-kort is er geen wezenlijk verschil tussen de gemiddelde aantallen per traject per analysejaar en per winter.

De Anova-tabel van het model geeft aan dat de patronen tijdens de winter gelijkaardig zijn aan de patronen die we tijdens het volledige jaar zien (Tabel II-4 en Tabel II-2). Volgens Tabel II-4 zijn ecozone en de interactie tussen ecozone en tijd iets beter in staat om de variantie in de

wintergegevens te verklaren in vergelijking met de gegevens per analysejaar: ecozone 36% i.p.v. 35% en ecozone:tijd 4% i.p.v. 3%, volledig model 41% i.p.v. 38%. Bij vergelijking van de voorspelde aantallen (Figuur II-14 en Figuur II-10) zien we globaal eenzelfde patroon. Het belangrijkste verschil is de beduidend hogere aantallen in het oligohalien en de iets lagere aantallen in het mesohalien.



Figuur II-13. Bergeend: het gemiddeld aantal dieren per maand en per traject in de verschillende winters. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-14. Bergeend: 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde aantal dieren per traject en per maand in de verschillende winters.

Tabel II-4. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per winter van Bergeend met de effecten van ecozone, jaar en hun interactie. Het model verklaart 41% van de variantie.

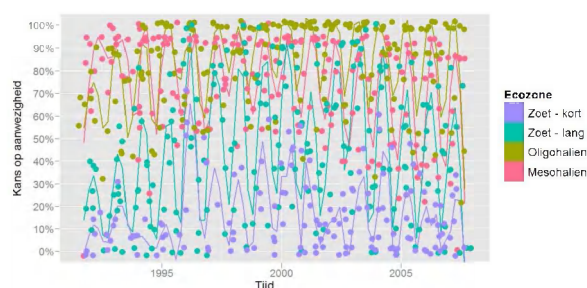
	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			767	134313		
Ecozone	3	48574.16	764	85739	0.0000	36.2%
Tijd	1	100.45	763	85638	0.0000	0.1%
Ecozone:Tijd	3	5793.81	760	79845	0.0000	4.3%

Besluit:

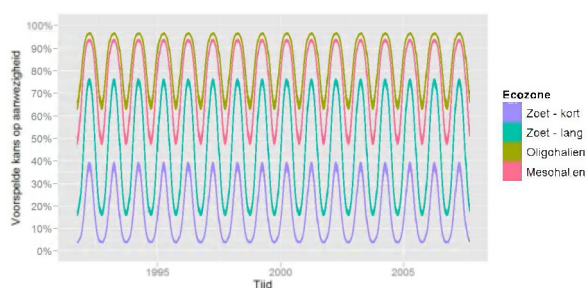
Globaal zien we dezelfde patronen opduiken wanneer we het aantal bergeenden per winter of per analysejaar bekijken. Het belangrijkste patroon is het verschil tussen de ecozones in het gemiddeld aantal dieren per traject. Daarnaast stellen we vast dat er geen globale lange termijntrend in de aantallen zit, doch wel een verschillende trend voor de afzonderlijke ecozones: stijgend in oligohalien en zoet – lang, stabiel in zoet – kort en dalend in mesohalien. De wintergemiddelden in het oligohalien zijn beduidend hoger dan de gemiddelden per analysejaar. In het mesohalien vinden we in de winter iets lagere gemiddelde aantallen dan tijdens het hele analysejaar.

A.5 Gemiddelde kans op aanwezigheid per maand

Figuur II-15 geeft een overzicht van de gegevens. We hebben de smoothers aangepast zodat ze schommelingen met een periode van een jaar kunnen weergeven. Indien deze patronen niet aanwezig zijn, of een langere periode hebben, dan zullen we dit aan de smoothers merken. In het geval van Bergeend zien we duidelijk seizoensgebonden schommelingen naar voor komen. Daarnaast zien we dat elke ecozone een ander gemiddeld niveau (het midden van de schommelingen) heeft. Dat geeft aan dat we een effect van Ecozone kunnen verwachten.



Figuur II-15. Bergeend: de gemiddelde kans op aanwezigheid per traject in de verschillende maanden. Waargenomen waarden met smoother.



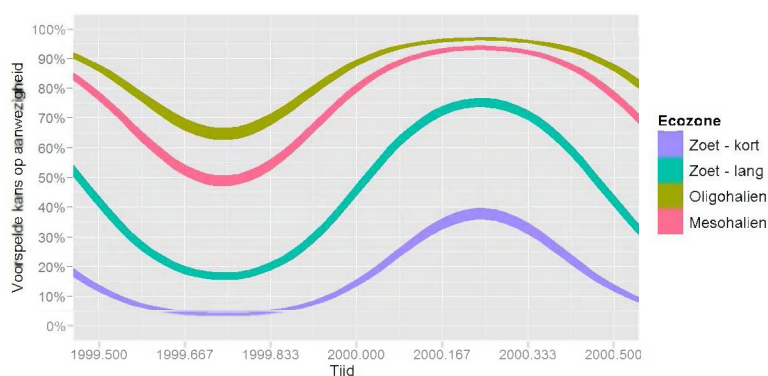
Figuur II-16. Bergeend: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per traject in de verschillende maanden.

Het geselecteerde model (Tabel II-5) bevat enkel de patronen Ecozone en Seizoen. We zien dat de kans op aanwezigheid stevast het grootste is in het oligohalien (Figuur II-16). In het mesohalien is deze kans slechts iets lager. In het zoet – lang en zoet – kort is de kans om Bergeend aan te treffen veel kleiner. De seizoenale schommelingen zijn binnen elke ecozone even groot. Figuur II-17 geeft de voorspelde gemiddelde kans op aanwezigheid voor een jaar in het midden van de tijdreeks. Dit geeft ons een beter beeld van het ogenblik waarop de pieken en dalen vallen. We hebben in alle ecozones de hoogste kans op aanwezigheid van Bergeend rond half april¹. Het dal valt exact zes maanden eerder, dus in oktober.

¹2000 komt overeen met half januari, 2000.500 is half juli 2000.

Tabel II-5. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid van Bergeend met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 32% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8142	36899		
Ecozone	3	8085.23	8139	28813	0.0000	21.9%
Seizoen	2	3666.86	8137	25146	0.0000	9.9%



Figuur II-17. 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid van Bergeend per traject en per maand (detail).

Wanneer we deze analyse vergelijken met de analyse per analysejaar zien we toch een aantal belangrijke verschillen. De analyse met gegevens op maandbasis laat een duidelijke seizoenaliteit zien, wat we uiteraard nooit kunnen aantonen met de analyse op jaarbasis. Verder is het opmerkelijk dat de analyse op maandbasis geen interactie tussen Ecozone en Tijd bevat terwijl die in de analyse op jaarbasis duidelijk aanwezig is. Deze interactie was hoofdzakelijk het gevolg van een dalende trend in het mesohalien (Figuur I-2). Als we naar de gegevens per maand kijken (Figuur II-15), krijgen we de indruk dat de pieken in het mesohalien eerder constant blijven, maar dat de kans op aanwezigheid in de dalen wel afneemt in de tijd. Blijkbaar weegt dit effect in de analyse op maandbasis onvoldoende door.

Besluit:

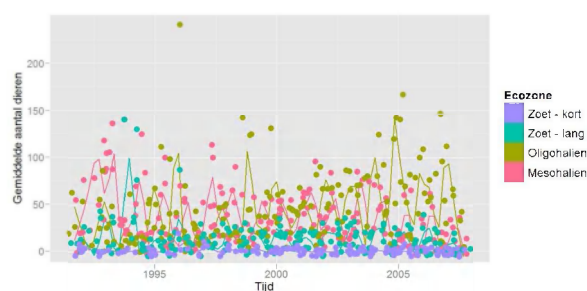
Wanneer we de gegevens op maandbasis beschouwen, zien we duidelijke verschillen tussen de ecozones naar voor komen. De kans op aanwezigheid is in de brakke zones steevast groter dan in de zoete zones. Deze verschillen zijn consistent met de verschillen die we vonden bij de analyse op jaarbasis. Verder zien we een duidelijke seizoenale schommeling met een piek in kans op

aanwezigheid in april en een dal in oktober. In tegenstelling tot de analyses op jaarbasis zijn er geen indicaties voor lange termijntrends, noch globaal, noch per ecozone.

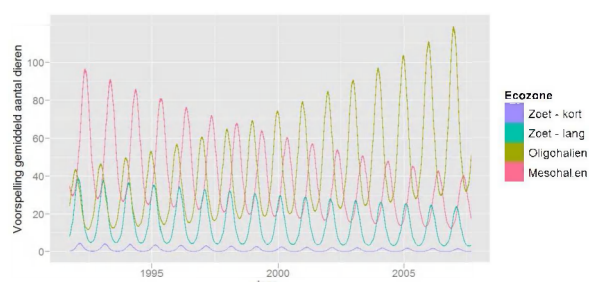
A.6 Gemiddeld aantal dieren per maand

We starten opnieuw met een overzicht van de gegevens (Figuur II-18). De smoothers geven opnieuw een aanwijzing dat we te maken hebben met seizoenale schommelingen. Verder stellen we vast dat de hoogste aantallen in het oligohalien in een ander seizoen vallen dan deze in het mesohalien. De ecozones vertonen eveneens verschil in de grootte van de schommelingen.

Het model voor het aantal dieren (Tabel II-6). is duidelijk complexer dan het model voor de kans op aanwezigheid (Tabel II-5). De belangrijkste component is nog steeds het verschil tussen de ecozones. De aantallen in meso- en oligohalien zijn gemiddeld hoger dan in de zoete zones (Figuur II-19).



Figuur II-18. Bergeend: het gemiddeld aantal dieren per traject in de verschillende maanden. Waargenomen waarden met smoother.

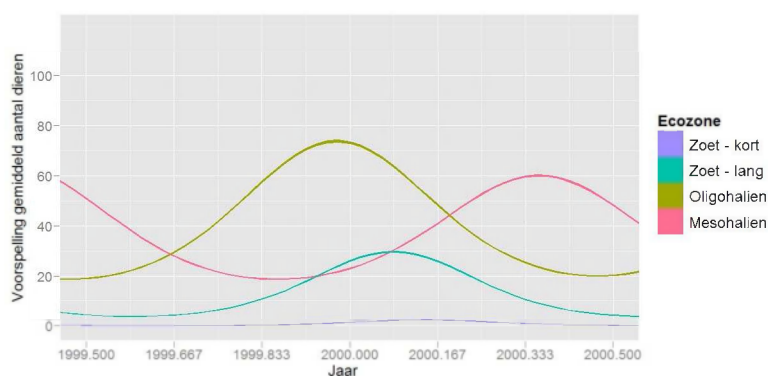


Figuur II-19. Bergeend: 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde aantal dieren per traject in de verschillende maanden.

Tabel II-6. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren van Bergeend met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 32% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8142	1922064		
Ecozone	3	427368.08	8139	1494696	0.0000	22.2%
Tijd	1	952.18	8138	1493744	0.0000	0%
Seizoen	2	29451.95	8136	1464292	0.0000	1.5%
Ecozone:Tijd	3	36012.34	8133	1428280	0.0000	1.9%
Ecozone:Seizoen	6	113311.76	8127	1314968	0.0000	5.9%

Het tweede belangrijkste patroon is de interactie tussen Ecozone en Seizoen. Hieruit kunnen we besluiten dat de grootte van de schommelingen verschilt naargelang de ecozone. In Figuur II-19 zien we duidelijk dat de aantallen in het oligohalien veel sterker schommelen dan in zoet – lang of zoet – kort. Deze interactie is eveneens verantwoordelijk voor het verschil tussen ecozones in de tijdstippen waarop de hoogste en laagste aantallen worden waargenomen (Figuur II-20). De hoogste aantallen zijn in december – januari (oligohalien), februari (zoet – lang), februari – maart (zoet – kort) en mei – juni (mesohalien). Bijgevolg zijn de laagste aantallen in juni – juli (oligohalien), augustus (zoet – lang), augustus – september (zoet – kort) en november – december (mesohalien).



Figuur II-20. 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde gemiddeld aantal Bergeenden per traject en per maand (detail).

Op nummer drie staat de interactie tussen Ecozone en Tijd. We zien in Figuur II-19 dat de aantallen in het oligohalien geleidelijk toenemen over de jaren heen, terwijl ze in het mesohalien afnemen. In zoet – lang en zoet – kort nemen de aantallen in beperkte mate af.

Seizoen heeft ook een effect dat een rol speelt langsheen de volledige Zeeschelde. Het effect hiervan is minder duidelijk in Figuur II-19 omdat het deels gemaskeerd wordt door de schommelingen per ecozone. Wanneer het model de interactie tussen ecozone en seizoen bevat, worden de schommelingen immers gemodelleerd als de som van de schommelingen die zich langsheen de volledige Zeeschelde voordoen en de schommelingen in de ecozone in kwestie.

Tenslotte stellen we vast dat Tijd enkel in het model zit omdat zijn interactie met Ecozone belangrijk is voor het model. De variabele Tijd op zich verklaart echter nauwelijks enige variantie, waaruit we opmaken dat er over de hele studieperiode geen globale log-lineaire trend is in de aantallen Bergeenden.

Wanneer we het model voor de gegevens op maandbasis vergelijken met het model met de gegevens op jaarbasis stellen we vast dat beide modellen ecozone en de interactie van ecozone met tijd als belangrijk componenten bevatten. Tijd is voor geen van beide modellen belangrijk. Het model met de maandelijkse gegevens bevat eveneens seizoen en zijn interactie met ecozone. Aangezien het andere model enkel gegevens op jaarbasis bevat, is het logisch dat we hiervoor de seizoenaliteit niet kunnen modelleren. Globaal kunnen we dus stellen dat beide modellen gelijkaardige resultaten opleveren.

Besluit:

Net zoals bij de analyse op jaarbasis verschilt het aantal Bergeenden in belangrijke mate tussen de ecozones. De aantallen in de brakke zones zijn beduidend hoger dan in de zoete zones. De interactie tussen ecozone en tijd geeft aan dat de lange termijntrend verschilt tussen de ecozones. Enkel in het oligohalien zien we de aantallen toenemen, terwijl ze in de overige ecozones afnemen. Een belangrijke toevoeging van de gegevens op maandbasis is dat we nu rekening kunnen houden met de seizoenaliteit, die duidelijk aanwezig is en bovendien verschilt tussen de ecozones. Waar de aantallen in het mesohalien een piek vertonen tijdens het late voorjaar, zien we dat ze in de andere ecozones pieken tijdens de winter. Daarnaast stellen we vast dat de grootte van de seizoenale schommelingen varieert tussen ecozones: vooral in de brakke zones zijn de schommelingen vrij groot door hoge aantallen overwinteraars en lage aantallen in de zomerperiode.

A.7 Samenvatting verkennende analyse Bergeend:

- Er is geen log-lineaire trend in de aanwezigheid of aantallen van de bergeend over de ecozones van de Zeeschelde gezien. Er is een dalende trend (lagere trefkans en lagere aantallen) over de modeleringsperiode heen in het mesohalien en de zoete zones. In de zoete zone weerspiegelt zich dit eerder in de lagere aantallen over de tijdsperiode heen. Er is een stijgende trend in trefkans en aantallen in het oligohalien.

- Seizoensale schommelingen (hoge aantallen in de winter, lage aantallen in de zomer) zijn groot voor de bergeend in het oligohalien, maar minder uitgesproken in het mesohalien. In het mesohalien manifesteert dit seizoenaal effect zich echter duidelijker de laatste jaren.
- De trend in het mesohalien is voornamelijk beïnvloed door lagere kans op treffen en lagere aantallen in de winter.

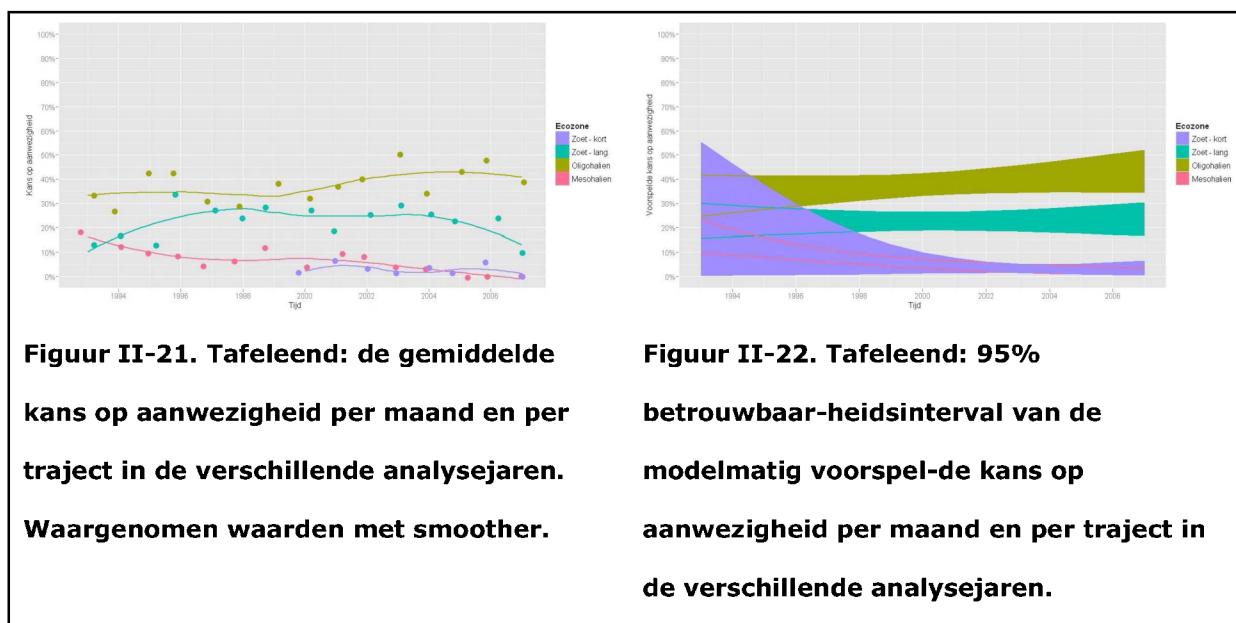
De verschillende patronen voor de Bergeend worden sterk beïnvloed door het voorkomen van ruiende bergeenden in het latere voorjaar in het mesohalien. Hierdoor is er doorgaans een later piekmoment voor Bergeend in de zoute ecozone. Het aantal ruiende Bergeenden is variabel in de studieperiode maar zonder duidelijke trend (Van Ryckegem et al., 2006). Voor de afname in winteraantallen in het mesohalien is vooralsnog geen sluitende ecologische verklaring. Mogelijke oorzaken (hypotheses) zijn: verstoring door bv. grote werken (containerterminals), toename trafiek, habitatverlies of door lagere beschikbaarheid aan nutriënten, minder primaire productie en hieraan gekoppeld verminderd (en ander) voedselaanbod. De dalende trend in het mesohalien is ook merkbaar voor andere soorten (zie bijlage A, bv. Krakeend; zie bespreking Wintertaling). Verder onderzoek is nodig om dit uit te klaren.

De globale trend van de Bergeend in de Zeeschelde (geen log-lineaire trend) wijkt enigszins af van de Europese populatie trend die in de loop van de studieperiode licht stijgt. De duidelijk stijgende trend in het oligohalien en de afname in andere ecozones correleren niet goed met deze Europese trend en zijn wellicht eerder te verklaren door een lokale veranderingen (zie boven: verstoring, habitatverlies, voedselaanbod en zie modelbouw III3A).

B Tafeleend

B.1 Gemiddelde kans op aanwezigheid per analysejaar

Wanneer we naar de gemiddelde kans op aanwezigheid per analysejaar kijken, zien we vooral verschillen tussen de ecozones (Figuur II-21). In het oligohalien hebben we de grootste kans om Tafeleend aan te treffen, in het mesohalien en zoet – kort de kleinste. In het mesohalien zien we een lichte daling van de kans op aanwezigheid in de tijd. In de andere ecozones blijft dit eerder constant.



Deze interpretatie wordt bevestigd door het model. Tabel II-7 geeft aan dat er een duidelijk verschil is tussen de ecozones, dat er geen globale lange termijntrend is en de significante interactie tussen Ecozone en Tijd wijst er op dat minstens een ecozone een andere lange termijntrend heeft dan de globale. De gemodelleerde kans op aanwezigheid tonen we in Figuur II-22. We zien duidelijk de verschillen tussen de ecozones. Enkel in het mesohalien blijkt de kans op aanwezigheid af te nemen in de tijd, in de andere ecozones blijft die constant. Voor de beginperiode van het meetnet hebben we een zeer breed betrouwbaarheidsinterval voor zoet –

kort. Dat is louter het gevolg van de ontbrekende gegevens in deze periode. Voor deze ecozone zijn namelijk onvoldoende² zomerwaarnemingen beschikbaar uit de beginperiode.

Tabel II-7. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een analysejaar van Tafeleend met de effecten van ecozone, jaar en hun interactie. Het model verklaart 48% van de variantie.

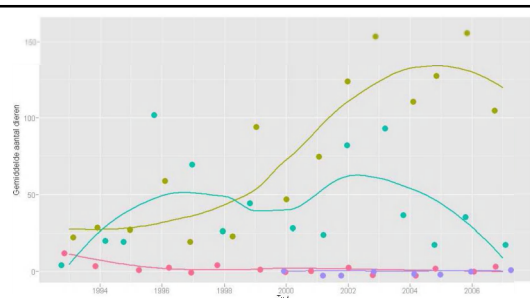
	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			607	598		
Ecozone	3	263.96	604	334	0.0000	44.2%
Tijd	1	0.57	603	333	0.4513	0.1%
Ecozone:Tijd	3	20.29	600	313	0.0001	3.4%

B.2 Gemiddeld aantal dieren per analysejaar

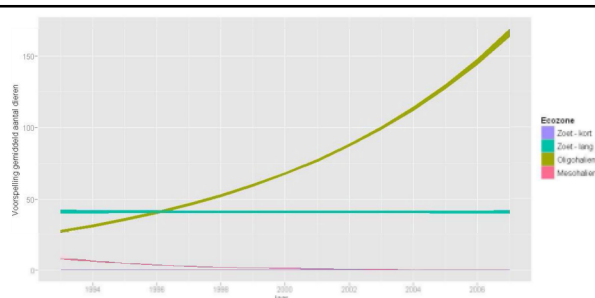
De aantallen per analysejaar geven ons een heel ander beeld (Figuur II-23). We hebben nog steeds de duidelijke verschillen tussen ecozones. Verder zien we in het oligohalien een forse toename van de aantallen over de jaren heen. In het mesohalien hebben we een lichte daling en in zoet – kort blijven de aantallen min of meer constant. Zoet – lang vertoont eerder een soort cyclische beweging.

Het model geeft aan dat zowel de Ecozone als Tijd evenals hun interactie significante effecten hebben op de aantallen Tafeleend (Tabel II-8). Op basis van dit model berekenen we de verwachte gemiddelde aantallen (Figuur II-24). Deze figuur bevestigt onze vermoedens op basis van de ruwe gegevens. Het lineaire model laat niet toe om de schommelingen in zoet – lang te modelleren, waardoor de voorspelde waarden in zoet – lang constant blijven met de tijd.

² We houden enkel rekening met analysejaren waarvoor we van minstens drie wintermaanden en minstens drie zomermaanden gegevens hebben.



Figuur II-23. Tafeleend: het gemiddeld aantal dieren per maand en per traject in de verschillende analysejaren. Waargenomen waarden met smoother.



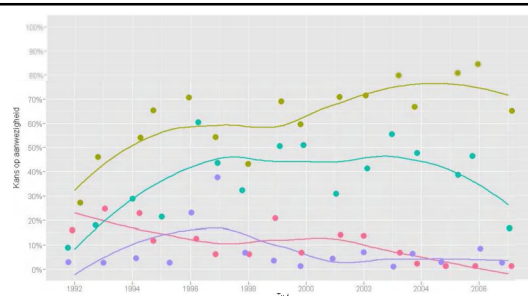
Figuur II-24. Tafeleend: 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde aantal dieren per traject en per maand in de verschillende analysejaren.

Tabel II-8. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per analysejaar van Tafeleend met de effecten van ecozone, jaar en hun interactie. Het model verklaart 55% van de variantie.

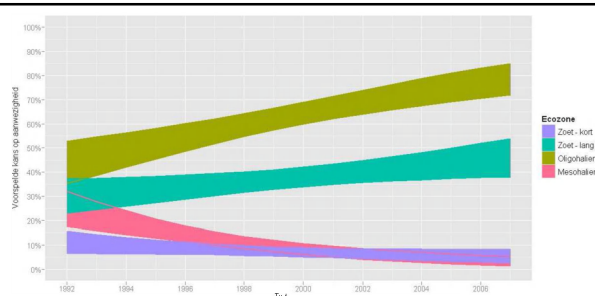
	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL		607	159737			
Ecozone	3	77303.76	604	82433	0.0000	48.4%
Tijd	1	4879.69	603	77553	0.0000	3.1%
Ecozone:Tijd	3	5992.57	600	71561	0.0000	3.8%

B.3 Gemiddelde kans op aanwezigheid per winter

Wanneer we louter naar de wintergegevens kijken, zien we steeds beduidend hogere kansen op aanwezigheid in vergelijking met het volledige analysejaar (Figuur II-25). De aanwezige patronen zijn eveneens anders. In het oligohalien vertonen de kansen op aanwezigheid een duidelijk stijgende trend over de jaren heen. De trend in zoet – lang is stijgend maar niet lineair. In het mesohalien zien we nu een meer duidelijke daling. We hebben de indruk dat de kans op aanwezigheid in Zoet – kort eveneens daalt in de tijd. Merk op dat wanneer we ons beperken tot de winter, we voor de volledige tijdreeks gegevens hebben voor zoet – kort.



Figuur II-25. Tafeleend: de gemiddelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende winters. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-26. Tafeleend: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende winters.

De Anova-tabel van het model voor de winter (Tabel II-9) lijkt sterk op die voor het volledige jaar (Tabel II-7). Dezelfde patronen komen naar voor en zijn ongeveer even belangrijk (i.e., ze verklaren gelijkaardige fracties van de totale variantie). Het model toont een duidelijke toename van de kans op aanwezigheid in het oligohalien en een duidelijke afname in het mesohalien (Figuur II-26). De niet-lineaire trend in zoet – lang wordt door het model vertaald in een beperkt lineair stijgende trend. In zoet – kort blijkt een licht dalende trend aanwezig te zijn.

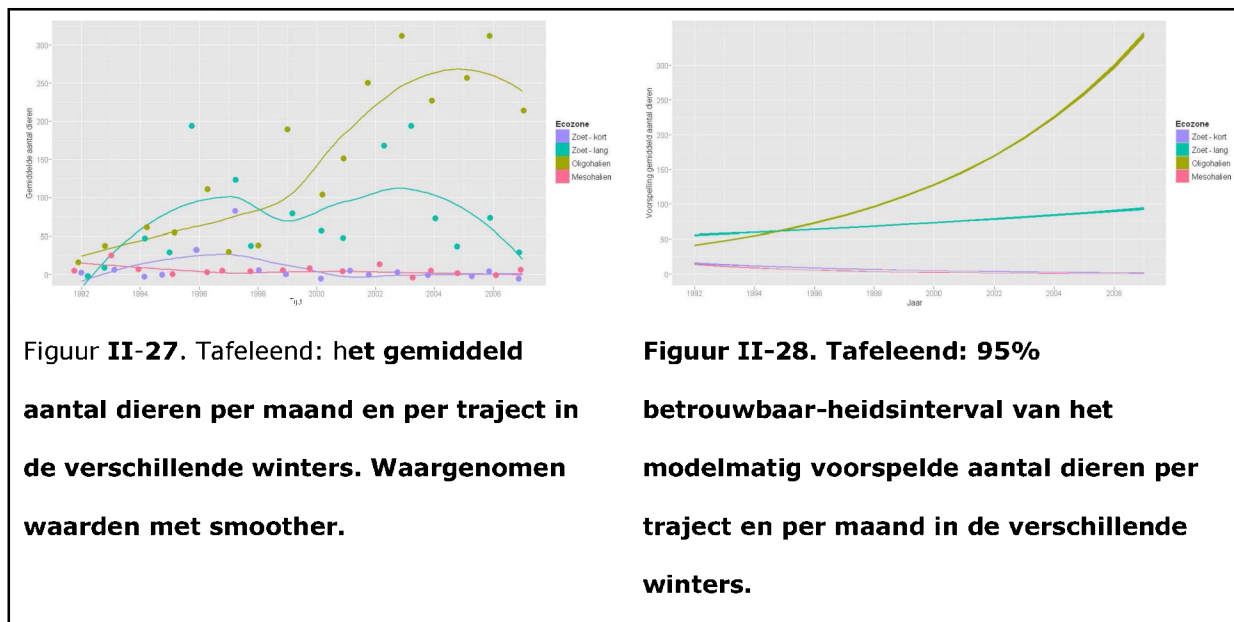
We kunnen besluiten dat er duidelijke verschillen zijn in de patronen tussen de winter en het volledige jaar. Dus moeten we op basis van ecologische informatie nagaan welke periode het meest relevant is voor Tafeleend en ons hierop concentreren.

Tabel II-9. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een winter van Tafeleend met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties. Het model verklaart 43% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(>jChij)	Verklaard
NULL		767	1549			
Ecozone	3	602.84	764	946	0.0000	38.9%
Tijd	1	1.79	763	945	0.1809	0.1%
Ecozone:Tijd	3	61.91	760	883	0.0000	4.0%

B.4 Gemiddeld aantal dieren per winter

Onze eerste indruk is dat we globaal bij de aantallen per winter gelijkaardige patronen zien als bij de aantallen per analysejaar (Figuur II-27), alleen zijn de aantallen ongeveer tweemaal zo hoog.



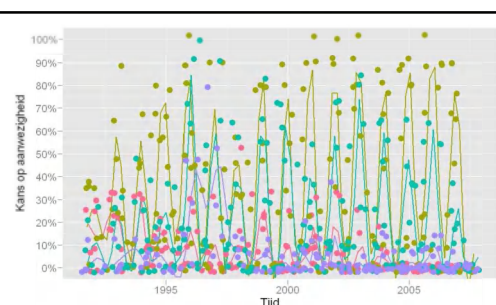
De Anova-tabel van het model voor de winter geeft aan dat de verschillende patronen nagenoeg eenzelfde belang hebben als in het volledige jaar (Tabel II-10). De verwachte aantallen in Figuur II-28 laten dan ook eenzelfde beeld zien als Figuur II-24. Het belangrijkste verschil is de schaal van de Y-as: het gemiddeld aantal in de winter is ongeveer het dubbele van het gemiddeld aantal per analysejaar. Verder zien we nog dat zoet – kort nu eenzelfde patroon heeft als het mesohalien en dat de aantallen in zoet – lang een licht stijgende trend vertonen i.p.v. constant te blijven.

Tabel II-10. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per winter van Tafeleend met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties. Het model verklaart 51% van de variantie.

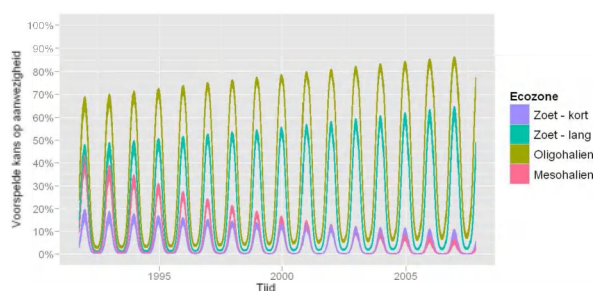
	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			767	374532		
Ecozone	3	158371.59	764	216161	0.0000	42.3%
Tijd	1	15687.56	763	200473	0.0000	4.2%
Ecozone:Tijd	3	15473.37	760	185000	0.0000	4.1%

B.5 Gemiddelde kans op aanwezigheid per maand

We stellen vast dat de kansen op aanwezigheid sterk schommelen in de loop van een jaar (Figuur II-29). Deze zijn het meest extreem in het oligohalien en zoet – lang waar Tafeleend in sommige maanden aanwezig is in alle trajecten (100%) en in andere maanden in geen enkel traject (0%). In het mesohalien en zoet – kort schommelt de kans op aanwezigheid veel minder en is ze over het algemeen veel lager. Andere patronen ontdekken is veel moeilijker aan de hand van de ruwe gegevens.



Figuur II-29. Tafelend: de gemiddelde kans op aanwezigheid per traject in de verschillende maanden. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-30. Tafelend: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per traject in de verschillende maanden.

Zoals we kunnen verwachten zijn de patronen waargenomen op jaarbasis (Ecozone, Tijd en hun interactie) ook aanwezig bij de gegevens per maand (Tabel II-11). Ecozone verklaart nu echter slechts 13% van de totale variantie, terwijl dit op jaarbasis rond de 40% bedroeg. Nog een belangrijk verschil is de aanwezigheid van Seizoen, dat met 18% het belangrijkste patroon in het model wordt. We kunnen dus stellen dat de kans op aanwezigheid van Tafeleend sterk seizoensgebonden is.

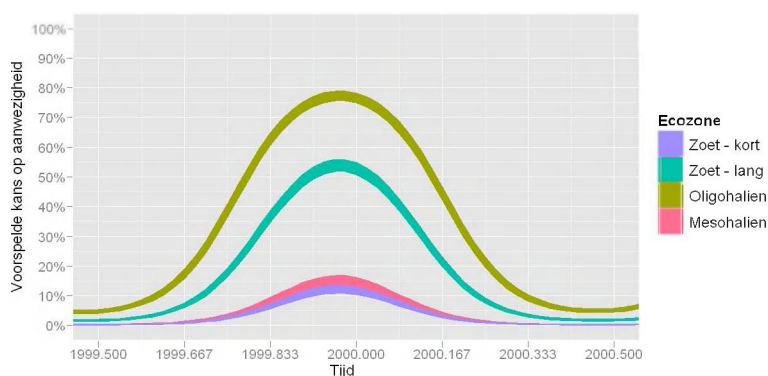
De evoluties over lange termijn komen tot uiting in Figuur II-30. De kans op aanwezigheid valt in de zomer voor alle ecozones terug tot bijna 0%. De maximale kans op aanwezigheid varieert sterk tussen de ecozones, van ca 80% in het oligohalien tot amper 20% in zoet – kort. Dat maximum vertoont over de jaren heen een stijgende trend in het oligohalien en zoet – lang. De kans op aanwezigheid stijgt van resp. 70 en 50% in 1992 tot resp. 85 en 65% in 2007. Een tegengestelde

trend zien we in het mesohalien en zoet – kort waar over dezelfde periode de hoogste waarden afnemen resp. van 40 naar 5% en van 20 naar 10%.

Tabel II-11. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid van Tafeleend met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 32% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8185	23468		
Ecozone	3	3031.83	8182	20436	0.0000	12.9%
Tijd	1	30.98	8181	20405	0.0000	0.1%
Seizoen	2	4129,44	8179	16276	0.0000	17.6%
Ecozone:Tijd	3	350.08	8176	15926	0.0000	1.5%

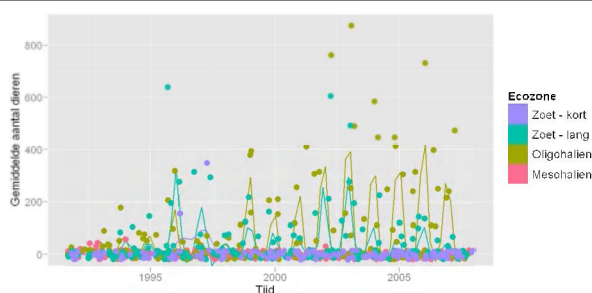
De seizoenale schommelingen binnen een jaar kunnen we duidelijker zien wanneer we inzoomen op een bepaald jaar (Figuur II-31). De hoogste kans op aanwezigheid blijkt zich voor te doen in december – januari, exact het midden van de winter. Deze pieken valt voor alle ecozones op hetzelfde moment.



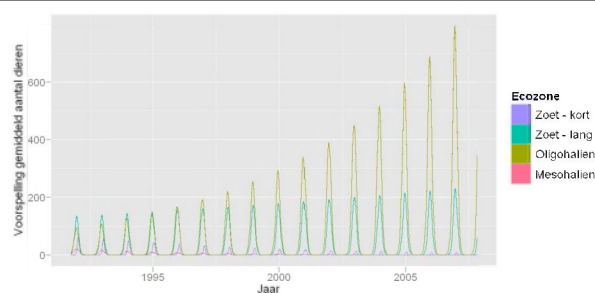
Figuur II-31. 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid van Tafeleend per maand en per ecozone (detail).

B.6 Gemiddeld aantal dieren per maand

Bij de ruwe gegevens per maand springen twee fenomenen dadelijk in het oog (Figuur II-32). Ten eerste zien we grote schommelingen tijdens het jaar. Ten tweede zijn de aantalschommelingen veel groter in het oligohalien en zoet – lang dan in het mesohalien en zoet – kort.



Figuur II-32. Tafeleend: het gemiddeld aantal dieren per traject in de verschillende maanden. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-33. Tafeleend: 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde aantal dieren per traject in de verschillende maanden.

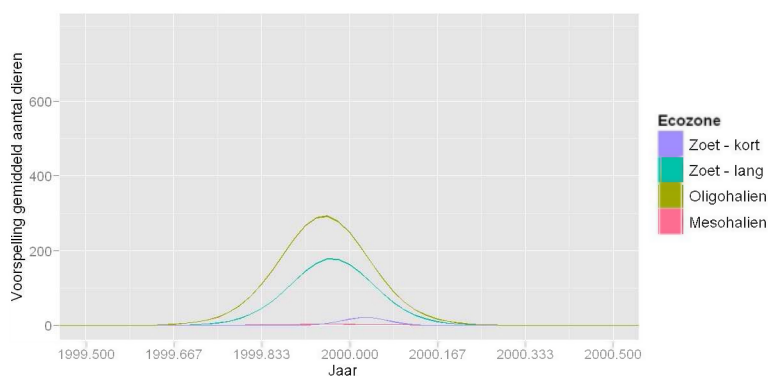
Bij het model voor de aantallen per maand zien we de patronen van de kans op aanwezigheid per maand terugkomen (Tabel II-12). Toch zijn er een aantal belangrijke verschillen. Zo zijn de patronen Seizoen en Ecozone belangrijker: resp. 33 i.p.v. 18% en 21 i.p.v. 13% van de totale variantie. Bijkomend is er een significante interactie tussen Ecozone en Seizoen.

Bij de verwachte aantallen valt dadelijk het belang van het oligohalieu en in mindere mate zoet – lang op (Figuur I-13). Tafeleend komt, over de hele studieperiode, uitsluitend in lage aantallen voor in het mesohalieu en het zoet – kort. In het oligohalieu stijgen de piekaantallen spectaculair van gemiddeld 100 stuks per traject in 1993 naar gemiddeld 800 in 2007. De toename in zoet – lang is minder uitgesproken: van gemiddeld 150 stuks per traject in 1993 naar 225 in 2007. In zoet – kort en mesohalieu dalen de gemiddelde aantal per traject in deze periode van resp. 50 en 25 naar 10 en 0. In alle ecozones stellen we vast dat Tafeleend tijdens de zomer nauwelijks aanwezig is.

Tabel II-12. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren van Tafeleend met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 59% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8185	4165849		
Ecozone	3	877055.89	8182	3288793	0.0000	21.1%
Tijd	1	47923.18	8181	3240870	0.0000	1.2%
Seizoen	2	1376496.79	8179	1864373	0.0000	33.0%
Ecozone:Tijd	3	91150.36	8176	1773223	0.0000	2.2%
Ecozone:Seizoen	6	48283.35	8170	1724939	0.0000	1.2%

Tenslotte zoomen we in op een jaar om een beter zicht te krijgen op de seizoenale patronen (Figuur II-34). We zien nu duidelijk dat de piekaantallen zich naargelang de ecozone op een verschillend moment voordoen, wat een weergave is van de significante interactie tussen Ecozone en Seizoen. In het oligohalien en zoet – lang bereiken de aantallen hun piekwaarde in december – januari, waarbij de piek in het oligohalien net iets vroeger valt dan in het zoet – lang. In het zoet – kort bereiken de aantallen hun hoogste waarden pas in januari – februari.



Figuur II-34. 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde gemiddeld aantal dieren van Tafeleend in een traject, per maand en per ecozone (detail).

B.7 Samenvatting verkennende analyse Tafeleend

- In de beschikbare tijdreeks zien we dat deze soort met steeds grotere aantallen voorkomt in het oligohalien en zoet – lang.

- In het begin van de tijdreeks waren de overige ecozones, mesohalien en zoet – kort, reeds minder belangrijk. Dat fenomeen is sindsdien nog versterkt zodat we kunnen stellen dat deze ecozones voor Tafeleend van ondergeschikt belang zijn.
- Er is een verschil in piekmoment tussen de ecozones. Oligohalien en Zoet-lang pieken in december-januari (Zoet-lang net iets later); Zoet-kort in januari-februari. Globaal is er een relatieve opschuiving van de piek naar stroomop.

De hoge aantallen Tafeleend op de Zeeschelde lijken uiteen te vallen in twee piekperiodes elk met een andere 'trigger'. De piekperiode 95/96 & 96/97 was het gevolg van zeer koude periodes. De Zeeschelde werd toen door een belangrijk deel van de Vlaamse overwinteringspopulatie gebruikt als toevluchtoord. Voor de hoge pieken 01/02 & 02/03 moet een andere verklaring gezocht worden.

De NW-Europese populatie neemt licht af sinds 2000, dit terwijl de aantallen nog verder toenemen in de Zeeschelde en slechts recenter afnemen. Dit wijst erop dat de Europese populatietrend niet kan aangewezen worden als belangrijke oorzaak voor de trendobservaties. Begin de jaren 2000 is mogelijks in de oligohaliene zone een kritische drempelwaarde met betrekking tot de voedselbeschikbaarheid overschreden waardoor het interessant werd voor tafeleenden om te foerageren in de Zeeschelde.

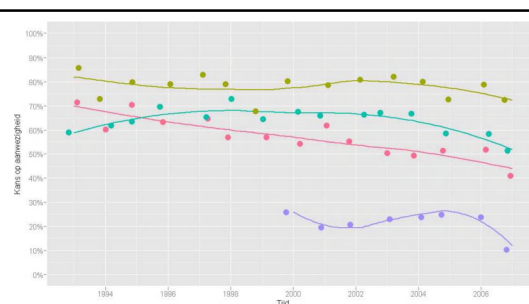
De recente 'crash' (ingezet in 2007) is vermoedelijk gecorreleerd met een verminderd voedselaanbod door het inwerking treden van de waterzuivering in Brussel op de Zenne. Hierdoor is wellicht de energetische drempelwaarde opnieuw ontoereikend met als gevolg een terugval in het aantal Tafeleenden op de Zeeschelde.

Omdat Tafeleenden gevoelig zijn voor verstoring zouden de lagere aantallen in de zone zoet kort (onder andere) ook met deze variabele kunnen gecorreleerd zijn.

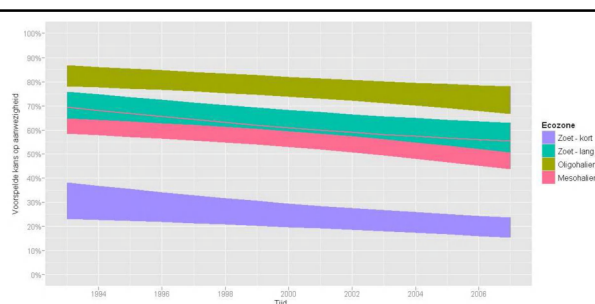
C Wintertaling

C.1 Gemiddelde kans op aanwezigheid per analysejaar

De ruwe data geven aan dat de kans op aanwezigheid van Wintertaling verschilt tussen ecozones (Figuur II-35). We hebben de indruk dat globaal een licht negatieve lange termijnrend aanwezig is. Deze trend lijkt licht te verschillen tussen de ecozones.



Figuur II-35. Wintertaling: de gemiddelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende analysejaren. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-36. Wintertaling: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende analysejaren.

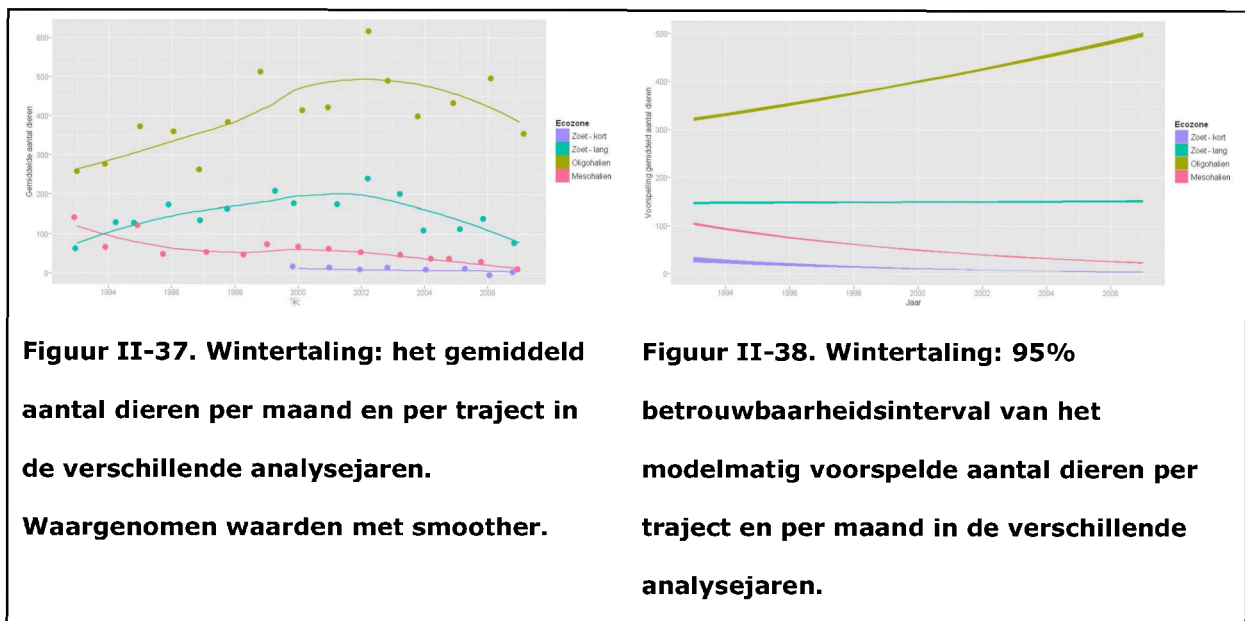
Het model bevestigt de duidelijke verschillen tussen de ecozones en de globale lange termijnrend (Tabel II-13). Er zijn echter onvoldoende aanwijzingen om een verschillende lange termijnrend per ecozone hard te maken. De voorspelde waarden weerspiegelen dit door licht dalende parallelle banden (Figuur II-36).

Tabel II-13. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een analysejaar van Wintertaling met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties. Het model verklaart 47% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			607	654		
Ecozone	3	293.32	604	361	0.0000	44.8%
Tijd	1	12.08	603	349	0.0005	1.8%

C.2 Gemiddeld aantal dieren per analysejaar

De aantallen per jaar vertonen een andere evolutie dan de kans op aanwezigheid (Figuur II-37). In het mesohalien en zoet – kort zien we een licht dalende trend. Het oligohalien en zoet – lang vertonen een eerder niet-lineaire trend.



Tabel II-14 geeft aan dat we dat zowel het gemiddelde als de trend verschillen tussen ecozones. De globale lange termijntrend is van ondergeschikt belang. De interpretatie van de voorspelde waarden (Figuur II-38) levert ons volgende informatie: het oligohalien herbergt gemiddeld het meest aantal dieren per traject, gevolgd door zoet – lang, het mesohalien en zoet – kort. Enkel het oligohalien vertoont een toename van de aantallen. In het mesohalien en zoet – kort zien we een duidelijke afname. Het model vindt geen trend in zoet – lang. Het model laat echter enkel een

lineaire trend toe. De ruwe data geven een indicatie voor een niet-lineaire trend. Hiermee moeten we rekening houden bij de modelbouw.

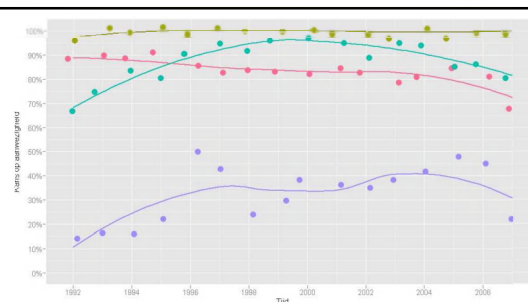
Tabel II-14. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per analysejaar van Wintertaling met de effecten van ecozone, jaar en hun interactie. Het model verklaart 61% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			607	468375		
Ecozone	3	273489.63	604	194885	0.0000	58.4%
Tijd	1	290.22	603	194595	0.0000	0.1%
Ecozone:Tijd	3	9874.12	600	184721	0.0000	2.1%

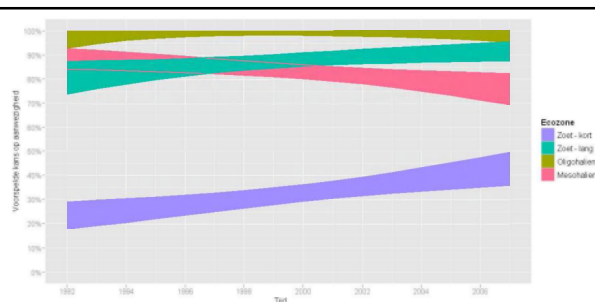
C.3 Gemiddelde kans op aanwezigheid per winter

De gegevens per winter (Figuur II-39) geven een heel andere beeld dan de gegevens per jaar (Figuur II-35). Wintertaling blijkt in het oligohalien in nagenoeg alle trajecten steeds aanwezig te zijn. Ook in het mesohalien hebben we steeds een grote kans om Wintertaling aan te treffen, doch deze kans daalt lichtjes in de tijd. In zoet – lang ziet we eerder een niet-lineaire trend met piek rond 2000. De kans om ze in zoet – kort aan te treffen is veel kleiner, maar we zien hier wel een stijgende trend.

Het model voor de aanwezigheid per winter bevat, in tegenstelling tot het model voor de aanwezigheid per jaar, een verschillende lange termijn trend per ecozone (Tabel II-15). Deze trends zijn stijgend, licht stijgend, constant en dalend voor resp. zoet – lang, zoet – kort, het oligohalien en het mesohalien (Figuur II-40).



Figuur II-39. Wintertaling: de gemiddelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende winters. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-40. Wintertaling: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per maand en per traject in de verschillende winters.

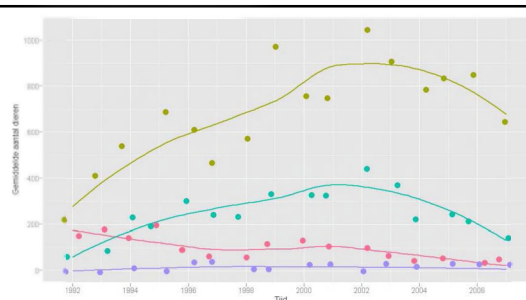
Tabel II-15. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een winter van Wintertaling met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties. Het model verklaart 47% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			767	2024		
Ecozone	3	924.92	764	1099	0.0000	45.7%
Tijd	1	4.70	763	1094	0.0301	0.2%
Ecozone:Tijd	3	21.24	760	1073	0.0001	1.0%

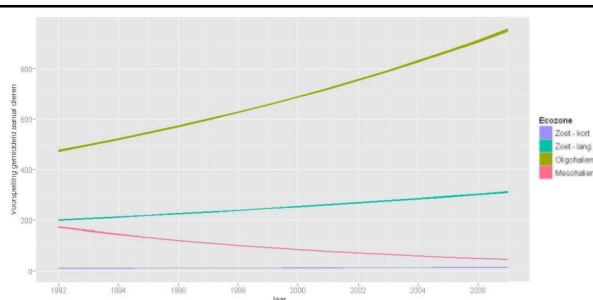
C.4 Gemiddeld aantal dieren per winter

De aantallen per winter laten een zelfde beeld zien als de aantallen per jaar (Figuur II-41). Enkel de schaal van de grafieken is anders. In de winter zijn er beduidend meer dieren.

Zoals we verwachten zijn dezelfde patronen belangrijk in het model (Tabel II-16). Verder kunnen we nog opmerken dat we in zoet – lang een stijgende trend onderscheiden (Figuur II-42) terwijl we voor de aantallen per jaar geen trend vonden.



Figuur II-41. Wintertaling: het gemiddeld aantal dieren per maand en per traject in de verschillende winters. Waargenomen waarden met smoother.



Figuur II-42. Wintertaling: 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde aantal dieren per traject en per maand in de verschillende winters.

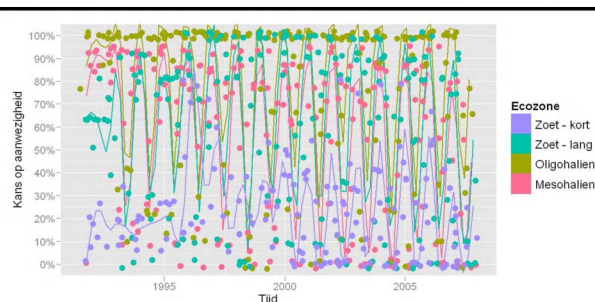
Tabel II-16. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per winter van Wintertaling met de effecten van ecozone, jaar en hun interactie. Het model verklaart 63% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			767	1035004		
Ecozone	3	625785.65	764	409219	0.0000	60.5%
Tijd	1	7501.63	763	401717	0.0000	0.7%
Ecozone:Tijd	3	20291.40	760	381426	0.0000	2.0%

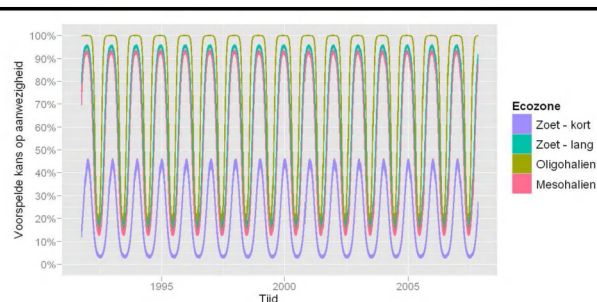
C.5 Gemiddelde kans op aanwezigheid per maand

Bij de maandelijkse gegevens vallen dadelijk de sterke en frequente schommelingen op (Figuur II-43). Op sommige momenten is de Wintertaling overal afwezig en op andere momenten is ze overal aanwezig.

Modelmatig stellen we een effect van ecozone, seizoen en hun interactie vast (Tabel II-17). Opmerkelijk is dat dit model geen lange termijntrend bevat, hoewel deze trend wel aanwezig was bij de analyses per jaar en per winter. Figuur II-30 geeft aan dat de kans op aanwezigheid in de loop van het jaar zeer sterk schommelt van ca 20% naar ca 100%. Enkel in Zoet – kort zijn deze schommelingen beperkter (van ca 5 naar 45%).



Figuur II-43. Wintertaling: de gemiddelde kans op aanwezigheid per traject in de verschillende maanden. Waargenomen waarden met smoother.

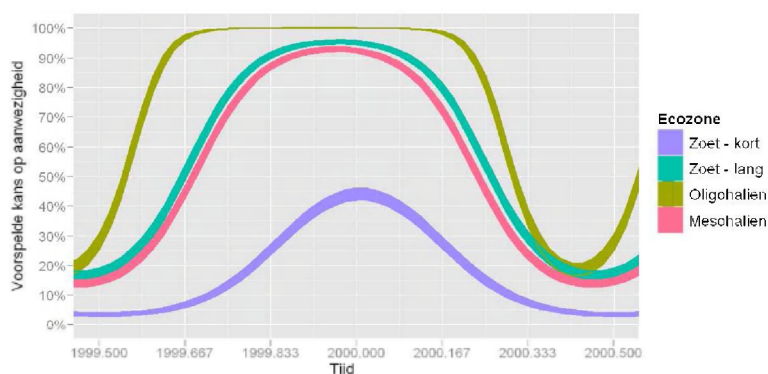


Figuur II-44. Wintertaling: 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid per traject in de verschillende maanden.

Tabel II-17. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid van Wintertaling met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 39% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8185	37138		
Ecozone	3	4477.51	8182	32660	0.0000	12.1%
Seizoen	2	8565.6	8180	23663	0.0000	24.3%
Ecozone:Seizoen	6	848.58	8174	22815	0.0000	2.3%

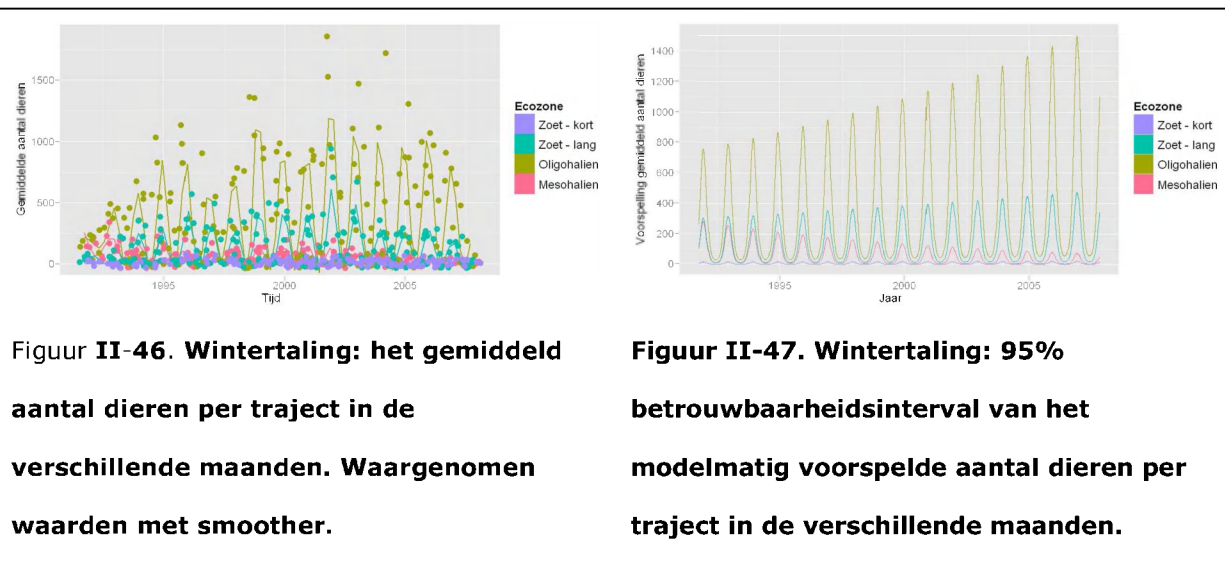
Wanneer we naar de voorspelde kans op aanwezigheid in een bepaald jaar kijken, zien ze naast een verschil tussen ecozones in de amplitude van de schommelingen ook een faseverschil (Figuur II-45). Zo is de Wintertaling eerst in het oligohalies te bespeuren, waar ze van september t.e.m. maart steeds aanwezig is. De piek in het mesohalies en zoet - lang valt in december - januari. De piek in zoet - kort is iets later: januari.



Figuur II-45. 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid van Wintertaling per maand en per ecozone (detail).

C.6 Gemiddeld aantal dieren per maand

Aangezien de kans op aanwezigheid sterke schommelingen per maand vertoont, is dat ook het geval bij de aantallen (Figuur II-46). We zien grote schommelingen in het oligohalien en in iets beperkte mate in zoet - lang. In zoet - lang en het mesohalien zijn de schommelingen veel beperkter.



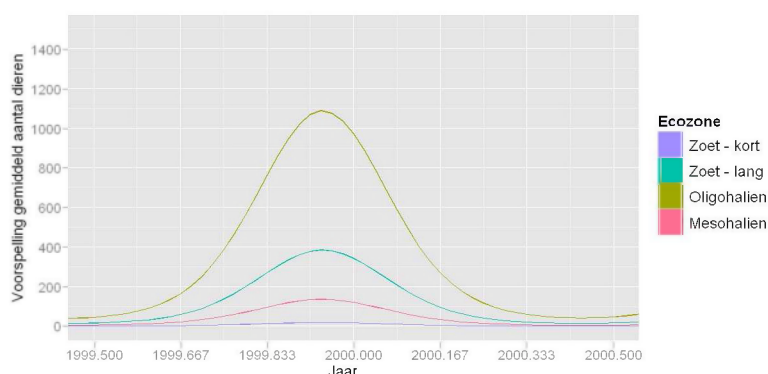
Tabel II-18 geeft aan dat het model voor de aantallen per maand grondig verschilt van het model voor de kans op aanwezigheid per maand. De interactie tussen seizoenen en ecozone blijkt niet aanwezig terwijl we wel een verschillende lange termijntrend per ecozone kunnen vaststellen. In vergelijking met de modellen voor de aantallen per jaar en per winter zien we dat enkel de seizoensaliteit aan het model werd toegevoegd.

Wanneer we de seizoenaliteit buiten beschouwing laten, dan zien we in Figuur II-47 dezelfde patronen als in Figuur II-44. De seizoenaliteit kunnen we bijgevolg interpreteren als de intrajaar variabiliteit. Tijdens de zomer zijn in alle ecozones nog nauwelijks Wintertalingen aanwezig. Bovendien zijn ze tijdens de winter in aanzienlijke aantallen aanwezig. We krijgen bijgevolg grote aantalschommelingen.

Tabel II-18. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren van Wintertaling met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 63% van de variantie.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8185	11019720		
Ecozone	3	3714687.25	8182	7305033	0.0000	33.7%
Tijd	1	2718.55	8181	7302315	0.0000	0.0%
Seizoen	2	3056254.84	8179	4246060	0.0000	27.7%
Ecozone:Tijd	3	139160.94	8176	4106899	0.0000	1.3%

Figuur II-48 laat zien nu zien dat de piekaantallen voor alle ecozones op hetzelfde moment (december - januari) vallen. Bij de analyse van de aanwezigheid vonden we echter wel verschillen in het tijdstip van de piek tussen de ecozones, hetgeen tegenstrijdig lijkt. De aanwezigheidspiek weerspiegelt de eerder voorkeurszone bij de vroege overwinteraars. Deze verkiezen eerst de oligohaliene zone. De aantalspiek valt overal op hetzelfde moment wat wijst op het gelijktijdig voorkomen van de maximale aantallen per ecozone. Beide observaties zijn dus niet tegenstrijdig.



Figuur II-48. 95% betrouwbaarheidsinterval van het modelmatig voorspelde gemiddeld aantal dieren van Wintertaling in een traject, per maand en per ecozone (detail).

C.7 Samenvatting verkennende analyse Wintertaling

- We stellen piekaantallen vast rond de jaarwisseling (december – januari). We hebben geen aanwijzing dat de aantalspieken op een verschillend moment plaats hebben.
- Het oligohalien is de belangrijkste ecozone met de hoogste gemiddelde aantallen per traject. De aantallen in deze ecozone nemen in de studieperiode toe (grafieken tonen voor de laatste jaren een afname). De vroege overwinteraars of doortrekkers kiezen in eerste instantie voor de oligohaliene zone, de kans om een wintertaling te treffen valt later in de overige ecozones.
- Zoet – lang is de op een na belangrijkste ecozone.
- De aantallen in het mesohalien nemen duidelijk af.

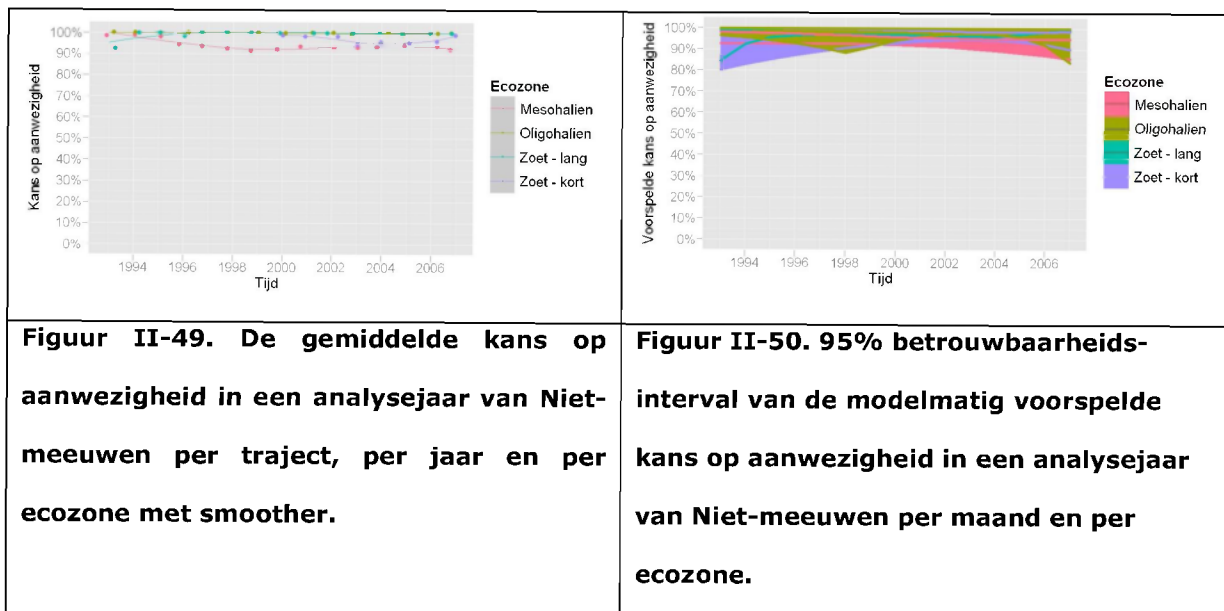
De toename van Wintertaling in de Zeeschelde is gecorreleerd met de populatietrend van de NW-Europese populatie. Voor de periode 1998-2005 is er een toename opgetekend (zie Figuur III-1). De stijging in deze ecozones is wel sterker dan de Europese trend waardoor een verandering in voedselaanbod in deze zones wellicht een betere verklaring kan zijn voor de trendobservaties.

Voor de afname in winteraantallen in het mesohalien is vooralsnog geen sluitende ecologische verklaring. Mogelijke oorzaken (hypotheses) zijn: verstoring door bv. grote werken (containerterminals), toename trafiek, habitatverlies of door lagere beschikbaarheid aan nutriënten, minder primaire productie en hieraan gekoppeld verminderd (en ander) voedselaanbod. Deze trend is ook merkbaar voor andere soorten (zie bijlage A bv. Krakeend; zie bespreking Bergeend). Verder onderzoek is nodig om dit uit te klaren.

D Alle watervogels (niet-meeuwen)

D.1 Gemiddelde kans op aanwezigheid per analysejaar

De kans om minstens één watervogel aan te treffen in een teltraject is zeer hoog. In het mesohalien is de trefkans iets lager. Hier zijn dus teltrajecten waar geen watervogels aangetroffen worden.



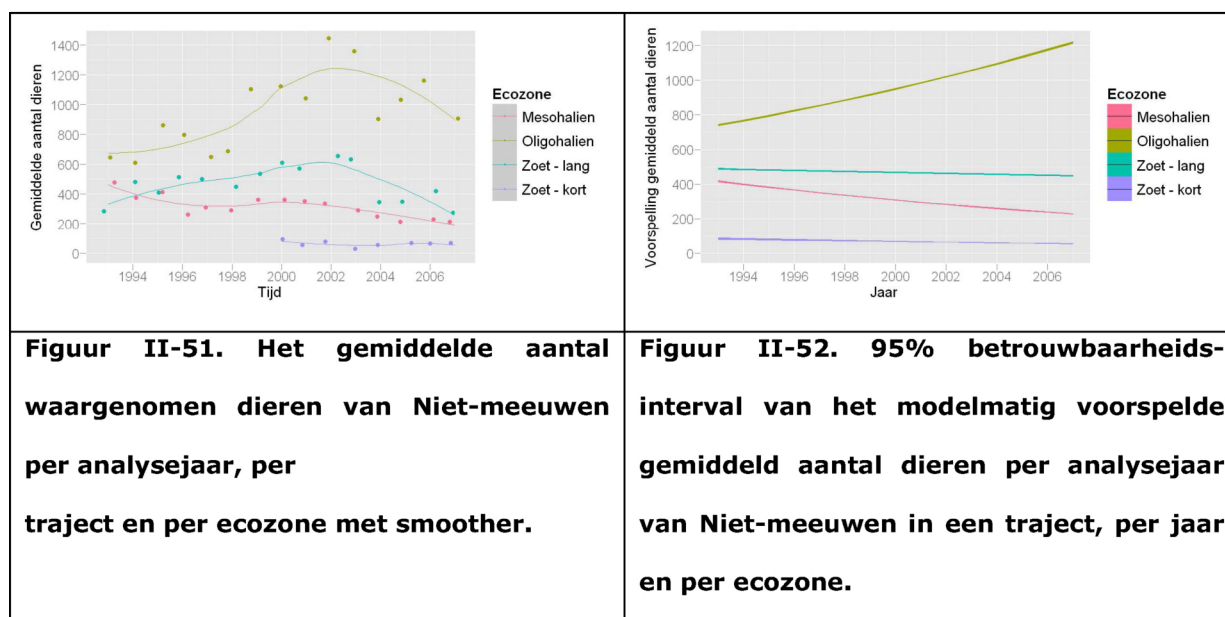
Het model verklaart slechts 17% van de variantie. Er is een effect van ecozones merkbaar. Dit kan mogelijks verklaard worden door de iets lagere trefkans in het mesohalien. De ecozones vertonen een verschillende lineaire trend in de tijd. In het mesohalien lijkt de trefkans af te nemen over de tijdsreeks.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			607	363		
Ecozone	3	51.14	604	311	0.0000	14.1%
Tijd	1	1.27	603	310	0.2598	0.4%
Ecozone:Tijd	3	8.34	600	302	0.0395	2.3%

Tabel II-19. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een analysejaar van Niet-meeuwen met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties.

D.2 Gemiddeld aantal dieren per analysejaar

Deze analyse toont een ander beeld dan de trefkans per analysejaar. Er is een duidelijker verschil merkbaar tussen de ecozones waartussen verschillende lineaire trends gemodelleerd zijn. In **Figuur II-51** is merkbaar dat in plaats van een lineaire trend voor het oligohalien en zoet-lang er eerder sprake is van een optimum begin de jaren 2000.



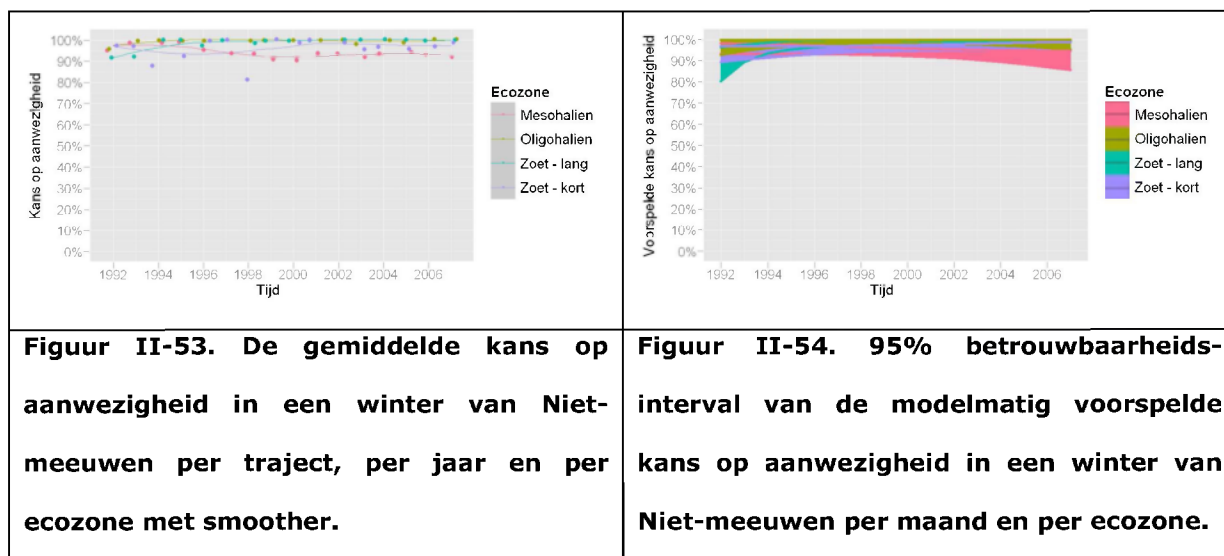
Het model met de aantallen verklaart beter de variantie in de gepoolde watervogeldata. Ecozone is de voornaamste variabele. Er is geen duidelijke lineaire trend in de watervogeldata aanwezig. Er is voor minstens 1 ecozone een afwijkende tend in de tijd. In het Oligohalien is er een toename merkbaar, in zoet-kort is geen trend merkbaar en in zoet-lang en mesohalien is er eerder een negatieve trend.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			607	909170		
Ecozone	3	427526.90	604	481643	0.0000	47%
Tijd	1	496.89	603	481146	0.0000	0.1%
Ecozone:Tijd	3	15981.20	600	465165	0.0000	1.8%

Tabel II-20. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per analysejaar van Niet-meeuwen met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties. Het model verklaart 49% van de variantie.

D.3 Gemiddelde kans op aanwezigheid per winter

Het beeld van de trefkans per jaar komt sterk overeen op de trefkans per winter. Ook het model vertoont gelijkaardige resultaten en verklaart in beperkte mate de datavariatie.

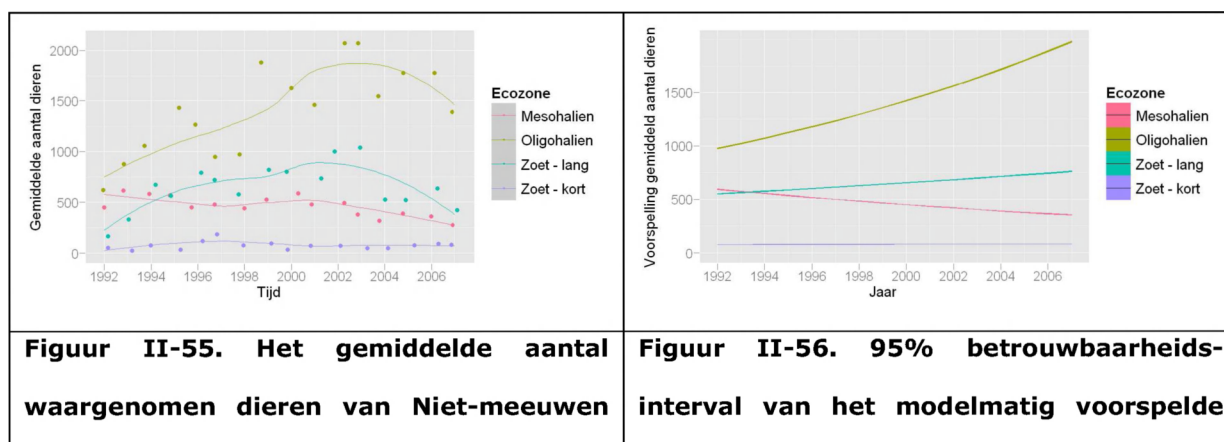


	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			767	477		
Ecozone	3	39.06	764	438	0.0000	8.2%
Tijd	1	0.71	763	437	0.4003	0.1%
Ecozone:Tijd	3	22.87	760	414	0.0000	4.8%

Tabel II-21. ANOVA tabel van het model voor de gemiddelde kans op aanwezigheid in een winter van Niet-meeuwen met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties. Het model verklaart 13% van de variantie.

D.4 Gemiddeld aantal dieren per winter

Het gemiddelde aantal dieren per winter-analyse toont sterke gelijkenissen met de jaarrond monitoring. De schaal van de Y-as is echter verschillend. De analyse toont dat de winteraantallen sterk doorwegen op de patronen merkbaar op jaarbasis. Het model wijst eveneens op de differentiatie tussen de ecozones.



per winter, per traject en per ecozone met smoother 3.	gemiddeld aantal dieren per winter van Niet-meeuwen in een traject, per jaar en per ecozone.
---	---

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			767	1830442		
Ecozone	3	951436.15	764	879006	0.0000	52%
Tijd	1	12313.97	763	866692	0.0000	0.7%
Ecozone:Tijd	3	30457.59	760	836234	0.0000	1.7%

Tabel II-22. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren per winter van Niet-meeuwen met de effecten van ecozone, jaar en hun interacties. Het model verklaart 54% van de variantie.

D.5 Gemiddelde kans op aanwezigheid per maand

De globale analyse van de watervogeldata tonen beperkte variatie in trefkans tussen de seizoenen.

Algemeen zijn de observaties gelijk aan de trefkans per jaar en per winter.

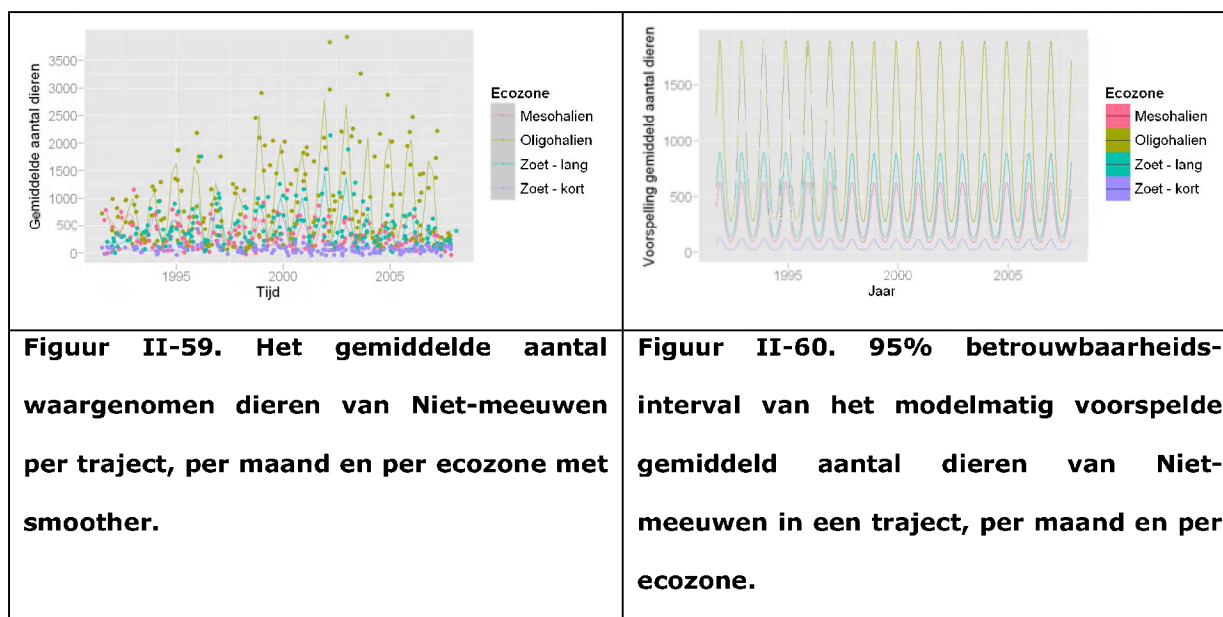
Figuur II-57. De gemiddelde kans op aanwezigheid van Niet-meeuwen per traject, per maand en per ecozone met smoother.	Figuur II-58. 95% betrouwbaarheidsinterval van de modelmatig voorspelde kans op aanwezigheid van Niet-meeuwen per maand en per ecozone.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8265	7328		
Ecozone	3	574.01	8262	6754	0.0000	7.8%
Tijd	1	0.17	8261	6754	0.6823	0%
Ecozone:Tijd	3	198.19	8258	6555	0.0000	2.7%

Tabel II-23 ANOVA tabel van het model voor de kans op aanwezigheid per winter van Niet-meeuwen met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 11% van de variantie.

D.6 Gemiddeld aantal dieren per maand

De gemiddelde aantal dieren per maand toont voor het eerst een duidelijk seizoenaal effect.



	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)	Verklaard
NULL			8265	19796994		
Ecozone	3	6039415.58	8262	13757578	0.0000	30.5%
SinTijd	1	1244222.83	8261	12513355	0.0000	6.3%
CosTijd	1	2849941.45	8260	9663414	0.0000	14.4%

Tabel II-24. ANOVA tabel van het model voor het gemiddeld aantal dieren van Niet-meeuwen met de effecten van ecozone, maand en hun interacties. Het model verklaart 51% van de variantie.

D.7 Samenvatting verkennende analyse watervogels

Er zijn verschillende trends merkbaar in de ecozones. Het toevoegen van de factor 'ecozone' aan het model verhoogd dan ook sterk de verklaarde variantie door het basismodel. In de loop van de studieperiode (1993 – 2007) is er een duidelijk negatieve trend merkbaar in het aantal watervogels in het mesohalies. In het oligohalies, en in mindere mate in het zoet-lang, wordt er een stijgende lineaire trend gemodelleerd. De gemiddelde teldata tonen aan dat er eerder een optimum was in

de vogelaantallen in de periode 2000-2003 waarna de aantallen ook in deze zones afnamen. Seizoenaliteit van de watervogelaantallen speelt sterk in de Zeeschelde. Het basismodel kan deze seizoenaliteit relatief goed modelleren.

E Overige soorten

Voor de belangrijkste soorten in de watervogeldatabank werden dezelfde modellen doorlopen. De bespreking kan analoog gebeuren volgens de drie voorbeeldsoorten hierboven besproken. In bijlage A zijn alle figuren gepresenteerd per soort.

4 Multivariate analyse van resultaten basisanalyse

Tijdens de basisanalyse zijn we voor elke soort nagegaan welke patronen in de gegevens voorkomen. In deze fase gaan we na in hoeverre we de verschillende soorten kunnen opdelen in groepen met gelijkaardige patronen. Het idee is om uit elk van de (belangrijkste) groepen één soort te kiezen waarvoor we een meer uitgebreid model opstellen. Op die manier krijgen we een beter beeld van de verschillende processen die van belang zijn voor de watervogels in het algemeen.

In dit hoofdstuk beperken we ons tot de belangrijkste resultaten van onze analyse.

Methode: als ruwe clusteringsdata hebben we enerzijds het percentage verklaarde variantie van de variabelen per soort van het beperkte model³ gebruikt en anderzijds de coëfficiënten van het volledige model⁴. We verwijzen naar de basisanalyse voor een beschrijving van het beperkte en volledige model.

De clusteringsanalyse werd toegepast op zowel het gemiddeld aantal dieren als de gemiddelde kans op aanwezigheid als responsvariabele gebruikt. Tenslotte hebben we nog drie verschillende aggregatieniveaus gebruikt: per analysejaar, per winter en per maand. Dit resulteerde bijgevolg in $2 \times 2 \times 3 = 12$ analyses.

Globaal kunnen we stellen dat de analyses op basis van de coëfficiënten van het volledige model weinig bruikbaar waren om de soorten te groeperen. De gegevens van het percentage verklaarde variantie van het beperkte model leverde echter wel een duidelijke clustering op. We beperken ons daarbij tot de gegevens voor de modellen van het gemiddeld aantal dieren per analysejaar en het gemiddeld aantal dieren per maand. De resultaten van de analyses per winter gelijken sterk op de analyses per analysejaar. De resultaten voor aanwezigheid gelijken dan weer sterk op de resultaten voor het aantal dieren.

³ Het beperkte model is het model dat we bekomen nadat we alle niet relevante variabelen en interacties uit het volledige model te halen.

⁴ Het volledige model is het model met alle mogelijk relevante variabelen (ecozone, tijd, seizoen en de interacties)

A Gemiddeld aantal dieren per analysejaar

Tabel II-25 geeft, voor elke soort, het aandeel van de totale variantie dat elke variabele uit het beperkte model kan verklaren. Een ontbrekend cijfer in deze tabel impliceert dat de variabele in kwestie geen deel uit maakt van het beperkte model. Het model voor Scholekster bevat dus enkel Ecozone, het model voor Canadese gans zowel Ecozone als Tijd en het model voor Oeverloper bevat zowel de hoofdeffecten Ecozone en Tijd als hun interactie.

Tabel II-25. Dataset van het aandeel verklaarde variantie van het beperkte model voor aantal dieren met de modellen op basis van analysejaar.

Soort	Ecozone	Tijd	Ecozone:Tijd	Cluster
Aalscholver	0.44	0.03	0.01	A1
Grauwe gans	0.43			A1
Grote mantelmeeuw	0.44			A1
Kluut	0.45			A1
Kokmeeuw	0.50			A1
Krakeend	0.52	0.05	0.02	A1
Scholekster	0.57			A1
Smient	0.47			A1
Tureluur	0.51			A1
Visdief	0.53			A1
Wilde eend	0.51			A1
Wintertaling	0.58	0.00	0.02	A1
Wulp	0.52	0.03		A1
Bergeend	0.35	0.00	0.03	A2
Bonte strandloper	0.32	0.00	0.04	A2
Fuut	0.34			A2
Kievit	0.30	0.00	0.04	A2
Meerkoet	0.39	0.02	0.03	A2
Stormmeeuw	0.37			A2
Tafeleend	0.41	0.02	0.05	A2
Zilvermeeuw	0.40	0.05	0.05	A2
Waterhoen	0.48	0.16	0.02	A3
Blauwe reiger	0.06	0.00	0.02	B1
Dodaars	0.17			B1
Kleine mantelmeeuw	0.17	0.09	0.01	B1
Knobbelswaan	0.11	0.00	0.05	B1
Kuifeend	0.27	0.00	0.08	B1
Nijlgans	0.19	0.16		B1
Oeverloper	0.08	0.02	0.10	B1
Pijlstaart	0.25	0.00	0.02	B1
Slobeend	0.17	0.09		B1

Soort	Ecozone	Tijd	Ecozone:Tijd	Cluster
Canadese gans	0.15	0.33		B2

De variabele Ecozone geeft aan dat in minstens een ecozone het aantal dieren gemiddeld verschilt van dat in de andere ecozones. Het aandeel van deze variabele geeft aan hoe belangrijk dat verschil is. Zo verklaart deze variabele voor Scholekster meer dan de helft van de waargenomen variabiliteit (57%), terwijl dit voor Dodaars slechts 17% bedraagt. Dat impliceert dat de verschillen tussen de ecozones bij Dodaars minder uitgesproken zijn dan bij Scholekster. Dat geeft echter geen indicatie van de manier waarop de ecozones van elkaar verschillen. We stellen vast dat Ecozone voor alle soorten een belangrijke component is (Tabel II-25). Het percentage verklaarde variantie schommelt tussen 6% (Blauwe reiger) en 57% (Scholekster).

De variabele Tijd geeft het belang van een lineaire lange termijntrend weer. Het valt dadelijk op dat Tijd voor 12 van de 32 soorten onbelangrijk is (lege velden voor Tijd in Tabel II-25). Voor deze soorten konden we dus geen lineaire lange termijntrend vaststellen. Het aantal dieren blijft dan min of meer constant. Merk op dat voor 8 soorten Tijd 0% van de totale variantie verklaart. Voor deze soorten is echter wel de interactie tussen Tijd en Ecozone van belang. Om de resultaten van het model te kunnen interpreteren, is het in dergelijke gevallen nodig om Tijd toch in het model te houden. Voor de interpretatie van de interactie verwijzen we naar de volgende paragraaf. Er blijven dus 12 soorten over waarbij Tijd een min of meer belangrijke rol speelt. Bij deze soorten zien we duidelijke wijzingen in de aantallen en dat over de ecozones heen. Dat effect is zeer sterk bij exoten als Canadese gans (33%) en Nijlgans (16%). Beide soorten vertonen na 2000 een exponentiële toename in de aantallen (zie bijlage B). Bij de inheemse soorten is het effect vooral bij Waterhoen belangrijk (16%). Het aantal waterhoenen vertoont een gestage daling sinds het begin van de tellingen (zie bijlage B). Bij de overige soorten bedraagt het aandeel verklaarde variantie minder dan 10%.

De laatste variabele die we beschouwen is de interactie tussen Ecozone en Tijd. We moeten deze interactie interpreteren als verschillen tussen ecozones in de lange termijntrend. Tabel II-25 geeft aan dat deze interactie aanwezig is bij 16 soorten. Het belang van deze interactie loopt op tot 10% bij Oeverloper. De aantallen van Oeverloper blijven min of meer constant in zoet – kort, dalen in zoet – lang en oligohalien en stijgen in mesohalien (zie bijlage B). Merk op dat bij 8 van deze soorten Tijd 0% van de totale variantie verklaart. Wanneer Tijd geen variantie verklaart en de

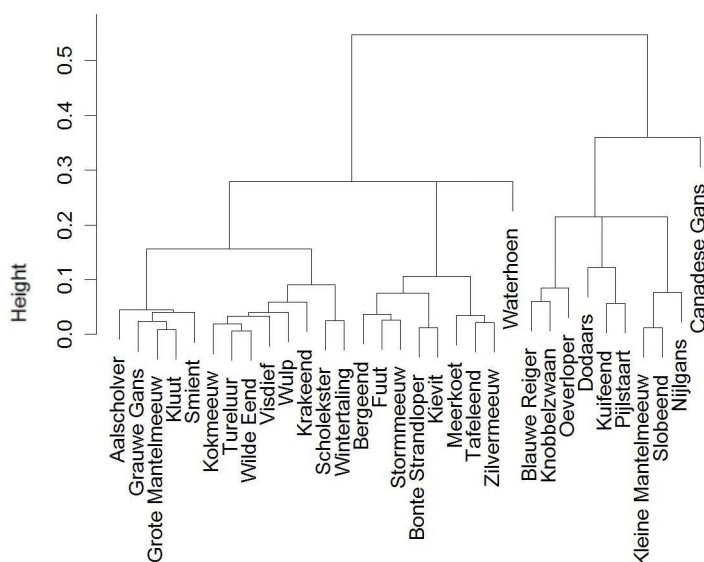
interactie Ecozone:Tijd wel, dan impliceert dat de afwezigheid van een globale trend gecombineerd met de aanwezigheid van specifieke trends per ecozone. Een afwezige globale trend betekent dat we geen lange termijn trend kunnen onderscheiden als we naar de data kijken zonder de informatie over de ecozone. De aanwezigheid van de interactie geeft dan aan dat we wel lange termijntrends kunnen onderscheiden wanneer we kijken naar de gegevens van de afzonderlijke ecozones. We zien dan bij minstens een ecozone een trend die verschilt van de trend in de andere ecozones.

Onze eerste indruk is dat we de soorten op basis van Tabel II-25 in vier groepen kunnen indelen: 1) soorten met alleen verschillen tussen de ecozones; 2) soorten met verschillen tussen ecozones en een globale lineaire lange termijn trend; 3) soorten met verschillen tussen ecozones, een globale lineaire lange termijn trend en verschillende lineaire lange termijn trends per ecozone; en 4) soorten met verschillen tussen ecozones en een verschillende lineaire lange termijn trend per ecozone maar zonder globale lineaire lange termijn trend. Met behulp van multivariate technieken kunnen we op een meer objectieve manier nagaan in hoeverre deze inschatting correct is.

Hoewel we verschillende multivariate technieken gebruikt hebben, beperken we ons hier tot de resultaten van een divisieve hiërarchische clustering (Diana: DIvisive ANALysis Clustering). Figuur II-61 geeft het dendrogram weer van een dergelijke clustering. De horizontale lijnen geven aan wanneer we een cluster verder kunnen opsplitsen. Hoe hoger deze lijn, hoe groter het verschil tussen beide clusters. Dit dendrogram suggereert een opdeling in twee hoofdclusters die we A en B noemen. Cluster A kunnen we verder opdelen in drie clusters A1 tot A3. In hoofdcluster B scheidt Canadese Gans (B2) zich duidelijk af van de overige soorten (B1).

We hebben het lidmaatschap van de clusters toegevoegd aan Tabel II-25. Hieruit blijkt ons eerste idee over de opdeling niet ideaal te zijn. Het onderscheid tussen clusters A en B blijkt gebaseerd op het belang van Ecozone. Voor de soorten in cluster A verklaart Ecozone minstens 30% van de totale variantie. In cluster B is dat minder dan 30%. Binnen cluster A is Waterhoen een buitenbeentje omdat het de enige soort is binnen deze cluster waarvoor Tijd zeer belangrijk is (16% verklaarde variantie). Hierdoor vormt deze soort op zijn eentje de cluster A3. Het onderscheid tussen de clusters A1 en A2 lijkt opnieuw hoofdzakelijk gebaseerd op het belang van Ecozone. Voor de soorten in A1 verklaart Ecozone minstens 42% van de variantie, voor de soorten

in A2 is dat tussen 30 en 42%. Zoals reeds hoger vermeldt, splitst Canadese gans (B2) zich af van de andere soorten in B (B2) omdat dit de enige soort is waarvoor Tijd (33%) belangrijker is dan Ecozone (15%).



Divisive Coefficient = 0.9

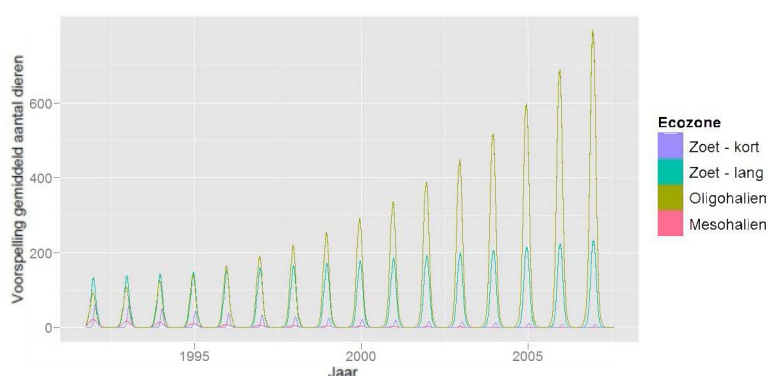
Figuur II-61. Dendrogram van Diana voor het percentage verklaarde variantie van het beperkte model voor het aantal dieren per analysejaar.

B Aantal dieren per maand

Tabel II-26 geeft een overzicht van het aandeel verklaarde variantie wanneer we de gegevens op maandbasis beschouwen. Ditmaal kunnen we eveneens met de seizoenaliteit rekening houden. De variabelen Ecozone, Tijd en hun interactie Ecozone:Tijd kennen we al uit de vorige analyse. Bij deze analyse hebben ze dezelfde betekenis. Het toevoegen van Seizoen impliceert dat we nog twee bijkomende interactietermen krijgen: Ecozone:Seizoen en Tijd:Seizoen. De drieweg interactie Ecozone:Tijd:Seizoen bleek nergens aanwezig.

Seizoen is een soort golfbeweging die we aan het model toevoegen. We hebben hiervoor een sinusoïdale golf gekozen zodat we in elk jaar een piek en dal hebben. De afstand tussen twee opeenvolgende pieken/dalen is exact een jaar. De afstand tussen een piek en een dal is exact een half jaar. Het model bepaalt de amplitude en de faseverschuiving van deze golf. De amplitude is

het verschil in aantal dieren tussen de piek en het dal. De faseverschuiving is het moment van het jaar waar de piek valt. Als Seizoen in Tabel II-26 een hoge waarde heeft, dan wijst dat op belangrijke aantalsschommelingen tijdens het jaar die zich simultaan voordoen in alle ecozones. Seizoen blijkt in het model van elke soort voor te komen. Het verklaart tussen 0 en 33% van de variantie in de aantallen. Tafeleend is de soort waarbij Seizoen 33% van de variantie verklaart. Het effect daarvan valt onmiddellijk op als we kijken naar de voorspelde gemiddelde aantallen (Figuur II-62). Het is meteen duidelijk dat Tafeleend een typische overwinterende soort is waarbij de aantallen in de winter beduidend hoger zijn dan de aantallen in de zomer.

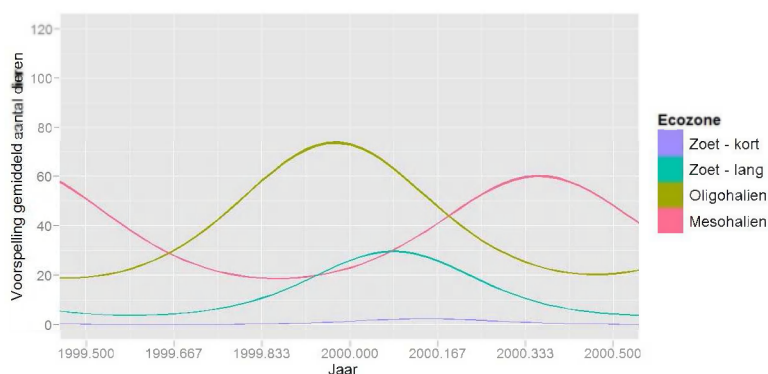


Figuur II-62. Voorspelde gemiddelde aantallen per traject en per maand voor Tafeleend.

17 soorten vertonen een interactie tussen Ecozone en Seizoen (Tabel II-26). De interpretatie van een dergelijke interactie is dat zowel de amplitude als de faseverschuiving kan verschillen per ecozone. De voorspelde aantallen van Bergeend tussen juli 1999 en juli 2000 in Figuur II-63 geven hiervan een uitstekend voorbeeld. We zien duidelijk dat de pieken van de verschillende ecozones op een ander moment vallen. De piek in het oligohalien valt in december – januari, terwijl de piek in mesohalien pas in mei – juni is. Elke ecozone heeft dus een andere faseverschuiving. Daarnaast zien we eveneens verschillen in de amplitude tussen de ecozones. Zo schommelen de aantallen in oligohalien tussen gemiddeld 20 en 75 stuks per traject. In zoet – kort zijn er hooguit gemiddeld enkele dieren per traject aanwezig. Het belang van deze interacties varieert van 1 tot 8%. Bij Bergeend verklaart de interactie 6% van de totale variantie.

Tabel II-26. Dataset van het aandeel verklaarde variantie van het beperkte model voor aantal dieren met de modellen op basis van maand. Afkortingen: E = Ecozone, S = Seizoen, T = Tijd, E:S = interactie Ecozone en Seizoen, E:T = interactie Ecozone en Tijd, T:S = interactie Tijd en Seizoen.

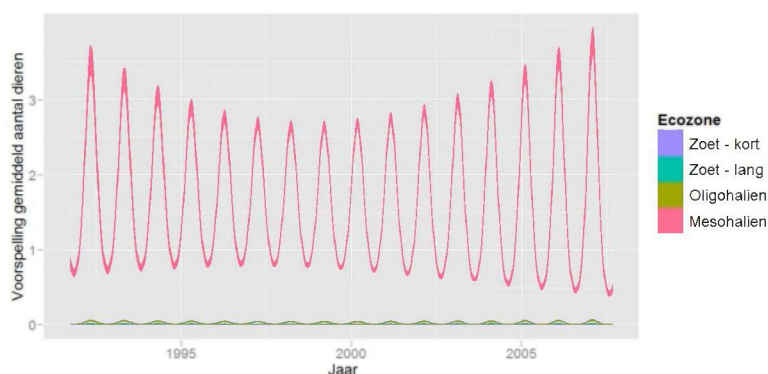
Soort	E	S	T	E:S	E:T	T:S	Cluster
Aalscholver	0.28	0.04	0.02	0.01			A1
Bergeend	0.22	0.01	0.00	0.06	0.02		A1
Kluut	0.34	0.00	0.00			0.01	A1
Kokmeeuw	0.35	0.03					A1
Scholekster	0.41	0.05					A1
Tureluur	0.32	0.03	0.00			0.01	A1
Waterhoen	0.31	0.06	0.11		0.01		A1
Wilde Eend	0.36	0.09		0.01			A1
Wulp	0.41	0.02	0.02				A1
Zilvermeeuw	0.27	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	A1
Grauwe Gans	0.31	0.15					A2
Krakeend	0.31	0.23	0.03	0.01	0.02		A2
Smient	0.34	0.16					A2
Visdief	0.29	0.25					A2
Wintertaling	0.34	0.28	0.00		0.01		A2
Blauwe Reiger	0.02	0.04					B1
Fuut	0.19	0.12		0.03			B1
Grote Mantelmeeuw	0.22	0.09		0.02			B1
Kievit	0.16	0.10	0.00	0.02	0.02		B1
Kleine Mantelmeeuw	0.10	0.13	0.04	0.01			B1
Nijlgans	0.12	0.08	0.09	0.02			B1
Slobeend	0.09	0.05	0.05	0.01			B1
Bonte Strandloper	0.18	0.21	0.00	0.01	0.02		B2
Kuifeend	0.14	0.15	0.00		0.04		B2
Meerkoet	0.24	0.20	0.01	0.02	0.02		B2
Oeverloper	0.03	0.21	0.01	0.08	0.04		B2
Pijlstaart	0.15	0.19	0.00	0.03	0.01		B2
Stormmeeuw	0.18	0.19		0.04			B2
Tafeleend	0.21	0.33	0.01	0.01	0.02		B2



Figuur II-63. Detail van de voorspelde gemiddelde aantallen per traject en per maand van Bergeend.

Bij slechts 3 soorten stellen we een interactie tussen Tijd en Seizoen vast. Een dergelijke interactie laat twee fenomenen toe. Een eerste fenomeen is dat de amplitude van de schommelingen wijzigt in de tijd. De schommelingen zullen dus geleidelijk groter of kleiner worden in de tijd. Het tweede fenomeen is een geleidelijke verandering in de faseverschuiving. Dit betekent dat het piekmoment niet in eenzelfde periode van het jaar valt. Figuur II-64 illustreert een dergelijk fenomeen. Deze figuur geeft de seizoenale schommelingen weer van het aantal Tureluurs. In 1995 bevinden we ons in januari ergens tussen het dal- en het piekmoment, maar nog vrij dicht bij het dal. In 2000 zien we dat we ons in januari nog steeds tussen dal en piek bevinden, doch reeds over halfweg. In 2005 bereiken we in januari reeds bijna de piek. We kunnen dus besluiten dat het tijdstip van het piekmoment tussen 1995 en 2005 ongeveer 4 maanden vervroegd is.

Deze interactie kan een veranderd gebruik van het Schelde-estuarium betekenen. Bijvoorbeeld voor de tureluur in verhouding meer overwintelaars tov broedvogels. Deze interactie komt slechts bij een klein aantal soorten voor. Als ze dan toch voorkomt, heeft ze maar een beperkt belang aangezien deze interactie hooguit 1% van de variabiliteit verklaart.

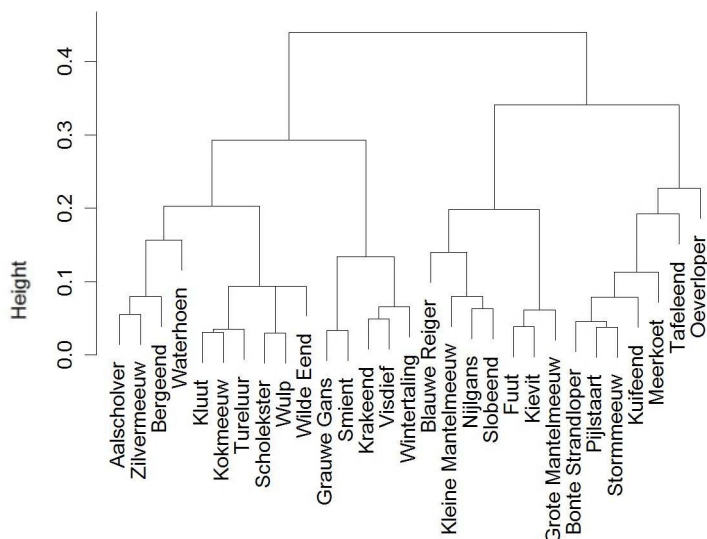


Figuur II-64. Voorspelde gemiddelde aantallen per traject en per maand van Tureluur.

In Figuur II-65 geven we het dendrogram van de divisive clusering (Diana) weer. We zien twee duidelijke hoofdclusters (A en B) ontstaan. Elk van de hoofdclusters valt uiteen in twee duidelijke clusters, resp. A1 – A2 en B1 – B2. We hebben het lidmaatschap van de clusters toegevoegd aan Tabel II-26. Het belang van Ecozone lijkt opnieuw een van de belangrijkste factoren voor de opdeling tussen de hoofdclusters. Bij de soorten in hoofdcluster A is Ecozone vrij belangrijk omdat deze variabele bij elke soort minstens 22% van de variantie verklaart. Hoofdcluster B bevat vooral soorten waarbij er minder verschillen tussen de Ecozones zijn. Ecozone verklaart bij deze soorten hoogstens 24% van de variabiliteit. Merk op dat er een zekere overlapping is. Voor de soorten waarbij Ecozone tussen 22 en 24% van de variantie verklaart, is het belang van Seizoen doorslaggevend. Als het belang van Seizoen laag is ($< 9\%$), dan rekenen we de soort bij hoofdcluster A. De verdere opdeling van de hoofdclusters is in beide gevallen hoofdzakelijk gebaseerd op het belang van Seizoen. Cluster A1 bevat de soorten met een beperkte invloed van Seizoen ($< 9\%$) en cluster A2 de soorten met een grotere invloed van Seizoen ($> 15\%$). Bij clusters B1 en B2 ligt de grens op Seizoen $< 13\%$ voor B1 en Seizoen $> 19\%$ voor B2.

Globaal krijgen we dus vier clusters waarbij duidelijk verschillende patronen van belang zijn. Cluster A1 bevat soorten met duidelijke verschillen tussen de ecozones en relatief kleine verschillen tussen de seizoenen. M.a.w. een cluster met eerder vogels die gedurende het gehele jaar in de Zeeschelde voorkomen met voorkeur voor een bepaalde ecozone. Cluster A2 bevat soorten met duidelijke verschillen tussen de ecozones en eveneens duidelijke seizoenale schommelingen. Dit zijn dus eerder trekvogels met voorkeur voor een bepaald deel van de Zeeschelde. Cluster B1 zijn soorten met beperkte verschillen tussen de ecozones en een zeker belang van Seizoen. Het zijn dus soorten een weinig duidelijke voorkeur voor bepaalde ecozones, die in beperkte mate trekken

of standvogels met grote populatieschommelingen tijdens het jaar. Cluster B2 tenslotte bevat soorten met relatief weinig verschil tussen de ecozones maar met duidelijke verschillen tussen de seizoenen. Het zijn dus trekvogels met een beperkte voorkeur voor bepaalde ecozones.



Divisive Coefficient = 0.84

Figuur II-65. Dendrogram van Diana voor het percentage verklaarde variantie van het beperkte model voor het aantal dieren per maand.

C Motivering van de keuze van de soorten

Binnen het tijdsbestek van dit project is het niet mogelijk om voor elke soort een model te bouwen en dat model grondig te bespreken. Daarom hebben we ons beperkt tot drie soorten: Bergeend, Tafeleend en Wintertaling. Voor deze keuze hebben we ons in eerste instantie gebaseerd op de indeling in groepen volgens Tabel II-26. Elke groep bevat soorten waarvoor andere patronen belangrijk zijn. Door uit elke groep een soort te kiezen, kunnen we nagaan in hoeverre we al deze verschillende patronen kunnen modelleren. De domeinexperts kozen uit elke groep de voor hun meest interessante soort. In groep B1 werd geen enkele soort echt belangrijk geacht. Bijgevolg werden slechts drie soorten geselecteerd. De tijd die we normaal zouden investeren in een vierde soort, werd gebruikt om de modelbouw van de drie andere soorten te verfijnen.

III Modelbouw

1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we op zoek naar meer gedetailleerde modellen die de fluctuaties in het aantal watervogels kunnen verklaren. We beperken ons hierbij tot de gemiddelde aantallen per traject en per winter voor Bergeend, Tafeleend en Wintertaling. We pogen de modellen te verbeteren door er meteorologische en fysiotoopinformatie aan toe te voegen.

2 Methoden

A Statistische modellen

In dit onderdeel beschrijven we de methoden die we zullen gebruiken bij de modelbouw voor het totaal aantal dieren per traject en per winter. Deze methodologie zal identiek zijn voor alle soorten.

We kunnen twee belangrijke verschillen aanhalen met de verkennende analyses. Ten eerste gebruiken we een groter aantal onafhankelijke (= verklarende) variabelen. Ten tweede maken we nu gebruik van linear mixed effects models (lme), terwijl we voor de verkennende analyses generalised linear models (glm) gebruikten. We kiezen voor lme omdat dit meer flexibele modellen toelaat. Lme gaat echter uit van normaal verdeelde residu's terwijl glm ook Poisson verdeelde residu's toelaat. Tellingen van het aantal dieren volgen typisch een Poisson verdeling, daarom lag de keuze voor glm in de verkennende analyse voor de hand. In principe zouden we nu best generalised linear mixed models gebruiken (glme). Dat lukt helaas niet omdat AIC niet gedefinieerd is bij glme met Poisson-verdeelde residu's. Dus moeten we noodgedwongen terugvallen op lme. Het is algemeen bekend dat tellingen na een $\log_{10}(x+1)$ -transformatie bij benadering normaal verdeeld zijn. Bijgevolg kunnen we na deze transformatie toch lme gebruiken.

B Gebruikte variabelen

Globaal kunnen we gebruikte variabelen opdelen volgens hun ruimtelijke en temporele component. De respons en offset variabelen zijn een eerste groep variabelen. Deze variabelen definiëren ons onderzoeksobject. De tweede groep bestaat uit de temporele variabelen. Zij variëren in de tijd en zijn constant in de ruimte. De derde groep zijn de spatiale variabelen. Deze veronderstellen we constant in de tijd maar variëren in de ruimte. De temporele variabelen zijn bijgevolg steeds onafhankelijk van de spatiale variabelen. Tenslotte zijn er nog de spatiotemporele variabelen. Deze variëren zowel in tijd als ruimte.

B.1 Respons en offsetvariabelen

De responsvariabele die we wensen te modelleren is het totaal aantal dieren per traject en per winter, verder de winteraantallen genoemd, na een $\log_{10}(x+1)$ -transformatie. Verder weten we dat niet elk traject even lang is. We corrigeren hiervoor door de log-getransformeerde aslengte als offset te gebruiken. Dat is statistisch equivalent met de winteraantallen per traject te delen door de aslengte van het traject. Behalve voor de aslengte moeten we een zelfde manier eveneens corrigeren voor het aantal maanden beschikbare tellingen. Meestal hebben we 6 tellingen per winter beschikbaar, doch van een beperkt aantal winters en trajecten hebben we slechts 5 tellingen beschikbaar.

LogDieren:	Totaal aantal dieren van een soort per traject en per winter, $\log_{10}(x+1)$ getransformeerd.
Aslengte:	$\log_{10}(x)$ -transformatie van de gemiddelde aslengte van een traject in m.
Geteld:	Aantal maanden met telgegevens voor een bepaald traject en een bepaalde winter, $\log_{10}(x)$ getransformeerd.

B.2 Temporele variabelen

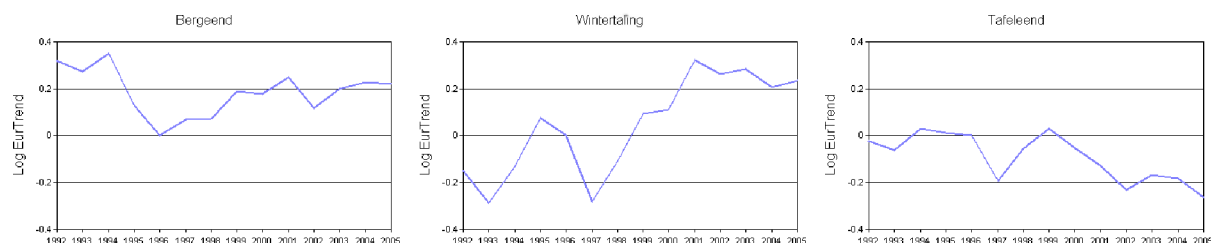
De meeste voor de handliggende temporele variabele is het jaartal waarin de winteraantallen worden waargenomen. Om eveneens kwadratische en kubische trends toe te laten definiëren we drie nieuwe variabelen: Tijd1, Tijd2 en Tijd3.

- Tijd1:** Jaartal – 1996 zodat $Tijd1 = 0$ in 1996. Een positieve regressieparameter geeft een stijgende lineaire trend aan.
- Tijd2:** $Tijd1^2$. Deze variabele modelleert een kwadratisch (parabolisch) verloop. Een positieve waarde geeft aan dat de parabool een dal vertoont. Bij een negatieve waarde zien we een top.
- Tijd3:** $Tijd1^3$. Een kubische trend verloopt in de oorsprong redelijk gelijkaardig als lineaire trend. Doch hoe verder van de oorsprong hoe extremer ze afwijkt van de lineaire trend.

De populaties in de Zeeschelde zijn voor de meeste soorten slechts een onderdeel van Noordwest-Europese populatie. Een trend van de aantallen in de Zeeschelde kan dus het gevolg zijn van een Europese trend. Om hiermee rekening te houden maken we gebruik van de Noordwest-Europese trendindex per soort (Wetlands international, niet gepubliceerd). Deze trendindices zijn echter maar tot 2005 beschikbaar. Hierdoor kunnen we de twee laatste jaren van onze tijdreeks (2006 en 2007) niet gebruiken. Deze trendindex gebruikt 1996 als referentiejaar. Daarom gebruiken we datzelfde jaartal eveneens bij de Tijd als referentie.

De aantallen uit Vlaanderen gebruiken we niet. De reden hiervoor is dat de aantallen in Vlaanderen voor een belangrijk deel bepaald zullen worden door de aantallen in de Zeeschelde. Door de Vlaamse aantallen dan te gebruiken om de aantallen in de Zeeschelde te schatten krijgen we een cirkelredenering.

EurTrend: Trendindex voor de Noordwest-Europese populatie, $\log_{10}(x)$ getransformeerd.



Figuur III-1. $\log_{10}(x)$ getransformeerde Noordwest-Europese trendindex voor de gemodelleerde soorten.

We weten dat de temperatuur een belangrijke invloed kan hebben op het aantal aanwezige dieren. Op basis van de tijdreeks van temperatuurgegevens van het weerstation Stabroek berekenden we:

Vorstgetal: Het vorstgetal van Eijnen als een maat voor de strengheid van de winter. De formule is $V = \frac{v^2}{363} + \frac{2y}{3} + \frac{10z}{9}$ met v: het aantal vorstdagen (dagen met minimumtemperatuur < 0°C); y: het aantal ijsdagen (dagen met maximumtemperatuur < 0°C) en z: het aantal zeer koude dagen (dagen met minimumtemperatuur < -10°C).

We berekenden ook de gemiddelde wintertemperatuur maar weerhielden enkel het vorstgetal. De gemiddelde wintertemperatuur is een relevante maat, doch te sterk gecorreleerd met het vorstgetal om bruikbaar te zijn bij de modelbouw.

Tabel III-1 geeft een samenvatting van de waarden voor de geselecteerde temporele variabelen met uitzondering van EurTrend. De Europese trendindex zal namelijk verschillen van soort tot soort.

Tabel III-1. Samenvatting van de waarden van de temporele variabelen. Gem.: gemiddelde, St.dev.: standaard afwijking, Min.: minimum, Q10: 10% kwantiel, Q25: 25% kwantiel, Q50: mediaan, Q75: 75% kwantiel, Max.: maximum.

	Gem.	St.dev.	Min.	Q25	Q50	Q75	Max.
Tijd	1998.50	4.03	1992	1995	1998.5	2002	2005
Vorstgetal	8.83	6.99	2.48	3.79	6.99	9.95	28.77

B.3 Spatiale variabelen

Zoals het jaartal een natuurlijke kandidaat is bij de temporele variabelen is de afstand tot de monding dat bij de spatiale variabelen. Een andere variabele die de locatie langs de Schelde mee bepaald is het getijverschil. Dat is het verschil in waterstand tussen hoogwater en laagwater. We hebben het getijverschil omgevormd tot de variabele SqrtDeltaAmplitude. De meeste soorten vertonen de hoogste aantallen in de buurt van het hoogste getijverschil (Figuur III-3). Deze nieuwe

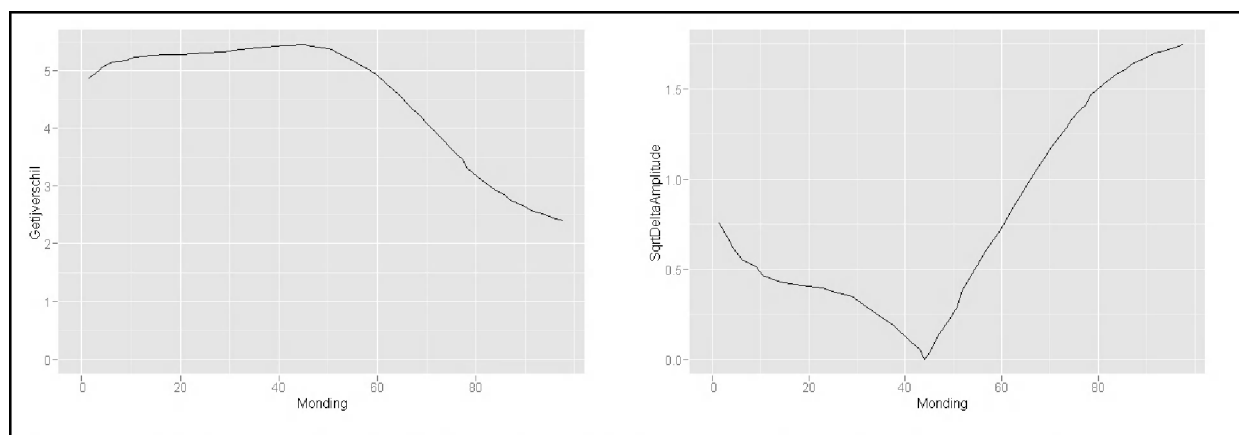
variabele is dus een maat voor het afwijkend getijverschil. Zoals Figuur III-2 aangeeft zijn er vrij kleine verschillen in getijverschil tussen 0 en 60 km. Verder naar Gent toe wordt het getijverschil drastisch kleiner. Het verloop van het getijverschil is gelijkaardig als dat van de winteraantallen, doch minder sterk uitgesproken. Figuur III-4 geeft aan dat het verband tussen de winteraantallen en getijverschil niet lineair is. Bovendien hebben we heel veel waarnemingen bij hoge getijverschillen en weinig bij lagere getijverschillen. Door een vierkantswortel transformatie toe te passen op het verschil tussen het getijverschil en het maximale getijverschil krijgen we een betere verdeling van de waarden. Bovendien krijgen we nu wel een lineair verband met de winteraantallen. Deze eigenschappen geldt overigens zowel bij Bergeend als Wintertaling en Tafeleend.

Monding: Gemiddelde afstand tot de Belgisch-Nederlandse grens van een traject, gemeten in km langs de aslijn van de Schelde.

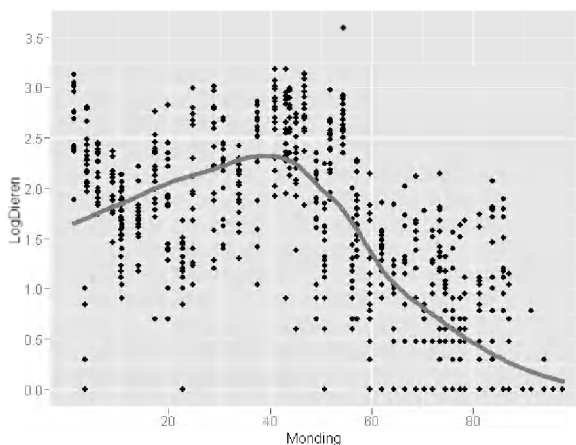
Getijverschil: Gemiddelde per traject van het verschil tussen de geïnterpoleerde hoogwaterstand en de geïnterpoleerde laagwaterstand (in m). Gebaseerd op beschikbare gegevens van de tijposten langs de Schelde.

SqrtDeltaAmplitude: Een afgeleide variabele van getijverschil. Meer bepaald

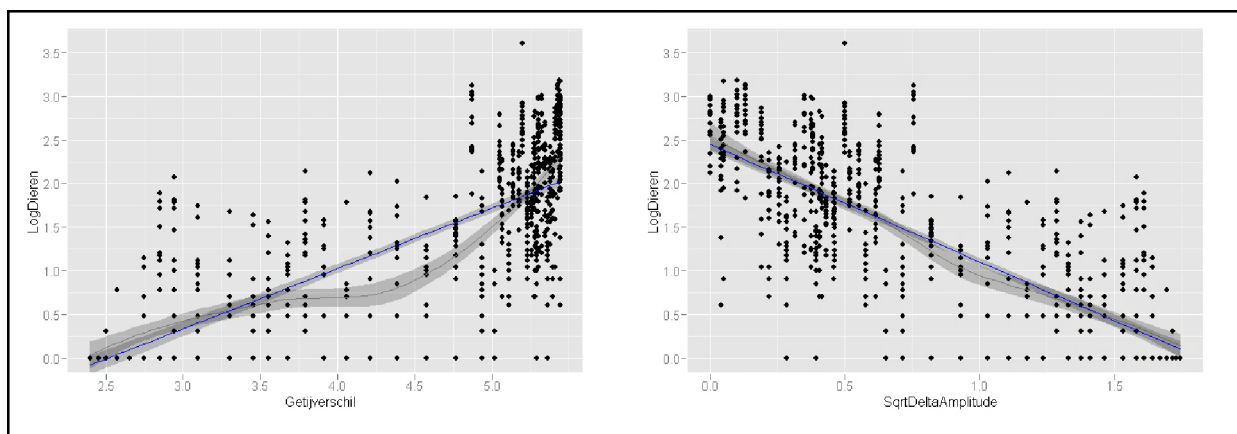
$$\sqrt{\max(\text{getijverschil}) - \text{getijverschil}}.$$



Figuur III-2. Het getijverschil (links) en SqrtDeltaAmplitude (rechts) i.f.v. de afstand tot de monding.



Figuur III-3. Winteraantallen van Bergeend i.f.v. de afstand tot de monding. Volle lijn loess smoother van LogDieren i.f.v. Monding.



Figuur III-4. Winteraantallen van Bergeend i.f.v. Getijverschil (links) en SqrtDeltaAmplitude (rechts) met loess smoother (zwart) en lineaire trend (blauw).

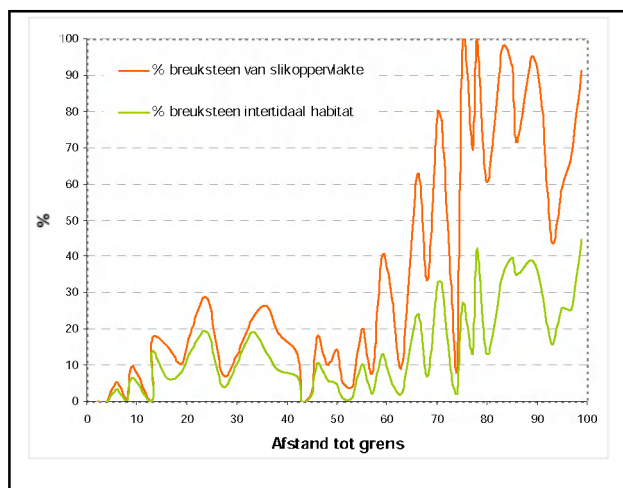
Op basis van een overlay tussen de beschikbare fysiotopenkaart en de trajecten hebben we een aantal fysiotoopkenmerken per traject afgeleid. De fysiotopenkaart bevat negen klassen. Hiervan hebben we de klasse 'antropogeen' genegeerd en de overgebleven acht klassen geaggregeerd tot vier grote klassen:

- Diep water: vrij diep sublitoraal en diep sublitoraal
- Ondiep water: ondiep sublitoraal
- Slik: laag slik, middelhoog slik en hoog slik
- Schor: pionierzone en schorzone

Voor elk van deze klassen hebben we zowel oppervlakte gerelateerde als breedte gerelateerde maten berekend. Als oppervlaktemaat gebruiken we de $\log_{10}(x)$ -getransformeerde oppervlakte in m^2 . Op basis van een andere kaartlaag hebben we op gelijkaardige manier een oppervlaktemaat voor breuksteen berekend.

OppDiepwater:	Oppervlakte diep water per traject in m^2 , $\log_{10}(x)$ getransformeerd.
OppOndiepwater:	Oppervlakte ondiep water per traject in m^2 , $\log_{10}(x)$ getransformeerd.
OppSlik:	Oppervlakte slik per traject in m^2 , $\log_{10}(x)$ getransformeerd.
OppSchor:	Oppervlakte schor per traject in m^2 , $\log_{10}(x)$ getransformeerd.
OppBreuksteen:	Oppervlakte breuksteen per traject in m^2 , $\log_{10}(x + 1)$ getransformeerd.

Op te merken is dat in de gebruikte fysiotopendata de oppervlakte slik inclusief de oppervlakte breuksteen is. Voor de informatie over breuksteen werd andere geografische data gebruikt. De relatieve oppervlakte breuksteen (gecorrigeerd voor trajectlengte) vertoont geen sterke oppervlakte relatie langsheen de Zeeschelde. Er zijn echter een aantal trajecten in het mesohalien zonder breuksteen die ervoor zorgen dat er sprake is van een toename met de afstand tot de monding. Voor toekomstige modellering kan het interessant zijn om de variabele breuksteen als een verhouding te nemen met de totale slikoppervlakte of intertidaal habitat. In deze verhouding is een duidelijke toename te zien met afstand tot de grens.



Figuur III-5. Relatieve bijdrage van breuksteen tot het totale slikoppervlak en het intertidaal habitat.

Voor de breedte gerelateerde maten hebben we ons gebaseerd op een kaartlaag met transecten loodrecht op de aslijn van de Schelde. De transecten vertrekken telkens uit een punt op de aslijn waarbij de onderlinge afstand tussen twee punten telkens 50 m bedraagt (gemeten langs de aslijn). Vervolgens hebben we de totale afstand gemeten dat een bepaald transect in een fysiotoopklasse valt en dat opgesplitst in linker- en rechteroever. Tabel III-2 geeft een voorbeeld van de cijfers die we krijgen voor een dergelijk transect.

In totaal hebben we per traject gegevens van 6 à 32 transecten. Na een $\log_{10}(x+1)$ -transformatie berekenen we per traject en fysiotoopklasse het gemiddelde en de standaard afwijking. Dat levert ons 4 fysiotoopklassen x 2 maten = 8 variabelen op.

TransectMeanDiepwater: Gemiddelde per traject van $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde breedte diep water.

TransectMeanOndiepwater: Gemiddelde per traject van $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde breedte ondiep water.

TransectMeanSlik: Gemiddelde per traject van $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde breedte slik.

TransectMeanSchor: Gemiddelde per traject van $\log_{10}(x+1)$ getransformeerde breedte schor.

TransectSdDiepwater:	Standaard	afwijking	per	traject	van	$\log_{10}(x+1)$
	getransformeerde breedte diep water.					
TransectSdOndiepwater:	Standaard	afwijking	per	traject	van	$\log_{10}(x+1)$
	getransformeerde breedte ondiep water.					
TransectSdSlik:	Standaard	afwijking	per	traject	van	$\log_{10}(x+1)$
	getransformeerde breedte slik.					
TransectSdSchor:	Standaard	afwijking	per	traject	van	$\log_{10}(x+1)$
	getransformeerde breedte schor.					

Tabel III-2. Voorbeeld van de afstanden per fysiotoop gemeten langs een transect loodrecht op de aslijn van de Schelde.

Fysiotoop	Linkeroever	Rechteroever
Diep water	137 m	157 m
Ondiep water	11 m	6 m
Schor	66 m	9 m
Slik	16 m	28 m

Verscheidene van deze variabelen zijn sterk met elkaar gecorreleerd. Omdat hierdoor de modelbouw gehypothekeerd kan worden, besluiten we om enkel de variabelen met een beperkte onderlinge correlatie over te houden. Een overzicht van deze variabelen geven we in Tabel III-3. Selectiecriteria $R < 0.7$.

Tabel III-3. Overzicht van de waarden van de fysiotoopkenmerken. Gem.: gemiddelde, St.dev.: standaard afwijking, Min.: minimum, Q10: 10% kwantiel, Q25: 25% kwantiel, Q50: mediaan, Q75: 75% kwantiel, Max.: maximum.

	Gem.	St.dev.	Min.	Q25	Q50	Q75	Max.
SqrtDeltaAmplitude	0.81	0.56	0.00	0.38	0.62	1.34	1.75
OppBreuksteen	3.89	1.22	0.00	3.96	4.27	4.47	4.81
OppSlik	4.88	0.54	3.60	4.47	4.84	5.28	6.08
OppSchor	4.97	0.42	3.94	4.62	5.03	5.27	5.68

TransectSdDiepwater	0.13	0.07	0.03	0.07	0.11	0.17	0.43
TransectSdSlik	0.33	0.14	0.12	0.23	0.30	0.38	0.85
TransectMeanOndiepwater	1.01	0.32	0.18	0.82	0.97	1.18	2.19

B.4 Spatiotemporele variabelen

We hebben de mogelijkheden onderzocht om gegevens uit de benthos en OMES databank te gebruiken.

De benthos data zijn niet bruikbaar voor onze modellen omdat ze schaars zijn en bovendien eerder op ad hoc gekozen locaties. Voor de modelbouw hebben nood aan ofwel een tijdreeks op één locatie, ofwel een eenmalige campagne met een goede steekproef langsheen de volledige Zeeschelde. Tijdreeksen langsheen een voldoende groot aantal locaties is uiteraard nog interessanter. Dergelijke campagnes zijn echter zeer arbeidsintensief.

De OMES databank bevat veel meer gegevens dan de benthos databank. Het betreft steeds metingen op puntlocaties. Voor de modellen van de watervogels moeten we ze omzetten naar cijfers per traject. Dat impliceert het interpoleren van de metingen naar een aantal punten per traject en deze vervolgens uitmiddelen. Dergelijk interpolatie is echter niet eenvoudig en arbeidsintensief. Enerzijds omdat de OMES databank gegevens van verschillende projecten bevat. Hierdoor variëren de tijdsreeksen sterk van lengte en waarnemingsperiode. Ook de geografische spreiding van de waarnemingen varieert naargelang de meetcampagne. Anderzijds stellen we vast dat sommige variabelen met verschillende instrumenten gemeten worden en dat er soms een belangrijk verschil in spreiding is tussen de instrumenten. Ten slotte bevat de databank nog regelmatig uitschieters. Vermoedelijk gaat het om menselijke fouten (tikfouten, fouten bij het kopiëren van de gegevens naar de databank,...). Een grondige controle en analyse van deze databank is nodig vooraleer ze voor onderzoek te gebruiken. Bijgevolg hebben we binnen het tijdsbestek van deze studie deze gegevens niet kunnen benutten.

We besluiten dat we op dit ogenblik geen spatiotemporele variabelen, sensu stricto, ter beschikking hebben. In ons model laten we echter een aantal interacties toe tussen temporele en spatiale variabelen. Deze interacties kunnen we, sensu lato, beschouwen als spatiotemporele variabelen.

SqrtDeltaAmplitude:Tijd1

Deze interactie laat toe dat de lineaire trend in de tijd lineaire kan veranderen met het getijverschil. We kunnen dus een

andere trend krijgen bij een hoog getijverschil dan bij een laag getijverschil.

EurTrend:SqrtDeltaAmplitude Door deze interactie kan de Noordwest-Europese trend een andere impact hebben op trajecten met een laag getijverschil i.v.m. trajecten met een hoog getijverschil.

SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal Ook de invloed het vorstgetal kan verschillen naargelang het getijverschil.

C Strategie voor modelselectie

Zoals reeds eerder gesteld is een linear mixed effect model (lme) flexibeler dan een klassieke lineaire regressie. Wat we het model noemen bij lineaire regressie is equivalent met het fixed effects model van lme. Daarnaast bevat lme onder andere random effects. We laten de random effects toe per traject. Het gaat hierbij zowel om random intercepts als random slopes volgens Tijd1 en Tijd2.

Een bijkomende flexibiliteit van lme is dat de residu's van het model niet noodzakelijk onafhankelijk moeten zijn maar volgens een bepaalde structuur onderling gecorreleerd mogen zijn. In het geval van de watervogels langs de Zeeschelde kunnen we vermoeden dat enerzijds een temporele autocorrelatie en anderzijds een spatiale autocorrelatie kan voorkomen. De temporele autocorrelatie zal gekoppeld zijn aan de variabele Tijd. De spatiale autocorrelatie kunnen we niet modelleren omdat dat niet verenigbaar is met random effects per traject. We onderzoeken volgende correlatiestructuren: geen correlatiestructuur, autoregressive (AR1) i.f.v. Tijd, continuous autoregressive (CAR1) i.f.v. Tijd, autoregressive moving average (ARMA) i.f.v. Tijd met alle relevante combinaties van $p = 0, 1$ en 2 en $q = 0, 1, 2$, compound symmetry i.f.v. Tijd.

Tot slot kunnen we met behulp van variantiestructuren rekening houden met heteroscedasticiteit. De variantiestructuren die we beschouwen zijn: geen variantiestructuur en een verschillende variantie per ecozone.

Uit de brede waaier van modellen die we kunnen creëren moeten we op zoek gaan naar het meest geschikte model. Dat impliceert dat we de modellen op een objectieve manier met elkaar kunnen vergelijken. We baseren ons hiervoor op de AIC waarde van de modellen. AIC staat voor het

Akaike Information Criterion en is een maat voor de kwaliteit van het model. Hoe lager de AIC, hoe beter het model. Hieronder beschrijven we het algoritme dat we gebruiken bij de modelselectie:

1. Ga na welk random effect de laagste AIC geeft bij de meest complexe fixed effects, zonder correlatie- en variantiestructuur. Gebruik vanaf nu steeds dit random effect.
2. Ga op een analoge manier na wat de beste correlatiestructuur is (laagste AIC). Dus met de meeste complexe fixed effects, het reeds gevonden random effect en zonder variantiestructuur. De gevonden correlatiestructuur zullen we vanaf nu steeds gebruiken.
3. Selecteer op gelijkaardige wijze de beste variantiestructuur.
4. Verfijn de fixed effects stapsgewijs vertrekkende vanaf de meest complexe fixed effects. Laat hierbij zowel voorwaartse als achterwaartse selectie toe.
 - (a) Start het algoritme door de AIC te berekenen voor de meeste complexe fixed effects.
 - (b) Selecteert van alle reeds uitgerekende modellen de modellen waarvan de AIC maximum 5 eenheden groter is dan de laagste AIC. (Bij de start van het algoritme is dit uitaard slechts een model: de meest complexe fixed effects.)
 - (c) Maak alle mogelijke modellen die slechts een term minder bevatten dan de geselecteerde modellen. Hoofdeffecten die deel uitmaken van een interactieterm mogen niet uit het model. Evenmin polynomen van een lagere orde wanneer de polynomen van een hogere orde aanwezig zijn. De meest eenvoudige fixed effects die we toelaten is $\text{LogDieren} \sim 1$. Deze stap is de achterwaartse selectie.
 - (d) Maak alle mogelijke modellen door een term uit de meest complexe fixed effects toe te voegen aan de geselecteerde modellen. Interactietermen worden pas toegevoegd als beide hoofdeffecten reeds aanwezig zijn. Hogere orde term van polynomen mogen pas in het model als alle lagere orde termen ook in het model aanwezig zijn. Dit is voorwaartse selectie. Omdat we het algoritme starten met het meest complexe model, zal de eerste stap geen voorwaartse selectie bevatten.
 - (e) Ga na voor welke van deze nieuwe modellen we de AIC nog moeten berekenen. Zijn er nog modellen waarvan we de AIC niet kennen, dan berekenen we deze

en gaan opnieuw naar stap 2. In het andere geval stopt dit algoritme en selecteren we de fixed effects van de modellen met een AIC die maximum 2 eenheden hoger is dan de laagste AIC. Deze modellen noemen we de gelijkwaardige modellen.

D Het voorstellen van de resultaten

Hier geven we een beschrijving van de resultaten die we zullen vermelden. Uiteraard geven we een uitgebreide beschrijving van het uiteindelijke model. We starten echter met een overzicht van de gelijkwaardige modellen. Door deze modellen te bestuderen krijgen we een overzicht van de variabelen die altijd of meestal in het model zitten.

Van het uiteindelijke model geven we een uitgebreid overzicht. Eerst en vooral geven we de ANOVA-tabel van de fixed effects. Deze tabel lijst alle belangrijke patronen op samen met hun marginale significantie. Vervolgens geven we de schatting van alle coëfficiënten met hun 95% betrouwbaarheidsinterval. Het gaat hierbij over de coëfficiënten van de fixed effects, de standaard afwijking van de random effects, de standaard afwijking van de residu's en de parameters van de correlatie- en variantiestructuren.

Tot slot geven we nog een visuele voorstelling van het uiteindelijke model. We beginnen met een grafiek waarop we de ruwe data van het $\log(x+1)$ -getransformeerde aantal dieren uitzetten in functie van het jaartal. We vullen deze grafiek aan met een smoother door de ruwe data. Deze benadert wat een perfect model zou voorspellen als gemiddelde. Tenslotte geven we ook het door het uiteindelijke model voorspelde gemiddelde aantal dieren. Omdat de tellingen niet enkel fluctueren in de tijd maar ook in de ruimte, maken we een gelijkaardige figuur waarbij we ditmaal de afstand langs de aslijn (i.e., de variabele Monding) op de X-as weergeven.

Tot slot geven we nog twee grafieken waarbij we de gemiddelde voorspelde waarde en de voorspelde waarde per traject of per jaar weergeven in de originele schaal. In de eerste grafiek geven we de voorspelde waarde per traject in functie van het jaartal, in de tweede grafiek de voorspelde waarde per jaar in functie van de locatie langs de aslijn van de Zeeschelde.

3 Resultaten

A Bergeend

Het algoritme selecteerde als random effect per traject een random intercept, een random slope volgens Tijd1 en volgens Tijd2. De meeste geschikte correlatiestructuur was ARMA(0, 1) in functie van Tijd. De variantiestructuur geeft een andere variantie per ecozone. Na het verder verfijnen van het meest complexe model voor de fixed effects krijgen we een model met kwadratische trend in de tijd, een interactie tussen vorstgetal en getijverschil, de oppervlakte slik, de variabiliteit van de breedte van het slik en de gemiddelde breedte van ondiep water (Tabel III-4). De lineaire trend in de tijd zit in het model omdat de kwadratische trend in de tijd in het model zit. Het getijverschil en het vorstgetal zitten eveneens in het model omdat hun interactie in het model zit. De andere gelijkwaardige modellen bevatten grotendeels dezelfde variabelen. Alle variabelen uit het beste model komen voor in alle gelijkwaardige modellen (Tabel III-5). Hieruit besluiten we dat het beste model minstens de belangrijkste componenten bevat. De andere modellen kunnen een kubische trend in de tijd, de oppervlakte breuksteen en de oppervlakte schor bevatten.

Tabel III-4. Gelijkwaardige modellen, gesorteerd volgens AIC.

AIC	Fixed effect
870.894	EurTrend + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal
871.558	EurTrend + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + Tijd3 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal
872.124	EurTrend + OppBreuksteen + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal
872.787	EurTrend + OppBreuksteen + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + Tijd3 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal
872.815	EurTrend + OppSchor + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal

Tabel III-5. Aantal keer dat een variabele voorkomt in de 5 gelijkwaardige modellen.

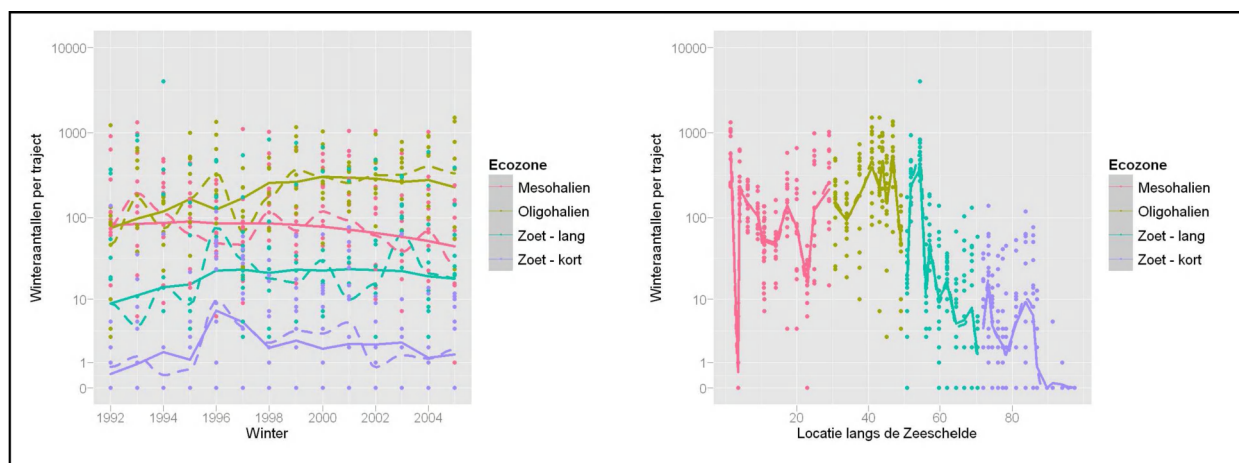
Variabele	Aantal modellen
Vorstgetal	5
TransectSdSlik	5
TransectMeanOndiepwater	5
Tijd2	5
Tijd1	5
SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	5
SqrtDeltaAmplitude	5
OppSlik	5
EurTrend	5
Tijd3	2
OppBreuksteen	2
OppSchor	1

De ANOVA tabel van het beste model geeft aan dat enkel de Europese trend niet significant is (Tabel III-6). We hebben er bewust voor gekozen om de Europese trend steeds in het model te laten zoals minstens een lineaire trend in de tijd in het model zit. Op deze manier kunnen de we trend in de tijd steeds interpreteren als het verschil tussen de lokale evolutie (Zeeschelde) en globale evolutie (Noordwest-Europa). Het model voldoet aan de assumpties van normaliteit en homoscedasticiteit van de residu's zodat het zinvol is om het model verder te interpreteren.

Tabel III-6. Anova tabel van het uiteindelijke model.

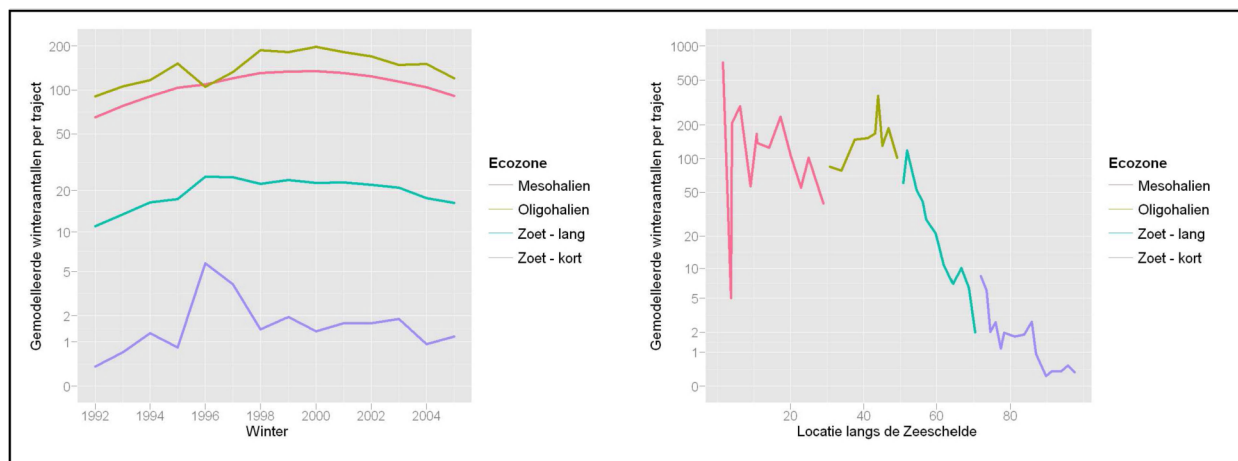
	Df, teller	Df, noemer	F-waarde	p-waarde
(Intercept)	1	619	326.81	0.0000
<i>EurTrend</i>	1	619	0.00	0.9710
OppSlik	1	43	6.69	0.0131
SqrtDeltaAmplitude	1	43	52.16	0.0000
Tijd1	1	619	10.06	0.0016
Tijd2	1	619	10.12	0.0015
TransectMeanOndiepwater	1	43	20.43	0.0000
TransectSdSlik	1	43	5.26	0.0268
Vorstgetal	1	619	7.63	0.0059
SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	1	619	25.55	0.0000

In Figuur III-6 geven we de voorspelde gemiddelde aantallen in functie van het jaartal en van de locatie langs de Zeeschelde. De gemiddelde aantallen per jaar geven een gelijkaardig beeld als bij de verkennende analyse. We zien dat zowel de gemiddelde waarden als het verloop van de trend verschillen tussen ecozones. Het oligohalien vertoont gemiddeld de hoogste aantallen per traject en deze aantallen nemen toe over de jaren heen. Het mesohalien had begin jaren '90 gelijkaardige aantallen als het oligohalien, doch deze ecozone vertoont een dalende trend. De aantallen in zoet – kort en zoet – lang zijn eerder laag en blijven min of meer constant gedurende de studieperiode. Wanneer we de gemodelleerde gemiddelden vergelijken met de smoothers dan kunnen we besluiten dat het model in staat is om de globale trends vrij goed te voorspellen.



Figuur III-6. De winteraantallen van Bergeend per traject en per ecozone met smoother (stippellijn) en de gemodelleerde aantallen (volle lijn). Links temporele modellering (1992-2005), rechts spatiale modellering km vanaf grens (1992-2005).

Wanneer we naar de voorspelde gemiddelde aantallen per traject kijken (Figuur III-6, rechts), zien we dat het model zeer goed aansluit bij de smoothers. We zien tevens een zeer grillig verloop van de aantallen langsheen de Zeeschelde. De aantallen in Figuur III-6 houden ook rekening met de random effecten. Het geselecteerde random effect laat toe dat elk traject een andere kwadratische trend vertoont en een ander basisniveau (intercept) heeft. Doordat elk traject een eigen basisniveau kan hebben, kan het model een dergelijk grillig patroon als in Figuur III-6 zonder problemen voorspellen. In Figuur III-7 geven we de voorspellende waarden zonder de random effects. Deze aantallen kunnen we interpreteren als wat er zou gebeuren in een grote “populatie” van trajecten. De curves in de rechtergrafieken van Figuur III-6 en Figuur III-7 zijn qua vorm sterk gelijkend. Bijgevolg kunnen we stellen dat de grillige verschillen tussen de trajecten hoofdzakelijk gevolg zijn van de trajecteigenschappen. Meer in het bijzonder zullen het de fysiotoopvariabelen zijn omdat enkel deze sterk kunnen verschillen van traject tot traject. Zo is de plotse daling in winteraantallen rond km 3 te verklaren omdat het traject een veel kleinere oppervlakte slik en een smallere gemiddelde breedte ondiep water heeft in vergelijking met de naastliggende trajecten. Dat is in overeenstemming met de parameterschattingen (Tabel III-7) die hogere winteraantallen aangeven bij een toenemende slikoppervlakte en een toenemende breedte van ondiep water.



Figuur III-7. Gemodelleerde winteraantallen voor Bergeend zonder random effects. Links uitgemiddeld per ecozone en per jaar, rechts uitgemiddelde per traject.

In het gedeelte tussen de grens en de piek van het getijverschil (ca km 44) zijn het voor al de fysiotopvariabelen die de winteraantallen domineren. Meer naar Gent toe speelt het getijverschil een belangrijke rol.

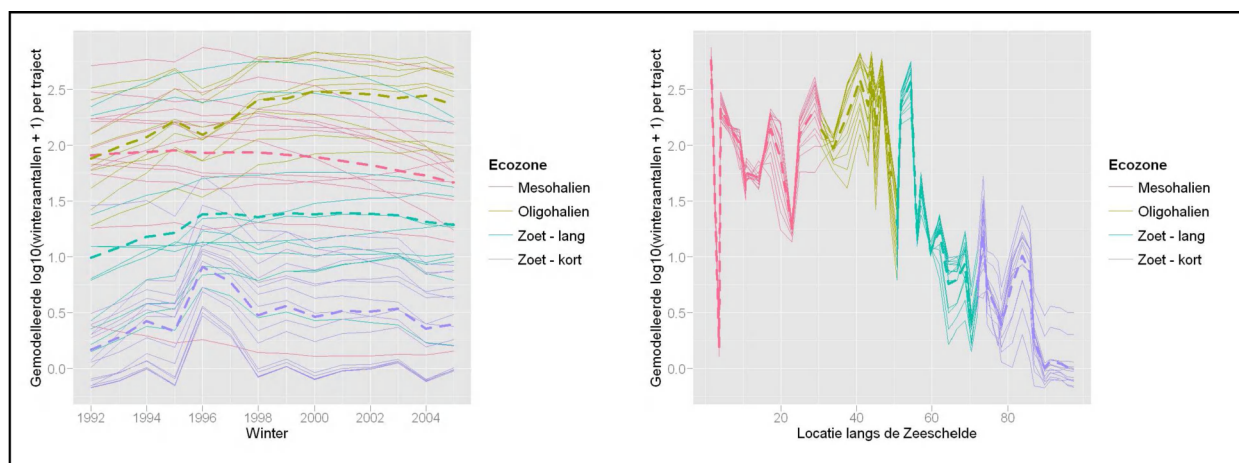
In Figuur III-7, links merken we in 1996 een duidelijke piek in zoet – kort, een beperkte piek in zoet – lang, geen piek in het mesohalien en een dal in het oligohalien. De verklaring hiervoor moeten we zoeken bij het vorstgetal en de interactie tussen het vorstgetal en het getijverschil. De winters van 1997 (vorstgetal 20) en vooral 1996 (vorstgetal 28) waren beduidend strenger dan de andere winters (vorstgetal < 10). Het hoofdeffect van het vorstgetal is negatief, wat dalende winteraantallen bij koude winters aangeeft. Daarnaast is er nog de interactieterm met $\sqrt{\Delta \text{Amplitude}}$. Als $\sqrt{\Delta \text{Amplitude}}$ nul is (= traject met hoogste getijverschil) speelt enkel het hoofdeffect van vorstgetal. In het oligohalien wijkt het getijverschil slechts weinig af van het maximale, wat het dal in 1996 verklaart. De parameter van de interactieterm is positief en bijna tweemaal zo groot als deze van het vorstgetal. Dus naarmate het getijverschil kleiner wordt, zal deze interactieterm zwaarder doorwegen. Op die manier kunnen we de pieken in zoet – lang en zoet – kort verklaren. In het mesohalien zullen het vorstgetal en de interactie met getijverschil elkaar min of meer compenseren.

De enige parameters die we nog niet besproken zijn deze van de variabiliteit van de slikbreedte en de Noordwest-Europese trend. Bergeend vertoont duidelijke hogere winteraantallen bij een toenemende variabiliteit van de slikbreedte. De parameter van EurTrend is niet significant waaruit we besluiten dat de winteraantallen in de Zeeschelde weinig afhankelijk zijn van de totale aantallen in Noordwest-Europa.

Tabel III-7. Overzicht van de modelparameters met hun 95% betrouwbaarheidsinterval.

Structuur	Parameter	Schatting	95% CI	
Fixed effects	(Intercept)	2.371	2.113	2.628
	<i>EurTrend</i>	0.019	-1.017	1.055
	OppSlik	0.392	0.086	0.698
	SqrtDeltaAmplitude	-1.003	-1.283	-0.723
	Tijd1	0.039	0.015	0.063
	Tijd2	-0.006	-0.009	-0.002
	TransectMeanOndiepwater	0.920	0.509	1.330
	TransectSdSlik	0.912	0.110	1.713
	Vorstgetal	-0.011	-0.018	-0.003
	SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	0.020	0.012	0.028
Random effect	Traject.sd((Intercept))	0.393	0.305	0.507
	Traject.sd(Tijd1)	0.057	0.039	0.083
	Traject.sd(Tijd2)	0.006	0.004	0.011
	<i>Traject.cor((Intercept),Tijd1)</i>	0.202	-0.250	0.582
	<i>Traject.cor((Intercept),Tijd2)</i>	-0.585	-0.864	-0.031
	<i>Traject.cor(Tijd1,Tijd2)</i>	-0.700	-0.897	-0.268
Standaard afwijking binnen een traject		0.412	0.369	0.459
Correlatiestructuur	Theta1	0.192	0.099	0.281
Variantiestructuur	Zoet – lang	1.215	1.033	1.430
	Mesohalien	0.827	0.702	0.974
	<i>Oligohalien</i>	0.934	0.785	1.113

In de linkerfiguur van Figuur III-8 hebben we de voorspelde waarde voor de individuele trajecten als dunne lijnen weergegeven. De dikke stippellijn is het gemiddelde per ecozone. Merk op dat er nog een vrij behoorlijke spreiding zit op de winteraantallen tussen de trajecten. De X-as van de rechterfiguur bevat de locatie van het traject. Hier is het dus weinig zinvol om de aantallen per traject met elkaar te verbinden. Dat zou namelijk leiden tot een aantal verticale lijnen. In plaats daarvan hebben we nu de voorspellingen van een zelfde winter met elkaar verbonden. Op deze manier krijgen we per traject een idee van de variabiliteit van de aantallen in de tijd. Merk op dat deze variabiliteit sterk afhangt van traject tot traject. De aantallen in Zoet – kort zijn stevast laag. In Zoet – lang zijn de aantallen eveneens eerder laag, enkel tussen Mariekerke en het veer van Hamme zien we hogere waarden. In het oligohalien liggen de aantallen stevast vrij hoog. De uitschieters naar boven zijn tussen Tielrode en de brug van Temse, Ballooi en tussen de Notelaer en de Rupelmonding. Het belangrijkste traject in het mesohalien is het Groot Buitenschoor. De trajecten tussen het Groot Buitenschoor en de Zandvlietsluis en tussen Antwerpen ponton en Sint Anneke peilpaal zijn het minst in trek bij Bergeend tijdens de winter.



Figuur III-8. Winteraantallen per traject en per winter. In de linker figuur geven de dunne lijnen de voorspelling per traject weer. De stippellijn geeft het gemiddelde per ecozone weer. In de rechterfiguur geven de dunne lijnen de voorspelling per jaar en de stippellijn het gemiddelde over de jaren heen.

A.1 Ecologische interpretatie modelresultaten

Modellering toont volgende relaties:

- Er worden hogere aantallen overwinterende bergeenden verwacht bij een toename van slikoppervlakte en bij een toenemende breedte van ondiep water. Bovendien resulteert een toenemende variabiliteit van slikbreedte ook in hogere winteraantallen van Bergeend
- Dalende aantallen overwinterende Bergeenden bij koude winters. Dit effect is voornamelijk merkbaar in het oligohalien in de zone met de hoogste tijamplitude. Er lijkt een verplaatsing van aantallen naar de andere ecozones met een kleinere tijamplitude.
- De winteraantallen in de Zeeschelde zijn weinig afhankelijk van de Europese trend

Het model is in staat om het belang van het foerageerhabitat (slik en ondiep water) te duiden voor de Bergeend. Een toename van deze fysiotopen resulteert modelmatig in een toename van de overwinterende populatie. De ecologische interpretatie van een toename in variatie aan slikbreedte is complexer. De variabele is bovendien ook marginaal significant wat zou kunnen betekenen dat we eerder een randeffect bestuderen met deze variabele.

Een grotere variatie in (slik)breedte per traject kan verschillende redenen hebben:

- Trajecten vertonen meer bochtigheid (variatie in de fysiotopbreedte in de binnenbocht in tegenstelling tot de buitenbocht) (? Meer niches om voedsel te zoeken)
- Er zijn grote verschillen tussen de oevers (bv. Antwerpen één kant kade geen slik, andere kant minieme breedte aan slik: resulteert in grote SD's) of grote variatie door afwisselend kleine stukjes slik en antropogene versteviging etc. Dit punt lijkt de voornaamste parameter die de variabele stuurt in de Zeeschelde.

De variabele is moeilijk ecologisch te interpreteren en is wellicht te mijden in toekomstige modellering.

Bij koude periodes is vorsttrek in Engeland naar zuidelijker gebieden of mildere kusten een duidelijk fenomeen (zie Van Ryckegem et al., 2006). In de Schelde is er een duidelijke afname in het Oligohalien en een matige toename in de meer beschutte zone stroomop de Zeeschelde. Een deel van de vogels trekt echter weg.

De NW-Europese populatie vertoont een licht stijgend verloop. In het Oligohalien is er wellicht wel een correlatie met de Europese trend. Globaal is er geen relatie door de afname in mesohalien en zoet-lang over de studieperiode. Binnen de studieperiode zijn het dus lokale variabelen die voor de veranderingen zorgden (zie II3A.7).

B Tafeleend

Het algoritme selecteerde per traject een random intercept en een random kwadratische trend volgens Tijd. Noch een correlatiestructuur, noch een variantiestructuur werden geselecteerd. Volgens Tabel III-8 bevat het beste model alle interacties met getijverschil (de Europese trend, het vorstgetal en de lineaire trend in de tijd). Daarnaast bevat het nog de oppervlakte van breuksteen en slik evenals een kwadratische trend in de tijd. Deze variabelen komen eveneens voor in alle gelijkwaardige modellen (Tabel III-9). Enkel de oppervlakte breuksteen ontbreekt éénmaal. Op de oppervlakte slik na blijken alle termen van het model significant (Tabel III-10). We moeten evenwel opmerken dat het effect van de oppervlakte breuksteen slechts op het randje significant is. We vonden geen afwijkingen van de assumpties van normaliteit en homoscedasticiteit.

Tabel III-8. Gelijkwaardige modellen, gesorteerd volgens AIC.

AIC	Fixed
1417.035	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + Vorstgetal
1417.986	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + Vorstgetal
1418.354	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + Vorstgetal
1418.38	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + Tijd3 + TransectMeanOndiepwater + Vorstgetal
1418.465	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + Tijd3 + Vorstgetal
1418.968	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectSdDiepwater + Vorstgetal

Tabel III-9. Aantal keer dat een variabele voorkomt in de 6 gelijkwaardige modellen.

Variabele	Aantal modellen
Vorstgetal	6
Tijd2	6
Tijd1	6
SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	6
SqrtDeltaAmplitude:Tijd1	6
SqrtDeltaAmplitude	6
EurTrend:SqrtDeltaAmplitude	6
EurTrend	6
OppBreuksteen	5
<i>TransectMeanOndieewater</i>	2
<i>Tijd3</i>	2
<i>OppSlik</i>	2
<i>TransectSdDiep</i>	1

Tabel III-10. Anova tabel van het uiteindelijke model.

	Df, teller	Df, noemer	F-waarde	p-waarde
(Intercept)	1	617	112.06	0.0000
EurTrend	1	617	4.78	0.0291
OppBreuksteen	1	44	4.24	0.0454
<i>OppSlik</i>	1	44	3.14	0.0833
SqrtDeltaAmplitude	1	44	61.75	0.0000
Tijd1	1	617	44.85	0.0000
Tijd2	1	617	22.06	0.0000
Vorstgetal	1	617	8.26	0.0042
EurTrend:SqrtDeltaAmplitude	1	617	19.62	0.0000
SqrtDeltaAmplitude:Tijd1	1	617	27.56	0.0000
SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	1	617	9.01	0.0028

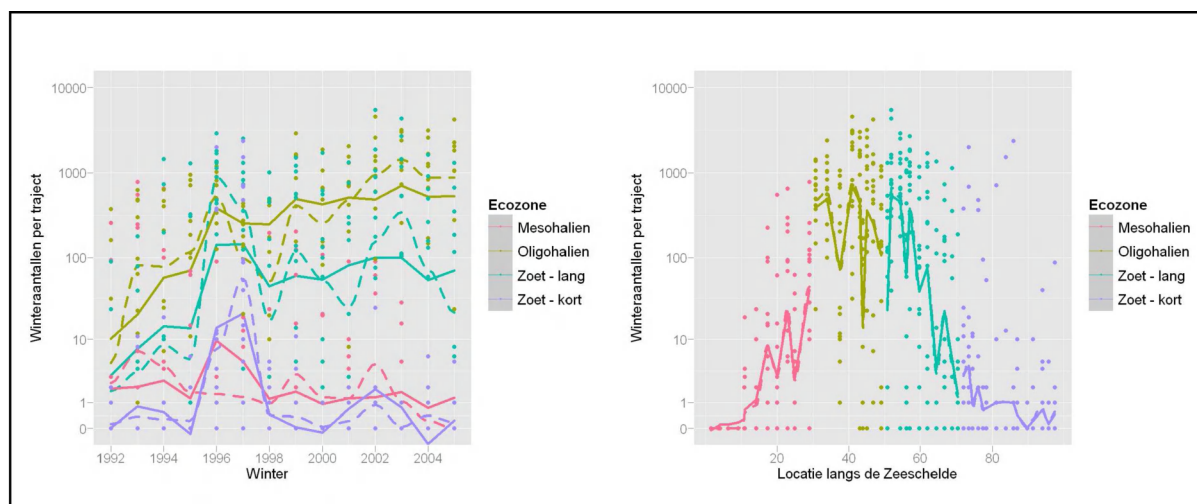
Het model geeft aan dat de winteraantallen Tafeleend tot 1997 duidelijk toenemen (Figuur III-9, links). Na 1997 zien we enkel in het oligohalien nog een eerder beperkte toename. De effecten van de koude winters in 1996 en 1997 vallen opnieuw op als duidelijke pieken in nagenoeg alle ecozones. Enkel in het oligohalien is deze piek minder uitgesproken. De verklaring hiervoor vinden we in Tabel III-11. Het hoofdeffect van vorstgetal is een beperkte maar positieve impact. We krijgen dus een kleine toename bij koudere winters bij een maximaal getijverschil (= oligohalien). Dat effect wordt nog verder versterkt door de positieve interactie met getijverschil. Bij koudere winters zien we dus buiten het oligohalien een sterkere toename van de winteraantallen.

Opmerkelijk is het positieve effect van zowel de Europese trend en de lineaire trend in de tijd. Vooral omdat de Europese trend globaal daalt in de tijd (Figuur III-1). Dus uiteindelijk werken deze variabelen elkaar min of meer tegen. Bovendien hebben we nog de interacties tussen enerzijds het getijverschil en anderzijds zowel de Europese trend als de tijd. De interactie met de Europese trend is negatief en beduidend sterker dan het hoofdeffect van de Europese trend. Bijgevolg krijgen we in het zoete aantallen die een tegengesteld verloop kennen dan de Europese trend. Bij de interactie tussen getijverschil en tijd zien we opnieuw een tegengesteld effect als bij het hoofdeffect van tijd.

De consequentie ervan is een licht stijgende trend in het oligohalien en een dalende trend in het zoete.

Fysiotopkenmerken verklaren weinig van de spreiding van de soort, de variabelen worden niet in elk model geselecteerd en zijn marginaal of niet significant (Tabel III-10). Een toename in oppervlakte breuksteen modelleert een toename van de overwinterende Tafeleenden. De toename in oppervlakte slik heeft tot gevolg een afname van het aantal overwinterende Tafeleenden (Tabel III-11).

De smoothers in de linkergrafiek van Figuur III-9 geven nog een aantal pieken en dalen weer die we met ons model niet kunnen weergeven. Hieruit besluiten we dat nog een of meerdere temporele variabelen in het model ontbreken. Zowel in zoet – lang als het oligohalien zijn de verschillen redelijk belangrijk.

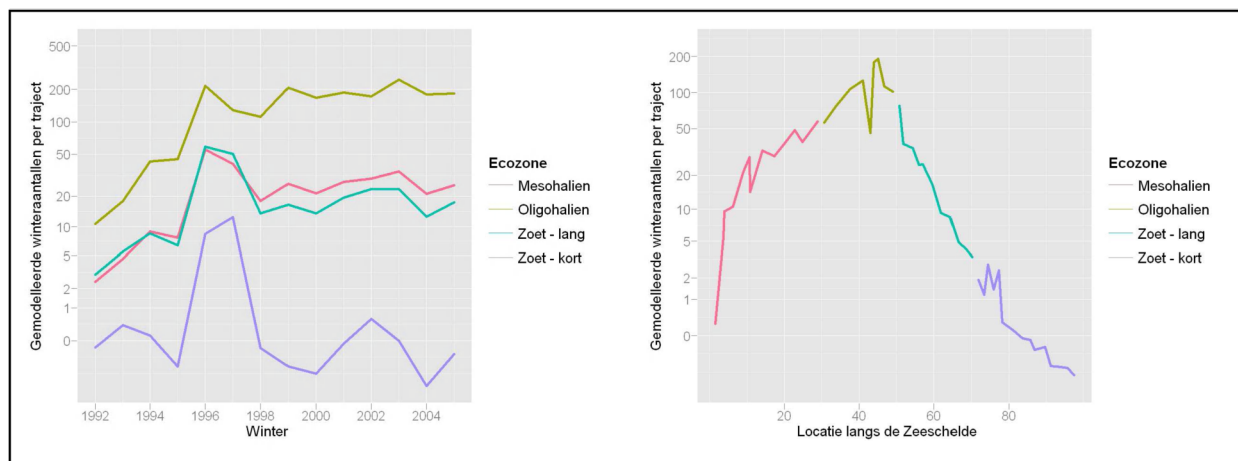


Figuur III-9. Het gemiddelde aantal waargenomen dieren van Tafeleend per traject en per ecozone met smoother (stippellijn) en de gemodelleerde aantallen (volle lijn).

Tabel III-11. Overzicht van de modelparameters met hun 95% betrouwbaarheidsinterval.

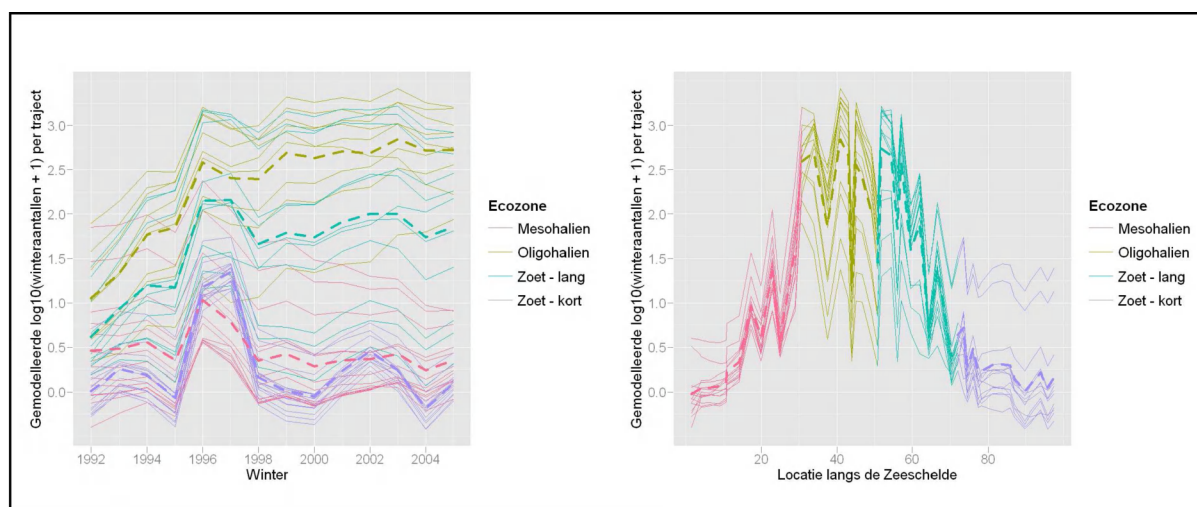
Structuur	Parameter	Schatting	95% CI	
Fixed effects	(Intercept)	2.135	1.739	2.532
	EurTrend	3.319	0.339	6.299
	OppBreuksteen	0.138	0.003	0.272
	<i>OppSlik</i>	-0.392	-0.837	0.054
	SqrtDeltaAmplitude	-1.785	-2.242	-1.327
	Tijd1	0.175	0.124	0.226
	Tijd2	-0.010	-0.014	-0.006
	Vorstgetal	0.017	0.005	0.029
	EurTrend:SqrtDeltaAmplitude	-6.664	-9.619	-3.710
	SqrtDeltaAmplitude:Tijd1	-0.127	-0.174	-0.079
	SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	0.018	0.006	0.030
Random effects	Traject.sd((Intercept))	0.715	0.566	0.902
	Traject.sd(Tijd1)	0.097	0.072	0.132
	Traject.sd(Tijd2)	0.008	0.005	0.014
	Traject.cor((Intercept),Tijd1)	0.660	0.337	0.845
	<i>Traject.cor((Intercept),Tijd2)</i>	-0.946	-1.000	0.515
	Traject.cor(Tijd1,Tijd2)	-0.828	-0.957	-0.427
Standaard afwijking binnen een traject		0.551	0.585	0.551

In Figuur III-9, rechts zien we duidelijk het effect van het getijverschil naar voor komen. Het groter het verschil met het maximale getijverschil, hoe lager de winteraantallen. Op trajectniveau speelt verder enkel de oppervlakte breuksteen een rol. Trajecten met meer breuksteen vertonen in beperkte mate grotere winteraantallen. Merk op dat de schommelingen tussen de trajecten veel beperkter worden wanneer we bij de voorspellingen geen rekening houden met de random effects (Figuur III-10). Hetgeen impliceert dat de random effects nog belangrijke verschillen tussen de trajecten opvangen die we niet kunnen verklaren aan de hand van onze variabelen. We missen bij Tafeleend één of meerdere belangrijke spatiale variabelen.



Figuur III-10. Gemodelleerde winteraantallen voor Tafeleend zonder random effects. Links uitgemiddeld per ecozone en per jaar, rechts uitgemiddelde per traject.

De linkerhelft van Figuur III-11 geeft aan dat de verschillen tussen trajecten behoorlijk groot zijn, ook binnen eenzelfde ecozone. De rechterhelft geeft aan dat de aantallen in een gegeven traject behoorlijk kunnen variëren tussen jaren. Daarnaast toont deze figuur dat Tafeleend hoofdzakelijk voorkomt in de trajecten tussen Oude Briel en het veer van Kruibeke.



Figuur III-11. De voorspelde winteraantallen per traject en per winter van Tafeleend. In de linkerfiguur geven de dunnen lijnen de voorspelling per traject weer. De stippellijn geeft het gemiddelde per ecozone weer. In de rechterfiguur geven de dunnen lijnen de voorspelling per jaar en de stippellijn het gemiddelde over de jaren heen.

B.1 Ecologische interpretatie modelresultaten

- Er is een duidelijke toename van overwinterende Tafeleenden in de Zeeschelde wanneer het koud is. Deze toename is voornamelijk merkbaar in de zoete zones met een kleiner tijverskil.
- De overwinteringsaantallen van de Tafeleend in de Zeeschelde volgen (marginaal significant) de Europese trend. Echter in de zoete zone toont het model een tegengesteld effect: hier is er over de studieperiode gezien een trend die afwijkt van het Europese patroon (stijgende trend in plaats van dalende trend).
- Eén of meerdere temporele variabelen ontbreken als input variabelen om het Tafeleend model te verbeteren. Het ontwikkelde model voorspelt maar matig de aantallen.
- Spatiale variabelen (Fysiotopen) verklaren weinig van de variatie. Een toename in oppervlakte breuksteen modelleert een toename van overwinterende Tafeleenden. De toename in oppervlakte slik heeft tot gevolg een afname van het aantal overwinterende Tafeleenden. Er ontbreken één of meerdere spatiale variabelen in het model.

De Tafeleend is gevoelig voor koudegolven en reageert prompt op koude winters door het wegtrekken (vaak van continentale naar Atlantische klimaatzones) in westelijk en zuidelijke richting. Dit resulteert vaak in een opmerkelijke influx van Tafeleenden in onze contreien (zie Van Ryckegem et al., 2006). De opmerkelijke piekaantallen voor de winters 95/96 & 96/97 zijn op deze manier te verklaren. De hoge aantallen 2001-2004 zijn echter niet gecorreleerd met koude golven.

De Europese trend is variabel (met een dal na de koudeperiode en daaropvolgend herstel en opnieuw een terugval) en globaal genomen licht dalend. De winteraantallen in de Zeeschelde volgen deze curve deels en tonen globaal een lichte daling – echter een afname na de herstelperiode zet zich pas de laatste jaren in. Dus in tegenstelling tot de Europese trend was er nog een toename in de Zeeschelde die zich voornamelijk manifesteerde in de zoete zone. Een verklarende variabele (of verschillende variabelen of interacties ertussen) ontbreekt nog in het model. Mogelijke kandidaten zijn spatio-temporele variabelen die de organische lading weergeven in het Schelde water (bv. BOD) in combinatie met zuurstofcondities.

Een toename in oppervlakte breuksteen resulteert in een toename aan overwinterende Tafeleenden. Een duidelijke verklaring voor deze relatie is niet voorhanden. Tafeleenden foerageren

vooral in ondiep water bij afgaand tij. Ze rusten op het open water dikwijls in luwe zones. De relatie doet vermoeden dat Tafeleenden enige voorkeur hebben om te foerageren en te rusten in ondiepwaterzones die gelegen zijn voor steenbestortingen. Toename in oppervlakte slik daarentegen resulteert in een afname van tafeleenden. Het correlatief verband tussen de aantallen en dit fysiotoop is moeilijk te verklaren als één van de sturende variabelen. Mogelijks is hier sprake van een outlier effect veroorzaakt door de zeer lage aantallen Tafeleend die voorkomen in het traject van de Ballooi (dal in Oligohalien Figuur III-9). Dit traject heeft een grote oppervlakte aan slik en een zone met ondiep water waar echter geen tafeleenden waargenomen worden. De reden is het ontbreken van voedsel in deze ondiepwater zone door het zandige karakter van de onderwaterbodem en laagste delen van het slik. Oligochaeten, de bodemdiertjes die voornamelijk gegeten worden de Tafeleenden in de Zeeschelde komen in dit substraat minder voor. Het dal in de Tafeleendaantallen in de Zoet-lang zone kunnen ook op dezelfde manier verklaard worden: ze vallen in het traject 'St. Amands – Mariekerke'. De aanwezige zandplaat/zandig ondiep water in dit traject lijkt ook gecorreleerd met lage aantallen tafeleend. Het invoeren van een spatiale variabele die sedimentkarakteristieken weergeeft per traject zou de kracht van het model kunnen vergroten. Een interessante variabele 'gemiddelde breedte ondiepwater' is slechts in twee van de zes modellen geselecteerd.;In de mesohaliene zone met weinig tafeleenden komen ook bredere stroken ondiep water voor, de sedimenten zijn ook hier echter zandiger en mogelijk is er dus een interactie met de spatiale variabele 'sediment' en/of met spatiotemporele variabelen die de organische lading van het estuarium weergeven (zie boven).

C Wintertaling

Voor Wintertaling selecteerde het algoritme opnieuw dezelfde random effects structuur als bij Bergeend en Tafeleend: voor elk traject een random intercept en een random kwadratische trend in de tijd. Ook de correlatiestructuur en variantiestructuur zijn identiek aan deze bij Bergeend: een ARMA(0, 1) correlatie en een verschillende variantie per ecozone.

In het beste model ontbreken enkel de oppervlakte slik, de variabiliteit van de breedte diep water en de kubische trend (Tabel III-12). Deze variabelen komen wel voor in de gelijkwaardige modellen (Tabel III-13). De variabiliteit van de slikbreedte ontbreekt in een van de gelijkwaardige modellen. Deze variabele blijkt, net als de lineaire trend in de tijd en de interactie tussen getijverschil en de Europese trend, geen significant effect te hebben (Tabel III-14). De diagnostische plots (niet getoond) geven aan dat het model voldoet aan de assumpties van normaliteit en homoscedasticiteit.

Tabel III-12. Gelijkwaardige modellen, gesorteerd volgens AIC.

AIC	Fixed
538.898	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + OppSchor + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal
539.298	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + OppSchor + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + Vorstgetal
540.757	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + OppSchor + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdDiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal
540.77	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + OppSchor + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + Tijd3 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal
540.855	EurTrend + EurTrend:SqrtDeltaAmplitude + OppBreuksteen + OppSchor + OppSlik + SqrtDeltaAmplitude + SqrtDeltaAmplitude:Tijd1 + SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal + Tijd1 + Tijd2 + TransectMeanOndiepwater + TransectSdSlik + Vorstgetal

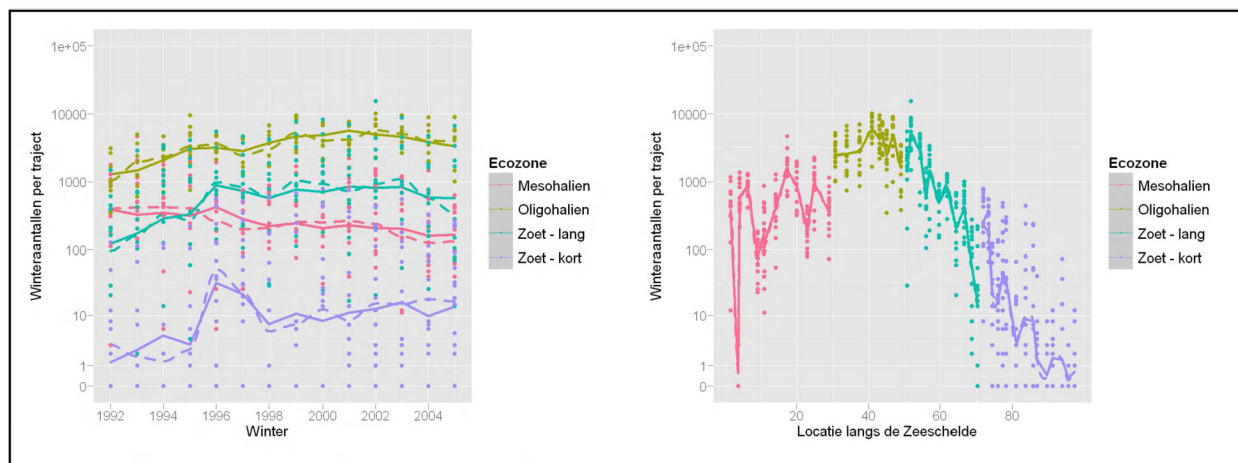
Tabel III-13. Aantal keer dat een variabele voorkomt in de 5 gelijkwaardige modellen.

Variabele	Aantal modellen
Vorstgetal	5
TransectMeanOndieewater	5
Tijd2	5
Tijd1	5
SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	5
SqrtDeltaAmplitude:Tijd1	5
SqrtDeltaAmplitude	5
OppSchor	5
OppBreuksteen	5
EurTrend:SqrtDeltaAmplitude	5
EurTrend	5
TransectSdSlik	4
TransectSdDiepwater	1
Tijd3	1
OppSlik	1

Tabel III-14. Anova tabel van het uiteindelijke model.

	Df, teller	Df, noemer	F-waarde	p-waarde
(Intercept)	1	617	934.97	0.0000
EurTrend	1	617	11.56	0.0007
OppBreuksteen	1	42	6.93	0.0118
OppSchor	1	42	9.56	0.0035
SqrtDeltaAmplitude	1	42	205.65	0.0000
Tijd1	1	617	1.51	0.2194
Tijd2	1	617	22.48	0.0000
TransectMeanOndieewater	1	42	10.02	0.0029
TransectSdSlik	1	42	2.43	0.1264
Vorstgetal	1	617	4.47	0.0348
EurTrend:SqrtDeltaAmplitude	1	617	2.48	0.1155
SqrtDeltaAmplitude:Tijd1	1	617	6.49	0.0111
SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	1	617	48.36	0.0000

De voorspelde waarden per winter en per ecozone (linkerfiguur in Figuur III-12) volgen vrij goed het verloop van de smoothers. Bijgevolg bevat het model alle relevante temporele variabelen. Tabel III-15 geeft aan de winteraantallen positief gecorreleerd zijn met de Europese trend (Figuur III-1). We zien geen significant effect van de lineaire trend in de tijd en een beperkt effect van de kwadratische trend in de tijd. Op basis hiervan stellen we dat de evolutie in de Zeeschelde grotendeels de Noordwest Europese trends volgt. In het oligohalien dalen de winteraantallen licht wanneer het vorstgetal toeneemt, terwijl het in de andere ecozones toeneemt. In koude winter zitten de wintertalingen dus meer gespreid over de Zeeschelde. De interactie tussen getijverschil en de tijd geeft aan dat de wintertalingen meer toenemen buiten het oligohalien. Ze benutten dus een steeds groter deel van de Zeeschelde.



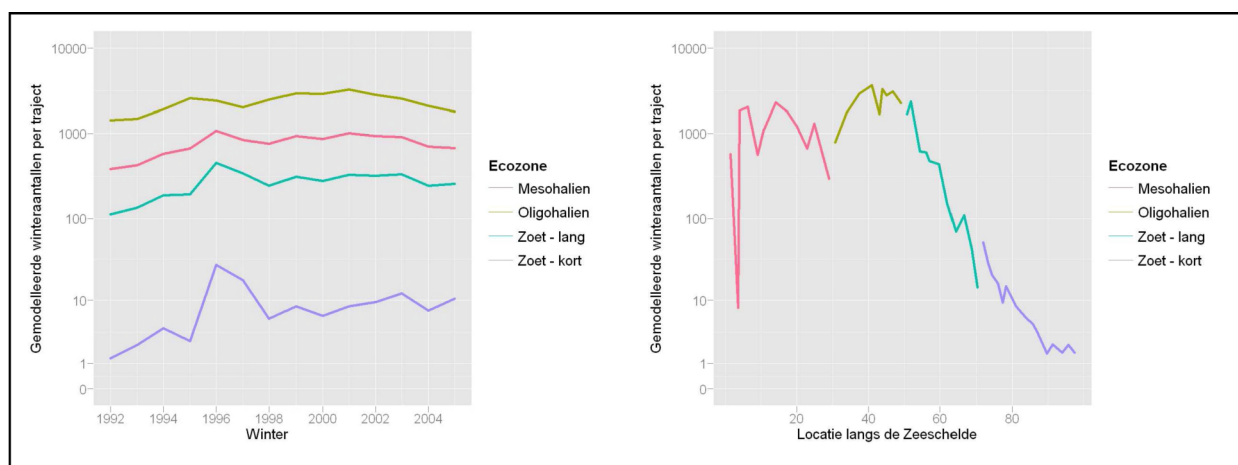
Figuur III-12. Het gemiddelde aantal waargenomen dieren van Wintertaling per traject en per ecozone met smoother (stippellijn) en de gemodelleerde aantallen (volle lijn).

Tabel III-15. Overzicht van de modelparameters met hun 95% betrouwbaarheidsinterval.

Structuur	Parameter	Schatting	95% CI	
Fixed effects	(Intercept)	3.726	3.487	3.965
	EurTrend	0.987	0.417	1.556
	OppBreuksteen	0.116	0.027	0.205
	OppSchor	0.523	0.181	0.864
	SqrtDeltaAmplitude	-1.767	-2.015	-1.518
	Tijd1	0.020	-0.012	0.052
	Tijd2	-0.006	-0.008	-0.003
	TransectMeanOndiepwater	0.711	0.258	1.164
	TransectSdSlik	0.659	-0.194	1.513
	Vorstgetal	-0.004	-0.008	-0.000
	EurTrend:SqrtDeltaAmplitude	-0.744	-1.671	0.183
	SqrtDeltaAmplitude:Tijd1	0.038	0.009	0.067
	SqrtDeltaAmplitude:Vorstgetal	0.023	0.016	0.029
Random effects	Traject.sd((Intercept))	0.451	0.358	0.568
	Traject.sd(Tijd1)	0.070	0.053	0.092
	Traject.sd(Tijd2)	0.006	0.004	0.009
	Traject.cor((Intercept),Tijd1)	0.577	0.268	0.778
	Traject.cor((Intercept),Tijd2)	-0.775	-0.931	-0.384
	Traject.cor(Tijd1,Tijd2)	-0.913	-0.977	-0.698
Standaard afwijking binnen een traject		0.452	0.504	0.452
Correlatiestructuur	Theta1	0.228	0.137	0.315
Variantiestructuur	Zoet - lang	0.558	0.471	0.661
	Mesohalies	0.580	0.497	0.676
	Oligohalies	0.302	0.253	0.360

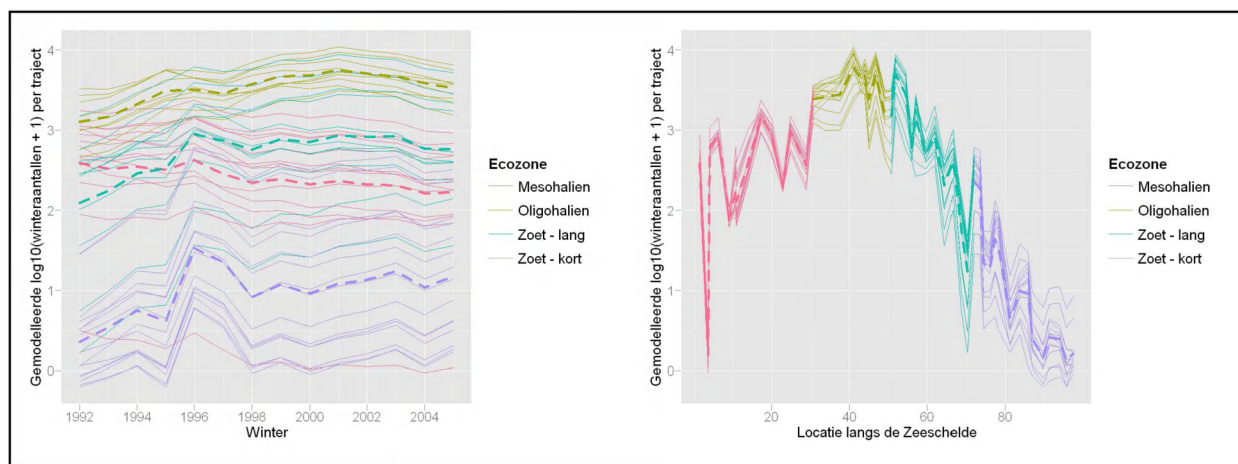
Op het niveau van de trajecten is het getijverschil de belangrijkste factor (Figuur III-12, rechts). Daarnaast zien we een gunstig effect van een toenemende oppervlakte schor en breuksteen, evenals een breder stuk ondiep water. De figuur met de verwachte wintertallen zonder rekening te houden met de random effects (Figuur III-13) verschilt niet drastisch van de figuur waarbij we er

wel mee rekening houden (Figuur III-12). De spatiale variabelen in het model zijn dus vrij goed in staat om de verschillen in winteraantallen tussen de trajecten te beschrijven.



Figuur III-13. Gemodelleerde winteraantallen voor Wintertaling zonder random effects. Links uitgemiddeld per ecozone en per jaar, rechts uitgemiddelde per traject.

Wanneer we in Figuur III-14 de voorspellingen per traject (links) en per jaar (rechts) met elkaar verbinden, krijgen we een idee van de spreiding van de voorspelde aantallen tussen trajecten en tussen winters. Merk op dat deze spreiding sterk kan verschillen tussen ecozones.



Figuur III-14. De voorspelde winteraantallen per traject en per winter. In de linker figuur geven de dunne lijnen de voorspelling per traject. De stippellijn geeft het gemiddelde per ecozone weer. In de rechterfiguur geven de dunne lijnen de voorspelling per jaar en de stippellijn het gemiddelde over de jaren heen.

C.1 Ecologische interpretatie modelresultaten

- De winteraantallen zijn positief gecorreleerd met de Europese trend. Deze variabele is de belangrijkste temporele variabele.
- Vorstperiodes hebben als effect een lichte daling van de aantallen in het oligohalien en een lichte toename elders. De eenden zitten dus meer gespreid. Globaal gezien is het effect van vorstperiodes voor aantallen in de Zeeschelde klein (marginaal significant, negatieve correlatie).
- Gedurende de studieperiode is er een grotere toename in de zoete zones vergeleken met het oligohalien.
- Tijverschil is de belangrijkste spatiale variabele: in zones met grotere tijverschillen overwinteren meer watervogels.
- Toename in oppervlakte breuksteen, oppervlakte schor en bredere zones ondiep water hebben een positief effect op de aantallen overwinterende Wintertalingen.

De trend van de wintertaling in de Zeeschelde weerspiegelt de internationale populatietrend, de stijgingen in Zeeschelde zijn echter relatief wel sterker dan de NW-Europese populatiegroei.

De modellen wijzen op een spreiding van de soort in het estuarium met beperkte toename in het oligohalien en sterke stijging in zoet-lang. Dit patroon kan wijzen op het bereiken van de draagkracht voor de soort in het oligohalien. Hoewel de vogels preferentieel verblijven in de brakke zone is er in zoet-lang nog voldoende voedsel aanwezig, of nam de productie toe in de loop van de studieperiode, waardoor de vogels zich verplaatsten naar deze zone. Bovendien stelt men vast dat in de loop van een winterseizoen de zoet-lang zone belangrijker wordt als ecozone (Van Ryckegem et al., 2006). Mogelijks geraakt het voedsel in het oligohalien uitgeput en/of is voedsel zoeken in zoet-lang later op het seizoen interessanter.

De variabele tijamplitude (als $\sqrt{\Delta t}$) weerspiegelt goed de piek in het oligohalien en de afname in winteraantallen in het mesohalien en vooral in de zoete ecozone. De conclusie die men hieruit zou kunnen trekken is dat een grotere tijamplitude resulteert in grotere aantallen overwinterende watervogels. Deze gevolgtrekking lijkt echter onjuist. Een grotere tijamplitude binnen een keurslijf van dijken zorgt voor een verhoogde dynamiek met een hoger in-en uitstromend watervolume. De oppervlakte water neemt toe maar de slikken en schorren boeten aan oppervlakte in. Deze habitats zijn echter de foerageerhabitats van oa. Bergeenden

en Wintertalingen. Een mogelijk positieve impact van een verhoogde tijamplitude is er enkel voor de soorten die hun voedsel zoeken in het water. Hierbij is de balans tussen diep en ondiep water ook van belang.

Een toename in oppervlakte breuksteen resulteert in een toename aan overwinterende Wintertalingen. Een duidelijke verklaring voor deze relatie is niet voorhanden (zie echter 2B.3). Een toename in oppervlakte schor heeft een positieve impact op het aantal overwinterende wintertalingen. De positieve correlatie is te verklaren door de huidige spreiding van de soort in het estuarium. Een relatief grote oppervlakte in het Oligohalien is gecorreleerd met de grote oppervlakte schor in deze zone (2B.3). De ecologische relevantie van het habitat is voor de wintertaling duidelijk: de soort verkiest de beschutting van het schor om te rusten bij hoog water (en ook soms om in te foerageren). Bredere schorren zorgen voor een kleinere verstoring vanop de oevers. Een toename in ondiep water is gecorreleerd met hogere aantallen wintertaling. Dit volgt uit de fysiotoopspreiding langsheen de Zeeschelde (2B.3) met grotere oppervlaktes aan ondiep water in het oligohalien. Wellicht gaat dit samen met een beperkte steilheid van het estuarium en het voorkomen van relatief bredere slikken.

IV Conclusies

De Zeeschelde is een ecosysteem onderhevig aan veranderingen al dan niet onder menselijke invloed. Om de impact van fysische of chemische effecten te evalueren ten aanzien van de Europese richtlijnen (Vogel- en Habitatrichtlijn (VHR) en de Kaderrichtlijn Water (KRW)) en om de doelstellingen te evalueren zoals gesteld in de Lange Termijnvisie 2030 en geconcretiseerd in de Instandhoudingsdoelstellingen (IHD) is bij de beleidsmaker de nood groot om instrumenten te hebben die als toetsingscriteria kunnen gebruikt worden.

Waarom watervogels als barometer voor veranderingen in het ecosysteem? Watervogels zijn één van de belangrijkste gebruikers van het Schelde ecosysteem, makkelijk waarneembaar en maatschappelijk aaibaar. Bovendien staan ze bovenaan de voedselketen waardoor ze een signaalfunctie vervullen voor de algemene toestand van een systeem. Deze aspecten maken dat watervogels bijzonder geschikt zijn voor de toetsings van het beleid en de veranderingen die optreden in het ecosysteem.

Dit rapport was een eerste stap in het opbouwen van een correlatief model voor watervogels in de Zeeschelde. Met de beschikbare data werd onderzocht hoe watervogelmodellen een optimale input kunnen leveren als beleidsondersteunend instrument.

In een eerste stap werden basismodellen opgebouwd om de voornaamste patronen in de data te verkennen.

De basismodellen voor alle belangrijke soorten die voorkomen langsheen de Zeeschelde onderzoeken de patronen in Ecozone, Seizoen, Tijd en interacties tussen deze variabelen in de watervogeldataset. De basismodellen voor alle soorten tonen een belangrijk percentage variantie verklaring door het toelaten van een 'paraplu' variabele Ecozone. Deze variabele deelt de Zeeschelde op in 4 zones, op basis van saliniteit en waterverblijftijd (Figuur II-1, Van Damme et al., 1999). De Ecozones verschillen bovendien op tal van andere voedsel-, habitat- en structuurkenmerken. De soortpatronen verschillen vaak sterk in de verschillende Ecozones, hierdoor is het weergeven van de modelresultaten per Ecozone een keuze voor de correlatieve modelbouw. De basismodellen bevestigen de bruikbaarheid van de Zeeschelde zonering in Ecozones voor watervogelonderzoek – en modellering. Seizoenaliteit is eveneens een belangrijk aspect voor de meeste soorten. Het winterseizoen is voor het ecologisch functioneren de meest

relevante periode omwille van de hoge vogelaantallen. Deze periode werd geselecteerd voor de correlatieve modelbouw voor drie representatieve soorten in de Zeeschelde.

Als tweede stap werd een eerste verkennende correlatieve modelbouw onderzocht. Correlatieve modellen voor drie soorten – Bergeend, Tafeleend en Wintertaling onderzoeken de patronen in de overwinterende populatie (seizoenaliteit werd buiten beschouwing gelaten) door het toevoegen van temporele, spatiale en spatiotemporele variabelen. Er werd populatiedynamische, meteorologische en habitatinformatie toegevoegd.

De modelperformantie verhoogt respectievelijk van Tafeleend (zwakste model) over Bergeend tot Wintertaling (sterkste model). In Tabel IV-1 worden de geselecteerde variabelen van de correlatieve modellen samengevat.

Tabel IV-1. Samenvattende tabel. Resultaten correlatieve modelbouw (interactie termen niet beschouwd)

Model	Geselecteerde parameter	Significantie (p-waarde)
Bergeend	Oppervlakte slik	0.0131
	Tijverschil	0.0000
	Breedte ondiep water	0.0000
	Variatie in breedte van het slik	0.0268
	Vorstgetal	0.0059
Tafeleend	Europese trend	0.0291
	Oppervlakte breuksteen	0.0454
	Tijverschil	0.0000
	Vorstgetal	0.0042
Wintertaling	Europese trend	0.0007
	Oppervlakte breuksteen	0.0118
	Oppervlakte schor	0.0035
	Tijverschil	0.0000
	Breedte ondiep water	0.0029
	Vorstgetal	0.0348

De variatie in de tijd wordt door de ontwikkelde correlatieve modellen relatief goed voorspeld. De modellering toont het grote belang van de Europese trends die elk van de soorten vertoont (behalve bij bergeend). Het uitbreiden van de modellen in de tijd zal echter het belang van de Europese trend doen verminderen aangezien de 'Scheldepopulatie' sinds 2007 sterk afgenomen is terwijl de Europese trend deze tendens niet volgde. Het vorstgetal – een maat voor de strengheid van de winter – is een andere belangrijke temporele variabele. De overwinterende watervogels reageren gevoelig (significante correlatie) op koudeperiodes. De modellen tonen echter ook dat niet alle temporele variatie verklaard wordt. Een mogelijke toevoeging voor

toekomstige modellering is het bovendebiet van Schelle en Melle dat doorheen de jaren fluctueert en correleert met de organische belasting van het Scheldesysteem.

Spatiale variabelen verhogen de modelperformantie. Tijverschil wordt steeds geselecteerd als significante modelparameter. Een groter tijverschil correleert met hogere vogelaantallen. Bij eenzelfde hellingsgraad van het habitat betekent dit een groter intertidaal gebied beschikbaar als foerageerhabitat voor de vogels. Habitatkenmerken (oppervlakte fysiotopten en afgeleide breedtematen – gemiddelde breedte en een variatiemaat aan breedte per traject) werden weerhouden in de modellen en verhogen de modelperformantie voor het Bergeend en Wintertaling model. Fysiotopenkenmerken verbeterden het Tafeleendmodel slechts beperkt. Verder onderzoek naar de bruikbaarheid van de sedimenteigenschappen is nodig en kan mogelijks de ruimtelijke voorspellingskracht versterken. Dit laatste kenmerk is misschien wel te variabel binnen een traject. Een andere modelverbetering is misschien mogelijk door een gebiedsdekkende vormindex toe te voegen. Steilheid van de intertidale habitats is mogelijk een belangrijke variabele die de droogvalduur van het intertidale gebied bepaalt. Het toevoegen van de hellingsgraad aan het model is daarom nader te onderzoeken. Het signaal dat in sommige modellen naar voor kwam met betrekking tot het belang van het breuksteenhabitat werd verder onderzocht (zie bijlage C). Enerzijds moet opgemerkt worden dat de oppervlakte breuksteen niet onafhankelijk van de oppervlakte slik kan geïnterpreteert worden in de gebruikte data. Het signaal is hierdoor moeilijker te interpreteren. De oppervlakte slik omvatte in de analyse immers ook de breuksteenoppervlaktes. Dit zorgt voor ruis in het model en is een verbeterpunt voor toekomstige modellering. Anderzijds blijkt uit een eerste verkennende staalname dat er een variabele biomassa aan benthos gevonden kan worden tussen de breukstenen in kleine slikpatches of waterhoudende poeltjes. Het hyperbenthos dat zich schuilhoudt tussen de stenen bij laag water werd niet bemonsterd. Dit is een aandachtspunt voor verder onderzoek. De wierbiomassa is ook aanzienlijk en neemt toe op elke locatie van laag naar hoger intertidaal en dit zowel in de nazomer als in de winter. Hoewel er gemiddeld ongeveer 40g AFDW'wier'/m² aanwezig is op breuksteen lijkt wier op zich niet alleen de beweegreden van de vogels om de breuksteenzones op te zoeken omdat ze vooral foerageren op de steenzones gedurende laag water. Dit terwijl de wiermassa het hoogste is hoger in het tijvenster (zie bijlage C voor discussie).

Het ontbreken van echte onafhankelijk verklarende spatiotemporele variabelen aan het model is een tekort en zou de voorspellingskracht vergroten. De huidige spatiotemporele variabelen zijn interacties tussen de spatiale en temporele variabelen – strik genomen zijn het

geen extra spatiotemporele variabelen die toegevoegd worden. Een datasetvoorbereiding en verkennende analyse moet op zoek gaan naar de meest geschikte spatiotemporele variabele(n). Er zijn verschillende kandidaatvariabelen voor deze weg voorwaarts. Het meest beloftevol zijn mogelijk saliniteit, waterverblijftijd, fysico-chemische variabelen zoals nutriënten en chlorofyl a en informatie over voedselaanbod en -beschikbaarheid. De selectie en voorbereiding van deze datasets kon niet worden behandeld tijdens deze studie.

Evaluatie van de potentie van correlatieve modellen

De gepresenteerde modellen zijn eerste verkenningen op basis van beschikbare data die op korte termijn als variabelen geïmplementeerd konden worden. De analyse toont dat bijkomende variabelen met betrekking tot morfologie, hydrologie, waterkwaliteit en voedselaanbod nodig zijn om de prestatie en bruikbaarheid te verbeteren.

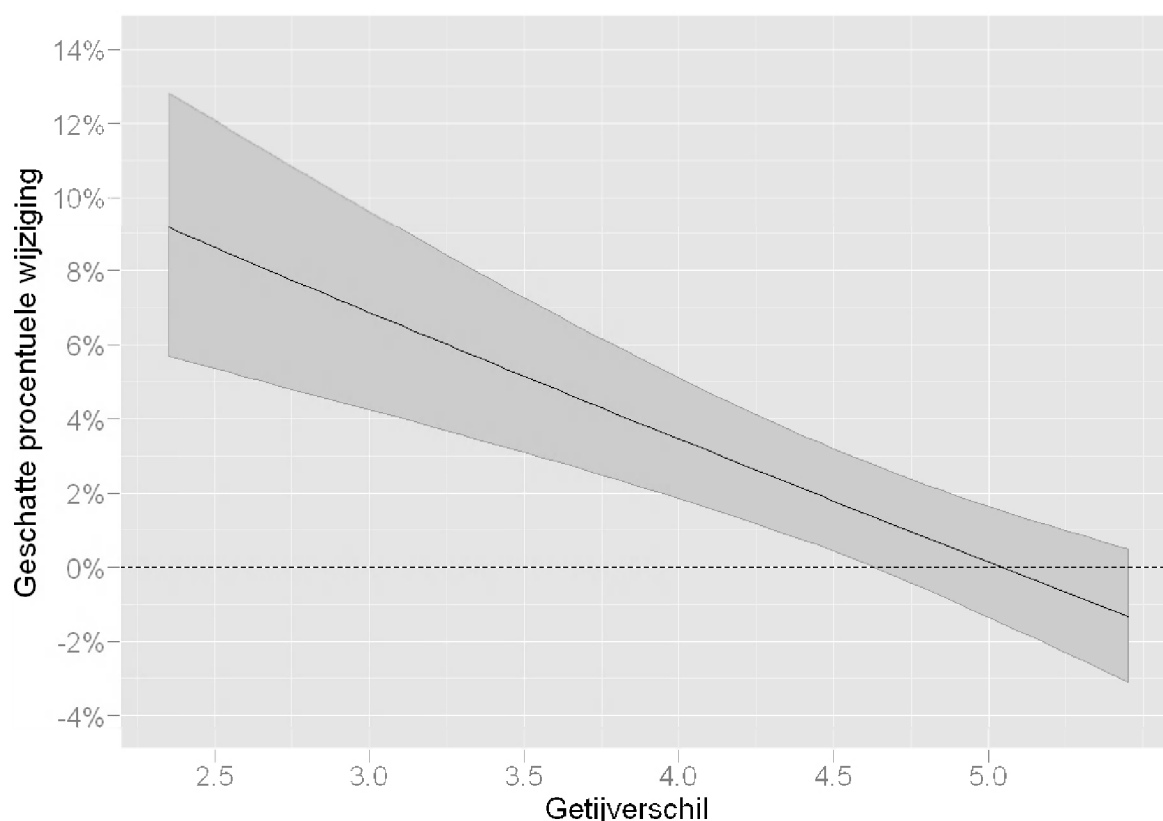
De gepresenteerde correlatieve modellen tonen de potentie als hulpmiddel bij het opzetten van toetsingscriteria voor ecosysteemeigenschappen die door ingrepen beïnvloedt worden (zie voorbeelden onder). Door variabelen te veranderen kunnen effecten op de vogelaantallen gesimuleerd worden. De betrouwbaarheid van deze simulatie is afhankelijk van de volledigheid van het model (alle sleutelvariabelen aanwezig) en van het scenario dat opgelegd wordt aan het model. Het is zelden dat er geen correlaties zijn tussen de variabelen onderling (bv. veranderingen in tijdsloop resulteert in oppervlakte verandering van ecotoepen). Van deze onafhankelijkheid gaan onderstaande voorbeelden wel uit. Een ander aandachtspunt is dat de output van elk model zorgvuldig ecologisch geïnterpreteerd wordt door experts.

Gedragsmodellen in de Zeeschelde? In tegenstelling tot de Westerschelde zijn de dominante vogelgroepen in de Zeeschelde eendachtigen. Over deze vogelgroep is veel minder soortspecifieke kennis voorhanden en is het aanpassen van bestaande gedragsmodellen niet mogelijk (er zijn er geen). Eendachtigen zijn ook meer opportunistische soorten: veel soorten voeden zich met het voedsel dat makkelijk beschikbaar is, het zijn in beperkte mate specialisten. In een systeem dat in verandering is, is het ook niet onwaarschijnlijk dat de soorten zullen wisselen van voedselbron. Dit is een bijkomende moeilijkheid om te starten met het opbouwen van gedragsmodellen in de Zeeschelde. Het systeem is nog in verandering en de voedselbron kan veranderen. Voor correlatieve modellen zijn er meer potenties in de Zeeschelde omdat watervogeltellingen bij laagwater vanop schepen gebeuren. Hierdoor kunnen de aantallen beter aan ecotoepen en

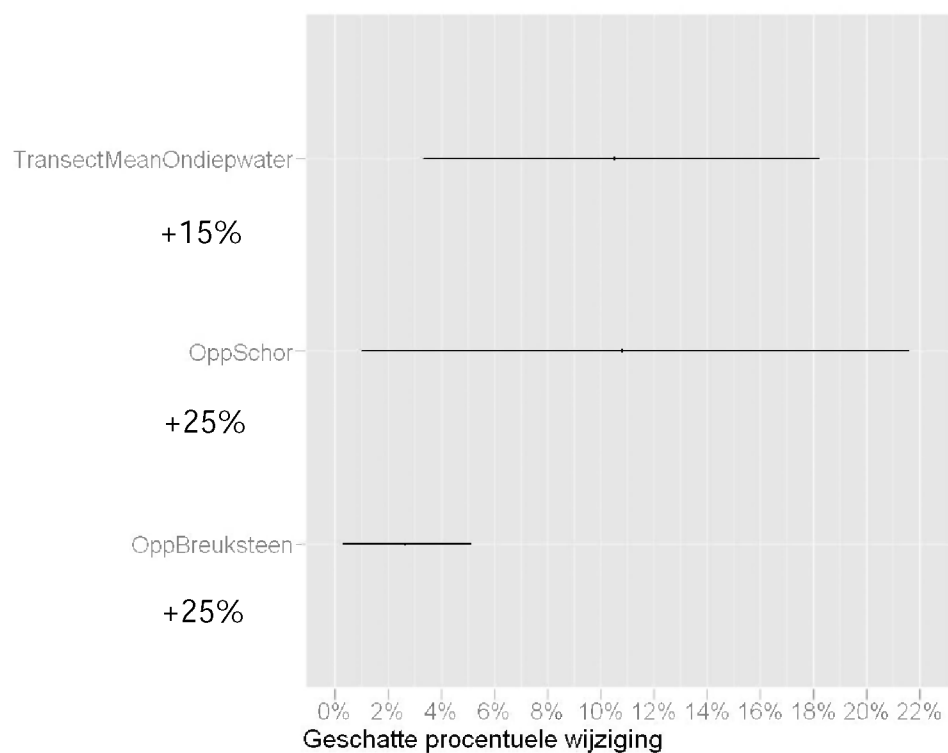
abiotische omstandigheden gerelateerd worden. Hiervoor is dan weer onvoldoende data in de Westerschelde.

Voorbeeld – huidige verkennende modellen als beleidsondersteunend instrument (Figuur IV-1, Figuur IV-2). In Figuur IV-1 wordt het gemodelleerde effect in een betrouwbaarheidsband weergegeven van een verandering in het vorstgetal. Alle andere variabelen blijven bij deze eenvoudige simulatie identiek. In werkelijkheid is zoiets onwaarschijnlijk. Een stijging van het vorstgetal betekent koudere winters. Dit resulteert vooral in de zone met beperkte getijamplitude (zoet) voor een toename aan wintertaling. Tal van gelijkaardige klimaatsvragen zijn mogelijke vragen. In Figuur IV-2 wordt geïllustreerd wat het effect is aan bv. oppervlakte of breedte toename van fysiotopen (hypothetisch, gesteld dat de habitats onmiddellijk geschikt zijn). Dergelijke modellering kan de onderzoeker en beleidsmaker helpen bij het onderbouwen van bijvoorbeeld estuariene herstelmaatregelen.

Vorstgetal stijgt met 1.5 eenheid



Figuur IV-1. Gemodelleerde effect van een stijging van het vorstgetal met 1.5 eenheid op de wintertalingpopulatie in de Zeeschelde na 1 jaar tegenover het getijverschil (m) (alle andere variabelen identiek).



Figuur IV-2. Gemodelleerde effect van fysiotoopveranderingen op de wintertalingpopulatie langsheen de Zeeschelde 1 jaar later (alle andere variabelen identiek).

V Referenties

- Ens, B.J., Rappoldt, C & Zwarts, L. (2006). Rapportage over de werkzaamheden die nodig zijn om het simulatiemodel WEBTICS toe te passen op de Wulp. SOVON-onderzoeksrapport 2006/11. SOVON Vogelonderzoek Nederland/EcoCurves/Altenburg & Wymenga, Beek-Ubbergen/Haren.
- Rappoldt, C. & Ens, B.J. (2005). Scholeksters en hun voedsel in de Westerschelde; Een verkenning van de voedselsituatie voor de scholeksters in de Westerschelde over de periode 1992-2003 met het simulatiemodel Webtics. Wageningen, Alterra-Rapport 1209. 48pp.
- Van Damme, S., Ysebaert, T., Meire, P. & Van den Bergh, E. (1999). Habitatstructuren, waterkwaliteit, en leefgemeenschappen in het Schelde-estuarium. Rapport Instituut voor Natuurbehoud 99/24, Brussel.
- Van Ryckegem, G, De Regge, N. & Van den Bergh, E. (2006). Voedseleecologie en gedrag van overwinterende watervogels langs de Zeeschelde: een methodologische studie. INBO.R.2006.28. Instituut voor Natuur-en Bosonderzoek, Brussel.

VI Bijlagen op CD-rom



A. Basisanalyses overige soorten

Thierry Onkelinx

B. Algemene trends in de databank (1991-2007)

Thierry Onkelinx

C. Potentieel belang van breuksteen als foerageerhabitat voor watervogels - verkennend onderzoek in de Zeeschelde

Gunther Van Ryckegem