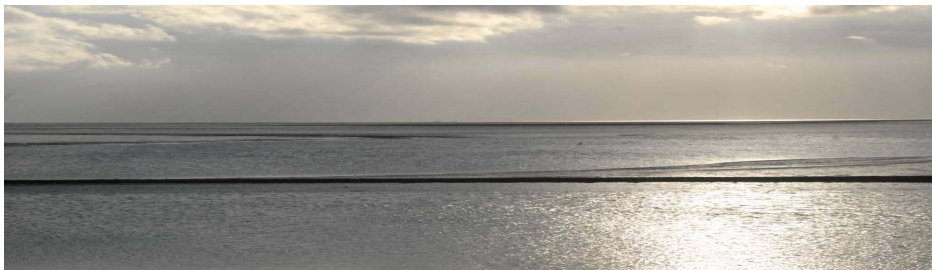


Voedselkeuzes en draagkracht: de mogelijke consequenties van veranderingen in de draagkracht van Nederlandse kustwateren op het voedsel van schelpdieretende wad- en watervogels

C.J. Smit, A.G. Brinkman, B.J. Ens & R. Riegman

Rapport C155/11



met medewerking van R. van Bemmelen, A. Cervenci, J. van Gils,
Yang Hong-Yan, M. Klaassen, M. Leopold, T. Piersma, K. Rappoldt,
L. Teal, M. van der Pol & J.-T. van der Wal

IMARES Wageningen UR

Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

Opdrachtgever:

Ministerie van EL&I
Directie Natuur, Landschap en Platteland
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

BO-11-007-003

Publicatiedatum:

6 december 2011

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie, Directie Natuur, Landschap en Platteland en de Directie Regionale Zaken, vestiging Noord, binnen het Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van Thema Mariene EHS (BO-02-008)

Omslagfoto: Cor Smit

P.O. Box 68
1970 AB IJmuiden
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 77
4400 AB Yerseke
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 59
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 57
1780 AB Den Helder
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)223 63 06 87
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

P.O. Box 167
1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl

© 2011 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

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

A_4_3_1-V11.2

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	13
1.1 Instandhoudingsdoelen.....	13
1.2 Vraagstelling.....	17
2 Werkwijze.....	21
2.1 Uitvoering en raakvlakken met andere onderzoeken	21
2.2 Statistische analyse	22
3 Topper	27
3.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren.....	27
3.2 Onderzoeksvragen	30
3.3 Nadere analyse van de voedselsituatie in de gebieden nabij de Afsluitdijk	40
3.4 Conclusie in relatie tot de Instandhoudingsdoelstelling	45
3.5 Samenvatting en slotopmerkingen	46
4 Zwarte Zee-eend	49
4.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren.....	49
4.2 Onderzoeksvragen	52
4.3 Conclusie in relatie tot de Instandhoudingsdoelen.....	59
4.4 Samenvatting en slotopmerkingen	60
5 Eider.....	61
5.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren.....	61
5.2 Onderzoeksvragen	65
5.3 Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen	72
5.4 Samenvatting en slotopmerkingen	73
6 Scholekster.....	75
6.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren.....	75
6.2 Onderzoeksvragen	78
6.3 Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen	96

6.4	Samenvatting en slotopmerkingen	97
7	Steenloper	99
7.1	Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren.....	99
7.2	Onderzoeksvraag.....	103
7.3	Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen	108
7.4	Samenvatting en slotopmerkingen	108
8	Kanoet	109
8.1	Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren.....	109
8.2	Onderzoeksvragen	113
8.3	Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen	125
8.4	Samenvatting en slotopmerkingen	125
9	Draagkracht van de Waddenzee voor schelpdieren en vogels gerelateerd aan de toevoer van nutriënten en het voorkomen van Japanse Oesters en Amerikaanse Zwaardschede, een modelstudie	127
9.1	Inleiding.....	127
9.2	Methoden en data	128
9.3	Resultaten	137
9.4	Discussie	164
9.5	Samenvatting en slotopmerkingen	166
9.6	Kennisleemtes.....	168
10	Synthese	169
11	Referenties	179
12	Verantwoording	193
	Bijlage 1: Prey choice and prey fidelity in Oystercatchers.....	195

Samenvatting

Inleiding

De Waddenzee en de Noordzeekustzone zijn aangewezen als Natura2000-gebieden. Naast een verplichting tot instandhouding is voor de Waddenzee een verbeterdoelstelling geformuleerd voor de schelpdieretende vogelsoorten Eider (als broedvogel en als niet-broedvogel), Topper, Kanoet, Scholekster en Steenloper (voor deze soorten als niet-broedvogel). Voor de Noordzeekustzone zijn voor schelpdieretende kustvogels en voor de aangewezen habitattypen alleen behoudsdoelstellingen geformuleerd.

Anno 2010 voldoen de populaties van de Topper, de Kanoet en de Steenloper aan de Instandhoudingsdoelstellingen voor de Waddenzee. De aantallen van de Eider en de Scholekster liggen lager dan de geformuleerde doelstellingen. In de Noordzeekustzone liggen de aantallen Zwarte Zee-eenden, Eiders en Scholeksters onder de geformuleerde Instandhoudingsdoelstellingen. Voor de Kanoet werden deze gehaald tussen 1999-2000 en 2003-2004 maar de actuele situatie is onduidelijk. Gedurende de laatste decennia waren verscheidene factoren van belang voor de aantalsontwikkeling van de meeste schelpdieretende vogelsoorten. Het toenmalige Ministerie van LNV (nu EL&I) heeft in 2008 aan IMARES vragen gesteld die in het kader van een zogenaamd BO-project moesten worden beantwoord. Voor de belangrijkste soorten schelpdieretende vogels (de hierboven genoemde soorten plus de Zwarte Zee-eend) gaat het om de volgende vragen:

- In hoeverre is het benodigde voedsel aanwezig?
- Is het beschikbare voedsel van voldoende kwaliteit?
- Is het preferente voedsel beschikbaar en bereikbaar?
- Krijgen de vogels voldoende gelegenheid om het voedsel ook te bemachtigen (onder invloed van ecologische en antropogene factoren)?

Deze basisvragen zijn door het Ministerie voor de 6 te onderzoeken vogelsoorten (Eider, Zwarte Zee-eend, Toppereend, Scholekster, Kanoet en Steenloper) vertaald naar de in Hoofdstukken 3 t/m 8 weergegeven kennisvragen per soort. Deze richten zich vooral op de voedsleecologie van de genoemde schelpdieretende soorten. De centrale vraag die in dit rapport wordt besproken is in hoeverre de condities binnen de Waddenzee en de Noordzeekustzone van invloed zijn of kunnen zijn op de populatieomvang van de genoemde soorten. De belangrijkste factoren die hierop invloed kunnen hebben zijn habitatgeschiktheid en voedselvoorziening. Habitatgeschiktheid is in deze gebieden vooral gekoppeld aan de aanwezigheid van geschikte leefgebieden en verstoring, voedselvoorziening aan de beschikbaarheid van voldoende hoeveelheden geschikte prooidieren.

Soorten

In relatie tot de voedsleecologie van de te bespreken vogelsoorten zijn er de volgende knelpunten geïdentificeerd:

De populatie van de Topper (Hoofdstuk 3) heeft, gemiddeld over de jaren 1990-91 t/m 2008-09, een omvang die boven de Instandhoudingsdoelstelling ligt. Voor de afzonderlijke jaren is dit vaak niet het geval (Figuur 3.13). Tegenwoordig is slechts een betrekkelijk klein deel van de Toppers aanwezig in de Waddenzee. Het grootste deel van de overwinterende populatie bevindt zich in het IJsselmeer (Figuur 3.2). Tussen deze twee gebieden vindt uitwisseling plaats. Vanwege het nachtelijk foerageren en het feit dat deze vrij schuwe soort op open water niet dicht kan worden benaderd is het maar zeer ten dele gelukt om waarnemingen te verzamelen over het foeragegedrag van deze eenden. Voorlopige resultaten van een statistische analyse van de overeenkomsten in de ruimtelijke verspreiding van Toppers en de potentiële voedselbronnen laten de sterkste correlatie zien met jonge Strandgapers en

mosselzaad op sublitorale mosselbanken (§ 3.2.2.2). In het IJsselmeer is de Driehoeksmossel *Dreissena polymorpha* de favoriete voedselbron, al is het bestand daarvan aan het afnemen (§ 3.2.1).

Analyses van mosselbestanden laten zien dat in de Waddenzee in de meeste jaren voldoende mosselzaad aanwezig is, maar dat er van jaar op jaar grote variaties zijn. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de-eutrofiëring een belangrijke rol speelt als beperkende factor op het voedselaanbod voor Toppers. Dit wordt door de modelberekeningen ondersteund (§ 9.3.5): gemiddeld wordt volgens deze berekeningen meer dan voldoende geschikt voedsel geproduceerd. Wel was in twee van de onderzochte acht jaren er sprake van een zeer gering bestand aan mosselzaad. Onder zulke omstandigheden kan voedselschaarste onder Toppers optreden op momenten dat het voedsel in het IJsselmeer door ijsgang ontoegankelijk is geworden en er langere tijd door grote aantallen vogels naar de Waddenzee uitgeweken moet worden.

De populatie van de Zwarte Zee-eend (Hoofdstuk 4) is het sterkst in aantal achteruit gegaan. Deze vogel eet voornamelijk tweekleppige schelpdieren, soms aangevuld met gastropoden, wormen, krabben, garnalen, isopoden, zee- en slangsterren, alsmede vis en viseieren. In de jaren '90 was de Halfgeknotte Strandschelp *Spisula subtruncata* het hoofdvoedsel in de Nederlandse kustzone (§ 4.1.2). Daarna verdwenen de grootste *Spisula*-banken en werd voor een deel overgeschakeld op de Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus*. De lagere voedingswaarde van deze prooi (§ 4.2.1) wordt gezien als de belangrijkste reden waarom de sterke toename van zwaardschedes vanaf 2002 niet heeft geleid tot een herstel van de aantallen van de Zwarte Zee-eend in de Noordzeekustzone.

In de eerste helft van de twintigste eeuw werden tot 40.000 Zwarte Zee-eenden in de Waddenzee aangetroffen, meestal langs de randen van mosselpercelen (§ 4.2.2). In de afgelopen jaren zijn steeds slechts enkele honderden exemplaren van deze duikeend waargenomen in de Waddenzee. De reden voor deze verschuiving is niet goed bekend. Een toegenomen verstoring van de dieren door menselijke activiteiten kan een rol hebben gespeeld, maar ook toegenomen concurrentie tussen Eiders en Zwarte Zee-eend (door het talrijker worden van de Eider) kan een effect hebben gehad. Tegenwoordig kent de Zwarte Zee-eend in de Waddenzee een meer diffuus verspreidingspatroon (Figuur 4.10). De huidige betekenis van wilde sublitorale mosselbanken en van mosselpercelen in de Waddenzee voor de Zwarte Zee-eend is gering omdat zich tegenwoordig meer dan 95% van de populatie op de Noordzee ophoudt.

De Eider (Hoofdstuk 5) heeft een sterke voorkeur voor tweekleppige schelpdieren. Feitelijk is het de mosselspecialist onder de zoutwatervogels, maar ook Kokkels worden veel gegeten. In tijden van schaarste of wanneer veel alternatieve prooien aanwezig zijn wordt overgeschakeld op zeesterren, slangsterren, krabben en/of slakken (§ 5.1.2). Ten tijde van de schelpdierschaarste in het begin van de jaren '90 vond een enkele jaren durende verhuizing van Eiders plaats naar de kustwateren van de Noordzee (Figuur 5.3). Uit recente tellingen kan worden geconcludeerd dat de huidige verspreiding in de Waddenzee sterk is gerelateerd aan mosselkweekpercelen (Figuur 5.5). Wilde sublitorale mosselbanken dragen op dit moment zeer beperkt bij aan de voedselconsumptie door de Eiderpopulatie. In de oostelijke Waddenzee wordt ook gefoerageerd op droogvallende mosselbanken (§ 5.2.2).

Sinds 2006 is er sprake van een afname van de Eider in de Waddenzee. Deze wordt niet gecompenseerd door een toename elders (Figuur 5.3). De belangrijkste lokale oorzaak voor de achteruitgang van de populatie is een gebrek aan goed voedsel. In de jaren '90 werd vastgesteld dat de hoeveelheid voedsel in de westelijke Waddenzee niet voldoende was om de Eiderpopulatie te voeden (§ 5.1.2), een conclusie die wordt gestaafd door modelberekeningen (Hoofdstuk 9, § 9.3.5 in het bijzonder). Voor een deel wordt de afname ook veroorzaakt door de afname van de broedpopulatie in het Oostzeegebied (vooral in de Finse Golf, zie § 5.1.1). Er bestaat een kennisleemte voor de mogelijke effecten van de garnalenvisserij, waarbij een deel van de Waddenzeebodem jaarlijks meermalen wordt aangeveegd.

Het menu van de Scholekster (Hoofdstuk 6) wordt gedomineerd door schelpdieren, maar daarnaast worden in de zomer op het wad ook zeeduizendpoten en Wadpieren gegeten, en in het binnenland regenwormen en emelten. De snavelvorm is gerelateerd aan het dieet van de vogels. Uit systematische verschillen in snavelvorm tussen individuen kan worden afgeleid dat er binnen een populatie dieren op verschillende wijze gespecialiseerd zijn op een bepaald soort voedsel. Die voedselspecialisatie is niet absoluut en over een langere termijn blijken individuen regelmatig van specialisatie te veranderen. Dit houdt in dat meerdere soorten voedsel voor de Scholekster optimaal kunnen worden benut (§ 6.2.1). Meer bepalend voor de populatieomvang is de totale hoeveelheid voedsel die aanwezig en voor de vogels oogstbaar is. In de Waddenzee is de totale hoeveelheid voedsel gedaald in vergelijking met het einde van de tachtiger jaren van de vorige eeuw door het instorten van de populatie Nonnetjes (Figuren 6.15 en 8.9) en het nog steeds geringe areaal droogvallende mosselbanken als gevolg van het beperkte herstel (§ 6.1.2 en 6.3). Daarbij komt dat de droogvallende mosselbanken in toenemende mate overwoekerd raken door Japanse oesters, die aan veel minder Scholeksters voedsel kunnen bieden. Onder de huidige voedselomstandigheden concurreert ook de handmatige kokkelvisserij met de vogels om Kokkels. De feitelijke handkokkelvangst varieert van jaar tot jaar, en daarmee ook de competitie met Scholeksters. Om een schatting te kunnen maken van het effect van de kokkelvisserij op de draagkracht voor Scholeksters moet de drooglijgtijd van de beviste kokkelbanken bekend zijn: banken laag in de getijzone dragen volgens de modelberekeningen vrijwel niet bij aan de draagkracht voor Scholeksters, terwijl banken hoog in de getijzone in de loop van de winter vrijwel geheel door de Scholeksters worden uitgeput. Die hoge banken leveren daarmee een belangrijke bijdrage aan de draagkracht. De kokkelvangsten worden tegenwoordig per deelgebied geregistreerd, maar niet per bank, zodat de hoogteligging van de beviste banken onbekend is en draagkrachtberekeningen niet mogelijk zijn (§ 6.2.2.4). Na de sluiting van de mechanische kokkelvisserij trad in de oostelijke Waddenzee een goed herstel van de Kokkelpopulatie op. Het herstel bleef achter in de westelijke Waddenzee (§ 6.2.2.2). Alternatieve voedselbronnen zijn voor de Scholekster onvoldoende aanwezig in de Westelijke Waddenzee om dit verlies te compenseren. De Amerikaanse Zwaardschede staat vrijwel niet op het menu van de Scholekster. Dit geldt ook voor de Japanse Oester. Het probleem van de Amerikaanse Zwaardschede is dat deze vooral in het sublitoraal voorkomt en nauwelijks op de droogvallende platen. Het probleem van de Japanse oester is waarschijnlijk dat de meeste schelpen te groot en sterk zijn om geopend te worden door Scholeksters.

Er kan niet worden uitgesloten dat naast de slechte voedselsituatie in de Waddenzee – het belangrijkste overwinteringsgebied, de Scholeksters ook achteruitgaan door verslechtingen in de broedgebieden, waaronder intensivering van de landbouw en toenemende overstromingen van de kwelder tijdens de broedtijd.

De Steenloper (Hoofdstuk 7) heeft een gevarieerd voedselspectrum waarin schelpdieren een belangrijke rol spelen maar dat voor een deel ook uit niet-schelpdieren bestaat (§ 7.1.2). Een belangrijk habitat voor de Steenloper zijn de litorale mosselbanken. Uit metingen en berekeningen blijkt dat mosselbanken een 10 keer hogere bezettingsgraad aan Steenlopers hebben dan de omringende droogvallende gebieden op het wad. Naar schatting 30-50% van de Steenlopers in de Waddenzee gebruikte in het verleden de droogvallende mosselbanken als foerageergebied (§ 7.2). Er zijn voorbeelden bekend waar de Steenloper verdween omdat een bestaande mosselbank grotendeels werd gekoloniseerd door de Japanse Oester. De mosselbanken zijn vooral van belang als leefgebied voor Steenlopers vanwege de aanwezigheid van andere prooien dan Mosselen. Uit tellingen van Steenlopers in de Waddenzee blijkt dat de soort in de westelijke Waddenzee op een lager niveau aanwezig is dan rond 1990. In de oostelijke Waddenzee zien we daarentegen een toename van de soort in vergelijking tot de jaren '90 (Figuren 7.1 en 7.2). In hoeverre deze ontwikkeling geheel kan worden verklaard door de aanwezigheid van droogvallende mosselbanken is niet duidelijk. Een complicerende factor is dat in de Nederlandse Waddenzee door twee verschillende populaties wordt gebruikt die soms tegelijk aanwezig zijn maar die het gebied op een andere manier gebruiken.

De Kanoet (Hoofdstuk 8) foerageert op Nonnetjes, jonge Kokkels en jonge Mosselen. De eerste soort vormt het voorkeursvoedsel. Bij gebrek aan deze schelpdieren kan in beperkte mate worden overgeschakeld op Wadslakjes, Slijkgarnalen en krabbetjes. Een belangrijke daling in de Kanoetenpopulatie vond plaats na een sterke achteruitgang van de Nonnetjespopulatie, aanvankelijk vooral in de westelijke Waddenzee. In het oostelijke deel van de Waddenzee is momenteel nog een wat grotere Nonnetjespopulatie beschikbaar maar ook hier zijn de aantallen in de laatste jaren sterk afgenomen in vergelijking tot de jaren '90 en het begin van deze eeuw (Figuren 8.1, 8.2 en 8.9). In de westelijke Waddenzee moet de Kanoet zich voeden met jonge (kleine) Mosselen op de zeer beperkt aanwezige droogvallende mosselbanken en met jonge Kokkels. Beide soorten voedsel zijn daar minder voorradig dan in het oostelijke gedeelte. Voor de Kanoet valt te verwachten dat de maximale aantallen als gevolg hiervan zullen dalen, een afname die nog kan worden versterkt als gevolg van een verdere nutriëntenreductie. De Kanoetpopulatie is in de westelijke Waddenzee extra kwetsbaar vanwege de geringe aanwezigheid van enkele belangrijke voedselbronnen. Er zijn geen concrete aanwijzingen dat de Japanse Oester of de Amerikaanse Zwaardschede in directe zin een negatieve invloed hebben op het voedsel van de Kanoet.

Draagkracht

De belangrijkste menselijke invloeden die de draagkracht voor schelpdieretende vogels hebben verminderd zijn de eutrofiëringreductie in de Nederlandse binnenwateren, in de westelijke Waddenzee en (in mindere mate) in de oostelijke Waddenzee, het verdwijnen van de mosselbanken begin jaren '90 en de mechanische kokkelvisserij. Laatstgenoemde activiteit werd in de Waddenzee beëindigd met ingang van 1 januari 2005. Bevissing van droogvallende mosselbanken is, op een enkele uitzondering na, achterwege gebleven vanaf begin jaren '90. Herstel van droogvallende mosselbanken trad wel op in de oostelijke Waddenzee, maar nauwelijks in de westelijke (Figuur 7.8). Droogvallende mosselbanken zijn vooral van betekenis voor de Scholekster, Steenloper en Eider. Herstel van deze litorale banken in het oostelijke deel van de Waddenzee heeft een positief effect gehad op het aantalsverloop van Scholeksters, met dien verstande dat de aantallen minder afnamen dan in de westelijke Waddenzee (Figuur 6.12). De aantallen Steenlopers in de oostelijke Waddenzee nemen de laatste jaren zelfs toe (Figuur 7.1), de aantallen Eiders zijn hier min of meer constant gebleven (§ 5.1.1). De biomassa Kokkels vertoont grote fluctuaties, maar over het geheel genomen neemt die biomassa af, zeker in de westelijke Waddenzee (Figuur 8.11). De populatie Nonnetjes in de westelijke Waddenzee is naar een laag niveau gedaald en is de laatste jaren ook dalende in de oostelijke Waddenzee (Figuur 6.15 en 8.9). Het gevolg hiervan is dat de beschikbaarheid van geschikt voedsel in dit deel van het gebied relatief laag is en onvoldoende om de aanwezige schelpdieretende vogels van voldoende voedsel te voorzien. Bovendien wordt de ontsnappingsroute voor deze vogels, het overschakelen op andere schelpdieren, lastiger als gevolg van het feit dat de Waddenzee anno 2010 voedselarmer (minder eutroof) is dan in de jaren '80. De Topper, Kanoet en Steenloper kunnen zich, blijkens de uitgevoerde tellingen, nog vrij goed handhaven. De aantallen van deze soorten liggen boven de Instandhoudingsdoelen.

Wat betreft de draagkracht van de Waddenzee voor schelpdieretende vogels geldt in algemene zin dat de al plaatsgevonden en de toekomstige reductie van de eutrofiëring een negatief effect heeft op de beschikbaarheid van schelpdieren: de maximaal mogelijke schelpdierbiomassa ligt lager dan die welke in de jaren '80 aanwezig was. De berekeningen geven echter ook aan dat de draagkracht die het Waddensysteem voor schelpdieren biedt niet maximaal benut wordt. Dit betekent dat zich in theorie meer schelpdieren in de Waddenzee kunnen voeden met het beschikbare voedsel dan momenteel het geval is. Op basis van de modelberekeningen wordt geschat dat het maximale bestand 2,5-3 maal zo hoog zou kunnen zijn als het huidige niveau (§ 9.3.3). Dit betekent dus dat er onder de huidige omstandigheden, ondanks een verder teruglopende nutriëntentoevoer, grotere populaties schelpdieren mogelijk zijn. Het verschil tussen de feitelijk aanwezige hoeveelheid schelpdieren (en de daaraan gerelateerde vogelaantallen en visserijvangst) en de op basis van draagkrachtberekeningen vastgestelde maximale hoeveelheid wordt veroorzaakt door additionele processen die in de Waddenzee optreden. Zo

geven de uitgevoerde modelberekeningen aan dat er tijdens de ontwikkeling van larven tot volwassen schelpdieren enkele bottle-necks aanwezig zijn, waardoor de ontwikkeling van een hoge biomassa langzamer gaat en minder hoge waarden bereikt worden dan verwacht mag worden op basis van de (grote) hoeveelheden larven die per schelpdier jaarlijks geproduceerd kunnen worden (§ 9.3.4 en 9.3.5). Deze beperkingen zijn nutriënten-gestuurd en betreffen een te geringe voedselproductie voor filtrerende schelpdieren. Een dergelijke langzame bestandstoename impliceert dat verliesprocessen waar mogelijk geminimaliseerd moeten worden, bijvoorbeeld door verliezen in de vroege levensfasen (zoals predatie op larven of pas gesettled broed) zoveel mogelijk te beperken. Naar deze processen zelf is geen nader onderzoek verricht, maar er zou gedacht kunnen worden het zo mogelijk bevorderen van een lagere garnalenstand, die nu mogelijk hoog is vanwege een lage Noordzee-stock van Wijting en Kabeljauw (§ 9.5). De beschikbaarheid van voedsel voor schelpdieretende vogels staat verder onder druk door de opkomst van enkele schelpdiersoorten die veel minder geschikt zijn als voedselbron voor schelpdiereters (Amerikaanse Zwaardschede en Japanse Oester; zie § 9.3.8). De laatste bestandsschattingen (§ 9.2.2) tonen grote biomassa's aan Amerikaanse Zwaardschede, maar ook is aangegeven dat de onzekerheid in die schattingen nog erg groot zijn, waardoor het vooralsnog niet goed is in te schatten in welke mate Ensis het gat opvult tussen maximale en geschatte schelpdierbiomassa's zoals in dit rapport aangegeven.

Bij een verdere algehele daling van de draagkracht zal de populatie Eiders gevoeliger worden voor visserijactiviteiten. In het geval van de Zwarte Zee-eend in de Noordzeekustzone speelt de de-eutrofiëringsproblematiek minder, maar wel de omslag van de geprefereerde Halfgeknotte Strandschelp naar de Amerikaanse Zwaardschedes die bij een maximaal eetbare lengte minder vlees bevat (§ 4.2.2). Effecten van de-eutrofiëring op de Topper worden niet waarschijnlijk geacht (§ 9.3.5).

Mosselzaadvisserij kan een rol spelen in het systeem als concurrent van Eiders en Toppers om beschikbare Mosselen. De omschakeling van sublitorale mosselzaadvisserij naar mosselzaadwinning d.m.v. mosselzaadinvanginstallaties zal naar alle waarschijnlijkheid leiden tot een groter bestand aan Mosselen in de westelijke Waddenzee en heeft als extra positief effect dat het zal leiden tot een grotere voedseldiversiteit in de sublitorale habitats. Onderzoek naar mogelijke effecten van mosselzaadinvanginstallaties op de draagkracht van de Waddenzee is recentelijk opgestart. Hierbij wordt ook gewerkt aan het opzetten van een doelgericht en efficiënt meetsysteem dat mogelijke negatieve effecten op draagkracht voor schelpdieren vroegtijdig detecteert.

Uit modelberekeningen en een globale analyse van de verschillen tussen de westelijke en de oostelijke Waddenzee blijkt ook dat er positieve terugkoppelingsmechanismen van litorale mosselbanken op de draagkracht bestaan. Mosselen deponeren materiaal dat rijk is aan slib en organisch materiaal, en daarmee aan nutriënten, op de bodem. In de zomerperiode, waarin in de huidige situatie vaak een nutriëntenlimitatie optreedt, vindt vanuit die verrijkte bodem een nalevering van fosfaat en stikstofcomponenten plaats waardoor het tekort aan nutriënten wordt verminderd en de productie van fytoplankton wordt gestimuleerd. Hierdoor is de voedselvoorziening voor schelpdieren groter, wat de populatiegroei zal stimuleren (zie § 9.3.11 en 9.5). Een nutriëntentekort op een later moment vindt niet alsnog plaats.

Conclusie en blik vooruit

Berekeningen met een integraal ecosysteemmodel hebben uitgewezen dat de hoge biomassa's aan schelpdieren in de jaren '80, en de teruggang nadien, voor een belangrijk deel zijn terug te voeren op de eutrofiëring voor de jaren '80, gecombineerd met een de-eutrofiëring die in de loop van de jaren '80 is ingezet en die ook nu nog voortduurt. Een verdere teruggang in de nutriëntentoevoer die als gevolg van de normstelling in de KaderRichtlijn Water wordt voorzien zal tot een extra reductie van 20-30% van de maximale schelpdierbiomassa's leiden. Dit zal tot gevolg hebben dat de algehele draagkracht voor schelpdieretende vogelsoorten evenzeer vermindert.

De in de Waddenzee en de Noordzeekustzone aanwezige hoeveelheden als voedsel geschikte schelpdieren zijn in de loop van de afgelopen 30 jaren omlaag gegaan (zie Figuren 4.3, 8.9, 8.11, 9.5 en 9.7). De eveneens afgenomen eutrofiëring is een belangrijke oorzaak voor deze neergaande trend. Binnen de schelpdierpopulatie heeft daarnaast een verschuiving plaatsgevonden van voor vogels geschikte prooidersoorten (Mossel, Kokkel, Nonnetje) naar minder geschikt of slechter bereikbaar voedsel (Amerikaanse Zwaardschede, Strandgaper, Japanse Oester). Anders gezegd: goed voedsel voor schelpdieretende vogels wordt verdrongen door slecht(er) voedsel. Zo worden beduidend minder foeragerende vogels aangetroffen op mosselbanken die zijn overwoekerd door de Japanse Oester. De Amerikaanse Zwaardschede is in de afgelopen jaren sterk toegenomen in de Waddenzee en de andere Nederlandse kustwateren maar de soort heeft een relatief geringe voedingswaarde (§ 4.2.2) en is moeilijk vangbaar. Vogelsoorten die (gedeeltelijk) zijn overgeschakeld op de Amerikaanse Zwaardschede, de Eider en de Zwarte Zee-eend, nemen dan ook niet in aantal toe. Japanse Oesters zijn slechts voor een zeer klein aantal vogelsoorten (Zilvermeeuw en in zeer beperkte mate ook de Scholekster) te openen en alleen maar wanneer ze in een bepaalde leeftijdsklasse zijn. Voor een kwantificering van dit nadelig effect op vogelpopulaties is geprobeerd om de populatiegroei van de Japanse Oester en de Amerikaanse Zwaardschede in de Waddenzee wiskundig te modelleren. Dit is niet gelukt omdat er te weinig informatie is over de natuurlijke sterftesnelheden van beide soorten. Deze kennisleemte maakt het onmogelijk om op betrouwbare wijze mogelijke negatieve effecten te kwantificeren.

Visserij op schelpdieren heeft zeker tot in het begin van de jaren '90 een belangrijke rol gespeeld in de beschikbaarheid van voldoende voedsel voor vogels, zowel in de vorm van Kokkels als in de vorm van Mosselen. Ook klimaatveranderingen kunnen een rol hebben gespeeld, bijvoorbeeld omdat temperatuur van het zeewater van invloed kan zijn op de reproductie van schelpdieren. Andere klimaatfactoren, zoals de frequentie waarmee stormen voorkomen, kunnen ook effect hebben, bijvoorbeeld omdat ze de stabiliteit van droogvallende mosselbanken negatief kunnen beïnvloeden. Er zijn in deze studie echter geen aanwijzingen gevonden dat veranderingen van stormfrequenties een rol hebben gespeeld en daarmee een structurele verklaring kunnen vormen voor de achteruitgang van schelpdierbestanden (§ 9.3.12). Bovendien blijkt dat de sterkte van de maximale windsnelheden juist is afgenomen (Figuren 9.30 en 9.32).

De huidige omvang van het areaal droogvallende mosselbanken van ongeveer 1500 ha is veel lager dan in de jaren '80, toen naar schatting 4000 ha aanwezig was (§ 6.1.2). Dit, en de huidige verdeling van het aanwezige areaal over de westelijke (weinig) en de oostelijke (veel) Waddenzee, een onregelmatig en vaak laag bestand aan Kokkels, een gering bestand aan Nonnetjes in de westelijke Waddenzee en in de laatste jaren in toenemende mate ook in de oostelijke Waddenzee en een gering bestand aan sublitorale Mosselen vormen een deel van de verklaring waarom er in de gehele Waddenzee problemen zijn m.b.t. de voedselvoorziening voor Scholeksters, Eiders en Kanoeten (zie Hoofdstukken 5, 6 en 8). Het uitgevoerde literatuur- en veldonderzoek laat zien dat de meeste vogels in staat zijn om, ten minste gedeeltelijk, over te schakelen op andere schelpdiersoorten of alternatieve prooien wanneer hun favoriete schelpdiersoort in onvoldoende mate beschikbaar is.

De de-eutrofiëring vormt voor de Eider en de Scholekster en mogelijk ook voor de Kanoet een tweede verklaring voor de neergaande trend van het schelpdierbestand (zie § 9.3). Daarnaast speelt visserij voor enkele vogelsoorten lokaal ook een rol. De regulering van kokkel- en mosselvisserij gaat heden ten dage veel verder dan 20-30 jaren geleden het geval was. De mechanische kokkelvisserij is beëindigd per 1 januari 2005 en de huidige handkokkelvisserij is qua omvang aanzienlijk kleiner dan de mechanische geweest is. Vooral op hoog in de getijdzone gelegen kokkelbanken kan deze vorm van kokkelvisserij echter wel invloed op de beschikbaarheid van schelpdieren voor vogels hebben (§ 6.2.2.6).

In sommige jaren is zeer weinig mosselzaad aanwezig in gebieden die door Toppers als voedselgebied worden gebruikt (zie Figuur 3.9 en § 3.3.5 - 3.3.6). In hoeverre mosselzaadvisserij hierbij een rol speelt is niet geheel duidelijk maar een effect kan niet worden uitgesloten. Er is een proces gaande om over te schakelen van bodemberoerende zaadvisserij naar mosselzaadinvanginstallaties als bron van mosselzaad. Hiervan wordt, op termijn, een positief effect op de ontwikkeling van sublitorale mosselbanken, en daarmee ook op de beschikbaarheid van geschikte prooidieren voor Toppers, verwacht.

1 Inleiding

De Nederlandse kustwateren herbergen belangrijke natuurwaarden en de Waddenzee, Noordzeekustzone en Voordelta zijn derhalve aangewezen als Natura2000-natuurgebied. Dat verplicht Nederland om er voor te zorgen dat de kwalificerende habitattypen, habitatsoorten en kwalificerende vogelsoorten in deze gebieden in stand blijven. Voor Eidereend, Toppereend en Scholekster (alle voornamelijk schelpdiereters) en voor de habitattypen H1110A Permanent overstroomde zandbanken en H1140A Slik- en zandplaten (getijdengebied) geldt bovendien een verbeterdoelstelling ten aanzien van de kwaliteit vanuit Natura2000 voor de Waddenzee¹. Voor de Noordzeekustzone zijn verbeterdoelstellingen geformuleerd voor enkele vissoorten en voor de broedvogelsoorten Strandplevier en Dwergstern. De Voordelta is in deze rapportage alleen terloops meegenomen omdat dit kustwater veel minder onder invloed staat van aanvoer van nutriënten vanuit de Rijn en de Maas en helemaal niet vanuit het IJsselmeer. De voor de Waddenzee ontwikkelde systeemmodellen zijn dan ook niet te gebruiken voor het modelleren van processen die zich hier afspelen.

1.1 Instandhoudingsdoelen

In de Aanwijzingsbesluiten van de Waddenzee en de Noordzeekustzone zijn de volgende Instandhoudingsdoelstellingen voor de voor dit rapport relevante vogelsoorten geformuleerd²:

Waddenzee

A063 Eider (als broedvogel)

Doel Behoud omvang en verbetering kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van ten minste 5.000 paren.

Toelichting Na vestiging van de Eider als broedvogel in Nederland in het begin van de vorige eeuw, is het aantal paren met ups en downs toegenomen. Het overgrote deel broedt in het Waddengebied (circa 9.000-11.000 paren rond de eeuwwisseling, daarna in aantal afnemend (Hoofdstuk 5)). Hiervan broedt ongeveer 1/3 in de Waddenzee en 2/3 op de eilanden, de meeste in duinvegetaties met voldoende openheid, in combinatie met open struweel. Langs de Fries-Groningse kust wordt gebroed vanaf de jaren '90 (maximaal 31 paren in 1999). In de Waddenzee zijn de belangrijkste broedconcentraties te vinden op de kwelders van Schiermonnikoog (2553 paren in 2002), de Boschplaat (1.190 paren in 2002) en op Rottumeroog en Rottumerplaat (in 2002 respectievelijk 516 en 739 paren). Voor de Waddenzee in totaal werden in de periode 1999-2003 gemiddeld 5.000 paren geteld. Aangezien de vermoedelijke oorzaak van de recente achteruitgang van de populatie in dit gebied is gelegen, is voor verbetering van de kwaliteit van het leefgebied gekozen (habitattypen H1110A en H1140A). Hiermee sluit de verbeterdoelstelling voor de Eider aan bij de doelstellingen voor deze habitattypen. Het gebied heeft 123 voldoende draagkracht voor een sleutelpopulatie.

A062 Topper (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en verbetering kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van 3.100 vogels (seizoensgemiddelde).

Toelichting Aantallen Toppers zijn van internationale en grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied. De Waddenzee levert na het IJsselmeer de grootste bijdrage. De Topper is een wintergast van november-april. De soort lijkt in de Waddenzee te zijn afgenomen maar door de grote fluctuaties is deze trend niet significant. De aantallen fluctueren enerzijds

¹ Er geldt ook een verbeterdoelstelling voor Habitatype 1330 en voor enkele vogelsoorten die geen duidelijke relatie hebben met schelpdieren. Deze zijn in deze rapportage buiten beschouwing gelaten.

² De teksten voor Doel en Toelichting zijn letterlijk overgenomen uit de Aanwijzingsbesluiten

door winterafhankelijke reacties op ijsvorming (in de Oostzee), anderzijds door verblijf op open water, waardoor de soort relatief moeilijk telbaar is. De Topper is zoals alle van schelpdieren afhankelijke duikkeenden gevoelig voor veranderingen in het aanbod van schelpdieren. De landelijke trend is mogelijk een weerspiegeling van veranderingen in voedselaanbod in de Waddenzee, waarbij de aantallen een aantal jaren sterk verhoogd waren in het IJsselmeer. De trend in de Waddenzee vertoonde echter geen toename toen de aantallen in het IJsselmeer weer afnamen. De samenhang tussen beide gebieden wat betreft het verblijf van de Topper is echter sterk. Uitwisseling tussen de twee gebieden vindt plaats naar aanleiding van fluctuaties in voedselaanbod of weersomstandigheden (meer op de Waddenzee in strenge winters). Slaap- en foerageerfunctie kunnen aan verschillende zijden van de Afsluitdijk liggen.

A063 Eider (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en verbetering kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van 90.000-115.000 vogels (midwinter-aantallen).

Toelichting Aantallen Eiders zijn van internationale en zeer grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied. De Waddenzee levert met circa 94% van de Nederlandse vogels verreweg de grootste bijdrage voor de Eider binnen Nederland. De soort is het hele jaar present. In sommige jaren foerageert de totale Nederlandse eiderpopulatie in de Waddenzee. In jaren waarin een verlaagd voedselaanbod in de Waddenzee samen gaat met goede jaren voor andere schelpdieren (*Spisula*) in de Noordzeekustzone, foerageert een deel van de populatie in dat gebied. In de jaren negentig zijn de aantallen in de Waddenzee afgenomen door verhoogde sterfte en het uitwijken van vogels naar de Noordzeekustzone, in verband met slechte broedval en onvoldoende beschikbaarheid van mosselen. Recent (2003) zijn de aantallen in de Waddenzee weer toegenomen ten koste van de aantallen in de Noordzeekustzone. De landelijke trend is daardoor nog niet positief, maar is over de laatste tien jaar ook niet meer significant negatief. De landelijke staat van instandhouding voor de eider als niet-broedvogel is matig ongunstig en de internationale populatieomvang neemt af. Vanwege de grote betekenis van de Waddenzee voor de Eider is hier verbetering kwaliteit van het leefgebied van toepassing.

A130 Scholekster (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en verbetering kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van 140.000-160.000 vogels (seizoensgemiddelde).

Toelichting Aantallen Scholeksters zijn van grote internationale en zeer grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied en slaappleats. De draagkrachtschatting heeft betrekking op beide functies (gebaseerd op tellingen van hoogwatervluchtplaatsen). Vanwege onzekerheden met betrekking tot herstel van schelpdierbanken in de westelijke Waddenzee is een range gehanteerd. De Waddenzee levert met ongeveer driekwart van de Nederlandse vogels verreweg de grootste bijdrage voor de scholekster binnen Nederland. De soort is het hele jaar present, met laagste aantallen in mei/juni en hoogste in augustus-februari, zonder duidelijke pieken. De populatiegrootte toonde een toename in de jaren zeventig, een doorgaande afname in de jaren negentig en is recent min of meer stabiel op het laagst bekende niveau. Samen met een afname in de zoute Delta zorgt deze trend voor een landelijk zeer ongunstige Staat van instandhouding, zodat voor de Waddenzee een herstelopgave is geformuleerd.

A143 Kanoet (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en verbetering kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van 44.400 vogels (seizoensgemiddelde).

Toelichting Aantallen Kanoeten zijn van grote internationale en zeer grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied en slaappleats. De draagkrachtschatting heeft betrekking op beide functies (gebaseerd op tellingen van hoogwatervluchtplaatsen). De Waddenzee levert voor de Kanoet de grootste bijdrage binnen Nederland. De soort is het hele jaar present, met lage aantallen in mei-juli, relatief hoge aantallen in augustus-

februari en een doortrekkie in augustus die wordt toegeschreven aan ondersoort *canutus* uit de Siberische broedgebieden. De Kanoet komt nauwelijks voor aan de vastelandkust (met uitzondering van Balgzand), overtijers hebben de voorkeur voor afgelegen zandvlakten als bijvoorbeeld Vliehors, Richel en Griend. De soort overtijt in zeer grote groepen maar wisselt sterk tussen de beschikbare plaatsen, met zeer grote actieradius. De overwinteraars behoren tot de Groenlands/Canadese ondersoort *islandica*. Aantallen waren eerst stabiel en zijn daarna fors toegenomen en sinds de eerste helft van de jaren negentig weer fors afgenomen. Deze afname wordt voor een (klein) deel gecompenseerd door toename in de zoute Delta en resulteert niet in aantallen die lager zijn dan in de jaren zeventig en tachtig, zodat de landelijke staat van instandhouding slechts matig ongunstig is. Daarom is uitgegaan van behoud van de huidige aantallen (gemiddelde van de seizoenen 1999/2000 t/m 2003/2004). De afname lijkt echter door te gaan en wordt toegeschreven aan veranderingen in de voedselbeschikbaarheid die verband houden met veranderingen van sedimentsamenstelling en afname van dichtheden en kwaliteit van schelpdieren als het Nonnetje *Macoma balthica*. Omdat daardoor ook de andere aspecten van de Staat van Instandhouding (matig) ongunstig zijn, is verbetering van kwaliteit leefgebied in het doel opgenomen.

A169 Steenloper (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en verbetering kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van 2.300-3.000 vogels (seizoensgemiddelde).

Toelichting Aantallen Steenlopers zijn van internationale en zeer grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied en slaapplek. De draagkrachtschatting heeft betrekking op beide functies (gebaseerd op tellingen van hoogwatervluchtplaatsen). De Waddenzee levert met meer dan 80% van de Nederlandse vogels verreweg de grootste bijdrage voor de soort binnen Nederland. De soort komt bijna het hele jaar voor, met lage aantallen in juni, hoogste aantallen rond augustus, als Scandinavische vogels doortrekken naar West Afrika. Overwinteraars zijn vooral broedvogels uit Groenland en Oost Canada. Terwijl de aantallen van de Scandinavische vogels min of meer stabiel zijn, is er bij de (in gemiddelde aantallen sterk overheersende) overwinterende populatie duidelijk sprake van afname. Vooral midden jaren negentig was er een forse afname, sindsdien zijn de aantallen (een deel van de meest recente getallen ligt inmiddels binnen de in het doel aangegeven range) toegenomen maar nog niet volledig hersteld. Door het grote belang van de Waddenzee resulteert dit in een landelijk zeer ongunstige Staat van Instandhouding, zodat een herstelopgave voor de Waddenzee noodzakelijk is. Dit geldt met name voor de afname in de jaren negentig, die wellicht verband houdt met onder andere slechte broedval. Met betrekking tot de eerdere afname wordt ook klimaatverandering als mogelijke oorzaak genoemd (overwintering dicht bij de broedgebieden). De verwachting is echter dat met het herstel van de droogvallende mosselbanken het leefgebied van de Steenloper zich zodanig herstelt dat de aantallen nog wat verder kunnen toenemen.

Noordzeekustzone

In de Noordzeekustzone is voor de volgende soorten een Instandhoudingsdoelstelling geformuleerd:

A062 Topper (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en kwaliteit leefgebied. Er is voor deze soort geen kwantitatief Instandhoudingsdoel geformuleerd.

Toelichting Het gebied heeft voor de Topper met name een functie als foerageergebied. Midden jaren negentig zijn relatief hoge aantallen geteld in de Noordzeekustzone, min of meer volgend op de afname in het IJsselmeer en de Waddenzee. Vergelijking met de situatie bij de Eider suggereert een opvangfunctie voor de Noordzeekustzone in tijden van voedselschaarste in de andere twee genoemde gebieden, maar data uit de Noordzeekustzone zijn schaars. Behoud van de huidige situatie is voldoende, de waarschijnlijke oorzaak van de landelijk zeer ongunstige Staat van Instandhouding is niet gelegen in dit gebied.

A063 Eider (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van gemiddeld 26.200 vogels (midwinter-aantallen).

Toelichting Aantallen Eiders zijn van internationale en grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied. De Noordzeekustzone is belangrijk geworden in het begin van de jaren negentig, toen de aantallen hier toenamen, terwijl ze in de Waddenzee afnamen. Met name in jaren waarin een verlaagd voedselaanbod in de Waddenzee samen gaat met goede jaren voor andere schelpdieren (bijvoorbeeld *Spisula*) in de Noordzeekustzone foerageert hier een relatief hoog aantal. De recente afname in de Noordzeekustzone kan een teken zijn van een begin van herstel van de voedselsituatie in de Waddenzee, maar een dergelijk herstel is nog niet zichtbaar in de populatietrend. Omdat de aanwezigheid van Eiders in de Noordzeekustzone waarschijnlijk is verbonden aan slechte omstandigheden in de Waddenzee, wordt daar de herstelopgave gelegd en wordt in de Noordzeekustzone volstaan met behoud van de opvangcapaciteit. Behoud van de huidige situatie is voldoende, de waarschijnlijke oorzaak van de landelijk zeer ongunstige Staat van Instandhouding is niet gelegen in dit gebied.

A065 Zwarte zee-eend (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van gemiddeld 51.900 vogels (midwinter-aantallen).

Toelichting Aantallen Zwarte Zee-eenden zijn van internationale en zeer grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied. Het gebied levert verreweg de grootste bijdrage voor de Zwarte Zee-eend in Nederland. De soort is een wintergast. Er is geen duidelijke trend door grote fluctuaties, deels veroorzaakt doordat alleen tellingen uit januari beschikbaar zijn. De aantallen fluctueren mogelijk ook werkelijk van jaar op jaar door het wisselend aanbod aan schelpdieren (onder andere *Spisula*). De soort verkeert landelijk in een matig ongunstige Staat van Instandhouding.

A130 Scholekster (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van gemiddeld 3.300 vogels (seizoensmaximum).

Toelichting Het gebied heeft voor de Scholekster met name een functie als slaappleats. Als zodanig levert de Noordzeekustzone één van de grootste bijdragen voor de soort binnen Nederland. De slaappleatsfunctie/ hoogwatervluchtplaatsen is van toepassing op vogels die grotendeels elders in het Waddengebied foerageren. De gegevens zijn niet toereikend voor een trendanalyse. Behoud van de huidige situatie is voldoende, de oorzaak van de landelijk zeer ongunstige Staat van Instandhouding is niet gelegen in dit gebied.

A143 Kanoet (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van gemiddeld 560 vogels (seizoensmaximum).

Toelichting Het gebied heeft voor de kanoet met name een functie als slaappleats. De slaappleatsfunctie/hoogwatervluchtplaatsen is van toepassing op kanoeten die grotendeels elders in het Waddengebied foerageren. Stredammen langs de Noord-Hollandse kust zijn bij dichtvriezen van de westelijke Waddenzee van belang als opvang. De gegevens zijn niet toereikend voor een trendanalyse. Behoud van de huidige situatie is voldoende, de waarschijnlijke oorzaak van de landelijk matig ongunstige Staat van Instandhouding is niet gelegen in dit gebied.

A169 Steenloper (als niet-broedvogel)

Doel Behoud omvang en kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van gemiddeld 160 vogels (seizoensgemiddelde).

Toelichting Aantallen steenlopers zijn van nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied en als slaappleats. De Noordzeekustzone levert één van de grootste bijdragen voor de Steenloper binnen Nederland (ondergeschikt aan de Waddenzee). Oudere trendgegevens ontbreken, maar beschikbare data vertonen een zelfde dip in de tweede helft van de jaren negentig als in de Waddenzee. Als dit te maken heeft met voedselbeschikbaarheid in de Waddenzee (mosselbanken en daaraan verbonden voedseltypen) biedt het Noordzeestrand blijkbaar geen uitwijkmogelijkheid, zoals bij enkele eendensoorten die naar de Noordzeekustzone uitweken. Ondanks de landelijk zeer ongunstige Staat van Instandhouding is geen herstelopgave geformuleerd voor de Noordzeekustzone, omdat de trend afgeleid is van die van de Waddenzee.

1.2 Vraagstelling

In de aangewezen gebieden vindt een breed scala aan menselijke activiteiten plaats, waaronder schelpdiervisserij, recreatie, militaire activiteiten, wetenschappelijk onderzoek, beroepsscheepvaart etc. Besluiten rondom schepdiervisserij hebben in het verleden geleid tot veel maatschappelijke discussies en politieke aandacht. En soms ook tot verwarring: tijdens diverse procedures is er sprake geweest van verschillen in wetenschappelijk inzicht. Centraal in dit BO-project staat de draagkracht van de Waddenzee, waarbij het vooral gaat om de vraag in hoeverre er genoeg voedsel is voor vogelpopulaties die de Waddenzee en de Noordzeekustzone gebruiken om te foerageren. Factoren die deze draagkracht kunnen beïnvloeden zijn:

- gevolgen van klimaatveranderingen (waarbij o.a. moet worden gedacht aan effecten op de broedval van schelpdieren en de overleving van hun larven)
- afname van de eutrofiëring (en de hierdoor optredende afname van nutriënten die mogelijk doorwerkt in de voedselketen)
- toename van exoten, vooral in de vorm van Japanse Oester *Crassostrea gigas* en de Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* waardoor het geprefereerde voedsel van schelpdieretende vogels (bijvoorbeeld Mosselen *Mytilus edulis* en Kokkels *Cerastoderma edule*) kan afnemen of verdwijnen.

Het huidige beleid met betrekking tot schelpdiervisserij is vastgelegd in het Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005-2020 "Ruimte voor een zilte oogst" en in het beleid over de implementatie van Natura2000. In het Beleidsbesluit Schelpdiervisserij wordt als beleidsdoel van de inzet op een duurzame schelpdiervisserij genoemd:

- De ontwikkeling van een economisch gezonde bedrijfstak met productiemethoden die de natuurwaarden in de kustwateren respecteert en daar waar mogelijk versterkt

Het Natura2000 implementatiekader vermeldt:

- In het kader van Natura 2000 worden doelen opgenomen in de vorm van draagkracht van de Waddenzee voor verschillende zich kwalificerende vogelsoorten. Dit vertaalt zich onder andere in het voldoende beschikbaar zijn van voedsel voor vogels. De verwachte ontwikkeling van exoten zoals Japanse oester en Amerikaanse Zwaardschede binnen de Waddenzee zou op een gegeven moment van invloed kunnen zijn op de draagkracht van de Waddenzee voor de zich kwalificerende vogelsoorten. Wanneer gaat de ontwikkeling van de Japanse oester en de Amerikaanse Zwaardschede (en wellicht ook andere invasieve exoten) de draagkracht zodanig beïnvloeden dat doelstellingen niet gehaald kunnen worden?

Als invulling van het beleidsbesluit is in de jaren 2008-2009 invulling gegeven aan een verduurzamingopgave voor de mosselsector, voornamelijk door middel van inrichting van mosselzaad invang installaties (MZI's). Opschaling van deze activiteit zou van invloed kunnen zijn op de draagkracht van de Waddenzee. Ook is nog onduidelijk wat het effect is van de transitie van mosselzaadvissers op de bodem naar MZI's op schelpdiereters zoals duikeenden maar ook Scholekster, Steenloper en Kanoet.

Het Ministerie van LNV heeft in 2008 aan IMARES een aantal vragen gesteld die in het kader van een zogenaamd BO-project moeten worden beantwoord. Voor de belangrijkste soorten schelpdieretende vogels gaat het om de volgende vragen:

- In hoeverre is het benodigde voedsel aanwezig?
- Is het beschikbare voedsel van voldoende kwaliteit?
- Is het preferente voedsel beschikbaar en bereikbaar?
- Krijgen de vogels voldoende gelegenheid om het voedsel ook te bemachtigen (onder invloed van ecologische en antropogene factoren)?

Deze basisvragen zijn door het Ministerie voor 6 te onderzoeken vogelsoorten (Eider, Zwarte Zee-eend, Toppereend, Scholekster, Kanoet en Steenloper) vertaald naar de in Hoofdstukken 3 t/m 8 weergegeven kennisvragen per soort. Deze richten zich vooral op de voedsleecologie van de genoemde schelpdieretende soorten en dienen aanvullende informatie op te leveren op informatie die al is weergegeven in de in 2007 verschenen Quick-Scan "Voedsleecologie van een zestal schelpdieretende vogels" (Brinkman *et al.* 2007) die de stand van zaken weergeeft van de kennis van hun voedsleecologie. Hierin zijn kennislacunes geformuleerd, o.a. voor wat betreft het effect van de ontwikkeling van de Amerikaanse Zwaardschede in de Waddenzee. Het onderzoek heeft daarnaast tot doel het creëren van meer duidelijkheid over de draagkracht van de Waddenzee i.r.t. de instandhoudings- en/of verbeterdoelen vanuit Natura2000. Hierbij is nadrukkelijk de vraag gesteld wanneer de Japanse Oester en de Amerikaanse Zwaardschede de geprefereerde soorten schelpdieren voor de schelpdieretende vogels gaan beïnvloeden. Op basis van de verkregen informatie dient een inschatting wanneer de draagkracht van de Waddenzee en Noordzeekustzone en de instandhoudings- en/of verbeterdoelen van de Waddenzee in het gedrang komen. De resultaten moeten ook bijdragen aan beter inzicht in de gevoeligheid van het Waddenecosysteem ten aanzien van nutriënten.

Ten aanzien van de 6 onderscheiden soorten vogels zijn in het kader van het project door het Ministerie van LNV de volgende meer uitgewerkte vragen gesteld:

Topper

1. Wat is de relatie tussen (de mate van) eutrofiëring en de beschikbaarheid van schelpdieren van voldoende kwaliteit (dus met voldoende vlees)?
2. In welke mate draagt de Waddenzee bij aan de voedselopname van Toppereenden in Nederland?

Zwarte Zee-eend

1. Welke (groottes van) *Ensis* is (zijn) nog geschikt voedsel en hoe gaan de eenden hiermee om? Eten de eenden naast *Ensis* thans nog andere prooien en zo ja, welke dan?
2. Wat is het belang van Mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor Zwarte Zee-eend? Geef een inschatting van de ratio op basis van veldonderzoek.

Eider

1. Welke (groottes van) *Ensis* is (zijn) nog geschikt voedsel en hoe gaan de eenden hiermee om? In welke mate eten de eenden naast *Ensis* thans nog andere prooien en zo ja, welke dan?
2. Wat is het belang van Mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor de Eidereend? Geef een inschatting van de ratio op basis van veldonderzoek.

Scholekster

1. Het is nog onvoldoende duidelijk in hoeverre voedselspecialisatie de overlevingskansen van Scholeksters negatief beïnvloedt wanneer bepaalde prooidieren wegvallen. Zijn zij voedselspecialisten (en foerageren ze dan niet op schelpdieren), of wordt gewisseld van prooidiersoort?

2. Belangrijk is het te weten waardoor de geconstateerde achteruitgang vooral in Nederland te zien is. Daar daalt zowel de binnenlandse broedpopulatie, als die aan de Waddenkust, als de overwinterende populatie, en is het broedsucces van de eilandbroeders laag.

Steenloper

1. Welke factoren zijn bepalend voor de populatiegrootte-ontwikkeling van de Steenloper en de negatieve trend in de aantallen die de Waddenzee en Noordzeekustzone bezoeken.
2. In 2007 start het project "Uitwerking Trilaterale afspraken Verklaring van Schiermonnikoog (2005)", doorlopend t/m april 2008. Hierbinnen analyseert het 'deelproject Vogels' de factoren die mogelijk van invloed zijn op de populaties van broed- en trekvogels in relatie tot de vogelgegevens zelf. Het voorliggende PvE betreft een vervolg van voornoemd onderzoek op basis van de daarin geconstateerde kennislacunes.

Kanoet

1. De prooiconditie heeft een relatie met eutrofiëring en voedselconcurrentie tussen de verschillende secundaire producenten. Zijn er aanwijzingen dat prooiconditie, eutrofiëring en voedselconcurrentie tussen secundaire producenten van invloed zijn op de voedselopname van Kanoeten?
2. Op welke schelpdieren foerageert de Kanoet? Hoe was hiervan de beschikbaarheid (kwantiteit en kwaliteit) in de afgelopen vijf jaar?
3. Hoe is de beschikbaarheid (kwantiteit en kwaliteit) gedurende de loop van het project?

Draagkracht en de rol van de Amerikaanse Zwaardschede en de Japanse Oester

Op basis van de antwoorden op deze vragen is het mogelijk om zowel in tijd als in ruimte aan te geven in hoeverre de instandhoudings- en/of verbeterdoelen realistisch zijn en of er ruimte is voor andere functies, met name de schelpdiervisserij. Tevens dient inzichtelijk te worden gemaakt wanneer de Japanse Oester en de Amerikaanse Zwaardschede de preferente schelpdieren voor de schelpdieretende vogels gaan beïnvloeden. Op basis hiervan dient een inschatting te worden gemaakt wanneer de draagkracht van de Waddenzee en Noordzeekustzone en de instandhoudings- en/of verbeterdoelen van de Waddenzee in het gedrang komen. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is gekozen voor een modelmatige aanpak, waarbij op basis van het EcoWasp model scenario-berekeningen zijn uitgevoerd naar de effecten van minder nutriëntenaanvoer op de primaire productie en de doorvertaling van eventueel optredende veranderingen op de voedselketen, zowel op het niveau van schelpdierbestanden als op de draagkracht voor vogels die deze schelpdieren als voedsel gebruiken.

2 Werkwijze

2.1 Uitvoering en raakvlakken met andere onderzoeken

Ter beantwoording van de voor de drie schelpdieretende eenden geformuleerde vragen is gekozen voor voedsleecologisch onderzoek aangevuld met tellingen. In de winter van 2008/2009 is begonnen met tellingen vanuit de lucht van duikeenden in de maanden november, december en februari. Over de resultaten van deze tellingen is afzonderlijk gerapporteerd (De Jong *et al.* 2009, 2010). Daarnaast zijn bemonsteringen van bodemfauna uitgevoerd en zijn opnames gemaakt van de bodem met een side-scan sonar in de gebieden waar duikeenden zijn aangetroffen. Om deze werkzaamheden full-time te kunnen uitvoeren is per november 2009 een AIO aangesteld met als specifieke taak de voedsleecologie van de voor dit onderzoek relevante duikeenden in kaart te brengen. Inmiddels is een goede start gemaakt met voedsleecologisch onderzoek aan duikeenden maar de resultaten zijn nog zeer bescheiden in verhouding met waarop bij de start van het onderzoek was ingezet.

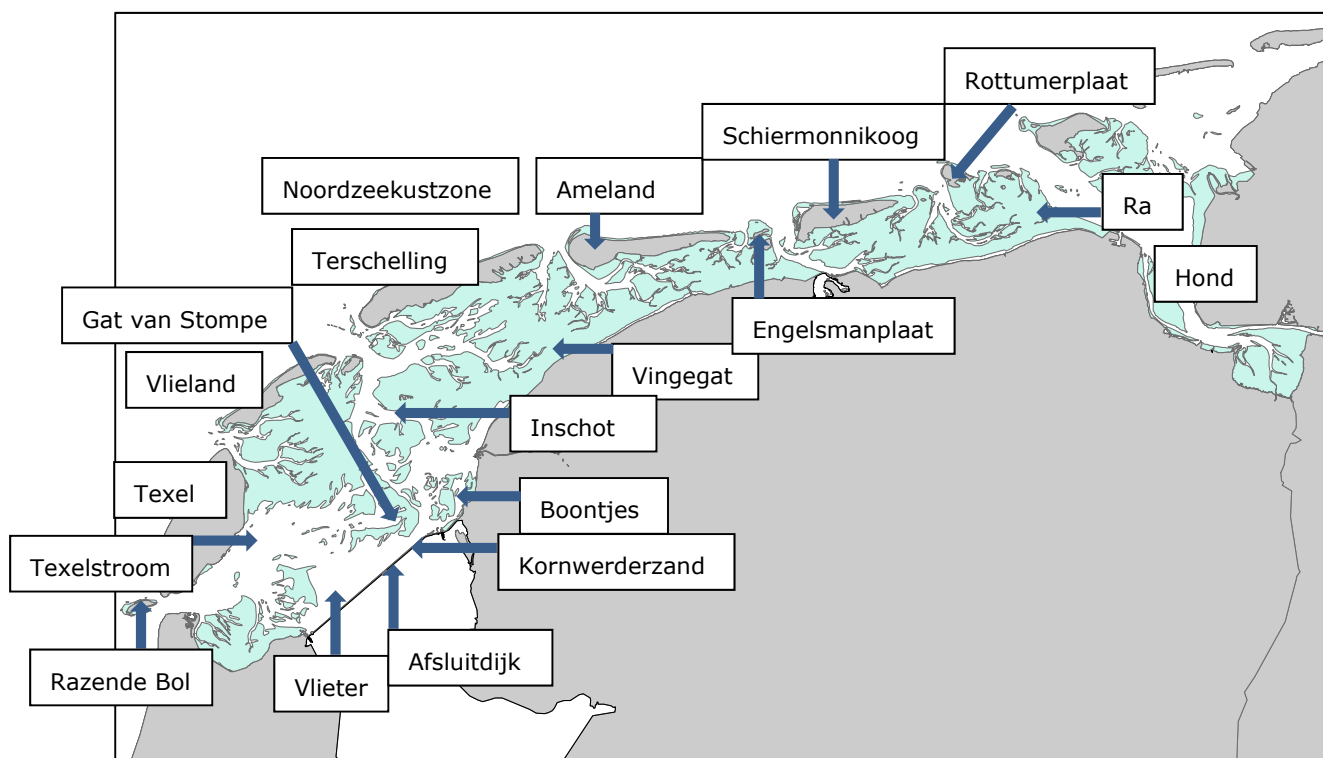
Tot de te beschrijven soorten zij er twee waaraan al lange tijd door gespecialiseerde groepen onderzoek wordt uitgevoerd. Het betreft de Scholekster (SOVON, Rijksuniversiteit Groningen) en de Kanoet (NIOZ, Universiteit Groningen). Om deze reden is de beantwoording van de gestelde onderzoeksvragen bij deze 2 groepen neergelegd in de vorm van een uitbesteding. Getracht is de vragen over Steenloper te beantwoorden via de inzet van studenten. Naast de hierboven geschetste insteek is de ecologische draagkracht van het systeem bestudeerd waarbij gebruik wordt gemaakt van binnen IMARES aanwezige expertise op het gebied van ecosysteemmodellering. De gegevens zijn gecombineerd met de resultaten van een aantal projecten waarvan de vraagstelling aansluit op de vragen die in het kader van dit BO-project worden gesteld, dan wel projecten die gegevens genereren die voor het onderhavige project kunnen worden gebruikt. Het betreft:

- Proodus: de voornaamste onderzoektaak ligt op het terrein van de relatie schelpdiervisserij en – kweek op sublitotale natuurwaarden, kweekdeficiënties en geschiktheid van deelgebieden in de Waddenzee voor schelpdiervoorkomens. De relatie met vogels is niet in Proodus opgenomen. Het BO-project moet die leemte opvullen
- WOT-schelpdierensurveys: de jaarlijkse Waddenzee-brede surveys naar schelpdierbestanden. In het kader van NWO-ZKO (zie hierna) wordt als aanvulling een verfijning van het monster- en analyseprogramma doorgevoerd
- NWO-ZKO "Startprogramma Veranderende Draagkracht". Hierin worden meerdere activiteiten ontplooid door o.a. IMARES, NIOZ en RUG. Het betreft aanvullende schelpdiersurveys met bredere en meer gedetailleerde aandacht voor moeilijker bereikbare schelpdieren zoals de Amerikaanse Zwaardschede, de Strandgaper *Mya arenaria* en de Japanse Oester. Er is echter ook aandacht voor een brede modelontwikkeling om aan eutrofiëring gerelateerde effecten niet alleen aan fytoplankton te kunnen koppelen maar ook aan groeimogelijkheden voor schelpdieren, effecten van visserij, predatie op schelpdieren door vogels
- MZI's en Draagkracht: in het kader van het mosselconvenant en de transitie van sublitorale mosselzaadvisserij naar alternatieve mosselzaadwinning is onderzoek gestart naar de effecten van MZI's op de ecologie in het algemeen en de draagkracht van de Waddenzee (en de Oosterschelde) in het bijzonder.
- Mosselwad, een project realiseerd met gelden vanuit het Waddenfonds, gericht op het herstel en duurzaam beheer van zowel litorale als sublitotale mosselbanken in de Waddenzee en het wegnemen van onduidelijkheden in het proces van vestiging van deze mosselbanken. Het project is opgezet als een samenwerkingsverband tussen de EUCC, IMARES, NIOO-CEME, NIOZ, de Universiteit Utrecht en SOVON Vogelonderzoek Nederland.
- Waddensleutels, eveneens gefinancierd met gelden vanuit het Waddenfonds. Binnen dit project hebben natuurorganisaties en onderzoeksinstellingen de krachten gebundeld om te onderzoeken wat het

belang is van biobouwers en hoe we deze soorten weer terug kunnen krijgen in de Waddenzee. Waddensleutels is een samenwerking van Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, de Rijksuniversiteit Groningen, NIOZ en NIOO-CEME.

In deze flankerende projecten staat niet de relatie schelpdiervoorkomens ↔ schelpdieretende vogels centraal, maar wel allerlei mechanismen die van invloed zijn op de schelpdiervoorkomens zelf.

De in dit rapport gebruikte topografische namen zijn weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1. Naamgeving van gebieden en geulen zoals die in dit rapport is gebruikt

2.2 Statistische analyse

In het kader van de beantwoording van de voor dit project gestelde vragen is getracht om de ruimtelijke verspreidingspatronen van duikeenden te koppelen aan de ruimtelijke verspreidingspatronen van bodemdieren (waaronder sublitorale mosselbanken en mosselpercelen). Deze analyse is uitgevoerd door Lorna Teal (IMARES IJmuiden) op basis van gegevens van 2 jaren (2008/2009 en 2009/2010) die door Anja Cervenci (AIO duikeenden) waren verzameld uit de IMARES-databestanden.

2.2.1 Uitgevoerde werkzaamheden

Voor de statistische analyse m.b.t. de vraag welke potentiële prooidieren het sterkst de verspreiding van de duikeenden in de Waddenzee aansturen werden Generalised Linear Mixed Models toegepast (GLM's, Zuur *et al.* 1997). Een dergelijke analyse beschrijft in feite de verbanden die wel of niet aanwezig zijn tussen de dichtheden vogels en de factoren die de verschillen in deze vogeldichtheden mogelijk kunnen verklaren. De resultaten van de tellingen uit het seizoen 2008-2009 werden samengevoegd, hetzelfde gebeurde met de resultaten uit het seizoen 2009-2010. Omdat er kleine verschillen waren in de dekking van het afgevoegen gebied werden de resultaten van de 2 winters afzonderlijk geanalyseerd.

De resultaten van de vogeltellingen zijn omgerekend naar een gemiddelde dichtheid per seizoen binnen de in de Waddenzee onderscheiden gridcellen. De grootte van een gridcel wordt bepaald door de breedte van het gebied dat tijdens de tellingen is afgezocht (zie De Jong *et al.*, 2010). Deze breedte bedraagt 1,5 minuut, wat op deze breedtegraad in de Waddenzee overeenkomt met 1650-1680 m. Voor de hoogte van een gridcel werd dezelfde maat aangehouden. De uit de bodemfaunasurveys van IMARES verkregen informatie werd omgerekend naar dichtheden per soort en per gridcel. Voor verschillende soorten bodemdieren werd daarbij ook nog eens een onderscheid gemaakt tussen jaarklassen omdat Eiders, maar ook de andere soorten duikeenden, niet van alle aanwezige grootteklassen gebruik maken.

De hoeveelheid informatie over de bodemfauna die voor een bepaalde gridcel (waar wel of geen vogels zijn waargenomen) aanwezig is verschilt sterk tussen de afzonderlijke cellen omdat de bodemfaunasurveys van een ander raaienpatroon gebruik maken dan de vogel-surveys. In de meeste gevallen liggen de bodemfaunaraaien veel verder uit elkaar. Op plaatsen waar hogere dichtheden Mosselen of Kokkels aanwezig zijn is in sommige gevallen een gestratificeerde bemonstering toegepast en liggen de raaien weer dicht bij elkaar. Daarom is ervoor gekozen om een analyse uit te voeren voor verschillende afstanden ten opzichte van een voor de vogels onderscheiden gridcel. Hierbij is gekozen voor hoeveel bodemfauna-informatie er aanwezig is binnen een straal van 1,5 km vanaf een gridcel, hoeveel binnen 3 km, binnen 5 km en binnen 8 km. Tijdens de analyse, waarbij alleen de gegevens zijn gebruikt uit de jaren 2008, 2009 en 2010 (afhankelijk in welke maand een bepaalde survey werd uitgevoerd), is met informatie van alle verschillende afstanden gerekend. Deze aanpak verschilt op één belangrijk detail van de analyse zoals die is toegepast door Kats (2007). In Hoofdstuk 8 van zijn proefschrift varieerde hij niet alleen de grootte van de gridcellen voor de benthosgegevens maar ook van de vogelgegevens. Deze aanpak is door enkele referees van een wetenschappelijk tijdschrift waarvoor deze publicatie was aangeboden als statistisch minder correct beoordeeld.

Modellen die betrekking hebben op tellingen worden doorgaans passend gemaakt op basis van een Poisson-verdeling, maar als gevolg van overdispersie (er werd meer variatie aangetroffen in de gegevens dan op basis van de verdeling verwacht mocht worden, iets wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt omdat in een gering aantal gridcellen zeer hoge aantallen vogels werden aangetroffen) werd over de telgegevens een log-transformatie uitgevoerd. Een tweede probleem was dat in de dataset van de vogels een zeer groot aantal nullen voorkwam: in zeer veel gridcellen waren geen vogels aanwezig. De uitgevoerde log-transformatie bleek te weinig soelaas te bieden om het overdispersie-probleem op te lossen. Om deze reden werd een quasi-Poisson verdeling (Zuur *et al.* 2007) toegepast op de log-getransformeerde gegevens.

2.2.2 Ruimtelijke statistiek: het gebruik van de resultaten van vogeltellingen en bemonsteringen

De log-transformeerde vogelgegevens werden gemodelleerd als functie van een aantal hieronder genoemde parameters. Voor elk model werd eerst de mate van colineariteit (de samenhang van verschillende op zich afzonderlijke variabelen) verkend. Wanneer de correlatie tussen 2 variabelen $> 0,6$ was werden de variabelen ofwel gecombineerd (bijvoorbeeld 2 grootteklassen van een bepaalde soort werden samengenomen) of een variabele werd verwijderd op basis van ecologische argumenten (bijvoorbeeld: de aanwezigheid van grote en kleine Strandgapers was gecorreleerd; grote Strandgapers werden vervolgens uit de dataset verwijderd omdat werd aangenomen dat deze niet door duikeenden konden worden gegeten). Vanwege het feit dat de resultaten van de analyses, zoals deze in de matrix (Tabel 5.1) worden gepresenteerd, gebaseerd zijn op ruimtelijke verspreidingspatronen is er een grote kans op ruimtelijke auto-correlatie binnen de gebruikte basisgegevens. De kans, bijvoorbeeld, dat de aantallen in een bepaalde gridcel sterk lijken op de resultaten van de ernaast gelegen gridcel is duidelijk groter dan van gridcellen die een stuk verderop liggen (Legendre & Legendre 1998, Zuur *et al.* 2009).

Met dit verschijnsel (de ruimtelijke autocorrelatie) is nadrukkelijk rekening gehouden in de toegepaste Generalised Linear Mixed Models (GLMM).

In de uitgevoerde analyses zijn de verspreidingsbeelden van de vogels uit de vliegtuigtellingen vergeleken met verspreidingsbeelden op basis van de bemonsteringen van de bodemfauna. De bron hiervoor waren de IMARES-inventarisaties van:

- De jaarlijkse surveys van Kokkels (als onderdeel van de moskok survey). De voor de analyse gebruikte Kokkels werden gescheiden in 4 leeftijdsklassen: 0-jarig, 1-jarig, 2-jarig en ouder (gegevens beschikbaar uit de periode 1990-2010).
- De jaarlijkse surveys van Mosselen (als onderdeel van de moskok surveys). De voor de analyse gebruikte Mosselen zijn vanaf 1998 gescheiden in 3 leeftijdsklassen: zaad, halfwas en consumptiemaat (1990-2010)
- De arealen droogvallende mosselbanken (1994-2010). De jaarlijkse surveys van de biomassa van Mosselen (gescheiden in zaad, halfwas, consumptiemaat) in natuurlijke voorkomens (periode 1990-2010) en op mosselpercelen (1978-2006)
- De jaarlijkse survey van de hoeveelheden mosselzaad (1992-2010)
- Jaarlijkse surveys uitgevoerd in het kader van het NWO-ZKO onderzoek (surveys in 2008 en 2009).

Daarnaast werden de parameters zoutgehalte en verstoring (disturbance) toegevoegd: een maat voor de aanwezigheid van verstoring door menselijke activiteiten. "Disturbance" is meegenomen omdat verwacht mag worden dat de verspreiding van eenden ook bepaald zal worden door de aanwezigheid van schepen, visserijactiviteiten (Mossel, Garnaal *Crangon crangon*, Kokkel) en andere menselijke activiteiten (o.a. recreatie) in het gebied. Hierbij is gebruik gemaakt van door Ruud Jongbloed en Jan-Tjalling van der Wal (IMARES Den Helder) ten behoeve van de Nadere Effect Analyse Beheerplan Waddenzee verzamelde informatie. Hierbij is getracht om voor elke gridcel van 1680 x 1680 m in de Waddenzee de gemiddelde verstoring-intensiteit te berekenen, gesplitst voor zowel het winterseizoen als het zomerseizoen. Omdat Eiders vooral in het winterseizoen in de Waddenzee aanwezig zijn werden in de hier toegepaste analyse alleen de gegevens uit de maanden oktober t/m maart gebruikt. Meegenomen werden onder andere:

- Garnalenvisserij
- Mosselvisserij, o.a. ten behoeve van het beheer van percelen
- Handkokkelvisserij
- Reguliere scheepvaart (koopvaardij, beroepsvisserij – niet vissend, controlediensten)
- Wadlopen
- Kitesurfen, windsurfen
- Recreatieve scheepvaart
- Waddentochten (rondvaarten, zeehonden kijken)

De verzamelde gegevens werden omgerekend naar dichtheden in de voor deze analyse relevante grootte van de gridcellen.

Om een goed beeld te verkrijgen van het belang van verschillende potentiële prooidieren op de verspreiding van Toppers en Eiders werd de aanwezigheid van deze soorten gekoppeld aan vakken van een grid dat over de gehele Waddenzee werd gelegd. De aanvankelijk gebruikte grootte van de individuele gridcellen bedroeg 840 m, overeenkomstig de helft van de breedte van de transecten die tijdens de vliegtuigtellingen werden afgezocht. Omdat in deze dataset zeer veel nullen voorkwamen (want vaak geen Eiders in een dergelijk klein vak aanwezig) zijn deze tijdens de analyses verder opgeschaald naar gridcellen van 1500 m, 3000 m, 5000 m en 8000 m. Per gridcel werden de aantallen waargenomen duikeenden opgeteld, wat voor beide onderzochte soorten voor elke telling een aantal vogels per gridcel opleverde. Deze aantallen zijn vervolgens gemiddeld waardoor per gridcel een gemiddeld aantal Toppers en Eiders voor een bepaald telseizoen werd berekend. Voor het seizoen 2008/2009 waren 4 tellingen beschikbaar, voor het seizoen 2009/2010 waren dit er slechts 2.

De gegevens voor de schelpdieren uit de verschillende IMARES-bemonsteringen werden eveneens gekoppeld aan de onderscheiden gridcellen. Omdat de bemonsteringen met een minder gedetailleerd raaienpatroon worden uitgevoerd kon deze vergelijking niet één op één worden gemaakt en moesten er enige kunstgrepen worden toegepast. Als onderdeel van de bewerking van de schelpdieren-gegevens werd rondom een bepaalde gridcel enkele cirkels berekend met een steeds groter wordende straal (1500 m, 3 km, 5 km en 8 km). Binnen elke cirkel werd nagegaan welke informatie over schelpdieren beschikbaar was en deze informatie werd vervolgens gekoppeld aan een bepaalde gridcel. Hierdoor werden verschillende datasets aangemaakt waarin werd vastgelegd welke informatie er binnen het oppervlak van die cirkel beschikbaar was over de schelpdiervoorkomens, het zoutgehalte en de verstoring. Op deze wijze kon voor elke gridcel een gemiddelde aanwezigheid van schelpdieren worden berekend, opgesplitst in verschillende leeftijdsklassen, waarbij de gegevens betrekking konden hebben op de beschikbare informatie van 1500 m rondom het centrum van de gridcel. Ook werden berekeningen uitgevoerd met een groter areaal rond het centrum van een gridcel. Hiervoor werden cirkels van 3 km, 5 km en 8 km gebruikt.

De resultaten van de uitgevoerde statistische analyses zijn terug te vinden in de besprekingen van de soorten Topper (§ 3.2.2) en Eider (§ 5.2.1).

3 Topper

Bijdragen: Cor Smit (redactie en tekstbijdragen onderzoeksvragen), Anja Cervenci (databewerking ten behoeve van statistische analyses) & Lorna Teal (ruimtelijke statistiek vogelverspreiding – bodemdieren)

3.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren

3.1.1 Aantallen

De broedgebieden van de soort liggen in de sub-arctische toendra's en de meer beboste gebieden van Noord Rusland, oostwaarts tot aan het Taimyr schiereiland, Fins Lapland, Noord Zweden en Noorwegen, langs de kust van de Botnische Golf en op IJsland (Cramp & Simmons 1977, Scott & Rose 1996). De overwinteringsgebieden liggen in het zuidelijke deel van de Oostzee, in het IJsselmeer en de Waddenzee en langs de kusten van Noordwest Europa en West Frankrijk. Verder oostelijk broedende vogels overwinteren in de Zwarte Zee en de Kaspische Zee. IJslandse broedvogels overwinteren vooral langs de kusten van Ierland en Schotland. De soort is sterk nomadisch. Daardoor kunnen de aantallen in de verschillende delen van het overwinteringsgebied lokaal sterk fluctueren.

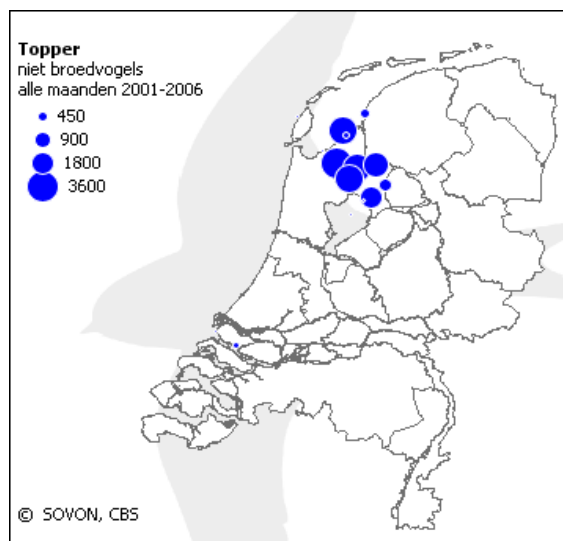
De overwinteringsgebieden bestaan uit grote open zoetwatermeren en ondiepe kustzones (van maximaal 10 m diep) met hoge dichtheden kleine tot middelgrote schelpdieren, zowel in zoet als in zout water. In Figuur 3.1 zijn de belangrijke Nederlandse overwinteringsgebieden aangegeven.

De grootte van de populatie die in Noordwest Europa en het Oostzeegebied overwintert werd in het begin van de jaren '90 geschat op 310.000 vogels (Scott & Rose 1996) en omvat ook de broedvogels van IJsland (3000-5000 paren, Koskimies 1992). Latere schattingen van de populatieomvang (Delany & Scott 2006) komen (bij gebrek aan recente gegevens) op hetzelfde aantal uit. Hierbij wordt opgemerkt dat in Noordwest Europa sprake is van een sterke afname (van meer dan 50%) van het aantal overwinterende exemplaren (Jensen *et al.* 2009). Deze achteruitgang is aanleiding geweest om de soort te bestempelen als "Endangered in Europe" als gevolg van aantasting van het overwinteringsgebied, verdrinking in visnetten, aantasting van de waterkwaliteit en verstoring in zowel de broedgebieden als overwinteringsgebieden. Op basis daarvan is in opdracht van de EU een plan opgesteld om de achtergronden van de achteruitgang in kaart te brengen en deze op middellange termijn om te buigen (Jensen *et al.* 2009).

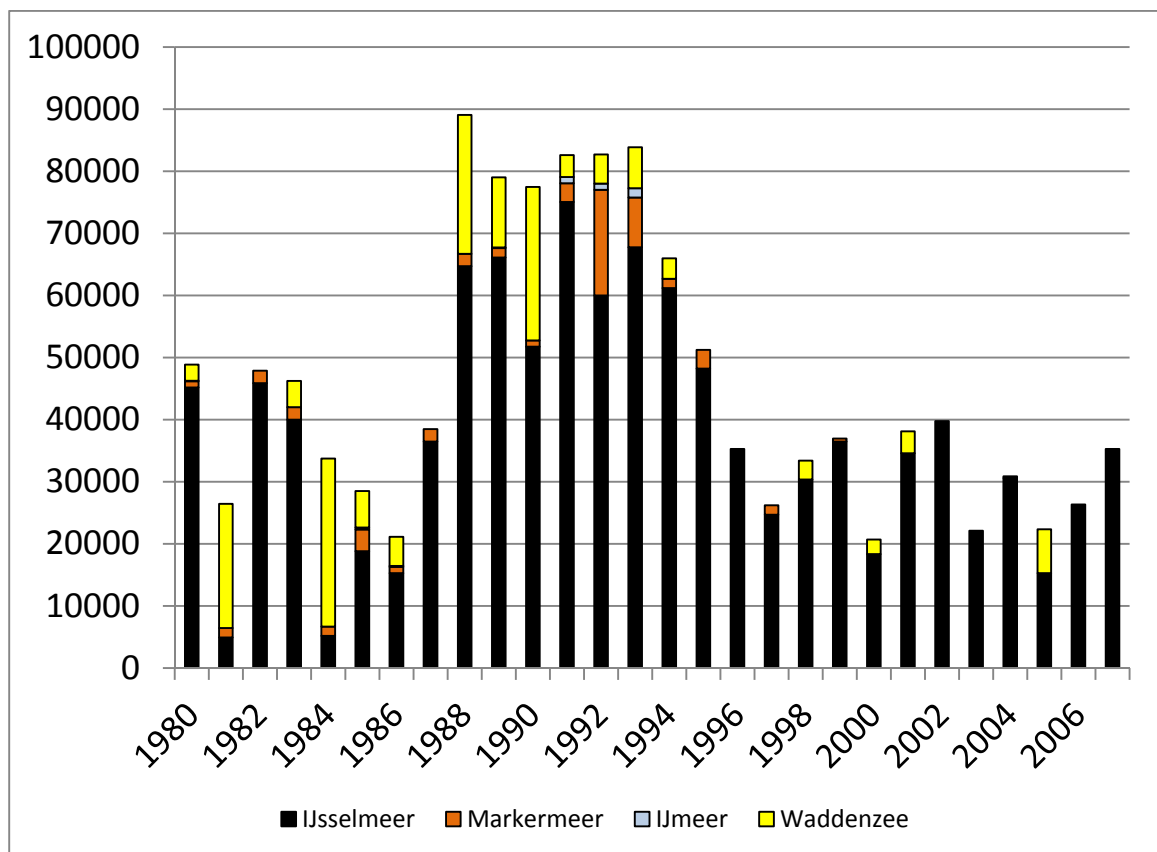
In "normale" winters zijn in de Oostzee, inclusief de oostkust van Denemarken, ruim 145.000 Toppers aanwezig. In strenge winters vindt wegtrek plaats vanuit de Oostzee naar West Europa (Durinck *et al.* 1994) en concentreert 90% van de overwinterende populatie zich in 10 gebieden of minder. Deze liggen aan de oostkust van Denemarken (6 gebieden), in het Duitse Oostzeegebied (2) en in Nederland (IJsselmeer en Waddenzee) (Tucker & Heath 1994, Scott & Rose 1996). Nederland heeft een belangrijke functie als overwinteringsgebied van Toppers. De op het IJsselmeer en in de Nederlandse Waddenzee aanwezige aantallen vertegenwoordigen gezamenlijk tussen de 26 en 51 procent van de totale Oost-Atlantische trekwegpopulatie (SOVON & CBS 2005).

De aantallen in de Nederlandse Waddenzee variëren sterk. Er is uitwisseling met IJsselmeer vastgesteld (o.a. op basis van radarwaarnemingen bij Afsluitdijk en waarnemingen overdag). Soms dient de Waddenzee als uitwijkplek wanneer IJsselmeer grotendeels dichtvriest. In het IJsselmeer zijn de aantallen toegenomen in de jaren '80 (van Roomen *et al.* 2006) naar gemiddeld 71.000 in strenge winters en 130.000 in zachte winters (Beintema *et al.* 1993). Figuur 3.2 laat zien dat er begin jaren '90

een verschuiving plaatsvond van de Waddenzee naar het IJsselmeer en dat de aantallen in de Waddenzee daarna op een veel lager niveau zijn gebleven.



Figuur 3.1. Belangrijke gebieden in Nederland voor Toppers in de jaren 2001-2006. Bron: www.sovon.nl.



Figuur 3.2. De gemiddelde aantallen Toppers van okt t/m april in het IJsselmeer en de Waddenzee ten noorden van de Afsluitdijk op basis van tellingen vanuit de lucht van Rijkswaterstaat. Bron: Noordhuis 2010. NB. Tijdens deze tellingen wordt in alle gevallen het gedeelte van de Waddenzee ten noorden van de Afsluitdijk afgevlagen, wanneer de tijd het toelaat ook het gebied rond Harlingen. De waargenomen aantallen in de Waddenzee betreffen dus de minimaal aanwezige aantallen.

De Topper is in Nederland een typische wintergast met de hoogste aantallen doorgaans in december en januari. In IJsselmeer nemen vanaf juli de aantallen al toe, eerst in de vorm van ruiende vogels (piek in augustus). Vanaf oktober en november vindt een sterke toename plaats van de aantallen wintergasten. Vanaf februari en vooral in maart nemen de aantallen weer sterk af. In mei en juni wordt de soort zelden waargenomen.

In Figuur 3.2 zijn de gemiddelde aantallen weergegeven voor de in Nederland overwinterende Toppers. In de Waddenzee, waar in de jaren '80 nog gemiddeld tienduizenden Toppers werden geteld (meestal in de omgeving van de Afsluitdijk), is het aantal in de jaren '90 afgenomen tot (gemiddeld over het hele winterseizoen) een paar duizend vogels. Deze afname wordt veroorzaakt door een daling van de aantallen per telling maar tegelijk is er ook sprake van een verkorting van de verblijftijd in de Waddenzee (zie Figuur 3.3). Omdat de vogels slaaptrek vertonen en de foerageergebieden vele kilometers verwijderd kunnen zijn van de rustgebieden (van Eerden *et al.* 1997) en omdat vooral 's nachts wordt gefoerageerd (zie § 3.1.2) is het zeer moeilijk om vast te stellen of de aanwezigheid van grote aantallen op een bepaalde locatie werkelijk verband houdt met goede foerageermogelijkheden.

3.1.2 Voedsel

Toppers zijn omnivoor, het dieet varieert van zaden en wortelknollen van waterplanten tot vis en schelpdieren. In de West Europese overwinteringsgebieden bestaat het stapelvoedsel uit schelpdieren. In de zout- en brakwatergebieden zijn dit vooral Mossel, Kokkel *Cerastoderma edule* en *C. lamarckii*, Nonnetje en Wadslakje *Hydrobia ulvae* (Cramp & Simmons 1977, gebaseerd op gegevens uit de Oostzee en Engelse estuaria). Op het IJsselmeer bestaat het winterdieet voor meer dan 95% uit Driehoeksmossel (de Leeuw & van Eerden 1995). Over het algemeen foerageren Toppers op de kleinere grootteklassen (schelplengte < 3 cm) van schelpdieren (van Eerden *et al.* 1997, Poulton *et al.* 2002, Cramp & Simmons 1977). In het IJsselmeer worden vooral Driehoeksmosselen in de grootteklasse 10-25 mm gegeten (de Leeuw 1999). Deze worden tot een diepte van 6-12 m worden opgedoken (Tucker & Heath 1994).

Bij het eten van (Driehoeks)mosselen en andere schelpdieren is de voedselbehoefte sterk afhankelijk van de watertemperatuur. Met name het opwarmen en verwerken van grote massa's schelpdieren (deze worden in hun geheel doorgeslikt, inclusief een hoeveelheid veelal koud water en onverteerbare schelp) kost veel energie. In de winter, met watertemperaturen net boven het vriespunt, is de totale energiebehoefte 1435 kJ per vogel per dag (De Leeuw 1997). Om daarin te voorzien is ongeveer 90 gram asvrij drooggewicht aan voedsel nodig, ofwel ongeveer 450 g vlees. Afhankelijk van de hoeveelheid vlees in de schelp kan dat gaan om 1,5-3 kg versgewicht aan schelpdieren per dag per vogel.

Toppers zoeken in hoofdzaak 's nachts naar voedsel (Durinck *et al.* 2004). Schaarse gegevens over het foerageergedrag van Toppers in de zout- en brakwatergebieden (onder andere in San Francisco Bay) wijzen uit dat de eenden ook overdag en soms getij-afhankelijk actief kunnen zijn (Poulton *et al.* 2002, Cramp & Simmons 1977). Hierbij worden gescheiden foerageer- en rustgebieden gebruikt. Het is vooralsnog onduidelijk in welke mate Toppers daadwerkelijk foerageren in de Waddenzee. Een groot probleem is dat Toppers veel meer nachtactief zijn dan Eiders (Durinck *et al.* 1994) en ook boven de Waddenzee nachtelijke vluchten laten zien (van der Winden *et al.* 1999). Dat betekent dat de plaatsen waar Toppers overdag aanwezig zijn niet de foerageergebieden hoeven te zijn. Het gebied langs de Afsluitdijk wordt met zekerheid wel gebruikt als rustplaats en als uitwijkgebied in de winter, wanneer het IJsselmeer is dicht gevoren (van Roomen *et al.* 2004).

3.2 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen van het Ministerie luiden:

- 1) Wat is de relatie tussen (de mate van) eutrofiëring en de beschikbaarheid van schelpdieren van voldoende kwaliteit (dus met voldoende vlees)?
- 2) In welke mate draagt de Waddenzee bij aan de voedselopname van Toppereenden in Nederland?

Daaraan gekoppeld kan de vraag worden gesteld: Wat is het belang van mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor de Topper? Deze laatste deelvraag staat in het vragenlijstje voor de Zwarte Zee-eend en niet in het oorspronkelijke vragenlijstje van LNV maar lijkt ook voor deze soort relevant.

3.2.1 Onderzoeksvraag 1

Wat is de relatie tussen (de mate van) eutrofiëring en de beschikbaarheid van schelpdieren van voldoende kwaliteit (dus met voldoende vlees)?

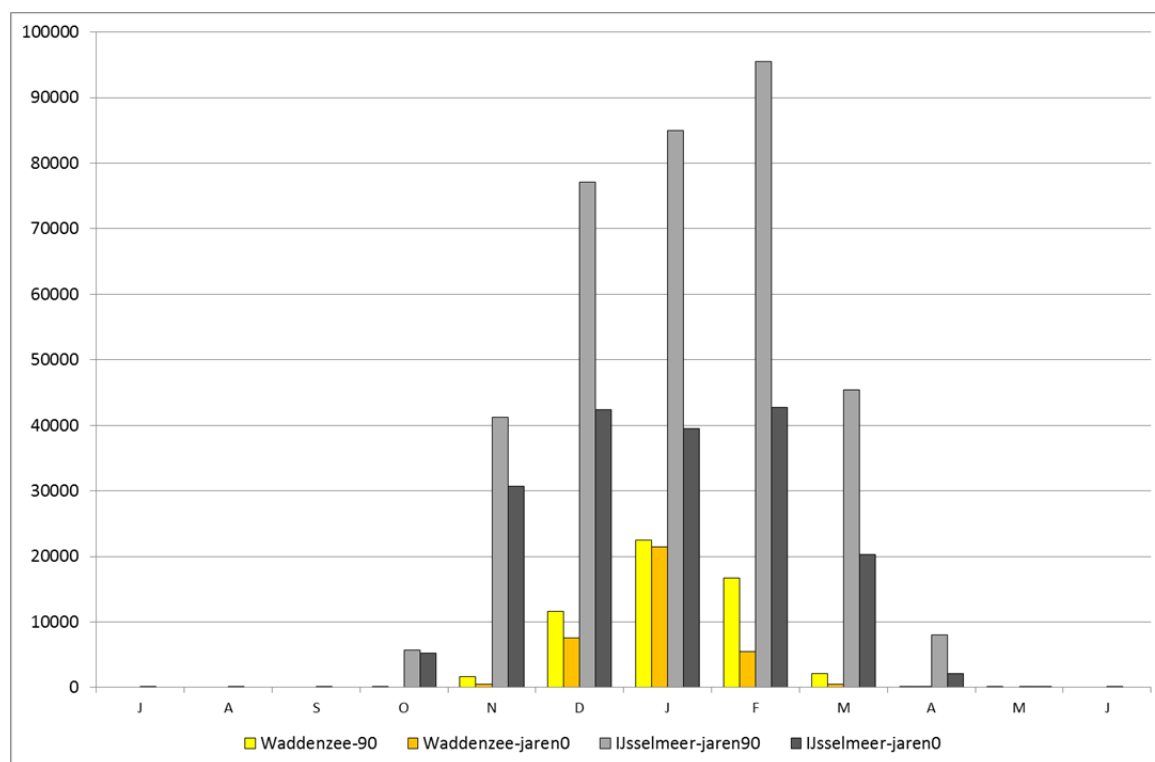
Teneinde de effecten van eutrofiëring na te gaan is in eerste instantie gekeken naar de situatie in het IJsselmeer. De voedsleecologie van de Topper is hier makkelijker te onderzoeken en is ook aanzienlijk beter onderzocht dan in de uitgestrektere en slechter toegankelijke Waddenzee. Van Eerden *et al.* (2005) geven aan dat het zwaartepunt in de aanwezigheid van Toppereenden in het IJsselmeergebied ligt in de periode december-februari. In deze maanden werden op het IJsselmeer zelf in de periode 1980-2004 gemiddeld maximaal ruim 111.000 vogels geteld. Op het Markermeer lag het gemiddelde veel lager, met maximaal een kleine 10.000 vogels. Op het IJmeer werden van 1980 t/m 2004 gemiddeld maximaal een kleine 2000 vogels geteld. Het absolute maximum aantal dat op het IJsselmeer werd geregistreerd ligt ruim boven de 200.000 vogels. De Topper nam vanaf de tweede helft van de jaren '80 extreem snel toe, maar vanaf het hoogtepunt in 1988/89 weer af tot een stabiel niveau vanaf de tweede helft van de jaren '90 dat vergelijkbaar is met dat in de eerste helft van de jaren '80. Voor het Markermeer is (bij veel kleinere aantallen) een afname vastgesteld en voor het IJmeer een sterke afname. De totalen voor het gehele IJsselmeer en de Waddenzee (gebaseerd op tellingen van RIZA/Waterdienst Rijkswaterstaat) zijn weergegeven in de Figuren 3.2 en 3.3.

De sterke toename van de aantallen in Nederland eind jaren '80 viel samen met een toename van de aantallen Driehoeksmosselen op voor Toppers geschikte gebieden in het IJsselmeer (de Leeuw 1999) en een afname in de aantallen overwinteraars in dezelfde periode in Denemarken (Pihl *et al.* 2006). Deze toename in het IJsselmeer viel niet samen met bijzondere weersomstandigheden, zoals perioden met strenge vorst. Dit suggereert dat er ook onafhankelijk van het weer grote verschuivingen tussen overwinteringsgebieden kunnen optreden. Er zijn dus één of meer andere factoren die van invloed zijn op de aantalsontwikkelingen in het IJsselmeergebied.

Detailstudies aan overwinterende Toppers op het IJsselmeer en het Markermeer wijzen uit dat de vogels 's nachts foerageren (van Eerden *et al.* 1997). Overdag rusten de eenden in grote groepen langs de randen van het meer met een voorkeur voor beschutte plekken in de buurt van gebieden met een hoog voedselaanbod. Na zonsondergang vliegen de vogels naar de foerageergebieden om voor zonsopgang terug te zijn in de rustgebieden. De gemiddelde afstand tussen beide gebieden is 4-6 kilometer, met een toename in de loop van het winterseizoen. De favoriete foerageergebieden zijn ondiepe gebieden met een hoog voedselaanbod. De gemiddelde waterdiepte varieerde van 3,5-4,1 m, met een toename in de loop van het seizoen (van Eerden *et al.* 1997).

De rol van eutrofiëring in het IJsselmeer is vooraansnog moeilijk te beoordelen. In een uitgebreide analyse over de relatie tussen de nutriënten-voorkomens, primaire productie, visbestanden en de vogelaantallen

in het goed bestudeerde en ook relatief goed toegankelijke ecosysteem van het IJsselmeer werd slechts een gering effect gevonden tussen de afgenomen gehalten van fosfaat en de productiviteit van het systeem, in de vorm van een vermindering van de algengroei in het water (Lammens 1999). Dit was onder andere een gevolg van de toen nog steeds aanwezige overmaat aan voedingsstoffen in het systeem. De afname van visbestanden wordt verklaard als een gevolg van overbevissing. Verdere reductie van fosfaat en stikstof heeft echter geleid tot een verlaging van de productie en bij verschillende soorten tot lagere aantallen vogels (vooral Tafeleenden en Toppers) en vissen (Spiering, Baars, Blankvoorn) (Lammens 1999, Noordhuis 2010).



Figuur 3.3 De gemiddelde aantallen Toppers per maand in de Waddenzee en op het IJsselmeer op basis van tellingen in de jaren periode 1990-1999 en 2000-2009 van RIZA/Waterdienst Rijkswaterstaat. Bron: Mervyn Roos, Waterdienst Rijkswaterstaat (ongepubl.).

De lage aantallen duikeenden in het Markermeer worden verklaard door de slechte conditie van Driehoeksmosselen aldaar (Bijlsma *et al.* 2001). In het IJsselmeer waren in 2007 niet alleen de aantallen Driehoeksmosselen sterk achteruit gegaan ten opzichte van 1999, ook de gemiddelde grootte en het vleesgewicht van individuele exemplaren waren afgenomen. De-eutrofiëring (de beschikbaarheid van minder nutriënten in het water) en klimaatsverandering worden als belangrijkste oorzaken genoemd, in het Markermeer in combinatie met hogere slibgehalten in het water (Noordhuis 2010). De Leeuw (1999) komt tot de conclusie dat, ondanks het feit dat de Topper slechts 20% van de aanwezige biomassa op jaarbasis consumeert, de draagkracht voor deze soort bereikt is.

Uit de bovenstaande analyse van de situatie in het IJsselmeer kan worden geconcludeerd dat er in de jaren '90 van de vorige eeuw nog geen duidelijke relatie kon worden vastgesteld tussen de afgenomen nutriëntengehaltes, de primaire productie, de secundaire productie en de aanwezige predatoren (in de vorm van vissen en duikeenden), maar dat in nu die relatie wel gelegd is. In de Waddenzee is de situatie moeilijker te beoordelen maar niet wezenlijk anders (zie de analyse van Philippart *et al.* 2007) en de eigen analyse in Hoofdstuk 9. De totale hoeveelheid bodemdieren alhier is vrijwel verdubbeld in de jaren '70 en op een gelijk niveau gebleven in de jaren '80. De totale hoeveelheid van de vogelbiomassa (alle bodemdieretende soorten samen) vertoonde geen significant verschil, hoewel er per soort wel verschillen

bestaan (Philippart *et al.* 2007). Voor de Topper lijken andere factoren dan eutrofiëring bepalend voor de aantalsontwikkelingen in de Waddenzee. Zie hiervoor de analyse in § 3.3.

3.2.2 Onderzoeksvraag 2

*In welke mate draagt de Waddenzee bij aan de voedselopname van Toppereenden in Nederland?
Wat is het belang van Mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor de Topper?*

In het kader van dit BO-onderzoek is getracht na te gaan in hoeverre de delen van de Waddenzee waar Toppers voorkomen inderdaad geschikte foerageergebieden zijn. Tevens is onderzocht of er in het veld informatie over het foerageergedrag van deze soort kan worden gevonden. Dit wordt bemoeilijkt doordat de soort vooral 's nachts foerageert. Hiertoe zijn oriënterende veldwaarnemingen uitgevoerd aan het foerageergedrag in de voorkeursgebieden van deze soort (de westelijke Waddenzee ten noorden van de Afsluitdijk) en is een breder opgezet onderzoek opgestart (door inzet van een AIO). De beschikbaarheid van schelpdieren van geschikte grootte wordt mogelijk beïnvloed door mosselzaadvisserij in de westelijke Waddenzee. Daarom is dit aspect in de uitgevoerde studie meegenomen en in § 3.3 uitgebreid behandeld.

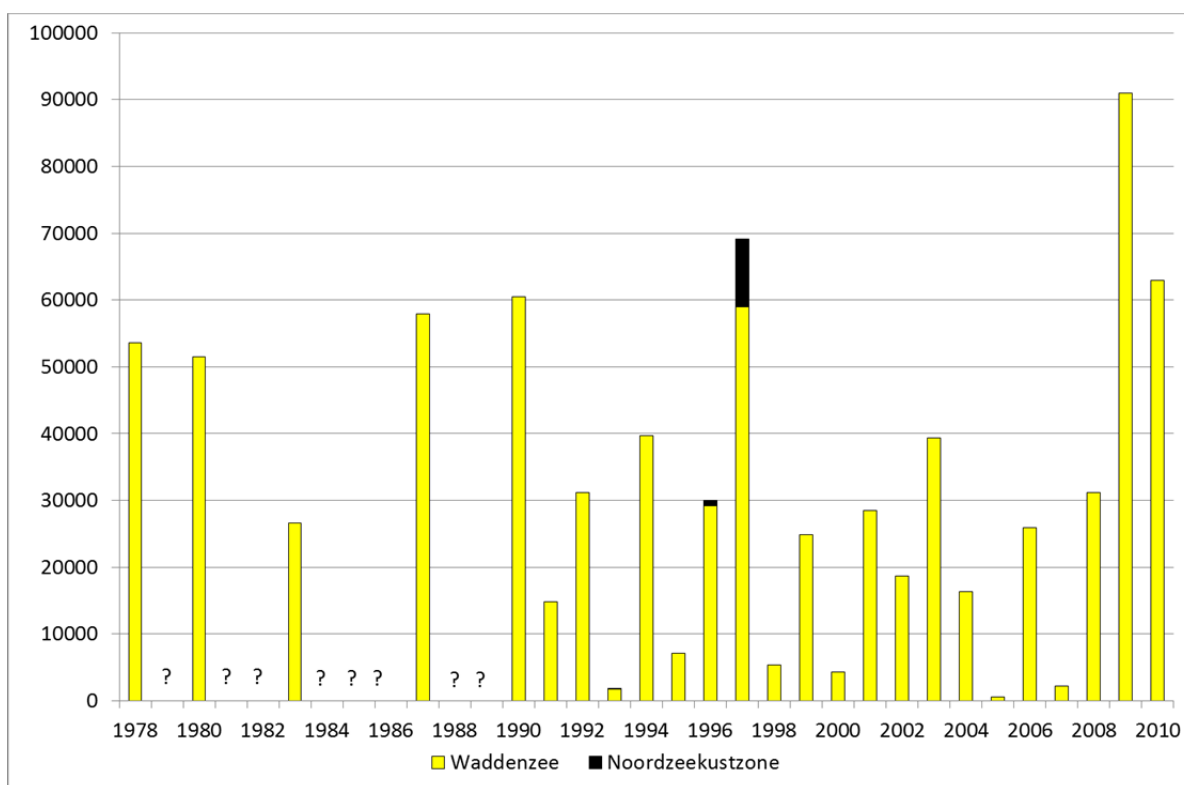
3.2.2.1 Aantallen in de Waddenzee op basis van vliegtuigtellingen

Er bestaan 2 datasets met vliegtuigtellingen van de aantallen Toppers in de Waddenzee. Verreweg de meest complete is die van Rijkswaterstaat (in het verleden RIZA). Tijdens deze tellingen, die primair zijn bedoeld om de aantallen watervogels in het IJsselmeer te monitoren, wordt ook de kuststrook net ten noorden van de Afsluitdijk afgevlogen. Wanneer voldoende tijd beschikbaar is wordt ook het gebied ten noorden van Harlingen meegenomen. Op deze wijze wordt een vrij compleet beeld verkregen van de aantallen Toppers in de Waddenzee in de loop van het jaar en ook in de loop van de tijd. Deze tellingen worden maandelijks uitgevoerd en lopen al sinds 1980. Daarnaast is door het NIOZ in de jaren '80 en '90 een aantal vluchten uitgevoerd door Swennen (diverse ongepubl. rapporten) die vooral waren gericht op het tellen van Eiders. Daarnaast zijn in de jaren '60 en '70 ook tellingen uitgevoerd van de aanwezige aantallen vanaf schepen (Swennen 1985). Vanaf 2003 is de soort systematisch meegenomen in de tellingen van de aantallen duikeenden van Rijkswaterstaat/RIKZ/DPM en is de soort ook nadrukkelijk meegenomen in de aanvullende tellingen die ten behoeve van het BO-programma zijn uitgevoerd (de Jong *et al.* 2009, 2010). De genoemde vliegtuigtellingen hebben twee datasets opgeleverd die elkaar vaak mooi aanvullen maar soms ook tegenstrijdige gegevens opleveren. Deze hangen vrijwel altijd samen met uitwisselingen tussen IJsselmeer en Waddenzee onder invloed van strenge vorst.

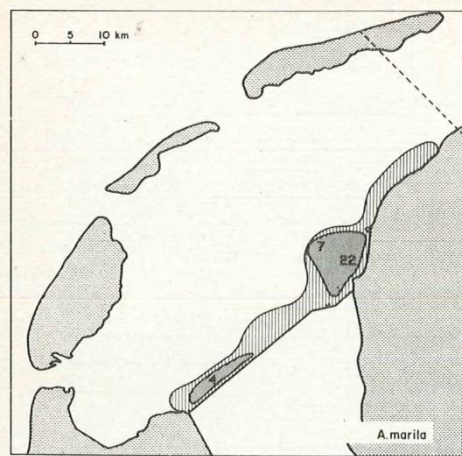
Wanneer de Waddenzee in noord-zuid georiënteerde raaien wordt afgevlogen bestaat de kans dat Toppers worden gemist. Het tellen van Toppers in de Waddenzee vereist eigenlijk een vliegroute parallel aan de Afsluitdijk met aanvullende waarnemingen in de omgeving van Harlingen. De maximale aantallen die zijn vastgesteld tijdens de tellingen in de jaren '80 en '90 is weergegeven in Figuur 3.4. Uit de figuur blijkt dat de aantallen Toppers in de Waddenzee sterk schommelen, met in de periode 1978-1987 enkele jaren met hoge aantallen. Na 1987 zijn de aantallen laag maar vanaf 1993 worden Toppers jaarlijks waargenomen in stijgende aantallen. De aantallen in 2009 en 2010 worden in sterke mate beïnvloed het feit dat in beide winters het IJsselmeer met ijs was bedekt en ook de vogels uit dit gebied hun toevlucht hadden gezocht in de Waddenzee.

De betekenis van de Figuren 3.2 en 3.4 is dus dat geïllustreerd wordt dat de Waddenzee op momenten van groot belang is of kan zijn voor de Toppers (Figuur 3.4), maar dat gemiddeld over de gehele overwinteringsperiode (oktober-april) het belang van de Waddenzee ten opzichte van het IJsselmeer is teruggelopen. De verspreiding van de soort in de jaren '60 en '70 in de Waddenzee is weergegeven in Figuur 3.5. Hieruit blijkt dat de verspreiding van de Topper in deze jaren in sterke mate was geconcentreerd in het gebied in de omgeving van de Afsluitdijk en westelijk van Harlingen. Een

gedetailleerd overzicht van de resultaten van de tussen 2000 en 2010 uitgevoerde tellingen van Toppers in de Waddenzee wordt gepresenteerd in de Tabel 3.1. Hieruit blijkt dat de aantallen binnen een bepaalde maand sterk kunnen verschillen. Zo werden in 2003 in januari 8000 Toppers geteld door het RIZA, ruim 28.000 door het RIKZ en ruim 39.000 door IMARES. Deze verschillen kunnen voor een deel het gevolg zijn van het niet volledig afdekken van de westelijke Waddenzee tijdens de tellingen van RIZA/Waterdienst Rijkswaterstaat maar zeker ook van werkelijke veranderingen van de aantallen Toppers in de Waddenzee binnen korte tijd, bijvoorbeeld als gevolg van uitwisseling met het IJsselmeer.



Figuur 3.4 Maximale aantallen Toppers in januari in de Waddenzee (gele balken) en de Noordzeekustzone boven de eilanden (zwart) in de jaren 1978-2010. Bron: tellingen C. Swennen (NIOZ), ongepubl. telverslagen (1978-1991), de jaarlijkse midwintertellingen van Rijkswaterstaat (1993-2010, bron Arts 2010) en IMARES (de Jong et al. 2009, 2010) en de aantallen uit de door Rijkswaterstaat uitgevoerde tellingen van het IJsselmeer (2000-2010, Mervyn Roos, ongepubl.). In jaren waarin meer dan 1 telling beschikbaar was is de maximale waarde gebruikt.



Figuur 3.5. De verspreiding van de Topper in de Waddenzee gebaseerd op tellingen vanaf schepen in de jaren 1964-1970. De cijfers x100 geven de gemiddelde aantallen waargenomen vogels weer per traject van 7 km in de maanden oktober t/m april. In de donker gestippelde gebieden waren regelmatig meer dan 1000 vogels per traject aanwezig, in de licht gearceerde gebieden regelmatig meer dan 100 vogels per traject. In de blanco gebieden werden incidenteel Toppers waargenomen of alleen kleine aantallen. Bron: Swennen (1985).

Tabel 3.1. Aantallen Toppers in de Waddenzee sinds 2000 geteld door de verschillende organisaties. Door RIZA (Waterdienst) wordt alleen parallel aan de Afsluitdijk en (meestal) in het gebied ten westen van Harlingen geteld (van Rijn 2002). RIKZ (Waterdienst)/DPM en IMARES tellen de gehele Waddenzee door het afvliegen van raaien. Het aantal Toppers in januari 2010 van IMARES heeft betrekking op een telling vanaf een schip.

jaar	RIZA					RIKZ		IMARES				
	jan	feb	mrt	nov	dec	jan	Feb	jan	feb	mrt	nov	dec
2000	1800	30	0	0	900	4275			535		8610	
2001	28.430	3500	3500	0	9500	14.595		10.925		3955	1995	
2002	18.620	0	0	0	106.192			14.360		165	9000	
2003	8000	2900	0	0	575	28.105		39.329	6495			
2004	9350	200	0	0	2850	16.305					6056	
2005	0	0	0	0	20.400	560			0			
2006	25.950	0	0	1000	0	15.693						
2007	0	1500	0	0	10.460	2250						
2008	31.155	250	200	125	17.300		7540				0	20.500
2009	90.950	100	0	0	0	860			4121			8405
2010	62.980	0	0	?	?			25.000	22.657		10.960	29.235

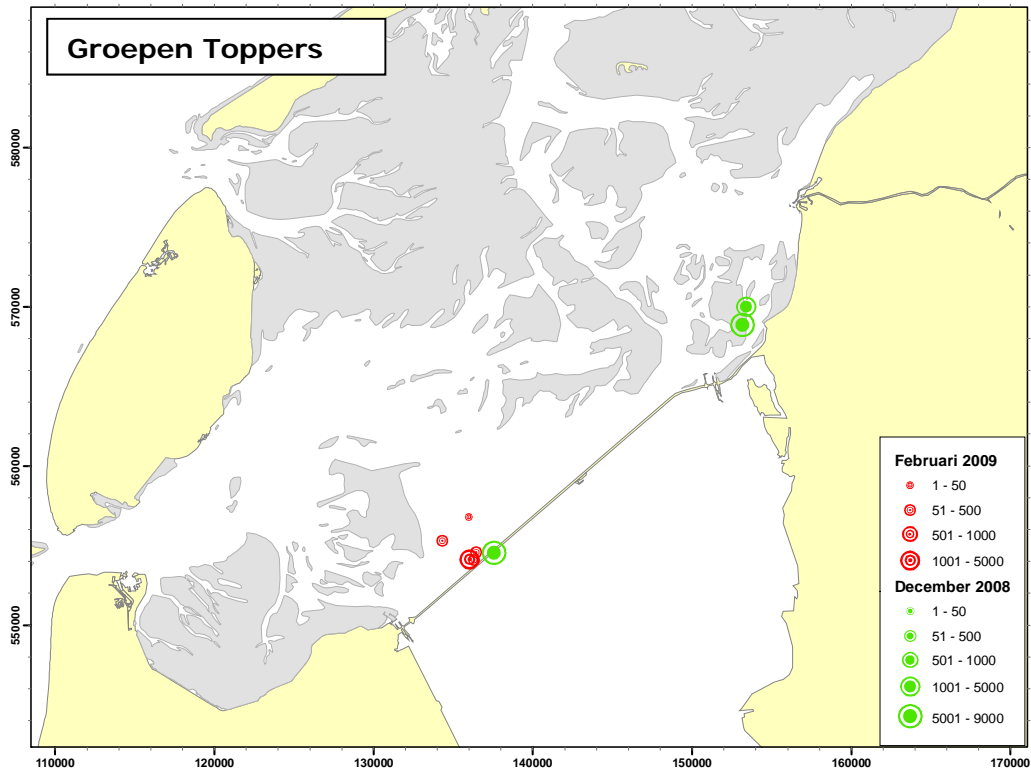
In het kader van dit onderzoek zijn extra vliegtellingen uitgevoerd, naast de in januari uitgevoerde tellingen in de gehele Nederlandse Waddenzee en de Noordzeekustzone³. De resultaten van deze tellingen zijn weergegeven in de Figuren 3.6a en 3.6b.

De aantallen in de Waddenzee worden sterk beïnvloed door de effecten van strenge koude. Tijdens periodes van strenge vorst raakt een groot deel van het IJsselmeer met ijs bedekt, terwijl in de Waddenzee (zout water, meer stroming) dan vaak nog wel grote delen open zijn. Toppers die onder normale omstandigheden op het IJsselmeer verblijven wijken onder zulke omstandigheden in grote aantallen uit naar de Waddenzee. In januari 2010 verbleven er grote, maar sterk wisselende aantallen Toppers in de Waddenzee. Een telling vanaf een schip op 11 januari leverde ca. 25.000 Toppers op nabij het Monument op de Afsluitdijk (op basis van vogeltellingen in het kader van het IMARES-project Mosseltransitie). Een vliegtuigtelling van de Waterdienst van 12-13 januari 2010 over het IJsselmeer en de Waddenzee langs de Afsluitdijk leverde zelfs bijna 63.000 Toppers op voor de Waddenzee (Mervyn Roos, Waterdienst *pers. med.*). In deze periode was het IJsselmeer grotendeels bedekt met ijs.

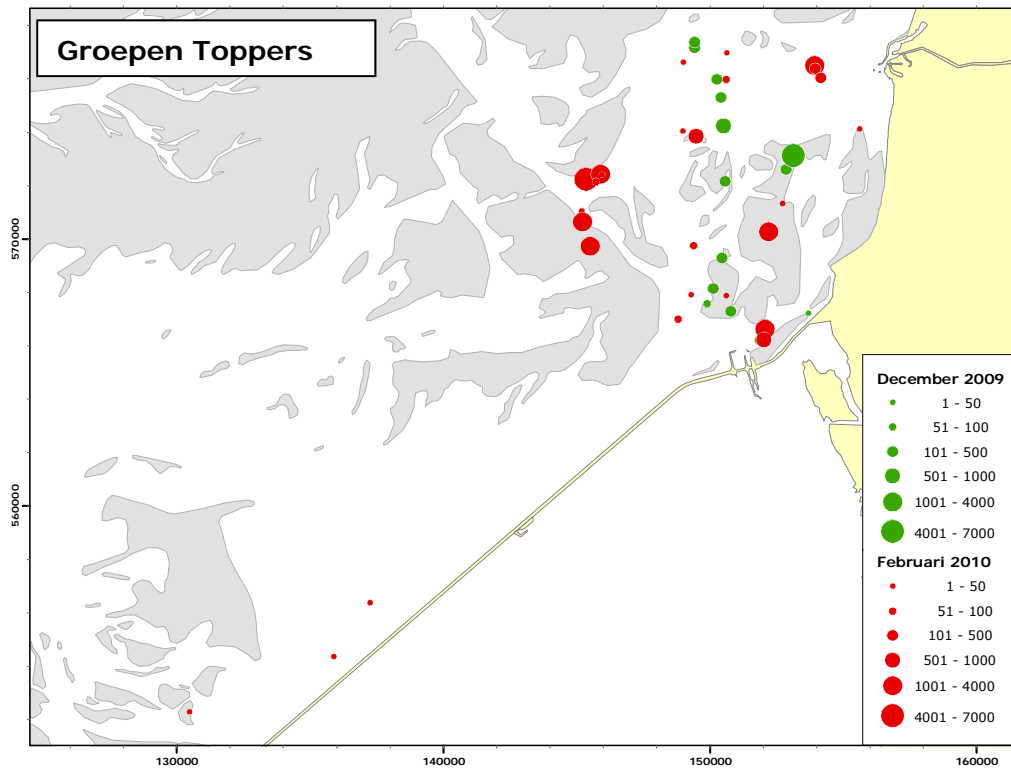
3.2.2.2 Het belang van de Waddenzee als foerageergebied voor Toppers

Er is zeer weinig bekend over het dieet en de foerageergebieden van de op de Waddenzee overwinterende Toppers. Enkele radarwaarnemingen vanaf het westelijk deel van de Afsluitdijk wijzen erop dat een deel van de overdag daar aanwezige Toppers zich in de schemering verplaatsten naar foerageergebieden in de omgeving (van der Winden *et al.* 1999), onder andere naar mosselpercelen en gebieden daaromheen ten noordoosten van Den Oever (Spaans *et al.* 1998, Tulp *et al.* 1999). Later op de avond begonnen deze vogels rond te zwerven en werd uitwisseling van Toppers tussen de Waddenzee en het IJsselmeer waargenomen. Naar schatting verplaatsten zich honderden tot mogelijk een paar duizend van de lokaal op de Waddenzee aanwezige aantal Toppers naar het IJsselmeer (van der Winden *et al.* 1999). Waarnemingen uit de nacht ontbreken echter. De functie van deze verplaatsingen is onduidelijk aangezien deze vluchten aanzienlijk later plaatsvonden dan de reguliere vluchten tussen rust- en foerageergebieden. Mogelijk speelt de behoefte aan zoetwater een rol, mogelijk zijn de trekbewegingen een gevolg van inspelen op de getijdencyclus.

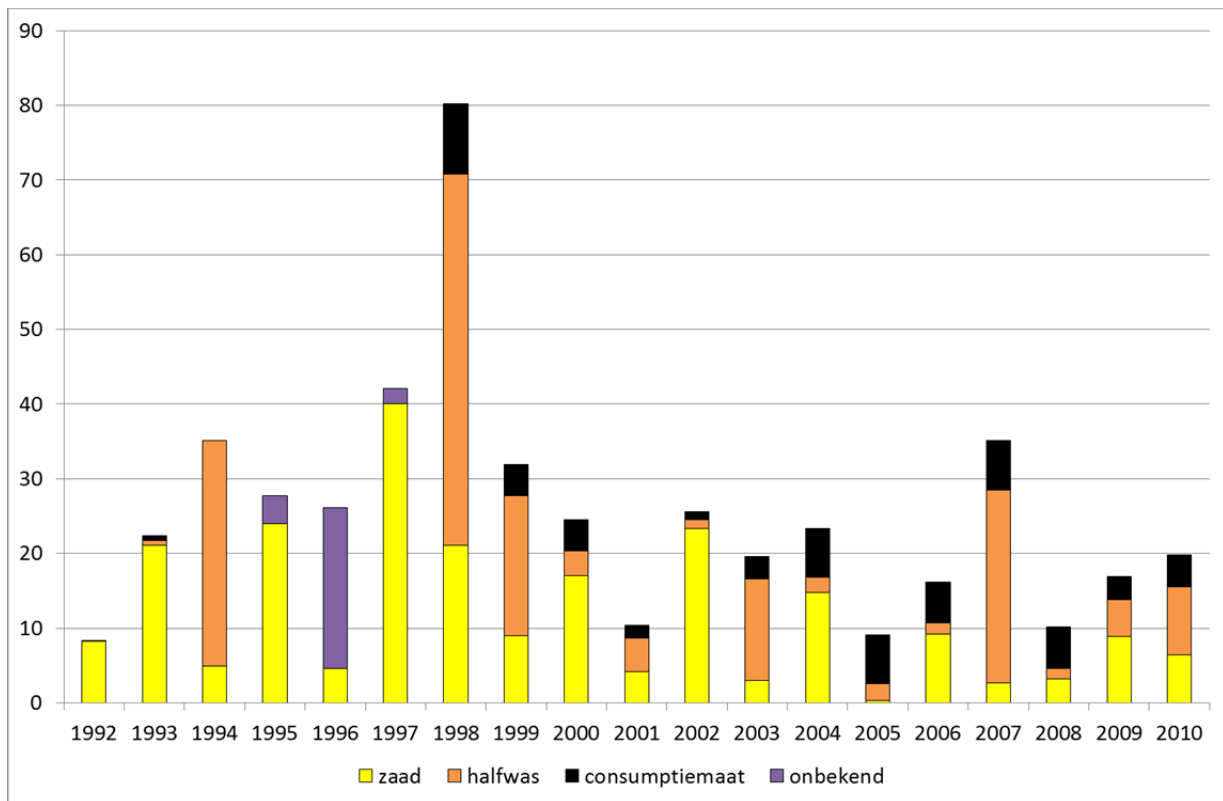
³ WTDL=Waterstaatkundige Toestand des Lands, het overkoepelende monitorprogramma van Rijkswaterstaat voor de zoete en zoute Rijkswateren



Figuur 3.6a. Verspreiding Toppers in december 2008 en februari 2009. Bron: de Jong et al. 2009.



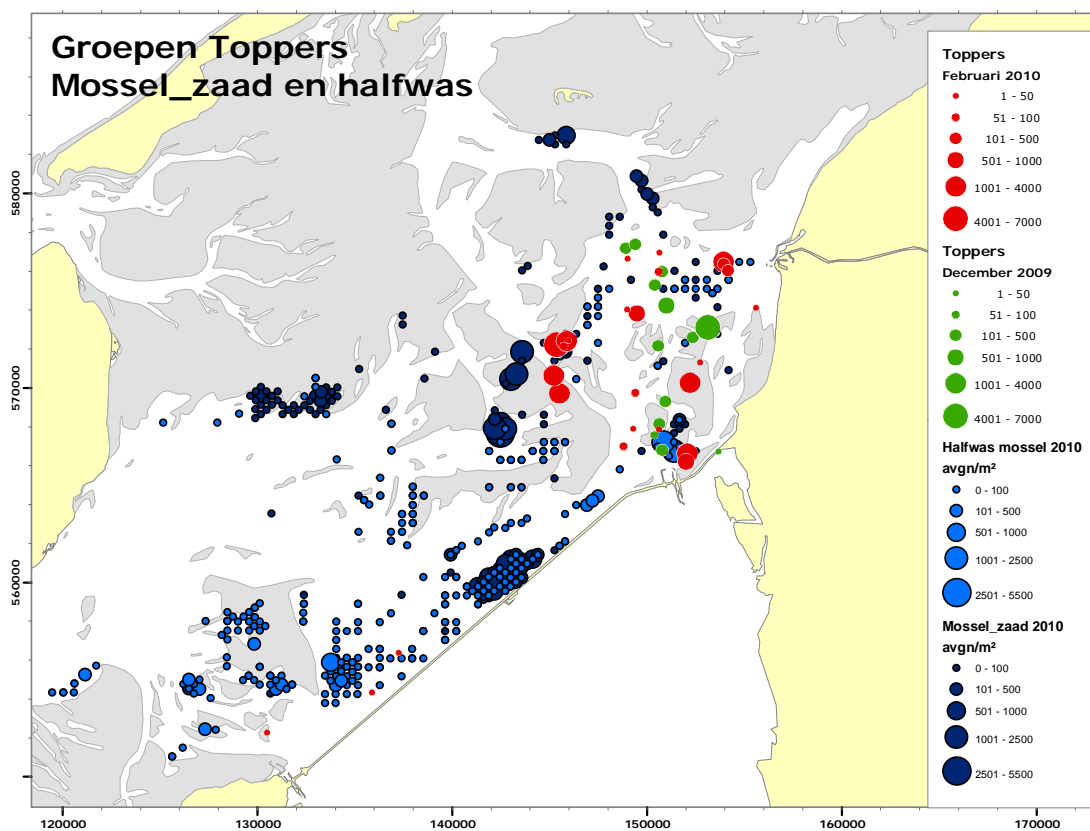
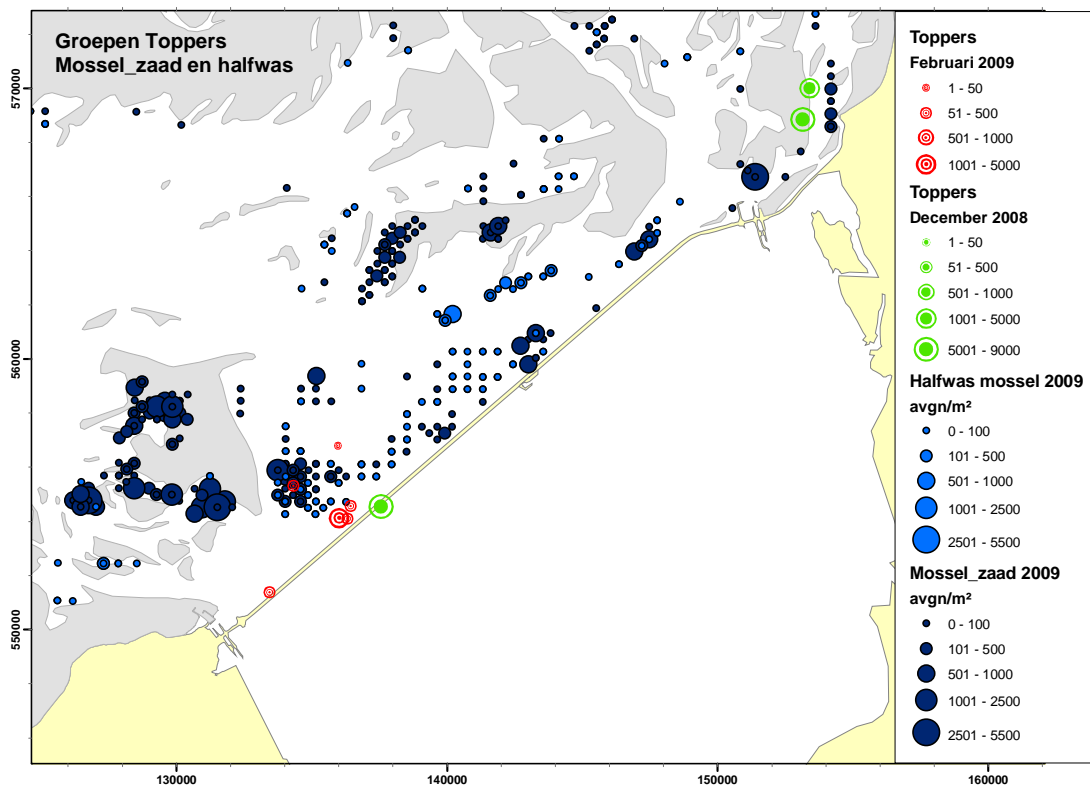
Figuur 3.6b. Verspreiding van Toppers in december 2009 en februari 2010. Bron: de Jong et al. 2010.



Figuur 3.7 Bestand wilde sublitorale mosselbestanden (Mkg versmassa) in het voorjaar in de Waddenzee. Bron: Ens *et al.* 2007, Fey-Hofstede *et al.* 2008, aangevuld met IMARES Yerseke (ongepubl.).

De in de jaren 2009-2010 door IMARES medewerkers uitgevoerde waarnemingen van foeragerende Toppers wijzen erop dat de sublitorale mosselbanken en/of mosselpercelen in de westelijke Waddenzee een belangrijke voedselbron zijn. In andere overwinteringsgebieden in Noordwest Europa (Denemarken, Zweden, Schotland) blijken kleine Mosselen vaak door Toppers te worden gegeten (Cramp & Simmons 1977, Nilsson 1972), naast soorten als Kokkel en Nonnetje en andere lokaal aanwezige schelpdieren (Poulton *et al.* 2002). De in de westelijke Waddenzee aanwezige sublitorale mosselbanken en percelen liggen vrij dicht bij de locaties waar de Toppers zich overdag ophouden.

De uitkomsten van correlatieve testen tussen de aantallen Toppers en verschillende schattingen van de mosselbestanden door Oosterbeek (2006) laten geen duidelijk significante verbanden zien. Opvallend is dat hij concludeerde dat schattingen van het totale mosselbestand beter overeen komen met het aantal Toppers dan de schattingen van alleen de mosselzaadbestanden. Op basis van de grootteselectie bij andere prooi-soorten zou juist verwacht kunnen worden dat mosselzaad de aangewezen voedselbron voor Toppers zou zijn (van Eerden *et al.* 1997, Poulton *et al.* 2002). In analogie met de studies in het IJsselmeer (van Eerden *et al.* 1997, de Leeuw 1999) zal de beschikbaarheid van de Mosselen niet alleen bepaald worden door de totale aanwezige bestanden, maar ook door de kwaliteit, de diepte, het getij en hun ligging ten opzichte van de favoriete rustgebieden.



Figuur 3.8. Sublitorale mosselvoorkomens (zaad en halfwas) in het voorjaar van 2009 en 2010 (op basis van IMARES surveys) en de resultaten van de vliegtuigtellingen van de Topper in dezelfde periodes (de Jong et al. 2009, 2010).

Uit eerdere analyses (Oosterbeek 2006) blijkt het moeilijk te zijn om grip te krijgen op de aantallen Toppers in de Waddenzee. Toppers komen op ongeregelde tijden voor, zowel binnen seizoenen als tussen seizoenen, en dat kan maar zeer beperkt worden verklaard aan de hand van de temperatuur en de temperatuurverschillen binnen het overwinteringsgebied. Ook processen buiten de Waddenzee lijken een belangrijke invloed te hebben op de aantallen overwinterende Toppers in de Waddenzee. Oorzaken hiervan zouden grootschalige verplaatsingen tussen overwinteringsgebieden kunnen zijn (Pihl *et al.* 2006) of fluctuaties van de totale trekroustepopulatie. De regelmatige uitwisseling met het IJsselmeer en de locatie van de rustgebieden wijzen erop dat beide gebieden door één groep vogels benut worden. De aantallen in het zuidelijk deel van het IJsselmeer zijn relatief constant en wisselen niet of nauwelijks uit met het noordelijk deel. Pas wanneer het IJsselmeer is dichtgevroren wijken ook de 'zuidelijke' vogels uit naar de Waddenzee (van Eerden *et al.* 1997, de Leeuw 1999).

Mosselcultuur speelt een belangrijke rol in de Waddenzee en Toppers leven vooral van kleine schelpdieren. Jonge Mosselen, die als mosselzaad worden uitgezaaid op mosselpercelen, vormen in theorie derhalve een ideale voedselbron voor deze soort (voorspelbare locaties met hoge dichtheden Mosselen van geschikte lengte). Uit de verspreiding van de Toppers in de Waddenzee, de locaties van zaadwinning en de locaties van de mosselpercelen blijkt echter wat anders. De Toppers in de Waddenzee bevinden zich traditioneel dicht onder de Afsluitdijk (zie Figuur 3.6). Dit zijn ook de locaties waar het meest intensief op mosselzaad wordt gevist (Bult *et al.* 2004ab). Na 2008 is de zaadvisserij in het najaar in de meeste van deze gebieden (de meest stabiele gebieden (nrs 4 en 5) op de MarinX-stabiliteitskaart) beëindigd. De rol van garnalenvisserij, waarbij vooral in de maanden juni-september relatief intensief wordt gevist in het gebied te noorden van de Afsluitdijk (Nadere EffectAnalyse Garnalenvisserij Waddenzee, 2011), voor de overleving van mossellarven is vooralsnog onbekend.

Het opgeviste mosselzaad wordt verplaatst naar percelen die zich merendeels verder noordelijk en oostelijk (tot dicht onder Terschelling) bevinden, deels ook naar een gebied bij de Afsluitdijk (Vlieter). Toppers worden echter zelden boven deze mosselpercelen waargenomen; in het gebied bij de Vlieter zijn ze vooral aanwezig ten zuidoosten van de mosselpercelen. Het lijkt er dus op dat bij de mosselzaadvisserij voor Toppers geschikte Mosselen verplaatst worden van locaties waar wel Toppers aanwezig zijn naar locaties waar deze niet voorkomen. Waarom de eenden niet meeverhuizen met de Mosselen is niet duidelijk. Mogelijk speelt het zoutgehalte van het water een rol. Toppers worden vaak in zoet en brak water aangetroffen en minder vaak in zout water en het gebied ten noorden van de Afsluitdijk kent, vanwege spui van IJsselmeerwater bij Den Oever en Kornwerderzand, een duidelijk lager zoutgehalte (Oost & Bokhorst 2002). Consumptiemosselen (>4cm) lijken niet van belang voor Toppers.

Figuur 3.7 laat zien dat de hoeveelheden sublitorale Mosselen van jaar op jaar sterk kunnen verschillen, een stijging vertonen in de jaren 1991-1997 en vervolgens weer dalen. Figuur 3.8 laat een zeker verband zien tussen de aanwezigheid van mosselzaad en die van Toppers. Uit een in het kader van het BO-project uitgevoerde analyse van Lorna Teal (IMARES IJmuiden, ongepubl.) naar de voedselbeschikbaarheid in relatie tot aantallen en verspreiding van de Topper blijkt vooralsnog geen duidelijke relatie met één van de onderzochte soorten bodemfauna. In het kader van het promotieonderzoek van A. Cervenci is na afloop van de analyse van Teal een nieuwe analyse uitgevoerd. Op basis van deze recente (juni 2011) analyse (Cervenci & Alvarez Fernandez, *in prep.*) lijkt er vooral een verband te zijn met de aanwezigheid van kleine Strandgapers en in mindere mate met mosselzaad. Maar ook hier geldt het probleem dat de aanwezigheid van Toppers gedurende de dag niet betekent dat er op die locaties's nachts ook daadwerkelijk wordt gefoerageerd.

Vanaf het begin van de jaren '90 nam het aantal Toppers in de Waddenzee af (zie Figuur 3.2) ten opzichte van de aantallen die aanwezig waren op het IJsselmeer (Figuur 3.3, zie ook Van Eerden *et al.* 1997). Deze overgang vond plaats in een periode waarin de sublitorale mosselbestanden in de Waddenzee afnamen in vergelijking tot de hoeveelheden die voor 1990 aanwezig waren (Brinkman &

Smaal 2003, zie ook Hoofdstuk 9). Juist in deze periode werden recordaantallen Toppers in het IJsselmeergebied geteld (van Eerden *et al.* 2005). De geconstateerde afname, en ook de verkorting van het seizoen waarin Toppers in de Waddenzee aanwezig zijn, suggereert dat er te weinig voedsel in het gebied aanwezig is om grotere aantallen Toppers gedurende langere tijd van voedsel te kunnen voorzien (zie hiervoor ook de nadere analyse in § 3.3). Figuur 3.4 suggereert dat er een herstel optreedt in de laatste jaren (hoge aantallen in januari 2009 en januari 2010). Deze hoge aantallen worden echter voor een zeer groot deel veroorzaakt door ijsvorming in het IJsselmeer waardoor dit gebied tijdelijk niet als voedselgebied kan functioneren. Hetzelfde verschijnsel werd waargenomen in de winter van 2010/2011. Ook in deze winter waren relatief veel Toppers in de Waddenzee aanwezig. Zodra het IJsselmeer weer beschikbaar kwam vertrokken vrijwel alle Toppers meteen weer naar het IJsselmeer (de Jong *et al.* in prep). Het IJsselmeer heeft blijkbaar de voorkeur als verblijfgebied en de conclusie dat die voorkeur voedsel-gerelateerd is ligt voor de hand.

3.2.2.3 Voedselopname

Tijdens een bezoek aan de locatie bij de Afsluitdijk op 9/1/2009 werd een groep van 26.270 Toppers op de Waddenzee waargenomen (omgeving Monument). Tabel 3.2 laat zien dat een deel van deze vogels niet actief foerageert, overeenkomstig eerdere waarnemingen, een vrij groot deel echter wel.

Tabel 3.2. *Gedrag van een groep Toppers op 9 januari 2009 langs de Afsluitdijk (waarnemingen: M. de Jong, ongepubl.).*

Aantal binnen deelgroep	Globale activiteit
45	Slapend
150	Slapend
25	Slapend
1500	Lang lint op grote afstand, lijken niet actief
200	Actief, maar niet duikend
1900	Ver weg in lang lint, activiteit niet zichtbaar
350	Slapend
750	Niet actief
900	Actief, maar niet duikend
250	Slapend
600	Niet actief
2100	Niet actief
500	Rond vliegend
2000	Actief, deels duikend
15.000	Actief en duikend

Een deel van deze vogels werd nader bestudeerd. Hieruit bleek dat een wisselend deel van de vogels frequent dook en dat vogels met prooien boven kwamen. Bij de individuen op de kortste afstand (ca. 150 meter) is een poging gedaan om na te gaan met welke prooien de eenden met enige regelmaat boven kwamen (Tabel 3.3). Door de korte handling-tijd was dat erg moeilijk. Voor zover zichtbaar werden vrij kleine licht gekleurde platte schelpen gegeten, dus mogelijk jonge Strandgapers, Nonnetjes of jonge Mosselen. Vanwege de vorm betrof het waarschijnlijk geen Kokkels. Waarnemingen op 29 januari vanaf MS Phoca, ook in de omgeving van de Afsluitdijk, laten een vergelijkbaar beeld zien. Tijdens deze waarnemingen werd een duikfrequentie vastgesteld van 1-5 duiken per minuut (groeps grootte 1250 Toppers, 25 vogels bekeken), in een groep met een grootte van 3300 Toppers (50 vogels bekeken) werd 2-10 keer per minuut gedoken (M. de Jong, *ongepubl.*).

Tabel 3.3. Frequentie van duiken uit verschillende groepen Toppers waarvan de duikfrequentie kon worden bepaald (waarnemingen 9/1/2009, M. de Jong, ongepubl.).

Kenmerk van de groep	Aantal individuen	Aantal duiken in een minuut
Groep van ca 1800 Toppereenden; ca. 60 % slaapt	50	1
Groep van ca 1800 Toppereenden; ca. 60 % slaapt	50	0
Groep van ca 1800 Toppereenden; ca. 60 % slaapt	50	0
Groep van ca. 500 Toppereenden	50	3
Groep van ca. 500 Toppereenden	50	16
Groep van ca. 500 Toppereenden	50	10
Grote groep (van naar schatting > 10.000)	50	3
Grote groep (van naar schatting > 10.000)	50	1
Grote groep (van naar schatting > 10.000)	50	4

3.3 Nadere analyse van de voedselsituatie in de gebieden nabij de Afsluitdijk

3.3.1 Inleiding

Naar aanleiding van de discussies over de voedselbeschikbaarheid en de aantallen deels foeragerende Toppers nabij de Afsluitdijk zijn in het kader van de Nadere EffectenAnalyse (NEA) Mosselzaadvisserij de beschikbare data over mosselzaadvoorkomens nader geanalyseerd.

De gebruikte basisgegevens zijn afkomstig uit de IMARES-mosselsurveys die elk jaar in het voorjaar (maart-april) worden uitgevoerd. Tijdens deze survey wordt over een afstand van ongeveer 50-70 m een smal spoor bemonsterd (zie o.a. Kesteloo *et al.* 2005, 2007, 2010). De resultaten van de surveys leveren informatie op over de aantallen en biomassa per m², waarbij de Mosselen zijn opgedeeld in een drietal klassen: zaad, halfwas en volwassen. De data zijn toegekend aan één locatie; er is dus enig rekenwerk nodig geweest om de koppeling tussen deelgebieden en puntmeting tot stand te brengen. De data betreffen *niet* de mosselkweekpercelen.

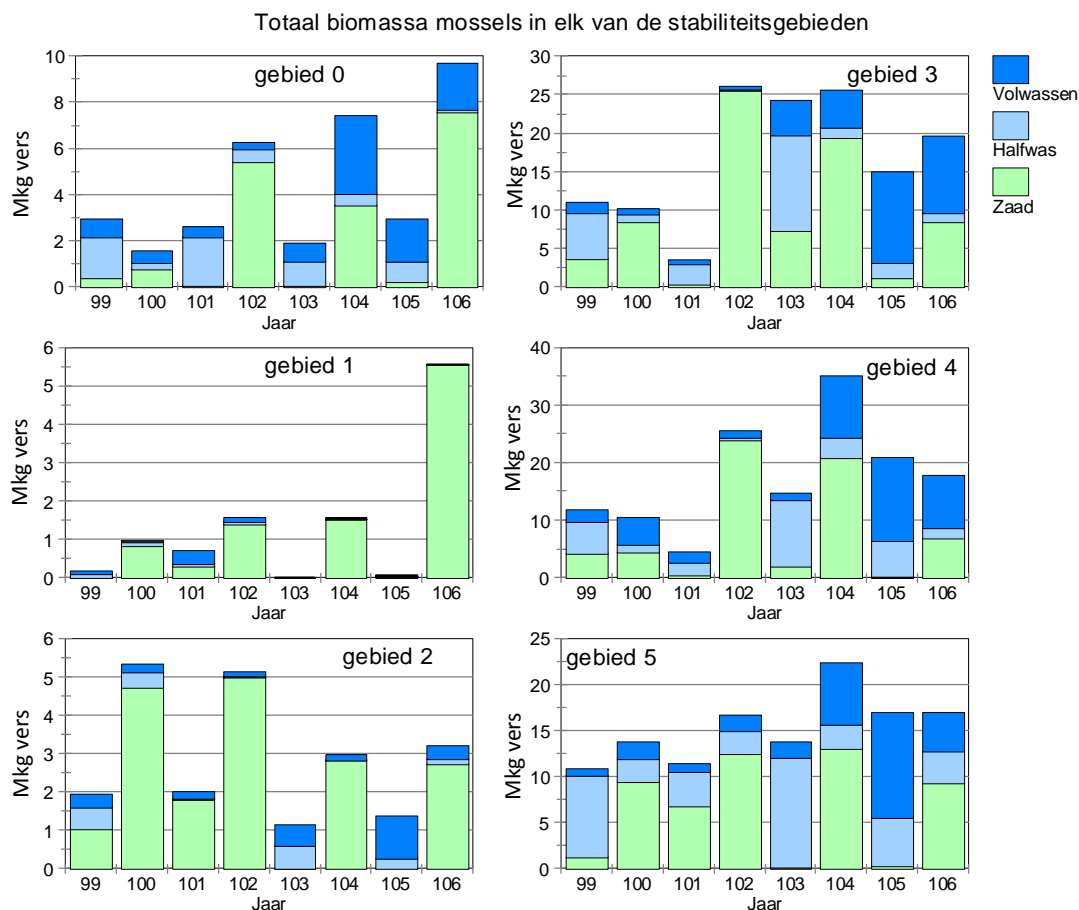
Van belang zijn de zogeheten stabiliteitsgebieden van MarinX. Deze stabiliteitsgebieden betreffen vijf gebieden waarin regelmatig mosselzaadval optreedt, en waaraan een waarderingscijfer (1...5) is gekoppeld dat aangeeft of de kans op overleving in de eerstvolgende winter klein (1) dan wel groot is (5). De relevantie is daarin gelegen dat zaadvisserij in het najaar alleen is toegestaan in de gebieden 1, 2 en 3 en niet in de gebieden 4 en 5.

Voor de deelgebieden 1 t/m 5, plus alle gebieden die daarbuiten vallen ("gebied 0"), is uit de surveydata berekend hoeveel Mosselen er aanwezig waren in elk voorjaar van 1999-2006, voor de drie onderscheiden grootteklassen. Tevens is berekend wat de grootte was van de zaad-, halfwas- en volwassen Mosselen (zowel in massa als lengte).

Het voorkomen in elk voorjaar is vervolgens vergeleken met de voedselbehoefte van Toppers gedurende twee maanden, zijnde de periode dat de vogels in de Waddenzee aanwezig (kunnen) zijn. Hiermee wordt duidelijk hoeveel Toppers zich minimaal gedurende de wintermaanden met de mosselvoorraden hebben kunnen voeden. Dit aantal is een minimum omdat de surveys zijn uitgevoerd na de winter. Bij het begin van de winter is dus minstens die hoeveelheid schelpdieren aanwezig geweest.

3.3.2 Resultaten voor alle gebieden en alle Mosselen samen

In Figuur 3.9 is aangegeven hoeveel biomassa er door de jaren heen is aangetroffen in de verschillende sublitorale gebieden (exclusief de kweekpercelen). Het is duidelijk dat er van jaar tot jaar grote verschillen kunnen bestaan. In sommige jaren zijn erg weinig halfwas- en zaadmosselen aanwezig, zoals in 2005. Gemiddelden voor de periode 1999-2006 en de gebieden 3-5 zijn weergegeven in Tabel 3.3.



Figuur 3.9. Biomassa Mosselen (zaad, halfwas, volwassen) in Mkg versgewicht in de verschillende stabiliteitsklassegebieden (1..5) van MarinX op basis van de IMARES-surveys in de jaren 1999 (99) t/m 2006 (106). Gebied 0 is het gehele sublitorale gebied buiten de gebieden 1..5. Gebied 1 is het minst stabiele, gebied 5 het meest stabiele gebied. De data zijn exclusief de mosselkweekpercelen.

Tabel 3.3. Gemiddelde biomassa's in de MarinX-stabiliteitsgebieden 3..5 voor de periode 1999-2006. Er is een verhouding vlees:vers =0.28 aangehouden. Waarden in Mkg versgewicht.

gemiddelden 1999-2006			
Vers	Geb 3	Geb 4	Geb 5
Zaad	9,3	7,9	6,6
Half	3,3	4,1	5,1
Volw	0,4	4,2	5,6
Zaad+half	12,7	12,0	11,7
<i>Vlees</i>			
Zaad	2,6	2,2	1,9
Half	0,9	1,1	1,4
Volw	0,1	1,2	1,6
Zaad+half	3,5	3,4	3,3

3.3.3 Grootte van de Mosselen

De vraag is nu of deze hoeveelheden voldoende zijn om de aanwezige Toppers te kunnen voeden. Voor die vraag beantwoord kan worden, is het nodig om een idee te hebben van de grootte van de Mosselen. Toppers beperken zich immers tot Mosselen met een grootte van 1-2.5 cm (zie § 3.2.1). In Figuur 3.10 is de berekende gemiddelde lengte van de aanwezige Mosselen weergegeven. Deze lengte is berekend uit:

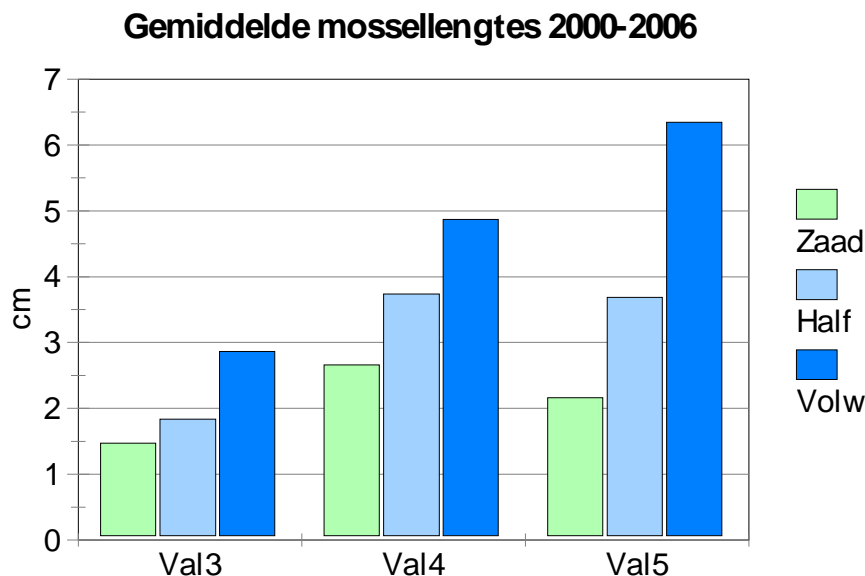
$$lengte = \left(\frac{versmassa * 0.28 * 0.2}{2700} \right)^{\frac{1}{2.7}} * 100 \quad (\text{cm}) \quad (3.1)$$

waarbij in de teller de versmassa wordt omgerekend naar een asvrijdroogmassa. De factor 100 is nodig om de lengte in cm's te geven.

In Figuur 3.10 is te zien dat in de stabiliteitsgebieden 4 en 5 de zaadmosselen gemiddeld 20-25 mm groot zijn en daarmee de grootte hebben die door Toppers het liefst wordt gegeten. Halfwassmosselen zijn in het algemeen al te groot.

3.3.4 Zijn er gemiddeld voldoende zaadmosselen?

Voor zijn voedselbehoefte is de Topper aangewezen op de zaadmosselen, waarvan gemiddeld 6-8 Mkg (versmassa) aanwezig is in de gebieden 4 en 5 (Tabel 3.3). De reden om de gebieden 4 en 5 te nemen is dat er tegenwoordig in het najaar niet meer gevist mag worden, en waar het dus relatief zeker is dat de Mosselen in het voorjaar inderdaad aanwezig zijn. Dat geldt niet voor de overige gebieden waar wél gevist mag worden in het najaar en dus de aanwezigheid in het voorjaar onzeker is.



Figuur 3.10. Gemiddelde lengte van zaad-, halfwas- en volwassen Mosselen in de MarinX-stabiliteitsgebieden 3, 4 en 5 (Val3..Val5). De lengte van de Mosselen is berekend uit de surveydata met behulp van vergelijking 3.1

De voedselbehoefte van een Topper bedraagt ongeveer 450 g vlees per dag, ofwel 1,6 kg verse Mosselen (of andere schelpdieren). Gesteld dat de soort gedurende twee maanden in de Waddenzee aanwezig is (zie § 3.1.1), dan kunnen zich ruim 150.000 Toppers met de in gebieden 4 plus 5 aanwezige zaadmosselen voeden (81.000 plus respectievelijk 59.000). Dit is meer dan er zich maximaal ophouden

in het gebied: het maximale aantal (2009, zie Figuur 3.4) was bijna 90.000 en de daaraan gekoppelde voedselbehoefte was 2,4 Mkg vlees (8,7 Mkg vers) in twee maanden. Bij deze berekening is uitsluitend rekening gehouden met de fysiologische behoefte (hoeveel voedsel heeft de Topper nodig). Uit deze berekening moet worden geconcludeerd dat er gemiddeld voldoende voedsel voor de Topper aanwezig is.

Er is evenwel een restrictie. Er moet altijd meer voedsel aanwezig zijn dan de feitelijke fysiologische behoefte omdat nooit al het voedsel gevonden en dus opgegeten kan worden. Die noodzakelijke voorraad wordt de ecologische voedselbehoefte genoemd. Dit is voor Scholeksters goed onderzocht: de verhouding ecologische / fysiologische voedsel behoefte is van de grootte 3 à 4. Voor eenden, die een minder sterk competitief karakter hebben dan Scholeksters, zou een lagere verhouding kunnen gelden maar of dit werkelijk het geval is is onduidelijk. Hierover bestaan (nog) geen gegevens. Omdat de verhouding ook hoger zou kunnen liggen omdat onder water het zoeken naar voedsel juist relatief moeilijk is, is ervoor gekozen om ook voor eenden de factor 3 à 4 aan te houden.

Uitgaande van zo'n geschatte ecologische voedselbehoefte kunnen zich gemiddeld ongeveer 50.000 Toppers voeden met de in de gebieden 4 plus 5 aanwezige zaadmosselen.

3.3.5 Zijn er elk jaar voldoende zaadmosselen?

De volgende vraag die beantwoord moet worden is of die voedselvoorraad ook werkelijk elk jaar aanwezig is. De hoeveelheden zaadmosselen in de periode 1999-2006 in de gebieden 4 en 5 zijn weergegeven in Figuur 3.11. Uit deze figuur wordt duidelijk dat dit zeker niet elk jaar het geval is geweest. In de jaren 2003 en 2005 was na de winter maar een kleine hoeveelheid zaadmosselen aanwezig. Helemaal duidelijk of er te weinig voedsel gelegen heeft is het niet, maar het lijkt aannemelijk dat in elk geval de beschikbaarheid erg klein is geweest. Het restant in 2005 was 500.000 kg in de gebieden 4 en 5 samen. Was dit de hoeveelheid aan het begin van de winter geweest dan was dat voldoende voor 5000 Toppers op basis van hun fysiologische behoefte en ongeveer 1500 Toppers op basis van hun geschatte ecologische behoefte. Dat de biomassa aan zaadmosselen inderdaad klein is geweest wordt ondersteund door de visserijgegevens (Figuur 3.12). In het najaar van 2002 en van 2004 heeft er geen of nauwelijks visserij plaatsgevonden in de gebieden 4 en 5.

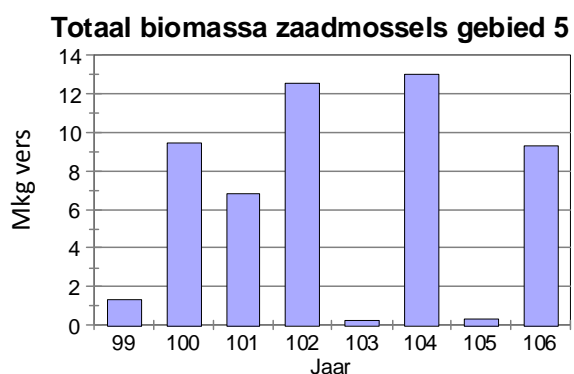
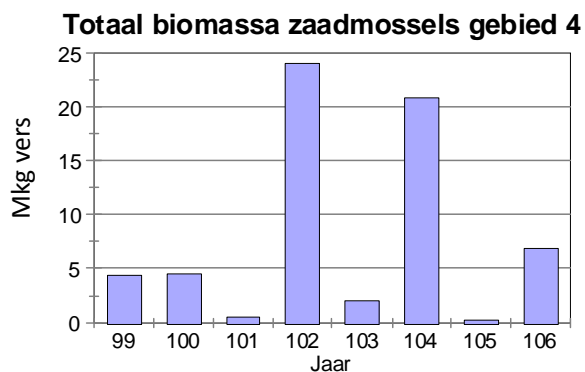
De aantallen Toppers in 2009 zijn hoger dan het mogelijke gemiddelde aantal van 50.000 (§ 3.3.4). De voedselvoorraad gedurende deze winter is niet precies bekend, maar het totale mosselbestand bedroeg 25 Mkg in het voorjaar van 2009 (Tabel 3.2 uit de Nadere EffectenAnalyse Mosselzaadvisserij, Jongbloed *et al.* in prep.). Daarmee lijkt het erop dat de Toppers toen mogelijk net voldoende voedsel konden bemachtigen.

3.3.6 Speelt visserij een rol?

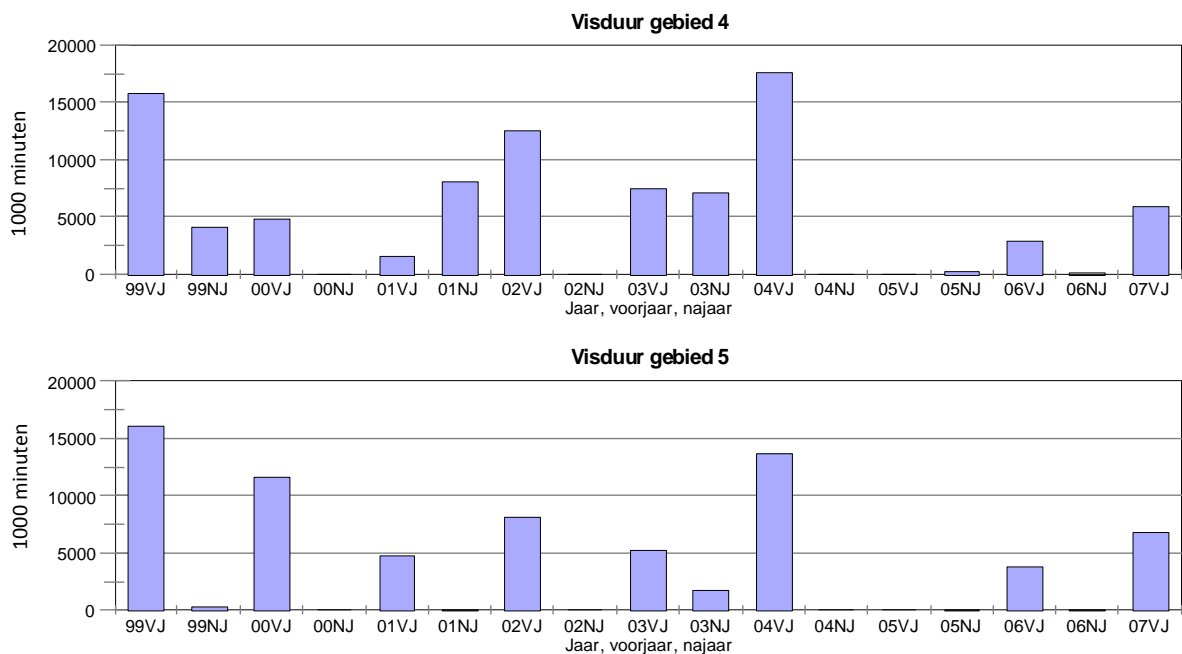
De visduur (in 1000 minuten voor het hele seizoen) is weergegeven in Figuur 3.12. Voorafgaand aan het voorjaar van 2005 heeft er in het najaar van 2004 geen visserij plaatsgevonden. In het voorjaar van 2004 is er echter wel intensief gevist, waarbij 90% opgevist is (Tabel 2 uit de NEA Mosselzaadvisserij). Uit de gegevens blijkt ook dat er in het najaar van 2004 geen aanvulling is gekomen.

Ook in het voorjaar van 2003 (toen een heel klein bestand zaadmosselen aanwezig was in gebied 5 en een klein bestand in gebied 4) was er geen visserij in het eraan voorafgaande najaar van 2002. In het voorjaar van 2002 is volgens dezelfde NEA-tabel ook 90% van het bestand opgevist, en blijkbaar ook zonder aanvulling in het najaar. Deze gegevens laten zien dat in een aantal jaren er geen goede zaadval plaatsvindt, waardoor in het najaar een slechte voedselsituatie ontstaat voor Toppers. Omdat zonder visserij de resterende mosselen in het najaar tot te grote dieren zouden zijn uitgegroeid en dus ook niet-

eetbaar voedsel voor Toppers zouden vormen is de directe invloed van die voorjaarsvisserij zeer aannemelijk niet groot.



Figuur 3.11. Biomassa zaadmossels (vers) in de MarinX-stabiliteitsgebieden 4 en 5.



Figuur 3.12. Visduur in de MarinX-stabiliteitsgebieden 4 en 5 in de jaren 1999-2007. NJ= najaar, VJ=voorjaar. De voorjaarsvisserij vindt plaats na de surveys.

3.3.7 Conclusies wat betreft de mosselvoorraden bij de Afsluitdijk

Op basis van de bovenstaande analyse kan geconcludeerd worden dat:

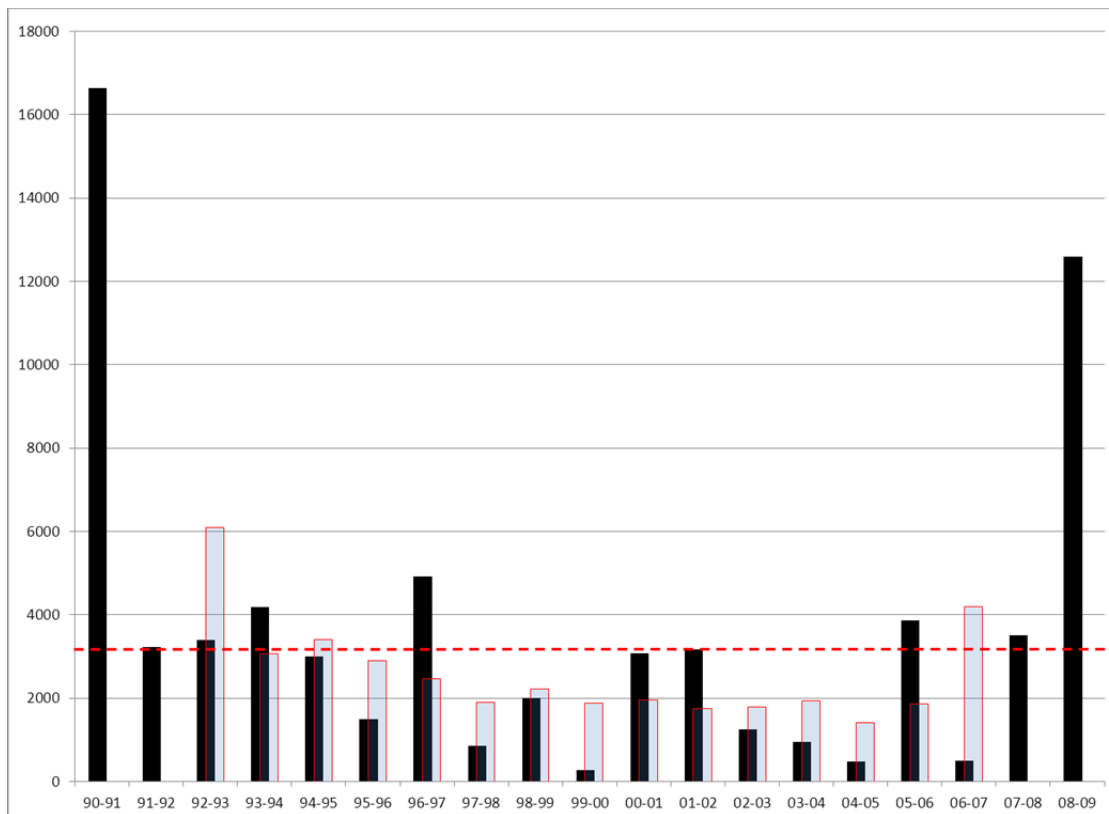
- Er gemiddelde ruim voldoende voedsel aanwezig is voor Toppers, dat ook op de geschikte locaties aanwezig is
- Er van jaar tot jaar grote variaties zijn in dit voedselaanbod
- Er in sommige jaren een tekort aan voedsel optreedt. In de gebruikte dataseries is dat steeds na een voorjaar met een vrijwel complete bevissing, waarbij in het najaar geen aanvullende zaadval optrad. Een directe relatie tussen bevissing en voedseltekort ontbreekt omdat de niet-geviste mosselen zonder meer te groot worden voor consumptie door Toppers
- Weinig Mosselen impliceert weinig Toppers, maar het omgekeerde is niet waar: veel Mosselen kan met zowel weinig als met veel Toppers gepaard gaan.

3.4 Conclusie in relatie tot de Instandhoudingsdoelstelling

Op basis van de trekbewegingen en sporadische waarnemingen is het duidelijk geworden dat Toppers in de Waddenzee in elk geval deels foerageren. Of Toppers hierbij wel of niet intensief gebruik maken van sublitorale mosselbanken is met het tot dusver uitgevoerde onderzoek nog niet met zekerheid vastgesteld. Er kan nog geen uitspraak worden gedaan over de rol van sublitorale mosselvoorkomens in de voedselvoorziening van Toppers. Met deze studie is inmiddels een begin gemaakt in de vorm van het promotieonderzoek van Anja Cervenci. Vooralsnog duiden de overeenkomsten tussen het ruimtelijk verspreidingspatroon van mosselzaad en Toppers op een gebruik van deze gebieden als foerageergebied, op sommige plaatsen is waargenomen dat Toppers jonge Strandgapers aten. Uit de radarwaarneming blijkt dat slechts een vrij klein deel van de in de Waddenzee aanwezige Toppers 's nachts naar het IJsselmeer vliegt. Uit tellingen blijkt dat in jaren met weinig sublitorale Mosselen in de Waddenzee de aantallen op het IJsselmeer toenemen. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de-eutrofiëring in de Waddenzee een rol speelt bij de beschikbaarheid van voldoende voedsel voor Toppers.

De aantallen die gemiddeld in de afgelopen jaren in de Waddenzee aanwezig waren, uitgedrukt in de vorm van seizoensgemiddelden, overschrijden (zie Figuur 3.13) de Instandhoudingsdoelstelling van de soort in de Waddenzee (draagkracht voor een seizoensgemiddelde van 3100 vogels, voor de jaren 1999/2000-2003/2004 stond dit op 6800 vogels; SOVON & CBS 2005). Voor de Noordzeekustzone is geen Instandhoudingsdoelstelling gekwantificeerd. Voor afzonderlijke seizoenen geldt dit niet: vooral in de periode 1997-98 t/m 2004-05 liggen de seizoensgemiddelden onder dit niveau en ook de 5-jaarlijkse gemiddelden in deze periode liggen er onder. De huidige vergunningsvoorwaarden, waarbij in het najaar niet op stabiel geachte locaties op mosselzaad mag worden gevestigd, lijkt een garantie te vormen dat deze Instandhoudingsdoelstelling ook in de nabije toekomst zal worden gehaald.

De Waddenzee speelt, naast deze Instandhoudingsdoelstelling, ook een rol als refugium in strenge winters wanneer het IJsselmeer is dicht gevoren. In een dergelijke periode kan het aantal in een beperkt deel van de Waddenzee zeer sterk toenemen (zie Tabel 3.1). In hoeverre de Waddenzee onder deze omstandigheden gedurende langere tijd (enkele weken of meer) een belangrijke rol kan blijven spelen is echter onduidelijk, temeer omdat in sommige jaren zeer weinig zaadmosselen in de westelijke Waddenzee aanwezig zijn (zie § 3.3.5 en 3.3.6). De soort lijkt op termijn te kunnen profiteren van het huidige beleid van het sluiten van sublitorale bodemberoerende zaadvisserij. Het proces van mosseltransitie dat momenteel gaande is lijkt op termijn dan ook een goede waarborg te zijn voor het kunnen realiseren van voldoende geschikt foerageergebied voor deze soort.



Figuur 3.13. Seizoensgemiddelden van Toppers in de Waddenzee op basis van gegevens van RIZA/Waterdienst. Weergegeven zijn de seizoensgemiddelden zoals berekend uit de maandelijkse tellingen boven de Waddenzee per telseizoen (zwarte kolommen) en de 5-jaars gemiddelden rondom deze seizoenen (grijze balken; de waarde voor 92-93 vertegenwoordigt dus het gemiddelde over de periode 1990-91 t/m 1994-95). De rode stippellijn vertegenwoordigt het huidige Instandhoudingsdoel.

3.5 Samenvatting en slotopmerkingen

- Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de afname van de eutrofiëring van het IJsselmeer in de jaren '90 van invloed is geweest op de aantallen Toppers die van het gebied gebruik maakten
- De aantallen Toppers in de Waddenzee vertonen sterke fluctuaties en zijn begin jaren '90 sterk gedaald (zowel in aantallen als in verblijfsduur). De aantallen zijn in de laatste jaren weer wat toegenomen maar dit beeld wordt vertroebeld door ijsvorming in sommige winters, het daarmee ongeschikt raken van het IJsselmeer als voedselgebied en de influx die dit oplevert in de Waddenzee
- Er is uitwisseling tussen het IJsselmeer en de Waddenzee. Naar schatting 5-20% van de Toppers blijken 's nachts tussen Waddenzee en IJsselmeer uit te wisselen
- Het foerageergedrag van Toppers kon tot dusver slechts incidenteel worden vastgesteld vanwege het doorgaans nachtelijk foerageren van de soort, op grote afstand van de vaste wal. De waarnemingen wijzen op jonge Strandgapers als prooi
- De ruimtelijke verspreiding van de Topper in de Waddenzee vertoont een overeenkomst met de aanwezigheid van jonge Strandgapers en sublitoraal mosselzaad
- Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat Toppers van mosselpercelen gebruik maken
- Er zijn geen aanwijzingen dat de de-eutrofiëring in de Waddenzee een duidelijke rol speelt
- De gemiddelde waarde over de seizoensgemiddelden van de aantallen Toppers in de Waddenzee over de periode 1990-91 t/m 2008-09 overschrijdt de Instandhoudingsdoelstelling die geldt voor de Waddenzee. Voor de verschillende afzonderlijke jaren is het beeld sterk wisselend.

Op basis van de analyse van de mosselzaadvoorkomens nabij de Afsluitdijk kan geconcludeerd worden dat:

- Er gemiddelde ruim voldoende voedsel aanwezig is voor Toppers, en ook dat dit op de geschikte locaties aanwezig is
- Er van jaar tot jaar grote variaties zijn in dit voedselaanbod
- Er in sommige jaren een tekort aan voedsel optreedt. In de gebruikte dataserie is dat steeds na een voorjaar met een vrijwel complete bevissing, waarbij in het najaar geen aanvullende zaadval optrad. Een directe relatie tussen bevissing en voedseltekort ontbreekt omdat de niet-geviste mosselen zonder meer te groot worden voor consumptie door Toppers.

Wat betreft het lopende mosseltransitiebeleid verwachten wij dat:

- De huidige vergunningsvoorwaarden, waarbij in het najaar niet op stabiel geachte locaties op mosselzaad mag worden gevestigd, een garantie kan zijn dat het Instandhoudingsdoel ook in de nabije toekomst zal worden gehaald.
- Het proces van mosseltransitie dat momenteel gaande is op termijn dan ook een goede waarborg kan zijn voor het kunnen realiseren van voldoende geschikt foerageergebied voor deze soort.

4 Zwarte Zee-eend

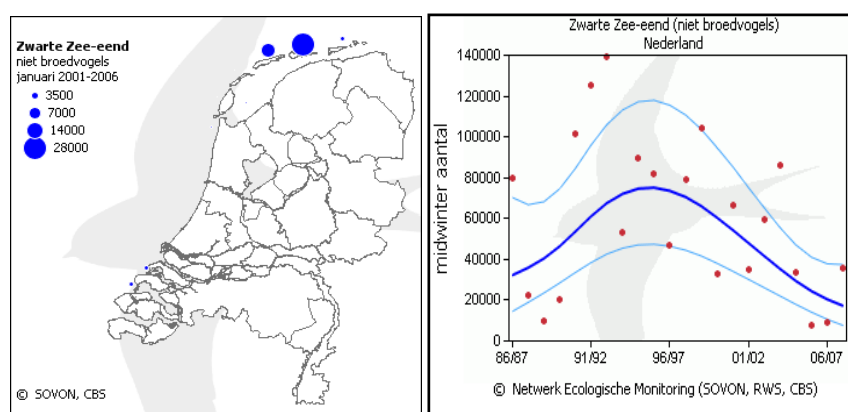
Cor Smit (redactie en onderzoeksvragen), Rob van Bemmelen (tekstbijdragen) & Mardik Leopold (aanvullende informatie dieet en aanwezigheid)

4.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren

4.1.1 Aantallen

De broedgebieden van de in West Europa overwinterende Zwarte Zee-eenden bevinden zich tussen de 71° en 75° breedtegraad. In Europa wordt gebreed van Ierland, Schotland en IJsland, via centraal en Noord Noorwegen en Zweden tot aan de Lena in Siberië. Zwarte Zee-eenden overwinteren in relatief ondiepe kustwateren (tot circa 25 meter diep). De soort kan zowel verspreid (in de Oostzee) als in zeer grote concentraties (Kattegat, Noordzee) overwinteren, afhankelijk van de voedselsituatie. De totale biogeografische populatie wordt geschat op 1,6 miljoen vogels (Wetlands International 2002). Hiervan overwintert de hoofdmacht in het Kattegat (950.000 vogels) (Pihl *et al.* 1992, Skov *et al.* 1995). Elders in de Noordzee overwinteren 200.000-400.000 vogels, waarvan ca. 100.000 rond de Britse Eilanden. Langs de Atlantische kusten van Frankrijk en het Iberisch schiereiland overwinteren 50-100.000 vogels. De aantallen in Noordwest Afrika zijn klein (Scott & Rose 1996, ICES 2005).

Belangrijke rui- en overwinteringsgebieden (>50.000 vogels) liggen in de zuidwestelijke Oostzee (Oderbank, Pommerse Bocht; Sonntag *et al.* 2004), in het Kattegat (Pihl *et al.* 1992; Skov *et al.* 1995), voor de Deense en Duitse Waddenzee (Deppe 2003) en voor de Nederlandse kust (Leopold *et al.* 1995). Langs de Franse kust ligt de belangrijkste hotspot in de Baai van Mont Saint-Michel (10-15.000 vogels; Schricke 1993). Rond de Britse Eilanden komt de soort voor in een aantal grote baaien en estuaria. Het aantal overwinteraars in Wales wordt geschat op 40.000-50.000, langs de Engelse kust in de omgeving van Liverpool overwinteren er nog eens 20.000-25.000, met als hotspots Liverpool Bay (tot 51.400), Carmarthen Bay (tot 20.200) en Cardigan Bay (tot 8.100) (Smith *et al.* 2007). In Schotland is Aberdeen Bay de belangrijkste locatie met circa 5000 vogels in de (na)zomer (Söhle *et al.* 2006).



Figuur 4.1. Belangrijke locaties in Nederlandse kustwateren voor Zwarte Zee-eend in de jaren 2001-2006 (links) en het aantal Zwarte Zee-eenden in januari in Nederland (rechts). Zoals in de tekst is aangegeven is dit een momentopname in die zin dat de voorkomens zich vooral daar concentreren waar geschikt voedsel aanwezig is. Het verspreidingsbeeld geeft echter een goede afspiegeling van de verspreiding van de soort in de afgelopen jaren. Bron: www.sovon.nl.

In de Noordzeekustzone kunnen Zwarte Zee-eenden in alle maanden aangetroffen worden. Doortrekkers en overwinteraars arriveren in Nederlandse kustwateren vanaf augustus. De hoogste aantallen worden vastgesteld in de winter. Overwinteraars vertrekken in maart-april naar de broedgebieden. In juni-augustus worden er soms ruiende Zwarte Zee-eenden aangetroffen. In de meeste jaren gaat het om enkele honderden of duizenden vogels (Bijlsma *et al.* 2001). Er zijn aanwijzingen dat de populatie recent is geslonken in de kustgebieden van Nederland, België, Frankrijk en Portugal (ICES 2005). Hier staan echter recente ontdekkingen van grote aantallen tegenover in de zuidwestelijke Oostzee (Oderbank) en de Britse Eilanden (Liverpool Bay). Van groter belang is echter de aantalsontwikkeling in Denemarken. In en rond het Kattegat, waar in het verleden ruim 900.000 Zwarte Zee-eenden werden geteld (Pihl *et al.* 1992), levert de meest recente telling slechts 280.000 vogels op. In de rest van Denemarken wordt dit verlies niet gecompenseerd.

De aantallen langs de Nederlandse kust variëren sterk. In 1993 werden ten noorden van de Waddeneilanden 134.000 Zwarte Zee-eenden geteld (Leopold *et al.* 1995). De Jong *et al.* (2005) telden in februari 2005 nog 32.500 vogels en de januari telling van 2006 leverde nog geen 8000 Zwarte Zee-eenden op (Arts & Berrevoets 2006). De aantallen wisselen sterk, zowel tussen jaren als binnen een jaar (Leopold *et al.* 1995). Zwarte Zee-eenden zijn beweeglijk en hebben een grote actieradius, zeker als de voedselvoorziening niet optimaal is zoals de laatste jaren in Nederland, waar ze nu zijn aangewezen op Amerikaanse Zwaardschedes. Er vinden vaak snelle en massale verplaatsingen plaats, waarbij de vogels kennelijk op zoek zijn naar betere foerageergebieden.

Vanaf 2005 verblijven in de meeste jaren nog geen 5000 Zwarte Zee-eenden in de Nederlandse Waddenzee, tegen 10-20 keer zoveel Eiders. In de jaren '60 waren veel meer Zwarte Zee-eenden in de Waddenzee aanwezig, tot zo'n 40.000 stuks (zie Figuur 4.9; Swennen 1985).

4.1.2 Voedsel

De weinige gegevens van het dieet van Zwarte Zee-eenden in de Nederlandse Noordzeekustzone zijn gebaseerd op een klein aantal maagonderzoeken en correlaties tussen verspreiding van concentraties zee-eenden en (mogelijke) voedselbronnen. Het dieet van de soort in Noordwest Europa is samengevat door Leopold *et al.* (1995), ICES (2005) en Kaiser *et al.* (2006). Hieruit blijkt dat ze uitsluitend bodemdieren eten – voornamelijk tweekleppige schelpdieren, maar ook gastropoden, wormen, krabben, garnalen, isopoden, zee- en slangsterren, vis en ook viseieren. Het formaat van deze prooien wordt beperkt door de grootte van het keelgat. In principe kunnen alle schelpen die kleiner zijn dan het keelgat gegeten worden: zeer kleine prooien, zoals viseieren, kunnen geslobberd worden.

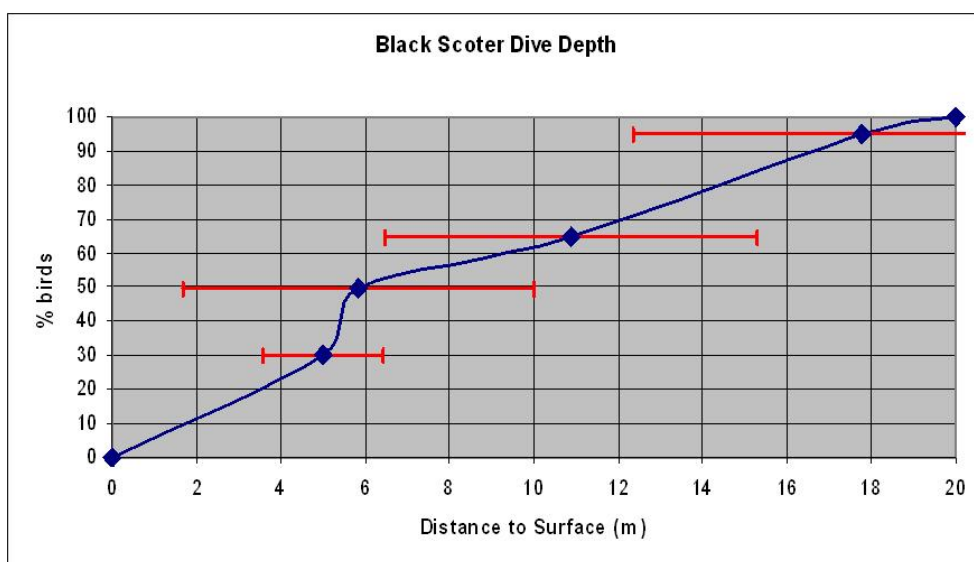
Dieetonderzoek in de Oostzee, langs de Belgische en Franse kusten en in Wales laat zien dat Zwarte Zee-eenden een breed scala aan tweekleppige schelpdieren kunnen eten, meestal van die soorten die op of heel ondiep in de bodem voorkomen in niet te grof zand, zonder veel stenen en zonder veel fijn slib. Langs de Noordzeekusten van Denemarken en Nederland waren vermoedelijk de Kokkel en platschelpen *Tellina sp* belangrijke prooi-soorten. In het begin van de jaren '80 bevond zich een grote concentratie Zwarte Zee-eenden boven een kokkelbank in de Haringvlietmonding. Midden jaren '80 zaten de eenden in de Voordelta in een gebied met een hoge dichtheid aan Halfgeknotte Strandschelpen *Spisula subtruncata* (Leopold *et al.* 1995) en deze soort ontwikkelde zich geleidelijk aan tot stapelvoedsel (Offringa 1991). Maagonderzoek aan enkele olieslachtoffers van de Borcea-ramp in Zeeland bevestigde dat *Spisula* voor de Zwarte Zee-eend in deze tijd in Nederland de belangrijkste prooi-soort was, maar in de magen werden ook Mosselen, Kokkels en Nonnetjes gevonden (Offringa 1991). In de jaren '90 was *Spisula* het stapelvoedsel van de Zwarte Zee-eend in de Nederlandse kustzone (Leopold *et al.* 1995, Leopold 1996, Leopold *et al.* 1998). Eind jaren '90 kwam er steeds minder *Spisula* voor in de Nederlandse kustzone (Craeymeersch & Perdon 2004, 2006, Baptist & Leopold 2009) en de eenden schakelden over op Amerikaanse Zwaardschedes. In deze periode daalden de aantallen eenden sterk ten

opzichte van de "Spisula-jaren". In de kustwateren van Sleeswijk-Holstein waren Zwarte Zee-eenden in de jaren '90 weliswaar talrijk aanwezig (maximaal 82.000 vogels) maar nooit in de omgeving van gebieden met sublitorale Mosselen (Nehls 1998).

De meest geschikte schelpgroottes zijn waarschijnlijk 15-35 mm (Leopold *et al.* 1998). Dit zijn halfwas Mosselen en Kokkels en volwassen *Spisula* en Nonnetjes. Er zijn ook nul- en eenjarige zwaardschedes (<5 cm) aangetroffen in magen van Zwarte Zee-eenden, maar de profitabiliteit van deze prooi (hoeveel energie levert een prooi op en hoeveel kost het om deze te bemachtigen) is waarschijnlijk laag: ze zijn scherp en vaak groter dan ingeslikt en gekraakt kan worden. De eenden concentreren zich op soorten die lokaal in hoge dichtheden voorkomen en aan deze voorwaarde voldoen Amerikaanse Zwaardschedes wel.

Zwarte Zee-eenden zijn goede duikers. In de Nederlandse Waddenzee komen Zwarte Zee-eenden vooral voor op mosselpercelen, maar hun aantallen blijven hier ver achter bij die van de meer op Mosselen gespecialiseerde Eiders. Voedselecoloogisch onderzoek aan de Zwarte Zee-eend in de Waddenzee is echter nooit uitgevoerd. In de Duitse Noordzeekustzone verbleven de meeste zee-eenden rond de waterdiepte waar ook de meeste schelpen werden gevonden: op een diepte van 14 m. In Wales lagen de meeste schelpen op 8 m, wat weerspiegeld werd in de concentraties eenden (Kaiser *et al.* 2006). In de Oostzee werden de meeste zee-eenden aangetroffen in water van 5 tot 15 m diep (Durinck *et al.* 1994). De maximale diepte in de Noordzeekustzone is zo'n 20 m. Voedsel in de Noordzeekustzone is dus in principe altijd bereikbaar voor Zwarte Zee-eenden. Figuur 4.2 geeft, cumulatief weergegeven, een blik op de duikdieptes van Zwarte Zee-eenden in Engelse kustgebieden.

Bij een dieet van uitsluitend *Spisula* heeft een Zwarte Zee-eend ruim 100 gram asvrij-drooggewicht vlees per dag nodig. Leopold *et al.* (1998) schatten de dagelijkse voedselbehoefte in januari op 1075 overjarige schelpen (van gemiddeld 25 mm lang) per dag en in maart op circa 1200 stuks. Vertaald naar versgewicht, inclusief de schelp, heeft een Zwarte Zee-eend per dag ongeveer 3,5 - 4 kg *Spisula* nodig, ofwel circa 3 keer het eigen lichaamsmassa aan schelpdieren. Deze schatting komt goed overeen met de resultaten van het onderzoek van De Leeuw (1997) aan Kuifeenden en Toppers op het IJsselmeer. Deze vogels foerageerden daar op Driehoeksmosselen.



Figuur 4.2. Duikdieptes van Zwarte Zee-eenden (cumulatief weergegeven met standaarddeviaties per diepte) op basis van Engels onderzoek. Bron: Birdlife Seabird Foraging Range Database - <http://seabird.wikispaces.com/Black+Scoter>.

4.2 Onderzoeksvragen

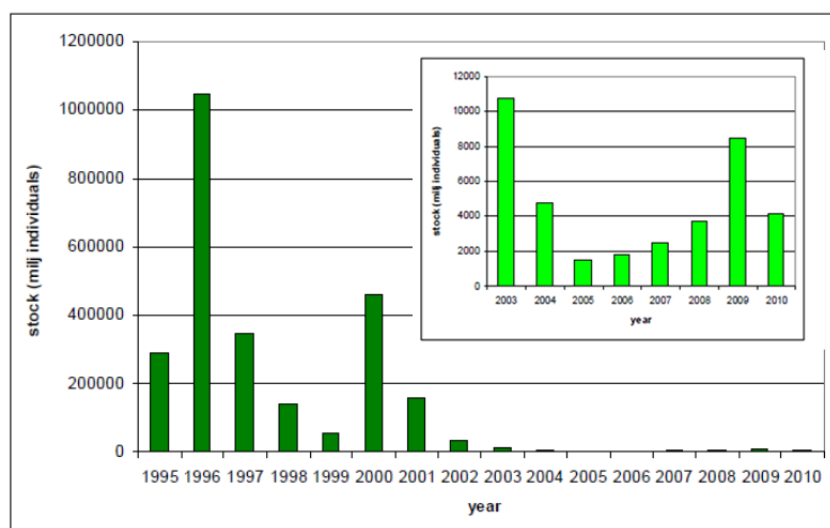
De onderzoeksvragen luiden:

- De rol van *Ensis* als voedsel van zee-eenden in de Waddenzee en Noordzeekustzone is onbekend. Welke (groottes van) *Ensis* is (zijn) nog geschikt voedsel en hoe gaan de eenden hiermee om? Eten de eenden naast *Ensis* thans nog andere prooien en zo ja, welke dan?
- Wilde vs. 'gehouden' mossel: Wat is het belang van mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor Zwarte Zee-eend? Geef een inschatting van de ratio op basis van veldonderzoek.

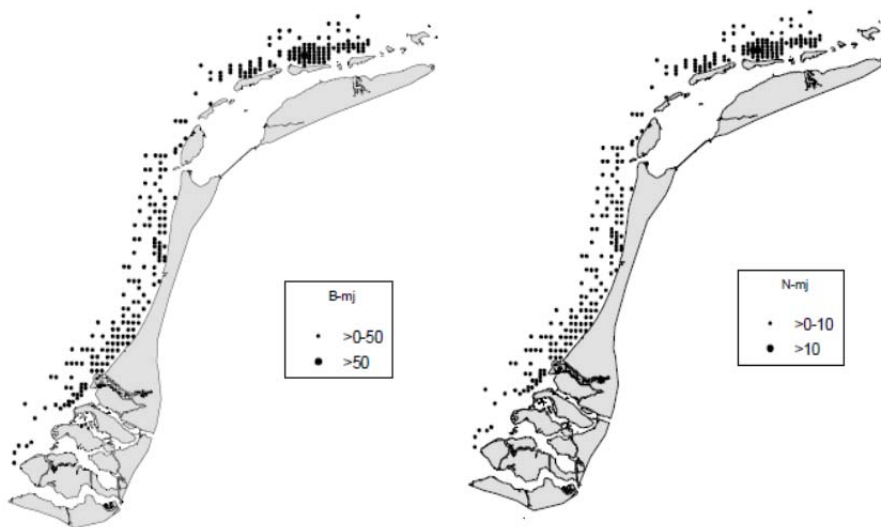
4.2.1 Onderzoeksvraag 1

Wat is de rol van Ensis als voedsel van zee-eenden in de Waddenzee en Noordzeekustzone. Welke (groottes van) Ensis is (zijn) nog geschikt voedsel en hoe gaan de eenden hiermee om? Eten de eenden naast Ensis thans nog andere prooien en zo ja, welke dan?

Het voorkomen van schelpenbanken is dynamisch: na rijke zaadval kunnen ze zich enkele jaren op een locatie handhaven. Zee-eenden passen hun verspreiding daar voortdurend op aan en het voorkomen van grote concentraties zee-eenden laat dan ook eenzelfde dynamiek zien. In de jaren '90 gold dit in zeer sterke mate voor *Spisula*-banken in de Noordzeekustzone, waarop zich tienduizenden Zwarte Zee-eenden konden verzamelen. In de jaren '90 was *Spisula* het stapelvoedsel van de Zwarte Zee-eend in dit gebied (Leopold *et al.* 1995). Binnen de Noordzeekustzone zijn grote concentraties vooral vastgesteld boven Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog en in mindere mate boven Texel en Rottumeroog (Bijlsma *et al.* 2001, Leopold *et al.* 1995). Ook voor de Hollandse kust waren plaatselijk geschikte schelpenbanken aanwezig, waar ook zee-eenden van gebruik maakten (Leopold *et al.* 1998). Anno 2010 zijn *Spisula*-banken nauwelijks meer aanwezig in de Noordzeekustzone (zie Figuur 4.3). Van de honderden miljoenen die t/m 2001 in de Noordzeekustzone voorkwamen is vrijwel niets meer over (Goudswaard *et al.* 2010). Wat rest zijn spaarzame voorkomens in een geringe dichtheid, verspreid over de Noordzeekustzone, zowel boven de eilanden als langs de Noord- en Zuid-Hollandse kust (Figuur 4.4).

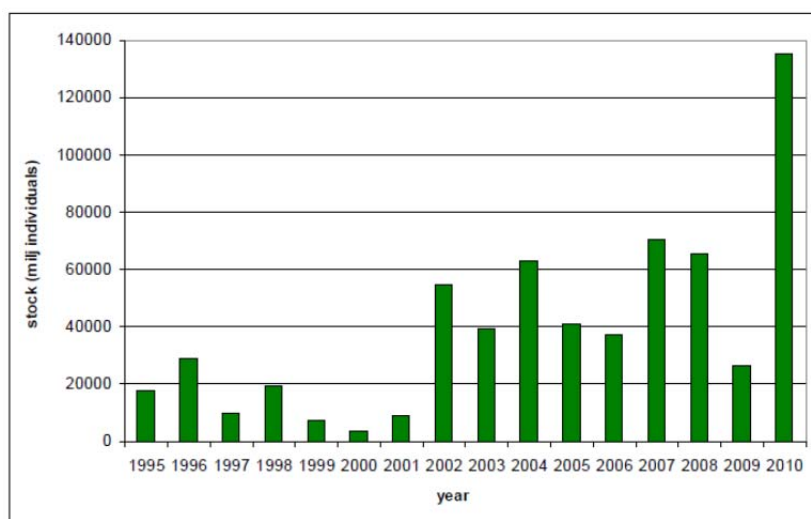


Figuur 4.3. Historisch verloop van het berekende bestand van *Spisula* (Halfgeknotte Strandschelp, in miljoen individuen) in de periode 1995-2010. De inzet geeft een vergroting weer van het verloop van de aantallen vanaf 2003 op een veel fijnere schaal. Bron: Goudswaard *et al.* 2010.

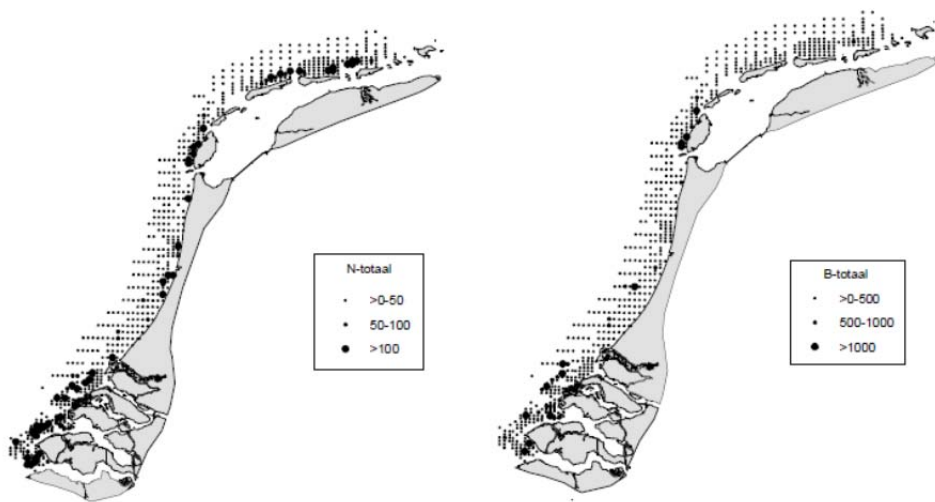


Figuur 4.4. De berekende biomassa (gram versgewicht/m²) per locatie van meerjarige dieren (links) en de berekende dichtheid (aantal/m²) per locatie van meerjarige en 1-jarige *Spisula*'s (rechts) in 2010. Bron: Goudswaard et al. 2010.

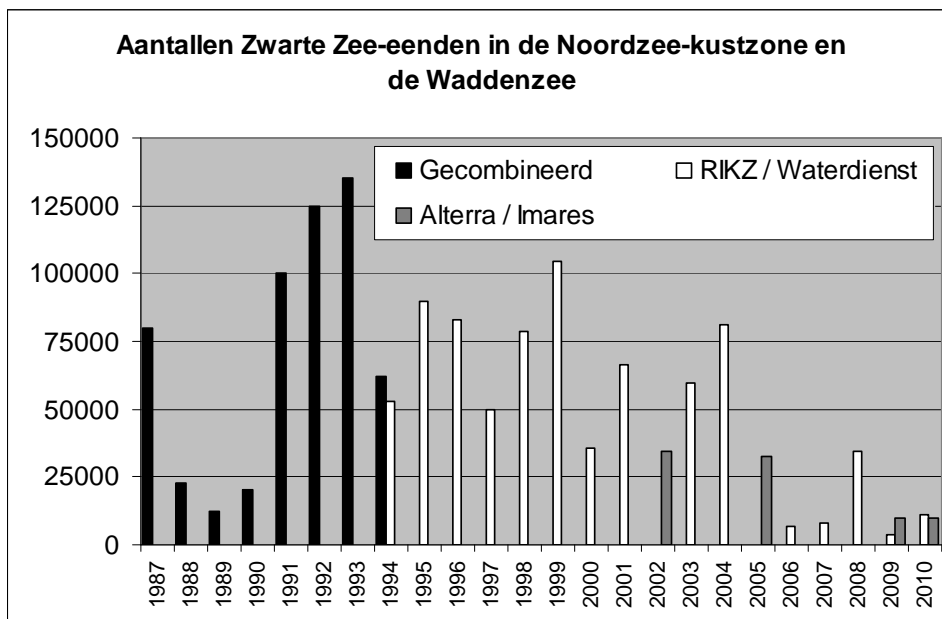
Goudswaard *et al.* (2010) geven in hun meest recente rapport over de schelpdierbestanden in de Noordzeekustzone een mooi overzicht van het verloop van de bestanden van schelpdieren in dit gebied in de loop van de tijd. Momenteel zijn zwaardschedes, vooral in de vorm van de Amerikaanse Zwaardschede, veruit de meest talrijke schelpdiersoort ter plaatse. Figuur 4.5 laat zien dat de bestanden van deze soort sterk zijn toegenomen. Op basis van de laatste inventarisatiegegevens (2010) is zelfs sprake van een meer dan vervijfvoudiging in vergelijking met de dichtheden in het tweede deel van de jaren '90. Andere soorten (Zaagjes *Donax vittatus*, Stevige Strandschelpen *Spisula solida*, Ovale Strandschelpen *Spisula elliptica*, Tapijtschelpen *Venerupis senegalensis* en Venusschelpen *Chamelea gallina*) komen in aanzienlijk lagere dichtheden voor of zijn (Kokkel, Mossel) alleen lokaal in de Voordelta aanwezig (Goudswaard *et al.* 2010). Deze soorten zullen door foeragerende eenden zo nu en dan worden gegeten maar zullen, gelet op de dichtheden waarin ze voorkomen en de grootteklassen die door Zwarte Zee- eenden worden gegeten (alleen kleinere exemplaren), geen grote concentraties vogels kunnen aantrekken omdat deze vooral worden aangetrokken door gebieden met hoge concentraties profijtelijke prooidieren. Otterschelpen *Lutraria lutraria* zullen alleen wanneer ze heel jong zijn voor Zwarte Zee-eenden bereikbaar zijn. Grotere (en dieper levende) exemplaren zijn onbereikbaar voor deze eenden.



Figuur 4.5. Historisch verloop van het berekende bestand van het aantal Zwaardschedes (vooral *Ensis directus*) (in miljoen individuen) in de periode 1995-2010. Bron: Goudswaard et al. 2010.



Figuur 4.6. De totale dichtheid N-totaal (aantal/m²) (links) en de biomassa B-totaal (gram versgewicht/m²) (rechts) van Zwaardschedes per locatie in 2010. Bron: Goudswaard et al. 2010.



Figuur 4.7. De aantallen Zwarte Zee-eenden in de Noordzeekustzone en de Waddenzee. De gegevens van 1987-1994 betreffen een combinatie van scheepstellingen, tellingen vanaf het land en vliegtuigtellingen (uit verschillende maanden). De witte balken in de periode 1994-2010 hebben betrekking op vliegtuigtellingen in januari van RIKZ/Waterdienst. Voor 2009 en 2010 zijn de tellingen in januari van zowel de Waterdienst/DPM (januari) als door IMARES (december) weergegeven. Voor 2002 en 2005 is alleen een decembertelling beschikbaar. De weergegeven aantallen laten vooral de aanwezigheid in de Noordzeekustzone zien. De aantallen in de Waddenzee bedroegen tijdens de meeste jaren enkele honderden tot maximaal 1200 vogels, in sommige jaren (1995, 2005, 2008) 2000-3000 (Arts 2009).

De totalen voor de Waddenzee en de Noordzeekustzone van IJmuiden t/m Rottumeroog uit de periode 1987-1994 (gecombineerde gegevens van scheepstellingen, landtellingen en vliegtuigtellingen (Leopold et al. 1995)), vliegtuigtellingen in januari uit 1993-2001 en 2003-2010 (RIKZ/Waterdienst/DPM) en vliegtuigtellingen uit 2002, 2005 en 2009-2010 (Alterra/IMARES) zijn weergegeven in Figuur 4.7. Het aantalsverloop van de Zwarte Zee-eenden in de periode 1987-2010 is sterk wisselend. In 1993 werden ten noorden van de Waddeneilanden 134.000 Zwarte Zee-eenden geteld tijdens een gerichte

scheepstelling (Leopold *et al.* 1995). Na de piek in aantallen in het begin van de jaren '90 tekent zich, ondanks de sterk wisselende aantallen tussen jaren, een negatieve trend af. In de laatste jaren is het aantal zelfs gedaald tot 11.104 Zwarte Zee-eenden op 16 januari 2010 (een onvolledige telling van de Waterdienst, het totaal ligt echter zeer dicht bij het resultaat van de IMARES-telling in februari). Tijdens de telling in november 2008, uitgevoerd in het kader van dit BO-project, zijn 4215 Zwarte Zee-eenden geteld, verspreid over de westelijke Waddenzee en de Noordzeekustzone met het zwaartepunt boven Ameland (Figuur 4.10). In december 2008 was dit aantal opgelopen tot 9642 exemplaren. Verreweg de grootste concentratie was aanwezig boven Ameland, met een kleine groep in de westelijke Waddenzee nabij de Afsluitdijk. Tijdens de telling van Rijkswaterstaat/DPM in januari 2009 werden de hoogste aantallen geteld: 31.910 (Arts 2009). Deze vogels waren aanwezig in 3 groepen: boven de westpunt van Terschelling en Ameland en boven Engelsmanplaat. In februari 2009 (IMARES-telling) werden er 8.054 Zwarte Zee-eenden geteld, waarbij de vogels geconcentreerd waren voor de kust van Ameland (Figuur 4.10). Vonden er in andere jaren, gedurende de winter nog verschuivingen plaats tussen Terschelling en Ameland, in de winter 2008-2009 waren de Zwarte Zee-eenden duidelijk honkvast ten noorden van Ameland rond de 10 meter dieptelijn. De grootste dichtheid van met name de 1-jarige *Spisula* en de grootste dichtheid aan Amerikaanse Zwaardschedes werden in het voorjaar van 2009 aangetroffen benoorden Ameland (Goudswaard *et al.* 2009a).

Tijdens de telling in december in 2009, zijn 3562 Zwarte Zee-eenden geteld, verspreid over de westelijke Waddenzee en de Noordzeekustzone, met het zwaartepunt boven Rottum met 2750 exemplaren (Figuur 4.11). In januari 2010 werden 11.104 Zwarte Zee-eenden aangetroffen boven de eilanden. Deze vogels waren vooral aanwezig boven de Rottums, een kleinere concentratie bevond zich ten noorden van Schiermonnikoog (Arts 2010). In februari 2010 (IMARES-telling) werden 9881 Zwarte Zee-eenden geteld, waarbij de vogels geconcentreerd waren in het kustgebied ten noorden van Terschelling. Opmerkelijk is dat het maximum in deze winter is bereikt tijdens een onvolledige telling van de Waterdienst/DPM, toen alleen ten noorden van Rottumerplaat en Schiermonnikoog in de Noordzeekustzone kon worden geteld. In de winter 2008-2009 werden de Zwarte Zee-eenden ten noorden van Ameland, rond de 10-meter dieptelijn, aangetroffen. In de winter van 2009-2010 leken de eenden minder honkvast.



Figuur 4.8. Inhoud van de slokdarm van een Zwarte Zee-eend die op 11/12/09 is verdrongen in een staand want bij de Brouwersdam. In de slokdarm werd alleen Ensis tot een lengte van maximaal 46 mm aangetroffen (Sectie: Mardik Leopold en Anja Cervenci, foto: Cor Smit).

Zwarte Zee-eenden zijn sterk verstoringsgevoelige vogels. Dit geldt vaak niet voor de enkelingen (meestal jonge dieren of vogels in een slechte conditie) die in havens of langs dijken aanwezig zijn maar zeker wel voor de grote groepen vogels die in de kuststrook voorkomen (Kaiser *et al.* 2006). Dergelijke

grote groepen kunnen niet tot op korte afstand met een schip worden benaderd. De vervelende consequentie hiervan is dat zeer weinig informatie beschikbaar is over het voedsel van deze soort op basis van waarnemingen. Alleen magen van aangespoelde of verdrongen exemplaren kunnen dus uitsluitend verschaffen over de consequenties die het verdwijnen van *Spisula* en het oprukken van de Amerikaanse Zwaardschede heeft gehad voor de menukeuze van de Zwarte Zee-eend. Uit magen van Zwarte Zee-eenden die in het kader van het BO-project zijn verzameld komt een beeld naar voren van een menu dat tegenwoordig vooral uit Zwaardschedes bestaat (zie Figuur 4.8).

Uit analyses van Tulp *et al.* (2010) komt een gedetailleerd beeld naar voren van het menu van Zwarte Zee-eenden in de Noordzeekustzone uit de jaren 2001-2007 (locaties Razende Bol, Texel en Bollen van de Ooster, Voordelta). Hieruit blijkt dat de Amerikaanse Zwaardschede de dominante prooi is. In 87 magen van Zwarte Zee-eenden uit de omgeving van de Razende Bol bestond 93-95% van de prooien van deze soort. Uit 37 magen van de Bollen van de Ooster was dit 79%. Andere regelmatig aangetroffen prooien waren Strandkrab *Carcinus maenas*, Alikruik *Littorina littorea*, de slangster *Ophiolepis superba* en de zee-egel *Echinocardium cordatum*, de laatste 2 prooien alleen op de Bollen van de Ooster. De gegeten zwaardschedes hadden een grootte van 35-65 mm.

Gelet op de aanwezigheid van een concentratie Zwarte Zee-eenden boven Ameland in de winter van 2009-10 en de aanwezigheid van relatief hogere dichtheden *Spisula* die daar op basis van een inventarisatie van Goudswaard *et al.* (2009a) aanwezig waren mag worden afgeleid dat de hier aanwezige vogels nog op een *Spisula*-bank foerageerden. Hoewel de *Spisula*-dichtheden in 2010 boven de eilanden licht zijn toegenomen in vergelijking met het jaar ervoor (vergelijk Goudswaard *et al.* 2009a en Goudswaard *et al.* 2010) vormen ze nog maar een fractie van de dichtheden en de biomassa die in de jaren '90 aanwezig was (zie Leopold 1996). Boven Ameland vond bovendien in 2010 een zandsuppletie plaats. In dit gebied zijn de tot voor kort nog aanwezige *Spisula*-voorkomens inmiddels verdwenen maar er kon geen causaal verband worden aangetoond tussen de zandsuppleties en de aanwezigheid van *Spisula* (Baptist & Leopold 2009). Sindsdien zijn de geringe aantallen Zwarte Zee-eenden in dit gebied vooral aanwezig ten noorden van Schiermonnikoog en Terschelling (waarnemingen tijdens de IMARES-vliegtuigtellingen in november en december 2010, de Jong *et al.* in voorbereiding). De locaties waar de zee-eenden in dit gebied werden waargenomen vertonen een sterke overlap met de gebieden waar zwaardschedes in dichte concentraties zijn waargenomen (vergelijk met Figuur 4.6).

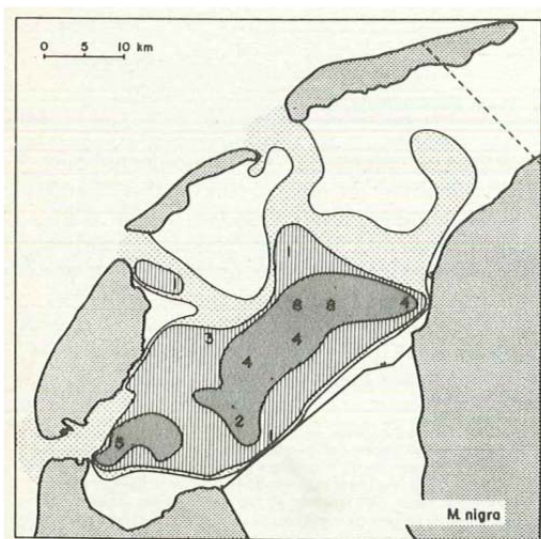
De Amerikaanse Zwaardschede is in de afgelopen jaren sterk toegenomen in de Waddenzee en de andere Nederlandse kustwateren, maar heeft een relatief geringe voedingswaarde in vergelijking tot een Mossel. Een mosselschelp bevat grofweg 5 tot 15 keer zoveel vlees als een Amerikaanse Zwaardschede van dezelfde lengte. Een zwaardschede van 9-13 cm heeft een vleesinhoud gelijk aan een mossel van 5 cm (J.M. Jansen, IMARES, *ongepubl.*), maar exemplaren van 12 cm of meer zijn te groot om geconsumeerd te worden door een Eider. Wanneer deze vogels zwaardschedes eten verkiezen ze bij voorkeur de wat kleinere, maar daarmee ook minder profijtelijke exemplaren.

Op basis van de hierboven geschetste trends, verspreidingsbeelden en aanvullende waarnemingen concluderen we dat Zwarte Zee-eenden anno 2010 voor een belangrijk deel zijn overgeschakeld op de Amerikaanse Zwaardschede als belangrijkste voedselbron. Uit het feit dat de aantallen nog steeds dalen (in november en december 2010 werden respectievelijk 4200 en 1645 exemplaren geteld), en gelet op de relatief geringe voedingswaarde van de Amerikaanse Zwaardschede, is het aannemelijk dat deze schelpdiersoort geen voorkeursprooi is.

4.2.2 Onderzoeksvraag 2

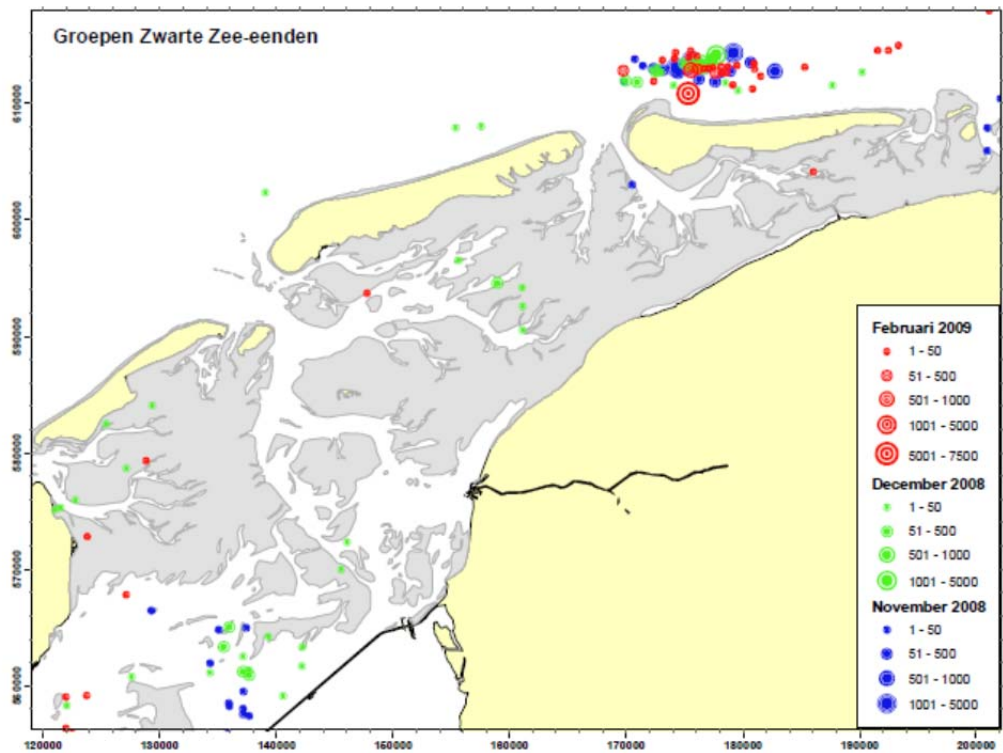
Wat is het belang van Mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor Zwarte Zee-eend? Geef een inschatting van de ratio op basis van veldonderzoek.

In het verleden zijn Mosselen waarschijnlijk een belangrijke prooi geweest van de soms grote aantallen Zwarte Zee-eenden die in de Waddenzee aanwezig waren. Swennen (1985) zegt: "De Zwarte Zee-eend is niet gedurende het gehele jaar in de Waddenzee aan te treffen. In de zomer en midden in de winter zijn zij minder talrijk. Zij houden zich meestal in de buurt van Eidereenden op, maar juist aan die kant waar het water het diepst is. In de periode 1964-1969 nam de Zwarte Zee-eend sterk in aantal af. In plaats van vele groepen van enkele duizenden, met een geschat totaal van 40.000, werden het er ieder jaar minder en thans zijn troepjes van enkele honderden al een bijzonderheid". De gebieden waar Zwarte Zee-eenden in die tijd algemeen waren zijn weergegeven in Figuur 4.9. Meer incidentele waarnemingen uit de '30 en '40 wijzen erop dat ook toen de Zwarte Zee-eend een algemene vogel in de Waddenzee was (Leopold *et al.* 1995). Tijdens een telling vanuit de lucht in de strenge winter van 1956 werden 13.000 Zwarte Zee-eenden in de Waddenzee waargenomen (Over & Mörzer Bruyns 1956, Verweij (1956). De oorzaak van deze afname is onduidelijk. Mogelijk speelt de beschikbaarheid van geschikt voedsel een rol, mogelijk ook toegenomen verstoring door scheepvaart of geschiktere locaties elders.

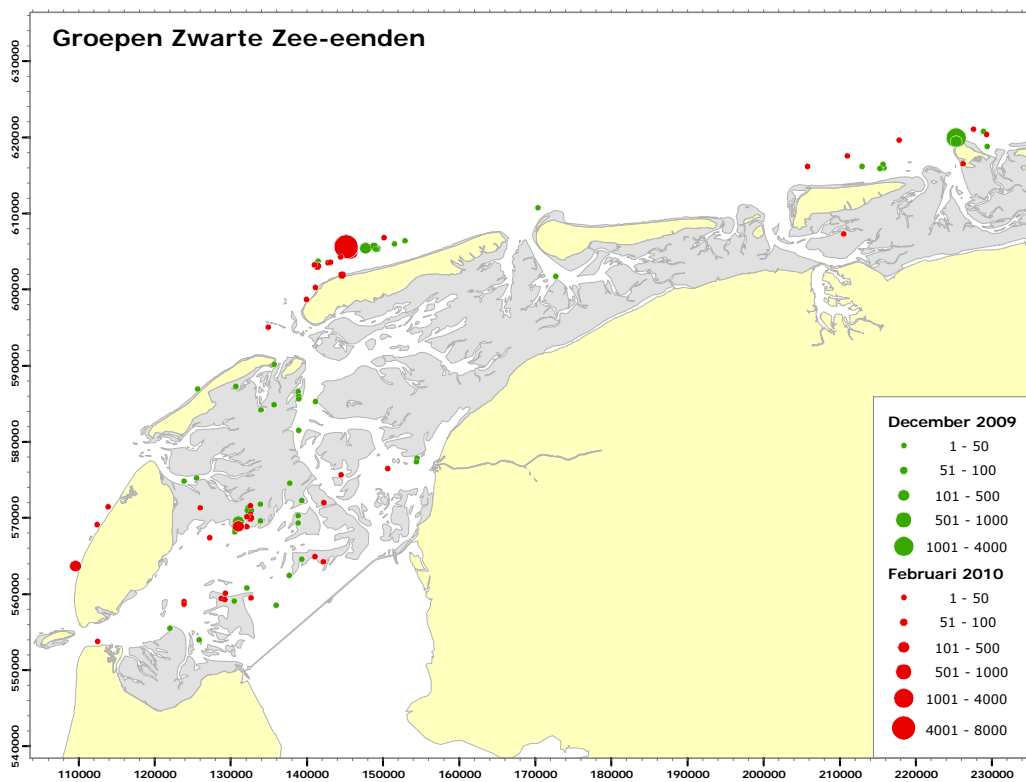


Figuur 4.9. De verspreiding van de Zwarte Zee-eend in de Waddenzee gebaseerd op tellingen vanaf schepen in de jaren 1964-1970. De cijfers x100 geven de gemiddelde aantallen waargenomen vogels weer per traject van 7 km in de maanden oktober t/m april. In de donker gestippelde gebieden waren regelmatig meer dan 1000 vogels per traject aanwezig, in de licht gearceerde gebieden regelmatig meer dan 100 vogels per traject. In de blanco gebieden werden incidenteel Zwarte Zee-eenden waargenomen of alleen kleine aantallen. Bron: Swennen (1985).

De verspreiding waar Zwarte Zee-eenden in de afgelopen jaren zijn waargenomen in de Waddenzee zijn weergegeven in Figuur 4.10a (gegevens van de winter 2008-2009) en Figuur 4.10b (gegevens winter 2009-2010). De aantallen in de Waddenzee bedragen tegenwoordig enkele honderden (maximaal 1190 in december 2008) exemplaren. De locaties waar de vogels aanwezig zijn vertonen geen overlap met de aanwezigheid van mosselpercelen. De locaties waar de vogels aanwezig zijn vertonen ook geen relatie met de aanwezigheid van droogvallende mosselbanken (Goudswaard *et al.* 2009b). Een relatie met mosselpercelen in de westelijke Waddenzee kan niet worden uitgesloten maar het verspreidingspatroon van de Zwarte Zee-eend tijdens de tellingen in het seizoen 2008-09 duidt eerder op een relatie met mosselzaadbanken (vergelijk Figuur 4.10b en Figuur 4.11). De resultaten van de vliegtuigtellingen in het telseizoen 2009-10 en ook de tellingen in november en december 2010 laten geen relatie met mosselpercelen zien. Toevallige waarnemingen in de Waddenzee duiden erop dat in de westelijke Waddenzee zeker ook Strandgapers en Amerikaanse Zwaardschedes worden gegeten (B. Fey, MS Phoca, *ongepubl. waarnemingen*).



Figuur 4.10a. Verspreiding van Zwarte Zee-eenden in de Waddenzee en Noordzeekustzone, in november 2008, december 2008 en februari 2009 op basis van vliegtuigtellingen van IMARES. Bron: de Jong et al. 2009.



Figuur 4.10b. Verspreiding van Zwarte Zee-eenden in de Waddenzee en Noordzeekustzone in december 2009 en februari 2010 op basis van vliegtuigtellingen van IMARES. Bron: de Jong et al. 2010.



Figuur 4.11 (links): Ligging van de bestanden mosselzaad (rood) halfwas (blauw gestippeld) en meerjarige Mosselen (donkergrijs gestippeld) in bevisbare dichtheden in het najaar van 2008. In lichtgrijs is het gebied aangegeven met meerjarige Mosselen in niet bevisbare dichtheden. Verder zijn aangegeven het visgebied zoals beoogd in het visplan (blauw omljnd, in 2 delen) en de PRODUS-vakken (zwart). (rechts) zoomt in op het gebied ten noorden van Den Oever. In deze figuur zijn ook de mosselpercelen weergegeven. Bron: van Stralen 2008.

4.3 Conclusie in relatie tot de Instandhoudingsdoelen

Grote aantallen Zwarte Zee-eenden werden in het verleden vastgesteld in de Waddenzee en, meer recent, in de Noordzeekustzone ten noorden van de waddeneilanden en langs de Noord- en Zuid-Hollandse kust. De vogels in de Noordzeekustzone foerageerden in het recente verleden vooral op concentraties *Spisula*. Na het verdwijnen van deze schelpdiersoort in de tweede helft van de jaren '90 verdwenen enkele jaren daarna ook de grote aantallen Zwarte Zee-eenden. Momenteel liggen de aantallen van deze soort op een niveau dat beduidend lager is dan de Instandhoudingsdoelstelling voor de Noordzeekustzone (draagkracht voor 51.900 exemplaren). Momenteel eten de Zwarte Zee-eenden in dit gebied vooral Amerikaanse Zwaardschedes en het lijkt erop dat, ondanks het plaatselijk zeer talrijke voorkomen van deze schelpdiersoort, deze prooidiersoort geen voldoende bruikbaar alternatief voedsel vormt voor de Zwarte Zee-eend. *Spisula* lijkt echter alleen zo nu en dan in grote concentraties in de Noordzeekustzone voor te komen. Dat was het geval in de jaren '90 en eerder ook al in de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw (Leopold 1996). De reden voor deze sterke populatieschommelingen is niet bekend en evenmin is duidelijk of de grote aantallen zwaardschedes die zich in de afgelopen jaren in het gebied hebben gevestigd een obstakel vormen voor de terugkeer van *Spisula*. Hoewel tellingen ontbreken wijzen meer incidentele waarnemingen erop dat ook in het wat verdere verleden soms grote concentraties Zwarte Zee-eenden in de Noordzeekustzone aanwezig waren (Leopold *et al.* 1995). Zo werden in februari 1969 15.000-20.000 Zwarte Zee-eenden getroffen door een olievlek ten noorden van Vlieland/Terschelling (Swennen & Spaans 1970). Of deze vogels aangewezen waren op andere prooidieren dan *Spisula* is niet bekend. Het lijkt niet waarschijnlijk dat de draagkracht van de Noordzeekustzone, een relatief groot gebied met een oppervlakte van 144.475 ha (Wijzigingsbesluit Natura 2000-gebied Noordzeekustzone), beperkend is om een relatief gering aantal Zwarte Zee-eenden van voedsel te voorzien. Het minder voorkomen van deze soort in de Noordzeekustzone heeft meer te maken met het verdwijnen van een geprefereerde prooidiersoort (*Spisula*) waarvoor een minder geprefereerde soort (de Amerikaanse Zwaardschede) in de plaats is gekomen (zie ook Baptist & Leopold 2009). Daarmee is twijfelachtig of de Instandhoudingsdoelstelling, die in sterke mate gekoppeld lijkt te zijn aan de aanwezigheid van *Spisula*, op de korte of middellange termijn kan worden gehaald.

Voor de Waddenzee is voor de Zwarte Zee-eend geen Instandhoudingsdoelstelling geformuleerd.

4.4 Samenvatting en slotopmerkingen

- De aantallen Zwarte Zee-eenden in de Nederlandse kustwateren vertonen grote jaar-op-jaar variaties, maar zijn tussen begin jaren '90 en 2010 gedaald van 100.000-125.000 exemplaren tot (in de meeste jaren) minder dan 10.000 exemplaren
- De aantallen in de Waddenzee bedragen in de laatste jaren meestal enkele honderden en soms enkele duizenden exemplaren
- De bestanden van de Halfgeknotte Strandschelp zijn in dezelfde periode met orde van grootte 99% (uitgedrukt in biomassa) gedaald. In dezelfde periode zijn de bestanden van zwaardschedes, vooral in de vorm van de Amerikaanse Zwaardschede, met ongeveer een factor 5 (uitgedrukt in aantallen) toegenomen
- In maaginhouden van in de afgelopen 2 jaren dood gevonden Zwarte Zee-eenden worden vooral restanten van schelpen van zwaardschedes met een lengte van maximaal 46 mm aangetroffen
- Op basis van bovenstaande ontwikkelingen wordt geconstateerd dat Zwarte Zee-eenden in de Noordzeekustzone tegenwoordig vooral zwaardschedes eten. De Amerikaanse Zwaardschede heeft een veel geringere voedingswaarde dan "rondere" schelpdiersoorten zoals Mossel en *Spisula*. Zwaardschedes zijn daarom een minder geschikte prooidiersoort voor de Zwarte Zee-eend, wat mogelijk de recente afname van deze soort kan verklaren
- Het voorkomen van de Zwarte Zee-eend in de Waddenzee heeft geen relatie met droogvallende mosselbanken. Een relatie met mosselpercelen is niet uitgesloten. De geringe aantallen aanwezige vogels lijken in de Waddenzee vooral gebieden met mosselzaad en wellicht ook hogere dichtheden Strandgapers en Amerikaanse Zwaardschedes op te zoeken.

5 Eider

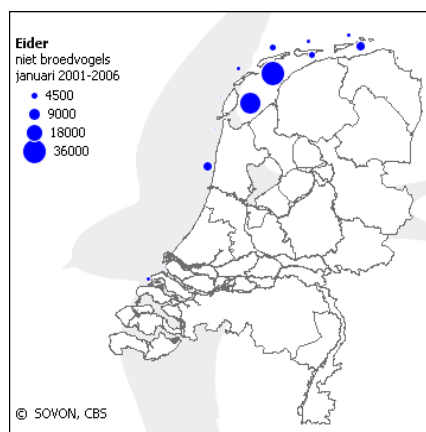
Cor Smit (redactie en onderzoeksvragen), Rob van Bemmelen (analyse Eiders in relatie tot voedselvoorkomens onder Rottumerplaat), Anja Cervenci (databewerking ten behoeve van de statistische analyses) & Lorna Teal (ruimtelijke statistiek vogelverspreiding – aanwezige bodemdieren)

5.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren

5.1.1 Aantallen

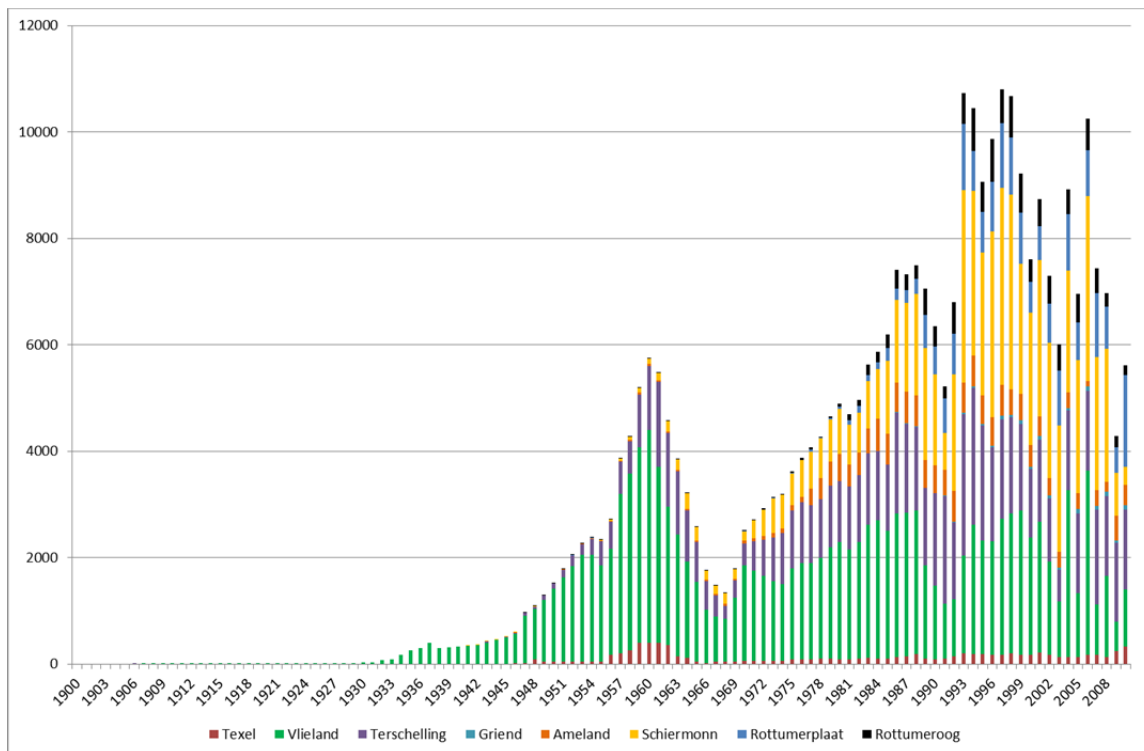
De Eider broedt langs de kusten van Noord en Noordwest Europa. In Denemarken, Duitsland, Nederland zijn enkele duizenden broedparen aanwezig. De soort broedt talrijk langs de Oostzeekust (Zweden, Finland) en uit dit gebied zijn de meeste van de in Nederland aanwezige overwinterende vogels afkomstig. Deze Eiders overwinteren langs de kusten van Noordwest Europa, zuidelijk tot in Normandië en Bretagne. Relatief ondiepe wateren, met hoge dichtheden geschikte schelpdieren genieten de voorkeur. Hierbij worden zowel droogvallende getijdenplaten als permanent onder water staande delen gebruikt, zowel in de Oostzee, de Noordzee als in de Waddenzee. De soort is niet erg schuw en ook aanwezig in havens en in de omgeving van pieren en dammen. Eiders rusten zowel op open water, op plaatranden tijdens laag water en op dijken, strekdammen e.d.

Het aantal overwinterende vogels binnen de Baltische/Noordwest Europese flyway-populatie werd in jaren '90 geschat op 1,35-1,70 miljoen vogels. Hiervan waren 1,0-1,3 miljoen Eiders aanwezig in de Oostzee en 350.000-400.000 in de internationale Waddenzee (Scott & Rose 1996). De meest recente schatting van deze populatie is aanzienlijk naar beneden bijgesteld, naar 760.000 vogels (Delany & Scott 2006). Vooral de aantallen in de Deense wateren namen sterk af: van 800.000 in 1990 naar 370.000 in 2000.



Figuur 5.1. Belangrijke locaties in Nederlandse kustwateren voor Eider in de jaren 2001-2006. Bron: www.sovon.nl.

Hetzelfde geldt voor de internationale Waddenzee. Hier schommelden de aantallen overwinteraars tussen 1987 en 1999 rond de 285.000 vogels, daarna zette een daling in tot 162.500 vogels in 2002 (Kats 2007). De soort kampt zowel met problemen in de broedgebieden (hoge kuikensterfte, hoge sterfte onder volwassen vogels door een verschoven sex-ratio - tegenwoordig meer mannetjes - en een verhoogde predatie door Zearenden en Amerikaanse Nertsen) als in zijn overwinteringsgebieden (onder andere als gevolg van jacht in de Oostzee en Denemarken; Lehikoinen *et al.* 2008). De aantallen broedvogels in Nederland vertonen een sterk wisselend beeld en nemen, na een toename vanaf het eind van de jaren '60, sinds midden jaren '90 weer af (Figuur 5.2).



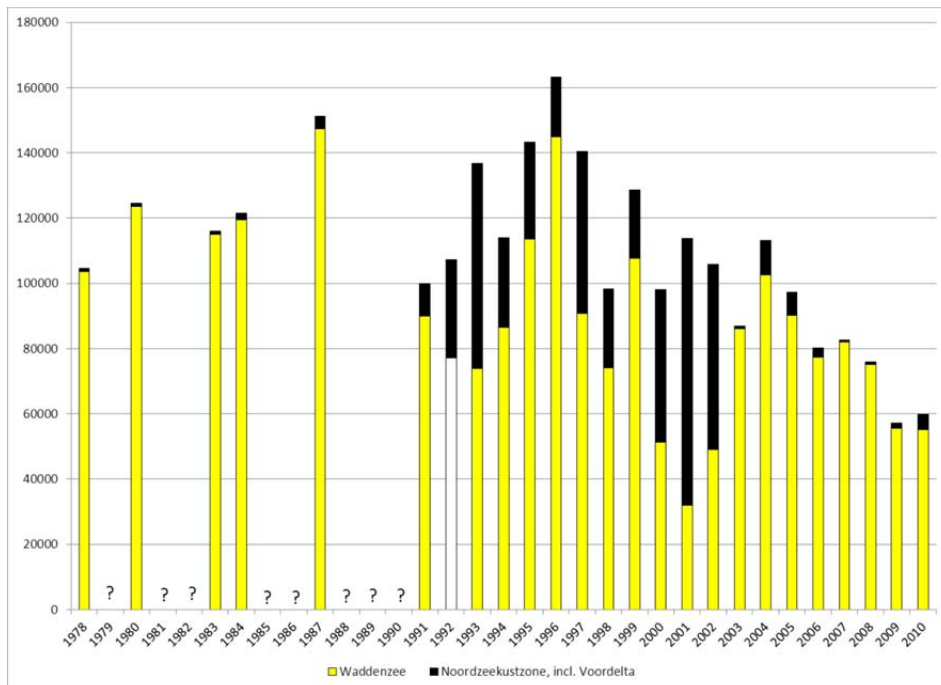
Figuur 5.2. Verloop van het aantal broedende Eiders in Nederland. Bron: Kats 2007, aangevuld met recente gegevens (van Kleunen *et al.* 2010 en in prep., Boele 2011).

Overwinterende Eiderenden zijn alleen betrouwbaar gebiedsdekkend te tellen vanuit een vliegtuig. Deze tellingen zijn vrijwel alleen beschikbaar uit de midwinterperiode (vooral januari). In deze maand zijn doorgaans de maximale aantallen in de Nederlandse Waddenzee aanwezig. De aanwezige Eiders zijn vooral afkomstig uit broedgebieden buiten de Waddenzee, met name rond de Oostzee. Maar onze eigen broedvogels overwinteren ook grotendeels in de Nederlandse Waddenzee.

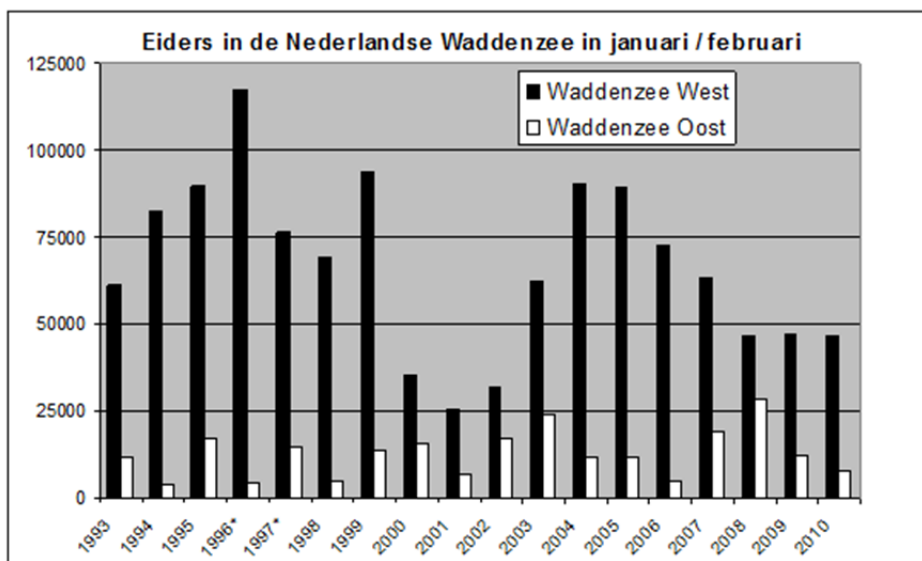
Na een snelle, maar slecht gedocumenteerde toename van de aantallen in de jaren '50 en '60, stegen de aantallen overwinterende vogels in de Waddenzee van ca. 100.000 eind jaren '60 naar 150.000-170.000 aan het eind van de jaren '90 (Figuur 5.3). In de jaren 1990-2002 was er sprake van een opvallende verplaatsing van een groot deel van de populatie naar de Noordzeekustzone, waar de soort voordien nooit in grote aantallen voorkwam (Leopold 1993, Leopold *et al.* 1993, Craeymeersch *et al.* 2001, Leopold 2001, Camphuysen *et al.* 2002). Op de Noordzee profiteerden de Eiders van de destijds talrijk voorkomende *Spisula*. Deze soort is een geschikte voedselbron, al moeten de Eiders er diep voor duiken en zouden Mosselen en Kokkels in de ondiepere Waddenzee in theorie betere voedselbronnen zijn. Het tijdelijke uitwijken naar de Noordzee wordt dan ook gezien als een noodsprong in een periode van voedselgebrek in de Waddenzee (Camphuysen *et al.* 2002). Na 2002 liep de hoeveelheid *Spisula* sterk terug en trokken de Eiders zich weer terug in de Waddenzee, maar de aantallen daalden naar het niveau van eind jaren '60.

Uit de gecombineerde midwintertellingen van het RIKZ (1993-2001 en 2004-2009) en de januaritellingen van Alterra in januari 2002 en 2003 valt op te maken dat na de winters van 1999 t/m 2002 de aantallen in de Waddenzee zich hersteld hebben, ten koste van de aantallen in de Noordzeekustzone (Figuur 5.3). Sinds 2006 is er weer sprake van een afname in de Waddenzee die nu niet gecompenseerd wordt door een toename elders in het gemonitorde gebied. Belangrijk te melden is dat de tellingen sinds midden jaren '90 worden uitgevoerd door het afvliegen van raaien boven de Waddenzee, waardoor een vlakdekkende telling kan worden gerealiseerd. Voor deze datum werden alleen de belangrijkste

concentraties opgezocht en geteld. De telling is in deze jaren nooit vlakdekkend geweest. Bovendien is in tenminste één geval (1983) de oostelijke Waddenzee onvolledig meegenomen in de telling (Swennen, NIOZ, ongepubl. rapport). Het percentage vogels dat op deze wijze is gemist is onbekend maar de werkelijke aanwezige aantallen voor 1995 zullen groter zijn geweest dan is weergegeven in Figuur 5.3.



Figuur 5.3. Aantal overwinterende Eiders in de Nederlandse Waddenzee (geel) en Noordzeekustzone (inclusief de Voordelta, zwart) tussen 1967 en 2010, op basis van vliegtuig- en scheepstellingen. In de jaren zonder balk en met een ? werd geen telling uitgevoerd. De witte balk in 1992 geeft aan dat de Waddenzee in dat jaar niet is geteld. Er was alleen een scheepstelling van de Noordzeekustzone benoorden de Wadden. De gegevens voor de Waddenzee voor dat jaar zijn een interpolatie op basis van de aantallen in het jaar ervoor en erna. De grafiek is samengesteld op basis van gegevens uit Camphuysen et al. 2002, voor de jaren na 1993 aangevuld met resultaten uit Arts 2010.



Figuur 5.4. Aantal overwinterende Eiders in het westelijke en het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee tijdens mid-wintertellingen van 1993 t/m 2010 op basis van de mid-wintertellingen van het RIKZ (1993-2001, 2004-2009, Alterra (2002-2003) en de februari-telling van IMARES in 2010. Jaren met een koude winter zijn gemarkeerd met een (*). Bron: de Jong et al. 2010.

Figuur 5.4 laat zien dat de aantalverschillen tussen jaren in sterke mate worden bepaald door aantalsveranderingen in het westelijke deel van de Waddenzee (waarbij de grens tussen west en oost wordt gelegd op het wantij van Terschelling). De aantallen in het oostelijke deel fluctueren ook maar vertonen geen duidelijke trend.

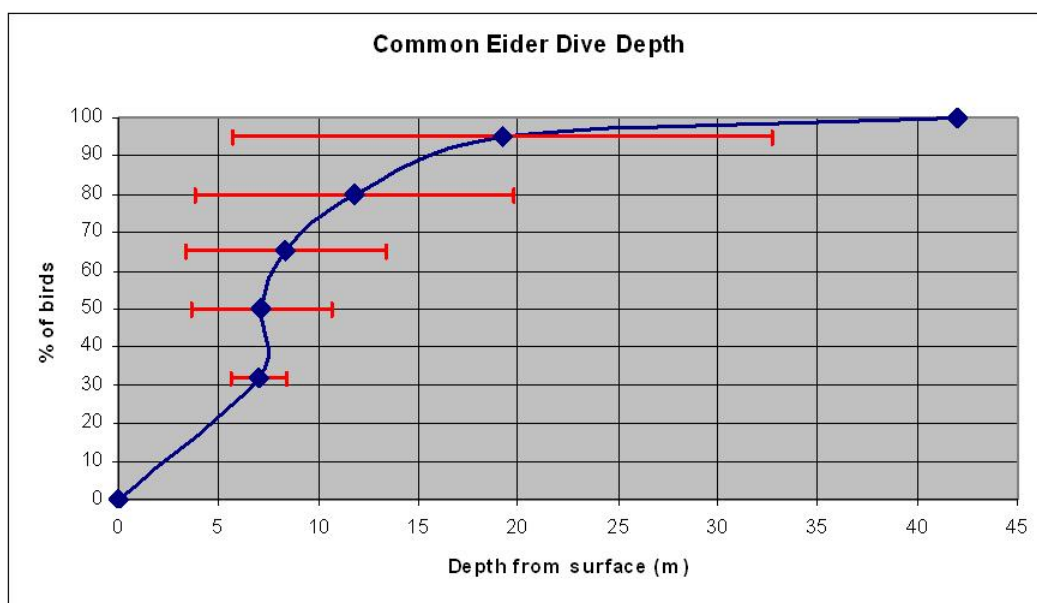
5.1.2 Voedsel

De samenstelling van het voedsel van de Eider is samengevat door Swennen (1976) en Leopold *et al.* (2001). Prooien worden in hun geheel ingeslikt en in de maag van de vogels gekraakt. Dit betekent dat de grootte van de prooidieren wordt bepaald door wat nog naar binnen kan worden gewerkt (ofterwel de doorsnede van het keelgat). Voor zeer lange, dunne prooien, zoals de Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus*, is niet zozeer de doorsnede bepalend als wel de lengte: de schelpen moeten opgevangen en gekraakt kunnen worden in de (ronde) maag. Alle soorten schelpdieren lijken geschikt voedsel, mits ze energetisch voldoende opleveren (een goede vlees/schelp ratio hebben), ze in voldoende dichtheid en op een bereikbare diepte voorkomen en ze van geschikt formaat zijn. Onder "geschikt formaat" valt alles boven de halve centimeter, tot een formaat dat nog net kan worden ingeslikt. Voor lange, stijve prooien zoals zwaardschedes zal de lengte een beperkende factor zijn, hoewel Amerikaanse Zwaardschedes met lengtes tot ca. 12 cm als prooi zijn vastgesteld (Enns *et al.* 2002, Leopold 2002). Zwaardschedes van een grotere lengte kunnen fataal zijn (Swennen & Duiven 1989). Zwaardschedes kunnen lokaal (tenminste tijdelijk) van groot belang zijn voor de soort. In maart 2006 waren meer dan 1000 Eiders aanwezig op de Scharserwaard, aan de zuidoostkust van Texel. Op basis van analyses van faeces bleek het hier gegeten voedsel voor 90% uit zwaardschedes te bestaan, aangevuld met een klein deel krab (Cadée 2006).

Het dieet van tweekleppige schelpdieren wordt in tijden van schaarste, of in situaties met veel alternatieve prooien, aangevuld met gastropoden (bijvoorbeeld Alikruikken *Littorina*), zeesterren en slangsterren (*Asterias*, *Ophiura*), krabben (*Carcinus spec.*), wormen (*Lanice*, *Nereis*) of vis en viseieren. De prooidieren mogen zowel vastzitten op de ondergrond (Mosselen), ingegraven zitten in de bodem (Kokkels, *Spisula*, zwaardschedes) of epibenthisch zijn (krabben, zeesterren). Vooral in havens worden veel zeesterren en krabben gegeten. Op foto's van foeragerende Eiders zijn dan ook vaak deze prooien afgebeeld.

De dagelijkse energiebehoefte van een Eider hangt af van het seizoen. In koude wintermaanden is ongeveer 2 maal zoveel energie nodig als in warme zomermaanden. De standaardbehoefte 's zomers wordt op basis van modelberekeningen, gecombineerd met veldgegevens, geschat op ongeveer 1500 kJ per dag (Brinkman *et al.* 2003), een waarde die goed overeenkomt met die welke Nehls (1995) noemt op basis van voedselopnamemetingen – en waarnemingen. 's Winters is deze waarde ongeveer 3000 kJ per dag. Uit de vergelijking die Gavrilov & Dolnik (1985) geven kan een basaal metabolisme van 6.8 Watt worden afgeleid. Nehls (1995) noemt hiervoor 8 Watt (respectievelijk 580-691 kJ per dag). De rest (900 à 1000 kJ per dag) is onder andere een gevolg van de verteringskosten, het op peil houden van de zoutbalans, de opwarming van de prooi en van de energie die nodig is voor het kraken van de schelpen. 's Winters komt daar vooral het extra warmteverlies bij, die door de wind en het veel koudere water veroorzaakt wordt. Daardoor is er in deze periode meer voedsel nodig.

Het aantal prooien dat nodig is hangt dus, behalve van het seizoen, sterk af van de prooigrootte. In vleesmassa is 's zomers 70 g asvrij drooggewicht nodig, ofwel 350 g vlees, ofwel 1400 g schelpdier. 's Winters is dit 136 g asvrij drooggewicht, ofterwel 680 g vlees. Dit komt overeen met 2700 g schelpdier. Met een gemiddeld vleesgehalte van ongeveer 1,0 g asvrij drooggewicht/schelpdier zijn 's zomers 70 grote (5,5 cm) Mosselen per dag nodig of 150 kleinere (van 4,0 cm). 's Winters zijn ruwweg 194-430 Mosselen van 5,5 resp. 4 cm nodig. Om de duiktijd te beperken heeft een Eider in de winter de neiging grotere prooien te zoeken dan 's zomers. Figuur 5.5 geeft, cumulatief weergegeven, inzicht op de duikdieptes van Eiders in Engelse kustgebieden.



Figuur 5.5. Duikdieptes van Eiders (cumulatief weergegeven met standaarddeviaties per diepte) op basis van Engels onderzoek. Bron: Birdlife Seabird Foraging Range Database - <http://seabird.wikispaces.com/Common+Eider>.

Voedselgebrek door onvoldoende zaadval en niet aan het lagere schelpdieraanbod aangepaste visserij op schelpdieren (Ens 2006) leidde vanaf 1990/91 tot het tijdelijk wegtrekken van grote aantallen Eiders uit de Waddenzee naar de kuststrook (Figuur 5.3). Dit leidde ook tot grote sterfte (van de Kuip 1991, Leopold 2001, Ens *et al.* 2002, Camphuysen *et al.* 2002). Ook in de daarop volgende jaren bevonden zich zeer grote aantallen Eiders in de kuststrook, waar ze zich aansloten bij Zwarte Zee-eenden op *Spisula*-banken. Uit onderzoek van enkele in 1995 op Terschelling met olie aangespoelde Eiders bleek dat deze vogels *Spisula* in de maag hadden, met een lengte van 13-24 mm (gemiddeld 21 mm; Kats 2007). In de winter van 1992/93 waren hierbij 70.000-100.000 Eiders betrokken (Leopold 1993). Na 2002 liep de hoeveelheid *Spisula* sterk terug en trokken de Eiders zich weer terug in de Waddenzee (zie Figuur 5.3).

5.2 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen luiden:

- De rol van *Ensis* als voedsel van Eiders is onbekend. Welke (groottes van) *Ensis* is (zijn) nog geschikt voedsel en hoe gaan de eenden hiermee om? In welke mate eten de eenden naast *Ensis* thans nog andere prooien en zo ja, welke dan?
- Wilde vs. 'gehouden' mossel: Wat is het belang van mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor de Eiders? Geef een inschatting van de ratio o.b.v. veldonderzoek.

5.2.1 Onderzoeksvraag 1

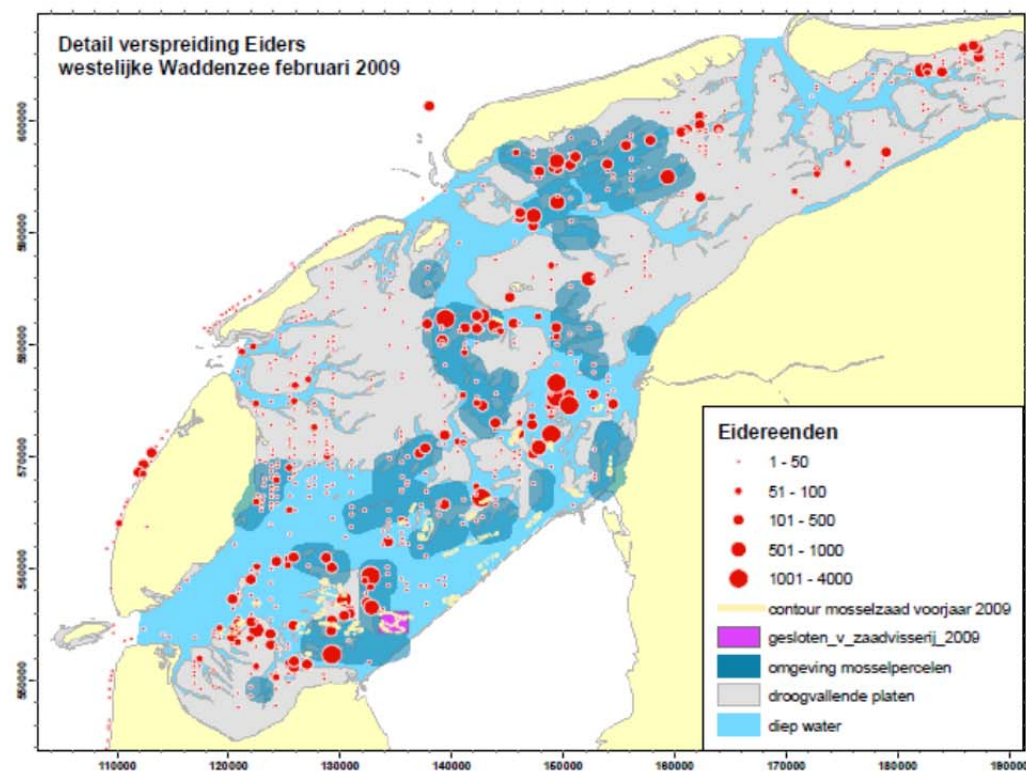
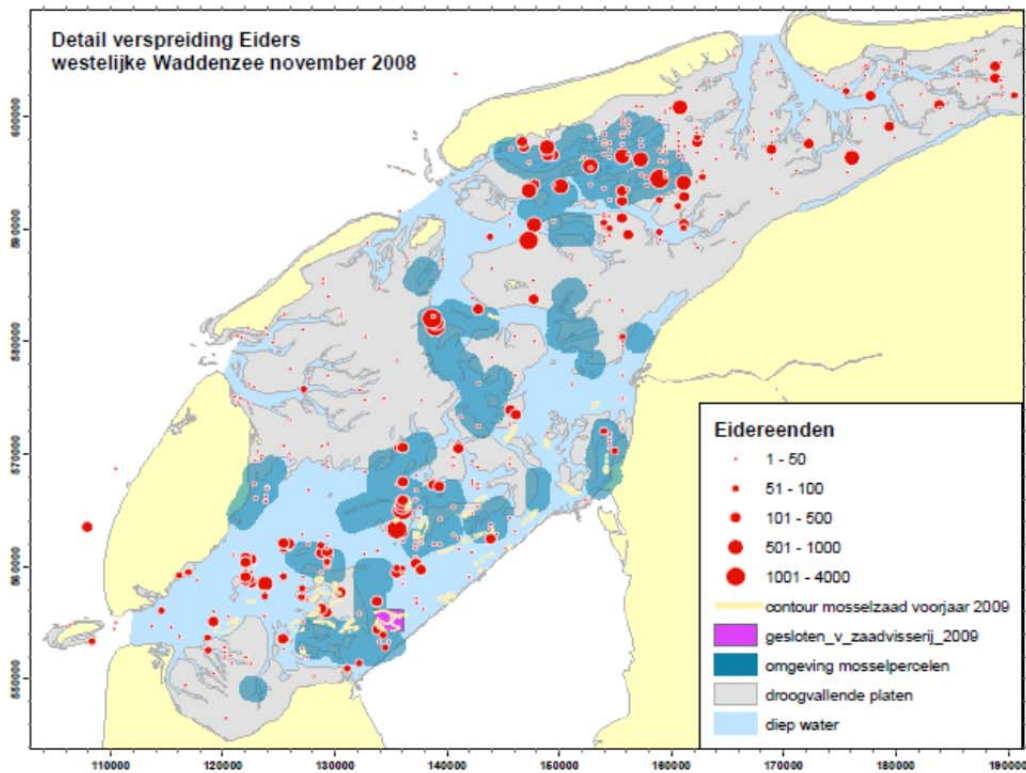
De rol van Ensis als voedsel van Eiders is onbekend. Welke (groottes van) Ensis is (zijn) nog geschikt voedsel en hoe gaan de eenden hiermee om? In welke mate eten de eenden naast Ensis thans nog andere prooien en zo ja, welke dan?

Getracht is om deze vraag te beantwoorden door een analyse uit te voeren van in het kader van dit project uitgevoerde aanvullende vliegtuigtellingen (november 2008, december 2008, februari 2009, december 2009, februari 2010, november 2010, december 2010, zie De Jong *et al.* 2009, 2010 voor details) in relatie tot de gegevens uit bodemfauna-bemonsteringen die in het kader van andere IMARES-

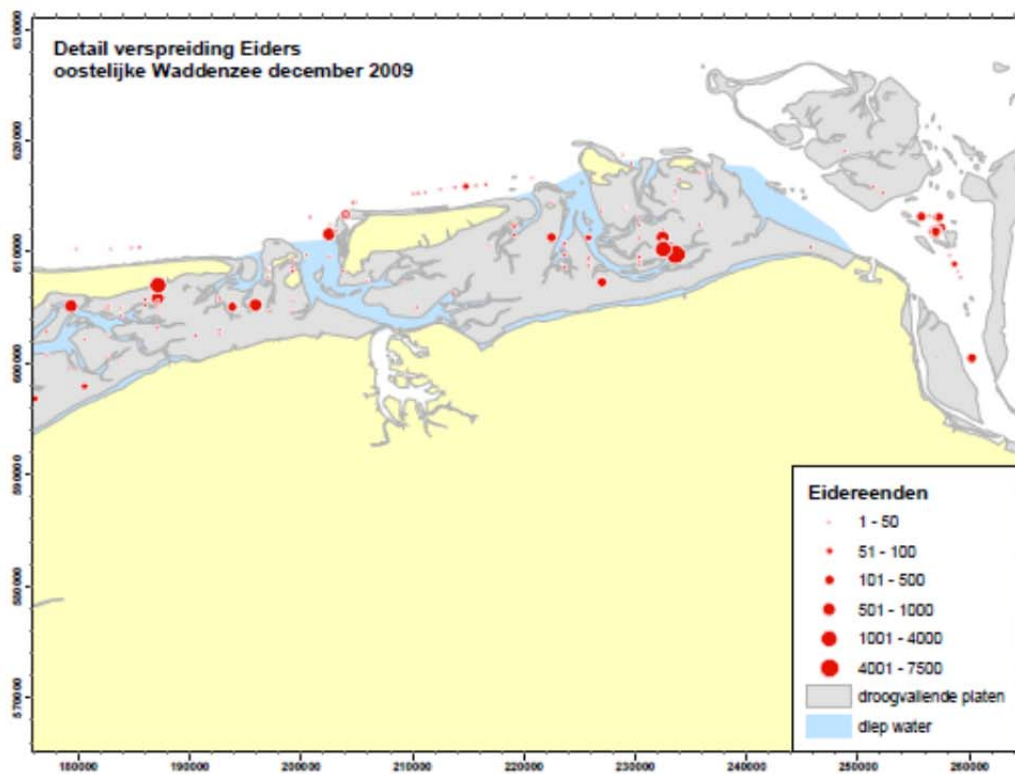
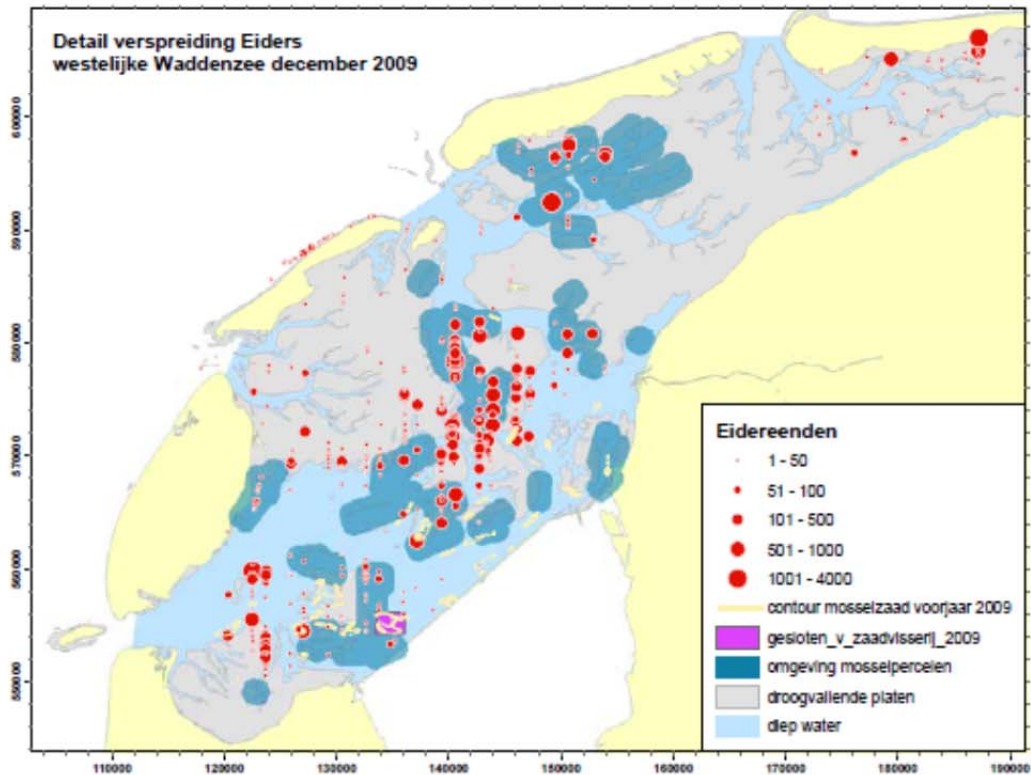
programma's zijn uitgevoerd. Daarnaast zijn pogingen ondernomen om op vaste verzamelplaatsen van Eiders in de Waddenzee vlotjes te leggen. Verwacht werd dat Eiders hierop gaan rusten en defeceren. Door de verzamelplaatsen en de vlotjes regelmatig na te lopen en faeces en braakballen te verzamelen zou een goed beeld van de voedselsamenstelling in verschillende delen van de Waddenzee kunnen ontstaan. Helaas werd voor het gebruik van deze laatste techniek geen toestemming van Rijkswaterstaat verkregen (het gevaar werd te groot geacht dat losgeraakte vlotjes een gevaar voor de scheepvaart zouden opleveren). Daarnaast zijn dood gevonden Eiders verzameld. Deze vogels zijn en zullen worden onderzocht op maaginhoud maar de resultaten zijn nog niet beschikbaar. Deze gegevens zullen worden gecombineerd met waarnemingen van de in het veld waarneembare voedselopname van Eiders, op verschillende locaties in het veld, zowel vanaf de kant als vanaf schepen. Voor deze en andere onderzoekstechnieken is een AIO aangesteld. Over de resultaten van de momenteel lopende studies zal in de nabije toekomst worden gerapporteerd.

Een samenvatting van de resultaten van de tellingen die vanuit een vliegtuig zijn uitgevoerd is weergegeven in de Figuren 5.6 en 5.7. Figuur 5.6 laat het verspreidingsbeeld zien in de westelijke Waddenzee in november 2008 (boven) en in februari 2009 (onder). Het verspreidingsbeeld in november laat een sterke relatie zien met mosselpercelen, met belangrijke concentraties ten zuiden van Terschelling, in het Inschot en rond de Texelstroom en de Vlieter. Daarnaast zijn, tenminste gedurende een deel van het seizoen, grotere concentraties Eiders aanwezig in gebieden op grotere afstand van de mosselpercelen, zowel rond de Texelstroom als (in februari 2009) in de omgeving van de Boontjes. Figuur 5.7 laat bovendien zien dat de aanwezigheid van Eiders ten zuiden van het oostelijk deel van Terschelling en onder Ameland geen enkele relatie heeft met mosselpercelen. Dit is ook het geval met Eiders die aanwezig zijn in de Waddenzee oostelijk van het Terschellinger wantij (Figuur 5.7, zie ook Figuur 5.9). In dit gebied zijn geen mosselpercelen aanwezig. De hier aanwezige Eiders zijn voor een aanzienlijk deel geconcentreerd rond droogvallende mosselbanken (zie verder onder Onderzoeksvraag 2). Een vergelijking van de verspreidingsbeelden van november 2008 en februari 2009 leert bovendien dat in de loop van een winter verschuivingen optreden van de verspreiding, zowel binnen gebieden met mosselpercelen als (in kleine aantallen) naar de hoger gelegen delen van het wad en de Noordzeekustzone. De winter 2009-2010 laat een vergelijkbaar beeld zien maar met enigszins andere patronen (de Jong *et al.* 2010).

Vooraf in de jaren 2000-2002 verhuisde een groot aantal Eiders uit de Waddenzee naar de Noordzeekustzone (zie § 5.1.2 en Figuur 5.3). Omdat deze Eiders vooral aanwezig waren in de omgeving van *Spisula*-banken wordt ervan uitgegaan dat deze vogels toen vooral deze schelpdieren aten. Na 2002 keerde het ovrgrote deel van deze vogels weer terug naar de Waddenzee. Uit onderzoek (Tulp *et al.* 2010) naar het dieet van in 2001 en 2003 aangetroffen Eiders uit de omgeving van de Razende Bol (aan de hand van faeces) blijkt dat hier vooral Amerikaanse Zwaardschede werden gegeten (in 93-95% van de onderzochte faeces werd deze soort aangetroffen). De meeste van deze prooien hadden een grootte van 76-100 mm. Daarnaast werden Strandkrab, Mossel en *Spisula* aangetroffen. In faeces van Eiders uit de omgeving van de Bollen van de Ooster (Voordelta) was de Amerikaanse Zwaardschede ook verreweg het meest talrijk. Daarnaast kwamen de slangster *Ophiolepis superba*, de Mossel, de zeeduizendpoot *Nereis longissima* en verschillende soorten schelpdieren (in kleine hoeveelheden) in de faeces voor. In magen van 255 Eiders die werden aangetroffen tijdens een grotere sterfte in 2000-2002 in de Waddenzee en aangrenzende Noordzeekustzone werden vooral Mosselen aangetroffen (in 68% van de onderzochte magen). Alikruiken en Kokkels werden ook regelmatig aangetroffen maar veel minder vaak (resp. 17% en 13%). Deze waarnemingen bevestigen het beeld dat Amerikaanse Zwaardschedes een belangrijke prooi vormen in de Noordzeekustzone en dat Mosselen de belangrijkste prooi zijn in de Waddenzee.



Figuur 5.6. Verspreiding van de Eider in de westelijke Waddenzee in november 2008 (boven) en februari 2009 (onder). Mosselpercelen en de gebieden in de directe omgeving daarvan zijn donkerblauw aangegeven. Bron: de Jong et al. 2009.



Figuur 5.7. Verspreiding van de Eider in de westelijke (boven) en de oostelijke Waddenzee (onder) in december 2009. Mosselpercelen en de gebieden in de directe omgeving daarvan zijn donkerblauw aangegeven. Bron: de Jong et al. 2010.

Statistische analyse

Uit de resultaten van de uitgevoerde analyse (voor methodiek zie Hoofdstuk 2) die zijn weergegeven in Tabel 5.1, komt een weinig consistent beeld naar voren. Voor de winter 2008-2009 is er binnen het 1500 m-gebied een correlatie gevonden van de aantallen Eiders met kleine zwaardschedes ($p < 0,001$) en halfwas Mosselen ($p < 0,05$), terwijl in een groter gebied (3-5 km) rondom de Eider-concentraties een significant verband ($p < 0,05$) is gevonden voor kleine en grote zwaardschedes samen. Daarnaast is er een correlatie ($p < 0,05$) van Eiders met halfwas en consumptiemaat Mosselen in het gebied van 3-8 km rond Eiderconcentraties en met meerjarige Kokkels op 5 km afstand.

Opmerkelijk is dat het beeld in het seizoen 2009-2010 volkomen anders is. In dit seizoen is er sterke correlatie gevonden met gebieden met mosselzaad en met nulde-jaars Kokkels. Daarnaast correleert zwaardschedes ($p < 0,05$) en halfwas Mosselen op percelen met de aanwezigheid van Eiders. Het ontbreekt echter aan een consistent en overeenkomstig beeld tussen deze 2 jaren. De tabel suggereert wel dat er correlaties aanwezig zijn tussen het voorkomen van Eiders en gebieden waar ook Amerikaanse Zwaardschedes zijn aangetroffen (op basis van correlaties in beide jaren). Uit de uitgevoerde analyse lijkt ook een verband met grote Kokkels en Mosselen op percelen naar voren te komen. Feit is echter ook dat ten noorden van het Balgzand en rond de Texelstroom veel Eiders foeragerend aanwezig zijn in een gebied waar geen mosselconcentraties voorkomen. Uit waarnemingen vanaf MS Phoca in het Gat van Stompe en op de nabijgelegen Timmekesplaat (westelijke Waddenzee – winter 2009-2010) blijkt dat hier Amerikaanse Zwaardschedes en jonge Strandgapers worden gegeten (B. Fey, MS Phoca, *ongepubl. waarnemingen*).

Tabel 5.1. Correlatiediagram waarin de relatie is doorgerekend van de aanwezigheid van Eiders met schelpdiervoorkomens. De betekenis van de afkortingen en de bron van de gegevens is in de tekst weergegeven. De betekenis van de horizontaal weergegeven afstanden is in § 2.2.1 weergegeven. De rood weergegeven blokjes geven de correlaties weer waarbij een significantieniveau van $< 0,01$ werd gescoord, de oker gemerkte blokjes geven een significantieniveau van $< 0,05$ weer. De onderstreepte getallen betreffen negatieve correlaties. De afkorting *sublit_moss* staat voor gemiddelde dichtheden Mosselen in de grootteklassen zaad (Z), halfwas (H) en consumptiemaat (C), kweekmoss duidt op Mosselen op percelen. Amerikaanse Zwaardschedes (Ensis) zijn opgesplitst in kleine en groot, Kokkels in de jaarklassen 0, 1, 2 en ouder (mj). De factor disturbance heeft betrekking op een gemiddelde verstoringsdruk per gridcel.

	winter08/09				winter09/10			
	1500m	3km	5km	8km	1500m	3km	5km	8km
Intercept	<u>0,0002</u>	$<0,0001$	$<0,0001$	<u>0,0009</u>	$<0,0001$	$<0,0001$	$<0,0001$	$<0,0001$
sublit_moss_Z	<u>0,5469</u>	<u>0,9556</u>	<u>0,798</u>	<u>0,0126</u>	0,4314	0,7737	0,503	0,2138
sublit_moss_H	<u>0,0278</u>	0,1066	0,7868	<u>0,3214</u>	<u>0,396</u>	<u>0,1079</u>	0,6106	0,116
sublit_moss_C	<u>0,3703</u>	0,0609	0,0859	<u>0,4292</u>	<u>0,5885</u>	<u>0,7753</u>	0,1121	0,7601
kweekmoss_Z	0,0987	0,0609	0,0859	<u>0,4292</u>	0,0041	0,0609	0,1121	0,7601
kweekmoss_H	<u>0,402</u>	<u>0,0162</u>	<u>0,0328</u>	<u>0,0331</u>	0,5525	<u>0,4622</u>	0,1411	<u>0,0129</u>
kweekmoss_C	0,1593	<u>0,0162</u>	<u>0,0328</u>	<u>0,0331</u>	<u>0,0583</u>	0,2786	0,1411	<u>0,0129</u>
ensis_klein	0,0029	0,02	0,0121	0,409	<u>0,2038</u>	0,957	<u>0,0105</u>	<u>0,0125</u>
ensis_groot	0,1015	0,02	0,0121	0,409	<u>0,4317</u>	<u>0,617</u>	<u>0,0105</u>	<u>0,0125</u>
mya_klein	0,1731	0,0002	<u>0,0388</u>	<u>0,8403</u>	0,2319	0,0694	0,2905	0,3595
kokkel_0	0,0987	0,0004	0,0087	0,0748	<u>0,0338</u>	0,0054	0,9823	<u>0,3733</u>
kokkel_1	<u>0,402</u>	<u>0,132</u>	<u>0,0365</u>	<u>0,143</u>	0,7018	<u>0,0634</u>	<u>0,7972</u>	<u>0,3956</u>
kokkel_2	<u>0,1593</u>	<u>0,1617</u>	<u>0,6402</u>	0,5717	0,1476	<u>0,1009</u>	<u>0,0239</u>	<u>0,0129</u>
kokkel_mj	<u>0,7666</u>	0,1227	<u>0,0482</u>	0,0778	0,1476	0,4327	<u>0,0239</u>	<u>0,0129</u>
verstoring	0,5504	0,9651	0,7541	0,6608	0,9354	0,2238	<u>0,7784</u>	<u>0,6444</u>

Conclusie statistische analyse

De belangrijkste conclusie uit de uitgevoerde statistische analyse is dat een dergelijke analyse op basis van 2 jaren gegevens vooralsnog onvoldoende is om tot bevredigende conclusies te komen. Door middel van de inzet van de aangestelde AIO aangesteld wordt getracht om in de komende jaren tot een beter inzicht te komen.

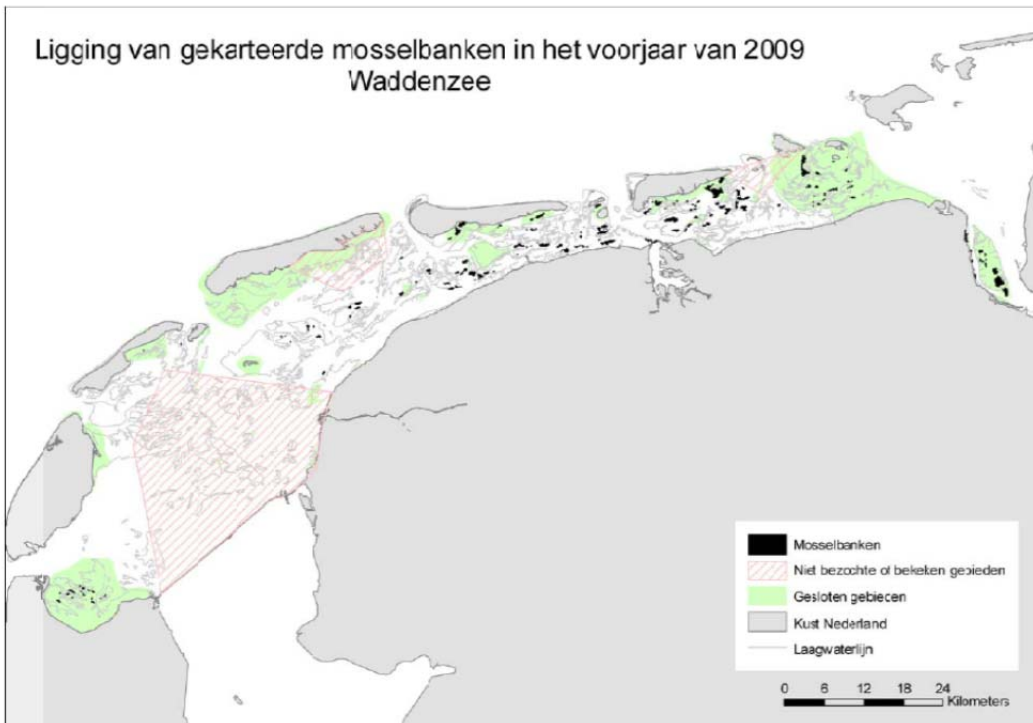
5.2.2 Onderzoeksvraag 2

Wilde vs. 'cultuur'mossel: Wat is het belang van mosselen van wilde sublitorale bestanden en/of van mosselpercelen voor de Eiders? Geef een inschatting van de ratio o.b.v. veldonderzoek.

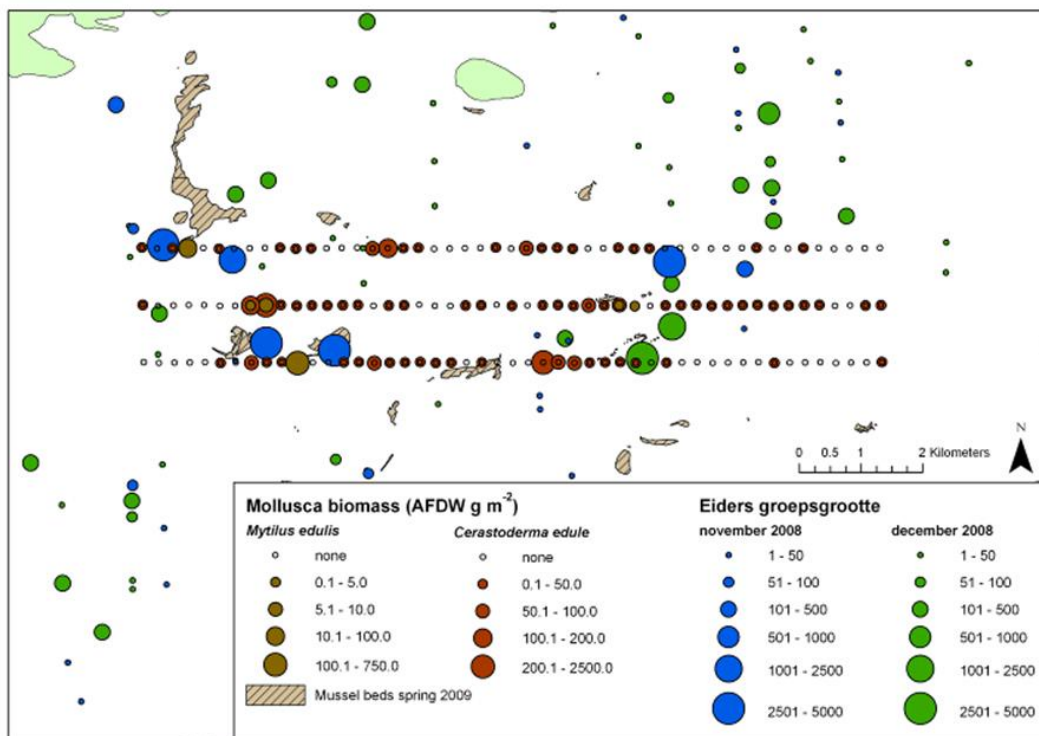
Op basis van de door Lorna Teal uitgevoerde analyse van de aanwezigheid van Eiders blijkt geen duidelijk verband met sublitorale mosselbestanden. Ook het verspreidingsbeeld van Eiders (Figuren 5.6 en 5.7) laat geen concentraties Eiders zien in die gebieden waarvan bekend is dat daar hogere dichtheden mosselzaad aanwezig zijn (zijnde vooral het gebied ten noorden van de Afsluitdijk – zie Figuur 3.8). Uit de resultaten van de vliegtuigtellingen lijkt er in het centrale en het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee echter wel een verband te zijn tussen de aanwezigheid van grotere groepen Eiders en droogvallende mosselbanken. Deze tellingen worden uitgevoerd rond hoog water, dat wil zeggen in de periode waarin Eiders foeragerend het meest actief zijn.

De aantallen Eiders in de oostelijke Waddenzee zijn in de meeste gevallen aanzienlijk kleiner dan in het westelijke deel (zie Figuur 5.4). In het telseizoen 2008-2009 was 20-40% van de Eiders in de Waddenzee oostelijk van het Terschellinger wantij aanwezig (de aantallen geteld in de hele Waddenzee varieerden van ruim 57.000 tot ruim 63.000), in het seizoen 2009-2010 was dit 14-30% (aantallen tijdens beide tellingen rond 59.000 Eiders - de Jong *et al.* 2009, 2010). Vanwege de afwezigheid van mosselpercelen in de Waddenzee oostelijk van het wantij van Terschelling is deze voedselbron hier niet beschikbaar voor de vogels. Uit een vergelijking van de ligging van droogvallende mosselbanken in de Waddenzee (Figuur 5.8) met de verspreidingskaarten van de Eiders, zoals afgebeeld in de Figuren 5.6 en 5.7, blijkt een zekere relatie met dit habitatype. Het is echter zeker niet zo dat de aanwezigheid van droogvallende mosselbanken meteen betekent dat er ook veel Eiders aanwezig zijn. Zo zijn droogvallende mosselbanken afwezig onder het oostelijk deel van Terschelling terwijl hier tijdens de tellingen in november 2008 en februari 2010 wel groepen Eiders zijn vastgesteld. De correlatie tussen de aanwezigheid van mosselbanken en de aanwezigheid treedt dus in sommige gevallen op. Daarnaast kunnen andere voedselbronnen, zoals Kokkels, lokaal ook van belang zijn.

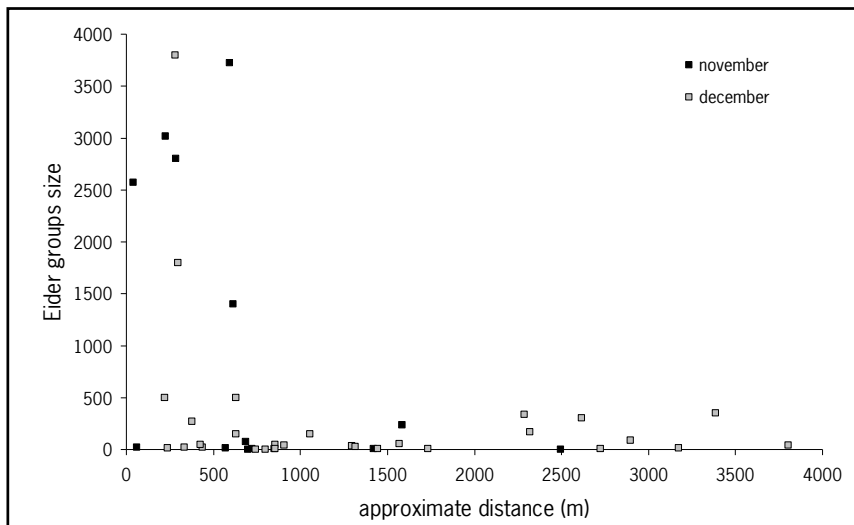
Een nadere analyse van de verspreiding van Eiders in relatie tot de aanwezigheid van Mosselen en Kokkels is weergegeven in Figuur 5.9. In deze figuur zijn de resultaten van de vliegtuigtellingen in november en december 2008 in één figuur gecombineerd met de resultaten van een speciaal voor dit doel uitgevoerde bodemfaunasurvey in dezelfde periode (van Bemmelen, ongepubl.) en met de resultaten van de reguliere mosselbankensurvey van IMARES in 2009 (Goudswaard *et al.* 2009b). De verspreidingspatronen laten geen duidelijke relatie met de aanwezigheid van Kokkels zien, een bevestiging van het beeld in de westelijke Waddenzee (Tabel 5.1). Uit deze tabel blijkt geen duidelijk verband met grotere Kokkels, maar suggereert wel een verband met 0^{de}-jaars Kokkels. Figuur 5.10, waarin is ingezoomd op de aanwezigheid van Eiders en mosselbanken, laat zien dat er wel een duidelijke relatie aanwezig is tussen de aanwezigheid van grotere groepen Eiders en de nabijheid van een droogvallende mosselbank. Deze figuur ondersteunt de hierboven gesignaleerde relatie tussen de aanwezigheid van Eiders en droogvallende mosselbanken en vormt een extra aanwijzing voor het belang van droogvallende mosselbanken voor voedselzoekende Eiders in het oostelijk deel van de Waddenzee. Aanvullend onderzoek naar deze relatie is echter wenselijk.



Figuur 5.8. Ligging van droogvallende mosselbanken in de Waddenzee in het voorjaar van 2009. Bron: Goudswaard et al. 2009.



Figuur 5.9. Ligging van droogvallende kokkelbanken in december 2008 (roodbruine stippen – IMARES survey, ongepubl.) en mosselbanken in het voorjaar van 2009 (bruine stippen - Goudswaard et al. 2009) in het gebied onder Rottumeroog in relatie tot de aanwezigheid van Eiders in november en december 2008 (blauwe en groene stippen). De gearceerde polygonen geven de omtrek van de vastgestelde arealen mosselbank weer (Goudswaard et al. 2009).



Figuur 5.10. Groepsmaat van Eiders in het gebied onder Rottumeroog in relatie tot de afstand tot droogvallende mosselbanken in november en december Waddenzee. Bron: Rob van Bemmelen, IMARES ongepubl.

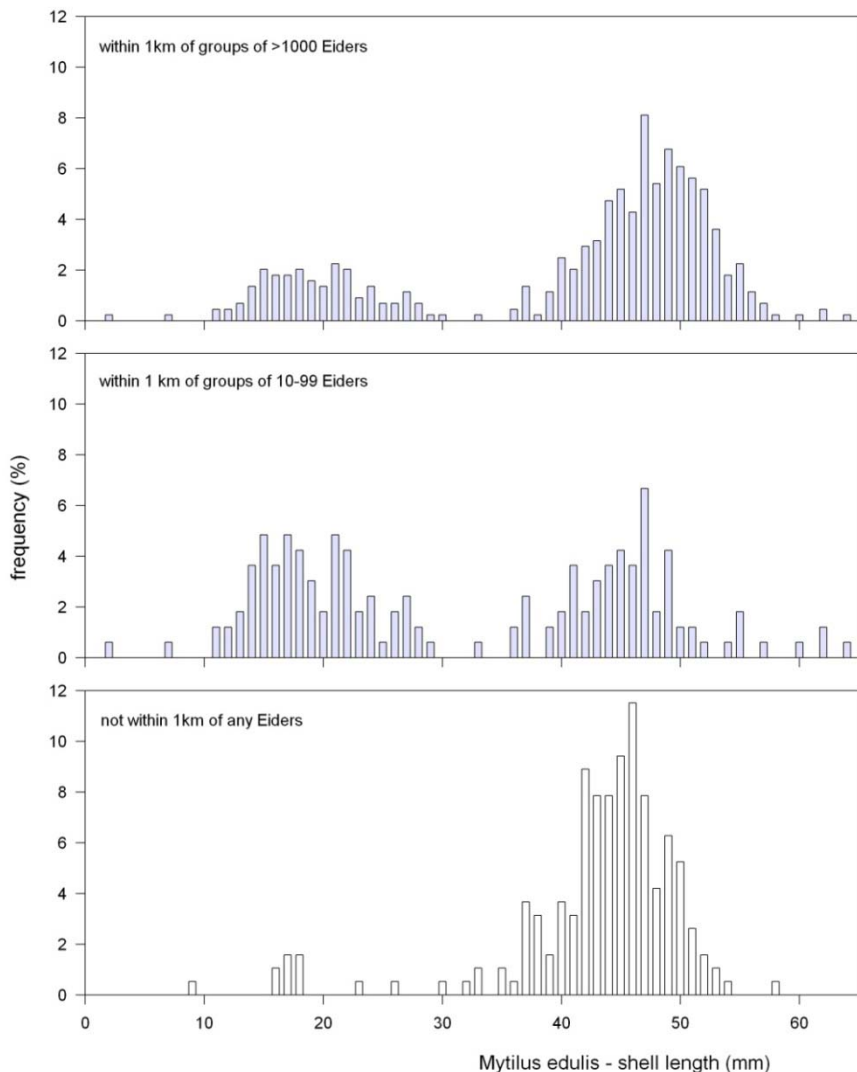
Een meer gedetailleerde bestudering van de grootteverdeling van de Mosselen op de bank onder Rottumerplaat (Figuur 5.11) laat zien dat de Mosselen die aanwezig waren dicht bij de grootste groepen Eiders een tweetoppige frequentieverdeling hadden. Naast een betrekkelijk klein aantal Mosselen in de grootteklasse 10-25 mm was een groter aantal aanwezig in de grootteklasse 40-55 mm. In de omgeving van kleinere groepen Eiders waren meer kleine Mosselen aanwezig. Deze figuur suggereert dat Eiders plekken selecteerden waar relatief grote Mosselen aanwezig waren.

Opvallend is ook dat het aantal Eiders dat van de oostelijke Waddenzee gebruik maakt in de loop van het seizoen lijkt te dalen. Zowel in 2008 als in 2009 werd in februari een afname van de aantallen Eiders in de oostelijke Waddenzee vastgesteld in vergelijking tot november en december. Dit zou erop kunnen duiden dat de droogvallende mosselbanken in de loop van de winter minder geschikt worden als voedselbron. Een reden zou kunnen zijn dat de meest favoriete grootteklasse in de loop van het seizoen te schaars wordt voor Eiders om als voedsel te kunnen dienen.

5.3 Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen

Uit de in de afgelopen jaren uitgevoerde tellingen vanuit de lucht, voor een belangrijk deel uitgevoerd in het kader van dit BO-project, blijkt dat de aantallen Eiders duidelijk lager zijn dan de voor de Waddenzee geformuleerde Instandhoudingsdoelstelling van draagkracht voor 90.000-115.000 vogels. Dit is ook het geval met de voor de Noordzeekustzone geformuleerde Instandhoudingsdoelstelling van 26.200 vogels. Mosselen zijn voor Eiders in de Waddenzee de belangrijkste voedselbron. In de westelijke Waddenzee lijken mosselpercelen van essentieel belang, in de oostelijke Waddenzee lijken vooral droogvallende mosselbanken te worden gebruikt als foerageergebied. Vooral de achteruitgang van de Eider in de westelijke Waddenzee is opvallend. Deze afname kan een gevolg zijn van verminderde draagkracht van het gebied, als directe resultante van de geringere hoeveelheid schelpdieren (vooral Kokkel, Mossel) die als voedsel beschikbaar is (zie Hoofdstuk 9). Waarschijnlijk speelt ook de achteruitgang van de gehele trekroutepopulatie van de Eider een rol. Het areaal droogvallende mosselbank in de oostelijke Waddenzee is vrij constant vanaf ongeveer 2005 (zie Figuur 7.8) en ook het aantal alhier overwinterende Eiders vertoont geen duidelijke negatieve of positieve trend (Figuur 5.4). Het bevorderen van de vorming van droogvallende mosselbanken in met name de westelijke Waddenzee kan dan ook een positief en stabiliserend effect hebben op de aantalsontwikkeling van de Eider (wanneer die zich doorzet met de snelheid van nu) omdat het de afhankelijkheid van mosselpercelen doet verminderen en een natuurlijke

buffer voor de beschikbare hoeveelheid voedsel creëert. Tevens kan de aanwezigheid van mosselbanken een positieve rol spelen in het beschikbaar komen van nutriënten in de zomer en herfst (zie Hoofdstuk 9). Ze kunnen daarmee een draagkrachtverhogende rol hebben.



Figuur 5.11. Lengteverdeling van Mosselen onder Rottumerplaat welke minder dan 1km van groepen Eiders verwijderd zijn, zoals deze zijn aangetroffen tijdens de Eidertelling in november 2008. Het onderste panel geeft de lengteverdeling weer op locaties verder dan 1km van alle Eiders gelegen. Opvallend is het ontbreken van kleine Mosselen (10-30mm) op monsterpunten die verder dan 1km van groepen Eiders verwijderd zijn. De gegevens zijn gebaseerd op een survey die in december 2008 is uitgevoerd onder Rottumerplaat Bron: Rob van Bemmelen, IMARES, ongepubl.

5.4 Samenvatting en slotopmerkingen

- De aantallen overwinterende Eiders in de Nederlandse Waddenzee vertonen een geleidelijke stijging tussen het einde van de jaren '60 en 1996, gevolgd door een scherpe daling van de aantallen in de jaren t/m 2010
- Het aantal broedparen van de Eider is sterk toegenomen tussen 1970 en 1996 en daalt vanaf 2000
- Uit in de afgelopen jaren uitgevoerde tellingen vanuit vliegtuigen blijkt dat Eiders in de Westelijke Waddenzee zich concentreren in de omgeving van sublitorale mosselpercelen. Mosselzaadbanken zijn van ondergeschikt belang voor deze soort.

- In de oostelijke Waddenzee lijken de grootste concentraties aanwezig te zijn in de omgeving van droogvallende mosselbanken. Het areaal droogvallende mosselbanken in dit gebied is vrij stabiel en ook het aantal overwinterende Eiders is hier vrij constant
- Behalve op mosselpercelen zijn plaatselijk grotere aantallen Eiders aanwezig in gebieden waar Amerikaanse Zwaardschedes en mogelijk ook Strandgapers belangrijke prooidiersoorten zijn.
- Verminderde draagkracht door geringere hoeveelheden schelpdieren in de westelijke Waddenzee lijkt een belangrijke oorzaak te zijn voor de lagere aantallen.
- Vestiging van droogvallende mosselbanken in de westelijke Waddenzee kan een functie hebben als buffer in geval van voedselschaarste. Mosselbanken kunnen bovendien een rol spelen bij het vrijkomen van nutriënten in de zomer en herfst en daarmee een positieve invloed hebben op het draagkrachtniveau.

6 Scholekster

Bijdragen: Bruno Ens (SOVON Vogelonderzoek Nederland), in samenwerking met Kees Rappoldt (EcoCurves), Martijn van de Pol (Australian University) en Marcel Klaassen (Deakin University)

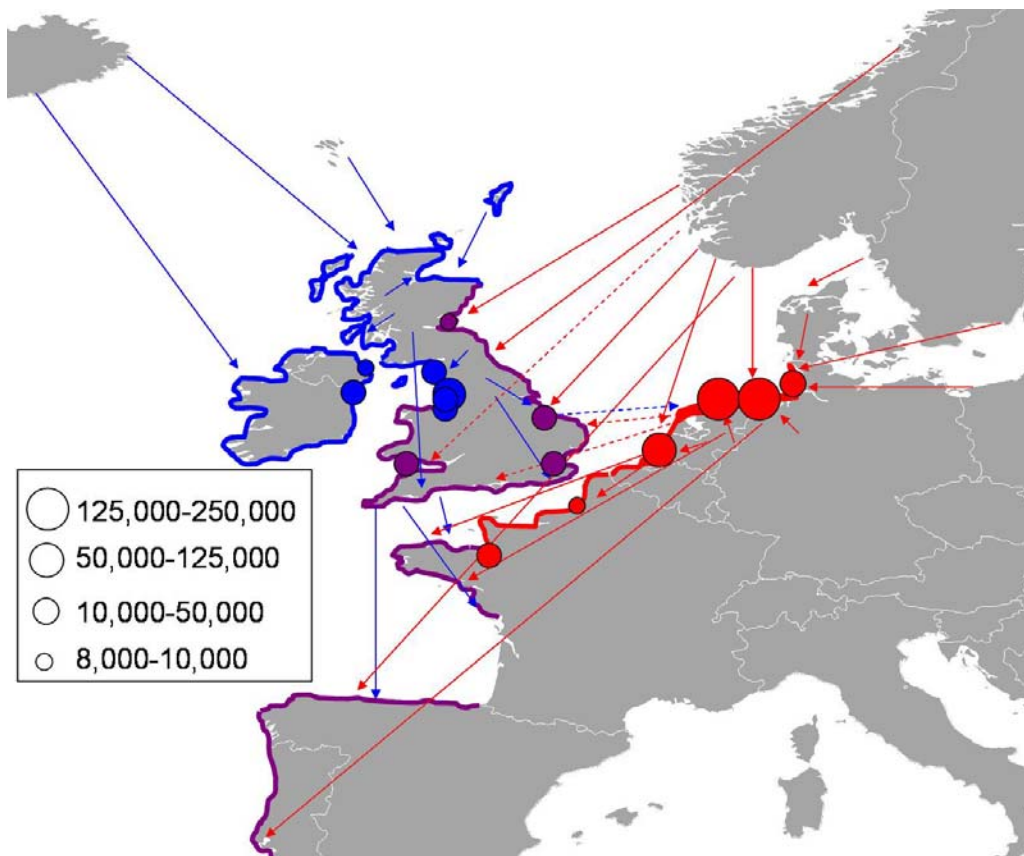
6.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren

6.1.1 Herkomst en aantallen

Het broedgebied van de Scholekster ligt in de kustgebieden van noordwest Europa, maar in de tweede helft van de twintigste eeuw heeft uitbreiding van het broedgebied plaatsgevonden naar verder in het binnenland gelegen gebieden. Dit verschijnsel werd vastgesteld in Nederland, Duitsland en in het Verenigd Koninkrijk (Goss-Custard 1996). Hoewel een deel van de vogels vrij noordelijk overwintert (Zuidwest IJsland en Zuid Noorwegen) trekt het overgrote deel naar gebieden zuidelijk van Denemarken (Figuur 6.1). Ook tijdens zachte winters wordt niet overwinterd langs de oostkust van Sleeswijk-Holstein. De Nederlandse en Britse wadgebieden en estuaria herbergen veruit de grootste aantallen (Goss-Custard *et al.* 1996). In zachte winters verblijven ook grote aantallen in het waddengebied aan de westkust van Sleeswijk-Holstein en de noordkust van Nedersaksen. Verder zuidelijk worden slechts geringe aantallen aangetroffen. De meest zuidelijke overwinteringsgebieden bevinden zich in Sierra Leone en Ghana. Op de Banc d'Arguin verblijven enkele duizenden exemplaren (Hagemeijer *et al.* 2004). De internationale Waddenzee is veruit het belangrijkste overwinteringsgebied, gevolgd door het Nederlandse Deltagebied en estuaria in het Verenigd Koninkrijk, Ierland en Frankrijk (Figuur 6.2). In de meeste landen is sprake van een lichte achteruitgang, maar in Nederland is deze juist vrij sterk (van de Pol *et al.* 2011). De achteruitgang is vooral zichtbaar in de overwinterpopulaties in Nederland, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk, terwijl in Denemarken en Frankrijk een toename te zien is.

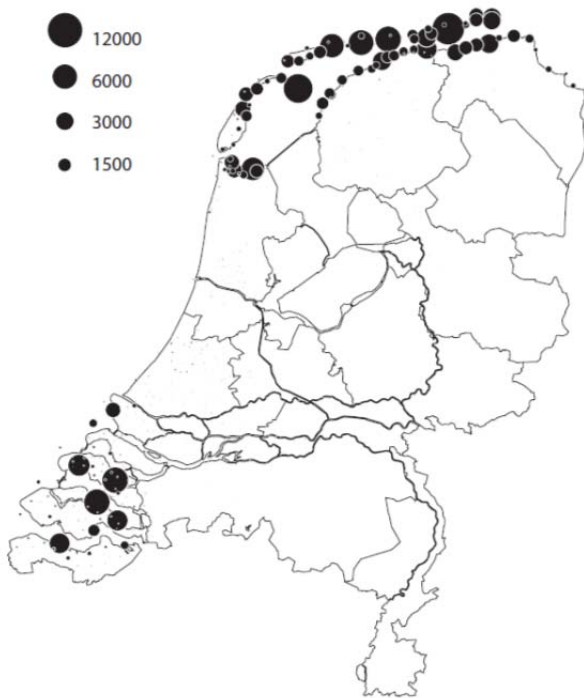


*Figuur 6.1. Huidige broedgebied (geel) en overwinteringsgebied (blauw) van de nominaatvorm van de Scholekster (Haematopus ostralegus ostralegus). Gebieden die zowel voor broeden als voor overwinteren worden gebruikt zijn met groen aangegeven (Hulscher *et al.* 1996). De onderbroken lijn geeft de vermoedelijke grens met de meer oostelijke ondersoort H.o. longipes. De doorgetrokken zwarte lijnen geven de ligging van mogelijke fysieke barrières die dispersie van broedvogels beperken en daarmee de uitwisseling van individuen tussen (sub)populaties. Overgenomen uit Van de Pol *et al.* (2011).*

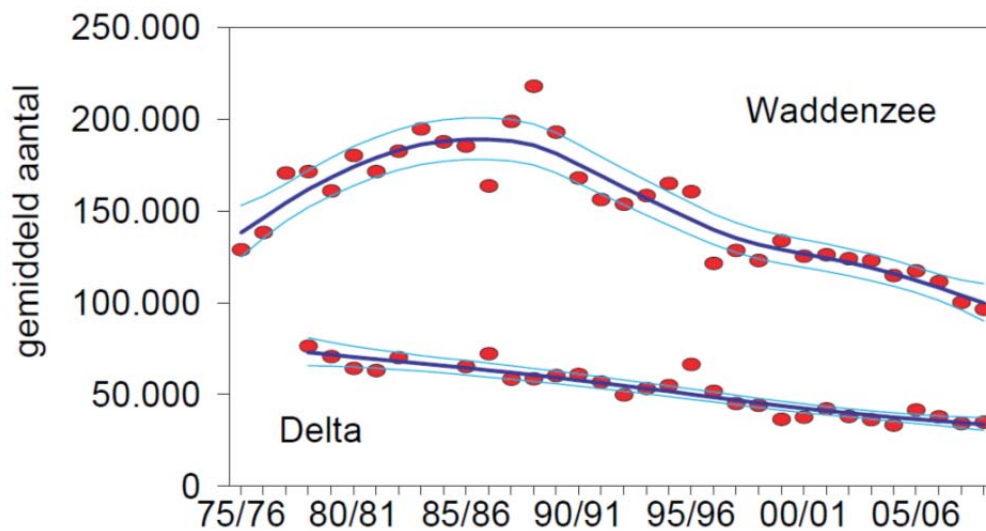


Figuur 6.2. Schematisch overzicht van de belangrijkste migratie routes en overwinteringsgebieden van de Atlantische (blauwe pijlen) en continentale (rode pijlen) broedpopulaties. Minder algemene migratieroutes zijn afgebeeld met een gestippelde lijn. Overwinteringsgebieden van Atlantische broedvogels zijn in blauw en overwinteringsgebieden van Continentale broedvogels zijn in rood. Gebieden waar zowel Atlantische als Continentale broedvogels overwinteren zijn afgebeeld in paars. De 16 meest belangrijke overwinteringsgebieden zijn afgebeeld met een cirkel, waarbij de grootte van de cirkel afhangt van het maximale aantal geteld in recente jaren. In deze 16 gebieden overwintert meer dan 75% van de totale populatie. De meeste gebieden overschrijden ook de officiële grenswaarde van 1% van de wereldpopulatie (10.200 dieren) in één of meer jaren (hoewel soms alleen in strenge winters). Overgenomen uit Van de Pol et al. (2011).

Scholeksters zijn het hele jaar door in de Waddenzee aanwezig, maar de aantallen zijn laag in het broedseizoen (april-juni). Van augustus tot en met januari zijn de gemiddelde aantallen hoog en opmerkelijk stabiel, variërend van 207.000 in november tot 268.000 in september (Leopold *et al.* 2004). Het tweede belangrijke overwinteringsgebied in Nederland is de Delta en dan met name de Oosterschelde (Figuur 6.3). De soort is gevoelig voor strenge winterse omstandigheden, wanneer veel Scholeksters tijdelijk uitwijken naar zuidelijker streken (Camphuysen *et al.* 1996, Hulscher *et al.* 1996). Er is een sterke trend aanwezig in de aantallen Scholeksters die buiten de broedtijd worden waargenomen in de twee belangrijkste overwinteringsgebieden in Nederland: de Delta en de Waddenzee (Ens *et al.* 2009a). In de Delta nemen de aantallen vanaf eind jaren zeventig van de vorige eeuw gestaag af (Figuur 6.4). In de Waddenzee stijgen de aantallen tot ongeveer 1987 gestaag en nemen daarna weer net zo snel af. Van 1997 tot en met 2002 lijken de aantallen zich te stabiliseren, maar daarna vindt er een verdere teruggang plaats die nog steeds voortgaat (Figuur 6.4). Rond 1988 werd het maximale aantal in de Nederlandse Waddenzee bereikt van ongeveer 220.000 exemplaren (seizoensgemiddelde). Sindsdien is er een afname geweest van het seizoensgemiddelde tot ongeveer 120.000-130.000 exemplaren. In de Delta is er al vanaf het begin van de systematische tellingen eind jaren '70 in de vorige eeuw sprake van een afname.



Figuur 6.3. De winterverspreiding van Scholeksters in Nederland, gebaseerd op tellingen in de maanden december t/m februari voor de winters van 2002-2003 t/m 2006-2007. Overgenomen uit Ens et al. (2009a).



Figuur 6.4. Trend in het aantal Scholeksters in de twee belangrijkste overwinteringsgebieden in Nederland: de Waddenzee (bovenste lijn) en het Deltagebied (onderste lijn). Weergegeven is het seizoensgemiddelde en de met Trendspotter berekende trendlijn met betrouwbaarheidsintervallen; zie van Roomen et al. (2007) voor meer uitleg. Bron: Netwerk Ecologische Monitoring (SOVON, RWS, CBS).

6.1.2 Voedsel en voedselbehoefte

Scholeksters behoren tot de best bestudeerde wadvogels (Blomert *et al.* 1996, Goss-Custard 1996). Het dieet bestaat voor het overgrote deel uit tweekleppigen (Mossel, Kokkel, Nonnetje, Slijkgaper

Scrobicularia plana etc). Daarnaast worden vooral in de zomer en dan nog vooral door vrouwtjes Zeeduizendpoten *Nereis diversicolor* gegeten. In de herfst en winter worden, zeker in perioden met aanhoudende noordwesten winden wanneer slechts weinig wadbodem droogvalt, veel regenwormen gegeten in de binnendijkse gebieden aan de rand van de Waddenzee. Scholeksters kunnen zich sterk op een bepaalde foerageermethode specialiseren (Sutherland *et al.* 1996). In de winterperiode, wanneer de voedselbehoefte het grootst is, heeft de Scholekster voorkeur voor grote prooien, zoals Mosselen van 5 cm. In het voorjaar en zomerperiode lijkt de voorkeur naar wat kleinere exemplaren (3-4 cm) uit te gaan (Cayford & Goss-Custard 1990, Ens *et al.* 1996).

Aan de voedselbehoefte is veel onderzoek gedaan. Ens (2000) noemt een dagelijkse voedselbehoefte van 170 g vlees in de zomermaanden en 264 g vlees in de wintermaanden (750 resp 1160 kJ/dag) op basis van de door Zwarts *et al.* gecompileerde data (Zwarts *et al.* 1996b). Latere berekeningen komen uit op een winterbehoefte van zeker 300 g mosselvlees/dag (1300 kJ/dag) (Rappoldt *et al.* 2003a). In de zomermaanden heeft de vogel aanzienlijk minder voedsel nodig voor zijn eigen metabolisme omdat de temperaturen dan hoger zijn. Dit kan tot de helft dalen.

Er is een groot verschil is tussen wat een vogel nodig heeft (de dagelijkse voedselopname, ook wel aangeduid als fysiologische voedselbehoefte) en wat in een systeem aanwezig moet zijn opdat de vogel die noodzakelijke voedselopname ook kan realiseren (de ecologische voedselbehoefte, Rappoldt *et al.* 2003a). De laatste is in de Waddenzee naar schatting een factor 3.1 groter dan de eerste. Dit heeft te maken met intraspecifieke competitie om het voedsel (interferentie) en ook de tijd die nodig is om het voedsel te vinden (de noodzakelijke zoektijd). Daarbij is er wel variatie tussen gebieden en prooi-soorten (Ens 2006, Ens *et al.* 2004, Goss-Custard *et al.* 2004). Het lijkt erop dat de ecologische voedselbehoefte groter is wanneer Scholeksters vooral op Mosselen foerageren (Goss-Custard *et al.* 2004): dan kan de factor oplopen tot ongeveer 7. Dit hangt waarschijnlijk samen met het feit dat interferentie op mosselbanken hoger is dan op kokkelbanken.

De gesignaleerde afname van de Scholekster in de Waddenzee wordt toegeschreven aan het verdwijnen van de naar schatting 4000 ha droogvallende mosselbanken die in de jaren '80 aanwezig waren in de Waddenzee (Dijkema *et al.* 1989), waar enkele tientallen vogels per ha konden foerageren (Rappoldt *et al.* 2003a). In een periode waarin er vrijwel nergens droogvallende mosselbanken waren vonden Verhulst *et al.* (2004) dat daar waar gebieden gesloten waren voor de mechanische kokkelvisserij de vogels in een betere conditie waren.

6.2 Onderzoeksvragen

6.2.1 Onderzoeksvraag 1

Het is nog onvoldoende duidelijk in hoeverre voedselspecialisatie de overlevingskansen van Scholeksters negatief beïnvloedt wanneer bepaalde prooidieren wegvallen. Zijn zij voedselspecialisten (en foerageren ze dan niet op schelpdieren), of wordt gewisseld van prooidiersoort?

Er zijn twee deelonderzoeken uitgevoerd om deze vraag te beantwoorden:

1. Een onderzoek naar de mogelijkheid om stabiele isotopen in te zetten om de dieetkeus van individuele Scholeksters te bepalen
2. Een analyse van voedselspecialisatie afgeleid uit de snavelvorm bij op Schiermonnikoog broedende Scholeksters en de relatie tussen voedselspecialisatie en overleving.

6.2.1.1 Stabiele isotopen als maat voor dieetkeus

In Bijlage 1 worden de resultaten van dit onderzoek naar de mogelijkheid om stabiele isotopen in te zetten om specialisatie te achterhalen uitgebreid besproken. Hieronder vermelden wij slechts de belangrijkste conclusies:

1. Er is grote en systematische variatie in de ratio's van stabiele isotopen (met name δC) tussen de verschillende prooidieren van de Scholekster
2. Er zijn sterke aanwijzingen voor een grote mate van individuele specialisatie die ook van jaar op jaar gehandhaafd blijft. Deze specialisatie heeft betrekking op de zomer en zegt ons niet bij voorbaat iets over het dieet in de winter
3. Het patroon van stabiele isotopen in de prooidieren is echter zodanig dat we niet makkelijk een voorkeur voor schelpdieren of wormen kunnen koppelen aan de gegevens over dieetkeus bepaald met stabiele isotopen.

Op basis van deze aan het begin van de onderzoeksperiode verkregen resultaten is door de begeleidingscommissie geconcludeerd dat het niet zinvol was om voort te gaan met een uitgebreid en kostbaar meetprogramma op basis van stabiele isotopen. In plaats daarvan is ingezet op snavelvorm als maat voor voedselkeuze.

6.2.1.2 Overleving in relatie tot voedselkeuze op basis van snavelvorm

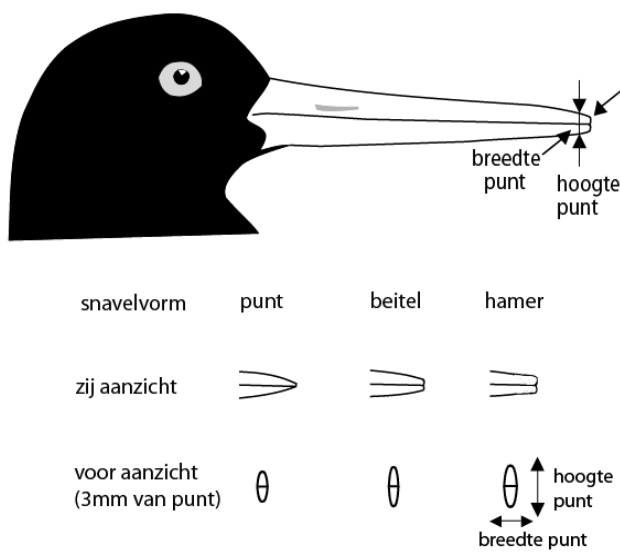
Over het in het kader van dit project uitgevoerde onderzoek naar de relatie tussen voedselkeuze op basis van snavelvorm en overleving is uitgebreid gepubliceerd in de wetenschappelijke literatuur (van de Pol *et al.* 2010a, van de Pol *et al.* 2009, van de Pol *et al.* 2008). In het kader van deze rapportage kunnen wij daarom volstaan met een korte bespreking van de belangrijkste bevindingen, waar nodig aangevuld met resultaten die nog niet werden gepubliceerd. Alle hier beschreven gegevens zijn verzameld als onderdeel van een lange-termijn onderzoek aan een broedpopulatie van Scholeksters op de Oosterkwelder van het eiland Schiermonnikoog (Nationaal Park Schiermonnikoog). Scholekster in deze studiepulatie broeden in kwelderhabitat en foerageren op het nabijgelegen wad op schelpdieren en wormen (Ens *et al.* 1992). Dit soort natuurlijk habitat wordt als 'core-breeding area' beschouwd voor Scholeksters (Ens *et al.* 2003; van de Pol *et al.* 2009), en deze studiepulatie is dan ook in vele aspecten vergelijkbaar met andere broedgebieden op het vasteland en eiland-kwelders in Nederland. Broedvogels op Schiermonnikoog zijn in principe jaarrond aanwezig in het Waddengebied ('standvogels') en slechts in zeldzame gevallen van extreme wintervorst vindt er tijdelijke migratie plaats naar meer zuidelijke estuaria (Hulscher *et al.* 1996). In de winter wordt de lokale broedpopulatie aangevuld met migranten uit het binnenland van Nederland en uit Scandinavië. Alle analyses zijn beperkt tot adulte vogels en bevatten dus geen gegevens over juvenielen. De focus op adulte vogels, en met name broedvogels, is ingegeven door het feit dat veranderingen in populatie aantallen het meest gevoelig zijn voor variatie in overleving van broedvogels (van de Pol *et al.* 2006; van de Pol *et al.* 2007). Daarnaast is er voor deze groep vogels de meeste data beschikbaar. Bovendien is het bekend dat de voedselspecialisatie van juvenielen nog moet uitkristalliseren (Goss-Custard & dit Durell 1983).

Van 1983-2008 zijn alle broedvogels in het studiegebied, en een groot gedeelte van de (adulte) niet-broeders voorzien van kleurringen waardoor ze individueel herkenbaar zijn. Elk jaar zijn gedurende het broedseizoen (mei-juli) gestandaardiseerde gegevens verzameld over het lot van elk individu (voor een meer gedetailleerde beschrijving van protocollen en het studiegebied zie Ens *et al.* (1992) en Heg *et al.* (2000). Het geslacht van vogels is voor de meeste individuen gebaseerd op DNA analyse van bloedmonsters, voor de overige vogels is het geslacht bepaald doordat het geslacht van de partner met DNA analyse bepaald was (Ens *et al.* 1993).

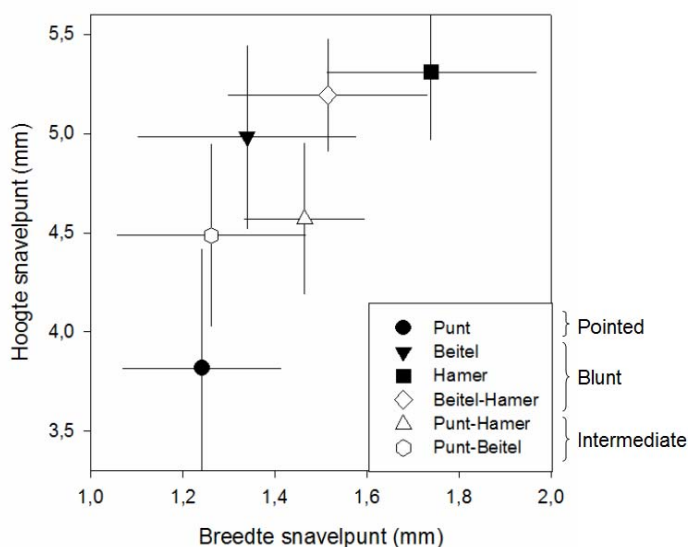
Gedurende de periode 1983-2008 zijn jaarlijks een flink aantal broedvogels op het nest gevangen met behulp van een inlooppkooi. In mindere mate zijn ook buiten het broedseizoen (maart, april, augustus, september en december) broedvogels en niet-broedvogels gevangen met behulp van mist- en kanon-

netten (o.a. door de stichting Calidris). In totaal zijn er bijna 3000 vangsten gedaan van zo'n 1500 verschillende individuen, waarvan ruwweg de helft mannen en de helft vrouwen. De meeste individuen zijn dus in meerdere jaren gevangen (gemiddeld 2 keer, range 1-7 keer). In 97 gevallen is eenzelfde vogel twee maal binnen een jaar gevangen.

Bij elke vangst is de biometrie gemeten, waaronder de hieronder beschreven snavelvorm. In navolging van eerdere studies (dit Durell *et al.* 1993, Swennen *et al.* 1983) hebben we in eerste instantie zes verschillende snavelvormen onderscheiden, te weten drie hoofdvormen (punt, beitel en hamer) en drie intermediaire tussenvormen (punt-beitel, punt-hamer en beitel-hamer). Punt-snavels zijn zoals de naam zegt puntig (laag en dun), beitel-snavels zijn hoog en dun zoals een beitel, en hamer snavels zijn hoog en breed zoals een hamer (Figuur 6.5). Deze snavelvormen zijn visueel geïllustreerd in het veld, maar corresponderen sterk met verschillen in de breedte en hoogte van de snavelpunt (Figuur 6.6).

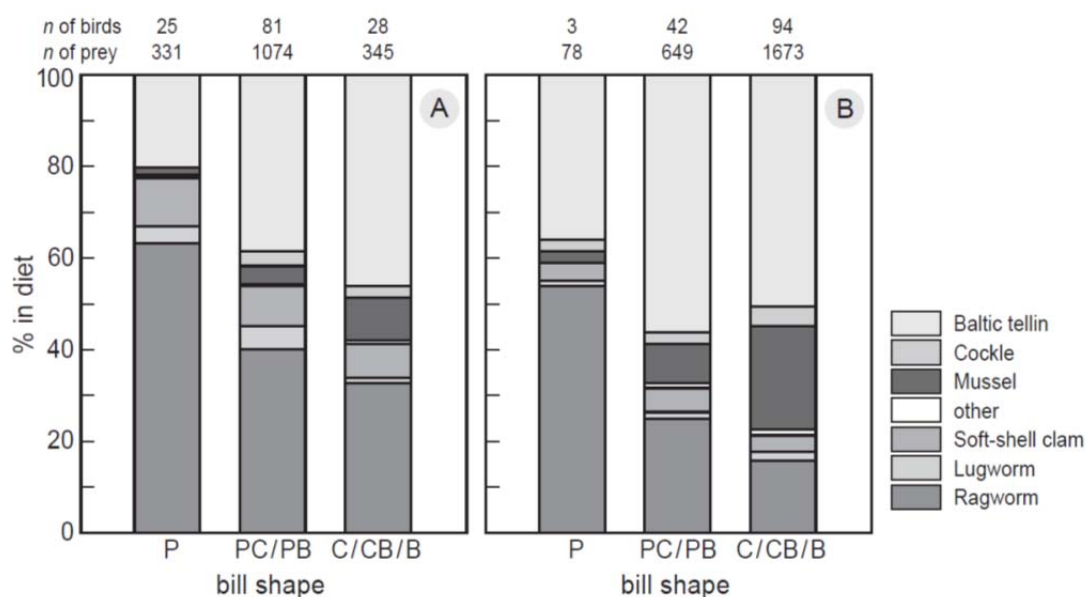


Figuur 6.5. Schematische weergave van de drie verschillende hoofdvormen van de scholekstersnavel en het punt waar de breedte en hoogte van de snavelpunt worden gemeten (van de Pol *et al.* 2009).



Figuur 6.6. Verschillen in de breedte en hoogte van de snavelpunt van de drie hoofdvormen (zwarte symbolen) en de drie tussenvormen (witte symbolen) van scholekstersnavels. Error bars zijn gebaseerd op een standaard deviatie rond het gemiddelde. Gegevens hebben betrekking op broedvogels van Schiermonnikoog, 1983-2008.

Verscheidene studies hebben laten zien dat verschillende snavelvormen geassocieerd zijn met verschillen in dieet (dit Durell *et al.* 1993, Hulscher 1996, Swennen *et al.* 1983). Echter aangezien het dieet van scholeksters verschilt tussen de zomer en de winter, betekent dit dat bijvoorbeeld Blunt-snavels (d.w.z. met een hamer- of beitelvorm) in de winter meer geassocieerd zijn met het eten van Kokkels en Mosselen (dit Durell *et al.* 1993), terwijl in de zomer blunt-snavels ook geassocieerd zijn met het eten van andere schelpdieren, zoals Nonnetjes (Hulscher 1996). De relatie snavelvorm en dieetkeuze voor Scholeksters op Schiermonnikoog in de zomer is weergegeven in Figuur 6.7. Hieruit blijkt dat een Pointed- en Blunt-snavel niet exact synoniem zijn voor respectievelijk een wormen- en schelpdieren dieet, maar dat er een gradiënt is van veel wormen en weinig schelpdieren in het dieet van Scholeksters met Pointed-snavels naar veel schelpdieren en weinig wormen in het dieet van Scholeksters met Blunt-snavels. Een belangrijk verschil tussen Intermediate en Blunt-snavels is het aandeel Mosselen en rest groep (o.a. Kokkels). Met name Mosselen en Kokkels vereisen veel meer kracht om te openen dan bijvoorbeeld Nonnetjes, wat tot sterke slijtage van de snavelpunt leidt (Hulscher 1985).

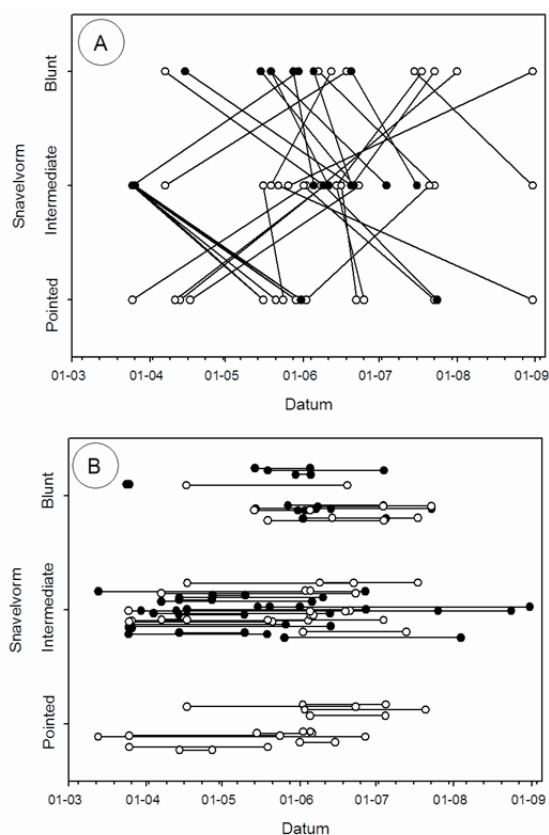


Figuur 6.7. Het verband tussen snavelvorm en dieet voor (A) mannetjes en (B) vrouwtjes. Data voor Schiermonnikoog 1986-1993 (van de Pol *et al.* 2009). Snavelvorm is als volgt gecodeerd in de figuur: P = punt; PC/PB = intermediair; C/CB/B = Blunt. Voor de prooidieren geldt: Baltic tellin = Nonnetje; Cockle = Kokkel; Mussel = Mossel; other = andersoortige prooi; Soft-shell clam = Strandgaper; Lugworm = Wadpier *Arenicola marina*; Ragworm = Zeeduizendpoot.

Gedurende de broedseizoenen van 1983-2010 zijn systematisch alle broedvogels geobserveerd om te kijken welke individuen de tussenliggende winter wel of niet overleefd hebben. De meeste sterfte van Scholeksters vindt plaats in de winter (Camphuysen *et al.* 1996). De observatie-intensiteit van broedvogels is extreem hoog op Schiermonnikoog; gemiddeld wordt de kleurcode-ring van elke vogel jaarlijks 30x afgelezen tijdens het broedseizoen van mei tot juli. Als gevolg daarvan is de kans dat we een broedvogel in een jaar niet gezien hebben, terwijl het individu wel in het studiegebied aanwezig was zo goed als 0% (van de Pol 2006, van de Pol *et al.* 2007). Daarnaast zijn Scholeksters extreem plaatstrouw: als Scholeksters eenmaal ergens gebreed hebben komt dispersie naar andere broedgebieden in principe niet meer voor. Dit maakt dat als we een broedvogel in een jaar niet gezien hebben er vanuit kunnen gaan dat dit individu dood is. Jaarlijkse overleving is gedefinieerd als de kans dat een individu van eind juli tot begin mei volgend jaar overleeft, waarbij overleving bepaald wordt door het feit of een individu wel of niet waargenomen is. Omdat we van adulte niet-broedvogels niet elk jaar 100% zeker weten of ze overleefd hebben zijn deze niet meegenomen in de overlevings-analyse. Sterfgevallen gedurende het broedseizoen (meestal predatie), of individuen die betrokken waren bij experimenten zijn uit de dataset verwijderd.

Van de 97 individuen die in hetzelfde jaar tweemaal gevangen zijn, hebben er bij zeker 36% een verandering in snavelvorm plaatsgevonden (Figuur 6.8). Deze verandering betrof in geen geval een grote verandering van Pointed- naar Blunt-snavel (of vice versa), maar betrof altijd relatief kleine veranderingen van Pointed naar Intermediate, Blunt naar Intermediate, of vice versa. Bij 64% van de vogels was de snavelvorm gelijk in de twee vangsten (Figuur 6.8), wat suggereert dat de meeste vogels waarschijnlijk niet van snavelvorm veranderen gedurende de maanden maart-augustus (aannemende dat vogels niet tweemaal van snavelvorm veranderen binnen deze periode).

Het percentage vogels dat van snavelvorm veranderde was hoger voor mannen (41%) dan voor vrouwen (28%), maar dit verschil was net niet statistisch significant (Fisher's exact test $P=0,073$ voor verschil tussen de sexen). Veranderingen in snavelvorm betrof bij mannen meestal een verandering richting meer 'blunte' snavels (79% meer blunt, i.e. $I \rightarrow B$ of $P \rightarrow I$), dit in tegenstelling tot vrouwensnavels (slechts 36% meer blunt) (Fisher's exact test $P=0,017$ voor verschil tussen de sexen).

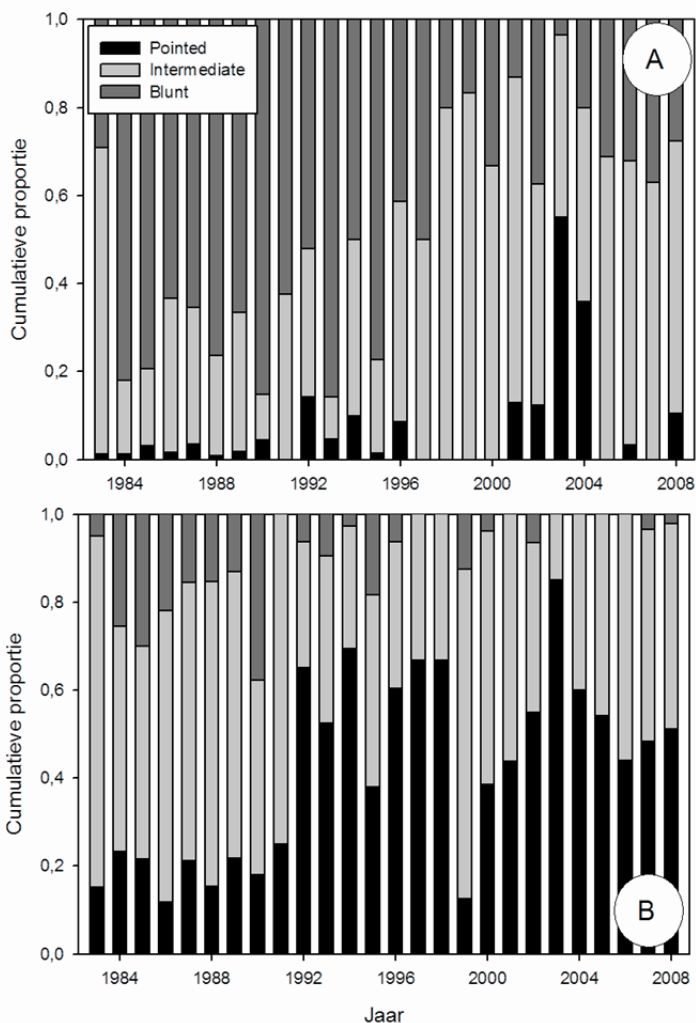


Figuur 6.8. Binnen-individu binnen-jaar (maart-augustus) veranderingen in snavelvorm van mannen (zwarte circels) en vrouwen (witte circels), waarbij vangsten van hetzelfde individu zijn verbonden zijn met een lijn. 35 individuen zijn van snavelvorm veranderd (A) en 62 individuen zijn niet veranderd (B). Gegevens hebben betrekking op broedvogels van Schiermonnikoog, 1983-2008.

Vanwege de verschillen binnen een jaar, en omdat niet in alle jaren buiten het broedseizoen Scholeksters zijn gevangen, gebruiken we voor een tussen-jaar vergelijking alleen adulte vogels die gevangen zijn in de maanden mei, juni en juli. Hoewel het aandeel van elk type snavelvorm in de vangsten sterk van jaar op jaar kan verschillen (mede door de invloed van 'sampling variance' in jaren met kleine steekproeven) is er een aantal duidelijke trends in de tijd waarneembaar (Figuur 6.9). Ten eerste zijn zowel bij mannen als vrouwen Blunt-snavels steeds zeldzamer geworden (Multilevel Multinomial Ordered Proportional Odds [MMOPO] model met jaar en individu als random intercept: lineaire trend in de tijd, $P < 0,001$ voor beide sexen). Ten tweede is deze afname in Blunt-snavels bij de mannen vooral ten faveure gekomen van Intermediate-snavels (MMOPO: trend in de tijd verschillend voor Intermediate en Pointed, $P < 0,05$). Ten

derde is bij vrouwen het aandeel Pointed-snavels sterk toegenomen, vooral ten koste van het aandeel Intermediate snavels (MMOPO: trend in de tijd verschillend voor Intermediate en Blunt, $P < 0,05$).

Uit Figuur 6.9 blijkt dat de gemiddelde snavelvorm voor beide sexen sterk is veranderd over de jaren, echter het mechanisme van verandering is hiermee nog niet opgehelderd. Verandering in populatie-gemiddelden in de tijd kunnen veroorzaakt worden door (1) binnen-individu verandering in snavelvorm (fenotypische plasticiteit) of (2) selectieve sterfte van individuen met bepaalde snavelvorm (natuurlijke selectie). De rol van selectieve sterfte zullen we later in dit rapport onderzoeken. Hieronder onderzoeken we in hoeverre individuen gedurende hun leven van snavelvorm veranderen, met behulp van het feit dat we dezelfde individuen in meerdere jaren gevangen hebben.

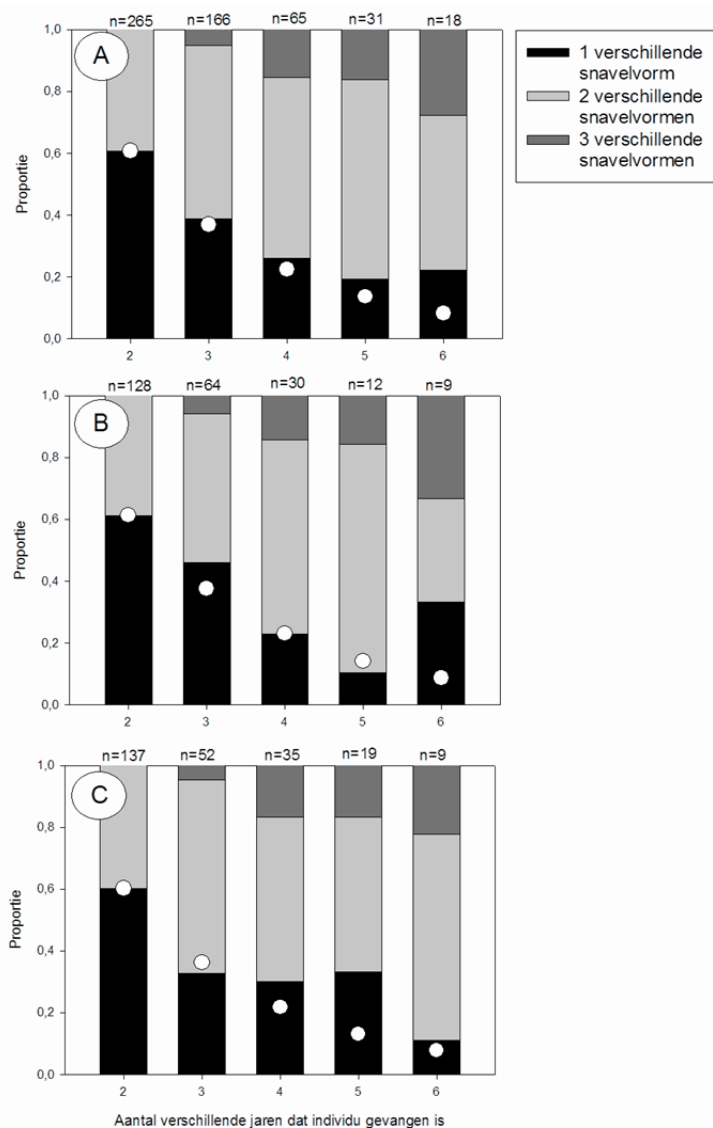


Figuur 6.9. Tussen-jaar veranderingen in aandeel van blunt snavelvormen in vangsten van (A) mannelijke ($n=1179$) en (B) vrouwelijke scholeksters ($n=1130$) op Schiermonnikoog, 1983-2008.

Van de individuen die in twee verschillende jaren gevangen zijn had 61% in beide jaren dezelfde snavelvorm, zowel bij mannen als vrouwen (Figuur 6.10). Het aandeel individuen dat in meerdere vangsten steeds dezelfde snavelvorm had neemt sterk af met het aantal vangsten dat we van een individu hebben. Als we aannemen dat de kans op het veranderen van snavelvorm voor elk individu gelijk is en onafhankelijk van de historie van veranderingen in snavelvorm van dat individu (i.e. Markoviaans), kunnen we de kans dat een individu dat in x jaren gevangen is en in al die jaren dezelfde

snavelvorm heeft bepalen door de formule $p_{\text{consistent}}=0,61^{x-1}$. Deze nul-hypothese van geen consistente individuele verschillen in snavelvorm voorspelt dat het aandeel individuen dat dezelfde snavelvorm heeft in alle vangsten exponentieel afneemt als een functie van het aantal vangsten (zoals weergegeven in Figuur 6.10 door de witte cirkels). De geobserveerde aantallen consistente individuen (zwarte balken in Figuur 6.10) wijkt in geen van de grafieken significant af van deze nul-hypothese (chi-kwadraat test, allen $P>0,05$).

Daarnaast neemt het aantal individuen waarbij we alle drie de verschillende snavelvormen hebben waargenomen sterk toe met het aantal vangsten van datzelfde individu, voor zowel mannen als vrouwen (donker grijze balken in Figuur 6.10). Als we ervan uitgaan dat een adulte vogel gemiddeld genomen een resterende levensverwachting heeft van ongeveer 15 jaar (=jaarlijkse adulte mortaliteit-1), betekent dit dat zo'n beetje alle individuen minstens twee verschillende snavelvormen en een substantieel gedeelte van de individuen drie verschillende snavelvormen heeft gedurende hun leven. Deze patronen zijn dus inconsistent met het idee dat individuen gedurende hun leven vasthouden aan een specifieke voedselspecialisatie.

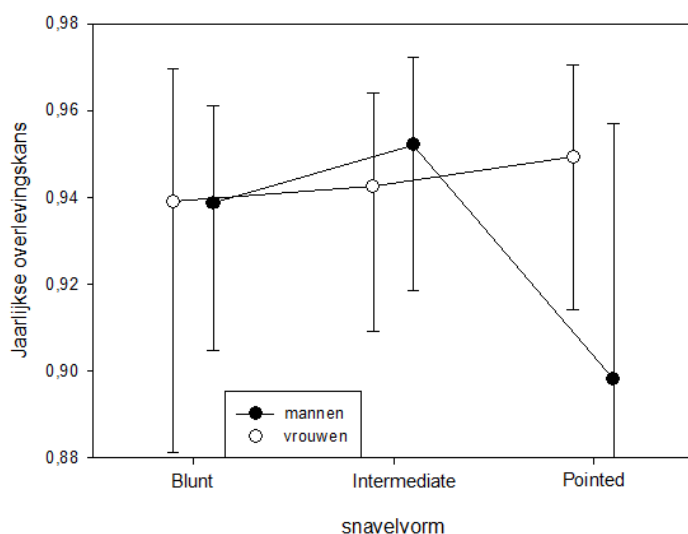


Figuur 6.10. Binnen-individu veranderingen in snavelvormen in vangsten van twee of meer verschillende jaren voor (B) vrouwen, (C) mannen en (A) beide sexen gecombineerd op Schiermonnikoog in 1983-2008.

Gebruik makend van een techniek die binnen-individu (plasticiteit) en tussen-individu (selectie) effecten uit elkaar kan trekken in mixed models (van de Pol & Verhulst 2006), kunnen we kwantificeren in hoeverre de trend in de tijd van binnen-individuen veranderingen in snavelvorm verschilt van de trend in de tijd in de populatie zoals beschreven in Figuur 6.9. Voor de kans op het hebben van een blunt snavel was de helling van de populatie-trend in de tijd in het MMOPO-model gelijk aan $-0,076 \pm 0,011$ op de logit-schaal. De binnen-individu trend in de tijd voor de kans op een Blunt-snavel was slechts $-0,051 \pm 0,015$ op de logit-schaal. Dit suggereert dat de binnen-individu verandering in Blunt-snavels minder sterk was dan de afname in Blunt-snavels zoals in de vangsten te zien was in Figuur 6.9. Dus de patronen in Figuur 6.9 zijn, naast plasticiteit, ook gedeeltelijk veroorzaakt door veranderingen in de samenstelling van individuen in de populatie die gemonsterd is. Desalniettemin is duidelijk dat Scholeksters gemiddeld genomen gedurende hun leven hun snavel veranderd hebben naar steeds puntiger snavels, voor zowel mannen als vrouwen.

De jaarlijkse overleving van zowel mannelijke als vrouwelijke broedvogels was niet afhankelijk van snavelvorm gedurende het broedseizoen (Figuur 6.11). De belangrijkste uitschieter was de lage overleving van mannen met Pointed-snavel (Figuur 6.11). Echter het aantal mannen met Pointed snavels is zo klein dat de betrouwbaarheid van de geschatte overlevingskans erg laag is (zoals te zien aan het brede betrouwbaarheidsinterval). Statistische analyse van de data m.b.v. een generalized linear mixed model liet zien dat voor zowel de mannen als vrouwen er inderdaad geen significante variatie is in de in Figuur 6.11 gepresenteerde overlevingskansen voor verschillende snavelvormen (effect van snavelvorm: $P=0,86$ en effect van $\text{sexe} \times \text{snavelvorm}$: $P=0,26$). Tevens is er geen significante tussen-jaar variatie in de mate van verschil in overlevingskans van verschillende snavelvormen (effect van $\text{snavelvorm} \times \text{random intercept jaar}$: $P=0,78$). Dit laatste wijst erop dat er niet alleen gemiddeld genomen over alle jaren er geen verschil in overlevingskansen waren tussen de verschillende snavelvormen, maar dat dit waarschijnlijk in de meeste jaren zo was.

Er waren geen aanwijzingen dat overlevingskans significant tussen de sexen verschilde (effect van sexe : $P=1,00$). Tevens waren er geen aanwijzingen dat er tussen-jaar variatie was in verschillen tussen de sexen in overlevingskans (effect van $\text{Sexe} \times \text{Random intercept jaar}$: $P=0,36$). Dus ondanks het feit dat mannen over het algemeen meer schelpdieren eten lijken ze geen lagere overlevingskansen dan vrouwen te hebben gehad.



Figuur 6.11. Jaarlijkse overlevingskans voor mannelijke en vrouwelijke broedvogels met verschillende snavelvormen, met error bars gebaseerd op 95% betrouwbaarheidsintervallen op Schiermonnikoog. De schattingen zijn gecorrigeerd voor tussen-jaar variatie in overlevingskans met een generalized linear mixed model. Gegevens hebben betrekking op broedvogels van Schiermonnikoog, 1983-2008.

6.2.1.3 Selectie op voedselspecialisatie

In de onderzoeksvraag wordt alleen gerept over een mogelijke relatie tussen voedselspecialisatie en overleving, maar populatieontwikkelingen en fitness worden ook bepaald door reproductie. Daarom is ook onderzoek gedaan naar de relatie tussen specialisatie en fitness, d.w.z. de combinatie van overleving en reproductie. Voor een uitgebreide verantwoording wordt verwezen naar het wetenschappelijke artikel dat hierover reeds werd gepubliceerd in het tijdschrift *Evolution* (van de Pol *et al.* 2010a).

Per jaar is voor zowel mannetjes als vrouwtjes berekend hoe de bijdrage van reproductie en overleving aan fitness varieerden met snavelvorm. In de meeste jaren was er geen verband tussen reproductie en snavelvorm, oftewel het reproductielandschap was nogal vlak. Echter, in de zeldzame jaren dat de Scholeksters een hoog broedsucces hadden was er sprake van grote verschillen in reproductie tussen snavelvormen. Hetzelfde gold min of meer voor overleving. In de zeldzame jaren met een lage overleving (als gevolg van een strenge winter) was er sprake van grote verschillen in fitness tussen snavelvormen. Echter, in jaren met een hoge overleving deden vogels met een intermediaire snavel het relatief goed. In de zeldzame jaren met massasterfte (als gevolg van een strenge winter) ondervonden de vogels met een intermediaire snavel juist een sterk verlaagde overleving.

Deze patronen waren opvallend gelijk voor mannetjes en vrouwtjes. Desondanks was er toch sprake van een systematisch verschil tussen mannetjes en vrouwtjes. Gemiddeld over alle jaren hadden vrouwtjes met een Blunt bill een lage fitness, terwijl mannetjes met een Pointed bill juist een lage fitness hadden, zowel wat betreft overleving als wat betreft reproductie. Populair gezegd komt het erop neer dat na normale zachter winters voedsel-generalisten (de vogels met een intermediaire snavel) het net wat beter doen dan specialisten. Echter in zeldzame 'Elfstedentocht'-winters presteren specialisten juist veel beter. Deze fluctuerende selectie-drukken kunnen verklaren waarom specialisten en generalisten elkaar niet wegconcurreren: gemiddeld over alle jaren blijken de verschillende strategieën een vergelijkbare fitness te hebben. Op de vraag wat dit betekent voor de draagkracht van de Waddenzee voor Scholeksters kunnen wij op basis van de gegevens die ons nu ter beschikking staan geen uitspraak doen.

6.2.2 Onderzoeksvraag 2

Belangrijk is het te weten waardoor de geconstateerde achteruitgang vooral in Nederland te zien is. Daar daalt zowel de binnenlandse broedpopulatie, als die aan de Waddenkust, als de overwinterende populatie, en is het broedsucces van de eilandbroeders laag.

Om de vraag te beantwoorden zijn berekeningen met het model WEBTICS (Rappoldt *et al.* 2004) uitgevoerd. Dit model is ontwikkeld in het kader van het evaluatieonderzoek aan de schelpdiervisserij (Ens *et al.* 2004) met als doel de effecten van schelpdiervisserij op de draagkracht voor Scholeksters te berekenen voor Waddenzee en Oosterschelde. Op grond van de berekeningen met dit model werden voor de Waddenzee de volgende conclusies getrokken (Rappoldt *et al.* 2003a):

1. Dat de overbevissing van de droogvallende mosselbanken rond 1990 de belangrijkste oorzaak was van de achteruitgang van de Scholekster
2. Dat de mechanische kokkelvisserij de draagkracht met ca. 15.000 Scholeksters had verlaagd
3. Dat de aantallen Scholeksters waarschijnlijk nog verder zouden dalen omdat de berekende draagkracht voor de Waddenzee op dat moment lager lag dan het aantal overwinterende Scholeksters.

Die laatste voorspelling, gedaan in 2003, is ondertussen bewaarheid: de aantallen Scholeksters die in de Nederlandse Waddenzee overwinteren zijn nog aanzienlijk verder gedaald (Figuur 6.4). Nieuwe berekeningen die sindsdien met het model zijn uitgevoerd laten zien dat de huidige draagkracht en de huidige aantallen in de Waddenzee goed met elkaar overeenkomen (Rappoldt *et al.* 2008). Dit ondersteunt de werkhypothese dat de ontwikkelingen in de schelpdierbestanden in de Waddenzee (en Delta) op de lange termijn de Scholekster aantallen bepalen. Om te kunnen verklaren waarom de

achteruitgang van de Scholekster vooral in Nederland te zien is zouden de schelpdierbestanden in de Nederlandse wadgebieden zich dan minder goed moeten hebben ontwikkeld dan elders, bijvoorbeeld als gevolg van verschillen in de vergunde kokkelvisserij (die alleen in de Nederlandse Waddenzee is toegestaan) of verschillen in eutrofiëring. Om dit te kunnen toetsen zouden in feite draagkrachtberekeningen voor de Nederlandse Waddenzee moeten worden vergeleken met draagkrachtberekeningen voor de Duitse en Deense Waddenzee en hun omgeving. Omdat gebiedsdekkende metingen aan een aantal voor Scholeksters belangrijke prooidieren (met name Kokkel en Nonnetje) alleen worden gedaan in de Nederlandse Waddenzee kunnen voor de Duitse en Deense Waddenzee geen draagkrachtberekeningen worden uitgevoerd en is een dergelijke vergelijking dus niet mogelijk. Wel kunnen deelgebieden binnen de Nederlandse Waddenzee met elkaar worden vergeleken; de schelpdierbestanden in de oostelijke Waddenzee ontwikkelen zich sinds 1990 veel gunstiger dan de schelpdierbestanden in de westelijke Waddenzee (Ens *et al.* 2009b). Ook kan geprobeerd worden het effect van handmatige kokkelvisserij te berekenen. Voor deze rapportage hebben wij dit gecombineerd.

Behalve de voedselsituatie in het overwinteringsgebied kunnen de aantallen ook beïnvloed worden door de omstandigheden in de broedgebieden. Het was niet mogelijk om in het kader van deze rapportage daar uitgebreid onderzoek aan te doen, maar in de discussie zal deze mogelijkheid worden besproken.

6.2.2.1 Berekeningen met WEBTICS

Voor een uitgebreide beschrijving van het model WEBTICS en de wijze waarop met dit model de draagkracht voor Scholeksters wordt uitgerekend verwijzen wij naar (Rappoldt *et al.* 2004).

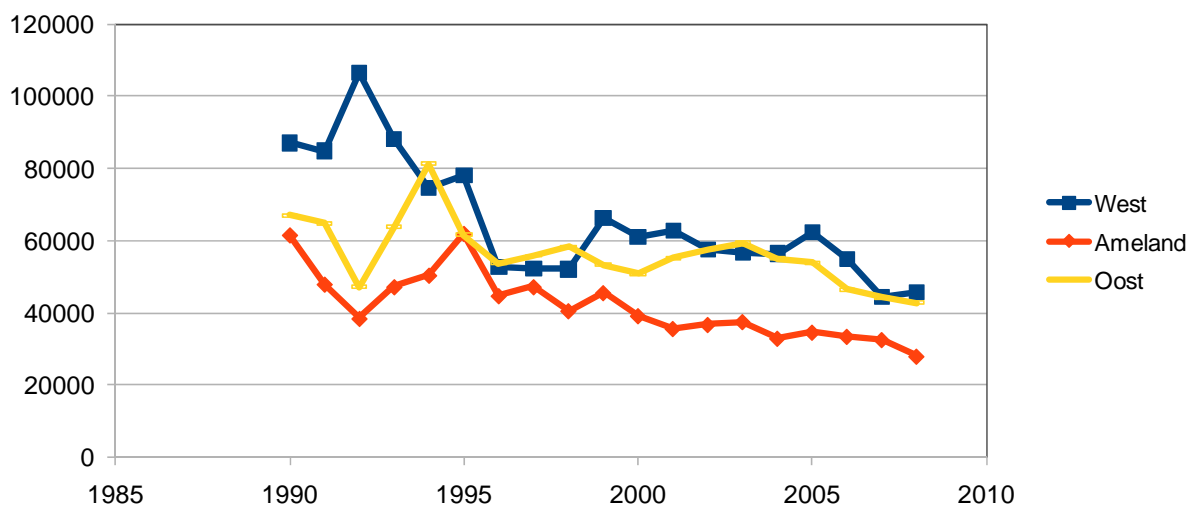
6.2.2.2 Aantallen Scholeksters en schelpdierbestanden

De litorale schelpdierbestanden⁴ waarvan de overwinterende Scholeksters afhankelijk zijn hebben zich sinds 1990 sterk verschillend ontwikkeld tussen het oostelijke en het westelijke deel van de Waddenzee (Ens *et al.* 2009b). Daarbij is de grens tussen de oostelijke en westelijke Waddenzee ter hoogte van Terschelling gelegd. Volgens onderzoekers die goed bekend zijn met de situatie rond het wad op Ameland is de situatie m.b.t. schelpdieren aldaar minder rooskleurig dan verder naar het oosten (J. Krol & C. Rappoldt, *pers. comm.*). Daarom is voor deze berekeningen een onderscheid gemaakt in drie gebieden:

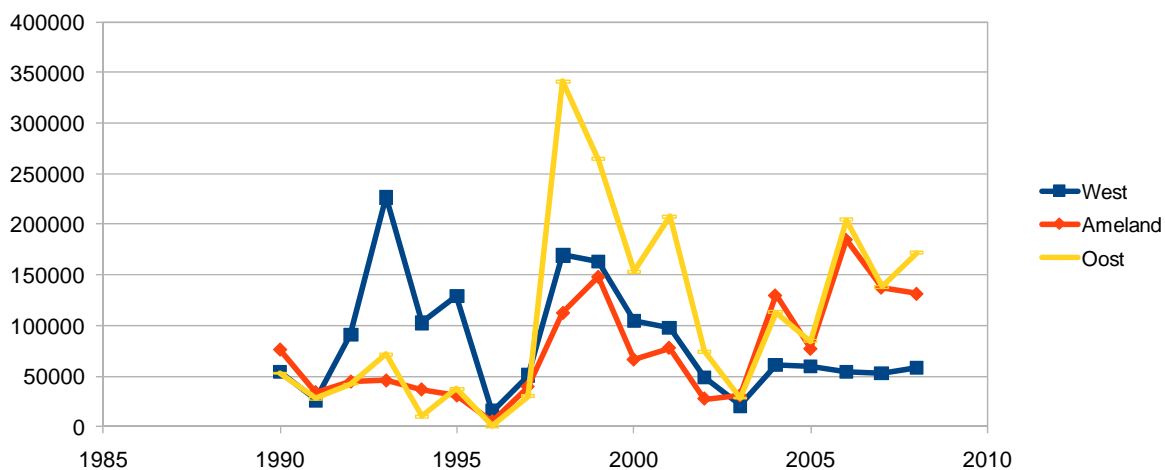
1. West: de westelijke Waddenzee tot en met het wad onder Terschelling, waarbij de grens in het geval van de hier uitgevoerde berekeningen niet over het wad van Terschelling loopt, maar tussen Terschelling en Ameland
2. Midden: het wad onder Ameland
3. Oost: het wad onder Schiermonnikoog en Rottum

Sinds 1990 zijn de aantallen overwinterende Scholeksters in alle drie gebieden afgenomen, maar de afname in Oost is minder sterk dan in West en Midden (Figuur 6.12). De litorale bestanden van Kokkel (Figuur 6.13) en Mossel (Figuur 6.14) hebben zich in Oost en Midden veel gunstiger ontwikkeld dan de bestanden in de westelijke Waddenzee. Dat is helemaal duidelijk als rekening wordt gehouden met het feit dat het oppervlakte wad van West even hoog is als dat Oost en Midden samen. De bestanden Nonnetjes lagen aanvankelijk veel hoger in de westelijke Waddenzee, maar namen gestaag af (Figuur 6.15). In Midden en Oost was eerst sprake van een toename tot en met het jaar 2001. Vanaf dat jaar storten de bestanden Nonnetjes overal in.

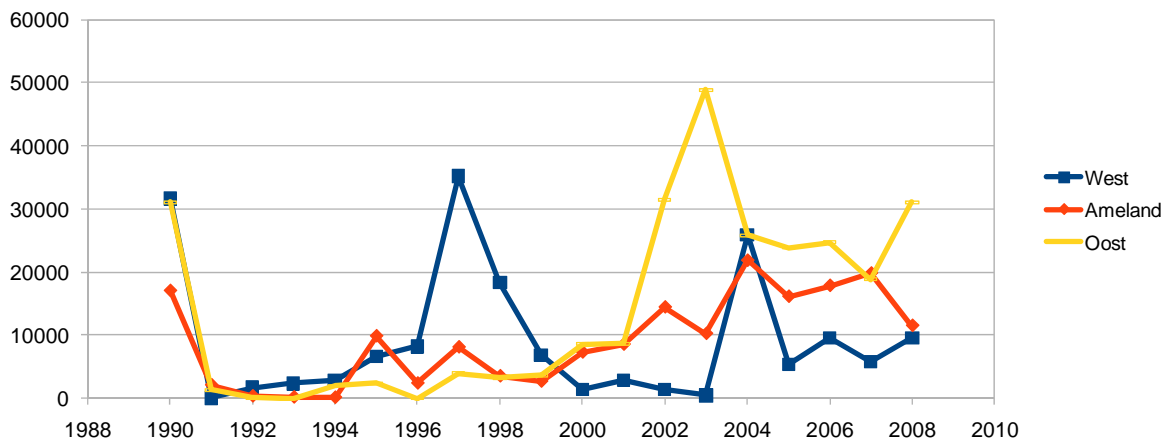
⁴ Bij het aangeven van de omvang van een schelpdierbestand kunnen verschillende maten worden gebruikt. Het versgewicht is het gewicht van het levende schelpdier, inclusief schelp met water en het weekdier zelf. Het vleesgewicht is het gewicht van alleen het weekdier, dus zonder schelp en zonder water. Het drooggewicht is het gewicht van alleen het weekdier na langdurig drogen in een droogstoof. Het asvrij drooggewicht is dit drooggewicht, minus het gewicht van de as na verbranding in een oven.



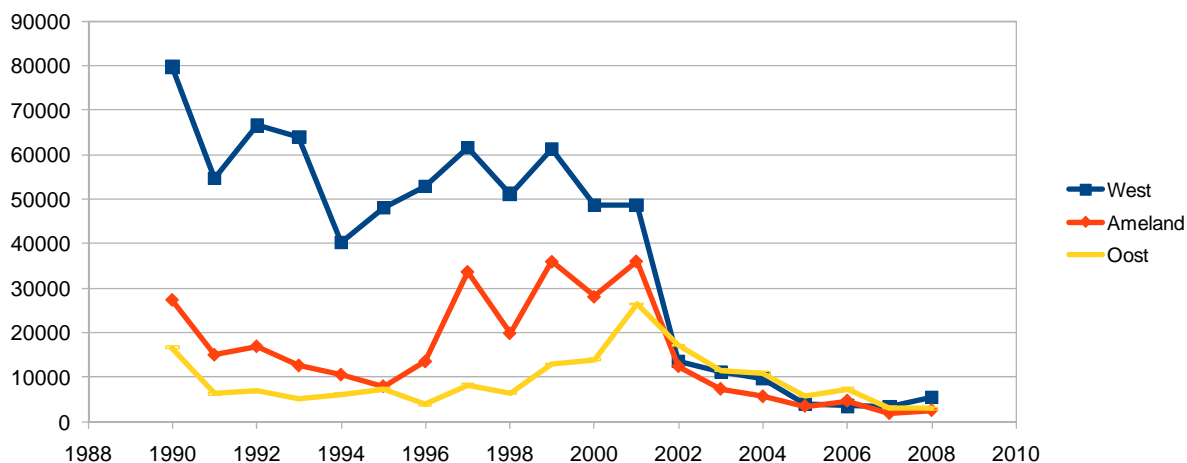
Figuur 6.12. Aantal overwinterende Scholeksters in de deelgebieden West (=westelijke Waddenzee), Ameland (midden) en Oost (=oostelijke Waddenzee). Bron: Netwerk Ecologische Monitoring (SOVON,RWS, CBS).



Figuur 6.13. Ontwikkeling in het bestand Kokkels in september (ton versgewicht) in de drie onderscheiden deelgebieden West, Ameland (midden) en Oost. Bron: Schelpdierensurveys IMARES.



Figuur 6.14. Ontwikkeling in het bestand Mosselen in september (ton versgewicht) in de drie onderscheiden deelgebieden West, Ameland (midden) en Oost. Bron: Schelpdierensurveys IMARES.



Figuur 6.15. Ontwikkeling in het bestand Nonnetjes in september (ton versgewicht) in de drie onderscheiden deelgebieden West, Ameland (midden) en Oost. Bron: Schelpdierensurveys IMARES.

6.2.2.3 Berekende dieet van de Scholeksters

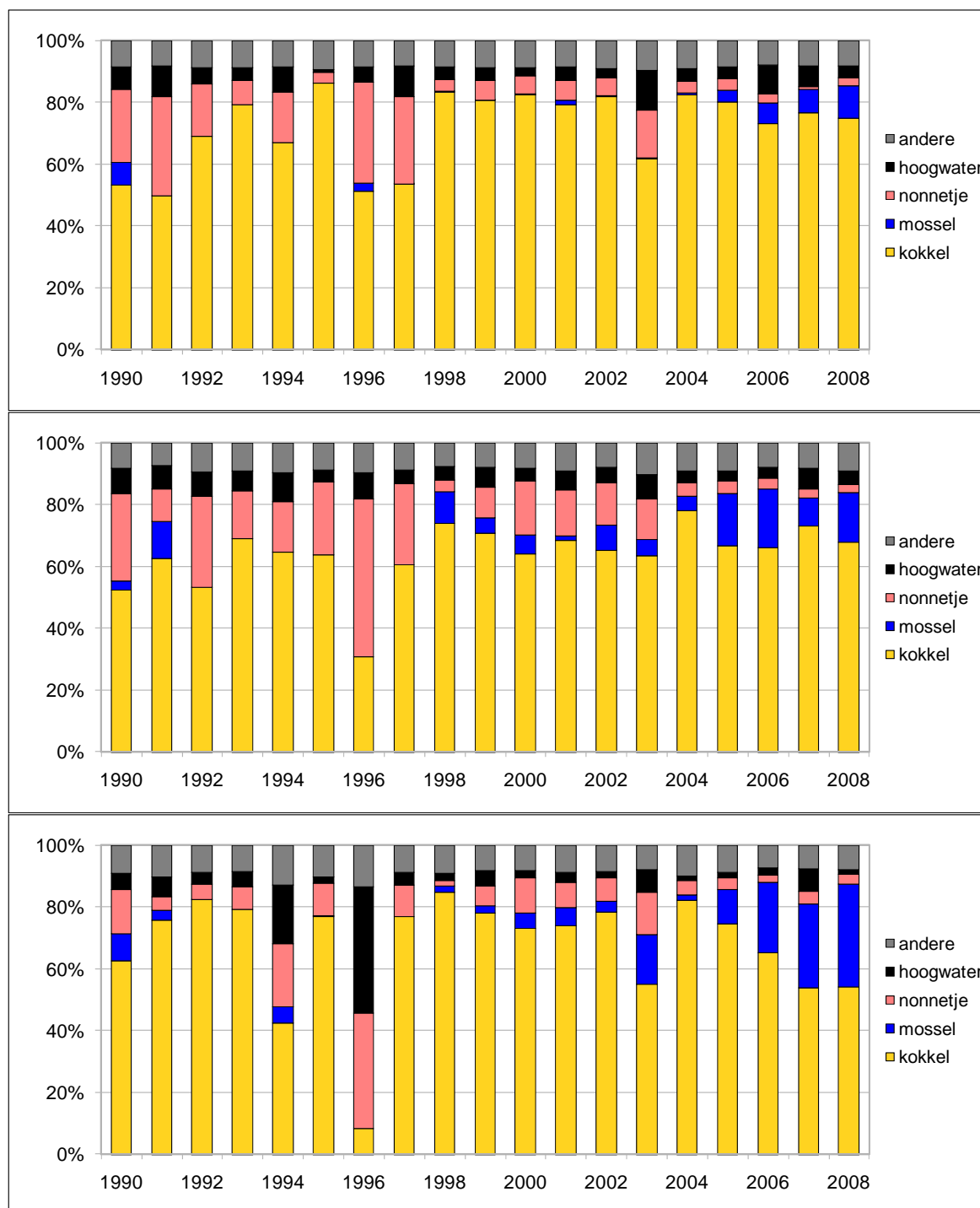
De veranderingen in schelpdierbestanden in de tijd en de verschillen tussen gebieden vertalen zich ook in het met WEBTICS berekende dieet (Figuur 6.16). In de periode 1990-2008 zijn Kokkels in bijna alle jaren in bijna alle gebieden het belangrijkste prooidier. Nonnetjes waren in de beginjaren een belangrijke alternatieve prooi, zeker op het wad rond Ameland. Na de instorting van de bestanden wordt de soort weinig meer gegeten. Het belang van Mosselen is de laatste jaren sterk toegenomen, voor in het oosten, waar herstel van de droogvallende mosselbanken veel sterker is opgetreden dan in het westen van de Waddenzee (zie Figuur 7.8).

Het seizoen 1996/1997 is een extreem jaar met een extreem laag kokkelbestand (Figuur 6.13). Dit was het gevolg van de strenge winter van 1995-1996 waarin vrijwel alle Kokkels doodvroren. Het dieet van de Scholeksters was in de winter van 1996-1997 zeer atypisch, vooral in Oost, waar heel veel voedsel tijdens hoogwater in de weilanden werd gezocht (Figuur 6.1). Wat voor dat jaar niet kon worden meegenomen is dat er na de strenge winter van 1995-1996 een enorme broedval van Kokkels had plaatsgevonden. Omdat de survey in mei plaatsvindt worden die jonge Kokkels standaard gemist. Dat is in de meeste jaren geen groot probleem, omdat kleine Kokkels geen goede voedselbron vormen (Zwarts et al. 1996a). Echter, in een jaar met een zeer laag voedselaanbod kunnen die kleine Kokkels mogelijk wel belangrijk zijn, zeker op plekken waar die jonge Kokkels goed gegroeid zijn. Of dit ook zo is, is niet bekend.

6.2.2.4 Sterfte van Kokkels als gevolg van visserij en predatie door Scholeksters

Om het effect van kokkelvisserij te kunnen berekenen moeten er getallen zijn over de opgeviste hoeveelheden. In Tabel 6.1 staan de bij elkaar gesprokkelde getallen over de kokkelvisserij. Voor 8 deelgebieden in de Waddenzee worden de handmatige kokkelvangsten sinds een aantal jaren geregistreerd per deelgebied (Bert Keus, *pers. med.*). De grenzen van deze deelgebieden vallen niet samen met de grenzen van de 10 kombergingen in de Waddenzee waarmee is gerekend. Een groter probleem met deze getallen is dat wij niet precies weten wat de hoogteligging en daarmee de droogvalduur is van de banken waar die Kokkels zijn opgevist. Dat maakt veel uit, omdat kokkelbanken laag in de getijzone vrijwel niet bijdragen aan de draagkracht, terwijl banken hoog in de getijzone vrijwel geheel worden uitgeput in de loop van de winter (Rappoldt *et al.* 2006). Desondanks hebben wij ons aan een eerste voorzichtige berekening gewaagd, op dezelfde wijze zoals deze berekeningen eerder zijn uitgevoerd in het kader van EVA II (Ens *et al.* 2004, Rappoldt *et al.* 2003a; Rappoldt *et al.* 2003b). Er is steeds aangenomen dat de visserij voorafgaand aan het Scholekster-seizoen, dus op 1 september, is afgerond. Visserij begint op de rijkste banken, die successievelijk worden bevestigd, tot de totale visserij

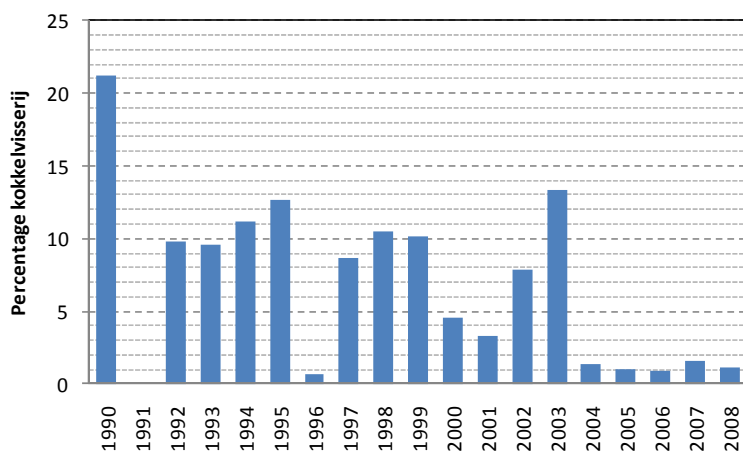
voor dat seizoen is bereikt. Daarbij speelt de geografische locatie van de banken geen rol. Er zijn wel drie verschillende scenario's onderscheiden met betrekking tot de droogvalduur van de banken:



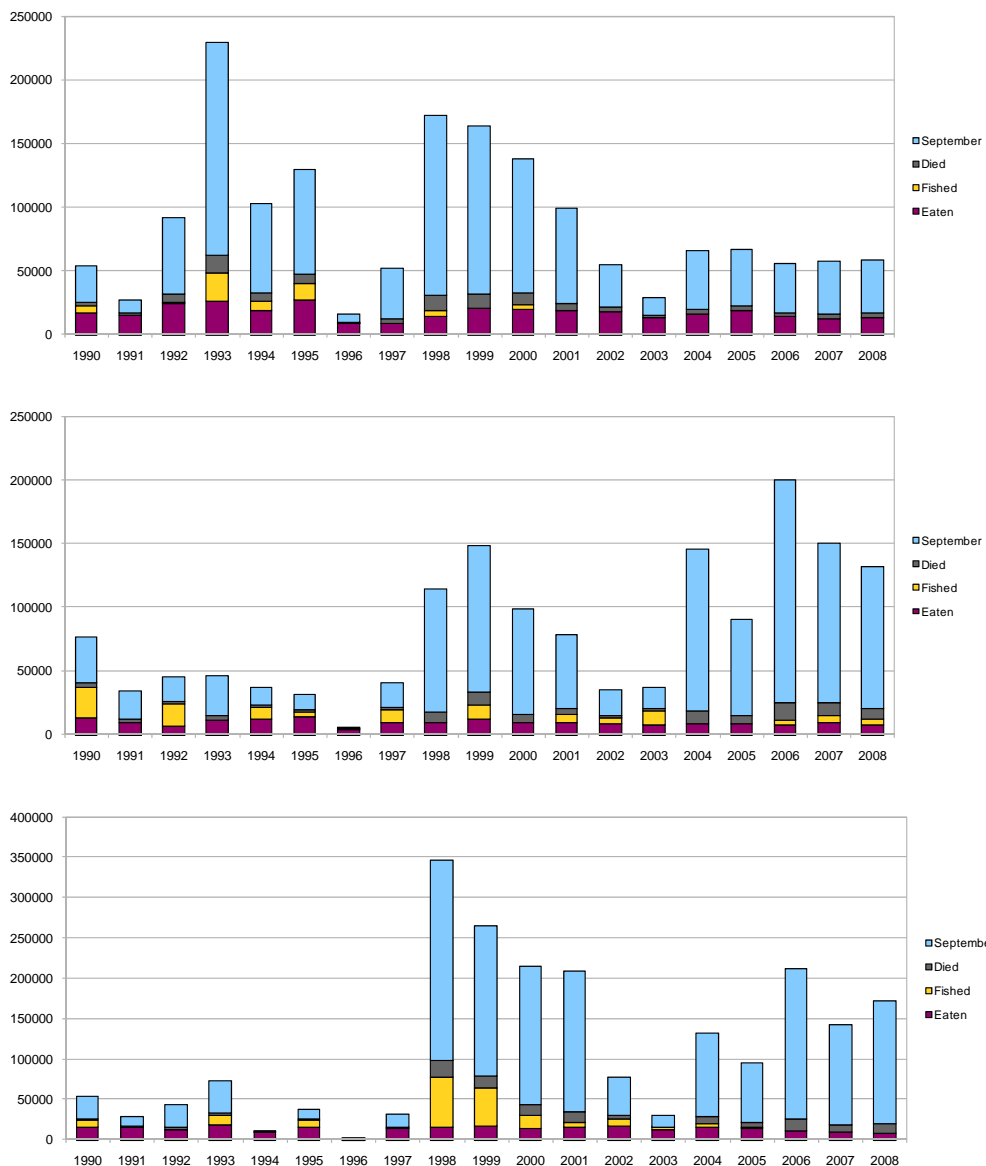
Figuur 6.16. Het met WEBTICS berekende dieet voor Scholeksters in West (bovenste grafiek), Midden (middelste grafiek) en Oost (onderste grafiek). Andere prooien worden op het wad gegeten op grond van de aanname dat er altijd wel alternatieve zeer onaantrekkelijke prooien zijn waarop de vogels in geval van nood kunnen foerageren en dan een zeer lage opnamesnelheid halen. Als de vogels met laagwater te weinig voedsel kunnen vinden, kunnen ze met hoogwater in de weilanden naar regenwormen zoeken.

jaar	bron	mechanisch	bron	hand
1977	1	2.596		
1978	1	1.746		
1979	1	0.792		
1980	1	6.939		
1981	1	6.757		
1982	1	5.884		
1983	1	7.284		
1984	1	7.054		
1985	1	5.778		
1986	1	2.461		
1987	1	1.191		
1988	1	8.344		
1989	1	8.409		
1990	1	5.544		
1991	1	0.000		
1992	1	2.500		
1993	1	4.725		
1994	1	2.382		
1995	1	3.547	2	0.034
1996	1	0.000	2	0.020
1997	1	1.446	2	0.056
1998	1	9.338	2	0.133
1999	1	7.800	2	0.536
2000	1	2.590	2	0.330
2001	1	1.763	2	0.052
2002	3	1.830	4	0.036
2003	5	1.800	4	0.009
2004	5	0.400	4	0.281
2005			4	0.365
2006			4	0.573
2007			4	0.807
2008			4	0.589

Tabel 6.1. Gegevens over de jaarlijkse kokkelvisserij (miljoenen kg vleesgewicht) voor de mechanische kokkelvisserij en de handmatige kokkelvisserij. De nummers verwijzen naar de bron. 1: Figuur 9 in (Kamermans et al. 2003); 2: Figuur 10 in (Kamermans et al. 2003); 3: Tabel 5.5 in (Taal et al. 2003); 4: feiten en cijfers over kokkelvisserij op www.waddenzee.nl; 5: Figuur 15 in (Kesteloo-Hendrikse et al. 2005).



Figuur 6.17. Het percentage van het kokkelbestand in september (schatting uit voorjaarsurvey van IMARES) dat weggevisst is door kokkelvisserij (schatting op basis data Tabel 6.1). Er is aangenomen dat het vleesgewicht 15% van het versgewicht is (een standaard omrekeningsfactor). Ook is aangenomen dat alle visserij plaatsvond in september.



Figuur 6.18. Het lot van de kokkelbestanden (ton versgewicht) in september voor de periode 1990-2008 voor West (=westelijke Waddenzee, boven), Ameland (midden) en Oost (=oostelijke Waddenzee, onder). Weergegeven is welk deel van het septemberbestand volgens de berekeningen met WEBTICS is opgegeten door Scholeksters (Eaten), is weggevist (Fished) of omgekomen door de additionele achtergrondsterfte (Died). Voor visserij is uitgegaan van scenario A.

- A. Visserij vindt plaats op alle kokkelbanken
- B. Alleen visserij op kokkelbanken die korter droog liggen dan 50% van de tijd
- C. Alleen visserij op kokkelbanken die langer droog liggen dan 50% van de tijd

De met het model berekende sterfte onder de Kokkels wordt veroorzaakt door: (1) kokkelvisserij, (2) predatie door Scholeksters, (3) een vaste lage achtergrondsterfte. Voor een uitgebreide documentatie over de wijze waarop deze berekeningen worden uitgevoerd, zie Rappoldt *et al.* (2004). Voor de omvang van de kokkelvisserij zijn de getallen uit Tabel 6.1 benut. De kokkelbestanden fluctueren zeer sterk en de berekende sterfte door Scholeksters en visserij is hoog wanneer het kokkelbestand laag is (Figuur 6.18). Toen mechanische kokkelvisserij nog was toegestaan waren er regelmatig jaren waarin de kokkelsterfte door visserij veel hoger was dan de kokkelsterfte door predatie door Scholeksters. Nu alleen nog handmatige kokkelvisserij is toegestaan sterven de meeste meerjarige Kokkels, op grond van

de incomplete gegevens, als gevolg van predatie door Scholeksters. Volgens het vigerend beleid mogen de handkockelaars jaarlijks maximaal 5% van het bestand wegvissen, maar sinds 2004, toen voor het laatst ook mechanisch op Kokkels werd gevist, varieert de berekende visserijdruk tussen de 1% en 1,5% van het septemberbestand (Figuur 6.17).

6.2.2.5 Draagkrachtberekeningen

In Tabel 6.2 valt af te lezen dat in de periode 1990-2000 de gemiddelde aantallen Scholeksters in alle gebieden veel hoger lagen dan de met WEBTICS berekende draagkracht. Het is daarom niet verbazingwekkend dat de aantallen Scholeksters in alle gebieden zijn afgenomen. Procentueel verdwenen de meeste Scholeksters in West (25%) en Midden (29%) en de minste Scholeksters in Oost (13%). Volgens de berekeningen voor de periode 2001-2008 is het aantal overwinterende Scholeksters nog steeds hoger dan de draagkracht in West en Midden, terwijl het aantal Scholekster in Oost nu onder de draagkracht ligt.

Het berekende draagkrachtverlies door kokkelvisserij lag hoger in de periode 1990-2000 dan in de periode 2001-2008. Het hoogste draagkrachtverlies werd berekend voor het wad onder Ameland. Zoals verwacht hebben de aannames over de wijze waarop visserij plaats heeft gevonden een effect op het berekende draagkrachtverlies. Vooral scenario C, waarbij alleen de lang droog liggende banken worden bevestigd die van groot belang zijn voor de Scholeksters, leidt tot een extreem draagkrachtverlies in de periode 1990-2000 van 46% voor West en 49% voor Ameland.

Tabel 6.2. Resultaten van draagkrachtberekeningen met WEBTICS voor West, Ameland (midden) en Oost voor de periode 1990-2000 en 2001-2008. De draagkracht is berekend zonder kokkelvisserij en met kokkelvisserij. Ook weergegeven het gemiddelde aantal overwinterende Scholeksters in die periode.

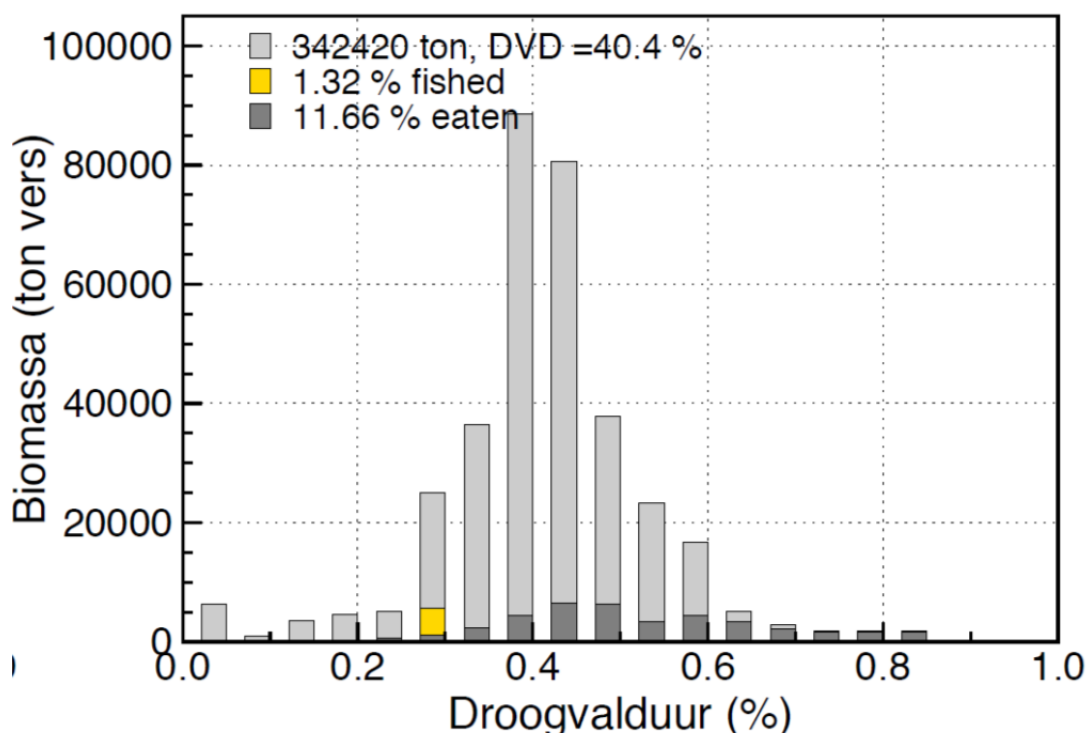
	West	Ameland	Oost
Periode 1990-2000			
Draagkracht zonder visserij	36.375	20.117	43.003
Draagkracht met visserij (scenario A)	35.822	17.701	38.961
% draagkrachtverlies door visserij (scenario A)	2%	12%	9%
Draagkracht met visserij (scenario B)	35.957	17.640	42.149
% draagkrachtverlies door visserij (scenario B)	1%	12%	2%
Draagkracht met visserij (scenario C)	19.794	10.331	37.383
% draagkrachtverlies door visserij (scenario C)	46%	49%	13%
Gemiddeld aantal Scholeksters	73.037	47.767	59.766
Periode 2001-2008			
Draagkracht zonder visserij	29.590	32.773	76.443
Draagkracht met visserij (scenario A)	29.590	30.680	74.201
% draagkrachtverlies door visserij	0%	6%	3%
Draagkracht met visserij (scenario B)	29.590	30.572	74.557
% draagkrachtverlies door visserij (scenario B)	0%	7%	2%
Draagkracht met visserij (scenario C)	29.590	29.840	72.346
% draagkrachtverlies door visserij (scenario C)	0%	9%	5%
Gemiddeld aantal Scholeksters	55.069	33.993	51.801

6.2.2.6 Discussie

Er is weinig twijfel dat de visserijdruk op Kokkels sterk afgenomen sinds het moment dat er alleen nog maar handmatig op Kokkels mag worden gevist (Figuur 6.17). De precieze visserijdruk is echter onzeker omdat:

1. er sprake is van onzekerheid in de bestandschatting (Bult *et al.* 2004b)
2. extra onzekerheid wordt geïntroduceerd doordat de mei-schatting van het bestand moet worden omgerekend naar het september-bestand
3. er moet worden aangenomen dat het vleesgewicht (meting opgeviste Kokkels) 15% van het versgewicht (meting van het kokkelbestand) is. Deze factor is gebaseerd op een gemiddelde waarde, maar zal van plaats tot plaats en van jaar tot jaar verschillen
4. er wordt aangenomen dat alle visserij in september plaatsvindt.
5. Dat laatste leidt zeker tot een onderschatting van de omvang van de handmatige kokkelvisserij, omdat die het hele jaar plaatsvindt. In september zijn de vleesgewichten het hoogste, maar aan het einde van de winter is de hoeveelheid vlees per Kokkel vaak gehalveerd. Om dezelfde hoeveelheid vlees te vissen moeten dan twee keer zoveel Kokkels worden gevangen.

Omdat wij voor deze rapportage geen gegevens konden achterhalen over de precieze locatie van de handmatige kokkelvisserij is aangenomen dat de visserij plaatsvond op de rijkste kokkelbanken. In scenario A waren dit vrijwel steeds kokkelbanken die maar kort droogvielen. Een typisch voorbeeld is te zien in Figuur 6.19. Visserij op kort droogvallende kokkelbanken leidt in WEBTICS niet of nauwelijks tot verlaging van de draagkracht (Rappoldt *et al.* 2006). In Figuur 6.19 is ook te zien dat de lang droog liggende kokkelbanken volgens het model volledig worden opgegeten door de Scholeksters. Uit eigen observatie weten wij dat de handmatige kokkelvisserij ook wel degelijk op lang droog liggende banken heeft plaatsgevonden, bijvoorbeeld op een bank dicht onder de kust van Ameland. Goede berekeningen aan het effect van handkokkelvisserij op draagkracht voor Scholeksters zijn dan ook pas mogelijk wanneer er gegevens beschikbaar komen over de hoogteligging van de banken waar de Kokkels worden weggevist.



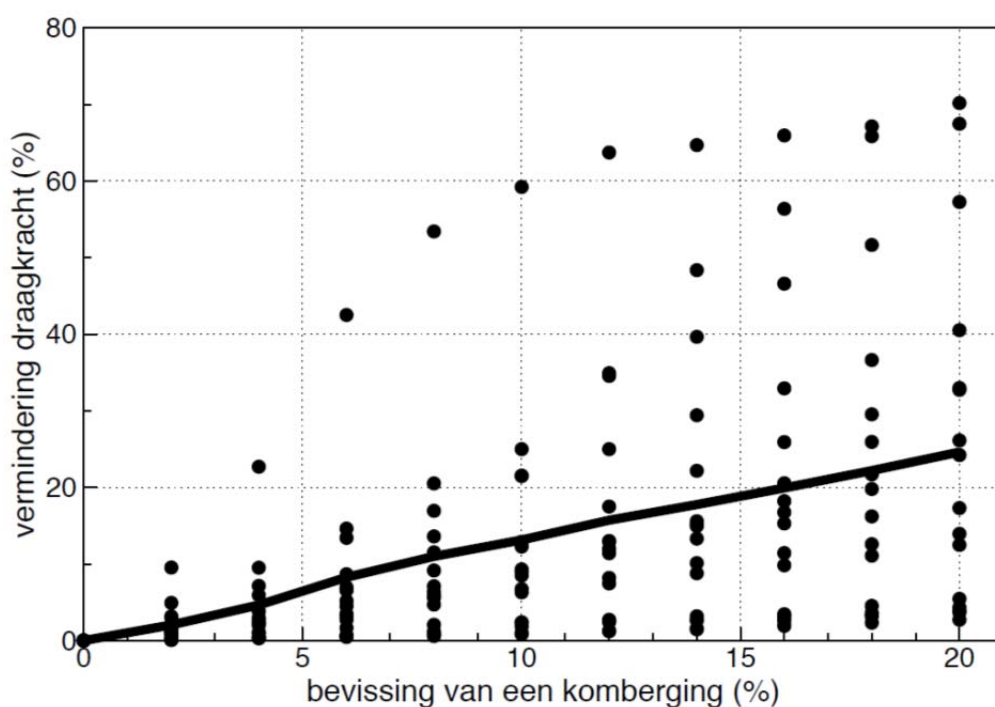
Figuur 6.19. Verdeling van de kokkelbiomassa (ton versgewicht) over droogvalduur. Aangegeven is welk deel volgens de berekeningen met WEBTICS onder visserij scenario A is weggevist (geel) en welk deel door Scholeksters is gepredeerd (donkergrijs). Nadere toelichting: zie Rappoldt *et al.* (2006).

Om het belang van goede kennis over de locatie van de kokkelvisserij verder te ondersteunen zijn ook nog scenario-berekeningen uitgevoerd over verschillende visserij-intensiteiten per komberging (Figuur 6.20). In de scenario-berekeningen varieert de opgelegde visserij tussen 0% en maximaal 20% in de

betreffende komberging (bij een maximaal toegestane visserij van 5% op het totale bestand in de Waddenzee is een dergelijke visserijdruk in een komberging zeker mogelijk als een groot deel van de visserij zich richt op de betreffende komberging – in de jaren 2008-2010 varieerde de visserijdruk op meerjarige Kokkels in dichtheden boven de 50 Kokkels per m² in gebied 6 onder de oostpunt van Ameland en gebied 8 onder Simonszand jaarlijks tussen 27% en 47%). Daarnaast zijn steeds twee extreme scenario's aangenomen:

1. alleen visserij op banken met een droogvalduur lager dan 45%
2. alleen visserij op banken met een droogvalduur hoger dan 45%.

Onder het eerste scenario zal visserij weinig effect hebben. Onder het tweede scenario zal visserij veel effect hebben. Er is inderdaad sprake van een zeer grote variatie in de uitkomsten. Bij een hoge visserijdruk varieert de mogelijke uitkomst tussen vrijwel geen effect tot een zeer groot verlies aan draagkracht. Zonder goede gegevens over de handmatige kokkelvisserij m.b.t. omvang, hoogteligging en geografische locatie, is het niet mogelijk om een wetenschappelijk verantwoorde inschatting te maken over het effect van deze visserij op de draagkracht voor Scholeksters. De omvang van de vangsten is per deelgebied bekend, maar de deelgebieden vallen niet samen met kombergingen. Wat niet wordt geregistreerd is de hoogteligging van de banken waarop wordt gevist.



Figuur 6.20. Scenario-berekeningen over het effect van kokkelvisserij per komberging op de draagkracht voor overwinterende Scholeksters in de desbetreffende komberging. Berekeningen zijn uitgevoerd voor 8 kombergingen met voldoende gegevens en twee scenario's: (1) alleen visserij op banken met een droogvalduur lager dan 45%, (2) alleen visserij op banken met een droogvalduur hoger dan 45%. De lijn is de gemiddelde waarde over de 8 kombergingen en de twee scenario's per bevisningsintensiteit.

Elk model is gebaseerd op aannames en parameterschattingen en gaat per definitie gepaard met wetenschappelijke onzekerheid en WEBTICS is daarop geen uitzondering. Absolute zekerheid bestaat niet in de wetenschap. Het is daarom belangrijk om voortdurend kritisch te blijven over de resultaten van de modelberekeningen en tijd en energie te investeren in het toetsen en verbeteren van het model. Tot nu toe heeft WEBTICS deze kritische toetsingen glansrijk doorstaan. Het model is gekalibreerd met data voor de Waddenzee en de Oosterschelde over de periode 1990-2001 (Rappoldt *et al.* 2003a; Rappoldt *et al.* 2003b). De voorspellingen over draagkracht van een nieuw estuarium, de Westerschelde, kwamen

goed overeen met de waargenomen aantallen Scholeksters (Rappoldt & Ens 2005, Rappoldt & Ens 2006) en de voorspelling tijdens het EVA II onderzoek dat de aantallen Scholeksters in de Waddenzee verder zouden afnemen is ook uitgekomen (Rappoldt *et al.* 2008). Ook in de Oosterschelde blijven de aantallen zoals voorspeld verder afnemen (Rappoldt *et al.* 2006). Twee zaken verdienen echter aandacht:

1. de voorspelling dat de draagkracht voor Scholeksters vooral bepaald wordt door de lang droog liggende schelpdierbanken,
2. het feit dat WEBTICS geen rekening houdt met de dynamiek van jaar op jaar (zowel wat betreft de populatiedynamica van de schelpdieren als de Scholeksters) en met de mogelijkheid dat de omstandigheden ook buiten de Waddenzee kunnen veranderen.

De voorspelling dat de draagkracht vooral bepaald wordt door de lang droog liggende schelpdierbanken is niet alleen van belang voor voorspellingen over de effecten van kokkelvisserij, maar ook voor voorspellingen over de effecten van bodemdaling door gaswinning. Toetsing van die voorspelling is dus van groot belang. Om die reden financiert de NAM een groot onderzoek aan Scholeksters die met GPS-zenders worden uitgerust en die de hele winter worden gevolgd (Wiersma *et al.* 2011). Dit onderzoek zal in 2012 worden afgerond.

Het feit dat de berekeningen met WEBTICS zich beperken tot de periode van een winterseizoen betekent dat cumulatieve effecten van visserij niet worden meegenomen. Ook kan geen duidelijkheid worden verschaft over de snelheid waarmee de aantallen Scholeksters zich zullen aanpassen aan een verandering in de draagkracht. Tenslotte kunnen veranderingen buiten de Waddenzee ook effect hebben op de aantallen Scholeksters die in de Waddenzee overwinteren (Ens *et al.* 2009a). Die effecten kunnen alleen verdisconteerd worden als het draagkrachtmodel WEBTICS gekoppeld wordt aan een populatiedynamisch model zoals ontwikkeld voor de Scholekster populatie op Schiermonnikoog (van de Pol *et al.* 2010b). Dat betekent dat het Scholeksterpopulatiemodel zich niet moet beperken tot Schiermonnikoog, maar moet worden uitgebreid met alle Waddenzee-standvogels, binnenlandbroeders en broedvogels uit meer noordelijke streken.

6.3 Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen

Uit de in de afgelopen jaren uitgevoerde tellingen blijkt dat de aantallen Scholeksters die tegenwoordig in de Waddenzee worden aangetroffen duidelijk lager zijn (gemiddeld 108.000 vogels in de telseizoenen 2004-2005 t/m 2008-2009, www.sovon.nl) dan de geformuleerde Instandhoudingsdoelstelling van 140.000-160.000 vogels. Dit is ook het geval in de Noordzeekustzone. Hier waren in de telseizoenen 2004-2005 t/m 2008-2009 gemiddeld 1825 Scholeksters aanwezig terwijl de Instandhoudingsdoelstelling op 3300 vogels ligt (www.sovon.nl). Mosselen en Kokkels en in mindere mate andere schelpdieren zoals Nonnetjes, maar ook wormen en krabben, zijn voor Scholekster in de Waddenzee de belangrijkste voedselbron. Het EVA II onderzoek concludeerde dat het verdwijnen van de droogvallende mosselbanken rond 1990 de belangrijkste oorzaak was van de afname van de Scholekster en voorspelde een verdere afname van de aantallen overwinterende Scholeksters (Ens *et al.* 2004). Deze afname is inderdaad opgetreden. Nu de mosselbanken in de oostelijke Waddenzee voor een deel zijn teruggekeerd vormen zij in toenemende mate weer een belangrijke voedselbron, tenzij de banken volledig overgroeid raken door Japanse oesters. In de westelijke Waddenzee is geen sprake van een dergelijk herstel van de droogvallende mosselbanken en dalen de aantallen Scholeksters sneller dan in de oostelijke Waddenzee. In dit gebied zijn ook de aantallen Kokkels sterk gedaald terwijl ook de populatie van het Nonnetje, een belangrijke alternatieve voedselbron, is ingestort. Op basis hiervan lijkt het aannemelijk dat de verbeterdoelstelling voorlopig niet gerealiseerd gaat worden. Of een ander beleid, bijvoorbeeld wat betreft de kokkelvisserij, die verbeterdoelstelling dichterbij zou brengen, valt niet te beantwoorden zonder betere gegevens over die kokkelvisserij.

6.4 Samenvatting en slotopmerkingen

- Een meetprogramma gebaseerd op stabiele isotopen leverde (in ieder geval op de korte termijn) onvoldoende informatie om zinnig antwoord te kunnen geven op vragen over de dieetkeus van Scholeksters en de relatie met mortaliteit van de Scholeksters.
- Dieetkeus kon wel goed worden afgeleid van de snavelvorm van de Scholeksters. Vogels met een puntige snavel specialiseren zich in de zomer op wormen en vogels met een stompe snavel specialiseren zich in de zomer op schelpdieren. Vogels die beide prooien veel eten hebben een intermediaire snavelvorm.
- Individuele Scholeksters kunnen veranderen van specialisatie. Binnen een jaar lijken de meeste individuen gedurende de lente en zomermaanden nog wel consistent te zijn in hun voedselspecialisatie.
- We vonden weinig aanwijzingen dat bepaalde individuen levenslang gebonden zijn aan één type snavelvorm, en daarmee voedselspecialisatie. Er blijkt een grote mate van tussen-jaar plasticiteit te zijn waarbij Scholeksters hun snavelvorm aanpassen aan de omstandigheden of het habitat waarin ze leven. Gedurende hun leven zullen de meeste individuen dus zeker één keer en waarschijnlijk verschillende malen van snavelvorm wisselen.
- Snavelvorm had geen aantoonbaar en simpel verband met overleving.
- Na zachte winters hebben vogels met een intermediaire snavelvorm (dieet-generalisten) een hogere overleving en reproductie, terwijl na strenge winters de vogels met een *Pointed* of een *Blunt* snavel, oftewel de specialisten, het juist beter doen.
- In de periode 1990-2000 lag de met WEBTICS berekende draagkracht ver onder de aantallen in de Waddenzee overwinterende Scholeksters. Het EVA II onderzoek concludeerde dat het verdwijnen van de droogvallende mosselbanken rond 1990 de belangrijkste oorzaak hiervan was en voorspelde een verdere afname van de aantallen overwinterende Scholeksters (Ens *et al.* 2004). Deze afname is inderdaad opgetreden. Nu de mosselbanken in de oostelijke Waddenzee zijn teruggekeerd zijn zij in toenemende mate weer een belangrijke voedselbron geworden.
- De voor de periode 2001-2008 berekende draagkracht ligt nog steeds lager dan de aantallen Scholeksters die in de periode 1990-2000 in de Waddenzee overwinterden. Dit kan samenhangen met het feit dat er maar zeer gering herstel van mosselbanken heeft plaatsgevonden in de westelijke Waddenzee. Daarnaast is de populatie van het Nonnetje, een belangrijke alternatieve voedselbron, ingestort.
- Het lijkt aannemelijk dat kokkelvisserij voor een verlaging van de draagkracht zorgde, zowel in de periode 1990-2000, als in de periode 2001-2008. Echter, de omvang van de berekende draagkrachtverlaging hangt sterk af van het gekozen scenario voor visserij.
- Het is opvallend dat in de periode 2001-2008 de aantallen overwinterende Scholeksters in de westelijke Waddenzee nog steeds hoger zijn dan de berekende draagkracht, terwijl de aantallen in de oostelijke Waddenzee nu onder de draagkracht liggen. Een goede verklaring hiervoor ontbreekt.
- Realistische berekeningen over het effect van handkokkelvisserij op de draagkracht voor overwinterende Scholeksters zijn pas mogelijk als er goede gegevens beschikbaar komen over de droogvalduur van de banken waar de Kokkels precies worden opgevist. Op basis van de huidige registratie per deelgebied is het niet mogelijk de hoogteligging en dus de droogvalduur van de beviste banken te bepalen.
- WEBTICS beperkt zich tot draagkrachtberekeningen per winter. De snelheid waarmee de Scholeksterpopulatie zich aanpast aan een verandering in draagkracht kan niet worden voorspeld en het effect van veranderingen buiten de Waddenzee (bijvoorbeeld in binnenlandse broedgebieden) kan niet worden verdisconteerd. Er is daarom behoefte aan de ontwikkeling van een model dat de draagkrachtberekeningen met WEBTICS koppelt aan de populatiedynamica van alle Scholekster populaties die in de Waddenzee overwinteren.

7 Steenloper

Bijdragen: C.J. Smit (redactie + onderzoeksvraag), J. Cremer & L. Haloui (nader onderzoek m.b.t. prooidierkeuzes)

7.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren

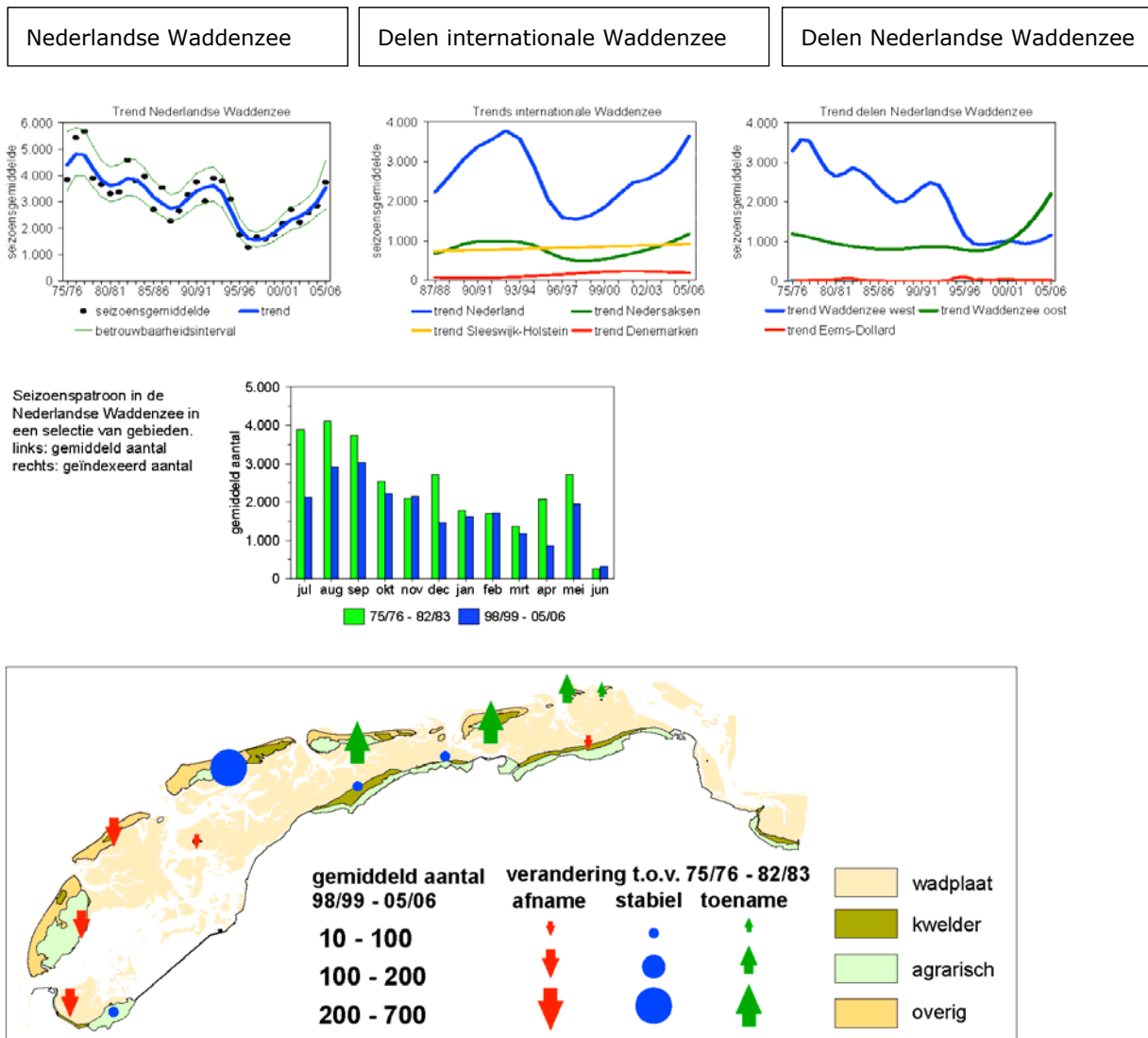
7.1.1 Aantallen

De Steenloper broedt langs de kusten van Fenno-Scandinavië en in de toendra's in Siberië, Noord Amerika, Groenland en Spitsbergen. De meest nabij gelegen broedlocaties zijn de kusten in het noorden van Noorwegen en de eilanden in de Oostzee, Kattegat, Skagerrak. De Steenloper is een kosmopolitische overwinteraar die alleen langs kusten overwintert, variërend van rostkusten in Schotland, zandstranden en slikkiger gebieden in gematigde streken en stranden en kokosnooteilanden in de tropen. De in Nederland overwinterende vogels zijn grotendeels afkomstig uit Groenland en Noordoost Canada, de uit Fenno-Scandinavië en Siberië afkomstige doortrekkers overwinteren groten-deels in West Afrika (Bijlsma *et al.* 2001, Delany *et al.* 2009). De scheiding van de overwinterings-gebieden van de twee populaties is minder absoluut dan in het verleden werd aangenomen.

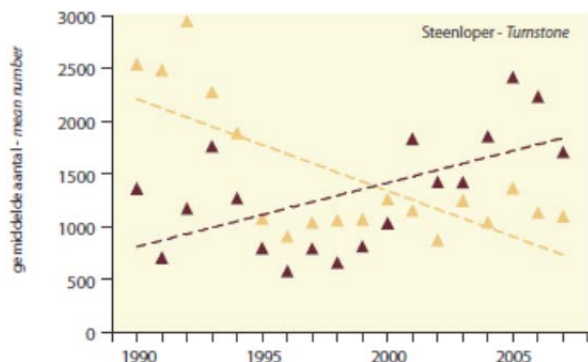
De Steenloper is in Nederland sterk gebonden aan kusten en inter-getijdengebieden, zowel rotskusten, zandstranden als zandig en slikkig wad. De soort heeft hierbij een voorkeur voor het vloedmerk, voor wierevelden en mosselbanken. Daarnaast komt de Steenloper voor op stenige taluds van dijken en kunstwerken zoals havens en pieren, vooral wanneer deze begroeid zijn met wieren. In de zomermaanden heeft de soort een sterke voorkeur voor mosselbanken en wad dat bedekt is met Darmwier *Enteromorpha* (Zwarts 1970). In de winter, wanneer de darmwierevelden zijn verdwenen, verschuift het foerageergebied van de soort naar dijken en golfbrekers (Becuwe 1973). Tijdens periodes van harde wind en verhoogde waterstanden, wanneer de inter-getijdengebieden niet droogvallen, wordt ook binnendijs in natte graslanden gefoerageerd. In de trektijd zijn de kusten van Nederland, Duitsland, Denemarken, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk, Spanje en Portugal van belang, evenals die van West Afrika. Grote concentraties worden hier echter niet aangetroffen. De totale grootte van de populatie die afkomstig is uit het Noordoost Canada en Groenland bedraagt 94.000 exemplaren, de grootte van de populatie uit Fenno-Scandinavië en Noordwest Rusland wordt geschat op 46.000-119.000, die uit West en centraal Siberië bestaat uit 100.000 vogels. Volgens Blew *et al.* (2005) gebruikt ongeveer 7% van de Canadese en Groenlandse, samen met de Fenno-Scandinavische en Russische populatie de (internationale) Waddenzee gedurende enig moment tijdens de trekperiode. Kersten (1996) becijfert dat waarschijnlijk de gehele Fenno-Scandinavische en Noordwest Russische populatie in de herfst van de internationale Waddenzee gebruik maakt. De grootte van deze populatie wordt geschat op 20.000-25.000 paren.

De Steenloper is gedurende het hele jaar in de Waddenzee aanwezig, het aantalsverloop kent geen grote pieken of dalen. Een uitzondering vormen de maanden juni en juli/augustus. In juni zijn vrijwel alle Steenlopers naar de broedgebieden vertrokken, in juli/augustus trekt gedurende korte tijd de Fenno-Scandinavische populatie door. Van september tot en met december schommelen de aantallen rond de 3000 exemplaren. Gedurende de voorjaarsmaanden liggen de aantallen wat lager. Het aantalsverloop in de Nederlandse Waddenzee vertoont een golvend patroon van toenames en afnames (zie Figuur 7.1 en 7.2). Tussen de jaren '70 en 1997/98 zijn de aantallen in Nederland ruwweg gehalveerd. Deze afname is zowel waargenomen in de Waddenzee als in de Delta, maar in de Waddenzee lijkt de trend sinds de winter van 1997/98 enigszins gekeerd. Behalve in de Waddenzee overwinterden er in januari 1998 1200 Steenlopers langs de kusten van de Waddeneilanden, de Noord- en Zuid-Hollandse kust en de Zeeuwse

kust (van Roomen *et al.* 2008). In het Deltagebied zijn in de wintermaanden 1000-1500 Steenlopers aanwezig en blijven de aantallen min of meer gelijk (Hustings *et al.* 2008).



Figuur 7.1. Trend van de Steenloper in de Waddenzee (links), in de internationale Waddenzee (midden) en in verschillende delen van de Nederlandse Waddenzee (rechts). De weergegeven seizoen gemiddelden zijn de gemiddelde aantallen vogels in een bepaald telseizoen (juli t/m juni) die zijn berekend uit de uitgevoerde tellingen of (indien niet beschikbaar) schattingen voor een bepaalde maand op basis van een interpolatie-techniek (imputing). Deze maandelijkse resultaten zijn vervolgens verwerkt tot een gemiddelde voor dat telseizoen. In de figuur links boven is voor elk telseizoen het gemiddeld aantal vogels en het betrouwbaarheidsinterval weergegeven. In de hieronder weergegeven figuren zijn de aantallen in de loop van het jaar weergegeven, uitgesplitst in 2 perioden en de veranderingen in de populatiegrootte per eiland en kustgebied in de 2 onderscheiden perioden (Bron: Smit *et al.* 2011)



Figuur 7.2. Ontwikkeling in de jaarlijkse aantallen van de Steenloper in de westelijke en oostelijke Waddenzee in 1990-2008. De lineaire trend is weergegeven met regressielijnen waarbij de donkere symbolen de trend in de oostelijke Waddenzee weergeeft en de lichte symbolen die in de westelijke helft. Bron: Ens *et al.* (2009a).

De grootte van de Canadees/Groenlandse populatie wordt tegenwoordig hoger ingeschat, terwijl in West Afrika, in de overwinteringsgebieden van de Fenno-Scandinavisch/Noordwest Russische populatie, een afname wordt geconstateerd (Delany *et al.* 2009). In het geval van de Canadese/Groenlandse populatie is er eerder sprake van een betere schatting van de populatie broedvogels dan van aantalsveranderingen. Niettemin wordt de omvang van de populatie tegenwoordig groter ingeschat terwijl de getelde aantallen in de Nederlandse Waddenzee zijn afgenomen. De aantallen in de internationale Waddenzee worden vrij sterk bepaald door de aantallen in Nederland en vertonen een vergelijkbaar patroon (Blew *et al.* 2007). Elders in Europa zien we een afname in Schotland (Dott 1997). Een mogelijke reden voor de geconstateerde achteruitgang is dat er onder invloed van klimaatverandering een verschuiving van de overwinteringsgebieden optreedt, waarbij meer vogels in noordelijker gelegen kustgebieden, zoals Noorwegen, blijven overwinteren (Rehfisch *et al.* 2004). Vooral nog is echter onduidelijk om welke aantallen het gaat. Een andere mogelijkheid is dat deze veranderingen een gevolg van het verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Waddenzee in vooral Nederland en Nedersachsen in het begin van de jaren '90 (zie Figuur 7.8).

7.1.2 Voedsel

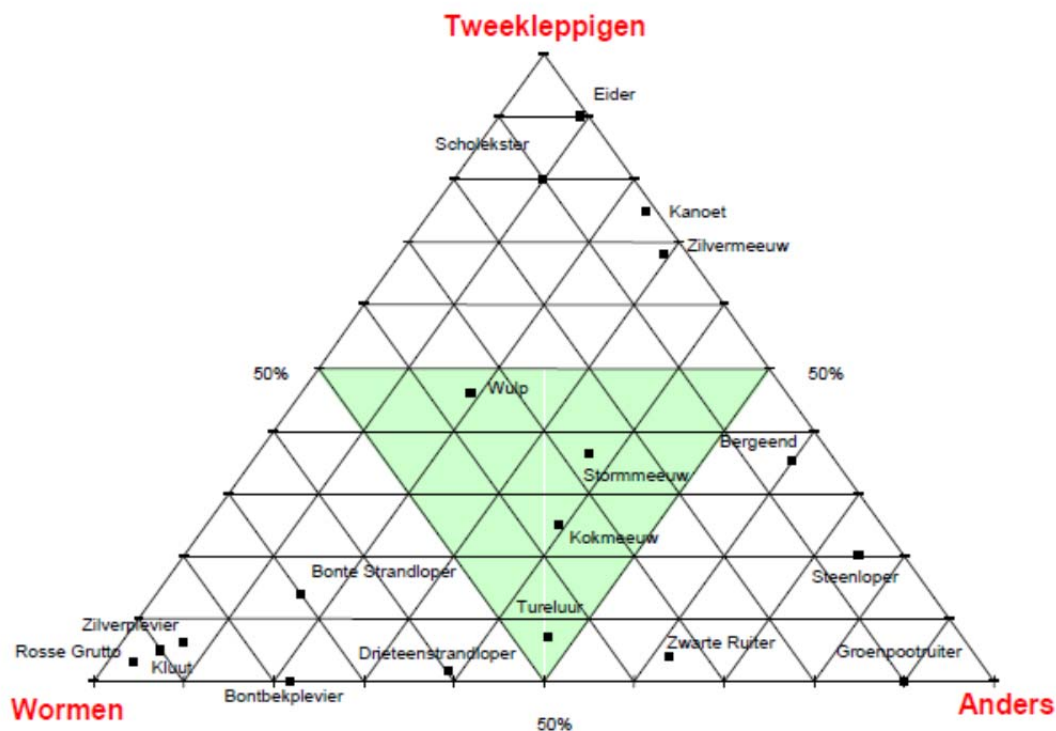
Steenlopers foerageren vooral op rotsen (of surrogaat rotskusten zoals kades, strekdammen, dijkvoeten), droogvallende mosselbanken en bij hoogwater ook wel op kwelderranden, aanspoelselranden, havenkades of nog hoger op de kust. Ze eten vermoedelijk alles wat eetbaar is, waaronder aas. Ook wordt vaak voedsel gezocht aan de randen van pakketten Zeesla *Ulva* of Darmwier. Hierbij wordt het materiaal met de snavel opgelicht en worden kleine kreeftachtigen en wormen bemachtigd. Deze manier van foerageren is alleen mogelijk wanneer er pakketten wier op de drooggevallede intergetijdeplaten aanwezig zijn, wat vooral in de nazomer het geval is. Op Schiermonnikoog vormde dit habitat een belangrijk foerageergebied (Zwarts 1970). Daarnaast wordt ook vaak op drooggevallede mosselbanken gefoerageerd waar een veelheid aan prooien wordt bemachtigd, zoals kleine krabben, wormen, restanten van prooien van Scholeksters en mosselbroed (Zwarts 1991a).

Als één van de weinige soorten steltlopers kunnen Steenlopers levende Zeepokken *Balanus* eten, waarvan ze de "schelp" met hun snavel open hakken (Groves 1978). Het dieet bestaat echter meestal uit allerlei kleine diertjes die ze onder en tussen en onder schelpen en steentjes vinden, maar hoewel dit vaak onder de ogen van waarnemers gebeurt, is er betrekkelijk weinig informatie. De meest omvangrijke studie is die van Meelis (1964ab) die op Vlieland Steenlopers observeerde en ook magen en faeces onderzocht. Hij vond een divers spectrum aan prooien: tweekleppigen (kleine Mosselen, Nonnetjes en Strandgapers), gastropoda (Wadslakjes, Alikruiken), vrij veel Zeeduizendpoten en verder krabben, Slijkgarnaal, insecten en vis (grondels). Verder zijn er uit de Waddenzee alleen wat waarnemingen van

Nolet (1983), die Steenlopers op Terschelling Slijkgarnalen zag eten en van Steketee (1976), die zag dat op Vlieland krabben en Slijkgarnalen werden gegeten. In de Westerschelde werden schelpdieren, waaronder Nonnetjes, Wadslakjes, Zeeduidendpoten, Slijkgarnalen en insecten als prooien gevonden, plus mossel- en kokkelvlees in de aangevoerde vangsten van schelpdiervissers (Ruiters 1992). Waarschijnlijk wordt bij deze dieetstudies de rol van tweekleppige schelpdieren onderschat. Vaak worden door Steenlopers ook de laatste restanten van schelpdieren uit de openstaande schelpen gegeten die door Scholeksters zijn bemachtigd (Cramp & Simmons 1983, Smit ongepubl. waarnemingen). Deze resten bestaan geheel uit vlees, dat geen sporen in de braakballen of faeces achterlaat.

Naar een schatting van Davidson & Morrison (1992) verbruiken Steenlopers gemiddeld ongeveer 380 kJ per dag. Dat houdt in dat de dagelijkse voedselbehoefte ongeveer 17 gram asvrij drooggewicht bedraagt, ofwel 85 gram vlees. Een prooidier als de Gewone Alikruik *Littorina littorea*, die ongeveer 18 mm kan worden, bevat ruwweg 0.02 g asvrij drooggewicht. Als een verteringsefficiëntie van 80% wordt aangehouden, zou een Steenloper 1200 Alikruiken per dag moeten verschalken, wat overeenkomt met 50 stuks per uur (over 24 uur gemeten).

Uit een door Leopold *et al.* (2004) uitgevoerde literatuurstudie kon de in Figuur 7.3 weergegeven synthese worden afgeleid. Ook hieruit blijkt dat de Steenloper in principe een alleseeter is met een zeer gevarieerde menukeuze.



Figuur 7.3. Het dieet van wadvogels samengevat in één driehoek. Het dieet van iedere soort is weergegeven door één punt in dit vlak. De afstand tot elk van de hoekpunten geeft het relatieve belang van tweekleppige schelpdieren (boven), wormen (linksonder) en andere prooien (rechtsonder) in het dieet aan: hoe kleiner deze afstand, dus hoe dichter het punt bij een hoekpunt ligt, hoe groter het relatieve belang van de daar aangegeven prooigroep (Leopold *et al.* 2004).

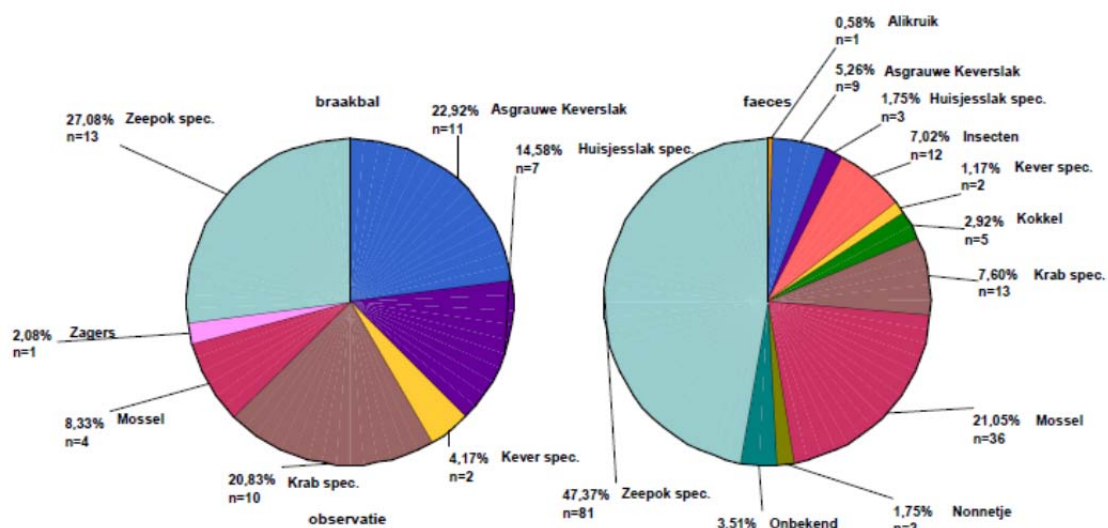
7.2 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag luidt:

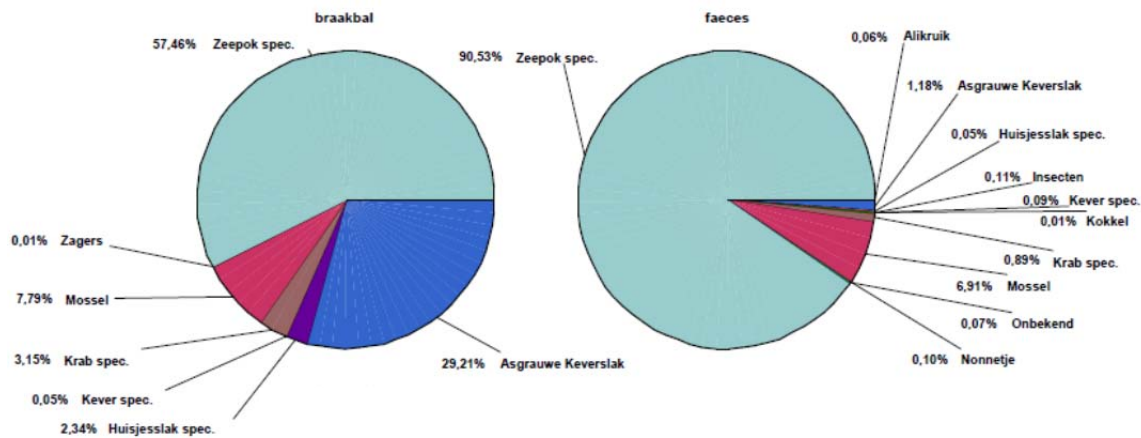
Welke factoren zijn bepalend voor de populatiegrootte-ontwikkeling van de Steenloper en de negatieve trend in de aantallen die de Waddenzee en Noordzeekustzone bezoeken.

Tot op heden is het voedsel van de Steenloper in de Waddenzee niet door middel van een degelijke studie beschreven. Om deze reden is, in het kader van het BO-Draagkracht onderzoek, aandacht aan deze materie besteed door vaste verzamelplaatsen van Steenlopers te bezoeken en daar faeces en braakballen te verzamelen. Daarnaast is getracht om de historische verspreiding van de soort in beeld te brengen, teneinde de rol van droogvallende mosselbanken duidelijk te krijgen. Over beide onderdelen is gerapporteerd (Cremer & Smit 2009, Haloui 2009).

De literatuurstudie van Cremer & Smit (2009) is een bevestiging van de eerder verkregen resultaten. De literatuur omvat zowel maagonderzoek, maar er zijn ook zijn braakballen onderzocht waarmee Steenlopers onverteerbare resten uitscheiden. Andere onderzoekstechnieken zijn het analyseren van uitwerpselen en het waarnemen van foeragerende vogels. Uit de verzamelde publicaties, rapporten en grijze literatuur blijkt dat het voedselpakket van de Steenloper niet alleen zeer divers is en van plaats tot plaats kan verschillen, ook tussen individuen kunnen grote verschillen optreden. Bovendien is de soort in staat om, afhankelijk van de omgeving en de beschikbaarheid van voedsel, zijn foerageergedrag en techniek aan te passen. De Steenloper is een opportunist die, afhankelijk van het aanbod aan voedsel, sterk op veranderingen in aanbod kan anticiperen.



Figuur 7.4. Soortensamenstelling van het dieet van de Steenloper in de Waddenzee (Texel, Den Helder, Schiermonnikoog) in braakballen (n=10) en faeces (n=6) op basis van de frequenties waarmee prooidiersoorten in de monsters voorkwamen. Bron: Haloui 2009.



Figuur 7.5. Soortensamenstelling van het dieet van de Steenloper in de Waddenzee (Texel, Den Helder, Schiermonnikoog) in braakballen ($n=10$) en faeces ($n=6$) op basis van de gewichten per prooidiersoort. Bron: Haloui 2009.

Haloui (2009) laat, aan de hand van een beperkt aantal monsters, zien dat het voedsel van de Steenloper in de westelijke Waddenzee voornamelijk bestond uit insecten, kreeftachtigen, tweekleppigen, zeepokken en huisjesslakken. In zowel de braakballen als in de faeces waren de Zeepokken, Mossel, krabben en de Asgrauwe Keverslak *Lepidochitona cinerea* het meest talrijk, deze laatste soorten vooral in de monsters die op Schiermonnikoog werden verzameld. Uitgedrukt in biomassa had de Zeepok het grootste aandeel (zie Figuur 7.5). In hoeverre de aanwezigheid van Japanse Oesters op mosselbanken een rol speelde in het menu van de Steenloper werd niet duidelijk.

Op basis van de hierboven geschetste voedselvoorkeur van de Steenloper in de Waddenzee kan moeilijk een verklaring worden gevonden voor de aantalsafname in vooral het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee. Deze achteruitgang is manifest sinds het begin van de jaren '90 maar gaat in feite al terug naar het midden van de jaren '70 (zie Figuur 7.1). Vanaf 1995 zien we een toename, vooral in het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee. De geconstateerde afname is moeilijk te begrijpen gelet op het brede voedselspectrum en de, zo op het oog, opportunistische leefwijze van de soort.

Uit de bovenstaande studies blijkt niet dat Steenlopers een voorkeur hebben voor droogvallende mosselbanken als voedselgebied. Toch is dit wel degelijk het geval (zie Figuur 7.7). Op mosselbanken worden kleine Mosseltjes gegeten, restanten van Mosselen die door Scholeksters zijn geopend en niet geheel zijn leeg gegeten maar vooral andere soorten prooien die talrijk zijn op en rond mosselbanken (o.a. krabben, Slijkgarnalen, wormen, grondels en zeepokken). Deze voorkeur blijkt duidelijk uit Tabel 7.1.

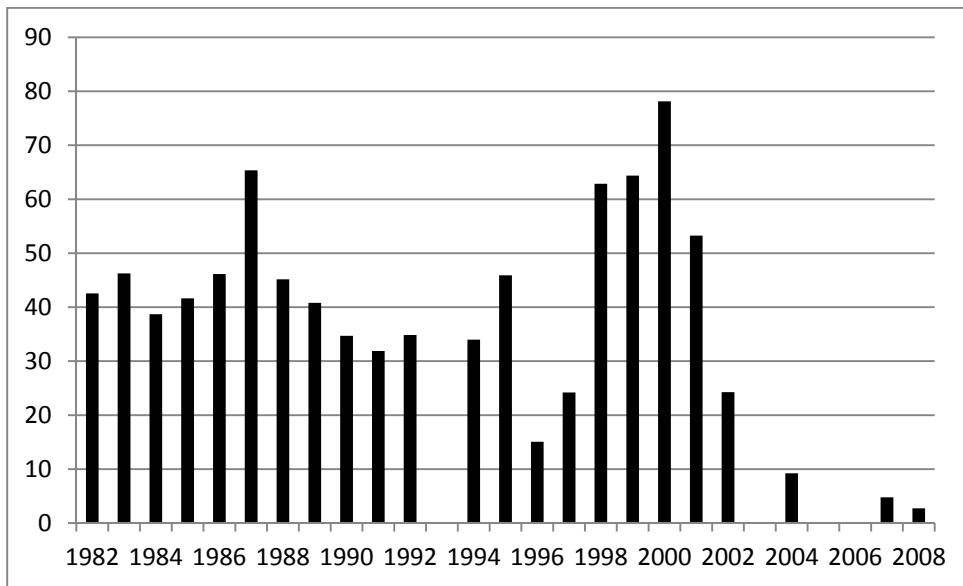
Zwarts (in Van de Kam 1999) schat de gemiddelde dichtheid van op droogvallende mosselbanken aanwezige Steenlopers op 0,3 vogels/ha. De maximale dichtheden kunnen echter aanzienlijk hoger zijn: meer dan 10 Steenlopers per ha mosselbank. Dit betekent dat de dichtheid op mosselbanken gemiddeld 10 maal hoger ligt dan op het omringende drooggevalen wad. De waargenomen aantallen zijn echter niet permanent en overal aanwezig omdat Steenlopers vaak wat geclusterd voorkomen en omdat ze vooral op de mosselbank aanwezig zijn rond laag water. Tijdens afgaand en opkomend water, met nog vrij hoge waterstanden, zijn andere leefgebieden, zoals Zeesla- en Darmwiervelden die dichter tegen de kust zijn gelegen kennelijk profijtlijker als foerageergebied (Zwarts *pers. meded.*).

Tabel 7.1. Procentuele samenstelling (uitgedrukt in volumepercentage) van het voedsel van Steenlopers op rotskusten en op mosselbanken in Engeland in de maanden september – januari op basis van maagonderzoek. In totaal werden 9 magen van op rotskusten geschoten vogels onderzocht en 5 magen van op mosselbanken geschoten vogels. Op basis van Prater 1972a en Davidson 1971, samengevat in Glutz von Blotzheim et al. 1977.

	Rotskust	Mosselbank
Mossel <i>Mytilus edulis</i>	6,6	16,2
Nonnetje <i>Macoma balthica</i>	0,6	0
Wadslakje <i>Hydrobia ulvae</i>	0,6	0
Alikruik <i>Litorina littorea</i>	10,2	0
Zeeduizendpoot <i>Nereis diversicolor</i>	5,4	0
Krab <i>Carcinus maenas</i>	11,4	66,7
Slijkgarnaal <i>Corophium/Gammarus</i>	0	10,1
Zeepok <i>Balanus spec.</i>	62	7,1

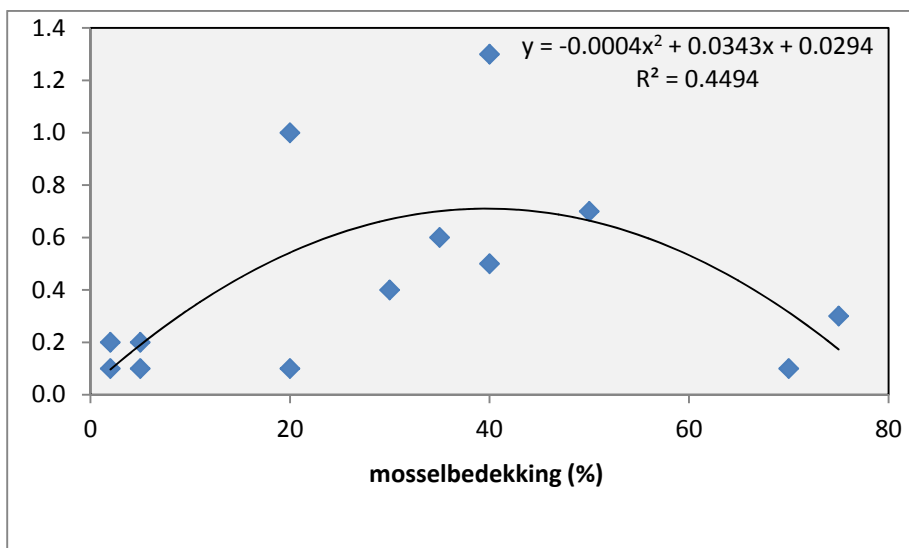
Op basis van een areaal van 2000-3000 ha mosselbank kunnen rond laagwater, op basis van de dichtheidsschatting van Zwarts, dus 700-1000 Steenlopers aanwezig zijn. In de gehele Nederlandse Waddenzee waren in de jaren 1975-1983 gemiddeld 2000-4000 Steenlopers aanwezig en in de jaren 1998-2006 zo'n 1000-3000 (zie Figuur 7.1). Bij een dichtheid van 0,3 Steenloper per hectare mosselbank moeten in de jaren 1975-1983 dus 700-1000 Steenlopers op mosselbanken hebben geleefd. Dit betekent dat gemiddeld 30% van de Steenlopers in de Waddenzee rond laag water op en rond mosselbanken aanwezig was.

Deze resultaten worden bevestigd door tellingen uit de Mokbaai op Texel. Hier zijn tijdens laag water sinds 1982 frequent tellingen uitgevoerd tijdens laag water van alle in het gebied aanwezige vogels. In de beginjaren was de frequentie ongeveer één telling per week, vanaf november 1993 wordt elke 2 weken geteld. Tijdens deze tellingen werd de aanwezige mosselbank steeds als een apart deelgebied onderscheiden. Figuur 7.6 laat zien dat het aantal Steenlopers dat gedurende laag water op de mosselbank aanwezig was (als percentage van het in de hele Mokbaai aanwezige aantal) in de loop van de tijd schommelde tussen 30 en 50%. In sommige jaren was het percentage op deze mosselbank nog groter omdat vaak ook Steenlopers aanwezig waren in de buurt van smalle randen met (zaad)mosselen die soms langs de door het gebied lopende geul aanwezig waren. Deze kleine bankjes zijn nooit als een aparte mosselbank onderscheiden. Sinds 2002 is het percentage op de mosselbank sterk gedaald: vanaf dat jaar is de mosselbank geheel gekoloniseerd door Japanse Oesters (Smit, *ongepubl.*) en (voorlopig?) ongeschikt geworden als foerageergebied voor Steenlopers. Het aantal in de Mokbaai aanwezige Steenlopers is sinds het verdwijnen van de mosselbank sterk afgenomen. Waren in de jaren '80 meestal 20-30 Steenlopers in het gebied aanwezig en in de jaren '90 20-40, na 2000 daalde dit aantal naar 5-10. Tijdens veel tellingen is de soort tegenwoordig niet meer aanwezig in de Mokbaai.

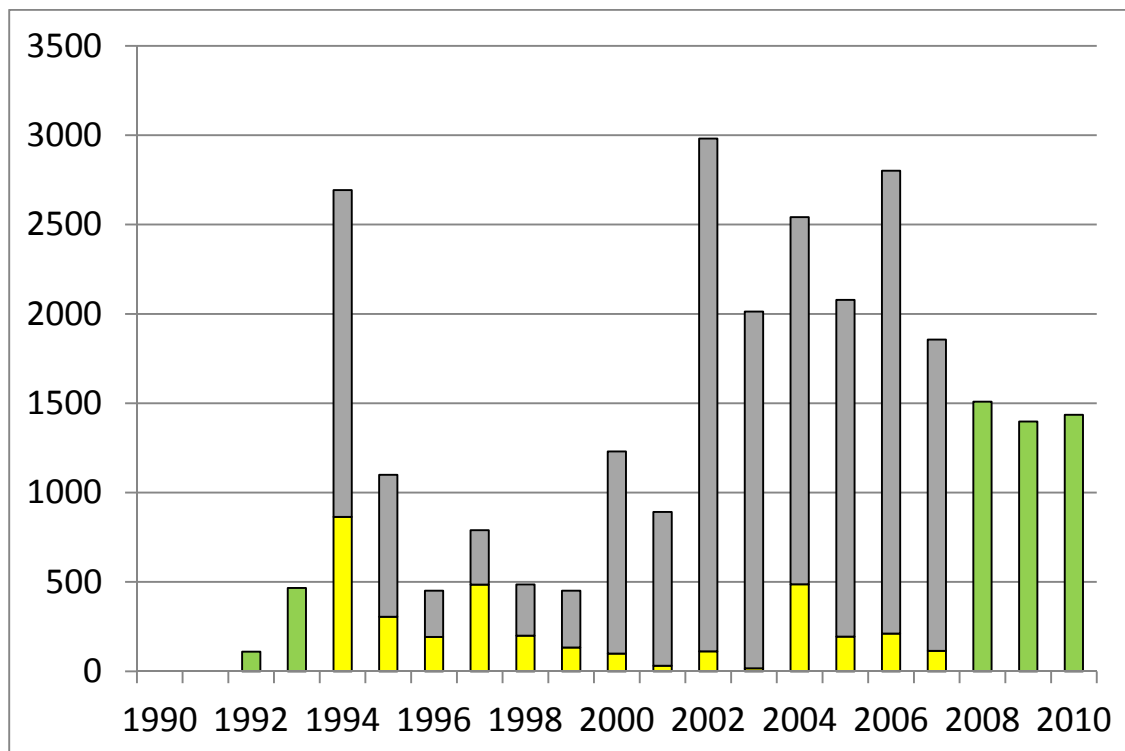


Figuur 7.6. Percentage van het totaal aantal Steenlopers dat tussen 1982 en 2008 aanwezig was op de droogvallende mosselbank in de Mokbaai, Texel. Tellingen uit 1993 ontbreken. Rond 2002/2003 is de mosselbank geheel door Japanse Oesters overgenomen. Bron: 2-wekelijkse tellingen tijdens laag water – Smit, ongepubl.

Figuur 7.7 gaat nader in op de dichtheden Steenlopers op mosselbanken onder Schiermonnikoog in het begin van de jaren '70. Hieruit blijkt dat de dichtheden Steenlopers op mosselbanken, in tegenstelling tot een soort als de Scholekster, geen lineair verband laten zien in relatie tot de mosseldichtheid. Kennelijk bepaalt de hoeveelheid Mossel op een mosselbank voor Steenlopers niet de daar aanwezige dichtheden maar veel meer de open ruimte tussen de mosselbulten. Dit is in overeenstemming met de resultaten uit het dieetonderzoek, dat laat zien dat vooral andere prooidiersoorten die op of nabij mosselbanken voorkomen, zoals kleine Krabben, Slijkgarnalen en wormen, voor deze soort veel belangrijker zijn dan Mosselen (Tabel 7.1).



Figuur 7.7. Dichtheden Steenlopers op een mosselbank (aantal/ha) nabij Schiermonnikoog in de jaren 1971-1973 in relatie tot de bedekking door Mosselen op de betreffende bank. Bron: L. Zwarts, RWS (ongepubl.).



Figuur 7.8. *Areaal droogvallende mosselbank in de Nederlandse Waddenzee in het voorjaar van 1990-2010 op basis van Van Zweeden et al. 2010 en aanvullende informatie over de verdeling in de westelijke (gele balken) en oostelijke Waddenzee (grijze balken) in de periode 1994-2007 (van Zweeden, ongepubl.). De groene balken uit de jaren 2008-2010 geven de voorlopige totalen voor de gehele Waddenzee weer. De gegevens uit de periode 1992-1993 betreffen schattingen op basis van dichtheden en bestanden. In 1990-1991 waren vrijwel geen droogvallende mosselbanken aanwezig (Dankers et al. 2003).*

Figuur 7.8 gaat nader in op het areaal droogvallende mosselbank in de Nederlandse Waddenzee. Uit deze figuur blijkt dit areaal in de afgelopen 20 jaren aan sterke wisselingen is onderhevig geweest. Wanneer we uitgaan van een gemiddelde dichtheid van 0,3 Steenloper (Zwarts in Van de Kam 1999) per ha mosselbank betekenen de weergegeven arealen droogvallende mosselbank dat in de jaren '90 hooguit enkele honderden Steenlopers konden foerageren op droogvallende mosselbanken. In de westelijke Waddenzee veranderde er weinig aan deze situatie tussen 2000 en 2010, in de oostelijke Waddenzee nam het areaal na 2001 sterk toe om na 2006 weer af te nemen (Figuur 7.8). Ook de aantallen Steenlopers in de oostelijke Waddenzee lijken na 2006 te stabiliseren en mogelijk ook weer af te nemen (Figuur 7.2). Het aantalsverloop in de oostelijke en de westelijke Waddenzee is, tot op zekere hoogte, een afspiegeling van het areaal mosselbank. Tegelijk blijkt uit de aanwezige aantallen in de oostelijke en westelijke Waddenzee dat veel Steenlopers ook buiten mosselbanken moeten foerageren. De geformuleerde hypothese geeft mogelijk een gedeeltelijke verklaring voor de toename van de Steenloper in de oostelijke Waddenzee maar verklaart niet waarom er in het verleden 2000-3500 Steenlopers aanwezig waren in de westelijke Waddenzee (zie Figuur 7.1) terwijl het areaal mosselbank hier beperkter was dan in de oostelijke Waddenzee.

Een complicerende factor bij het verklaren van de aantalsverschillen is dat in de Nederlandse Waddenzee 2 verschillende populaties aanwezig kunnen zijn (Delany et al. 2009) die het gebied op een andere manier lijken te gebruiken. Volwassen vogels uit Fennoscandiavië en Rusland trekken door in de derde decade van juli en de eerste decade van augustus, en maken daarbij gebruik van kustgebieden in het Baltische gebied en Noordwest Europa. Deze vogels overwinteren grotendeels in West Afrika. Op basis van een vergelijking van doortrekpatronen in Nederland komt Kersten (1996) tot de conclusie dat ze

daarbij vooral gebruik maken van de Waddenzee oostelijk van Terschelling. In de westelijke Nederlandse Waddenzee wordt deze trekpiek vrijwel niet opgemerkt. Eerstejaars vogels kunnen ook in de daaropvolgende weken nog doortrekken maar eind september hebben ook deze vogels West Europa weer goeddeels verlaten. De in Nederland overwinterende vogels zijn waarschijnlijk grotendeels afkomstig uit Groenland en Noordoost Canada (Bijlsma *et al.* 2001, Delany *et al.* 2009).

7.3 Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen

De Instandhoudingsdoelstelling voor de Steenloper bedraagt 2300-3000 vogels voor de Waddenzee en 160 voor de Noordzeekustzone (seizoensgemiddelden). Op basis van de meest recente tellingen liggen de aanwezige aantallen sinds 2001 binnen deze bandbreedte, terwijl ze er in sommige jaren (zoals 2005) overheen gaan. Vermindering van draagkracht zou kunnen leiden tot geringere arealen mosselbanken of een geringere bedekking door Mosselen. Of deze ontwikkeling daadwerkelijk doorwerkt in de aanwezige aantallen van deze soort is onduidelijk, gelet op het brede voedselspectrum. Dit gegeven, gevoegd bij de garantie dat een voldoende areaal droogvallende mosselbanken aanwezig zijn, zowel in de oostelijke als in de westelijke Waddenzee, lijkt een garantie om aan de Instandhoudingsdoelstelling van deze soort te kunnen blijven voldoen.

7.4 Samenvatting en slotopmerkingen

- Steenlopers hebben een breed voedselspectrum en kennen een opportunistische leefwijze
- Ondanks deze flexibiliteit zijn Steenlopers in relatief hoge dichtheden aanwezig op droogvallende mosselbanken, vooral in de periode rond laag water. Naar schatting 30-50% van de Steenlopers in de Waddenzee gebruikte in het verleden droogvallende mosselbanken tijdens een deel van de laagwaterperiode als foerageergebied
- Mosselbanken zijn van belang als leefgebied voor Steenlopers vanwege de aanwezigheid van andere prooien dan Mosselen
- In de Nederlandse Waddenzee kunnen 2 verschillende populaties aanwezig zijn die het gebied op een andere manier gebruiken. Dit is een complicerende factor voor het kunnen verklaren van verschillen in aantalsveranderingen in de oostelijke en de westelijke Waddenzee.

8 Kanoet

Bijdragen: C.J. Smit (redactie + onderzoeksvragen 1 en 3), J.A. van Gils, T. Piersma & Yang Hong-Yan (onderzoeksvraag 2)

8.1 Bestaande kennis over de aantallen en het voedsel in de Nederlandse kustwateren

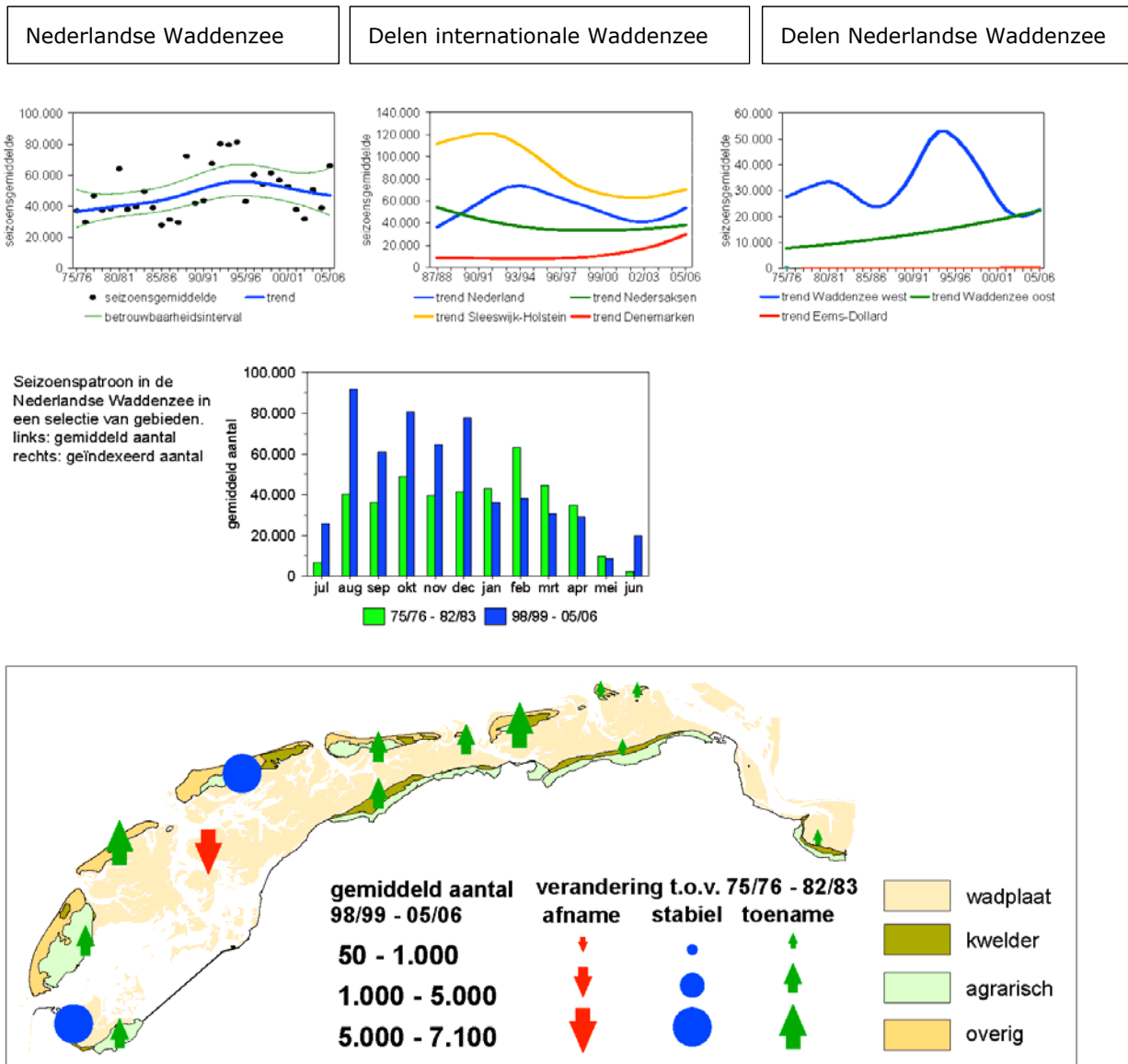
8.1.1 Herkomst en aantallen

De populatie van de ondersoort *islandica* broedt in Noordoost Canada en Noord Groenland benoorden de 75° breedtegraad. Het broedgebied van de ondersoort *canutus* strekt zich uit van Noord Taimyr in centraal Siberië tot Kaap Tscheljuskin en de Noord-Siberische eilanden. De Siberische broedpopulatie overwintert vooral aan de kusten van West-Afrika, sommige exemplaren bereiken Zuid-Afrika. De Noordoost Canadese/Groenlandse populatie overwintert in de Noordwest Europese waddengebieden. Het overgrote deel van de Kanoeten wordt aangetroffen in estuaria, kustgebieden en riviermondingen. In ons land betekent dit dat de soort alleen aanwezig is in de Waddenzee en de Zoute Delta. Hierbij wordt zowel zand- als slikwad gebruikt, maar gemengd wad heeft de voorkeur. Om te overtijen geven ze de voorkeur aan kale zandplaten die bij hoog water droog blijven. Kanoeten overtijen meestal in enkele grote concentraties op specifieke locaties (meest onbewoonde hoge zandplaten). Op sommige plaatsen (Griend, Richel, Vliehors, Balgzand, Hengst, zuidwestpunt Ameland) concentreren Kanoeten zich in groepen van soms tienduizenden vogels (Smit & Piersma 1989, Bijlsma *et al.* 2001). Zo werden op 13 september 2008 30.000 Kanoeten geteld op de Hengst, een hooggelegen wadplaat tussen Texel en Vlieland (Smit 2010). De *canutus*-populatie in Siberië werd begin jaren '80 op 550.000 geschat en in het midden van de jaren '90 op 340.000. Meer recente tellingen, waarbij de belangrijkste overwinteringsgebieden in West Afrika (Banc d'Arguin en Guinea Bissau) tegelijk zijn geteld, komen uit op 400.000 in 2001 (Delany *et al.* 2009). De grootte van de *islandica*-populatie bedroeg in het begin van de jaren '70 609.000 vogels (Prater 1976). In het midden van de jaren '90 wordt de populatie geschat op 450.000 exn. Deze schatting geldt nog steeds hoewel er aanwijzingen zijn dat de grootte van de populatie tussen 2000 en 2005 is gedaald naar minder dan 400.000 vogels (Delany *et al.* 2009).

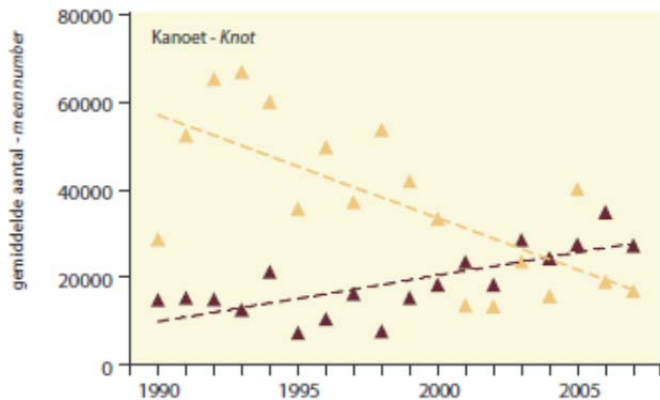
De aantallen in de Waddenzee in de loop van het jaar vertonen een sterk fluctuerend verloop. De grootste aantallen zijn aanwezig tijdens de najaarstrek wanneer de beide ondersoorten aanwezig zijn (129.000 in september 2006, Hustings *et al.* 2008). Het gemiddelde aantalsverloop over de jaren 1997/98 - 2001/02 voor de hele Nederlandse Waddenzee laat een piek zien van gemiddeld 90.000 exn in augustus. De gemiddelde aantallen in de maanden daarna zijn vrij stabiel (ongeveer 70.000). Na januari nemen de aantallen geleidelijk af (40.000 in april). In mei en juni zijn enkele duizenden exemplaren aanwezig (van Roomen *et al.* 2005). De aantallen in de wintermaanden variëren doorgaans van 60.000-75.000, met uitschieters naar boven en beneden. In strenge winters zijn hooguit enkele duizenden vogels aanwezig (Bijlsma *et al.* 2001). In het Deltagebied zijn in de wintermaanden 30.000-35.000 Kanoeten aanwezig en nemen de aantallen toe (Hustings *et al.* 2008).

Het aantalsverloop van de Kanoet in de Nederlandse Waddenzee vertoont een stijgende lijn in de jaren 1975-1995, gevolgd door een dalende lijn in de jaren erna (van Roomen *et al.* 2005). Een nauwkeuriger analyse van de aantalsontwikkeling laat een neergaande lijn zien in de westelijke Waddenzee en een opgaande lijn in de oostelijke Waddenzee (Ens *et al.* 2009a, Smit *et al.* 2011). In de Delta, en met name in de Oosterschelde, is sinds 1988 sprake van een toename (van Roomen *et al.* 2006). Van de internationale trekweg-populatie van *islandica* overwinterde tussen en 1990 en 2003 gemiddeld 60% in verschillende estuaria en kustgebieden in het Verenigd Koninkrijk, 23% in Nederland, 6-8% in Frankrijk en de rest elders in Noordwest Europa (www.birdlife.org). In de internationale Waddenzee (zie Figuur

8.1) zien we de aantallen Kanoeten in alle delen afnemen in de jaren 1993-2002, met uitzondering van het Deense deel (waar vrij lage aantallen voorkomen). Gemiddeld over de hele internationale Waddenzee zijn de aantallen Kanoeten tussen 1987/1988 en 2003/2004 met meer dan 30% gedaald (Blew *et al.* 2007). Na 2003 is er sprake van een toename in Sleeswijk-Holstein en Nederland. Vanwege de menging van de 2 populaties in de herfst kunnen geen uitspraken worden gedaan over de aantalsontwikkelingen van de in Nederland doortrekkende *canutus*-populatie. In het voorjaar is deze laatste populatie slechts in vrij klein aantal in Nederland aanwezig.



Figuur 8.1. Trend van de Kanoet in de Waddenzee (links), in de internationale Waddenzee (midden) en in verschillende delen van de Nederlandse Waddenzee (rechts). Deze trendlijn maakt geen onderscheid tussen de 2 in Nederland aanwezige populaties (Bron: Smit *et al.* 2011). De weergegeven seizoensgemiddelden zijn de gemiddelde aantallen vogels in een bepaald telseizoen (juli t/m juni) die zijn berekend uit de uitgevoerde tellingen of (indien niet beschikbaar) schattingen voor een bepaalde maand op basis van een interpolatie-techniek (imputing). Deze maandelijkse resultaten zijn vervolgens verwerkt tot een gemiddelde voor dat telseizoen. In de figuur links boven is voor elk telseizoen het gemiddeld aantal vogels en het betrouwbaarheidsinterval weergegeven. In de hieronder weergegeven figuren zijn de aantallen in de loop van het jaar weergegeven, uitgesplitst in 2 perioden en de veranderingen in de populatiegrootte per eiland en kustgebied in de 2 onderscheiden perioden (Bron: Smit *et al.* 2011)



Figuur 8.2. Ontwikkeling in de jaarlijkse aantallen van de Kanoet in de westelijke en oostelijke Waddenzee in 1990-2008. De lineaire trend is weergegeven met regressielijnen waarbij de donkere symbolen de trend in de oostelijke Waddenzee weergeeft en de lichte symbolen die in de westelijke helft. Bron: Ens *et al.* (2009a)

In de afgelopen 10-20 jaren is steeds meer moeite gedaan om moeilijk bereikbare plaatsen, zoals de Richel en Griend tijdens integrale tellingen goed geteld te krijgen. Volgens Leopold *et al.* (2004) moet deze steeds betere dekking geleid hebben tot een steeds toenemend aantal getelde Kanoeten in de Nederlandse Waddenzee in het begin van de jaren '90, en tegelijk ook tot een structurele onderschatting van de aantallen in de jaren '70 en '80. Daarom moet een eventuele toename van de geschatte aantallen in de Nederlandse Waddenzee, in vergelijking met de jaren '70 en '80, met enige reserve worden bekeken. De afname van de aantallen Kanoeten in recente jaren is daarentegen wel reëel, omdat er tegenwoordig veel moeite in wordt gestoken om alle telgebieden in de Nederlandse Waddenzee geteld te krijgen en op deze manier alle Kanoeten op te sporen. Om deze reden wordt aan gevonden trends bij de analyses in de laatste jaren meer gewicht toegekend, dan aan trends in de cijfers van vóór circa 1995.

8.1.2 Voedsel

Kanoeten staan bekend als echte eters van tweekleppigen. Ze zijn vooral afhankelijk van kleine schelpdieren. Het Nonnetje is de meest geprefereerde prooi. Bij afwezigheid van Nonnetjes worden Kokkels, Mosselen en andere kleine schelpdieren gegeten, maar ook kreeftachtigen zoals de Slijkarnaal en kleine krabben (Zwarts & Blomert 1992, Zwarts *et al.* 1992, Dekinga & Piersma 1993, Piersma *et al.* 1994) maar deze laatste 2 prooidiersoorten maken samen minder dan 5% van het dieet uit (Zwarts & Blomert 1992). Wadslakjes vormen plaatselijk een belangrijke alternatieve prooi, vooral in de winter (Ehlert 1964, Evans *et al.* 1979, Dekinga & Piersma 1993, Piersma *et al.* 1994). Wormen ontbreken vrijwel geheel als prooi voor deze soort. Alleen Zwarts & Blomert (1992) vonden *Nereis*-kaken in faeces van Kanoeten die foerageerden voor de Friese kust en zagen ook dat Kanoeten deze wormen daadwerkelijk aten, terwijl Evans *et al.* (1979) in het Tees-estuarium zelfs in 45% van de door hen uitgezochte braakballen *Nereis*-kaken vonden.

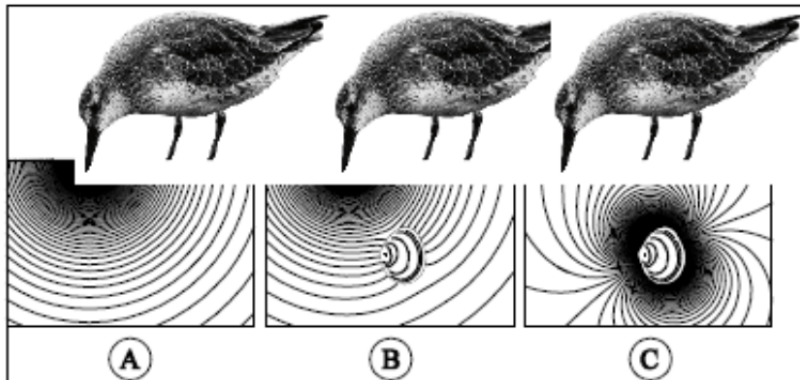
Kanoeten slikken de prooien in zijn geheel door en kraken de schelpen in hun gespierde maag. Doordat ze de prooien in zijn geheel doorslikken zit er ook een maximum aan de schelpgrootte die ze kunnen eten. Zo kunnen ze Kokkels tot 17 mm, Nonnetjes tot 18 mm en Mosselen tot 20 mm aan (Zwarts & Blomert 1992, Zwarts *et al.* 1992, van Gils *et al.* 2005a, Reneerkens *et al.* 2005). Te kleine prooien zijn niet rendabel omdat de energie die het kost om ze te zoeken en in te slikken niet opweegt tegen de energie die het oplevert (Zwarts & Blomert 1992). Voor Kanoeten is dus maar een beperkte fractie van de aanwezige schelpdieren geschikt als prooi. Omdat ze de prooien met hun snavel met een lengte van 3,5 cm uit de wadbodem halen is alleen het deel van het prooidierbestand eetbaar dat zich in de bovenste 4 cm van het wad bevindt (tijdens het foerageren gaan ze met de kop tot aan de ogen de bodem in). Om voldoende voedsel te kunnen vinden hebben de vogels foerageergebieden nodig met

hoge dichtheden aan schelpdieren in de juiste lengte-klassen. Bij de meeste soorten schelpdieren gaat het dan om broed of eenjarige schelpdieren. Naast deze belangrijkste prooien eet de Kanoet ook broed van de Strandgaper en de Dunne Slijkschelp *Tellina* sp (Zwarts & Blomert 1992).

Kanoeten vinden hun prooien door middel van een bijzonder detectiesysteem, waardoor ze met hun gevoelige snavelpunt harde objecten in zachte substraten kunnen opsporen (Piersma *et al.* 1998, van de Kam *et al.* 1999, zie ook Figuur 8.3). Door hun snavel in de wadbodem te steken verplaatsen Kanoeten het water tussen de omringende zandkorrels. Hierdoor wordt een bolvormig drukveld gevormd dat de Kanoeten met de snavelpunt ook kunnen aftasten. Wanneer zich in de buurt van de snavelpunt (tot een afstand van zo'n 5 cm van de snavelpunt) een ingegraven schelpdier of ander hard object bevindt, verstoort dit het drukveld. Op basis hiervan kan een prooi worden gelokaliseerd (Piersma *et al.* 1998, Reneerkens *et al.* 2005). Een beperking van deze gespecialiseerde vorm van voedsel zoeken is dat Kanoeten in sediment waarin veel zandkorrels van verschillende grootte en/of steentjes door elkaar gemengd zijn veel meer moeite hebben om geschikte schelpdieren te vinden. Het detectiesysteem maakt namelijk geen onderscheid tussen ingegraven steentjes en schelpdieren (Piersma *et al.* 1998, Reneerkens *et al.* 2005). In onverstoorde sediment zijn schelpdieren door de activiteiten van o.a. Wadpieren naar diepere lagen van de wadbodem weggezakt. In gebieden waar kokkelvisserij heeft plaatsgevonden is de bovenste laag van het sediment vaak sterk gemengd met materiaal dat afkomstig was uit deze dieper gelegen lagen. Dit verschijnsel kan het voor Kanoeten moeilijker of onmogelijk maken om prooien met hun detectietechniek op te sporen. Omdat het detectiesysteem werkt op basis van de aanwezigheid van water in het sediment kan het niet worden toegepast in droog sediment. Kanoeten verlaten daarom uitdrogende wadplaten en vliegen door naar lager gelegen wadplaten die nog nat genoeg zijn om van het detectiesysteem te kunnen gebruik maken (Reneerkens *et al.* 2005).

Doordat Kanoeten de prooi met schelp en al inslikken kan hun maag snel vol raken. Om deze prooien te kunnen kraken beschikken ze over een sterke spiermaag die alleen wordt gebruikt voor het kraken van schelpen en die, in tegenstelling tot de meeste andere steltlopersoorten, niet wordt gebruikt voor de vertering van het voedsel (Piersma *et al.* 1993b). Voor de vertering van het voedsel en het naar buiten werken van het schelpgruis hebben Kanoeten daarnaast relatief grote darmen (Battley & Piersma 2005). Bij het vol raken van de maag kan een 'digestive bottleneck' ontstaan waardoor ze soms noodgedwongen pauzes moeten inlassen om het voedsel te verteren (van Gils *et al.*, 2005a). De snelheid waarmee hun maag vol raakt met onverteerbaar materiaal en ook de verteringssnelheid hangt samen met de kwaliteit van de prooi en verklaart onder andere de waargenomen verschillen in dieet (van Gils *et al.*, 2005a).

De voedselsituatie voor Kanoeten in de Waddenzee wordt sinds begin jaren '90 in kaart gebracht. De oorzaak van de achteruitgang heeft waarschijnlijk te maken met de verslechterde voedselsituatie (Reneerkens *et al.* 2005). De voor Kanoeten favoriete prooi, het Nonnetje, is sinds eind jaren '80 sterk in aantal teruggelopen in het westelijk deel van de Waddenzee. De achteruitgang van het Nonnetje loopt synchroon met de achteruitgang van de *islandica*-Kanoeten in de Waddenzee. Ook de beschikbaarheid van Kokkels en Mosselen is sterk afgenomen. Dit geldt voor zowel de hoeveelheid als de kwaliteit (schelp/vleesverhouding; van Gils 2004). De afname in de westelijke Waddenzee vanaf midden jaren '90 loopt synchroon met de afname in voedselbeschikbaarheid. In de oostelijke Waddenzee nemen de aantallen toe, wat overeenkomt met de veel gunstiger ontwikkeling in het voedselaanbod in dat gebied (van Roomen *et al.* 2006, zie ook Figuur 8.1 en 8.2).



Figuur 8.3. Schematische visualisatie van het unieke mechanisme waarmee Kanoeten ingegraven schelpen op afstand kunnen detecteren. In (A) zijn er geen schelpdieren die de door de in het wad prikkende Kanoet uitgezonden drukgolven terugkaatsen. In (B) zijn die er wel, zodat het interstitiële water niet weg kan en zich een drukveld opbouwt rond de schelp (C) dat door de Kanoet kan worden gedetecteerd. Bron: van de Kam *et al.* (1999)

8.2 Onderzoeksvragen

Kanoeten moeten in korte tijd kunnen opvetten voor een lange trektocht, met name in het voorjaar. Omdat de vogel de schelpdieren in zijn geheel inslikt is het van belang dat de prooi een goede conditie heeft, van de goede grootte is, bereikbaar is, en dat verstoring door menselijke activiteiten gering is. De onderzoeksvragen luiden:

- 1) De prooiconditie heeft een relatie met eutrofiëring en voedselconcurrentie tussen de verschillende secundaire producenten. Zijn er aanwijzingen dat prooiconditie, eutrofiëring en voedselconcurrentie tussen secundaire producenten van invloed zijn op de voedselopname van Kanoeten?
- 2) Op welke schelpdieren foerageert de Kanoet? Hoe was hiervan de beschikbaarheid (kwantiteit en kwaliteit) in de afgelopen vijf jaar?
- 3) Hoe is de beschikbaarheid (kwantiteit en kwaliteit) gedurende de loop van het project?

De geformuleerde vragen zijn voorgelegd aan de onderzoeksgroep met de meeste expertise voor deze soort, op basis van ruim 15 jaren ervaring op het gebied van de voedselbiologie en de fysiologie van de Kanoet en van de leefomstandigheden welke bepalen op welke wijze deze vogels van hun leefgebied gebruik maken (NIOZ, Prof. Dr. T. Piersma). Deze groep heeft in juni 2009 een document aangeleverd (van Gils *et al.* 2009) dat een deel van het antwoord geeft op de vragen 2 en 3, maar niet op vraag 1. Naar aanleiding daarvan is getracht via een literatuur-recherche een antwoord te vinden op de eerste vraag.

8.2.1 Onderzoeksvraag 1

De prooiconditie heeft een relatie met eutrofiëring en voedselconcurrentie tussen de verschillende secundaire producenten. Zijn er aanwijzingen dat prooiconditie, eutrofiëring en voedselconcurrentie tussen secundaire producenten van invloed zijn op de voedselopname van Kanoeten?

Philippart *et al.* (2007) laten zien dat in de Waddenzee de fosfaat-, nitraat/nitriet- en silikaatgehalten in de afgelopen 30 jaren sterk zijn veranderd. Fosfaatgehalten zijn duidelijk omlaag gegaan, de nitraat/nitrietgehalten waren sterk variabel maar zijn op de lange termijn niet duidelijk veranderd, de silikaatgehalten zijn gestegen. De primaire productie is gestegen vanaf midden jaren '70, op een gelijk niveau gebleven in de jaren '80 en vanaf midden jaren '90 weer gedaald (diatomeeën) ofwel verder gestegen (flagellaten, de in de waterkolom zwevende algen). De totale hoeveelheid bodemdieren (alle

soorten) is vrijwel verdubbeld in de jaren '70 en op een gelijk niveau gebleven in de jaren '80 en '90. De biomassa van uit de waterkolom filtrerende schelpdieren (zoals Mossel en Kokkel) nam wel af maar de gemiddelde hoeveelheden biomassa van alle bodemdieren in de 3 onderscheiden periodes verschilden niet significant. De langzaam filtrerende Strandgapers vertoonden een geleidelijke toename over de hele waarneemperiode. De totale hoeveelheid van de vogelbiomassa (alle bodemdieretende soorten samen) vertoonde geen significant verschil, hoewel er per soort wel verschillen bestaan. In deze analyse zijn de Japanse Oester en de Amerikaanse Zwaardschede niet meegenomen, hetgeen van invloed kan zijn op de uitkomsten. Uit de analyse blijkt dat er aanwijzingen zijn dat de hoeveelheid beschikbare algen van invloed is op de hoeveelheid filtrerende schelpdieren in de waterkolom. De ontwikkeling van de biomassa van deze soorten liep 2,5 jaren achter bij de veranderingen in de biomassa van de algen. De ontwikkeling van de schelpdieretende vogels liep vervolgens weer een jaar voor op de ontwikkelingen van de schelpdieren (hoge aantallen schelpdieretende vogels, gevolgd door lagere schelpdierbestanden een jaar later). Dit betekent dat predatie door schelpdieretende vogels voor een deel de grootte van schelpdierbestanden bepaalt.

baggerIn de analyse van Philippart *et al.* (2007) is het Nonnetje niet meegenomen, onder ander omdat deze schelpdiersoort zijn voedsel zowel betreft van de bodem als uit de waterkolom. Het Nonnetje is sterk in aantal achteruitgegaan, vooral in de westelijke Waddenzee. Over de achteruitgang van deze soort bestaan verschillende theorieën. Volgens Peter Herman (NIOO Yerseke, *pers. comm.*) zou de dalende eutrofiëring (Brinkman & Smaal 2004, Philippart *et al.* 2007) ten grondslag kunnen liggen aan het afnemende broedvalsucces (oftewel recruitment, de broedval en het zich vervolgens vestigen en opgroeien van larven) van schelpdieren in de westelijke Waddenzee. Baggeractiviteiten, bodemdaling en zeespiegelrijzing kunnen leiden tot langzame geomorfologische veranderingen in het wad en daarmee eveneens tot afname van kwaliteit van voedselgebieden (zie Eriksson *et al.* 2010 voor sediment versturende activiteiten en Geurts van Kessel 2004 voor effecten van de beïnvloeding van de getijdeamplitude in de Oosterschelde). Volgens Beukema & Dekker (2005) is het afgenomen broedvalsucces van Nonnetjes en andere schelpdieren in de westelijke Waddenzee vooral een gevolg van de toegenomen garnalenstand. Ook Philippart *et al.* (2003) concluderen dat verhoging van de watertemperatuur kan leiden tot verhoogde predatie door Garnalen en krabben op schelpdierlarven maar wijzen ook op een andere mogelijkheid: als gevolg van de stijging van de temperatuur van het zeewater in het vroege voorjaar is de timing van de broedval van Nonnetjes naar voren verschoven. De primaire productie (de bloei van algen die als voedsel voor de larven van Nonnetjes kan dienen) wordt echter niet gereguleerd door de watertemperatuur maar door de beschikbaarheid van licht in het voorjaar en van nutriënten later in het seizoen (vanaf ongeveer begin april) (Brinkman & Smaal, 2003, Philippart *et al.*, 2007). Door de vroegere opwarming van het zeewater is dus een mismatch ontstaan tussen het verschijnen van de larven (vroeger in het jaar) met de beschikbaarheid van het voedsel voor deze larven (de timing van de beschikbaarheid hiervan is niet veranderd). Daarnaast is er een productie-aspect: de productie van voedsel in de vorm van algen loopt terug. Als gevolg van deze veranderingen zijn de foerageeromstandigheden van de larven van Nonnetjes verslechterd, waardoor op termijn minder Nonnetjes in de Waddenzee worden verwacht (Philippart *et al.* 2003).

De aantalsontwikkeling van Kanoeten in de westelijke Waddenzee wordt doorgaans in verband gebracht met de verzanding van de westelijke Waddenzee (zie o.a. Piersma *et al.* 2001) en de sterke teruggang van het Nonnetje, de meest favoriete prooidiersoort. De biomassa van dit schelpdier in de westelijke Waddenzee is sinds het midden van de jaren '80 met 90% gedaald (Beukema *et al.* 2010). Hierbij wordt het warmer worden van het kustwater in het vroege voorjaar gezien als een belangrijke oorzaak voor de slechte recruitment van het Nonnetje (Beukema *et al.* 2009). Analyses van Piersma *et al.* (2009) wijzen erop dat de afname van Nonnetjes vooral een gevolg is van afname van settlement, de vestiging van broedval tijdens de zomer, meer dan van een verhoogde sterfte. Van Gils *et al.* (2006) maken aannemelijk dat de vestiging van kokkellarven en de kwaliteit van de Kokkels die zich wel vestigen (vlees/schelp ratio) door mechanische kokkelvisserij negatief wordt beïnvloed.

Piersma *et al.* (2009) komen in hun analyse tot de conclusie dat de afname van de eutrofiëring in de Waddenzee en ook de toenemende watertemperaturen beide geen afdoende verklaring kunnen geven voor de ruimtelijke patronen in de afname van Nonnetjes in de westelijke Waddenzee. Zij gaan ervan uit dat de gevonden afnames een gevolg zijn van kwaliteitsverlies als gevolg van de mogelijk veranderde sedimentsamenstelling van de Waddenzee die is blootgesteld geweest aan mechanische kokkelvisserij. De hiermee samenhangende bodemberoering zou hebben bijgedragen aan een afname van vestiging van larven van Kokkels en Nonnetjes, een verslechtering van de conditie van de jonge Kokkels. Mede gelet op de resultaten van Philippart *et al.* (2007) en de resultaten van de analyses van Beukema *et al.* (2009, 2010) wordt de rol die aan de mechanische kokkelvisserij wordt toegekend, bij het verklaren van veranderingen die zijn opgetreden in de westelijke Waddenzee, door sommige onderzoekers als enigszins speculatief beschouwd. Feit is dat er zeker grote veranderingen in dit gebied zijn opgetreden ten aanzien van de 3 belangrijkste schelpdiersoorten waarvan de Kanoet afhankelijk is. Het feit dat alle 3 soorten in de westelijke Waddenzee zijn achteruitgegaan heeft een zeer belangrijke rol gespeeld in de achteruitgang van de Kanoet in dit deel van de Waddenzee.

8.2.2 Onderzoeksvraag 2

Op welke schelpdieren foerageert de Kanoet? Hoe was hiervan de beschikbaarheid (kwantiteit en kwaliteit) in de afgelopen vijf jaar? Deze vraag moet in relatie worden gezien met het gebruik van de Kanoet van zowel de beschikbare ruimte in de Waddenzee en met de wijze waarop de soort de voedselbronnen exploiteert. De inleiding tot de onderzoeksvraag beschrijft dit kader: "de Kanoet moet in korte tijd kunnen opvetten voor een lange trektocht, met name in het voorjaar. Omdat de vogel schelpdieren in zijn geheel inslikt is het van belang dat de prooi een goede conditie heeft, van de goede grootte is, bereikbaar is, en dat de verstoring gering is".

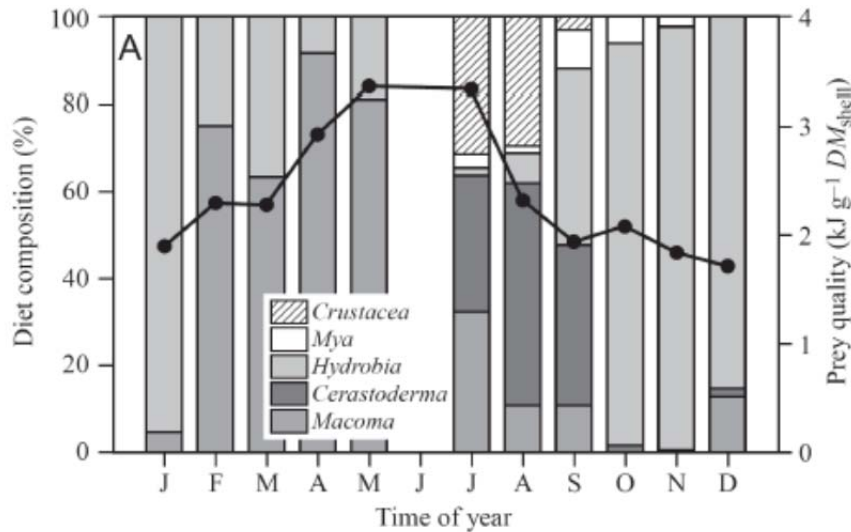
Kanoeten van de ondersoort *canutus* gebruiken de Waddenzee in augustus als opvet-gebied, voordat ze doortrekken naar West Afrika. Sommige vogels blijven na hun terugkeer uit de overwinteringsgebieden in de Waddenzee overzomereren (Nebel *et al.* 2000, Piersma *et al.* 1993a). Uit een analyse van tussen 1980 en 2009 uitgevoerde wadvogeltellingen op Texel (Smit 2010), aangevuld met meer incidentele waarnemingen, blijkt dat tussen 2000 en 2009 regelmatig enkele duizenden Kanoeten aanwezig waren in juni (Stork 2010).

De westelijke Waddenzee, d.w.z. het gebied tussen Texel, Terschelling en de Friese vastelands kust wordt door de Kanoeten als één enkele 'functionele eenheid' gebruikt (zie Piersma *et al.* 1993a, van Gils *et al.* 2006). Binnen dit gebied is in feite sprake van één grote groep Kanoeten die gezamenlijk dat deel van de Nederlandse Waddenzee gebruikt als gemeenschappelijk foerageer- en rustgebied, een gebied waarin de aantallen en de wijze waarop de hoeveelheid voedsel wordt geëxploiteerd min of meer op zichzelf staat. Deze populatie wisselt wel uit met Kanoeten uit de oostelijke Waddenzee (die ook fungeert als een "functionele eenheid"), maar met mate. De kans om een westelijke Kanoet in de westelijke Waddenzee aan te treffen is veel groter dan deze terug te vinden in het oosten. Hetzelfde geldt voor Kanoeten uit de oostelijke Waddenzee. In de loop van de winter schuift een deel van de oostelijke vogels wel door naar het westen (Spaans *et al.* 2009). In dit kader is het van belang dat de aantalsontwikkelingen van de 2 onderscheiden "functionele eenheden" een verschillende trend vertonen. De aantalsontwikkeling van de Kanoet in de Nederlandse Waddenzee laat een neergaande lijn zien in de westelijke Waddenzee en een opgaande lijn in de oostelijke Waddenzee (Ens *et al.* 2009a, Smit *et al.* 2011, zie Figuren 8.1 en 8.2).

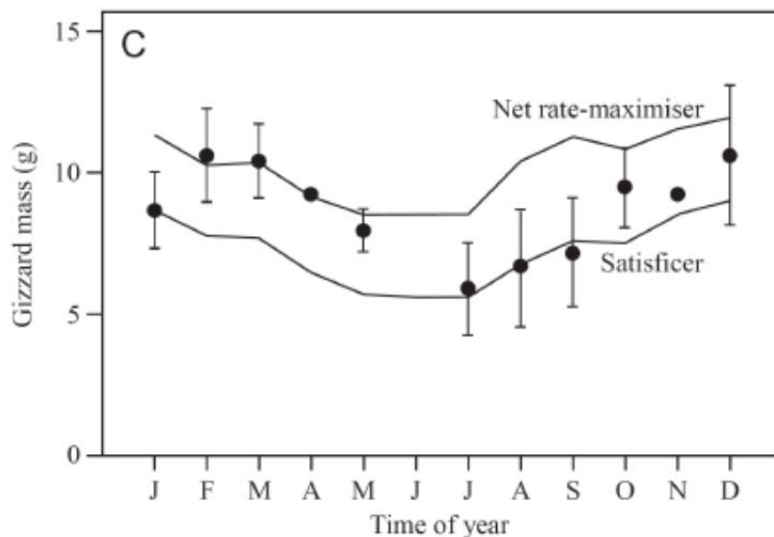
8.2.2.1 Dieet en spiermaag gegevens verzameld door het jaar heen

De energie-opname van Kanoeten wordt bepaald door zowel het gewicht van de spiermaag als de kwaliteit (zowel de energie-inhoud als de vlees/schelp ratio) van de prooien. Wanneer schelpdieren een lage kwaliteit hebben, waarbij de verteringsorganen van Kanoeten veel schelpgruis moeten verwerken,

reageren Kanoeten hierop door de grootte van de spiermaag en hun darmen te vergroten en daarmee ook de kraakcapaciteit van de maag en de opnamesnelheid van voedsel door de darmen (Dekinga et al. 2001, van Gils et al. 2003a). Hoewel deze flexibiliteit in het kunnen manipuleren van de grootte van de spijsverteringsorganen de vogels helpt om ook met prooien van lagere kwaliteit een voldoende hoge voedselopnamesnelheid te krijgen (van Gils et al. 2003a) zijn er ook kosten verbonden aan het vergroten van de spiermaag. Zo is het is energetisch duurder om te vliegen met een grotere spiermaag (Piersma & Lindström 1997). Bovendien zijn er grenzen aan de vergroting van de spiermaag, afhankelijk van de hoeveelheid energiereserves in de vorm van onderhuids vet.



Figuur 8.4. Dieet samenstelling (histogrammen geschaald op de linker as; uitgedrukt als percentage van het totale energie verbruik) en de maand-specifieke hoeveelheid vleesgewicht per prooi type (Zwarts, 1991b; hier niet weergegeven), bepalen de kwaliteit van de gemiddeld opgenomen prooi (gevulde rondjes geschaald op de rechter as, uitgedrukt als hoeveelheid metaboliseerbare energie per gram schelpgewicht). De weergegeven data zijn verzameld van 1988-2000 in vooral de westelijke Waddenzee (bron: van Gils et al. 2003a, 2009).



Figuur 8.5. Voorspelde spiermaag-gewichten voor satisficing en net rate-maximizing Kanoeten (lijnen) waar over heen de spiermaag gewichten van vrij levende Kanoeten in de Waddenzee uit 1984-2002 (stippen) zijn gelegd (gem. \pm standaarddeviatie; $N = 920$, waarvan 73 zijn verkregen door dissectie van karkassen en 847 door echoscopie op levende vogels). Net rate-maximizing spiermagen worden in het voorjaar (feb-mei) gevonden, terwijl satisficing spiermagen gedurende de rest van het jaar (juli-jan) worden gevonden (bron: van Gils et al. 2003a, 2009).

Van Gils *et al.* (2003a, 2005b) hebben getracht een model te construeren waarmee de grootte van de spiermaag kan worden voorspeld die nodig is om aan de dagelijkse energie behoefte te voldoen. Deze voorspelling heeft als ingangsparementers nodig:

- 1) kwaliteit prooi
- 2) dagelijkse energiebehoefte
- 3) dagelijkse beschikbare foerageertijd

De eerste parameter heeft zijn piek aan het begin van het reproductieve seizoen in de Waddenzee van de prooidieren (laat in het voorjaar, Zwarts 1991b). De tweede parameter varieert vooral met de omgevingstemperatuur en windsnelheid (Wiersma en Piersma 1994), de derde parameter is constant op 12 uur/dag (Piersma *et al.* 1994).

Omdat de maandelijkse prooi-kwaliteitsverwachtingen bekend zijn (Figuur 8.4, gebaseerd op Zwarts 1991b, waarbij is gecorrigeerd voor de waargenomen dieetsamenstelling) en ook de energie-uitgave, kunnen we voor Kanoeten die in de Waddenzee leven de voor elke maand daarbij passende spiermaag-gewichten voorspellen. Afhankelijk van de criteria, kan de maand-specifieke dagelijkse energiebehoefte twee waarden aannemen:

- Als Kanoeten er naar streven hun energiebudget in balans te houden dan is de dagelijkse energiebehoefte gelijk aan de energieuitgave (*Satisficing*)
- Als Kanoeten ernaar streven hun dagelijkse netto energie opname te maximaliseren, is derhalve hun dagelijkse energie'behoefte' gelijk aan de fysiologisch maximale dagelijkse bruto energieopname (*Net rate-maximizing*)

Het resultaat van de modellering is weergegeven in Figuur 8.5. In deze figuur is een voorspelling weergegeven voor het optimale spiermaaggewicht voor iedere maand. Gegevens over spiermaaggewichten van vrij levende Kanoeten gemeten in de Waddenzee ($N = 920$) komen zeer goed overeen met een combinatie van deze voorspellingen. *Net rate-maximizing* spiermagen voor Kanoeten (waarmee de grootst mogelijk energie-opname kan worden gerealiseerd) worden in het voorjaar (februari-mei) gevonden, terwijl *satisficing* spiermagen gedurende de rest van het jaar gevonden worden.

Deze verschuiving in foerageerverplichting is consistent met seizoensveranderingen in lichaamsgewicht en energievoorraden. Kanoeten leggen in het voorjaar grote energievoorraden aan, wanneer ze zich voorbereiden op hun lange non-stop vluchten waarmee ze van West Afrika naar Europa en van Europa naar de broedgebieden in Siberië en Groenland vliegen, terwijl in de overwinteringsgebieden in Noordwest Europa het lichaamsgewicht relatief stabiel blijft (Piersma 1994). Het is ook consistent met een experimentele studie die aantoont dat Kanoeten in het voorjaar hun netto opnamesnelheid maximaliseerden terwijl ze voedselvoorraden exploiteerden (van Gils *et al.* 2003b). Bovendien nemen de lichaamsgewichten laat in de herfst (oktober-december) een beetje toe (Piersma 1994), wat overeenkomt met spiermagen waarvan de grootte het midden houdt tussen de *satisficing* en *net-rate maximizing* grootte gedurende die tijd van het jaar (Figuur 8.5). Kanoeten blijken zich in Noordwest Europa gedurende het grootste deel van het jaar te gedragen als zogenaamde *satisficers* en zich alleen tijdens het opvetten als *rate-maximisers*.

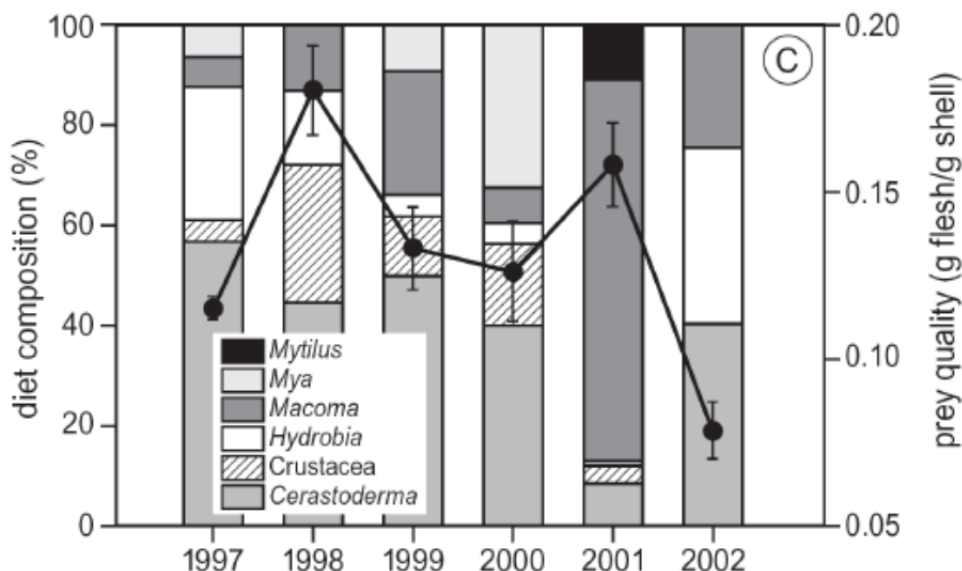
De waargenomen gewichten van de spiermaag varieerden sterk tussen jaren. De spiermagen in 1997 waren groter dan in elk ander jaar. Bovendien waren de spiermagen in 2000 en in 2002 groter dan in 1998. Ook verschilden de dagelijkse foerageertijden tussen jaren. Vogels foerageerden in 1998 en in 1998 langer dan in 1997. Alleen in 2001 waren de foerageertijden niet te onderscheiden van andere jaren.

8.2.2.2 Dieet samenstelling en de kwaliteit van prooien (studies 1997-2002)

Analyses van de poep laten zien dat Kokkels in vijf van de zes jaar de meest geconsumeerde prooidiersoort waren (op basis van vleesgewicht). Alleen in 2001 was het Nonnetje de meest voorkomende soort in het dieet (76,3% in 2001, $25,2 \pm 10,7\%$ over alle jaren (zie Figuur 8.6). Andere prooisorten, in volgorde van afgaand belang, waren het Wadslakje ($14,3 \pm 5,7\%$), kreeftachtigen ($10,8 \pm 4,1\%$, voornamelijk Strandkrab *Carcinus maenas* en Garnaal), Strandgaper ($8,1 \pm 5,1\%$) en Mossel ($1,8 \pm 1,8\%$). De gemiddelde kwaliteit van ingeslikte prooien in deze dieetsamenstellingen varieerde tussen jaren (weergegeven met stippen in Figuur 8.6). Het grootste verschil werd waargenomen in 1997 en 1998. De meeste variatie in de voedselkwaliteit tussen jaren was het gevolg van de variatie in dieetsamenstelling (veel meer dan variatie in kwaliteit binnen prooidiersoorten). Met name het aandeel van 'zachte' crustaceeën in het dieet (het hoogst in 1998, het laagst in 2002) bepaalde de jaarlijkse gemiddelde prooikwaliteit sterk (weer het hoogst in 1998, laagst in 2002).

Gedurende de studiebeperiode (1997-2002) nam het aantal stations waarop monsters werden verzameld en dat te arm was voor Kanoeten om er te foerageren toe van 66% in 1998 tot 87% in 2002. Van Gils *et al.* (2009) verklaren dit vooral op basis van de in die tijd nog plaatsvindende mechanische kokkelvisserij. Als gevolg van deze activiteit in de beste gebieden nam de kwaliteit af van de opgenomen prooien met 11,7% per jaar af. Om te compenseren voor deze afname in kwaliteit van het voedsel zouden Kanoeten hun spiermaag-gewicht moeten laten toe nemen (Dekinga *et al.* 2001, van Gils *et al.* 2003a). Inderdaad nam in de loop van de studiebeperiode het spiermaag-gewicht toe met 3,4% per jaar. De toename in het gewicht van de spiermaag komt exact overeen met onze kwantitatieve verwachtingen.

Dat vogels die terugkomen uit de hoog-arctische broedgebieden met te kleine spiermagen (Piersma *et al.* 1999b) niet zomaar even hun spiermaag vergroten, kan worden verklaard door de aanwezige tijdsdruk en energetische beperkingen (Dekinga *et al.* 2001, Piersma *et al.* 1999a). Vogels die arriveren met een te kleine spiermaag hebben waarschijnlijk meer tijd nodig om hun spiermaag aan te passen dan hun vetvoorraad ze toestaat en lopen daarom het gevaar te verhongeren tenzij ze het gebied verlaten.



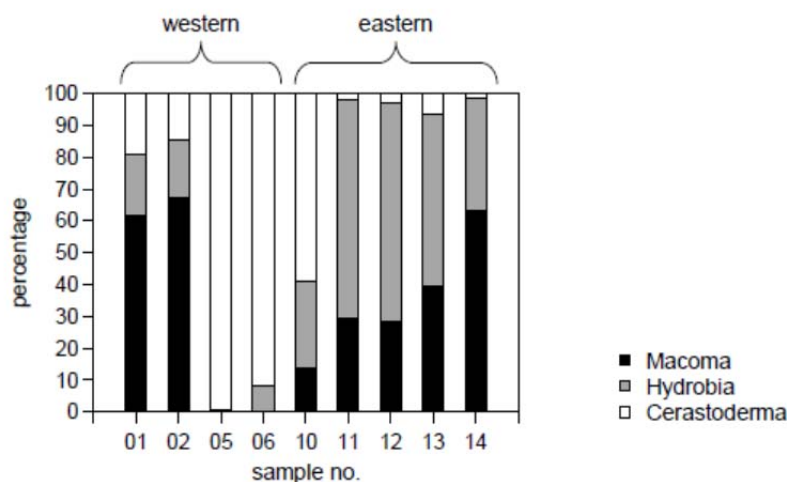
Figuur 8.6. Dieet samenstelling in de jaren 1997-2002 (histogrammen geschaald op de linker verticale as; op basis van vlees-gewicht) en de prooikwaliteit (rondjes en standaardfouten, rechter verticale as) voor elk studiejaar. Bron: van Gils *et al.* (2009).

Vogels die niet in staat zijn in te spelen op het veranderde voedselaanbod, zowel als gevolg van de beschikbare exploitatieerbare hoeveelheid dan wel als gevolg van veranderingen van de kwaliteit van prooidieren, kunnen zijn gestorven of, misschien meer voor de hand liggend voor een lange-afstands-

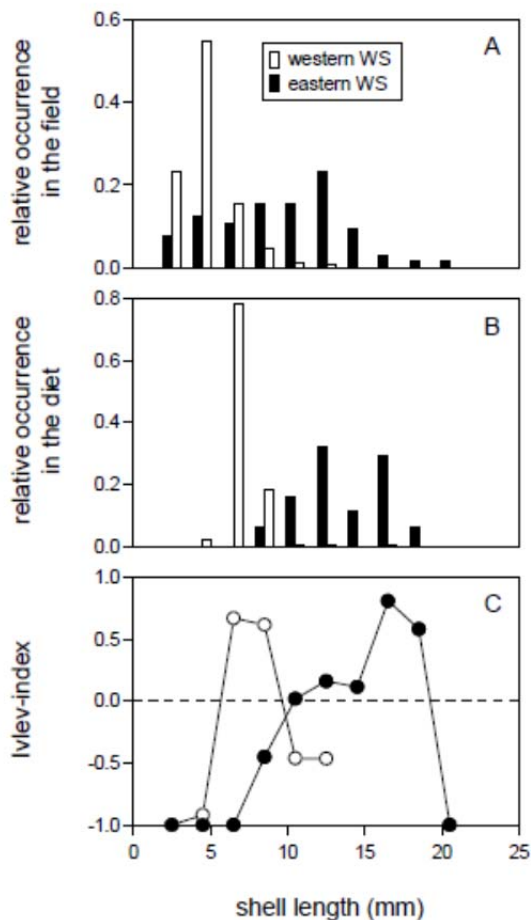
trekker, zijn geëmigreerd naar andere gebieden zoals de estuaria van Groot-Brittannië. Hiervoor betalen ze waarschijnlijk een mortaliteits-tol als gevolg van de extra reis en/of ten gevolge van onzekerheden in de voedselbeschikbaarheid op hun nieuwe locatie. Uit oude gegevens (Goss-Custard *et al.* 1977, Prater 1972b) en ook recente (Atkinson *et al.* 2004, Stillman *et al.* 2005) blijkt dat ze ook hier schelpdieren eten, en dus te maken krijgen met spiermaag-gerelateerde mortaliteit. Het afnemende aantal Kanoeten dat in de Nederlandse Waddenzee overwintert (van Roomen *et al.* 2005) kan dan ook worden verklaard als respons op afnemende voedselomstandigheden. Bovendien kan de 25% afname van de hele in Noordwest Europa overwinterende populatie tussen 1997/1998 en 2002/2003 (van ca. 330.000 tot ca. 250.000; *ongepubl. data* van BTO, SOVON en anderen) worden verklaard door gemeten afnames in lokale overleving van het Waddenzee segment van de populatie gedurende de studie periode. Gebruik makend van de geobserveerde lokale overlevingskansen schatten we een extra mortaliteit van 58.000 vogels over de 5 jaarlijkse periode (van Gils *et al.* 2009).

8.2.2.3 Verschillen in de dieetsamenstelling tussen de westelijke en de oostelijke Nederlandse Waddenzee op basis van recent dieetonderzoek

Gedurende de nazomer van 2007 werden in de Nederlandse Waddenzee faecesmonsters verzameld, zowel in het westelijk als in het oostelijk deel. Van Gils *et al.* (2009) presenteren hier een eerste voorlopige analyse van de gegevens (Yang *et al.* in voorbereiding). Er werden 9 monsters in totaal verzameld (4 in het westelijk deel en 5 in het oostelijk deel van de Nederlandse Waddenzee), waarbij elk monster bestond uit 25-50 individuele keuteltjes. De monsters werden verwerkt en geanalyseerd zoals beschreven door Dekinga & Piersma (1993).



Figuur 8.7. Percentage van de prooien in de westelijke (4 monsters) en oostelijke Waddenzee (5 monsters) op basis van analyse van faeces van Kanoeten uit de nazomer van 2007. Weergegeven zijn Nonnetje, Wadslakje en Kokkel. Bron: van Gils *et al.* (2009).



Figuur 8.8. Geografische verschillen in de aantallen (A), de grootselectie van Nonnetjes in de westelijke en de oostelijke Waddenzee (B) en een index voor het aandeel van de verschillende grootteklassen in het dieet van Kanoeten uit de westelijke en de oostelijke Waddenzee (C). Bron: van Gils *et al.* (2009).

Uit Figuur 8.7 blijkt dat slechts drie prooi-soorten samen meer dan 99% van het totale dieet spectrum (op gewichtsbasis) uitmaakten: Nonnetje, Wadslakje en Kokkel. Op beide plekken bestond het dieet voor 33% uit Nonnetjes. Wadslakjes droegen 51% bij in het oostelijk deel en 11% in het westelijk deel, terwijl het omgekeerde het geval was voor Kokkel (respectievelijk 14% en 56%). Uit Figuur 8.8 blijkt dat er interessante geografische verschillen bestaan voor wat betreft de grootselectie van Nonnetjes. Kanoeten in de westelijke Waddenzee aten relatief kleine Nonnetjes (Figuur 8.8B), simpelweg omdat grote Nonnetjes hier niet aanwezig waren (Figuur 8.8A en 8B). Deze kleine Nonnetjes werden genegeerd door Kanoeten in de oostelijke Waddenzee, waar zowel kleine als grote Nonnetjes aanwezig waren (Figuur 8.8B en 8.8C). Dit resultaat is in overeenstemming met de voorspelling voor het optimale dieet, waarbij kleine, onprofijtelijke prooien niet gegeten zouden moeten worden wanneer opnamesnelheden hoog zijn, terwijl ze wel gegeten zouden moeten worden wanneer opnamesnelheden laag zijn. Het NIOZ-benthos-bemonsteringsprogramma laat inderdaad zien dat de westelijke Waddenzee veel minder rijk is dan de oostelijke helft van de Waddenzee (van Gils *et al.* 2009).

8.2.2.4 Conclusie: de betekenis van de resultaten van dit onderzoek

Uit het onderzoek naar het dieet van Kanoeten blijkt dat dit van plaats tot plaats sterk kan verschillen en afhankelijk is van het ter plaatse aanwezige aanbod. Gebieden waar geen geschikte prooidieren aanwezig zijn dus ook ongeschikt voor Kanoeten. Wanneer er in een bepaald gebied alleen moeilijk verteerbare prooien aanwezig beschikt de Kanoet over de mogelijkheid om het verteringsmechanisme

aan te passen. Van Gils *et al.* (2009) hebben met hun onderzoek in de afgelopen jaren en de in het kader van dit BO-onderzoek uitgevoerde analyse en het aangeleverde document overtuigend bewijs geleverd voor de stelling dat de opnamesnelheden van Kanoeten beperkt worden door de verteringsnelheid. Hun berekeningen suggereren dat, gedurende hun jaarlijkse cyclus, Kanoeten de capaciteit van hun verteringsmachine continu op zo'n manier aanpassen, dat het net genoeg is om de dagelijkse vereiste energiebehoefte te verwerken (teneinde op deze wijze het energiebudget in balans te houden of te maximaliseren). Dit laat een geheel nieuw licht schijnen op vele klassieke en huidige ideeën over foerageren, die in sterke mate worden bepaald de functionele respons theorie van Holling. Deze heeft als uitgangspunt dat (interferentie-vrije) opnamesnelheden worden beperkt door vind- en hannestijden (de tijd die nodig is om de prooi te bewerken en te verwerken, Caldow & Furness 2001, Gill *et al.* 2001, Norris & Johnstone 1998, Piersma *et al.* 1995, van Gils *et al.* 2004; maar zie recente overzichten door Jeschke *et al.* 2002 en Karasov & McWilliams 2005). Niet alleen leidt deze "Holling-zienwijze" in het geval van de Kanoet tot afwijkende voorspellingen van opnamesnelheden (van Gils *et al.* 2003a), het leidt ook tot een onjuist begrip van het mechanisme dat prooi-selectie stuurt (van Gils *et al.* 2005b). In een omgeving met meerdere prooien, is prooi-selectie volgens Holling's model gebaseerd op prooi-profitabiliteit, d.w.z. dat vogels alleen zou moeten foerageren op die prooien waarvan de energie-inhoud per eenheid 'hannes-tijd' de lange-termijn energie-opnamesnelheid overstijgt (Pulliam 1974). Echter wanneer er een verteringsbeperking is, zoals in het geval van de Kanoet, moet de prooi niet worden uitgezocht op basis van profitabiliteit, maar vooral op basis van prooi-kwaliteit, d.w.z. de hoeveelheid energie inhoud per gram onverteerbaar materiaal (Hirakawa 1995).

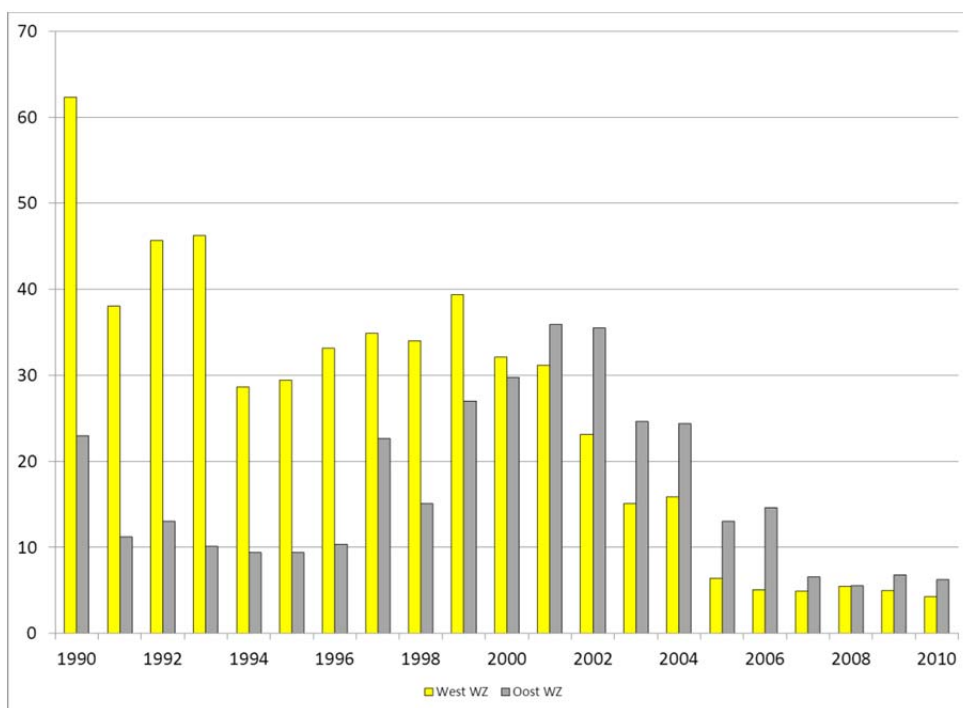
8.2.3 Onderzoeksvraag 3

Hoe is de beschikbaarheid van *potentiële* prooidieren⁵ (kwantiteit en kwaliteit) gedurende de loop van het project?

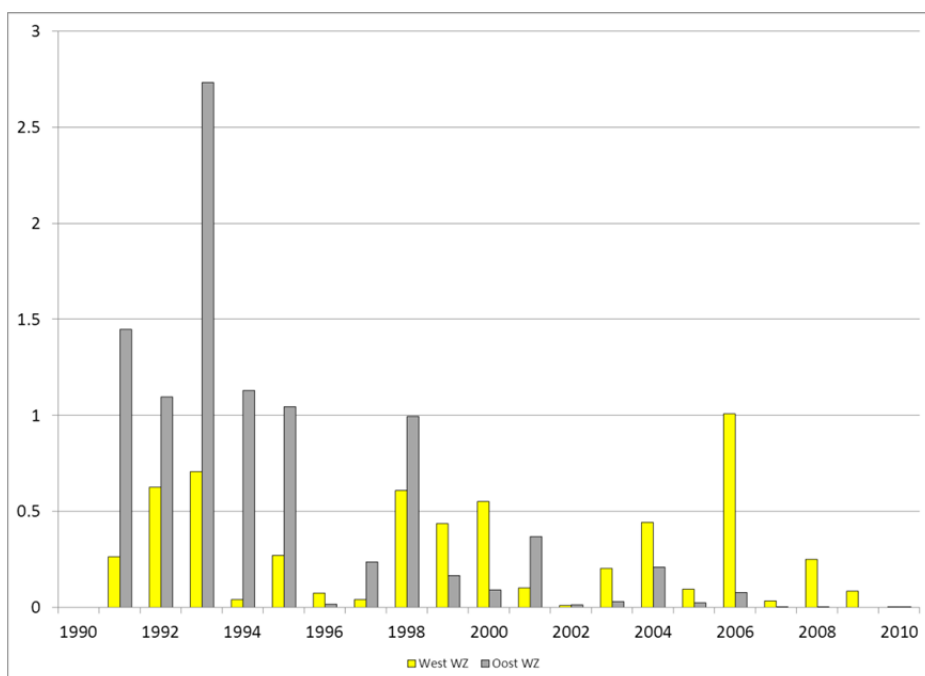
De aantalsontwikkeling van de meest geprefereerde prooi in de Waddenzee (het Nonnetje) is weergegeven in de Figuur 8.9 en 8.12. In het eerste geval zijn de gemiddelde dichtheden weergegeven per jaar in de westelijke en de oostelijke Waddenzee, in het tweede geval de dichtheden per jaar in het gebied rond Griend en in de westelijke Waddenzee. Figuur 8.9 laat zien dat de aantallen Nonnetjes in de oostelijke Waddenzee een nogal variabel verloop kennen, waarbij de aantallen oplopen in het eind van de jaren '90, op een hoog niveau blijven t/m 2001 en vervolgens weer afnemen. De dichtheden in de westelijke Waddenzee laten na 1993 een min of meer voortdurende aflopende lijn zien. Figuur 8.12 laat zien dat de dichtheden rond Griend in de loop van de afgelopen 20 jaren zijn gedaald tot orde van grootte 10% van wat ze begin jaren '90 waren.

Figuur 8.13 laat zien dat alternatieve prooidiersoorten in de Waddenzee in veel jaren slechts in beperkte mate aanwezig zijn in de Waddenzee. Naast jaren met sterke broedval (een natuurlijk verschijnsel bij deze soort – Beukema *et al.* 1993) zijn er ook jaren met vrijwel geen broedval. Wanneer er een goede broedval is opgetreden vormt de jaarklasse 0 (de Kokkels die in dat jaar uit larven zijn opgegroeid) een bruikbare prooi voor Kanoeten. Dat is ook nog zo vlak na de eerste winter van deze Kokkels. Zodra ze doorgroeien is dat nog maar voor een steeds kleiner worden deel het geval. Van de 1-jarige Kokkels (Figuur 8.10) is dan ook al een deel te groot om door Kanoeten te worden gegeten. Na de zomer in hun tweede levensjaar, wanneer de Kokkels dus ruim een jaar oud zijn, zal het grootste deel inmiddels zo groot zijn geworden dat ze niet meer geschikt zijn als voedsel voor Kanoeten. Uit dit gegeven blijkt dat een in stabiel aantal voorkomende prooidiersoort, die het Nonnetje in het verleden was (Piersma *et al.* 2009), een erg belangrijke factor is geweest voor een garantie voor voldoende voedsel voor Kanoeten.

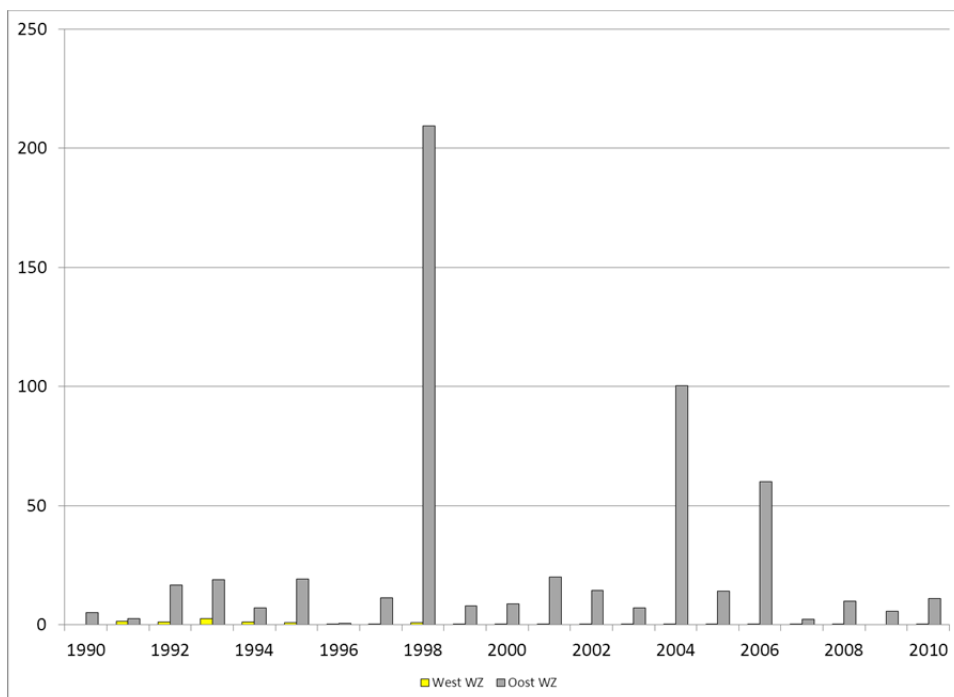
⁵ Cursieve tekst betreft eigen toevoeging



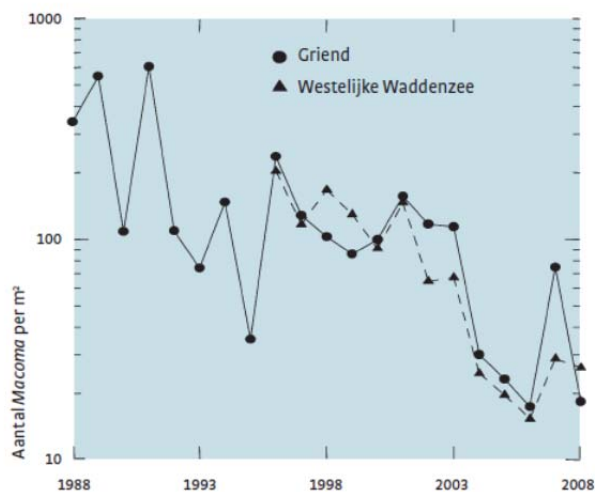
Figuur 8.9. Biomassa (in miljoen kg versgewicht) van Nonnetjes in de westelijke (geel) en de oostelijke Waddenzee (grijs) in de jaren 1990-2010. De gegevens zijn samengesteld op basis van de jaarlijkse RIVO en IMARES rapportages over de ontwikkeling van de kokkelstand (zie bijvoorbeeld Kesteloo et al. 2010). Bron: IMARES, Joke Kesteloo (ongepubl.).



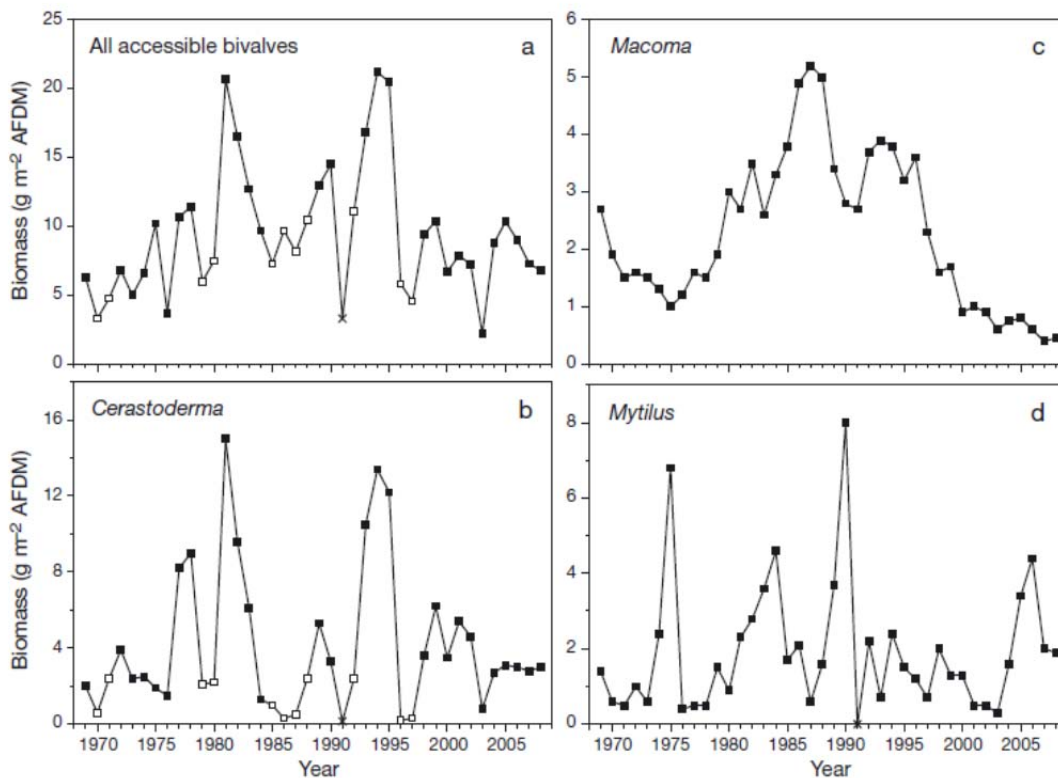
Figuur 8.10. Biomassa (in miljoen kg versgewicht) van nuldejaars (oftewel eerste kalenderjaars) Kokkels in de westelijke (geel) en de oostelijke Waddenzee (grijs) in de jaren 1990-2010. De gegevens zijn samengesteld op basis van de jaarlijkse RIVO / IMARES rapportages over de ontwikkeling van de kokkelstand (zie bijvoorbeeld Kesteloo et al. 2010). Bron: IMARES, Joke Kesteloo (ongepubl.).



Figuur 8.11. Biomassa (in miljoen kg versgewicht) van Kokkels in de westelijke en de oostelijke Waddenzee in de jaren 1990-2010 in de grootteklasse 0-jarig en 1-jarig, zijnde de leeftijds categorieën die tenminste gedeeltelijk door Kanoeten kunnen worden gegeten. De gegevens zijn samengesteld op basis van de jaarlijkse RIVO en IMARES rapportages over de ontwikkeling van de kokkelstand (zie Kesteloo et al. 2010). Bron: IMARES, Joke Kesteloo (ongepubl.).



Figuur 8.12. Dichtheid van Nonnetjes op de Grienderwaard (het wad rond Griend) van 1988-2008 en in de westelijke Waddenzee van 1996- 2008 (met inbegrip van de Grienderwaard) zoals deze zijn gemeten tijdens de benthische NIOZ-nazomercampagnes (half juli-begin oktober). NB. de y-as heeft een logaritmische schaal. Bron: Piersma et al. 2009



Figuur 8.13. Lange-termijn data series van de biomassa van 3 verschillende soorten schelpdieren op het Balgzand (in g AFDM/m²) in de late winter gedurende een periode van 40 jaren (1969 t/m 2008,) op het litorale deel van het Balgzand (gemiddelden van 15 monsterpunten). (a) Som van alle schelpdieren die kunnen worden beschouwd als voedsel voor vogels, (dus exclusief grote exemplaren van Strandgaper (>5 cm schelp lengte) en Amerikaanse Zwaardschede (>5 cm schelp lengte); (b) de Kokkel; (c) het Nonnetje; (d) de Mossel. Het symbool x in de deelfiguren a, b en d in 1991 geeft de situatie weer na intensieve visserij op Mossel en Kokkel op het Balgzand in de zomer van 1990 waarbij het bestand van volwassen dieren van deze 2 soorten tot vrijwel nul werd gereduceerd. De open blokjes in de deelfiguren a en b duiden op jaren met een voorafgaande strenge winter (1970, 1979, 1985, 1986, 1987 en 1996), of 1 jaar daarna (1971, 1980, 1988, en 1997), of 1 jaar na intensieve kokkelvisserij (begin 1992). Bron Beukema *et al.* 2010.

Jonge Mosselen kunnen een derde belangrijke voedselbron voor Kanoeten vormen, hoewel dit niet blijkt uit Figuur 8.7. Uit Figuur 7.8 en 8.13 blijkt geen duidelijke trend voor de totale biomassa van de Mossel in de Waddenzee. Figuur 8.13 laat zien dat de biomassa die sinds 1990 in de Waddenzee aanwezig was aan sterke veranderingen is onderhevig geweest. Het areaal in de jaren '70 in de gehele Nederlandse Waddenzee werd geschat op ongeveer 4000 ha (Dijkema *et al.* 1989), verspreid over zowel de westelijke als de oostelijke Waddenzee. Na het vrijwel geheel verdwijnen van droogvallende mosselbanken in het begin van de jaren '90 heeft er een hervestiging plaatsgevonden in zowel de westelijke als de oostelijke Waddenzee (Figuur 7.8). De hoeveelheid Mossel in de westelijke Waddenzee is in de erop volgende jaren weer sterk afgenomen terwijl deze in de oostelijke Waddenzee geleidelijk aan is toegenomen, echter met grote schommelingen van de aanwezige biomassa. Anno 2010 is in de westelijke Waddenzee slechts een beperkt areaal droogvallende mosselbank aanwezig, in de oostelijke Waddenzee komen ze op meer plaatsen voor. Het totale areaal in de Waddenzee bedraagt 1419 ha (van Zweeden *et al.* 2010, zie Figuur 7.8). De huidige rol van droogvallende Mosselen voor Kanoeten blijft daarmee onduidelijk.

8.3 Conclusie in relatie tot Instandhoudingsdoelen

Uit de in de afgelopen jaren uitgevoerde tellingen blijkt dat de aantallen Kanoeten rond de Instandhoudingsdoelstelling van 44.400 (seizoensgemiddelde) schommelen. De trend is de laatste jaren duidelijk negatief voor de westelijke Waddenzee en positief voor de oostelijke Waddenzee. Voor de Noordzeekustzone is de Instandhoudingsdoelstelling geformuleerd als een seizoensmaximum van 560 vogels. Dit maximum is in de jaren 1999/2000 t/m 2003/04 gerealiseerd (SOVON & CBS 2005), op basis waarvan mag worden geconcludeerd dat de Instandhoudingsdoelstelling in deze jaren werd gehaald. Het is onduidelijk hoe de ontwikkeling zal zijn van de meest geprefereerde prooidiersoorten van deze soort (Nonnetje en Kokkel) maar op basis van de ontwikkelingen in de stand van deze prooidiersoorten in de westelijke Waddenzee lijkt een herstel van de aantallen Kanoeten alhier op korte termijn niet waarschijnlijk. Een relatie met verminderde draagkracht als gevolg van nutriëntenreducties lijkt niet uitgesloten maar de broedval van Nonnetjes lijkt primair te worden aangestuurd door een combinatie van mismatch tussen larvenproductie en voedselbeschikbaarheid (Philippart *et al.* 2007) en een verhoogde predatie door Garnalen en krabben. Mogelijk speelt dit laatste aspect ook een belangrijke rol voor het vrijwel uitblijven van broedval van Kokkels in de westelijke Waddenzee maar mogelijk spelen hierbij ook andere factoren (zoals veranderingen in de sedimentsamenstelling - Piersma *et al.* 2001, Compton *et al.* 2009, Kraan *et al.* 2010) een rol.

8.4 Samenvatting en slotopmerkingen

- De aantallen Kanoeten in de Nederlandse Waddenzee vertonen een sterk fluctuerend verloop waarbij op de lange termijn sprake is van een vrij stabiel aantal. De aantallen in de westelijke Waddenzee zijn tussen 1990 en 2000 sterk gedaald en zijn daarna vrij stabiel, in de oostelijke Waddenzee zijn ze licht gestegen
- De belangrijkste prooidieren van de Kanoet (Nonnetje en Kokkel, van deze laatste soort vooral de kleine exemplaren) zijn sterk afgenomen, vooral in de westelijke Waddenzee

Een relatie met verminderde draagkracht als gevolg van nutriëntenreducties wordt niet uitgesloten maar de broedval van Nonnetjes lijkt primair te worden aangestuurd door een combinatie van mismatch tussen larvenproductie en voedselbeschikbaarheid en een verhoogde predatie. Mogelijk speelt dit laatste aspect ook een belangrijke rol voor het vrijwel uitblijven van een goede broedval van Kokkels in de westelijke Waddenzee maar mogelijk spelen hierbij ook andere factoren (zoals veranderingen in de sedimentsamenstelling) een rol.

9 Draagkracht van de Waddenzee voor schelpdieren en vogels gerelateerd aan de toevoer van nutriënten en het voorkomen van Japanse Oesters en Amerikaanse Zwaardschede, een modelstudie

Bijdrage: A.G. Brinkman

9.1 Inleiding

Naast de onderzoeksvragen die de vogels zelf betreffen, en die in de voorgaande paragrafen aan de orde zijn geweest, is door de opdrachtgever ook gevraagd om de effecten van eutrofiëring, visserij, exoten en mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) op de omvang van de schelpdierpopulatie die als voedselbron voor vogels dient in kaart te brengen. Het kernwoord hierin is *draagkracht* van de Waddenzee.

De letterlijke vraag van LNV was:

Met betrekking tot de ontwikkeling van de Japanse oester en Ensis en de invloed hiervan op de aanwezige voedselbronnen voor schelpdieretende vogels zal waarschijnlijk moeten worden gewerkt met een modelmatige benadering die verschillende mogelijke ontwikkelingen in beeld moet kunnen brengen. Een realistische schatting van het huidige voorkomen van de genoemde schelpdiersoorten is een vereiste, waarbij ook de mogelijke ontwikkelingen rond bijvoorbeeld de MZI's niet mag worden vergeten.

Het onderzoek wordt geacht een bijdrage te leveren aan het oplossen van maatschappelijk probleem. Daarbij dient duidelijkheid te worden gecreëerd over de vraag wanneer de draagkracht van de Waddenzee beperkend wordt i.r.t. de instandhoudings-/verbeterdoelen vanuit Natura 2000 (...). Voor wat betreft de vragen over de draagkracht van de Waddenzee en Noordzeekustzone is waarschijnlijk een modelmatige benadering de meest voor de hand liggende onderzoeksmethodiek. Inventarisatie van schelpdiervoorkomens (en specifiek de ontwikkeling van Japanse oester en Ensis) is een vereiste. Hiervoor kan worden aangesloten bij het onderzoek dat plaatsvindt en gefinancierd wordt in het kader van de WOT Visserij, onderdeel schelpdiermonitoring.

De term *draagkracht* kan op veel manieren gebruikt worden. In deze rapportage is als draagkracht beschouwd: de hoeveelheid vogels die zich in de Waddenzee zouden kunnen voeden, of de hoeveelheid schelpdieren die in de Waddenzee kunnen groeien.

Logischerwijze is de eerste vraag die beantwoord moet worden de volgende:

1. Is er een beperking voor de draagkracht en zo ja, wat kan die draagkracht dan beperken?

Als vervolgvragen zijn geïdentificeerd:

2. Wat is de huidige hoeveelheid schelpdieren en wat betekent dit voor de graasdruk?
3. Wat is de maximale hoeveelheid schelpdieren?
4. Waar liggen de knelpunten?
5. Hoeveel vogels kunnen zich met de schelpdieren voeden?
6. Wat is het effect van schelpdiervisserij op de vogelaantallen?
7. Wat is het effect van de MZI-mosselen op een natuurlijk schelpdierenbestand
8. Wat is het effect van exoten zoals de Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* of de Japanse Oester *Crassostrea gigas* op de biomassa vogelvoedsel
9. Hoe ontwikkelen wilde mosselbanken zich wanneer die niet meer bevestigd worden?
10. Wat is het effect van een toekomstige verder verminderde nutriëntentoevoer op de schelpdierbiomassa
11. Wat is de invloed van weer en klimaat op de schelpdierbestanden.

Om deze vragen te beantwoorden is een groot aantal modelexercities uitgevoerd. Een aantal onderwerpen is uiteindelijk slechts beperkt uitgediept. Zo is de invulling van de groei en de ontwikkeling van de grootteverdeling van de Amerikaanse Zwaardschede en de Japanse Oester niet binnen de modelexercities gerealiseerd, maar is een interpretatie van de modeluitkomsten gegeven. Ook de berekeningen naar de effecten van MZI's op de natuurlijke schelpdierbestanden vormen een eerste aanzet: naar de invloeden van MZI's op het ecosysteem van Waddenzee en Oosterschelde is in opdracht van het Ministerie van EL&I, in een ander kader, een uitgebreider onderzoek opgezet.

In de in dit hoofdstuk weergegeven tekst heeft de term 'mossel' twee betekenissen: daar waar het om modeluitkomsten en -berekeningen gaat betreft het mosselen als 'model'-schelpdier (in deze bijdrage daarom verder aangeduid als "modelmossel"). In de modelberekeningen is namelijk geen onderscheid gemaakt tussen verschillende schelpdiersoorten. Daar waar het om metingen (surveys, procesmetingen en dergelijke) gaat, betreft het 'echte' Mosselen van de soort *Mytilus edulis*.

9.2 Methoden en data

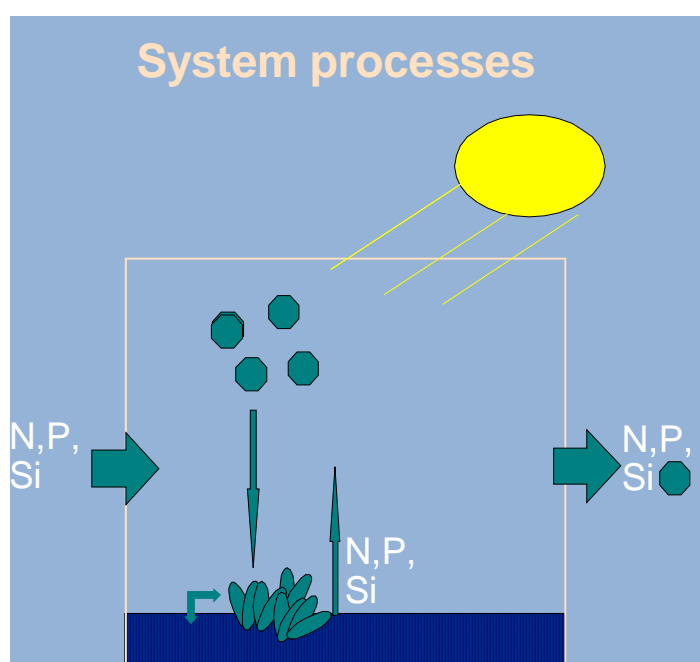
9.2.1 Modelinstrumentarium

9.2.1.1 Eenvoudig model (vraag 1)

Om de eerste vraag te beantwoorden is in eerste instantie een eenvoudig model toegepast. Dit is schematisch in Figuur 9.1 weergegeven. De basisprocessen primaire productie, beïnvloed door nutriënttoevoer, licht en temperatuur, en begrazing door fauna, zijn hierin verwerkt. Door de helderheid van het water, de diepte en ook de randvoorwaarden voor de gehalten aan nutriënt en alg te variëren kan getest worden onder welke condities nutriënten dan wel licht de primaire productie beperkt en welke invloed dit heeft op de secundaire productie (productie van schelpdieren). Een uitgebreide toelichting is te vinden in Brinkman (in prep.). De beantwoording van deze vraag geschiedt in § 9.3.1.

9.2.1.2 Een integraal ecosysteemmodel (vragen 1,2,4-7)

Daarna is een bestaand ecosysteemmodel (EcoWasp) toegepast waarin de stofstromen van nutriënt-algen-fauna met inbegrip van remineralisatieprocessen zijn beschreven. Het model berekent onder meer wat de activiteit van schelpdieren in het systeem kan zijn (zoals filtratiesnelheden, groeisnelheden, reproductie). Met de uitkomsten is geschat hoeveel vogels zich kunnen voeden met de schelpdieren. In §



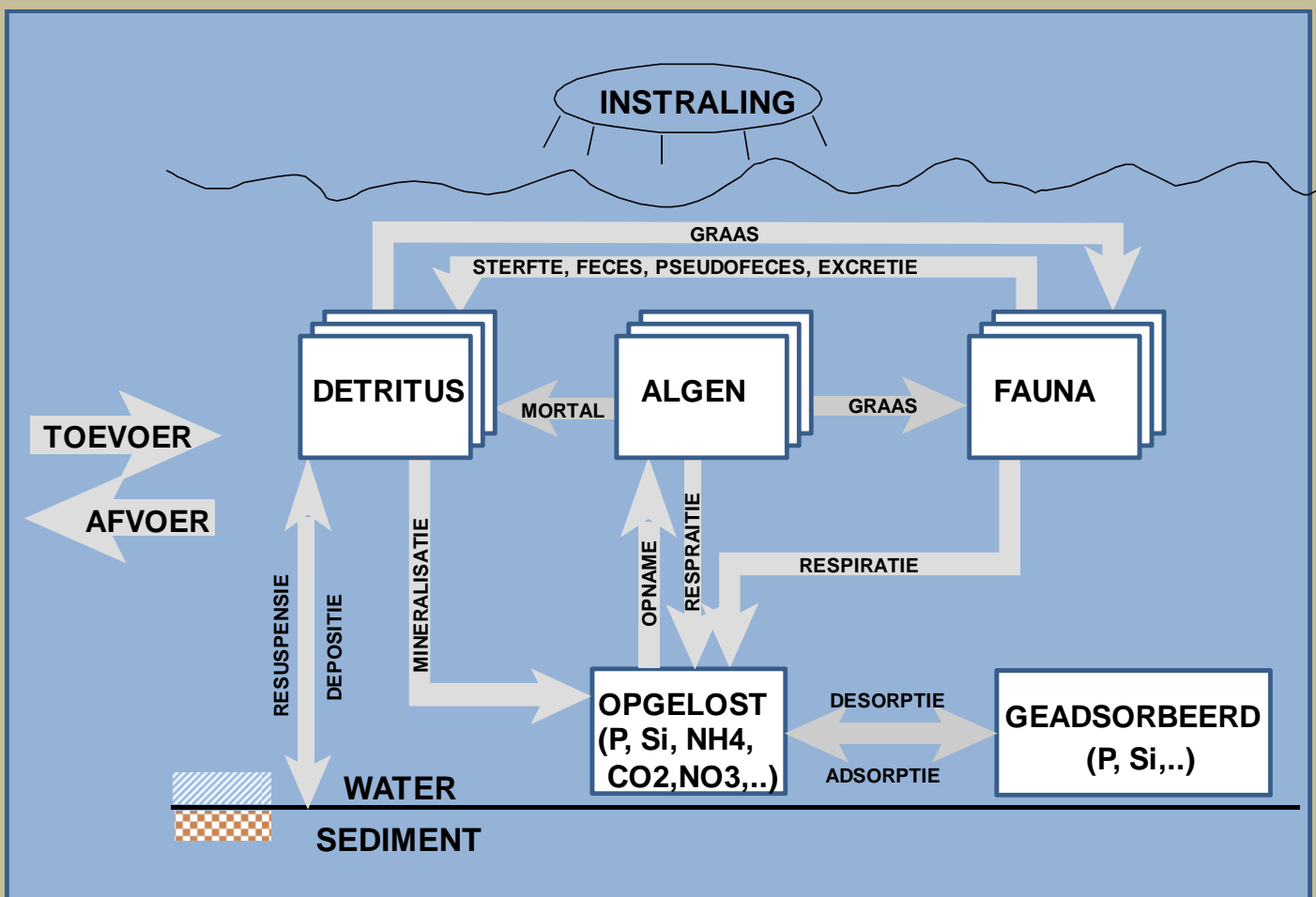
9.2.1.4 is aangegeven op welke manier dit berekend is. Via deze modelexercities zijn de vragen 1, 2 en 4-7 beantwoord. De resultaten van de analyses zijn weergegeven in de §§ 9.3.2 t/m 9.3.5, 9.3.7 en 9.3.10.

Figuur 9.1. Eenvoudig procesmodel: 1 compartiment, 1 nutriënt, 1 alg, 1 grazer. Er is uitwisseling met de Noordzee.

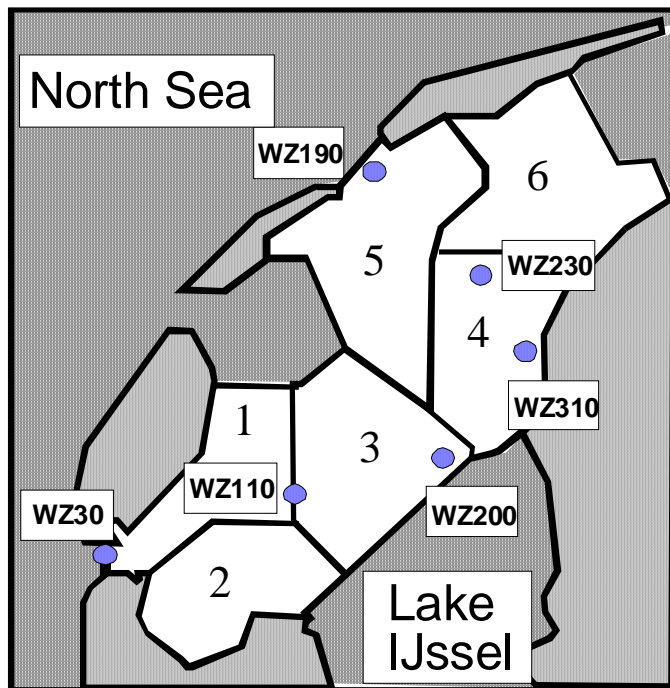
In het EcoWasp-model is een aantal ecosysteemprocessen beschreven: primaire productie door fytoplankton en fyto benthos, begrazing van deze algen door dieren en remineralisatie van afgestorven organisch materiaal. Hiermee komen weer nutriënten vrij die door de algen gebruikt worden voor hernieuwde groei. Er vindt toevoer plaats van nutriënten en andere stoffen via instroming (advectie) of via uitwisseling (dispersie). Er is ook een sedimentcompartiment; materiaal kan bezinken of opwervelen waardoor er een opslag van met name afgestorven organisch materiaal kan plaatsvinden (voorraadvorming). Door afbraakprocessen komen ook in de bodem nutriënten vrij, die deels aan bodemmateriaal kunnen adsorberen. Ook dit geadsorbeerde materiaal is een voorraad waaruit geput wordt in perioden waarin er in de waterkolom een tekort bestaat.

Van de dieren in het model wordt grootte en aantal beschreven. Er is per diersoort een aantal cohorten onderscheiden, van larven (klasse 1) tot adulten (laatste klasse). Bij de voortplanting wordt de eerste klasse gevuld en de overige klassen schuiven alle één op, waarbij de voorlaatste klasse met de laatste wordt samengevoegd. In het model kan het aantal klassen variëren, al naar nodig wordt geacht. Voor kleine dieren die zich vaak voortplanten kan één enkele klasse gekozen worden; de dieren hebben dan automatisch een vaste grootte en hiermee gaat de beschrijving voor die dieren over in een 'ouderwets' biomassa-model. Na de voortplanting neemt binnen elk cohort het aantal dieren voortdurend af, hetzij door 'gewone' sterfte hetzij door predatie.

In de modeltoepassingen komen drie soorten algen voor (diatomeeën, niet-diatomeeën en benthische diatomeeën) en "mosselen" als enige faunasoort.

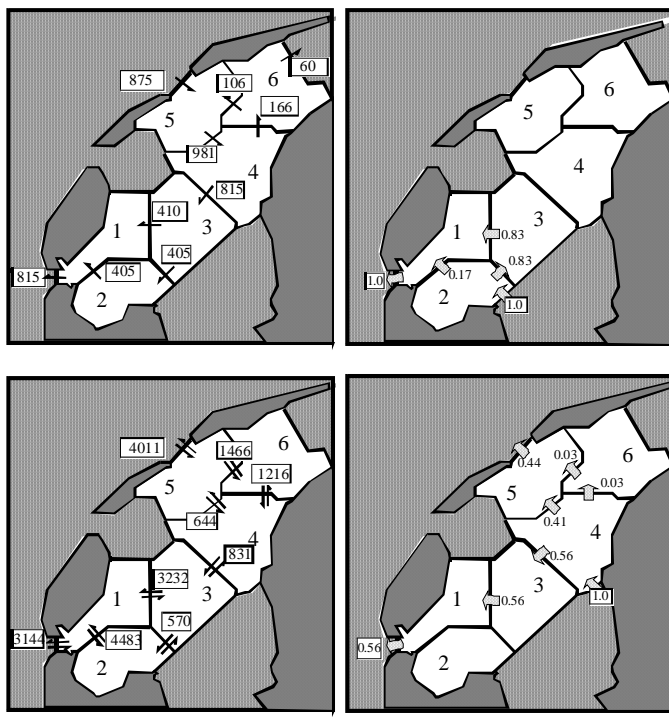


Figuur 9.2. Schematisch overzicht en korte beschrijving van het EcoWasp-model. Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar Brinkman (1993a) en Brinkman & Smaal (2003).



Figuur 9.3.

Schematisatie van de westelijke Waddenzee in het EcoWasp-model. Elk compartiment (1-6) bevat een droogvallend deel, een sublitoraal deel (tot 5 m diepte) en een dieper deel (de geulen, beneden 5 m diepte). Compartiment nummer 1 bevat de deelcompartimenten 1, 7 en 13, compartiment 2 de deelcompartimenten 2, 8 en 14, etc... tot nr 6 met deelcompartimenten 6, 12 en 18. De nummering van deelcompartimenten en monitoringlocaties komt in een aantal figuren met model- en meetresultaten aan de orde.



Figuur 9.4.

Overzicht van de uitwisseling tussen de EcoWasp-compartimenten en de Noordzee, en de toevoer van zoetwater vanuit het IJsselmeer. Linksboven: de reststromen ($m^3 s^{-1}$), naar Ridderinkhof (1988). Linksonder: de uitwisseling tussen de compartimenten en die met de Noordzee ($m^3 s^{-1}$, naar Ridderinkhof, 1988). Rechtsboven: de relatieve verdeling van de IJsselmeerspui bij Den Oever over de compartimenten. Rechtsonder: idem wat betreft de spui bij Kornwerderzand. De getallen geven weer welke fractie wordt toegekend aan een debiet.

Het water dat door het Eyerlandse Gat (het zeegat tussen Texel en Vlieland) stroomt mengt nauwelijks met het water in de beschouwde compartimenten. Dit gebied gedraagt zich dus min of meer autonoom en is om die reden niet in de modelberekeningen betrokken.

Voor een uitgebreide modelbeschrijving en beschrijving van de toepassing wordt verwezen naar Brinkman (1993a) en Brinkman & Smaal (2003). In Figuur 9.2 wordt een beknopt overzicht gegeven. Een overzicht van de schematisatie van de westelijke Waddenzee is gegeven in de Figuren 9.3 en 9.4. De toevoer van nutriënten en organisch materiaal vanuit het IJsselmeer, de uitwisseling tussen Waddenzee en Noordzee, de watertemperatuur en de globale straling zijn sturende grootheden voor de

modelberekeningen. In het model wordt een "modelmossel" als 'standaard'-schelpdier beschouwd. Bepalend voor de draagkracht is immers met welke *intensiteit* het fytoplankton begraaasd kan worden. Via een andere biomassa-specifieke filtratiesnelheid vindt een vertaling naar andere schelpdiersoorten plaats.

9.2.1.3 Schatting van de effecten van de Amerikaanse Zwaardschede en de Japanse Oester (vraag 8)

Voor de Amerikaanse Zwaardschede is aan de hand van de groeikarakteristieken de biomassa-specifieke filtratieintensiteit berekend. De gevonden waarden zijn afgezet tegen die van de modelmossel. De effecten van de Japanse Oester zijn gerelateerd aan de filtratie van schelpdierlarven en fytoplankton door de Oesters. Daarnaast is berekend wat het effect kan zijn van een langzaam groeiende filtreerder met een lage mortaliteit. Dit zou illustratief kunnen zijn voor het effect dat de Japanse Oester op het ecosysteem kan hebben. Deze vraag is behandeld in § 9.3.8.

9.2.1.4 Berekening van de aantallen vogels die zich met de schelpdieren kunnen voeden

Om een schatting te maken van het aantal vogels dat zich met de schelpdieren zou kunnen voeden moet bekend zijn:

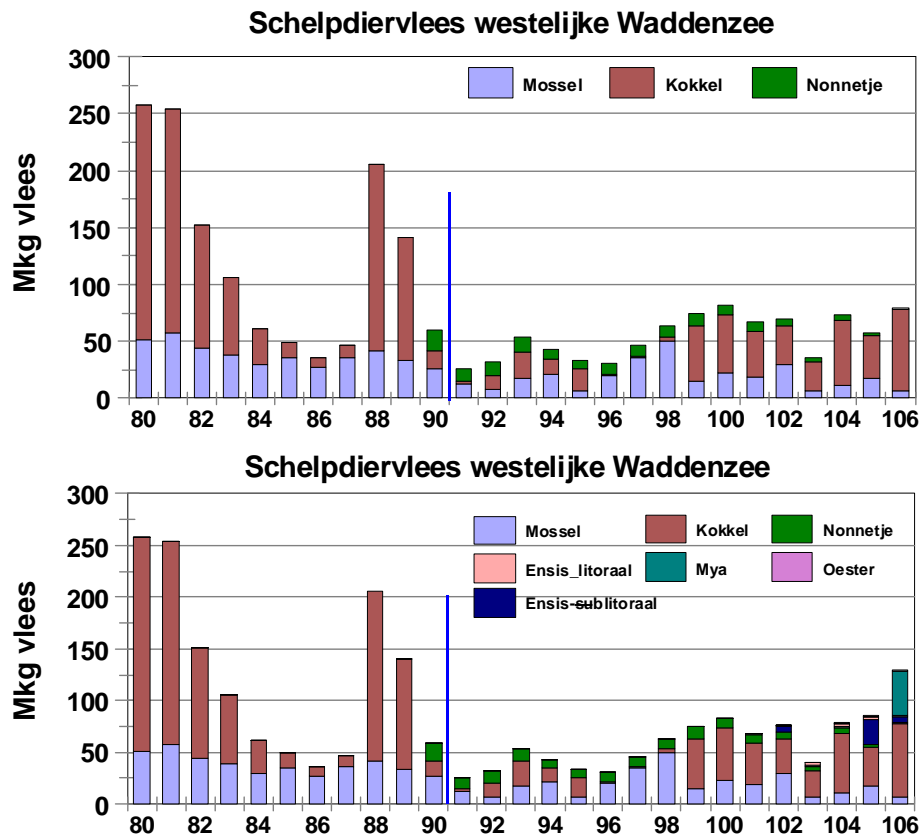
- wat is de voedselbehoefte van elke vogel
- wat is de prooidiergrootte
- hoeveel voedsel komt er beschikbaar in het systeem
- hoe groot zijn de schelpdieren die beschikbaar komen.

In het model wordt de grootte van de modelmosselen berekend en de sterfte bij elke grootte. Op deze wijze kan berekend worden hoe groot de schelpdiersterfte was voor elk willekeurig grootte-interval. De schelpdiersterfte is de som van predatie en visserij, plus ook andere verliezen zoals bijvoorbeeld sterfte bij zuurstofloosheid.

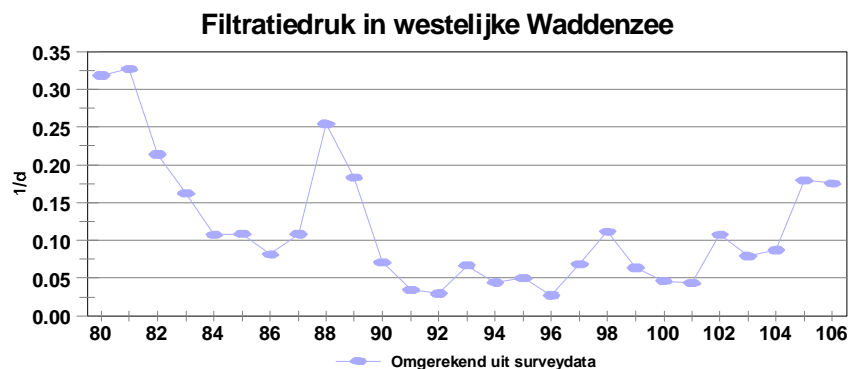
Voor drie vogelsoorten (Scholekster, Eider, Topper) is een schatting gemaakt van de maximale aantallen die zich met die hoeveelheden schelpdieren zouden kunnen voeden. De betekenis van de berekende data (schelpdiersterftes) voor de Steenloper en Zwarte Zee-eend is betrekkelijk vanwege respectievelijk de gevarieerde voedselkeuze en de voedsellocatie (= Noordzeekustzone). Voor deze soorten is daarom niet geprobeerd een vertaling naar aantallen van deze soorten te maken. Voor de Kanoet is, vanwege de relatief geringe grootte van de soort en de navenante voedselbehoefte, geconcludeerd dat de waarde van de berekeningen te gering was om de uitkomsten in de rapportage op te nemen.

In de Hoofdstukken 3 t/m 8 is in meer detail op de voedselbehoefte ingegaan. Voor de modelering is met een globale voedselbehoefte gerekend omdat het slechts de bedoeling is een trend aan te geven, meer dan een precies aantal. De modelresultaten (met name de opdeling in groottes) zijn daarvoor niet nauwkeurig genoeg. De berekende vogelaantallen zijn gebaseerd op hun winterbehoefte. Deze getallen liggen niet vast en zijn onder meer afhankelijk van de prooidiersoort en hun grootte, en van de plek vanwaar die bemachtigd wordt. De waarden zijn dus als een gemiddelde te beschouwen:

- Scholeksters foerageren vooral op schelpdieren van 3-6 cm grootte en hebben een wintervoedselbehoefte van ongeveer 300 g vlees per dag. In de zomermaanden is dat ongeveer 180 g vlees per dag
- Eiders foerageren vooral op schelpdieren van 3-5 cm en hebben een winterbehoefte van ongeveer 800 g vlees per dag (Nehls 1995, Kats 2007, Brinkman *et al.* 2003). Brinkman *et al.* (2003) berekenden deze waarden op basis van een energiebudget van een Eider gedurende een jaar, waarbij data van onder meer Nehls (1995) en Kats (2007) en ook data van De Leeuw (1997) betreffende Toppers en Kuifeenden zijn gebruikt. In de zomermaanden is de voedselbehoefte van Eiders ongeveer 360 g vlees per dag.
- Toppers foerageren op schelpdieren van 1-2,5 cm groot, en hebben een winterse voedselbehoefte van ongeveer 450 g vlees per dag.



Figuur 9.5. Geschat schelpdierbestand in de westelijke Waddenzee in de periode 1980 – 2006 (uit Brinkman & Janssen 2007). Onder = boven plus de resultaten voor de vaak weinig betrouwbare resultaten voor de Amerikaanse Zwaardschede, Strandgaper en Japanse Oester. Mosselen en Kokkels voor 1990 zijn geschat als extrapolatie van Balgzanddata (zie Bult et al. 2004b). Vanaf 1990 zijn deze bestanden, plus die van Nonnetjes, bepaald uit de surveys naar Mosselen en Kokkels. Amerikaanse Zwaardschede, Strandgaper en Japanse Oester zijn na 1998 meegenomen in de analyses, maar die data zijn niet erg nauwkeurig.



Figuur 9.6. Berekende filtratiedruk in de westelijke Waddenzee in de periode 1980-2006. De filtratiedruk is het aantal malen per dag dat het watervolume van de Waddenzee gefilterd wordt. Een waarde van 0,2 houdt dus in dat dit eens per 5 dagen gebeurt. Bron: Brinkman & Janssen (2007).

9.2.2 Gebruikte gegevens

Meteorologische data:

Gebruik is gemaakt van de dagelijkse KNMI-data voor vliegveld De Kooy te Den Helder. Gebruikt zijn de dagelijkse globale instraling ($J m^{-2}$ per dag, omgerekend naar $W m^{-2}$), de daggemiddelde windsnelheid ($m s^{-1}$) en de windrichting.

Nutriëntdata:

De gehalten in het IJsselmeer en de Noordzee zijn afkomstig uit het waterkwaliteitsmonitoring-programma van Rijkswaterstaat, evenals de data in de Waddenzee die als vergelijkingsmateriaal zijn gebruikt, en de watertemperaturen voor de Waddenzee. Brinkman (2008) analyseerde trends in deze data. De uitkomsten uit deze analyse zijn gebruikt.

Toevoerdebieten:

Gegevens over de toevoer van water vanuit het IJsselmeer zijn eveneens van Rijkswaterstaat afkomstig. Alle gegevens van Rijkswaterstaat zijn verkregen van de Waterbase (www.waterbase.nl). De uitwisseling met de Noordzee evenals de instroom vanuit de Noordzee is gebaseerd op Ridderinkhof (1988). Voor deze waarden is dus een constante waarde aangehouden voor de gehele simulatieperiode.

Schelpdierbestanden:

De data voor de schelpdierbestanden betreffen voor 1990 extrapolaties van Balgzanddata van Beukema c.s. (o.a. Beukema 1989) en een kokkelinventarisatie voor de hele Waddenzee door De Vlas (1982). De Balgzanddata zijn niet erg representatief voor de betreffende jaren (Bult *et al.* 2004b), maar als graadmeter voor een langere periode kunnen ze wel als vergelijkingsmateriaal genomen worden (naar Bult *et al.* 2004b, hun Figuren 5.2 en 5.3). Vanaf 1990 zijn er schelpdiersurveys uitgevoerd die eerst nog gelijkmatig langs raaien plaatsvond, maar al snel is toen overgegaan op een gestratificeerde bemonstering. Hierbij is de bemonsteringsresolutie hoog in die gebieden waar Kokkels en Mosselen voorkomen dan wel verwacht worden. Deze verwachtingen zijn dan gebaseerd op eigen kennis en op die van uit de schelpdiersector en de visserijkundige ambtenaren van het Ministerie van LNV, tegenwoordig EL&I. De bemonsteringen zijn de hele periode uitgevoerd tot op een sedimentdiepte van 7 cm, waardoor dieper ingegraven schelpdieren (de grotere exemplaren van de Strandgaper en Amerikaanse Zwaardschede gemist worden. Bult *et al.* (2004b) geven een uitgebreide beschrijving van de bemonsteringstechnieken. Vanaf 2009-2010 wordt er ook tot op 40 cm gemonsterd om de bestanden van deze laatste 2 soorten beter in kaart te brengen.

Een overzicht van de bestands-data is gegeven in Figuur 9.5. In deze data is het bestand op de percelen verwerkt. MZI-mosselen zijn tot aan 2006 niet van belang. De bestanden aan andere schelpdieren dan Mosselen, Kokkels en Nonnetjes zijn voor 1998 niet goed in kaart gebracht. In een nieuwste bestandschatting geven Schellekens *et al.* (2011) aan dat de biomassa van Amerikaanse Zwaardschedes en Strandgapers de laatste jaren tot 100 Mkg vlees/systeem kan bedragen, maar deze schattingen zijn (ook) met aanzienlijke onzekerheden omgeven gezien de toegepaste bemonsteringsmethode en gebruikte omrekenfactoren.

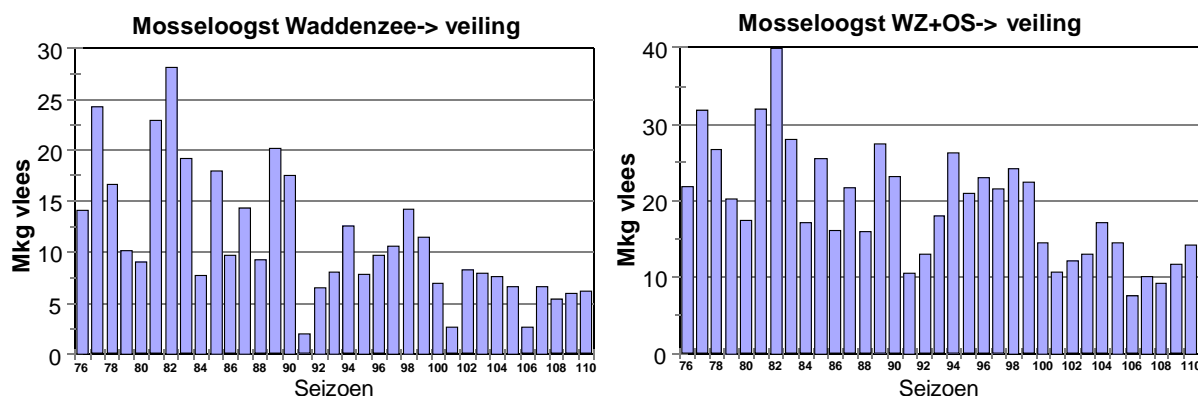
Filtratiedruk

De bestandsdata bevatten ook gegevens over de gemiddelde grootte van de onderscheiden schelpdieren en schelpdiergroepen (zoals onder meer: mosselzaad, mosselhalfwas en consumptiemossel). Hiermee is een filtratieintensiteit van het totale schelpdierbestand geschat. Deze berekening is in Brinkman & Janssen (2007) uitgevoerd. De resultaten zijn hier weergegeven in Figuur 9.6.

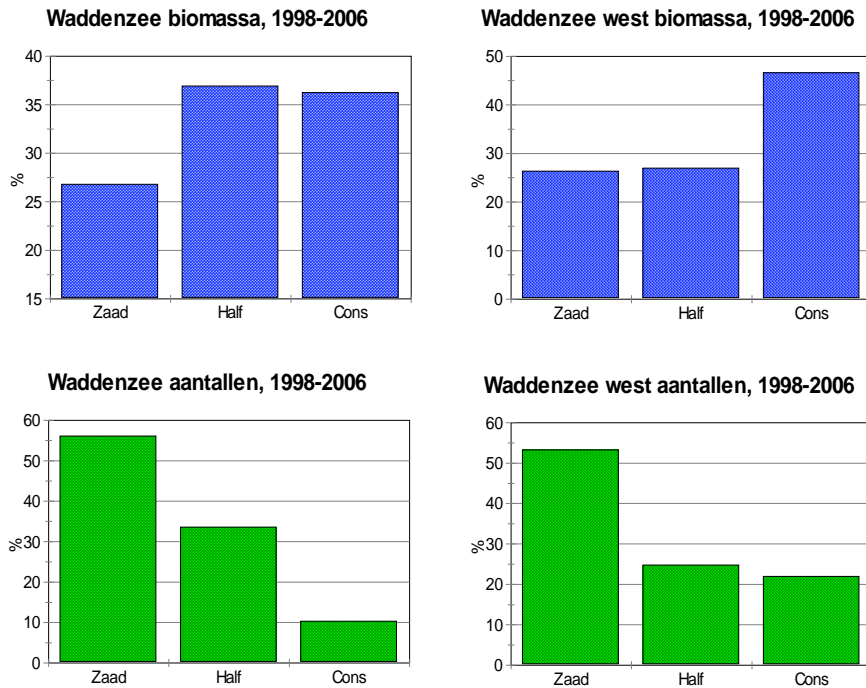
Mosselaanvoer vanuit de Waddenzee

Naast bestandsschattingen kunnen ook aanvoerdata van Mosselen nuttig zijn. Deze geven weer hoeveel Mosselen er geogst zijn uit de Waddenzee en dus ook welke hoeveelheden er ten minste aanwezig moeten zijn geweest. Hier is een aantekening op zijn plaats: na de mosselschaarste in het begin van de jaren '90 zijn de mosselkwekers waarschijnlijk zuiniger gaan omspringen met het geviste mosselzaad, waardoor er per kg mosselzaad meer kilo's consumptiemosselen op de markt konden worden gebracht dan voorheen. Op zich is deze uitspraak ongedocumenteerd, en vernomen tijdens contacten met de mosselsector. Ze lijkt onderschreven te worden door Bult *et al.* (2004a), waarin geschreven wordt dat voor de opbrengstmodellen vroeger een opbrengst van 1 kg halfwas per kg mosselzaad werd aangehouden, terwijl voor de modellen die vanaf 1992 zijn gebruikt een verhouding van 2,2 beter geschikt lijkt. Het lijkt ook logisch dat in perioden met een geringe beschikbaarheid van mosselzaad zuiniger zal worden omgesprongen met deze grondstof dan wanneer de mosselbeschikbaarheid groot is. Het is niet meer dan een argument dat, indien de trend in de mosselaanvoer een beeld moet schetsen van het bestandsverloop, de bestandsafname mogelijk sterker is geweest dan Figuur 9.7 suggereert.

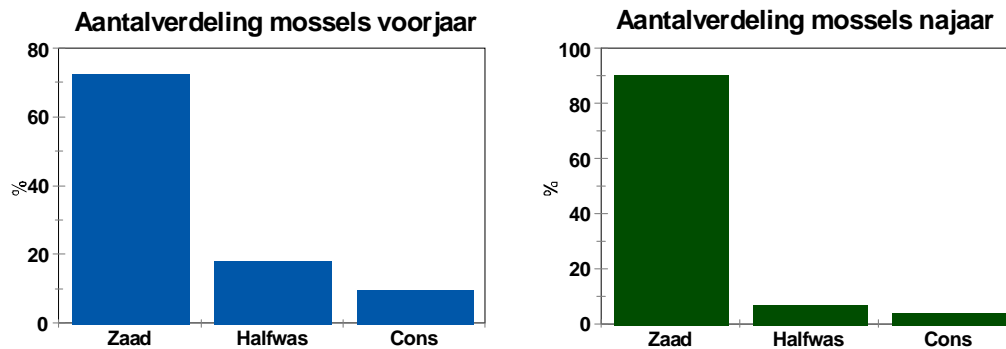
Verdeling biomassa en aantallen van Mosselen in de Waddenzee naar leeftijd, in model en naar surveydata Uit de jaarlijkse surveys van IMARES (o.a. Kesteloo *et al.* 2007, Goudswaard *et al.* 2009) en zijn voorgangers zijn de totale biomassa van Mosselen en de totale aantallen berekend. Vanaf het jaar 1998 is bij de surveys onderscheid gemaakt tussen 'zaad'-, 'halfwas'- en 'consumptie'-mosselen. De IMARES-surveys worden uitgevoerd in het voorjaar (april) en worden representatief beschouwd voor de toestand in het Waddensysteem. Ze zijn niet als de natuurlijke toestand te beschouwen omdat een deel van het bestand aan grootste Mosselen telkens weggevisd wordt. De gevonden verdeling, in biomassa en in aantal, tussen zaad-, halfwas- en consumptiemosselen is in Figuur 9.8 weergegeven.



Figuur 9.7. Aanvoer van consumptiemossels uit de Waddenzee (links) en Waddenzee plus Oosterschelde samen (rechts). Data in miljoen kg mosselvlees. Berekening uit versgewicht –data na delen door een factor 4. Bron: Producentenorganisatie Mosselteelt, via IMARES-database (J. Kesteloo). Deels ook uit Bult *et al.* (2004a).



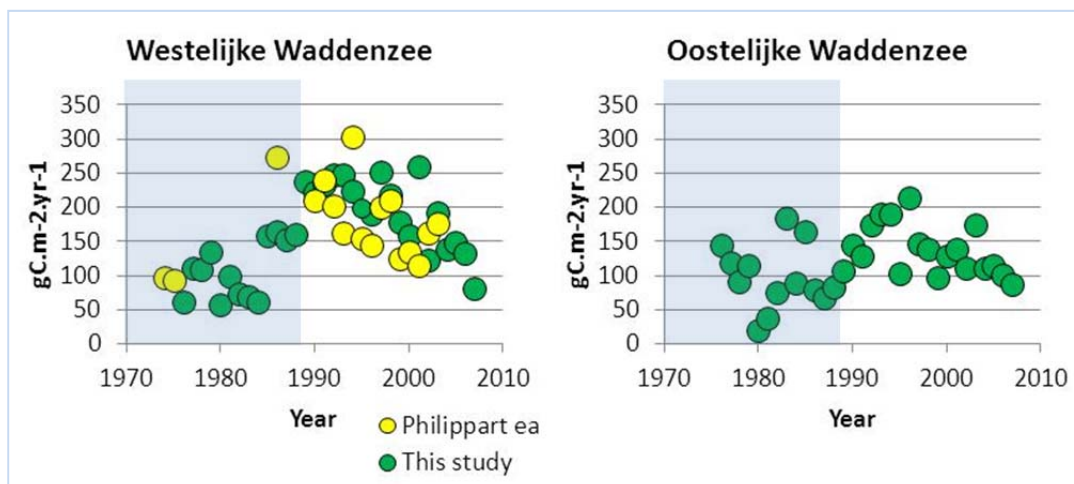
Figuur 9.8. Gemiddelde verdeling biomassa en aantallen Mosselen in de Waddenzee voor de periode 1998-2006, geheel en het westelijk deel alleen. De data zijn afkomstig uit de IMARES-surveys die elk jaar in april/mei worden uitgevoerd, juist voor de voorjaarsvisserij. De data representeren dus de situatie na de winter van een jaar en na de zaadval in het jaar daaraan voorafgaand. Er heeft in het najaar al visserij op mosselzaad plaatsgevonden. Voor 1998 werd in de surveys geen onderscheid gemaakt tussen mosselzaad, halfwas- en volwassen Mosselen.



Figuur 9.9. Aantalverdeling Balgzand in de jaren 1973-2010. Data R. Dekker & J. Beukema (NIOZ), pers. med. De aantalverdeling in het voorjaar is anders dan die in het najaar, wat vooral een gevolg is van de groei van de Mosselen en mogelijk ook van predatie.

Mosselgegevens voor het Balgzand:

Beukema en Dekker (NIOZ) hebben in de afgelopen 30 jaar stelselmatig op het Balgzand raaien bemonsterd en de bodemfauna geanalyseerd (zie o.a. Dekker 1995 en Beukema & Dekker 2005). De gemiddelde aantallen/m² van Mosselen zijn ten behoeve van dit project ter beschikking gesteld (Figuur 9.9). Van gebruik van de jaarlijkse data (in plaats van een gemiddelde) is afgezien omdat de van jaar-tot-jaar-variaties groot kunnen zijn als gevolg van onder andere gebeurtenissen die niet in de modelbeschrijving zijn betrokken zoals stormen en ijsgang.



Figuur 9.10. Bruto primaire productie in de westelijke en oostelijke Waddenzee. Data van Philippart *et al.* (2007) (gele punten) betreffen de potentiële primaire productie in het Marsdiep, zoals gemeten met een incubatoropstelling. De overeenkomst tussen incubatorresultaten en velddata is in het verleden getest (Postma & Rommets 1970). Riegman (*in prep.*) berekende op basis van chlorofyl-data, globale straling, doorzicht en een dieptefrequentieverdeling de bruto primaire productie voor de westelijke en oostelijke Waddenzee (groene punten). De betrouwbaarheid van de rekenresultaten voor de jaren <1990 wordt vrij laag geschat (blauw gemarkeerd).

De bemonsteringen vonden steeds plaats in de nazomer (augustus-september) en in het voorjaar (maart-april). Van de Mosselen is steeds zo goed mogelijk de leeftijd vastgesteld, waarbij opgemerkt (Dekker, *pers. med.*) dat die leeftijdsbepaling steeds lastiger en dus onnauwkeuriger wordt met het stijgen van de leeftijd van de mosselen.

Primaire productie:

Er is maar hoeveelheid gegevens beschikbaar over algengroei en primaire productie. De steigermetingen van het NIOZ (o.a. Cadée & Hegeman 2002), en nadien Philippart *et al.* (2007), zijn uitgevoerd vanaf midden jaren '70. In het kader van het BO-project *Meerjarige effect- en productiemetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee, Oosterschelde en Voordelta* heeft Riegman een reconstructie van de primaire productie in de westelijke en oostelijke Waddenzee uitgevoerd op basis van chlorofyl-data uit het Rijkswaterstaat-monitoringprogramma en data over de gehalten aan zwevend materiaal voor de periode 1975-nu (Riegman *in prep.*). Die schatting bleek vrij goed met die uit de NIOZ-dataset overeen te komen (Figuur 9.10). Daar waar voor de NIOZ-dataset geen rekening gehouden is met de feitelijke instralingsdata, heeft Riegman geen nutriëntlimitatie in zijn schatting verrekend. De resultaten voor de jaren voor 1990 worden evenwel weinig betrouwbaar geacht, wat twee oorzaken heeft. Ten eerste worden de gemeten chlorofylgehalten pas vanaf ongeveer 1990 enigszins betrouwbaar geacht. Een tweede moeilijkheid is gelegen in de zwevende-stofdata. De bemonsteringmethode van Rijkswaterstaat heeft rond 1990 tweemaal een verandering ondergaan: men is van waterhappen overgegaan op een pompsysteem, en men is van een andere schip gebruik gaan maken. Na deze laatste overstap lag de grens van de windsterkte waarop werd besloten niet meer uit te varen 1 Beaufort-eenheid lager dan voorheen (Dronkers 2005). Dit resulteerde in lagere gemeten zwevend-slibgehalten nadien, en de gebruikte rekenmethodes volgen hogere primaire productiewaarden.

Schelpdiergroei:

Oude data van de IMARES-voorloper RIN zijn gebruikt om de groei van Mosselen te toetsen. In de jaren '80 zijn veel litorale en sublitorale mosselvoorkomens meerdere malen per jaar bemonsterd en geanalyseerd op lengteverdelingen en individuele biomassa. Hieruit is afgeleid hoe snel Mosselen in de loop van een seizoen groeien (Brinkman 1993b). Daarnaast zijn er gegevens beschikbaar voor mosselkweekpercelen (De Mesel *et al.* 2008). Op enkele uitzonderingen na zijn er geen andere data: er

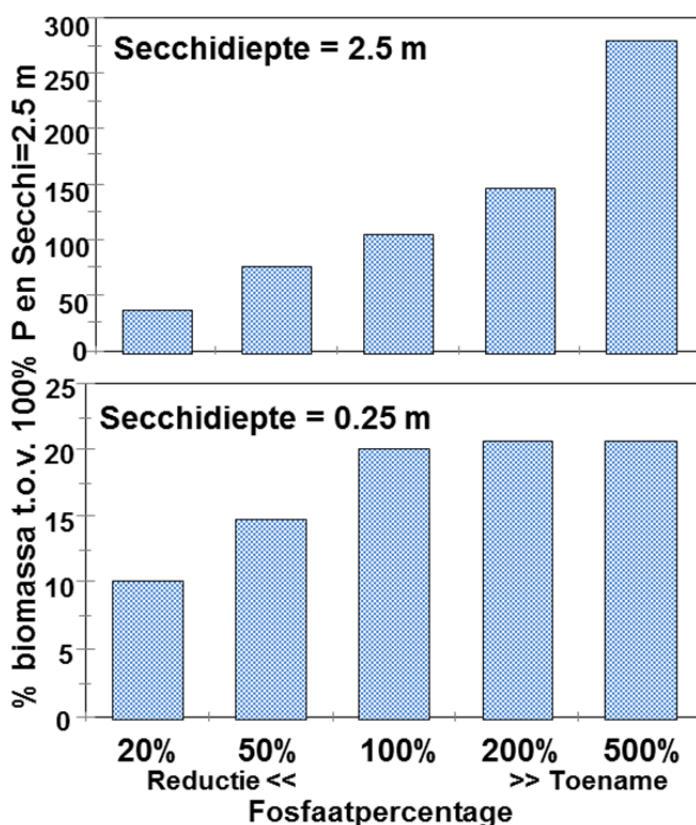
zijn wel Mosselen gemeten, maar niet meerdere malen per seizoen, zodat aan de hand van die getallen groeianalyses niet goed mogelijk zijn.

Onder min of meer gemiddelde omstandigheden groeien de mosselzaadjes in het eerste groeiseizoen tot ongeveer 20 mm. In het tweede jaar wordt een lengte van ongeveer 35-40 mm bereikt en in het derde jaar een lengte van 50-55 mm. Onder heel goede omstandigheden (dat kunnen lokale omstandigheden zijn, maar ook jaren waarin de voedselvoorziening erg goed is) zijn deze waarden hoger, en omgekeerd.

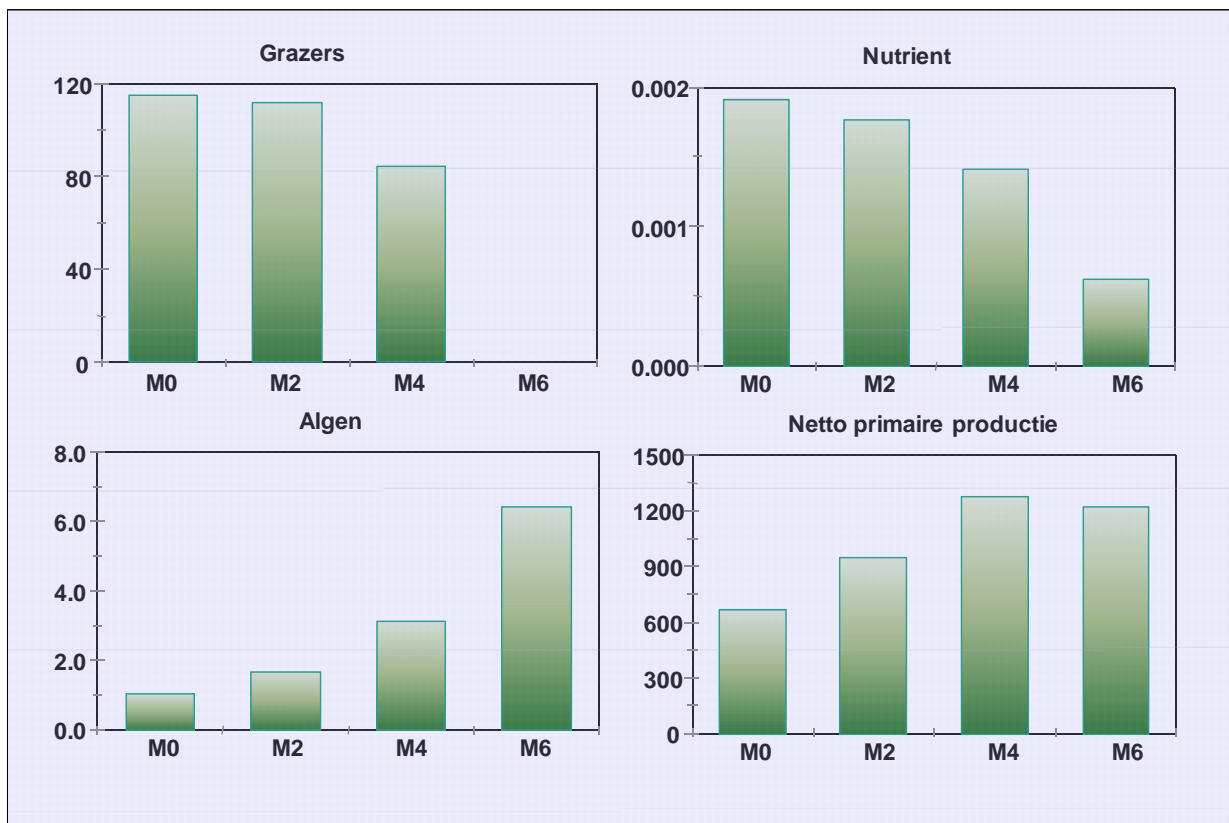
9.3 Resultaten

9.3.1 Is er een beperking voor de draagkracht en zo ja, wat kan die draagkracht dan beperken? Een conclusie uit berekeningen met een eenvoudig model

Met behulp van een eenvoudig model (zie § 9.1) is onderzocht of er van een beperking van de draagkracht in de Waddenzee sprake kan zijn. Dit is gedaan door voor systemen met verschillende dieptes (van 2 tot 26 m) door te rekenen wat de schelpdierbiomassa's kunnen zijn bij een aantal omstandigheden zoals waterhelderheid en nutriëntbeschikbaarheid. In Figuur 9.11 is weergegeven wat het effect van een hogere of lagere fosfaatconcentratie in de Noordzeekustzone is op de mogelijke hoeveelheid schelpdieren voor een systeem van 4 m diepte. De resultaten zijn kwalitatief en daarom is de hoeveelheid weergegeven als percentage van de hoeveelheid bij 0% P-reductie en een zichtdiepte van 2,5 m.



Figuur 9.11. Kwalitatieve aanduiding van effecten van fosfaatvariaties (zowel beperking (<100) als toename (>100)) ten opzichte van de toestand van begin jaren '80. De bovenste grafiek geeft een situatie weer met helder water (een zichtdiepte van 2,5 m), de onderste grafiek een situatie met een zeer geringe zichtdiepte (0,25 m). De zichtdiepte in de Waddenzee is sterk afhankelijk van de windsnelheid en varieert globaal tussen 0,4 en 3 m.



Figuur 9.12. Voorbeelden voor de respons van een ondiep systeem op veranderende hoeveelheden grazers. In de eenvoudige modelsimulaties is de hoeveelheid grazers gevarieerd door steeds een wat hogere sterfteparameter te kiezen. De getallen op de X-as geven de code van de simulaties: M0 is weinig sterfte, M6 is veel extra sterfte. Bij afwezigheid van grazers (situatie M6) is de gemiddelde nutriëntconcentratie laag, en het de algengehalte hoog. Bij toenemende hoeveelheid grazers (naar links op de X-as) neemt het algengehalte af en de nutriëntconcentratie toe. Bij een grote hoeveelheid grazers is het nutriëntengehalte weliswaar hoog, maar omdat de algengehaltes erg laag worden neemt de primaire productie af. In het systeem is de nutriëntlimitatie overheersend.

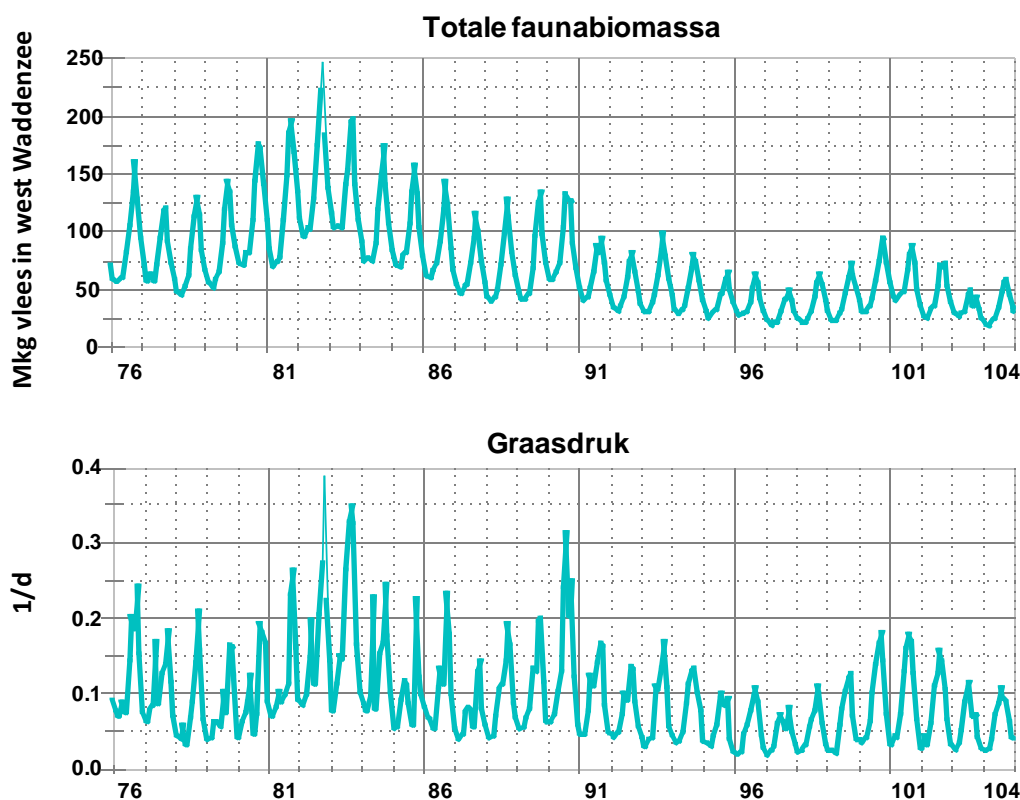
Uit deze analyse met het eenvoudige model volgt dat we in eerste instantie verwachten dat in het ondiepe Waddensysteem een beperkte nutriëntbeschikbaarheid vrijwel altijd beperkend is voor de maximale biomassa aan schelpdieren. Lichtbeperking speelt een veel geringere rol, al is het wel zo dat het belang van lichtbeperking toeneemt (en die van de nutriëntvoorziening afneemt) met toenemende troebelheid. Pas bij een erg geringe Secchidiepte (onderste figuur in Figuur 9.11) en een hoge nutriëntbeschikbaarheid (hoger dan die op het hoogtepunt van de fosfaatbeschikbaarheid) vindt geen verdere toename van de schelpdierbiomassa plaats bij toenemende nutriëntvoorziening. Wel is het zo dat een grotere helderheid leidt tot een hogere schelpdierbiomassa, maar de bovengrens daarbij wordt steeds weer bepaald door de nutriëntbeschikbaarheid. Het antwoord op de eerste vraag is derhalve dat in de Waddenzee vrijwel altijd nutriëntbeschikbaarheid de grenzen stelt voor de maximale hoeveelheid schelpdieren en ook dat de lichtbeschikbaarheid (dus de helderheid van het water) beïnvloedt waar die maximale grens zich bevindt.

Een interessant aspect is dat het effect van de hoeveelheid schelpdieren zelf geïllustreerd kan worden door die hoeveelheid stapsgewijs terug te brengen tot nul. Deze simulatie is uitgevoerd door de mortaliteit van de schelpdieren stapsgewijs te verhogen. Dit leidt tot een tweede conclusie, namelijk dat een goede interpretatie van veldwaarnemingen slechts mogelijk is wanneer daarin ook de graasdruk betrokken wordt. Dit is een signaal dat een analyse van bijvoorbeeld op zichzelf staande chlorofyl- of nutriëntgehalten weinig zinvol is. Dit is in Figuur 9.12 weergegeven. Hiermee wordt geïllustreerd hoe de hoeveelheid grazers grote invloed heeft op o.a. de chlorofylgehalten.

9.3.2 Wat is de huidige hoeveelheid schelpdieren en wat betekent dit voor de graasdruk

Het EcoWasp-model is dusdanig afgeregeld dat onder meer:

- de berekende schelpdierbestanden van vergelijkbare grootte zijn als de werkelijke bestanden,
- de grootteverdeling van schelpdieren overeenkomt met de waarnemingen door IMARES en NIOZ (Beukema & Dekker, zie § 9.2.2)
- de berekende nutriëntgehalten en chlorofylgehalten zo goed mogelijk overeenkomen met de meetwaarden van Rijkswaterstaat
- de groeisnelheden van modelmosselen en hun maximale grootte overeenkomen met die in het veld.



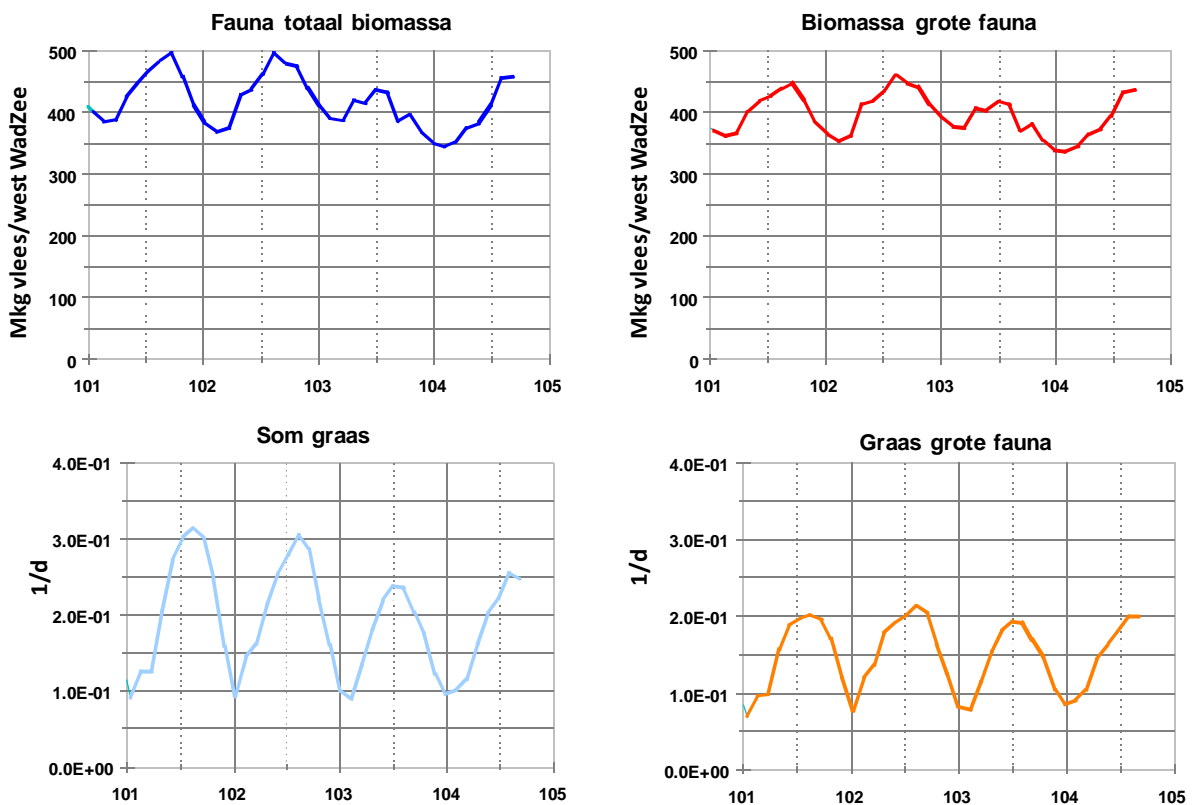
Figuur 9.13. Simulatieresultaat voor de jaren 1976-2004 waarbij het schelpdierbestand zo goed mogelijk overeenkomt met het werkelijke bestand. X-as: de jaren (76=1976, 104=2004). Weergegeven zijn de berekende totale schelpdierbiomassa (Mkg vlees in de westelijke Waddenzee) en de graasdruk (gemiddelde voor de gehele westelijke Waddenzee, per dag). De graasdruk geeft aan hoe vaak per dag de waterkolom gefilterd wordt door de totale schelpdierpopulatie. Een waarde van 0,2 houdt in dat dat eens per vijf dagen gebeurt.

Uit de uitgevoerde analyses bleek dat vooral de grootteverdeling van schelpdieren bleek een erg belangrijk gegeven is om de sterfte van de schelpdieren goed te kunnen beschrijven. De bestaande parameterkeuze moest op dit punt aangepast worden. In Figuur 9.13 is een overzicht gegeven van het verloop van de berekende schelpdierbiomassa, de bijbehorende graasdruk op de waterkolom in de westelijke Waddenzee. Vergelijking met Figuur 9.5 (geschat schelpdierbestand in de westelijke Waddenzee in de periode 1980–2004, uit Brinkman & Janssen 2007) leert dat de patronen in beide figuren vrij goed met elkaar overeenstemmen: een top in het begin van de jaren '80, een opleving eind jaren '80, en een klein maximum rond 2000. De huidige schelpdierpopulatie bedraagt ongeveer 40-50 Mkg vlees. Dit getal komt overeen met wat in Figuur 9.13 wordt weergegeven. De graasdruk berekend op basis van veldgegevens bedraagt ongeveer 0,1 per dag (Brinkman & Janssen 2007, zie Figuur 9.6).

Deze waarden liggen lager in de winter. De berekende graasdruk (Figuur 9.13) komt dus overeen met die welke op basis van veldgegevens is berekend.

9.3.3 Wat is de maximale hoeveelheid schelpdieren?

Om te onderzoeken wat het beeld wordt van de mogelijke schelpdierbiomassa indien er langzaam groeiende schelpdiersoorten met een lage mortaliteit voorkomen, die groot kunnen worden en een hoge leeftijd kunnen bereiken is een aantal simulaties uitgevoerd met een extra schelpdiersoort (naast de modelmossel als standaardschelpdier) met een lage sterfte-, filtratie- en groeisnelheid. Dit type schelpdier vertoont dus per eenheid van biomassa een lage activiteit en legt een relatief gering beslag op de primaire productie. Dergelijke schelpdieren kunnen een extreem hoge biomassadichtheid bereiken. In dit voorbeeld wordt ongeveer 400 Mkg vlees bereikt, dus acht maal de huidige schelpdierbiomassa. In Figuur 9.14 is dit geïllustreerd. Belangrijk is de filtratiedruk die bereikt wordt, namelijk 0,25-0,3 d⁻¹. Dit is blijkbaar het getal dat volgens deze modelberekeningen de maximale filtratiedruk is die in het systeem langdurig kan voorkomen.



Figuur 9.14. Berekende faunabiomassa's in de westelijke Waddenzee voor de periode 2001-2004 indien de overheersende schelpdiersoort groot is, langzaam filtreert (een klein beslag legt op het fytoplankton als voedselbron) en lang leeft. Bij de simulaties is uitgegaan van een 'normale' situatie (zoals in Figuur 9.13 is geschetst) tot aan 1990. Daarna is de grote faunasoort toegevoegd die is uitgegroeid tot zijn maximale biomassa. Links: de totale faunabiomassa (inclusief modelmosselen), rechts de biomassa van de grote faunasoort alleen. Onder idem, maar dan de filtratiesnelheden (het aantal malen per dag dat de waterkolom gefiltreerd wordt).

De graasdruk, berekend op basis van veldgegevens, bedraagt ongeveer 0,1 per dag (Brinkman & Janssen 2007, zie Figuur 9.6). Dit impliceert dat er maximaal 'ruimte' is voor 2,5-3 maal zoveel schelpdieren, ongeveer 120 Mkg mosselvlees dus, oftewel ongeveer 400-600 Mkg versgewicht aan Mosselen plus soortgelijke schelpdieren. Hierbij is aangehouden dat bij Mosselen ongeveer 25-30% van het versgewicht schelpdiervlees is. In theorie is het mogelijk dat dit een soort niche vormt die ingenomen is door een niet-gemeten groep filtreerders, maar gezien de verhouding tussen gemeten en berekende

chlorofyl-gehalten is dat niet het geval: de daadwerkelijke chlorofylgehalten zouden dan erg laag moeten zijn (vanwege een grote graasdruk).

9.3.4 Waar liggen de knelpunten?

Uit het voorgaande is duidelijk dat de huidige schelpdierpopulatie niet maximaal gebruik maakt van de hoeveelheid geproduceerd fytoplankton. Immers, een gemiddelde actuele graasdruk van 0,1 per dag is beduidend lager dan de maximale van 0,25 à 0,3 per dag. Dit kan komen omdat er:

- 1) een voortdurende predatie op het schelpdierbestand plaatsvindt waardoor de maximale biomassa's nooit bereikt worden (een top-down controle), maar ook is het denkbaar dat
- 2) een voedselbeperking optreedt gedurende een korte periode welke een bottleneck vormt die verhindert dat populaties uitgroeien naar hogere biomassadichtheden.

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is het verloop van het chlorofyl- en nutriëntengehalte, de graasdruk en de nutriënt- en lichtlimitaties voor het fytoplankton nader beschouwd. Dit is in Figuur 9.15 en Figuur 9.16 geïllustreerd voor de jaren 2001-2004. De keuze voor de periode 2001-2004 is op zich arbitrair: een korte periode is nodig opdat details zichtbaar blijven, maar een periode van enkele jaren is nodig om de variaties tussen jaren eveneens te illustreren.

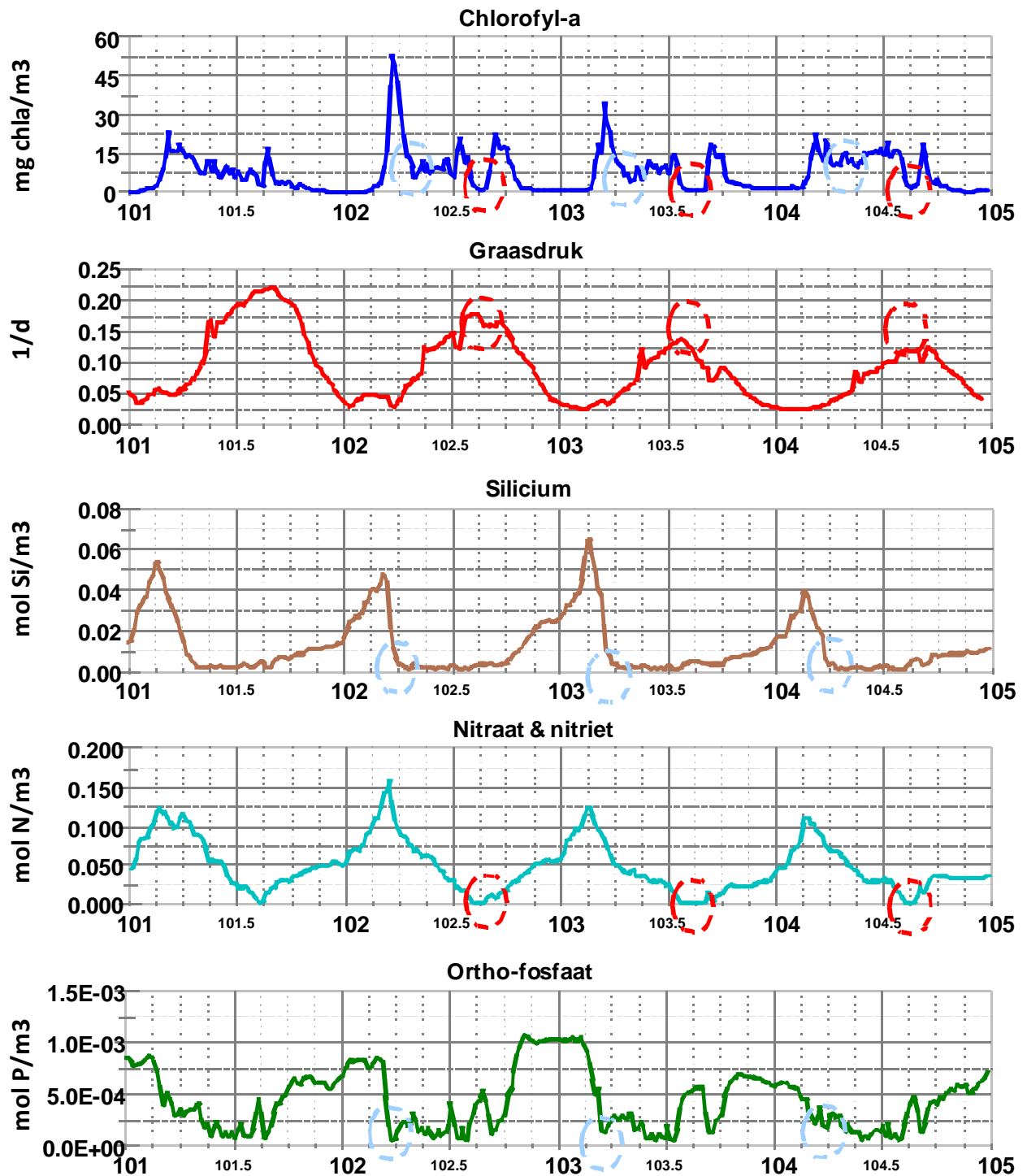
In Figuur 9.15 zijn de berekende toestanden weergegeven plus de graasdruk (concentraties van chlorofyl, ortho-fosfaat, nitraat en silicaat, en het aantal keren per dag dat de waterkolom wordt gefilterd door de schelpdieren). In Figuur 9.16 is naast het chlorofylgehalte aangegeven welk nutriënt limiterend was voor zowel diatomeeën als voor niet-diatomeeën en wat de mate van limitatie was in één van de compartimenten (gekozen is voor compartiment 3, zie Figuur 9.3).

Volgens de modelberekeningen gebeurt er elk jaar, in wisselende intensiteit, het volgende:

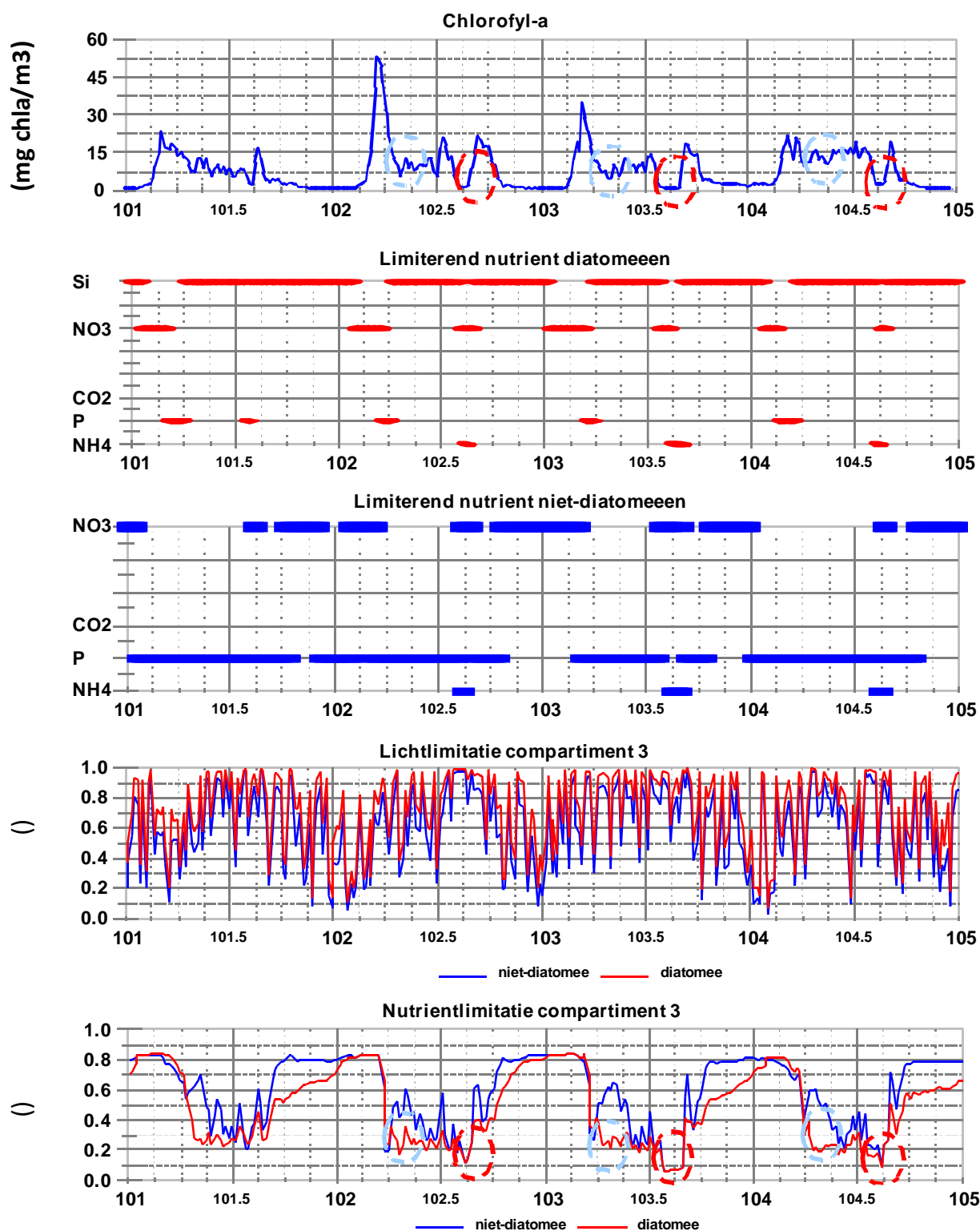
- In het voorjaar en winter is er een laag chlorofyl-a-gehalte en zijn de nutriëntconcentraties hoog.
- De graasdruk is in die periode relatief laag.
- Er is geen nutriëntbeperking maar er is wel een lichtbeperking en daarom bepaalt licht het moment van de voorjaarsbloei en de snelheid van de algengroei.

Als gevolg van de voorjaarsbloei, die ingezet wordt door een toenemende lichtbeschikbaarheid, gaan in de loop van de maand maart de gehalten aan silicaat en fosfaat sterk dalen, waarbij soms het silicaatgehalte het eerst een lage waarde bereikt (zoals volgens het model in 2001 en 2004) en soms het fosfaatgehalte (in 2002 en 2003). De fosfaatlimitatie houdt volgens het model vaak aan tot in de zomermaanden. In het voorjaar vindt ook de voortplanting van schelpdieren plaats, waarbij een grote hoeveelheid larven wordt geproduceerd. Dit uit zich in een verhoogde graasdruk, die met name in Figuur 9.15 zichtbaar is als piekjes in de graasdrukgrafiek rond dag 130 (ongeveer op 3/8 van elk jaar). Het nitraatgehalte is op dat moment nog niet laag, maar blijft wel voortdurend dalen. Dit wordt niet zozeer veroorzaakt door het gebruik door algen maar meer omdat de omzettingsprocessen in het sediment nitraat als electronacceptor gebruiken. In de loop van de zomer (eind juli/begin augustus) raakt het nitraat op en vindt er een limitatie van de primaire productie door stikstofgebrek plaats. Dit valt samen met een piek in de graasdruk. Deze wordt door twee mechanismen veroorzaakt. Ten eerste is dit de periode waarin het jonge mosselbroed als populatie een maximale activiteit bereikt. Ten tweede moeten schelpdieren maximaal filtreren⁶ om in hun voedselbehoefte te kunnen voorzien, een gevolg van de lage algengehalten in die periode. Die algengehalten bereiken in die periode –die in de figuren rood omcirkeld is– erg lage waarden. Tijdens de meetcampagne voor het BO-onderzoek naar MZI's van 2010 is in die periode inderdaad een situatie met heel helder water en lage chlorofylgehalten waargenomen.

⁶ In het model filtreert een schelpdier maximaal bij lage voedselconcentraties. De filtratiesnelheid wordt gereduceerd bij hoge voedselgehalten.



Figuur 9.15. Berekende gehalten voor chlorofyl-a en de nutriënten (Si, NO₃+NO₂, en ortho-P), en de graasdruk van schelpdieren voor de jaren 2001-2004. De aanduiding 101.5 op de X-as geeft 1 juli van het jaar 2001 weer (etc). De rode cirkels geven perioden weer waarin de graasdruk maximaal is en de nitraatgehalten juist erg laag. Dit is volgens het model het bottleneckmoment van het jaar voor de modelmosselpopulatie. De blauwe cirkels geven de momenten weer van fosfaat- en silicaatlimitatie voor algengroei. Volgens het model kan vooral de fosfaatlimitatie tot in de zomermaanden voortduren.



Figuur 9.16. Berekende gehalten voor chlorofyl-a en welk nutriënt limiterend was voor diatomeeën en voor niet-diatomeeën, de mate van lichtlimitatie en de mate van nutriëntlimitatie voor de jaren 2001-2004. De limitatiefactoren (beide onderste figuren) geven de relatieve verlaging van de primaire-productiesnelheid door lichtbeperking respectievelijk nutriëntbeperking. De aanduiding 101.5 op de X-as geeft 1 juli van het jaar 2001 weer (etc.). Compartiment 3 is aangegeven in Figuur 9.3.

Eind juli – begin augustus ontstaat aldus een situatie waarbij de groei van schelpdieren door voedselgebrek belemmerd wordt. Dat zal niet elk jaar even sterk spelen: zo is in 2001 en 2004 de berekende zomerchlorofylconcentratie minder extreem laag dan in de jaren 2002 en 2003. Dit is steeds een gecombineerd effect van nutriëntaanvoer, lichtbeschikbaarheid, momentane graasdruk en ook temperatuur. Hier ligt een bottleneck die beperkend kan zijn voor het bereiken van een hoge schelpdierbiomassa.

De opbouw van een hoge biomassa aan schelpdieren is gekoppeld aan de activiteit van die schelpdieren. Hoe lager de activiteit per biomassa, des te hoger kan de biomassa in een systeem worden zolang tenminste de voedselvoorziening beperkend is. Indien in een systeem de aanwas van de hoeveelheid volwassen schelpdieren groter is dan de predatie er op, dan neemt die biomassa toe. De filtratiedruk door die biomassa volwassen dieren zal eveneens wel toenemen, maar die toename is dus niet recht-evenredig met de biomassatoename. De 'vrije' ruimte, ofwel de primaire productie die nog niet gebruikt wordt door de schelpdierpopulatie wordt met de toenemende filtratiedruk steeds kleiner. De reproductie neemt eveneens toe, maar zal in toenemende mate 'gehinderd' worden door een voedselgebrek. Debiomassa volwassen (of grote) schelpdieren zal blijven toenemen totdat die toename in evenwicht komt met de predatieverliezen. Een dergelijk proces kan zich heel goed in de Oosterschelde hebben afgespeeld waar de Japanse Oester een aantal jaren nodig heeft gehad om zijn maximale biomassa te bereiken, een proces dat mede succesvol kan zijn geweest omdat de verliesfactoren voor de Japanse Oester relatief klein waren: de predatie op grote exemplaren van de soort is heel beperkt.

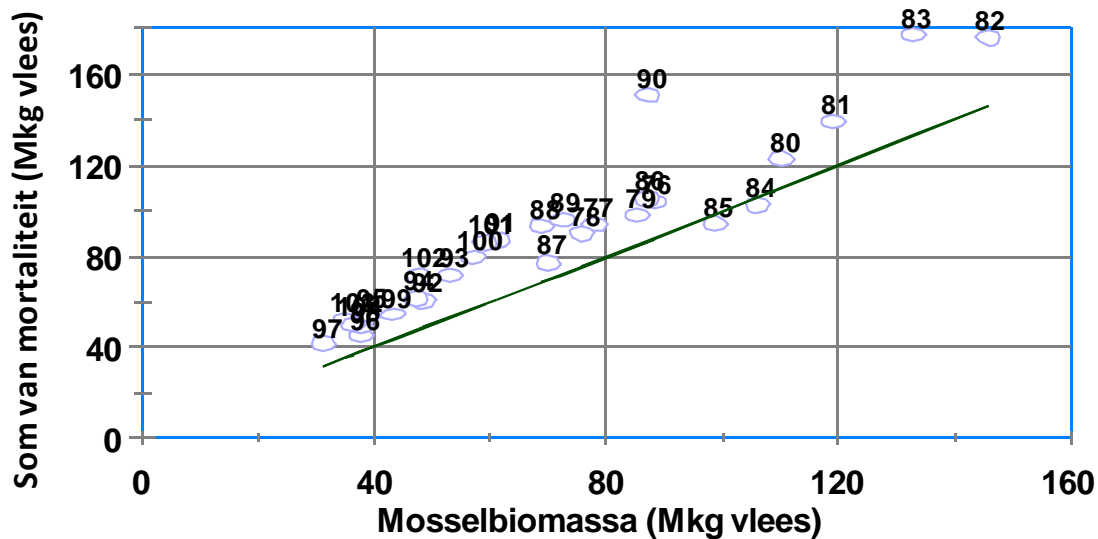
De belangrijkste conclusies op basis van de modelberekeningen zijn:

- in de voorjaarsperiode (maart/april) wordt de groei van algen gelimiteerd door een gebrek aan fosfaat en silicaat, de fosfaatlimitatie kan (vaak) tot juli-augustus voortduren
- een limitatie door nitraat treedt op in de zomerperiode (eind juli/begin augustus). Het tekort aan nitraat is niet zozeer een gevolg van de opname door algen maar vooral door de mineralisatieprocessen in de bodem die nitraat vragen. Het stikstof verlaat als N_2 de waterfase.
- voor schelpdieren treedt eind juli/begin augustus de sterkste voedselbeperking op, die wordt veroorzaakt door de combinatie van de bovengenoemde nutriëntbeperking voor de algengroei zelf, en de begrazing door schelpdieren. De rekruten (zaad van Mosselen en andere schelpdieren) spelen hierin een hoofdrol. MZI-Mosselen ondervinden dit evenzeer als de overige schelpdieren.

9.3.5 Hoeveel vogels kunnen zich met de schelpdieren voeden?

In § 9.2.1.4 is toegelicht dat niet de hoeveelheid aanwezige schelpdieren gebruikt is om te berekenen hoeveel vogels zich er mee kunnen voeden, naar de totale sterfte van schelpdieren van een geschikte grootte, zoals die van 3-6 cm voor Scholeksters en van 3-5 cm voor Eiders. Gemiddeld over een langere periode is –volgens de EcoWaspberekeningen- deze sterfte sterk gecorreleerd met de secundaire productie. Deze is op haar beurt goed gecorreleerd met de biomassa aan schelpdieren (Figuur 9.17).

In Figuur 9.18 is de berekende totale mortaliteit van schelpdieren weergegeven (bovenste figuur), evenals de mortaliteit van schelpdieren van 3-6 cm (onderste figuur). Deze bedraagt volgens deze modelberekeningen ongeveer 20-30 Mkg vlees per jaar. Deze hoeveelheid is tevens omgerekend naar het aantal Eiders en Scholeksters dat zich met deze hoeveelheid zou kunnen voeden, gebaseerd op hun *winterse* voedselbehoefte, ervan uitgaande dat al deze schelpdieren door deze vogels zouden worden gegeten. Als de huidige aantalsverdeling van Scholeksters en Eiders (2:1) wordt meegenomen dan betekent dat de hoeveelheid schelpdieren in de westelijke Waddenzee ruimte biedt aan ongeveer 80.000-120.000 Scholeksters en 40.000-60.000 Eiders gedurende een heel jaar, gebaseerd op de winterbehoefte. Het predatieaandeel van Scholeksters bedraagt hierin 43% en van Eiders 57%. Er is sprake van een duidelijke neergaande trend: tegenwoordig is het aantal Eiders en Scholeksters dat zich kan voeden volgens de berekeningen beduidend kleiner dan in de jaren '80.

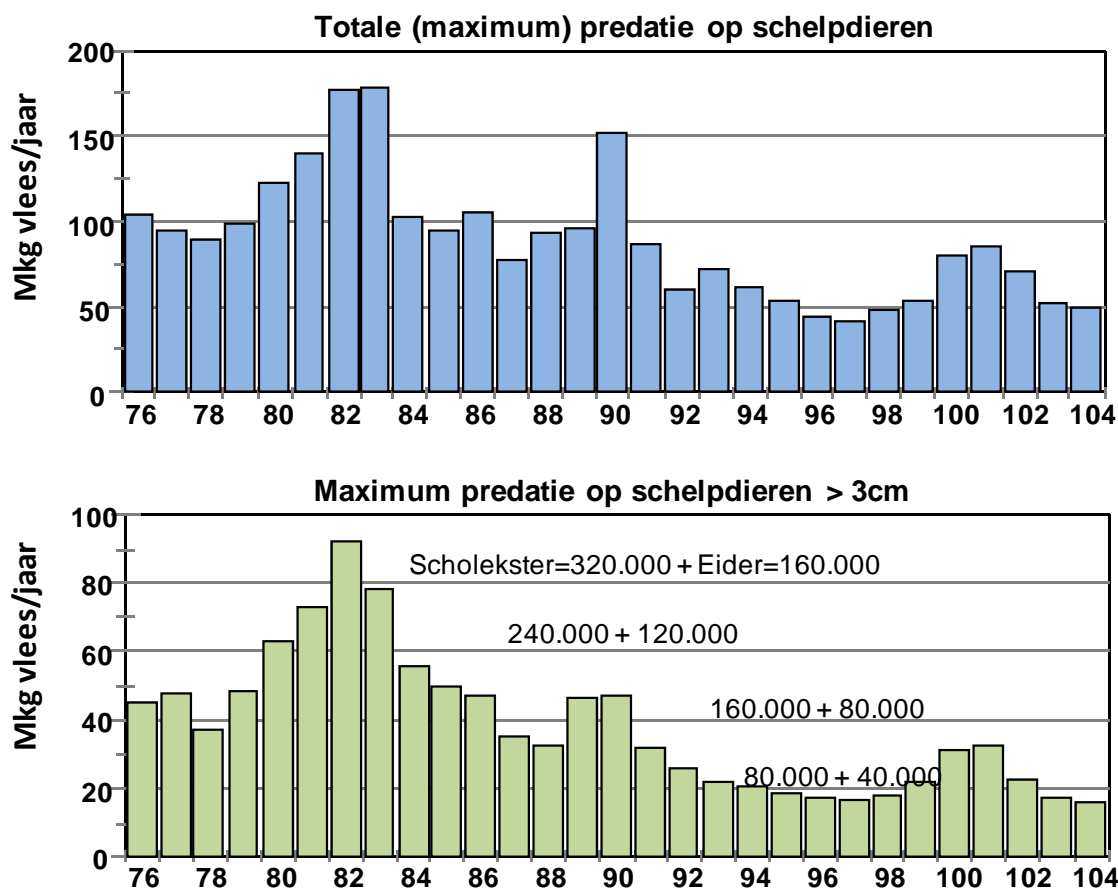


Figuur 9.17. Verband tussen door het model berekende modelmosselbiomassa en modelmosselsterfte (beide jaargemiddelden). De labels geven de betreffende jaren aan. De getrokken lijn geeft de 1:1-verhouding weer.

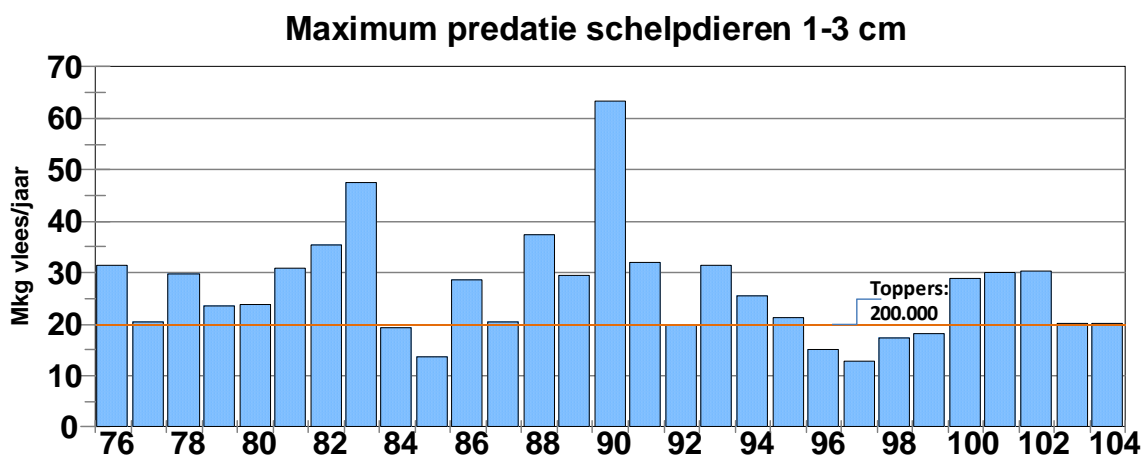
Een belangrijke conclusie is dus dat er maximaal ruimte is voor de genoemde aantallen Eiders en Scholeksters, maar dat die aantallen niet gehaald kunnen worden omdat de 'echte' schelpdieren niet uit Mosselen alleen bestaan, maar ook uit niet-bereikbare en slecht- of oneetbare schelpdieren zoals Amerikaanse Zwaardschede, Strandgaper en Japanse Oester.

In Figuur 9.19 is een vergelijkbare berekening uitgevoerd voor kleinere schelpdieren en is aangegeven hoeveel Toppers zich daarmee kunnen voeden. Voor Toppers moeten die schelpdieren zich vooral in het sublitoraal bevinden. Ondanks de aanwezige onzekerheden lijkt het er op dat voor de Toppers in principe genoeg eten te vinden moet zijn, gesteld dat de vogels zich over het gehele gebied zouden verspreiden en alle schelpdieren ook daadwerkelijk voor Toppers beschikbaar zijn (er zijn 's winters maximaal enkele tienduizenden Toppers aanwezig in het gebied). De beperking voor Toppers zal dan voornamelijk kunnen liggen in de locatie en daarmee de bereikbaarheid van de schelpdieren. Dit aspect is Hoofdstuk 3 nader bekeken. De voedselsituatie voor de Topper is gemiddeld gesproken inderdaad voldoende. Dat strookt met de algemene strekking van het verhaal: de modeluitkomsten geven een maximaal haalbare waarde aan en andere processen en mechanismen bepalen in hoeverre die maximale aantallen ook daadwerkelijk gehaald of benaderd worden. Voor de Toppers lijkt het er op dat in een aantal jaren als gevolg van bijzondere omstandigheden toch een voedseltekort kan optreden, waarmee de modeluitkomst als het gemiddelde beeld genuanceerd wordt.

Ook hier is het zo dat de van jaar-tot-jaar variaties groot zijn, maar er is in de modeluitkomsten veel minder een trend te ontdekken in de getallen dan voor de grote schelpdieren. Dit strookt eveneens met de conclusies in Hoofdstuk 3, namelijk dat eutrofiëring minder een rol lijkt te spelen waar het de aantallen Toppers betreft. Voor deze soort lijkt er in de meeste gevallen geen sprake van voedselgebrek zijn, waardoor de beperkende invloeden, zoals die voor Eiders en Scholeksters wel aanwezig lijken te zijn, minder van belang zijn.



Figuur 9.18. Met het model berekende maximale predatie op schelpdieren in de periode 1976-2004 in de westelijke Waddenzee (modelmosselen als voorbeeldschelpdier), ofwel de som van alle schelpdiermortaliteit. Boven: sterfte van alle groottes samen in Mkg vlees/jaar, onder: de som van de sterfte van alle exemplaren > 3 cm. De getallen in de onderste grafiek geven weer hoeveel duizenden Scholeksters+Eiders zich samen zouden kunnen voeden met deze hoeveelheden schelpdieren als er geen visserij en andere sterfte onder de schelpdieren zou zijn. Dit is het aantal vogels dat zich met die hoeveelheid vlees zou kunnen voeden gesteld dat al die schelpdieren bereikbaar en beschikbaar zijn voor alleen deze twee soorten vogels. Er is een verdeling Scholeksters/Eiders = 2:1 aangehouden.



Figuur 9.19. Jaarlijkse sterfte volgens het model van schelpdieren met een grootte van 1-3 cm in de westelijke Waddenzee tussen 1976 en 2004, en de aantallen Toppers die daar van zouden kunnen leven op basis van hun winterse voedselbehoefte. Dit is het aantal Toppers dat van die hoeveelheid vlees zou kunnen leven, gesteld dat al die schelpdieren bereikbaar (= op de goede plek aanwezig) en beschikbaar zijn voor alleen (= exclusiviteit) Toppers.

9.3.6 Wat is het effect van schelpdiervisserij op de vogelaantallen?

In de modelberekening van de schelpdierbestanden en –mortaliteit is de visserij impliciet verwerkt. Dat betekent dat predatie op schelpdieren (=sterfte van schelpdieren) de som is van alle verliesposten, dus predatie door garnalen, krabben, zeesterren en vogels etc, evenals de bevissing door vissers. Scholeksters, Eiders en ook visserij zijn vooral geïnteresseerd in grotere exemplaren. In de voorgaande paragraaf is met het model geschat dat de mortaliteit van schelpdieren >3 cm momenteel 20-30 Mkg vlees bedraagt. Een schelpdiervangst van ongeveer 30 Mkg versgewicht (7,5-10 Mkg vlees, het vleespercentage van Mosselen is vaak 25-30%) bedraagt dus ongeveer een derde daarvan.

In Ens *et al.* (2004) wordt betoogd dat schelpdierkweek ook bevorderend kan zijn voor de mosselstand, iets wat afhankelijk is van de manier waarop met het van de bodem geviste mosselzaad wordt omgesprongen en de verondersteld verbeterde overlevingskansen + groei van opgroeiende Mosselen op de mosselpercelen. Het kweekproces zou gemiddeld een toename van 15% biomassa opleveren ten opzicht van een situatie zonder kweek (Ens *et al.* 2004, Bult *et al.* 2004a), maar in de berekening voor dat getal is ook het gedrag van de kwekers verwerkt. Bult *et al.* (2004a) geven ook aan dat de waarde van 15% niet erg precies is. Deze verbetering door het kweekproces is niet in de modelberekeningen verwerkt, maar een schatting levert op dat die 7,5-10 Mkg vlees (de bovengenoemde schelpdierkweek) zonder kweekproces 87% ($=100/(100+15)$) van die biomassa zou hebben bedragen als 'wilde' Mosselen, dus 6,5-8,5 Mkg. Die hoeveelheid moet dan in mindering worden gebracht op de totale hoeveelheid beschikbaar voor vogels: visserij onttrekt volgens deze schatting dus ongeveer een kwart van het vogelvoedsel. Zie voor enkele kanttekeningen ook de discussie aan het eind van dit hoofdstuk.

9.3.7 Wat is het effect van de toevoer van MZI-mosselen op een natuurlijk schelpdierenbestand

Mossellarven vormen na 48 uur twee D-vormige schelpjes, bevinden zich enige weken in de waterkolom en hechten zich vervolgens aan een substraat. Mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) blijken een prima substraat te zijn voor zich hechtend mosselzaad. Omdat MZI's zich in de waterkolom bevinden en niet op de bodem, ontsnappen de mosselzaadjes hierdoor aan sterke predatie door Garnalen, zeesterretjes en krabbetjes. In deze fase vindt dus vermeerdering van de mosselbiomassa plaats ten opzichte van een 'natuurlijke' ontwikkeling op sublitorale mosselbanken. De extra MZI-Mosselen beconcurreren het overige schelpdierbroed op een ongunstig moment, namelijk in de periode juli-augustus waarin een laag fytoplanktongehalte aanwezig is als gevolg van graas plus nutriëntenlimitatie.

Na de oogst van de MZI's worden de Mosseltjes met een grootte van ongeveer 2-3 cm uitgezaaid op percelen. De groei op de percelen en de overleving kunnen hier beter zijn dan op een wilde mosselbank. Dit aspect is in de modelberekeningen niet meegenomen.

In het kader van het BO-onderzoek naar effecten van MZI's op het ecosysteem van Waddenzee en Oosterschelde wordt de activiteit van de Mosselen aan de netten en hun filtratiekarakteristiek nauwkeuriger in kaart gebracht. Daarnaast is een aantal voorlopige modelexercities uitgevoerd waarbij een deel van de mossellarven dat jaarlijks geproduceerd wordt zich niet vestigt op het sediment maar aan een MZI-net. De larven groeien daar, worden geoogst en tenslotte naar een perceel getransporteerd. Bij de uitgevoerde voorlopige berekeningen werd ervan uitgegaan dat vestiging aan een net gelijktijdig plaatsvond met vestiging op het sediment. Dat houdt automatisch in dat er qua biomassa of aantallen mosselzaadjes geen winst wordt geboekt bij vestiging aan het net. Ergo, de toename in mosselbiomassa bij gebruik van MZI's wordt in de huidige berekeningen uitsluitend bereikt omdat de Mosselen aan de netten een betere overleving hebben dan die op het sediment. Een gevolg hiervan is dat in de modelberekening het MZI-zaad één-op-één onttrokken wordt aan de hoeveelheid zaad dat zich 'vrij' kan vestigen als 'wilde' mosselzaadbank. Die verbeterde overleving aan de netten resulteert uiteindelijk wel

in een hogere biomassa schelpdieren bij gebruik van meer MZI's, maar *vermindert* de hoeveelheid wilde Mosselen ook. In de modelberekeningen verdwijnt voor elke kilo MZI-mossel ruwweg een halve kilo natuurlijke Mossel. Deze conclusie wordt niet realistisch geacht en in het 2011- vervolgonderzoek wordt dit verder verbeterd. Een eerste plausibel mechanisme is dat mossellarven die zich niet aan een MZI-net hechten er langer over doen een geschikt substraat te vinden en derhalve langer aan een hoge mortaliteit blootgesteld zijn. In dat geval 'redt' een MZI-net een deel van de larven en is het beslag op de hoeveelheid wilde Mosselen veel geringer. Een tweede mogelijk mechanisme is dat bij vestiging op het sediment direct een hoge mortaliteit optreedt: een (groot) deel van de zich vestigende Mosseltjes krijgt geen houvast en gaat verloren. Bij vestiging aan een MZI is dit verlies nauwelijks aanwezig. Met modelsimulaties kan gesimuleerd worden wat de consequenties van elk van de mechanismen zijn voor biomassaontwikkeling en graasdruk. Deze berekeningen, deel uitmakend van nader onderzoek naar de effecten van MZI's voor de draagkracht, staan voor 2011 gepland.

9.3.8 Wat is het effect van exoten zoals de Amerikaanse Zwaardschede of de Japanse Oester op de biomassa vogelvoedsel

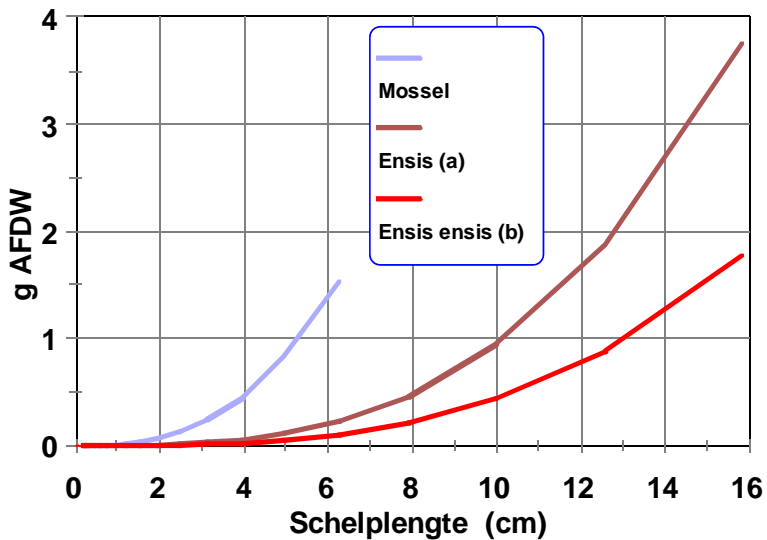
Op voorhand was er van uitgegaan dat deze soorten zich als relatief langzaam filtrerende, niet-eetbare schelpdieren zouden gedragen. Dat impliceert dat het effect berekend kan worden door een langzaam filtrerende schelpdiersoort aan het model toe te voegen, en aldus te berekenen wat er vervolgens over blijft aan voedsel voor de 'gewone' schelpdiersoorten zoals Mosselen. Oesters of de Amerikaanse Zwaardschede direct te implementeren in het model, inclusief een grootteontwikkeling, bleek niet mogelijk. De grootteontwikkeling zelf is niet het probleem, maar wel de eveneens nodige mortaliteitsbeschrijving. De benodigde data (een schatting van de grootteverdelingen van de populaties Japanse Oester en Amerikaanse Zwaardschede) om de beschrijving goed af te regelen ontbreken. Daarom is teruggevallen op een andere aanpak die gerelateerd is aan de filtratieactiviteiten van beide soorten.

9.3.8.1 Amerikaanse Zwaardschede

De grootteontwikkeling is onder meer door Beukema & Dekker (1995) beschreven. De schelpen bereiken een lengte van ongeveer 6 cm aan het einde van het eerste jaar en 12 cm na twee jaar. De lengte-biomassarelatie (Robinson *et al.* 2010) luidt: $M = 508 \cdot L^{3.033}$ (M in gram AFDW, L in m). Deze karakteristieken corresponderen met een massa- afhankelijke filtratieactiviteit die vrijwel gelijk is aan die van Mosselen. Oftewel, de Amerikaanse Zwaardschede is geen langzaam filtrerende soort maar een regelrechte concurrent van Mosselen.

Waar de activiteit van de Amerikaanse Zwaardschede gerelateerd aan de biomassa ongeveer gelijke tred zal houden met de Mossel, is de energetische inhoud van een exemplaar van de Amerikaanse Zwaardschede, gemeten naar de lengte van de schelp, veel geringer dan van een Mossel (Figuur 9.20) en dus als voedselbron voor Eiders veel minder profijtelijk.

De Amerikaanse Zwaardschede wordt voornamelijk beneden de laagwaterlijn aangetroffen en is daarom vooral voor duikende vogels een potentiële voedselbron. Alleen bij een sterke verlaging van het getij wordt waargenomen dat Scholeksters op de dan bereikbare exemplaren van de Amerikaanse Zwaardschede foerageren (med. R. Dekker, NIOZ). Samenvattend: een hoge zwaardschede-biomassa is een directe voedselconcurrent van Mosselen, maar biedt de Eider (en ook de Zwarte Zee-eend) als relevante predator voedsel van een lage kwaliteit.



Figuur 9.20. Relatie tussen biomassa (in asvrij drooggewicht AFDW) en de lengte van Mosselen (naar Brinkman 1993) en van de Amerikaanse Zwaardschede (a, bron: Witbaard & Kamermans 2009) en de Kleine Zwaardschede *Ensis ensis* (b, bron: Robinson *et al.* 2010).

9.3.8.2 Japanse Oester

De functie van de Japanse Oester is niet op deze wijze bekeken, maar van deze oesters is bekend dat ze sterk larvifaag zijn: ze kunnen grote aantallen schelpdierlarven uit de waterkolom filtreren (Troost *et al.* 2008). Daarnaast bleek uit haar onderzoek dat de oesters in veel mindere mate dan Mosselen een dichtheidsafhankelijke groei vertoonden, dus minder last hadden van lokale voedseltekorten (Troost 2009). Dat zou inhouden dat Japanse Oesters bij lagere voedselgehalten kunnen groeien dan Mosselen, en hierdoor Mosselen kunnen wegconcurreren in een systeem. Dat zou dan een verklaring kunnen zijn voor het succes van Japanse Oesters in de Oosterschelde in vergelijking tot Mosselen: de fytoplanktongehalten in de Oosterschelde zijn veel lager dan in de Waddenzee (Geurts van Kessel 2004, Brinkman 2008). Navraag bij Troost leerde dat deze conclusies niet erg eenduidig zijn en dat juist de voedsel-opname-relatie voor Mosselen en Japanse Oester betere data vereisen. Hieraan wordt in 2011 in het kader van het BO-MZI-onderzoek verder gewerkt.

Als voedsel voor Eider en Zwarte Zee-eend is de Japanse Oester weinig geschikt: een te dikke schelp gecombineerd met een laag vleesgehalte. Scholeksters blijken niet al te grote exemplaren te kunnen openen, maar in het algemeen is de predatie door Scholeksters op Japanse Oesters gering (Cadée & Hegeman, 2008).

Het effect van de verhoogde filtratie van mossellarven is onderzocht door in het model de sterfteparameter van mossellarven met 10% te verhogen (Tabel 9.1; hierin is het resultaat van een verandering voor 4 onderscheiden leeftijdsklassen van de Mossel weergegeven). Een verhoogde sterfte onder mossellarven resulteerde in minder mosselbiomassa, maar die vermindering was veel minder dan recht evenredig. De reden is dat daardoor de voedselsituatie voor de overgebleven schelpdieren iets verbetert, waardoor het negatieve effect van extra sterfte deels weer wordt opgevangen.

Tabel 9.1. Overzicht van effecten van een relatieve verandering in mortaliteit voor de vier leeftijdsklassen van Mosselen.

Scenario	Van welke klasse is de mortaliteits-parameter veranderd?	Grootte van de verandering	Verandering totale mossel-biomassa
1	Standaard	-	-
2	Larven	+11%	-3%
3	Zaad	+8%	-5%
4	Klasse 3	+11%	-2%
5	Klasse 4	+11%	-2%

Geconcludeerd moet dus worden dat een langzaam filtrerende grote schelpdiersoort zich kan ontwikkelen naast Mosselen en andere soortgelijke soorten (zie ook § 9.3.3), maar dat

- de Amerikaanse Zwaardschede een directe voedselconcurrent lijkt te zijn voor Mosselen qua filtratieactiviteit, en daarnaast een slechte kwaliteit voedsel oplevert voor Eider en Zwarte Zee-eend
- Japanse Oester een verhoogde sterfte onder larven van andere schelpdieren kan veroorzaken, en een slechte kwaliteit voedselbron vormt voor Scholekster, Eider en Zwarte Zee-eend.

De biomassa-ontwikkeling van beide soorten is dus nadelig voor de hoeveelheid geschikt vogelvoedsel.

9.3.9 Hoe ontwikkelen wilde mosselbanken zich wanneer die niet meer bevist worden?

Hier is een modelmatige benadering niet direct aan de orde. In het nog lopende PRODUS-onderzoek worden veel data verzameld die een beschrijving zullen geven van de veranderingen in biomassa van Mosselen op beviste en onbeviste locaties. De modelexercities die in het kader van PRODUS worden uitgevoerd leveren echter alleen informatie op over de biomassaontwikkeling en allerlei bijhorende processen, maar geven geen informatie over de structuur van een bank en de diversiteit van de geassocieerde fauna.

Het effect van bevissing van een mosselbank is dat op een bepaalde locatie het mosselzaad wordt verwijderd en naar een perceel wordt getransporteerd voor uitzaaien. Zolang er met de sterftekarakteristieken van het zaad niets gebeurt, verandert er aan de totale biomassa noch aan de ontwikkeling daarvan iets. Gaat er extra zaad verloren (door beschadiging, bijvoorbeeld) en is tevens de overleving van de groeiende Mosselen groter, dan kan aan de hand van Tabel 9.1 een schatting van de effecten worden gemaakt. Dit kan ook met het model berekend worden, maar een dergelijke berekening is hier niet uitgevoerd omdat vooral data over de overleving van Mosselen op de percelen een belangrijke input zijn. Zonder gegevens over deze parameter is een dergelijke berekening speculatief. Met behulp van data uit Tabel 9.1 is dus alleen een 'wat-als-dan'-schatting te geven. Geschikte data over de mosseloverleving op percelen zullen als onderdeel van het al genoemde PRODUS-onderzoek beschikbaar komen.

Als de groei van Mosselen op percelen beter is dan op wilde mosselbanken dan zal dat een biomassaverhoging tot gevolg hebben. Dit aspect is verder niet in een modelsimulatie betrokken. In alle gevallen leidt een betere biomassaontwikkeling van op percelen uitgezaaide Mosselen tot meer voedselconcurrentie voor de natuurlijke bestanden maar gezien de opbrengstverbetering van gemiddeld ongeveer 15%, zoals in het EVAII-onderzoek genoemd, is de beïnvloeding betrekkelijk gering.

9.3.10 Wat is het effect van een toekomstige verder verminderde nutriëntentoevoer op de schelpdierbiomassa

9.3.10.1 Algemeen

Eén van de beleidsdoelstellingen ten aanzien van de oppervlaktewaterkwaliteit is een verdergaande terugdringing van de belasting van dat oppervlaktewater met nitraat en fosfaat. Dit is in eerste plaats een beleid dat gericht is op zoete wateren, maar ook voor de Noordzeekustzone heeft de Kaderrichtlijn Water als doel nutriënt- en chlorofylgehaltenes terug te dringen tot 'normale' waarden. Hiertoe zijn normen beschreven over wat een 'goede' ecologische toestand is (STOWA 2007).

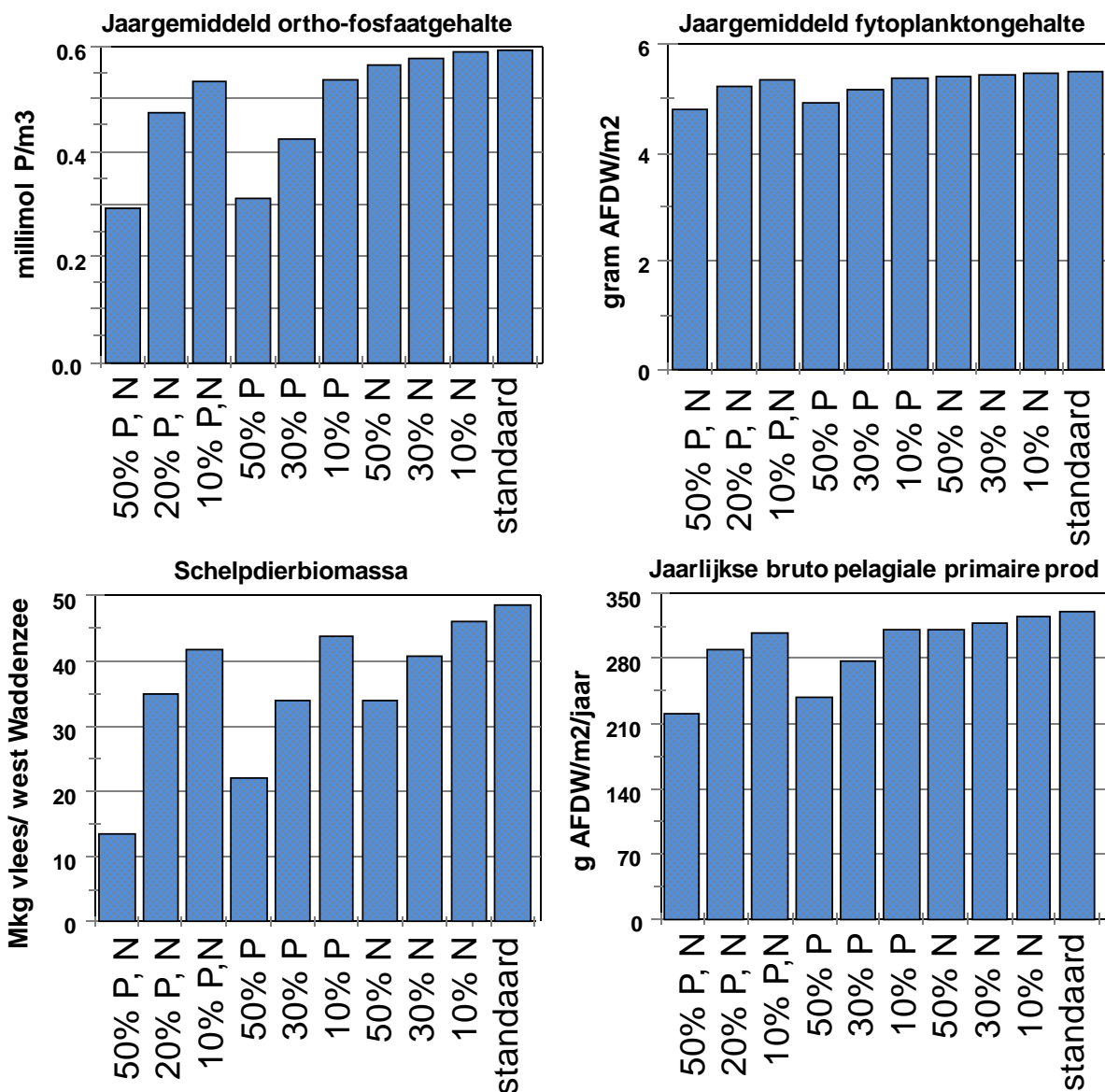
Nu zijn normstellingen voor de Waddenzee niet direct in de modelberekeningen te verwerken omdat deze niet met opgelegde concentraties werken maar met nutriëntgehaltenes in het invoerwater en aan de randen (zie § 9.2.1.2). Daarom is geschat wat de betekenis is van de normstelling in het IJsselmeer en de Noordzeekustzone voor de schelpdierbiomassa in de Waddenzee. Eerst is een forse nutriëntreductie doorgerekend (§ 9.3.10.2), daarna wordt besproken wat de betekenis is van de normstellingen.

9.3.10.2 Grote nutriëntreducties

Voor de berekeningen in het kader van het draagkrachtproject is gekozen voor een aantal nutriëntreductiescenario's, te weten:

- Alle toevoeren en randen een reductie van fosfaat en stikstof van 10, 20 en 50%
- Alle toevoeren en randen een reductie van fosfaat van 10, 30 en 50%
- Alle toevoeren en randen een reductie van stikstof van 10, 30 en 50%

Alle reducties hebben zowel betrekking op het opgeloste nutriënt als op het particuliere materiaal en bij stikstof zowel op ammonium als op nitraat. In deze berekeningen is dus ook het gehalte aan algen en detritus met een zelfde percentage teruggedrongen. Nu levert dat in het geval van een vermindering van zowel fosfaat- als de stikstofcomponenten geen probleem op omdat een algenreductie een gelijkmatige fosfaat- en stikstofreductie geeft. Wordt of fosfaat of stikstof gereduceerd, dan is de reductie in de componenten die gekoppeld zijn, zoals algen en detritus, de $\sqrt{\text{reductie}}$ toegepast.



Figuur 9.21. Overzicht resultaat van nutriëntreducties. Simulatie 'standaard' geeft de toestand weer zoals die ook voor de voorgaande paragrafen berekend is, dus zonder verdere reducties. De nutriëntreducties, en dus de simulatiere resultaten, hebben betrekking op de gehele simulatieperiode van 1976-2005.

De gekozen reducties van alle toevoeren en randen zijn betrokken op het totale *gehalte* aan nutriënten, dus niet op de belasting van bijvoorbeeld het zoete water, of op het verschil tussen huidige concentratie en die in een ongerepte ('pristine') situatie. Daardoor is een reductie van 50% veel meer dan een reductie van de *lozingen* met 50%. Alle simulaties met nutriëntreducties hebben betrekking op de gehele simulatieperiode van 1976-2005.

In Figuur 9.21 is een overzicht gegeven van resultaten van de modelberekeningen. De totale schelpdierbiomassa is het meest gevoelig voor een vergaande de-eutrofiëring, het fytoplanktongehalte reageert het minst. Dit is in overeenstemming met wat eerder in § 9.3.1 is gemeld. Als de gehalten totaal-fosfaat en totaal-stikstof in de Noordzeekustzone en in het IJsselmeerwater met 50% worden gereduceerd, dan resteert een schelpdierbiomassa van minder dan een kwart van het huidige bestand. Dit is onder de aanname dat de relatieve sterftes en dergelijke niet veranderen. Maar, gezien het feit dat er maximaal ongeveer drie maal zoveel modelmosselen zouden kunnen voorkomen dan er werkelijk zijn

(zie § 9.3.3), impliceert een teruggang tot een kwart dat het huidige bestand ligt boven wat aanwezig zou kunnen zijn na 50% nutriëntreductie.

Voor het vogelbestand dat zich met die schelpdieren zou kunnen voeden kunnen dezelfde verhoudingen gelden: na 50% reductie van zowel fosfaat als stikstof is de voedselvoorziening maar voor een kwart van de vogels mogelijk. Maar de berekeningen zijn daarover niet eenduidig en geven aan dat die daling wel eens minder kan zijn, namelijk *hooguit* 50%. Dit is een gevolg van de veranderende groottesamenstelling van de schelpdieren die het model berekent.

Uit modelberekeningen en een globale analyse van de verschillen tussen westelijke en oostelijke Waddenzee blijkt ook dat er positieve terugkoppelingsmechanismen van litorale mosselbanken op de draagkracht bestaan. Mosselen deponeren materiaal dat rijk is aan slib en organisch materiaal, en daarmee aan nutriënten, op de bodem. In de zomerperiode, waarin in de huidige situatie vaak een nutriëntenlimitatie optreedt, vindt vanuit die verrijkte bodem een nalevering van fosfaat en stikstofcomponenten plaats waardoor het tekort aan nutriënten wordt verminderd en de productie van fytoplankton wordt gestimuleerd. Hierdoor is de voedselvoorziening voor schelpdieren groter, wat de populatiegroei zal stimuleren.

9.3.10.3 Effect van nutriëntreducties tot aan de normstelling voor IJsselmeer en Noordzeekustzone

Het voorgaande in § 9.3.10.2 is vooral als illustratie te beschouwen. Een achteruitgang van 50% in de nutriëntengehaltes aan alle randen en in alle toevoeren is een uiterste omdat dat niet alleen een reductie in de lozingen betreft maar een reductie van lozingen *plus* de achtergrondconcentraties.

Door STOWA (2007) is voor de KaderRichtlijn Water beschreven wat de normstelling is voor zoete en zoute waarden. Bij de normstelling is uitgegaan van de referentietoestand (Textbox 9.1). Voor alle wateren wordt gestreefd naar een 'goede ecologische toestand'. De grenswaarden voor wat als 'goed' en 'matig' wordt beschouwd zijn weergegeven in Tabel 9.2.

De KRW schrijft voor dat de toestand van een waterlichaam moet worden beoordeeld ten opzichte van een referentie. Overeenkomstig het Europese richtsnoer (REFCOND Guidance 2003) worden de referentie en de 'zeer goede ecologische toestand' aan elkaar gelijk gesteld. Volgens de definitie in de KRW geldt dat in de referentie de waarden van de kwaliteitselementen normaal zijn voor het type in de onverstoorde toestand en er zijn geen of slechts zeer geringe tekenen van verstoring. Uit de randvoorwaarden van de KRW volgt als uitgangspunt voor de referentie de situatie die er nu zou zijn indien er geen menselijke beïnvloeding was geweest

Textbox 9.1. Omschrijving referentietoestand volgens KaderRichtlijn Water.

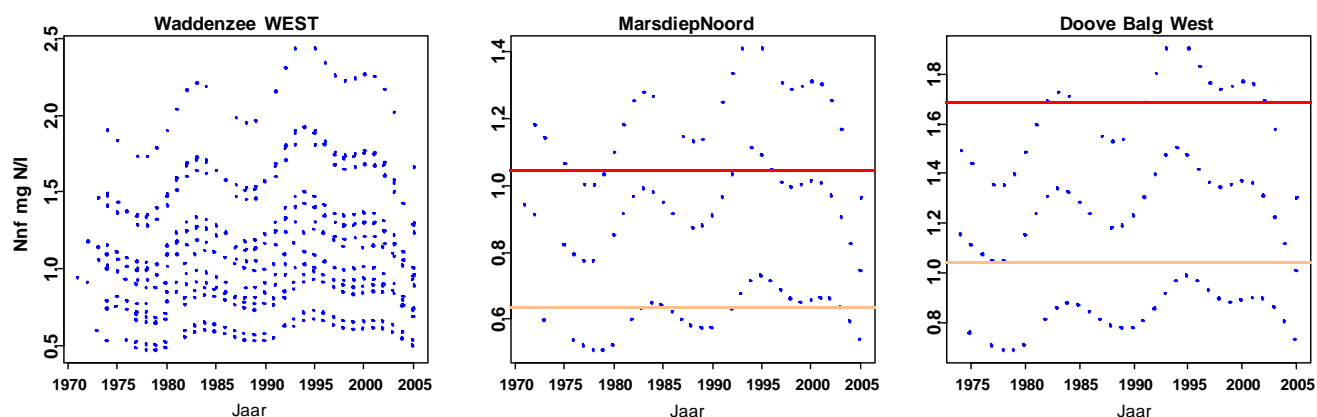
De vragen die daaraan direct gekoppeld zijn, is welke concentraties chlorofyl en nutriënten momenteel worden aangetroffen in de verschillende systemen, wat de trends zijn en welke veranderingen er ten opzichte van de huidige toestand nog verwacht mogen worden. Het algehele streven is erop gericht dat de grenzen tussen goed en matig normaliter niet overschreden worden.

Tabel 9.2. STOWA (2007) referentiewaarden (zie Textbox 9.1) voor IJsselmeer, Waddenzee en Noordzeekustzone, en de grenzen tussen de goede/zeer goede en tussen goede/matige ecologische toestand.

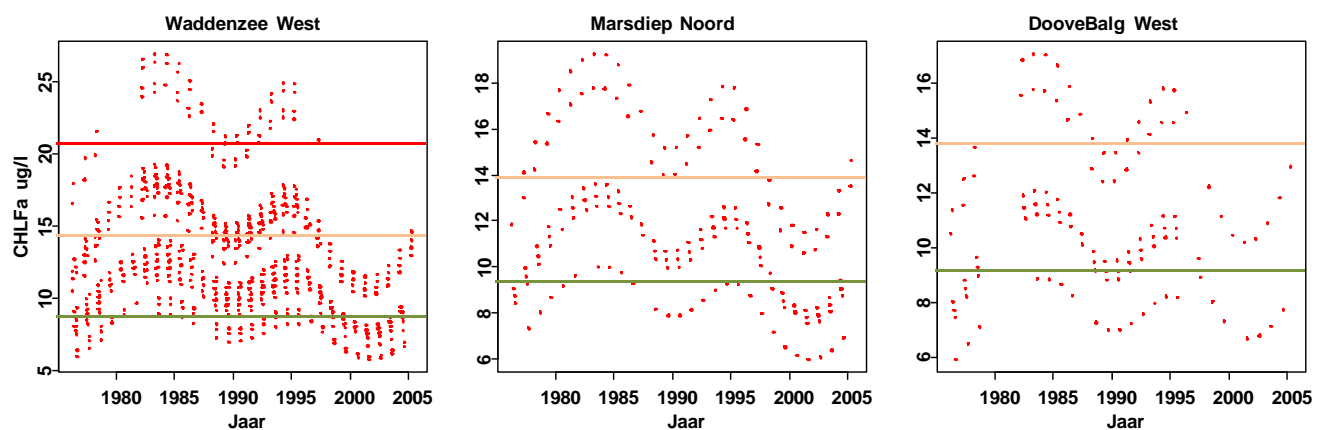
Groot- heid	IJsselmeer			Waddenzee			NZ-kustzone			Opmerkingen	
	Klassengrens			Klassengrens							
	Refe- rentie	Ze er go ed - Go ed	Ma tig - Go ed	Refe- rentie	Ze er go ed - Go ed	Ma tig - Go ed	Refe- rentie	Ze er go ed - Go ed	Ma tig - Go ed	wintermaanden = 1 december - 1 maart	
										zomermaanden = 1 april- 30 sep (zoet water), 1 maart - 30 sep (overgangs- en kustwater)	
Chl-a	6,8	10,8	23	9,3	14	21	6,7	10	15	90 percentiel waarden, µg/l gedurende zomermaanden	
	Ze er go ed	Go ed	Ma tig	Ze er go ed	Go ed	Ma tig	Ze er go ed	Go ed	Ma tig		
DIN				≤0,22	≤0,46	0,46-0,77	≤0,22	≤0,46	0,46-0,77	mg N/l	
				≤15,6	≤33	33-55	≤15,6	≤33	33-55	mmol N/m ³	
				De grenswaarde (mg N/l) voor goed/matig is gerelateerd aan de saliniteit: 2,59-0,071*saliniteit . Voor de Doove Balg West is de gemiddelde winterwaarde voor saliniteit 22, dus de grenswaarde =1.02							
DIN	Doove Balg West			0,51	1,02	1,71				Bij heersende saliniteit (22 PSU)	
	Marsdiep Noord			0,32	0,64	1,06				Bij heersende saliniteit (27,5 PSU)	
Tot-N	≤1,0	≤1,3	1,3-1,9							mg N/l	
	≤71	≤93	93-136							mmol N/m ³	
Tot-P	≤0,04	≤0,07	0,07-0,14							mg P/l	
	≤1,3	≤2,3	2,5-4,3							mmol P/m ³	
				Waddenzee							
					Ze er go ed	Go ed	ma tig				
Biomassa macrofauna				33	30-35	35-40	40-54				g AFDW/m ²

De westelijke Waddenzee

In Figuur 9.22 en Figuur 9.23 is weergegeven wat de gehalten opgelost stikstof en chlorofyl-a zijn in de westelijke Waddenzee (op monitoringlocaties Doove Balg West en Marsdiep Noord). Voor het stikstofgehalte is hierbij rekening gehouden met de saliniteit in de wintermaanden (zie Tabel 9.2). Wat het stikstofgehalte betreft is de ecologische toestand matig. Voor het chlorofylgehalte is de toestand voor het Marsdiep en de Doove Balg West in het algemeen goed, maar de trendanalyse voor de gehele westelijke Waddenzee laat hogere waarden zien. Dit wordt veroorzaakt door de hogere chlorofylgehalten die op de monitoringlocaties Blauwe Slenk en Doove Balg Oost worden aangetroffen. De monitoring van de chlorofylgehalten is daar al in de jaren '90 gestopt, zodat van deze locaties geen recente data bekend zijn.



Figuur 9.22. Gehaltes opgelost stikstof voor de wintermaanden (december-februari) op 3 locaties in de Waddenzee; trendanalyse uit Brinkman (2008). De blauwe stippellijnen geven de berekende trendwaarden voor elke maand en elk meetpunt weer. Er is geen maand aangegeven en dus geven de figuren tevens een idee van de spreiding van de waarden over het gehele gebied. Voor Marsdiep Noord en Doove Balg West zijn elk drie lijnen gegeven (voor elk van de drie wintermaanden) en is de normstelling gegeven die gebaseerd is op de saliniteit ter plekke. Groen=referentiewaarde, oranje=grens tussen goed en zeer goede ecologische toestand en rood=grenswaarde tussen matige en goede ecologische toestand. Omdat de saliniteiten in de gehele westelijke Waddenzee per locatie verschillen kan geen normstelling in de linkerfiguur worden aangegeven.

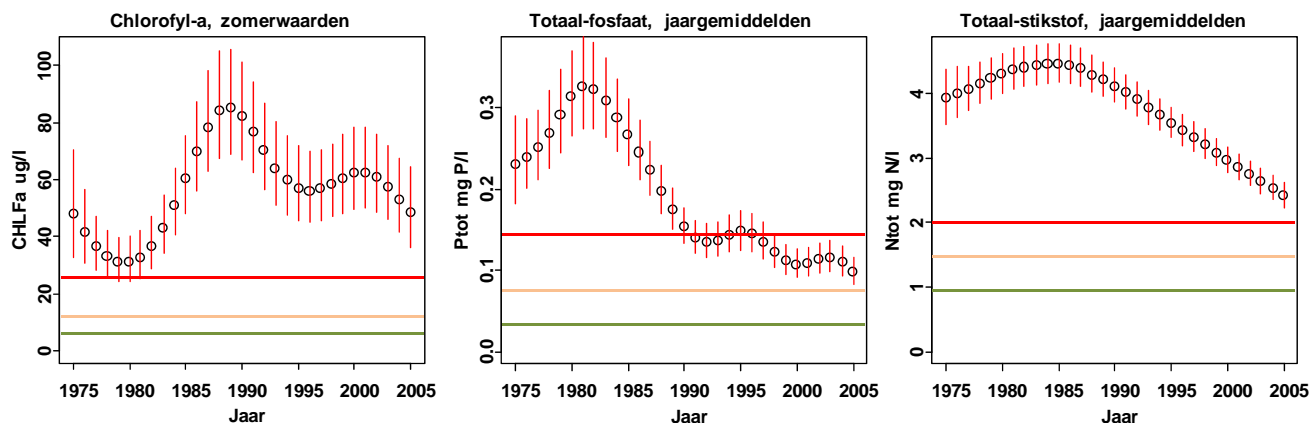


Figuur 9.23. Chlorofyl-a-gehaltenes voor de zomermaanden (april-september) op 3 locaties in de Waddenzee; trendanalyse uit Brinkman (2008). Groen=referentiewaarde, oranje=grens tussen goed en zeer goede ecologische toestand en rood=grenswaarde tussen matige en goede ecologische toestand. Linkergrafiek: elke puntenlijn geeft één maand op één locatie (er zijn vijf locaties) weer. Midden en rechts: elke puntenlijn stelt één maand voor. Van de maximaal zes zomermaanden ontbreekt met name vanaf 1995 een aantal maanden, alleen in het Marsdiep is altijd elke maand gemonsterd.

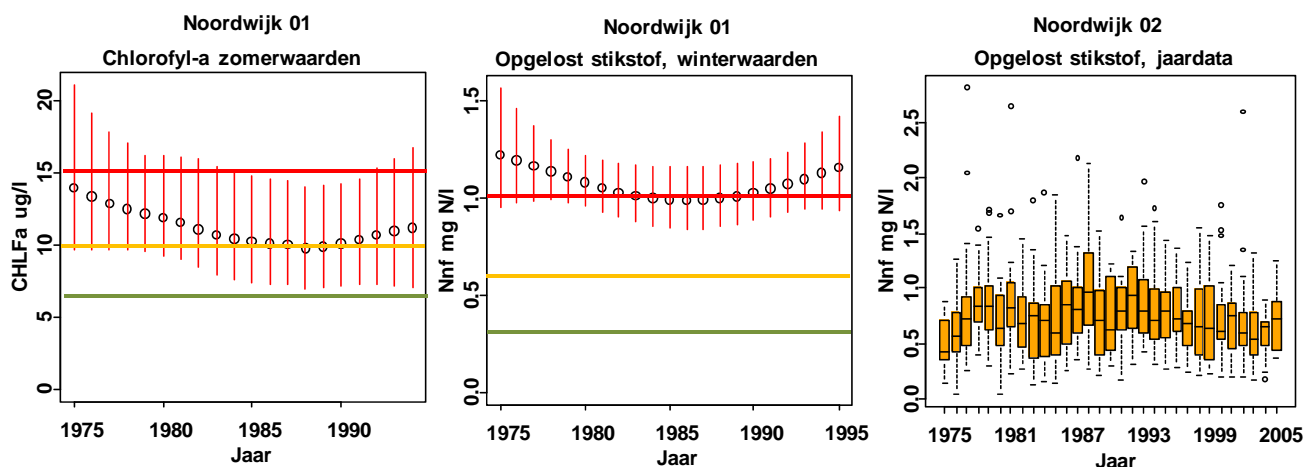
De conclusie is dat de stikstofgehaltenes in de toekomst met 20-30% moeten dalen om aan de norm van een 'goede ecologische toestand' te kunnen voldoen. De KaderRichtlijn Water (STOWA 2007) bevat geen normstelling voor fosfaat.

Het IJsselmeer als toevoer naar de westelijke Waddenzee

Uit Figuur 9.24 komt naar voren dat voor het IJsselmeer de 'goede ecologische toestand' voor het gehalte aan totaal-fosfaat inmiddels bereikt is, maar dat dat voor totaal-stikstof en chlorofyl-a nog niet het geval is. Omdat het landelijke beleid (mede gestuurd door de EU-Nitraatrichtlijn) er ook op gericht is de stikstofbemesting van agrarische gronden terug te dringen zullen de totaal-stikstofconcentraties de komende jaren ook verder gaan dalen.



Figuur 9.24. Waterkwaliteitskenmerken voor het IJsselmeer, locatie Vrouwevloed, trendanalyse uit Brinkman (2008). Weergegeven zijn de chlorofyl-a-gehaltenes voor de zomermaanden (april-september, links), de totaal-fosfaat (midden) en totaal-stikstofgehaltenes voor het gehele jaar (rechts). De lijnen geven de trend weer, zoals berekend, de verticale lijnen het 95% betrouwbaarheidsinterval. Groen=referentiewaarde, oranje=grens tussen goed en zeer goede ecologische toestand en rood=grenswaarde tussen matige en goede ecologische toestand.



Figuur 9.25. Waterkwaliteitskenmerken voor de Noordzeekustzone. Links en midden: locatie Noordwijk 01 (1 km uit de kust), rechts Noordwijk 02 (2 km uit de kust). Trendanalyses en boxplot uit Brinkman (2008). Chlorofyl-a-gehaltenes voor de zomermaanden (april-september, links), opgelost-stikstofgehaltenes voor de wintermaanden (midden). De twee trendanalysegrafieken geven de berekende trend aan met het 95% betrouwbaarheidsinterval. De data voor Noordwijk 01 stoppen in 1995, de data voor Noordwijk 02 (rechts) dienen om de verdere trend te illustreren. Voor Noordwijk 02 was geen trendanalyse beschikbaar. Groen=referentiewaarde, oranje=grens tussen goede en zeer goede ecologische toestand en rood=grenswaarde tussen matige en goede ecologische toestand. De rechter figuur geeft jaargemiddelden weer; daarvoor zijn geen normen gesteld.

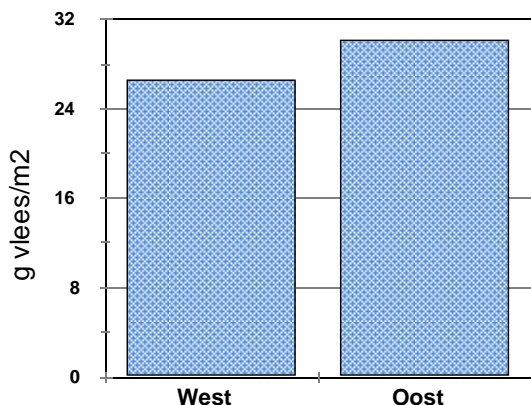
De Noordzeekustzone als randvoorwaarde voor de westelijke Waddenzee

Uit Figuur 9.25 komt naar voren dat het zomerchlorofylgehalte niet te hoog is, maar dat is anders voor het gehalte aan opgelost stikstof. Dat daalt de laatste jaren wel enigszins maar verwacht mag worden dat het gehalte in de toekomst nog verder zal dalen, ook gelet op de normstelling.

9.3.10.4 Conclusie

Naar de normstellingen voor een 'goede ecologische toestand' zoals die in STOWA (2007) geformuleerd is moet een verdere afname van vooral het stikstofgehalte verwacht worden. De grootte van deze afname is uiteraard niet goed bekend, maar vertegenwoordigt naar schatting een reductie tot 50-70% van de huidige waarde. Voor het IJsselmeer geldt het volgende: de referentiewaarden zijn voor het IJsselmeer 0,04 mg totaal-P/l en 1,0 mg totaal-N/l, en betreffen zomerwaarden. Huidige waarden zijn ongeveer 0,08 mg totaal-P/l en 2,0 mg totaal-N/l. Een "Goede ecologische toestand" wordt bereikt indien deze waarden 0,07 mg totaal-P/l en 1,3 mg totaal-N/l zijn. Daarom is er een 10% P-reductie te verwachten en 35% N-reductie. Dergelijke percentages zijn anders voor andere wateren die lozen op de Waddenzee en daarom is de precieze verwachte verandering niet aan te geven. Volgens de modelberekeningen vooral fosfaat het productiebeperkende nutriënt is, toch is de verwachte teruggang in de schelpdierbiomassa niet evenredig met deze afname. Op basis van Tabel 9.2 en Figuur 9.21 resulteert 50% afname in stikstofbelasting in 25-30% afname in schelpdierbiomassa. Het fosfaatgehalte zal eveneens verder afnemen, maar de verdere reducties zullen naar verwachting niet zo groot zijn als die voor stikstof. Op den duur zal een wereldwijd fosfaattekort gaan optreden, maar dat is op een langere termijn te verwachten dan de komende 10 à 20 jaar. Indien de fosfaatbelasting met nog eens 10% afneemt, en deze waarde lijkt niet irreëel, dan zal dit naar de modelberekeningen een ongeveer even grote afname in schelpdierbiomassa tot gevolg hebben.

9.3.11 Oostelijke Waddenzee



Figuur 9.26. Gemiddelde biomassadichtheid Kokkels + Mosselen + Nonnetjes in de oostelijke en de westelijke Waddenzee. Data IMARES-surveys, gemiddelden voor de jaren 1996-2006.

Voor de oostelijke Waddenzee zijn geen simulaties uitgevoerd. De oorspronkelijke opdracht was vooral te onderzoeken of er knelpunten te vinden waren die de grootte van het schelpdierbestand bepalen. Een vaststelling van de draagkracht voor schelpdieren en voor vogels in elk getijdenbassin hoorde daar niet bij. Toch kan op basis van een aantal kenmerken (zie Brinkman 2008) wel een analyse van de situatie worden gegeven, waarbij in het oog moet worden gehouden dat 'het' oostelijke wad niet bestaat. Er zijn aanzienlijke verschillen tussen de hier aanwezige getijdenbassins: het getijdengebied onder Ameland (Borndiep, Dantziggat) kent nauwelijks een toevoer van zoetwater, terwijl op de Zoutkamperlaag (tussen Lauwersoog en de Engelsmanplaat) nutriëntrijk zoetwater vanuit het Lauwersmeer wordt gespuid. Het gebied onder Rottum (Zuidoost Lauwers) heeft weer weinig toevoer van zoet water. Wat deze gebieden wel gemeen hebben is dat ze vrij beschut liggen tegen stormen en dat de waterkolom veel troebeler is dan in de westelijke Waddenzee. De Mosselen in het gebied zijn vooral litoraal aanwezig (resultaten IMARES-surveys). De biomassadichtheid van de som van Mosselen, Kokkels en Nonnetjes is over het algemeen wat groter dan in de westelijke Waddenzee, al is dit verschil niet erg groot (Figuur 9.26). Dit

wordt wel toegeschreven aan de toevoer van organisch materiaal vanuit de Noordzee, maar de Noordzee-chlorofylgehaltenes die het hoogst zijn voor de Noord-Hollandse kust en Rottum (zomergemiddelden rond de 10 µg/l) en wat lager zijn voor de Terschellinger kust (zomergemiddelden rond de 6-8 µg/l) zijn vrijwel altijd lager dan in de getijdengebieden (Marsdiepbassin: 10-12 µg/l voor het Marsdiep, 10 µg/l voor de Doove Balg West; Vliebassin: 20 µg/l voor Blauwe Slenk oost en ongeveer 10 µg/l voor de Vliestroom; Dantziggat: 20 µg/l; Zoutkamperlaag 15-20 µg/l; Zuidoost Lauwers: 15-20 µg/l) (RWS-monitoringdata, geanalyseerd in Brinkman, 2008). Als gevolg van de uitwisseling tussen Waddenzee en Noordzee zal er dus eerder een export van fytoplankton naar de Noordzee plaatsvinden dan een import vanuit de Noordzee.

Die hogere fytoplanktongehaltenes moeten dus ook een belangrijke lokale productiecomponent hebben. Die is ongetwijfeld gelegen in de aard van het gebied: de bodem is er in het algemeen veel slikkiger dan in het Vlie- en Marsdiepbassin (RIKZ 1998). De meer beschutte ligging van gebieden in de oostelijke Waddenzee zal een belangrijke reden zijn. Waarschijnlijk is door de grotere dichtheden litorale Mosselen ook de biodepositie van belang: (onder meer) Mosselen zorgen voor een actieve depositie van slibmateriaal op de bodem. Dit materiaal is rijk aan organisch materiaal en dus aan nutriënten. Via mineralisatieprocessen en al dan niet via adsorptie-desorptie worden die nutriënten weer afgegeven aan de waterkolom. De mineralisatie verloopt het snelst in de warme zomermaanden en juist dan zijn nutriënttekorten het grootst.

Door het slikkiger karakter van de oostelijke wadgebieden is de waterkolom veel troebeler dan in de westelijke Waddenzee en dat lijkt in tegenspraak met de betere vastlegging van het slib. Dat het slibmateriaal niet uitgespoeld wordt naar de Noordzee is een gevolg van het asymmetrische getijdentransport (Postma 1961), waardoor bij vloed meer materiaal naar binnen wordt getransporteerd dan er bij eb naar buiten gaat.

Concluderend kan gezegd worden dat de combinatie van beschutting en slibvastlegging door onder meer (of juist: vooral) droogvallende Mosselen het oostelijke wad een relatief hogere zichzelf onderhoudende secundaire productie oplevert. In de nabije toekomst zullen simulaties voor het oostelijke wad worden uitgevoerd (projecten MZI en NWO-ZKO).

9.3.12 Invloed van weer en klimaat op de schelpdierbestanden

9.3.12.1 Inleiding

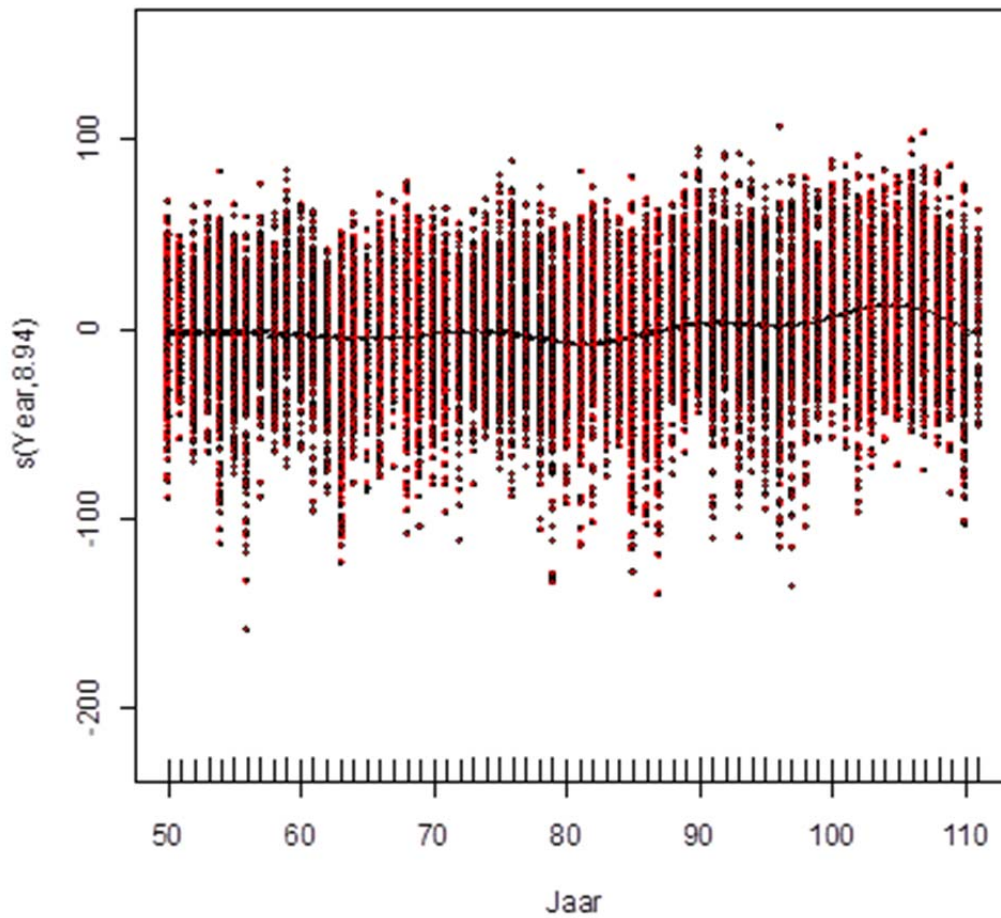
In de discussie over het al dan niet terugkeren van litorale en sublitorale mosselbanken speelt ook het klimaat een rol. Dit onderdeel valt buiten de uitgevoerde modelstudie, maar toch kan aandacht aan dit onderdeel gegeven worden vanwege de vraag: betreffen de belangrijkste beïnvloedingen niet de nutriënten of anderzijds een lokaal beleid, maar een relatief onstuurbare kracht (zoals het klimaat). Daartoe is een korte trendanalyse (analoog aan die voor de nutriënten en chlorofyl, zie Brinkman 2008) uitgevoerd voor de ontwikkeling van temperatuur en windkracht voor het weerstation De Kooy bij Den Helder.

9.3.12.2 Temperatuur

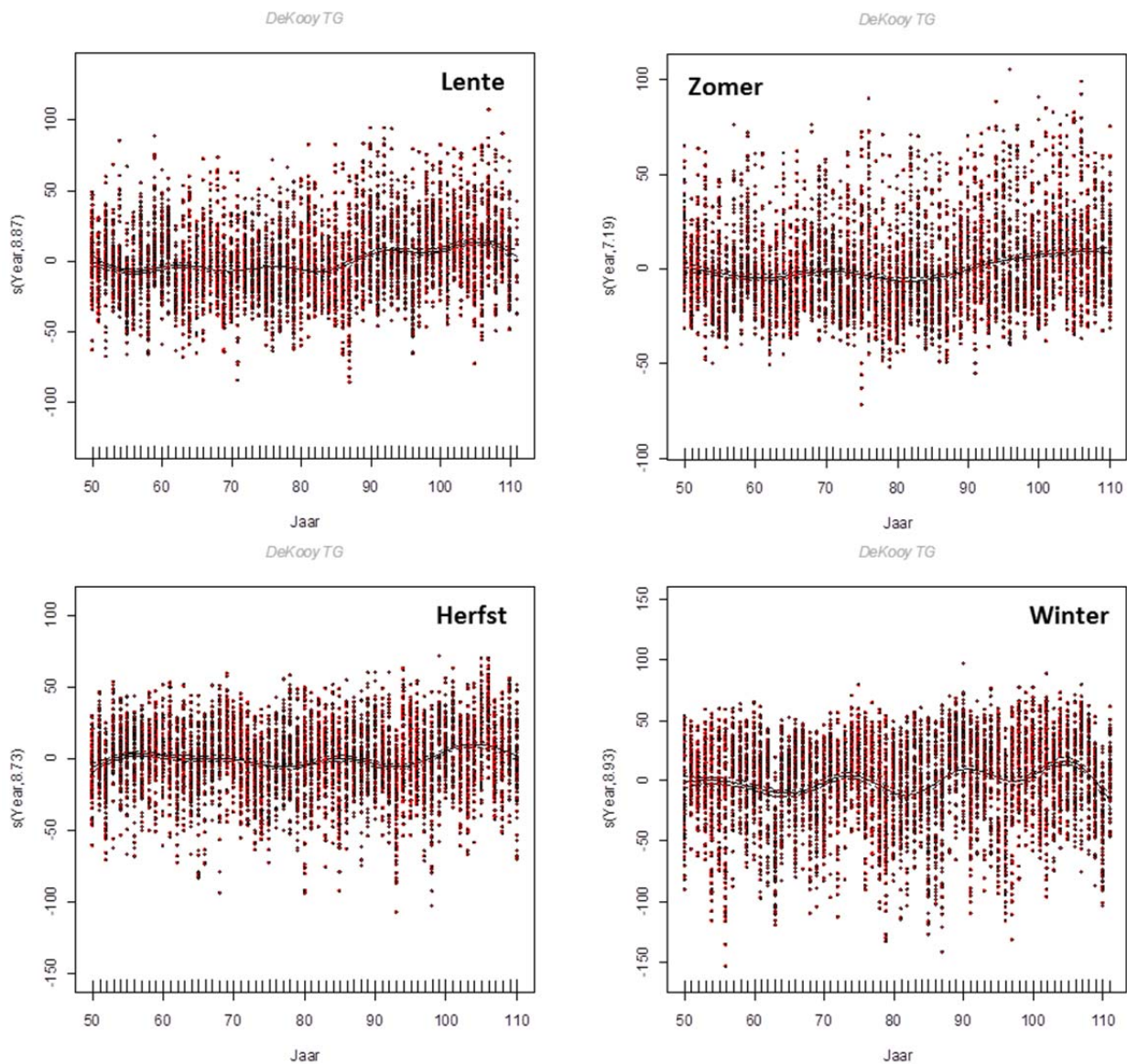
Voor de temperatuur zijn vijf karakteristieken onderzocht: de jaargemiddelde temperatuur en de vier seizoensgemiddelden. Deze zijn uitgezet in Figuur 9.27 en Figuur 9.28. Duidelijk is vooral dat de structurele verschillen (de getrokken lijnen in beide figuren) klein zijn ten opzichte van de variaties.

Ook de luchttemperatuur lijkt de laatste jaren enigszins af te nemen, met name in de winterperiode (december-februari). In de zomer is dit patroon nog het minst te herkennen. Sinds begin 1980 is een gemiddeld voortdurende stijging waar te nemen. Ook de lentetemperaturen zijn sinds begin jaren '80 gestegen, maar deze stijging is sinds ongeveer 2005 doorbroken.

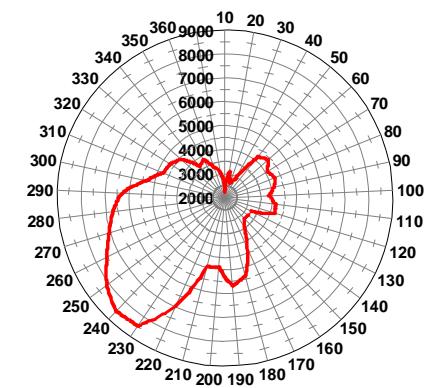
DeKooy TG



Figuur 9.27. GAM-analyse van gemiddelde jaartemperatuur (TG) in De Kooy van 1950 (50) t/m 2011 (110). De Y-as geeft de afwijking (in 0,1 °C) ten opzichte van het gemiddelde, waarbij de GAM een smoother heeft toegepast met ongeveer 9 vrijheidsgraden. -100 betekent dus 10 °C onder de gemiddelde waarde voor alle punten. De ingetekende punten zijn de meetwaarden. Data: KNMI.

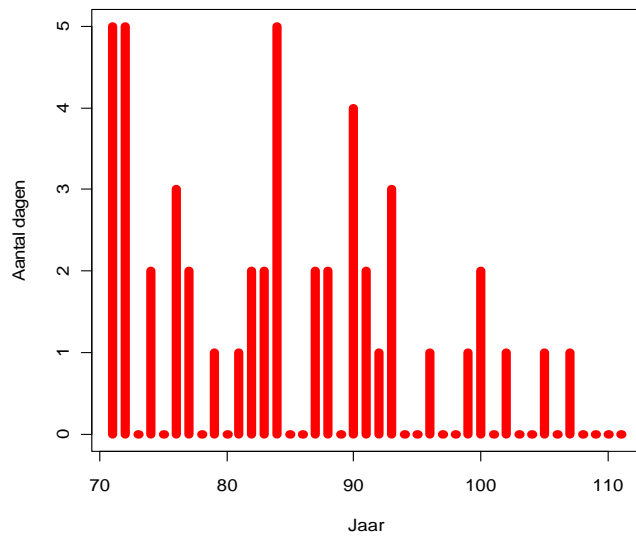


Figuur 9.28. GAM-analyse van gemiddelde seizoenstemperaturen in De Kooy van 1950 (50) t/m 2011 (110). De Y-as geeft de afwijking (in $0,1^\circ\text{C}$) ten opzichte van het gemiddelde, waarbij de GAM een smoother heeft toegepast met 7 à 9 vrijheidsgraden. -100 betekent dus 10°C onder de gemiddelde waarde voor alle punten. De ingetekende punten zijn de meetwaarden. Data: KNMI.

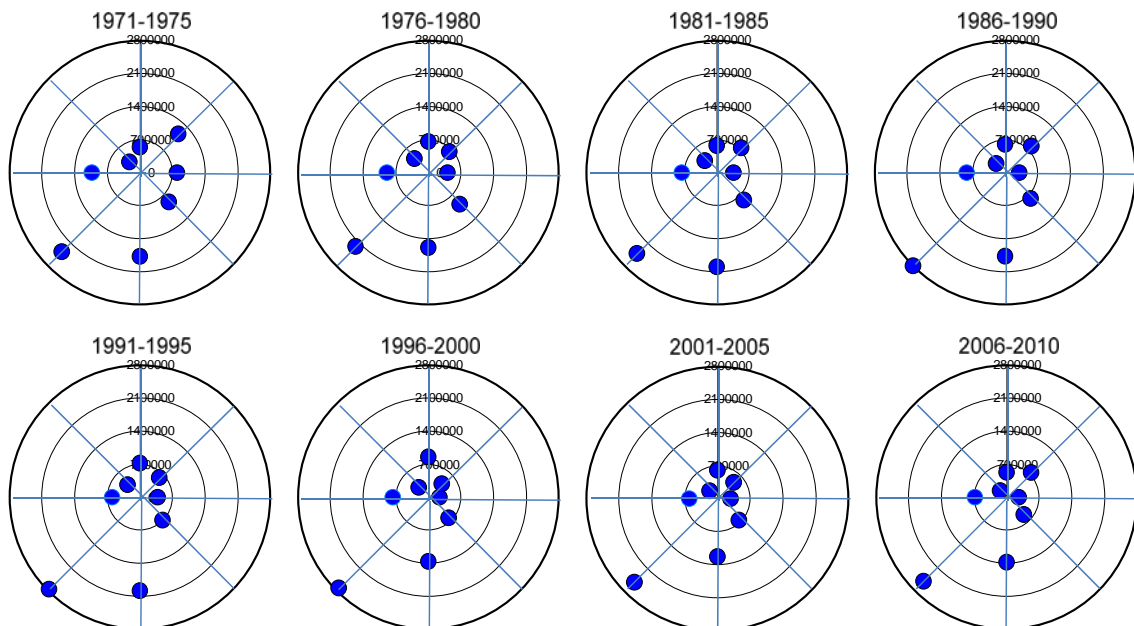


Figuur 9.29. Urenfrequentie-verdeling windrichting De Kooy. Data: KNMI.

Aantal dagen met gemiddelde windsnelheid > 15 m/s



Figuur 9.30. Aantal dagen met een daggemiddelde windsnelheid > 15 m/s in Den Helder (vliegveld De Kooy). Data KNMI.

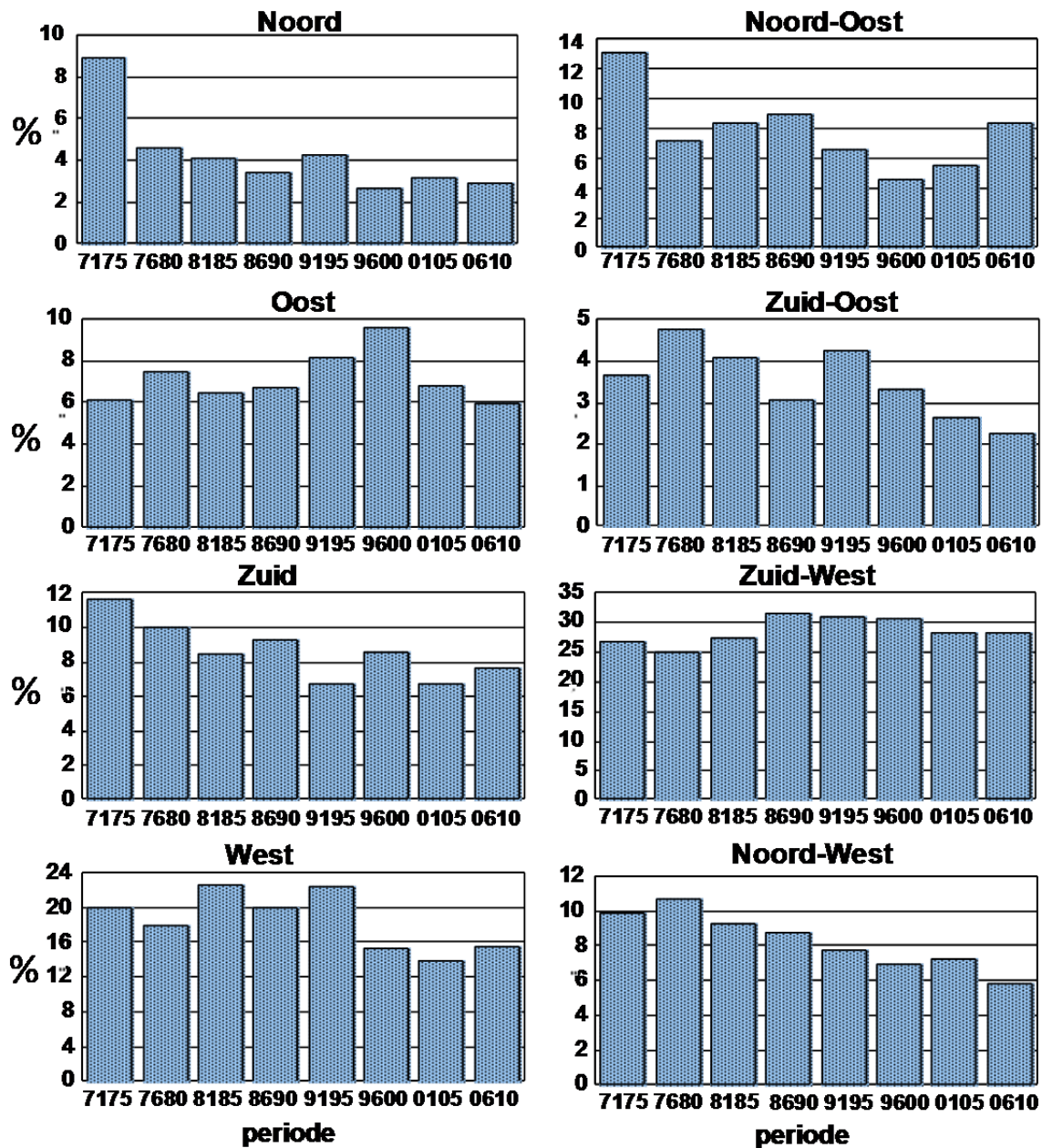


Figuur 9.31. Vijfjaarlijkse som van de dagelijkse kwadraten van de windsnelheid (in 0,1 m/s), opgedeeld naar acht windrichtingen. De waarden zijn illustratief voor de kracht overgebracht door de wind op het water. De aangegeven getalswaarden zijn in $(0,01 \text{ m}^2/\text{s}^2)$, de Y-schaal loopt van $(0 \dots 7 \cdot 10^6 \dots 28 \cdot 10^6)$ Gebruikte winddata: KNMI, station De Kooy.

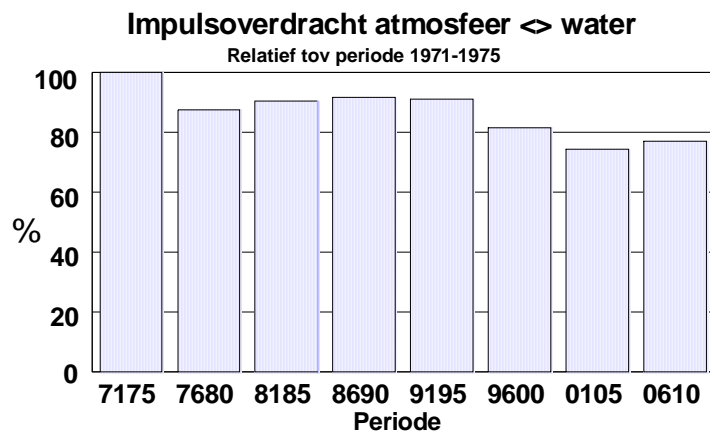
9.3.12.3 Windkracht

In Figuur 9.31 is weergegeven hoe de vijfjaarlijkse som van de dagelijkse (windsnelheid²), opgedeeld naar acht windrichtingen is geweest over de periode 1971-2011. In Figuur 9.30 is het aantal dagen met hoge windsnelheid weergegeven. Duidelijk is dat er vanaf 1970 een gestage afname van het aantal dagen met extreme windsnelheid heeft plaatsgevonden. Uit Figuur 9.31 is dat eveneens op te maken. Na

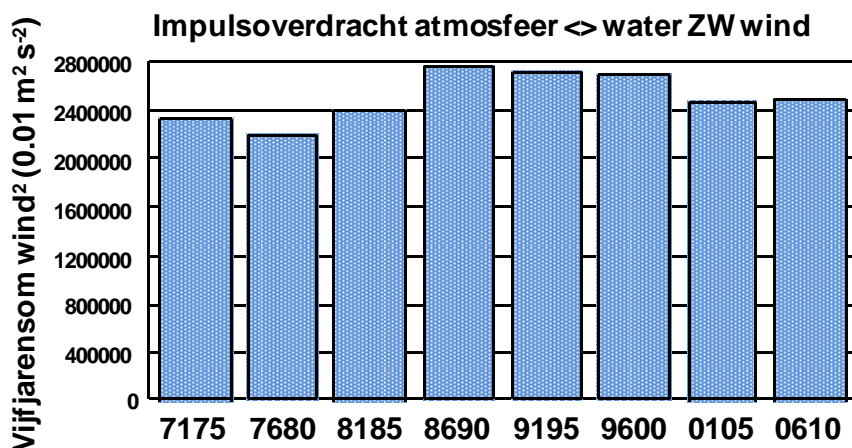
1995 zijn met name de zuidenwinden afgenomen in kracht en het aandeel van de zuid-westwinden en oostelijke winden wat toegenomen. De totale windkracht is sinds 1970 met ruim 20% afgenomen (Figuur 9.33). Alleen de absolute bijdrage van de ZW-winden is wat toegenomen (Figuur 9.32 en 9.34).



Figuur 9.32. Procentuele bijdragen van wind uit de acht windrichtingen aan de impulsflux atmosfeer>waterkolom, zoals weergegeven in Figuur 9.31. De berekende impulsflux is evenredig met het kwadraat van de windsnelheid. Naar data voor vliegveld De Kooy, Den Helder. De som voor de periode 1971-1975 is 100%, de overige percentages zijn daaraan afgemeten. De som van de percentages is in Figuur 9.34 weergegeven. Bron: KNMI.



Figuur 9.33. Relatieve impulsoverdracht atmosfeer <-> water tussen 1971 en 2010, per vijf jaar gegroepeerd. 1971-1975=100%. Impulsflux is evenredig met het kwadraat van de windsnelheid. Meteodata De Kooy, Den Helder. Data KNMI.



Figuur 9.34. Impulsoverdracht water <-> atmosfeer voor ZW-winden. De som van de kwadraten van de windsnelheden zijn gegeven voor vijfjaarlijkse perioden van 1971-2010. De windsnelheden (data: KNMI voor Vliegveld De Kooy, Den Helder) zijn in 0,1 m/s.

9.3.12.4 Stormen

Het is denkbaar dat niet een gemiddeld windklimaat, of een som van impulsoverdracht van atmosfeer → water, bepalend is voor het blijven liggen of juist wegspoelen van een mosselbestand maar een enkele gebeurtenis, zoals een extreme storm. Dit heeft zich in elk geval voorgedaan in het voorjaar van 1995. In 1994 vond een grote mosselzaadval plaats, die door stormen van februari en maart 1995 voor een aanzienlijk deel verwijderd werd (Dankers *et al.* 2003). Juist zaadbanken zullen door hun kwetsbare structuur gevoelig zijn voor golven.

Stormdagen, gedefinieerd als dagen waarop tenminste een uur-gemiddelde windsnelheid van 24,5 m/s wordt bereikt, zijn vermeld in Tabel 9.3. De tabel ondersteunt de vorige conclusie dat van een veranderend stormklimaat geen sprake lijkt, hooguit dat de frequentie wat afneemt.

9.3.12.5 Conclusie

Met alle winddata op een rij kan er alleen maar worden geconcludeerd dat het op basis van deze beschouwing niet waarschijnlijk is dat een veranderd windklimaat oorzaak is van afnemende

schelpdierbiomassa's in de periode 1976-2010. De veranderingen die hebben plaatsgevonden betreffen een algehele *vermindering* van de windkracht (impulsoverdracht atmosfeer <> waterkolom) en een afname van de bijdrage van de zuiden- en noordenwinden, waar een toename van de relatieve bijdragen van zuidwesten- en oostenwinden tegenover staat, en een toename van de absolute bijdrage van de ZW-winden alleen.

9.3.13 Kanttekeningen

Een aantal kanttekeningen moet niet uit het oog verloren worden.

Ten eerste gaan de berekening alleen over de westelijke Waddenzee, en kunnen ze niet zonder meer gebruikt worden om de processen in de oostelijke Waddenzee mee te duiden. In § 9.3.12 is beredeneerd waarom de toestand in het oostelijke wad is zoals hij is.

Ten tweede is bij de modelsimulaties het zogeheten "small foodweb" niet in de berekeningen meegenomen. Dit betreft, globaal gesproken, de toevoeging van een extra route: klein fytoplankton (picoplankton) dat niet door Mosselen of andere schelpdieren kan worden gegeten wordt door microzoöplankton begraasd, dat weer op zijn beurt wel door schelpdieren wordt gegeten. Deze extra route kan voor een extra primaire en secundaire productie zorgen met als gevolg dat de bovengenoemde getallen wat betreft predatiebiomassa en vogelaantallen hoger worden. Dit werk is onderdeel van het gaande BO-onderzoek aan de effecten van MZI's op het ecosysteem van Waddenzee en Oosterschelde. De resultaten zijn nog niet in een zodanige vorm dat ze in deze rapportage kunnen worden opgenomen.

1962 Feb 12
1967 Okt 17
1972 Nov 13
1973 Apr 02
1976 Jan 02
1979 Feb 14
1983 Feb 01
1983 Mei 12
1983 Nov 26
1984 Jan 14
1987 Okt 16
1990 Jan 25
1990 Feb 26
1993 Jan 13
1993 Dec 09
1994 Apr 01
1995 Mar 03
1998 Jan 04
1999 Dec 03
2000 Mei 28
2000 Okt 29/30
2002 Feb 26
2002 Mar 09
2002 Okt 27
2007 Jan 18

9.4 Discussie

Het voorliggende hoofdstuk betreft een modelstudie. Dat betekent dat gebruikmakend van zoveel mogelijk feitelijke gegevens plus proceskennis afgeleid is hoe de toestand zich het meest waarschijnlijk heeft ontwikkeld gedurende de rekenperiode (1976-2005). Daar waar gegevens beschikbaar waren passen die zo goed mogelijk op de rekenresultaten. Het belang van deze modelberekeningen ligt daarin dat processen en meetgegevens aan elkaar gekoppeld worden en dat de uitkomsten consistent zijn. Dat neemt niet weg dat veel berekende getallen niet gecontroleerd kunnen worden, zoals bijvoorbeeld het maximaal mogelijke bestand aan schelpdieren. Dat zijn schattingen. Hieronder is voor de behandelde kenmerken kort aangegeven wat de eventuele zwakke of sterke punten van de uitgevoerde berekeningen kunnen zijn:

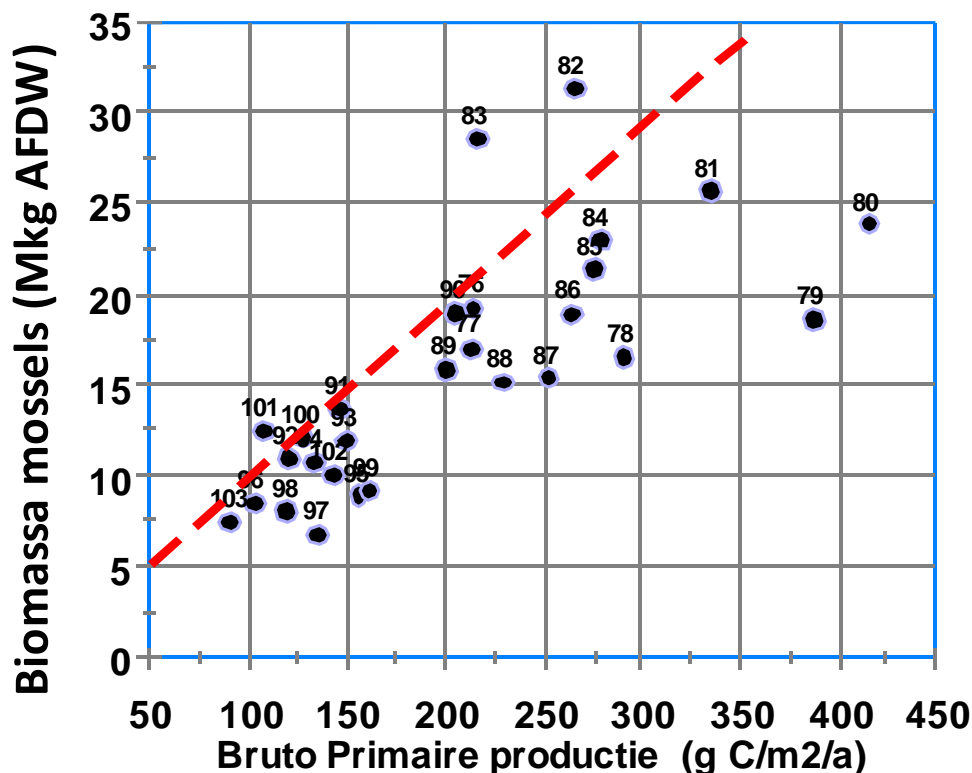
Tabel 9.3. Stormdagen in Nederland = dagen waarop de hoogste uurgemiddelde windsnelheid >24,5 m/s was. Bron: KNMI.

- Nutriëntgehalten in de Waddenzee. Deze zijn goed te vergelijken met meetwaarden en kloppen over het algemeen vrij goed. Lastig is soms dat wat bij de metingen 'ortho-fosfaat' heet in de werkelijkheid deels opgelost organisch fosfaat is; er worden juist bij de modelberekeningen lagere waarden berekend dan er gemeten worden
- Data voor de randen van de Noordzee of toevoer vanuit het IJsselmeer. De debieten vanuit het IJsselmeer worden ter plekke bij de beide sluiscomplexen bepaald. De concentraties bij Den Oever en Kornwerderzand zijn via extrapolatie berekend uit die voor Vrouwenzand, een locatie midden in het IJsselmeer tussen Enkhuizen en Stavoren
- De effectieve uitwisselingsdebieten met de Noordzee zijn constant gehouden voor de hele simulatieperiode en daar is een verbetering mogelijk. Dat levert ongetwijfeld vooral temporele veranderingen op en vermoedelijk minder grote langetermijnverschillen. De gebruikte

uitwisselingsdata zijn afgeregeld op de beschikbare saliniteitsdata zodat de menging met Noordzeewater over het geheel genomen toch enigszins betrouwbaar is

- Om berekende algengehaltes te vergelijken met de gemeten chlorofylgehaltenes moet van een omrekeningsfactor gebruik worden gemaakt. Die is constant gehouden, maar in werkelijkheid varieert deze per algensoort en in de tijd. Dit is voor de vergelijking data ⇔ modeluitkomsten een zwak punt, maar dit kan nauwelijks verbeterd worden omdat de nodige data ontbreken
- De primaire productie wordt weliswaar gemeten in het Marsdiep (NIOZ), maar dat zijn metingen bij hoogwater zodat de watermassa meer Noordzeewater weerspiegelt dan Waddenzeewater. Er is dus maar weinig goed bruikbaar vergelijkingsmateriaal
- De biomassa schelpdieren is pas sinds ongeveer 1990 enigszins betrouwbaar bekend, hoewel ook daarna nog diep ingegraven schelpdieren niet kwantitatief zijn bemonsterd
- De omrekening van schelpdiermortaliteiten naar vogels is een schatting. Het voordeel van de berekening is wel dat voor het eerst een berekening wordt gegeven waarbij aangegeven wordt hoeveel schelpdieren er bij benadering elk jaar sterven, en dus moeten worden gegeten door andere dieren. En ook kan een schatting worden gegeven wat er gebeurt indien ergens in de levensfase van een schelpdier meer of minder sterfte gaat optreden.

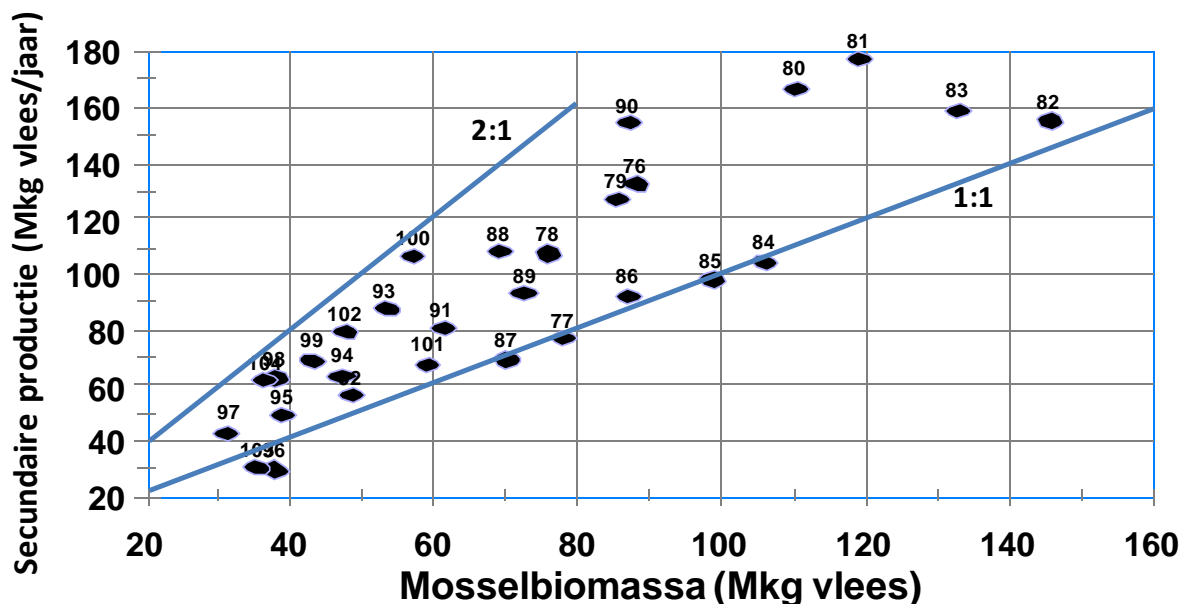
Herman *et al.* (1999) hebben voor een aantal locaties de gemeten primaire productie en de biomassadichtheid van macrofauna tegen elkaar uitgezet. Dit is weergegeven in Figuur 9.35, naast wat het EcoWasp-model voor de westelijke Waddenzee berekend heeft.



Figuur 9.35. Verband tussen berekende bruto jaarlijkse primaire productie in de westelijke Waddenzee en de mosselbiomassadichtheid. De rode onderbroken lijn geeft het verband weer tussen bruto primaire productie en macrofauna- biomassadichtheid (naar Herman *et al.* 1999). De weergegeven punten zijn data die door het Ecowasp-model zijn geproduceerd.

De data die door het model geproduceerd zijn liggen in het algemeen lager dan de regressielijn. Dat brengt ons op een punt dat zich al eerder openbaarde. In Hoofdstuk 9.3.6 is aangegeven welk deel van de mosselbestanden of mosselmortaliteit werd geogst bij visserijactiviteiten. Gemiddeld betrof dat

ongeveer een kwart van de mosselmortaliteit, maar het is denkbaar dat dit getal te hoog is omdat de mortaliteit enigszins te laag wordt berekend. Voor de gehele mosselpopulatie wordt een productie/biomassa (P/B)-verhouding berekend die ligt tussen 1 en 2 (Figuur 9.36), een getal dat voor de som van larven tot en met grote Mosselen ook aan de lage kant lijkt. Er moet dus rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de productie en dus ook de mortaliteit wat hoger zijn dan hier is berekend.



Figuur 9.36 Productie-biomassaverhouding zoals geproduceerd door het Ecowasp-model voor de gehele mosselpopulatie. De lijnen geven de 1:1 en de 2:1 verhouding weer.

9.5 Samenvatting en slotopmerkingen

In de voorgaande Discussie is uiteengezet wat de huidige modelberekeningen zeggen over de toestand in de westelijke Waddenzee voor wat betreft primaire productie, schelpdierbiomassa en -productie, en de aantallen vogels (Eiders, Scholeksters en deels ook Toppers) die zich daarmee kunnen voeden.

Samenvattend kan het volgende geconcludeerd worden:

- De veranderingen die berekend worden gedurende de gehele periode 1976-2005 zijn vrijwel geheel toe te schrijven aan de eutrofiëring gevolgd door de-eutrofiëring: het is de enige sturende verandering die substantieel is in de modelberekening. De de-eutrofiëring betreft vooral fosfaat, de verandering in de toevoer van stikstofcomponenten is veel kleiner
- De EU-Kaderrichtlijn Water en de implementatie daarvan in de Nederlandse normstelling zal leiden tot een verdergaande reductie van de nutriënttoevoer naar de Waddenzee, met een verlaagde draagkracht voor schelpdieren en vogels als gevolg
- De veranderingen in temperatuur zijn klein vergeleken met de verandering in fosfaattoevoer en de watertemperatuur maakt deel uit van de gebruikte invoer. Veranderingen daarin worden ook in de modelberekeningen meegenomen. Windeffecten zijn meegenomen waar het de opwerveling van materiaal betreft. Over de gehele periode zijn de veranderingen hierin gering
- Overige weereffecten zoals stormkracht en -frequentie zijn geen onderdeel van de simulaties, maar de veranderingen hierin zijn beperkt. Voor zover die er zijn houden ze een verminderde frequentie en kracht in. Het schelpdierbestand zal hierdoor niet langjarig negatief beïnvloed worden
- De hoeveelheid schelpdieren kan hoger zijn dan die welke er momenteel is. Het maximum hangt af van de filtreereigenschappen van een schelpdier, maar het maximum voor schelpdieren als

Mosselen, Kokkels en Amerikaanse Zwaardschedes is volgens de analyse ruwweg het drievoudige van wat er nu aanwezig is

- De maximale biomassa schelpdieren nu is lager dan de (geschatte) werkelijk aanwezige hoeveelheid in de jaren '80
- De betekenis voor de aantallen Scholeksters en Eiders die zich met de schelpdieren kunnen voeden is in de eerste plaats dat de voedselbeschikbaarheid aanzienlijk lager is dan 25-30 jaren geleden
- Een tweede conclusie voor wat betreft Scholeksters en Eiders moet zijn dat deze vogels zich onder de huidige omstandigheden met andere prooien dan schelpdieren alleen zullen moeten voeden om in hun voedselbehoefte te kunnen voorzien
- De betekenis voor de aantallen Toppers is minder eenduidig. Op zich lijkt de productie van geschikt voedsel voldoende. De sterfte van schelpdieren –gesteld dat al de berekende schelpdieren inderdaad alleen Mosselen zouden zijn- is ruim het 10-voudige van wat 20.000 Toppers nodig zouden hebben. Onder de huidige verhouding (Mosselen):(overige schelpdieren) zou op basis van de aanwezigheid de voedselvoorziening van Topper geen probleem kunnen zijn. Hierbij kan echter de vraag worden gesteld of er inderdaad voldoende voedsel beschikbaar is in die gebieden die door Toppers bezocht worden. Deze vraag kan niet goed door het model beantwoord worden. Deze vraag is, gebruik makend van surveydata, wel beantwoord in Hoofdstuk 3
- Exoten als de Amerikaanse Zwaardschede zijn regelrechte concurrenten met 'gewone' schelpdieren als Mosselen en Kokkels wanneer het gaat om graas op het fytoplankton
- Waarschijnlijk gaat dit ook voor de Japanse Oester op, maar deze heeft als extra eigenschap dat de soort ook sterk kan prederen op pelagiale schelpdierlarven. De Japanse Oester is dan dus niet alleen concurrent maar ook predator
- De opkomst van Amerikaanse Zwaardschede en Japanse Oester is nadelig voor de ontwikkeling van bestanden aan Mosselen en Kokkels :
 - Zwaardschedes zijn voedsel van slechte kwaliteit voor Eiders door een ongunstige verhouding vleesgewicht/eetbare lengte. De soort is slecht bereikbaar voor Scholeksters
 - Japanse Oesters zijn alleen in een bepaalde leeftijdsklasse eetbaar door (sommige) Scholeksters en vrijwel oneetbaar voor Eiders
- De KaderRichtlijn Water geeft een normstelling voor chlorofyl-a. Het chlorofylgehalte wordt echter niet alleen door nutriënten maar ook door de sterkte van de begrazing bepaald (§ 9.3). Daar waar het gaat om een terugdringing van de chlorofylgehalten is de realisatie van een goed schelpdierenbestand een belangrijke optie
- De veronderstellingen met betrekking tot de effecten van MZI's in § 9.3.7 moeten verbeterd worden. Dit wordt in 2011 uitgevoerd binnen het MZI-project (EL&I-project Monitoring effecten MZI)
- In § 9.3.6 is geconcludeerd dat visserij ongeveer een kwart van de sterfte van schelpdieren >3 cm voor haar rekening neemt en daarmee dus concurreert met vogels om schelpdieren.

Het blijft belangrijk te beseffen dat een aantal mogelijk belangrijke thema's niet in de modelberekeningen zijn meegenomen:

- Substantiële veranderingen in de Noordzeekustzone (zoals bijvoorbeeld de hoeveelheden Garnalen, of de predatoren op Garnalen zoals Wijting en Kabeljauw) zijn niet in kaart gebracht en de effecten daarvan zijn dus ook niet in de berekeningen verwerkt. Omdat de grootte van het garnalenbestand van invloed kan zijn op de recrutering van schelpdieren kan hier een mogelijke oorzaak liggen voor de constatering dat de hoeveelheid schelpdieren in de westelijke Waddenzee beduidend onder de draagkracht van het gebied ligt. Als dit verband inderdaad bestaat betekent een verandering in het garnalenbestand een verandering in de mortaliteit van de kleinste schelpjes. De schatting die gemaakt is (§ 9.3.9, Tabel 9.1) houdt een verhoging van 5% schelpdierbiomassa in als de mortaliteit van de recruten met 8% vermindert.
- Een thema dat binnen dit project niet verder onderzocht is, maar dat bij het EVA-II project wel is genoemd (Brinkman & Smaal 2003), is dat het belang van mosselbanken deels ook is gelegen in de opslag van fijn sediment dat rijk is aan organisch materiaal. Dit wordt gemineraliseerd waarna

nutriënten als stikstof (als ammonium) en fosfaat weer vrijkomen. Dit is het sterkst aan het einde van de zomer, als de temperaturen hoog zijn. Juist als de nutriëntgehalten laag zijn kunnen hierdoor extra voedingsstoffen vrijkomen die dus bevorderend zullen zijn voor de primaire productie. De conclusie toentertijd was dat om deze reden mosselbanken goed zijn voor Mosselen. Dit thema komt zijdelings aan de orde in § 9.3.10.3 waar het gaat om het verschil tussen oostelijke en westelijke Waddenzee.

9.6 Kennisleemtes

De voor de modellering meest in het oog springende kennislücken zijn:

- Een belangrijk kenmerk in de modellering is de minimale voedselconcentratie waarbij schelpdieren nog kunnen groeien. Dit gegeven is grootte-afhankelijk en vooral van belang om de competitie tussen schelpdieren beter te kunnen beschrijven dan nu mogelijk is.
- Substantiële veranderingen in de Noordzeekustzone (zoals bijvoorbeeld de hoeveelheden Garnalen, of de predatoren op Garnalen) zijn niet in kaart gebracht. De effecten daarvan zijn dus ook niet in de berekeningen verwerkt.
- De mortaliteit van schelpdieren –en van fauna in het algemeen- blijkt bij de populatiedynamische beschrijving zoals die in EcoWasp wordt toegepast een cruciaal onderdeel waar vrij weinig van bekend is. De mortaliteit is nu afgeregeld op de grootteverdeling van Mossel, maar dit kan verbeterd worden.
- Het zogeheten 'small food-web' kan van substantieel belang zijn. De aard hiervan en de intensiteit van de processen moet daarom beter bekend zijn. Dit onderzoek is onderdeel van het gaande BO-onderzoek aan de effecten van MZI's op het ecosysteem van de Waddenzee en Oosterschelde.

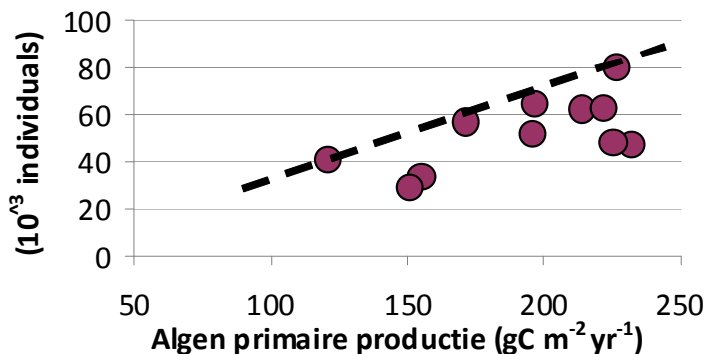
10 Synthese

Bijdragen: R. Riegman & A.G. Brinkman

Deze studie beschrijft het onderzoek naar de draagkracht van de Waddenzee voor zes (deels) schelpdieretende vogels. In de voorgaande hoofdstukken is de verzamelde informatie omtrent een zestal vogelsoorten geanalyseerd in relatie tot hun aantallen, het beschikbare voedsel en mogelijke veranderingen voor deze soorten als reactie op veranderingen en gebruik in de Waddenzee. Alvorens nader op de resultaten in te gaan, is het illustratief de problematiek van de uitgevoerde analyses te illustreren aan de hand van een eenvoudig voorbeeld: de Kanoet.

De Kanoet is een vogelsoort waarvan de aantallen in de Waddenzee sterk fluctueren. Deze vogel voedt zich bij voorkeur met één- tot tweejarige schelpdieren die in de bovenste 4 cm van het sediment leven. De aanwezige prooidieren zijn op hun beurt weer afhankelijk van de beschikbaarheid van voedsel dat hoofdzakelijk bestaat uit algen en dood organisch materiaal. Deze component is sterk gerelateerd aan de primaire productie (algengroei) in het gebied. Na een jaar met veel algengroei is de draagkracht voor Kanoeten in de Waddenzee tijdelijk groter geworden omdat er sprake is van een groter aanbod van profijtelijk voedsel. In een dergelijke simplistische weergave (want er is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met verschillen in broedval tussen jaren) van een lineaire voedselketen valt er een simpele relatie te verwachten tussen draagkracht voor het maximale aantal Kanoeten in de Waddenzee en de primaire productie.

Kanoet (Jaargemiddelden)



Figuur 10.1 Aantal Kanoeten (Jaargemiddelden) in de Waddenzee (Hustings et al. 2008, SOVON ongepubl.), in relatie tot de twee jaar eerdere primaire productie in de periode van 1994 tot 2000. De stippellijn geeft mogelijke maximale draagkracht aan. De primaire productie is berekend door IMARES in het kader van het BO-MZI effecten-onderzoek (Riegman, in prep.).

Uit berekeningen blijkt dat het maximaal aantal vogels met een tijdsvertraging van twee jaar gecorreleerd is aan de primaire productie (algengroei) in de Waddenzee. Zonder de invloed van andere milieufactoren zou men een lineair verband kunnen verwachten zoals dat is weergegeven met de stippellijn in Figuur 10.1. Er zijn echter ook jaren waarin er minder Kanoeten in de Waddenzee zijn dan men op grond van de trofiegraad van het ecosysteem (primaire productie) zou kunnen verwachten. Met een dergelijke constatering opent zich een scala aan mogelijke verklaringen voor de jaren waarin minder vogels zijn aangetroffen dan verwacht. Sommige van deze verklaringen zijn gebaseerd op oorzaken die

in de Waddenzee zelf aanwezig zijn. Zo wordt in sommige jaren het geproduceerde organisch materiaal omgezet in prooidieren die minder optimaal voedsel blijken te zijn voor de Kanoet. In dat geval kan er sprake zijn van een verschuiving in het dieet, bijvoorbeeld van het Nonnetje naar prooi-soorten die weliswaar talrijker, maar ook minder optimaal voedsel blijken te zijn. In een dergelijk jaar nemen de marges voor overwinterende en doortrekkende populaties van de Kanoet af.

Voor alle vogelsoorten geldt dat de beschikbaarheid van prooi-soorten onderhevig is aan natuurlijke oorzaken (bijvoorbeeld door intraspecifieke concurrentie of predatie bij prooidieren, verhoogde sterfte door strenge winters of slechte broedval). Een andere natuurlijke oorzaak van wisselende vogelpopulaties is de incidenteel optredende verhoogde sterfte van individuen in strenge winters op de overwinteringslocatie of de variabele aanvoer van vogels vanuit de broedgebieden elders op de wereld.

Menselijke invloeden kunnen periodiek eveneens bepalend zijn voor submaximale aantallen vogels in het gebied. Naast directe verstoring van individuen (bijvoorbeeld door recreatie, bagger- en zandsuppletiewerkzaamheden, etc.) kan er in sommige jaren ook sprake zijn van verminderde beschikbaarheid van voedsel (in de vorm van schelpdieren) als direct of indirect gevolg van bijvoorbeeld visserij. De grootste invloed vanaf het aangrenzende vaste land betreft de verrijking met nutriënten. Gedurende het laatste decennium is het juist de eutrofiëringreductie die in ieder geval de maximale draagkracht doet verminderen (voor de Kanoet: zie stippellijn in Figuur 10.1). De meest voor de hand liggende verklaring is dat een lagere primaire productie als gevolg van de eutrofiëringsreductie leidt tot een lagere (secundaire) productie van prooidieren van de Kanoet. Ook hiervoor geldt dat niet alle vogels hier net zo eenduidig op zullen reageren als de Kanoet. Sommige vogelsoorten zijn exclusiever afhankelijk van bepaalde habitats (zoals bijvoorbeeld droogvallende mosselbanken) dan van de voedselrijkdom van het gehele ecosysteem.

Naast lokale factoren zijn er met name bij de trekvogels ook factoren buiten de Nederlandse kustwateren die bepalend kunnen zijn voor de populatiedichtheden. Veel trekvogels planten zich elders voort. Hun aantallen in de Waddenzee zal mede bepaald worden door de leefomstandigheden van deze vogels zoals die zich elders voor doen.

In de voorgaande hoofdstukken is getracht om op basis van de beschikbare kennis omtrent voedseldynamiek, aangevuld met nieuwe gegevens, een beter inzicht te verkrijgen in de oorzaken die ten grondslag liggen aan de waargenomen lange-termijnontwikkelingen van de functie van de kustwateren voor een 6-tal vogelpopulaties in Nederlandse kustwateren. Het blijkt dat niet in alle gevallen sluitende verklaringen zijn te vinden vanuit de "voedseleecologie". Wel is bij de bestudeerde vogelsoorten duidelijk geworden dat er sprake is van verschillende knelpunten. Daarnaast zijn meerdere kennisleemtes in beeld gekomen bij de uitgevoerde synthese van inzichten. De geïdentificeerde knelpunten en kennisleemtes rond de verschillende vogelsoorten worden in de onderstaande paragrafen besproken.

Op basis van de getelde aantallen voldoen anno 2010 de populaties van de Topper (Hoofdstuk 3), Kanoet (Hoofdstuk 8) en de Steenloper (Hoofdstuk 7) aan het instandhoudingsdoel. De Zwarte Zee-eend (Hoofdstuk 4), de Eider (Hoofdstuk 5) en de Scholekster (Hoofdstuk 6) voldoen niet aan het gestelde Instandhoudingsdoellingen voor de verschillende gebieden (Tabel 10.1). Gelet op de ontwikkelingen in het laatste decennium valt op dat de situatie voor vier van de vijf schelpdieretende vogelsoorten in de Waddenzee nog steeds verslechtert. In de bespreking van de in dit rapport genoemde vogelsoorten wordt nagegaan in hoeverre de draagkracht voor deze soorten mogelijk te laag is om de huidige populatie-omvang in stand te houden.

Tabel 10.1 Overzicht van de in de afgelopen jaren aanwezige aantallen van kwalificerende vogelsoorten in relatie tot de Instandhoudingsdoelen (ID) voor de beschouwde vogelsoorten in de Waddenzee en Noordzeekustzone (Instandhoudingsdoelstellingen Natura 2000), hun preferente voedselbron en de ontwikkeling van de beschouwde vogelsoorten gedurende het laatste decennium.

Vogelsoort	ID (Aantal)		Huidige aantallen (% van ID van Noordzee en Waddenzee samen)	Primair Voedsel	Populatie laatste 10 jr
	Waddenzee	Noordzee			Waddenzee
Steenloper	2300-3000	160	85	Divers (klein)	Toename
Kanoet	44.400	560	100	Tweekleppigen (klein)	Afname
Topper	3100	geen	> 100	Tweekleppigen (middel)	Stabiel
Zwarte Zee-eend	geen	51.900	20	Tweekleppigen (middel)	Afname
Scholekster	140.000- 160.000	3300	68-77	Tweekleppigen (middel/groot)	Afname
Eider	90.000- 115.000	26.200	65	Tweekleppigen (groot)	Afname

In de oostelijke Waddenzee verslechtert de situatie alleen voor de Scholekster, een soort die foerageert op grotere schelpdieren. Vogelsoorten die kleiner voedsel prefereren (de Kanoet en Steenloper) nemen wel in aantal toe. Deze ontwikkelingen worden zeer waarschijnlijk voor een deel veroorzaakt door het terugdringen van de eutrofiëring, wat vooral merkbaar is in de westelijke Waddenzee. Zowel de hoeveelheid algen (chlorofyl-a) als de primaire productie is daar met tientallen procenten afgenomen (Hoofdstuk 9; Philippart *et al.* 2007). In de oostelijke Waddenzee is deze afname beduidend minder sterk (Brinkman 2008).

De modelsimulaties laten verder zien dat een verdere daling van de nutriëntvrachten, indien deze plaats gaat vinden, een reducerend effect zal hebben op de draagkracht van de westelijke Waddenzee voor schelpdieretende vogelsoorten, wat onder meer zal leiden tot een vermindering van de beschikbaarheid van schelpdieren. Gelet op de doelstellingen, zoals geformuleerd in de KaderRichtlijn Water, wordt een verdere afname van de stikstofbelasting met 30-50% verwacht, en van de fosfaatbelasting met ongeveer 10%. Volgens de modelberekeningen resulteert dit in een reductie van de schelpdierbiomassa met ongeveer 20-30%. Daarmee daalt eveneens de draagkracht van de westelijke Waddenzee voor schelpdieretende vogelsoorten.

Naast de invloed van de-eutrofiëring heeft ook een rol gespeeld dat rond 1990-1991 het areaal aan mosselbanken tot bijna nul gereduceerd is geweest. De oorzaken zijn beschreven in Ens *et al.* (2004): na de uitzonderlijk goede mosselzaadval in 1987 en de daaropvolgende jaren met een rijke mosselzaadoogst voor de mosselsector bleef een goede zaadval uit en vond zaadvisserij plaats op bestaande (en ouder wordende) bestanden. Deze visserij, in combinatie met stormen en het uitblijven van goede broedval, hebben geleid tot het vrijwel geheel verdwijnen van droogvallende mosselbanken in het begin van de jaren '90 (Ens *et al.* 2004). In de jaren erna is de visserij op droogvallende banken, met uitzondering van 1994 en 2001 (Dankers *et al.* 2003), gestopt. Inmiddels is een herstel opgetreden van het areaal litorale mosselbanken tot ongeveer 1419 ha in 2010 van Zweeden *et al.* 2010). Dit herstelproces verloopt langzaam, met een afwisseling van goede en slechte jaren, maar heeft zich bijna geheel in de oostelijke Waddenzee voltrokken. In de westelijke Waddenzee wordt slechts een klein areaal droogvallende banken aangetroffen, met een evenredig klein aandeel in de voedselvoorziening van vogels.

Voor de meeste vogelsoorten is er een aantal additionele oorzaken te noemen dat ook bepalend kan zijn geweest voor de geschetste populatiedynamiek.

De populatie van de Topper (Hoofdstuk 3) heeft een omvang die momenteel net boven de Instandhoudingsdoelstelling ligt. Voor de afzonderlijke jaren is dit niet het geval. Tegenwoordig foerageert ca. 10% van de Nederlandse Topperpopulatie in de Waddenzee. In de jaren '60 tot '90 was dit percentage veel hoger. Vanaf 1991, toen de hoeveelheid sublitorale Mosselen lage waarden bereikte is de Topper vrijwel geheel naar het IJsselmeer verhuisd. Daar is de Driehoeksmossel de favoriete voedselbron. Tussen deze twee gebieden vindt uitwisseling plaats. Toch vervult de Waddenzee op dit moment nog steeds een belangrijke rol als vluchtplaats ten tijde van strenge winters, vooral wanneer het IJsselmeer is bedekt met ijs. Onder dergelijke omstandigheden kan de volledige IJsselmeerpopulatie zich in de Waddenzee bevinden. Vanwege het nachtelijk foerageren is het maar zeer ten dele gelukt om waarnemingen te verzamelen over het foeragegedrag van deze eenden. Voorlopige resultaten van een statistische analyse van de overeenkomsten in de ruimtelijke verspreiding van Toppers en de potentiële voedselbronnen laten de sterkste correlatie zien bij jonge Strandgapers en mosselzaad op sublitorale mosselbanken. Modelberekeningen laten zien dat in de Waddenzee in de meeste jaren voldoende mosselzaad aanwezig is maar in enkele jaren was vrijwel geen mosselzaad in de westelijke Waddenzee aanwezig. Naar het oordeel van IMARES biedt het huidige beleid ten aanzien van mosselzaadvisserij echter de garantie dat de Instandhoudingsdoelstelling voor de Topper ook in de nabije toekomst kan worden gehaald, ervan uitgaande dat het proces van mosseltransitie in de komende jaren wordt voortgezet. Er zijn geen duidelijke aanwijzingen dat de de-eutrofiëring hierbij een belangrijke rol zal spelen.

Van de zes onderzochte vogelsoorten is de Zwarte Zee-eend het sterkst in aantal achteruit gegaan (Hoofdstuk 4). Deze vogel eet voornamelijk tweekleppige schelpdieren. Soms wordt de maaltijd aangevuld met gastropoden, wormen, krabben, Garnalen, isopoden, zee- en slangsterren, alsmede vis en viseieren. In de jaren '90 was *Spisula* het hoofdvoedsel langs de Nederlandse kustzone. Als gevolg van zandwinning (suppletie-doeleinden) en uitgebleven broedval verdween *Spisula* en werd overgeschakeld op de Amerikaanse Zwaardschede (Tulp *et al.* 2010). Dit schelpdier wordt gegeten tot een schelpgrootte van maximaal 65 mm. De verspreiding van de Zwarte Zee-eend in de Nederlandse kustwateren komt de laatste jaren sterk overeen met de concentratieverdeling van deze zwaardschede. Hoewel de Amerikaanse Zwaardschede vanaf 2002 sterk in aantal is toegenomen heeft dit niet geleid tot een herstel van de Zwarte Zee-eendpopulatie. Dit is goed te rijmen met het feit dat de zwaardschede een inferieure voedselbron vormt, in vergelijking tot *Spisula*, Mossel en Kokkel. De vleesinhoud gemeten naar de lengte is bij de Amerikaanse Zwaardschede gering (zie Figuur 9.20) terwijl grotere exemplaren van de zwaardschedes te diep in de bodem zitten om door de eenden geogst te kunnen worden. Bovendien zijn ze moeilijk te vangen omdat ze zich bij beroering snel in de bodem terugtrekken. Ten derde zijn ze moeilijk te verorberen. In de eerste helft van de twintigste eeuw werden tot 40.000 Zwarte Zee-eenden aangetroffen in de Waddenzee, meestal langs de randen van mosselpercelen. In de afgelopen 5 jaren zijn steeds slechts enkele honderden exemplaren van deze duikeend waargenomen in de Waddenzee. De dieren zijn veel schuwer dan de Eider. Tussen 1960 en 1990 nam het aantal Zwarte Zee-eenden sterk af terwijl het aantal Eiders in de Waddenzee sterk toenam. De reden voor deze verschuiving is niet goed bekend, een toegenomen verstoring van de dieren door menselijke activiteiten kan een rol hebben gespeeld, maar concurrentie tussen Eiders en Zwarte Zee-eend kan ook een rol hebben gespeeld.

Een belangrijke kennisleemte betreft de ontwikkeling van de verstoringsfrequentie op de Waddenzee als gevolg van toegenomen aantal vaarbewegingen gedurende de laatste vijftig jaar. Gelet op het schuwe karakter van de Zwarte Zee-eend valt niet uit te sluiten dat de vogels vaker verstoord werden bij het foerageren in de Waddenzee. De huidige betekenis van wilde sublitorale mosselbanken en mosselpercelen in de Waddenzee voor de Zwarte Zee-eend is klein omdat meer dan 95% van de

populatie zich op de Noordzee ophoudt. De achteruitgang van de populatie wordt hoogst waarschijnlijk niet veroorzaakt door een reductie van de eutrofiëring van de Waddenzee.

De Eidereend prefereert tweekleppige schelpdieren. Feitelijk is het de mosselspecialist onder de zoutwatervogels. In tijden van schaarste of bij wanneer veel alternatieve prooien aanwezig zijn wordt overgeschakeld op zeesterren, slangsterren, krabben en/of slakken. Daarnaast vertoont de vogel uitwijkgedrag naar aangrenzende gebieden in tijden van lokale voedselschaarste. Ten tijde van de intensieve schelpdiervisserij, in combinatie met stormen en het uitblijven van zaadval, vond een enkele jaren durende verhuizing van de Eider plaats naar de kustwateren van de Noordzee, waar op dat moment grote bestanden van *Spisula* voorkwamen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de aanwezigheid van de Eider sterk gerelateerd was aan schelpdiervoorkomens (in de Waddenzee op mosselpercelen, sublitorale en droogvallende mosselbanken). Wilde sublitorale mosselbanken dragen op dit moment slechts zeer beperkt bij aan de voedselconsumptie door de Eiderpopulatie, simpelweg omdat er zo weinig van zijn in de westelijke Waddenzee. Daarom is de verspreiding van de Eider in de laatste jaren sterk gerelateerd aan de aanwezigheid van mosselpercelen en aan de litorale mosselbanken in de oostelijke Waddenzee. Recente tellingen bevestigen dit beeld (Hoofdstuk 5). De Amerikaanse Zwaardschede wordt ook gegeten. De maximale schelpgrootte die geconsumeerd kan worden is 12 cm. In welke mate de opmars van de Japanse Oester en de Amerikaanse Zwaardschede een effect hebben op de Eider is vooralsnog niet in te schatten.

Sinds de begin jaren negentig is er sprake een afname van het aantal Eiders in de Waddenzee. Deze afname wordt niet gecompenseerd door een toename elders in Nederland of in de omringende landen. Voor een deel wordt deze afname veroorzaakt door een sterke afname van de broedvogelpopulatie in de broedgebieden rond de Finse Golf. Vooral in de winter wisselen de aantallen in de Waddenzee sterk (32.000 tot 90.000 exemplaren). De belangrijkste lokale oorzaak voor de achteruitgang van de populatie is vrijwel zeker een gebrek aan goed voedsel. Uit de voedselberekeningen (Hoofdstuk 5) volgt dat de hoeveelheid schelpdieren in de westelijke Waddenzee niet voldoende is om de Eiderpopulatie te voeden, een conclusie die gestaafd wordt door modelberekeningen (Hoofdstuk 9). De Eider is minder schuw dan de Zwarte Zee-eend en heeft daardoor minder last van directe verstoringen zoals vaaractiviteiten. Een kennisleemte betreft de mogelijke effecten van de garnalenvisserij. Een hypothese is dat deze activiteit een belemmering zou kunnen vormen voor het ontstaan van nieuwe sublitorale mosselbanken omdat de bodem op de betreffende locaties periodiek aangeveegd wordt. Het verdient aanbeveling nader onderzoek te verrichten naar het al of niet bestaan van dergelijke interactieve effecten.

Het menu van de Scholekster is gevarieerd: naast tweekleppige schelpdieren worden in de zomer o.a. Zeeduizendpoten gegeten. In het binnenland worden regenwormen en emelten gegeten. Een deel van de vogels vertoont een seizoensafhankelijke variatie in hun snavelvorm. Binnen een seizoen is er echter sprake van een hoge mate van consistentie in de snavelvorm. De adaptatiepatronen zijn voor mannetjes en vrouwtjes verschillend en kunnen worden gerelateerd aan het dieet van de dieren. Hieruit wordt afgeleid dat er binnen een populatie dieren zijn die verschillend gespecialiseerd zijn op een bepaald soort voedsel. Ook komen er intermediair aangepaste snavelvormen voor. Na strenge winters hebben de vogels met een stompe snavel een betere overlevings- en reproductiekans dan de alleseters (intermediare snavel). Zachte winters zijn gunstig voor alleseters. Het verband tussen voedselspecialisatie en populatiedynamiek is niet duidelijk, maar zeker is dat de meeste individuen vroeg of laat van specialisatie veranderen. Dit houdt in dat verschillende soorten voedsel door de Scholekster optimaal kunnen worden benut. Meer bepalend voor de populatieomvang is daarom de totale hoeveelheid voedsel die aanwezig en voor de vogels oogstbaar is, d.w.z. van voldoende kwaliteit. Deze totale hoeveelheid voedsel is gedaald door het instorten van de Nonnetjespopulatie en het verdwijnen van de droogvallende mosselbanken in delen van de Waddenzee. Omdat de Nonnetjespopulatie in de jaren '70 en '80 relatief stabiel was, vormde deze een zekere basisvoedselbron voor de Scholekster, terwijl de Kokkelpopulatie grote (natuurlijke) variaties vertoonde en dus een onzekere voedselbron

vormde. Na sluiting van de mechanische kokkelvisserij in januari 2005 trad in de oostelijke Waddenzee een goed herstel van de Kokkelpopulatie op. Het herstel bleef achter in de westelijke Waddenzee. De droogvallende mosselbanken hebben zich gedeeltelijk hersteld, vooral in de oostelijke Waddenzee, maar raken in toenemende mate overgroeid door de Japanse oester.

Modelberekeningen (WEBTICS, Hoofdstuk 6) indiceren dat de draagkracht in de westelijke Waddenzee lager is dan de huidige aantallen individuen die worden aangetroffen. Dit verklaart waarom de populatieomvang nog steeds terugloopt. In de oostelijke Waddenzee is het aantal aangetroffen individuen inmiddels lager dan kan worden verwacht op basis van de draagkrachtberekeningen. Er kan niet worden uitgesloten dat de achteruitgang van de Scholekster ook voor een deel veroorzaakt wordt door verslechtingen in het broedgebied, zoals de intensivering van de landbouw gedurende meerdere decennia. Bij binnenlandse populaties worden te weinig jongen groot gebracht, wat samen kan hangen met de conditie waarin de vogels uit het overwinteringsgebied Waddenzee terugkeren, maar ook met de omstandigheden in het broedgebied.

De handkokkelvisserij concurreert met de Scholekster om het zelfde voedsel (Brinkman *et al.* 2008), maar het precieze effect op de draagkracht voor Scholeksters kan niet worden berekend door het ontbreken van informatie over de droogvalduur van de beviste kokkelbanken. Alternatieve voedselbronnen zijn voor de Scholekster onvoldoende aanwezig om dit verlies te compenseren. Zo wordt de Amerikaanse Zwaardschede nagenoeg niet gegeten door de Scholekster en is dit schelpdier dus geen goed alternatief in situaties van voedselschaarste. Dit geldt ook voor de Japanse Oester. In hoeverre de kolonisatie van habitats door deze uitheemse soorten een negatief effect hebben op de populatieomvang van de Scholekster is op dit moment niet kwantitatief in te schatten. Wel is duidelijk geworden dat een mosselbank die volledig overwoekerd is door de Japanse Oester geen geschikte habitat meer is voor de Scholekster. Er zijn concrete incidentele voorbeelden van een dergelijk areaalverlies bekend (Hoofdstuk 7), maar op welke schaal dit plaats vindt en wat de invloed hiervan op de draagkracht van het systeem voor de Scholekster is in de Waddenzee is onbekend.

De Steenloper blijkt te beschikken over een zeer gevarieerd voedselspectrum dat voor een groot deel niet uit schelpdieren bestaat. Een belangrijke habitat voor de Steenloper zijn litorale mosselbanken waar de vogel vooral foerageert op geassocieerde fauna. De gemiddelde vogeldichtheid (aantal per vierkante kilometer) is op en rond de mosselbank 10 keer hoger dan daarbuiten (Hoofdstuk 7). Mosselbanken zijn dus vooral van belang als leefgebied voor Steenlopers vanwege de aanwezigheid van andere prooien dan Mosselen. Uit tellingen van Steenlopers in de Waddenzee blijkt dat de soort in de westelijke Waddenzee op een lager niveau aanwezig is dan rond 1990. In de oostelijke Waddenzee zien we daarentegen een toename van de soort in vergelijking tot de jaren '90. In hoeverre deze ontwikkeling te maken heeft met de aanwezigheid van droogvallende mosselbanken is echter niet helemaal duidelijk. Een complicerende factor is dat in de Nederlandse Waddenzee 2 verschillende populaties aanwezig kunnen zijn die het gebied op een andere manier gebruiken. De huidige draagkracht van de Waddenzee is voldoende om het Instandhoudingsdoel te bereiken.

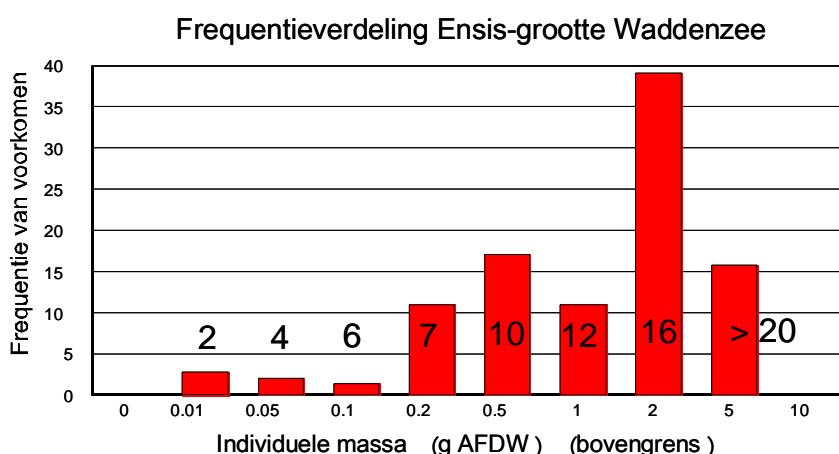
De Kanoet gaat in aantal achteruit in de westelijke Waddenzee. De soort foerageert voornamelijk op Nonnetjes, Kokkels en jonge Mosselen. Bij gebrek aan dit voorkeursvoedsel kan de vogel in beperkte mate overschakelen op Wadslakjes, Slijkgarnalen en kleine krabben. Een belangrijke daling in de Kanoetenpopulatie vond plaats na een ineenstorting van de Nonnetjespopulatie, aanvankelijk vooral in de westelijke Waddenzee. Als gevolg hiervan is de Kanoet overgeschakeld op jonge (kleine) Mosselen op droogvallende mosselbanken en op jonge Kokkels. Beide categorieën voedsel zijn minder voorradig in de westelijke Waddenzee dan in het oostelijk gedeelte (Hoofdstuk 8). In het oostelijke deel van de Waddenzee is momenteel nog een Nonnetjespopulatie beschikbaar maar ook hier zijn de aantallen in de laatste jaren sterk afgenomen in vergelijking tot de jaren '90 en het begin van deze eeuw (Figuren 6.15 en 8.9). Voor de Kanoet valt te verwachten dat de maximale aantallen als gevolg hiervan zullen dalen,

een afname die nog zal worden versterkt als gevolg van een verdere nutriëntenreductie. De Kanoetenpopulatie in de westelijke Waddenzee is extra kwetsbaar omdat de voornaamste huidige voedselbronnen, jonge Mosselen, Nonnetjes en kleine Kokkels, in toenemende mate afwezig blijken te zijn. Er zijn geen concrete aanwijzingen dat de Japanse Oester of de Amerikaanse Zwaardschede in directe zin een negatieve invloed hebben op de Kanoet. Indirect kunnen deze uitheemse soorten via voedselconcurrentie met de schelpdieren die wel als voedsel dienen voor de Kanoet een negatieve invloed hebben op de populatieomvang. Door gebrek aan gegevens is dit effect nog niet te kwantificeren.

Een aparte ontwikkeling in de Waddenzee vormt de introductie en groei van de Japanse Oester en Amerikaanse Zwaardschede. Beide soorten concurreren met Mosselen om hetzelfde voedsel, bij hoge biomassa's van deze uitheemse soorten kan dit leiden tot een achteruitgang van inheemse soorten. Modelberekeningen (Hoofdstuk 9) indiceren dat zowel de zwaardschede als de Japanse Oester een reducerend effect hebben op de mosselbiomassa in de Waddenzee.

De Japanse Oester wordt in het algemeen gezien als ongeschikt voedsel voor de meeste schelpdieretende vogelsoorten. Van de Japanse Oester is bekend dat deze soort een mosselbank volledig kan gaan domineren. De Japanse Oester fungeert daarbij als een voedselconcurrent voor de Mossel terwijl hij tegelijk ook predator is omdat hij in staat is om een zeer groot aantal mossellarven uit het bovenstaande water weg te vangen (Troost *et al.*, 2008). Daarmee kan de herkolonisatie van een voormalige mosselbank door nieuwe Mosselen worden bemoeilijkt. Recent onderzoek laat zien dat Mosselen zich in toenemende mate, ondanks de predatie van oesters van larven, toch in staat zijn om zich te vestigen op oesterbanken. Dit zou kunnen betekenen dat de uitbreiding van Japanse Oesters een positief effect zou kunnen hebben op de herkolonisatie van Mosselen in de Waddenzee.

Wat betreft Amerikaanse Zwaardschede is er sprake van een explosieve groei in het Nederlandse kustwater. Anno 2010 is de populatie meer dan vervijfvoudigd (in aantal individuen) ten opzichte van de eind jaren '90. Uit de bemonstering in het kader van het NWO/ZKO-programma 'Veranderende draagkracht van de Waddenzee en Noordzeekustzone' is inmiddels een eerste indruk verkregen van de grootteverdeling van deze zwaardschede in de Waddenzee (Figuur 10.2).



Figuur 10.2 Grootteverdeling (in biomassa) van Amerikaanse Zwaardschedes Ensis directus in de Waddenzee. In totaal werden 501 monsters genomen, waarvan er 123 zwaardschedes bevatten (Bron: J.M. Jansen, IMARES). In de monsters overheersten de grote zwaardschedes. De cijfers in de grafieken geven de lengte (in cm) aan (berekend uit het AFDW conform Robinson et al. 2010)

Uit deze figuur blijkt dat de grotere individuen domineren. Ongeveer 90% van de bemonsterde locaties werd gedomineerd door individuen groter dan 5 cm, d.w.z. schelpen die te groot waren om als voedsel te kunnen dienen voor de Zwarte Zee-eend. De Eider kan grotere individuen consumeren (tot maximaal 12

cm). Uit de inventarisaties bleek dat meer dan 50% van de bemonsterde locaties werd gedomineerd door schelpen die ongeschikt (want te groot) zijn voor de Eider. Hieruit wordt geconcludeerd dat aanzienlijk deel van de zwaardschede-populatie in de Waddenzee niet geschikt is voor consumptie door vogels. Los van het feit dat sommige individuen te diep in het sediment zitten, zijn de meeste exemplaren te groot. De exemplaren die wel geschikt zijn voor consumptie door vogels, hebben een laag vleesgehalte in vergelijking tot de Mossel (Figuur 9.20). Eiders moeten daarom veel meer prooien bemachtigen om dezelfde voedselopname te realiseren.

Uit de bovenstaande berekening blijkt dat de waargenomen explosieve toename van de Amerikaanse Zwaardschede zal leiden tot een lagere beschikbaarheid van voedsel voor de overige schelpdieren in het ecosysteem. Omdat de Amerikaanse Zwaardschede minder geschikt voedsel is dan andere schelpdieren, zal de draagkracht voor vogels bij een toename van zwaardschedes afnemen. Binnen dit onderzoeksproject is getracht om de groei van de Japanse Oester en Amerika Zwaardschede in de Waddenzee wiskundig te modelleren en daarmee hun effecten te kunnen kwantificeren. Dit is niet gelukt omdat er te weinig informatie is over deels de voedsel-ecologie en de groei-eigenschappen van beide soorten, en vooral over de grootteverdeling binnen een min of meer stabiele populatie welke nodig is om de mortaliteit goed te kunnen beschrijven. Er is hier sprake van een grote kennisleemte die het onmogelijk maakt om op betrouwbare wijze mogelijke negatieve effecten te kwantificeren. Daarnaast is er, voor de validatie van toekomstige modellen, behoefte aan kennis inzake de verspreiding van beide exoten in de Waddenzee, en hun relatie met omgevingsfactoren zoals diepte, bodemgesteldheid en voedselrijkheid. Voor een deel wordt aan laatstgenoemde kennisbehoefte gewerkt in het kader van het NWO/ZKO-programma 'Veranderende draagkracht van de Waddenzee en Noordzeekustzone'.

Resumerend kan gesteld worden dat het vermogen van de meeste bestudeerde vogelsoorten om over te schakelen naar een andere voedselbron vaak onvoldoende soelaas biedt wat betreft het bereiken van het streefbeeld. Als er wordt overgeschakeld naar een andere prooi, dan is dat omdat het meest optimale voedsel er niet meer is. De belangrijkste lokale menselijke invloeden die de draagkracht met name in de westelijke Waddenzee hebben verminderd zijn het terugdringen van de eutrofiëring, de sterke bevissing van droogvallende mosselbanken in het begin van de jaren '90 en het achterwege blijven van herstel van droogvallende na de toen genomen maatregelen. De mechanische kokkelvisserij werd in grote delen van de oostelijke Waddenzee beëindigd 1 januari 2005. Vanaf dat moment vond ook geen bevissing meer plaats van litorale mosselbanken (<http://www.waddenzee.nl/Kokkelvisserij.1939.0.html>). Samen met een langzaam maar gestaag herstel van de litorale mosselbanken in het oostelijk wad trad er hier een herstel op van de Eider, Kanoet en Steenloper, maar niet van de Scholekster.

Extra aandacht verdient het feit dat de ontsnappingsroute voor deze vogels, het overschakelen op andere schelpdieren, naar verwachting lastiger zal worden als gevolg van het feit dat de Waddenzee anno 2010 voedselarmer (minder eutroof) is dan in 1990. Door een algehele daling van de draagkracht is de beschikbaarheid van alternatief voedsel naar verwachting ook minder aan het worden. Een beleidskader voor de eutrofiëring van de Waddenzee is de Europese KaderRichtlijn Water. Voor een Goede Ecologische Toestand wordt een norm voor de algenbiomassa (chlorofyl-a) gehanteerd van maximaal 21 µg per liter (april-september; STOWA 2007). In het afgelopen decennium was de 90-percentielwaarde van chlorofyl-a 34 µg per liter in de oostelijke en 21,5 µg per liter in de westelijke Waddenzee (bron: Rijkswaterstaat, Waterbase). Gelet op de huidige verschillen wat betreft de ontwikkeling van de vogelstand in beide gebieden kan men zich afvragen in hoeverre er zwaar ingezet zal moeten worden op een verdere nutriëntenreductie in de oostelijke Waddenzee. Een elegantere oplossing voor de te hoge algenconcentraties zou wellicht gevonden kunnen worden in schelpdierbevorderende maatregelen (in de vorm van mosselzaadinvanginstallaties – MZI's- en het bevorderen van de vorming van droogvallende mosselbanken – zie Hoofdstuk 9.5).

Onderzoek naar de effecten van bevissing van sublitorale mosselbestanden wordt uitgevoerd in het kader van het PRODUS-project, dat gefinancierd wordt door de mosselsector en het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. In het kader van dat onderzoek wordt ook bestudeerd hoe een aantal niet-beviste sublitorale mosselvoorkomens zich ontwikkelen gedurende een aantal jaren. Uit buitenlands onderzoek is gebleken dat sublitorale en litorale mosselbanken sterk kunnen verschillen wat betreft faunasamenstelling (Eschweiler *et al.* 2009, Saier 2000). Deze potentiële diversiteit is een extra pleidooi voor een ongestoorde handhaving van beide habitats. Uit de huidige vogelstudie is gebleken dat vooral de litorale mosselbanken van betekenis zijn voor de Steenloper, Kanoet, Scholekster en Eider en de sublitorale voorkomens voor de Eider en waarschijnlijk ook de Topper. In het PRODUS-project wordt op dit moment onderzocht wat de invloed is van visserijactiviteiten op de ontwikkeling van de mosseldichtheid, de diversiteit van de begeleidende fauna en de sedimentsamenstelling.

Een belangrijke ontwikkeling in de Waddenzee is de omschakeling van sublitorale mosselzaadvissersrij naar mosselzaadwinning middels MZI's. Het traject houdt in dat in 2020 de bodemberoerende visserij in zijn geheel moet zijn vervangen door alternatieve bronnen om mosselzaad te winnen. Hierbij spelen MZI's een hoofdrol, waarbij mossellarven zich in het voorjaar hechten aan de MZI-netten, welke later worden geoogst en uitgezaaid op percelen elders in de Waddenzee.

Bij de uitvoering van het onderhavige onderzoek is het niet mogelijk gebleken om alle van te voren geformuleerde kennisleemtes op te vullen. Het betreft de volgende aandachtspunten:

- Een beter inzicht op de toekomstige ontwikkeling van de Driehoeksmossel in het IJsselmeer is relevant voor het beleid ten aanzien van de Topper
- De relatie tussen het ontbreken van hervestiging van nieuwe mosselbanken en de mogelijke rol van de garnalenstand en/of -visserij is niet duidelijk geworden
- De afname van het Nonnetje blijft een onopgelost
- Aan de mogelijke rol van de mosselzaadtransitie op de draagkracht voor schelpdieren wordt momenteel uitgebreid onderzoek gedaan in het kader van het BO-onderzoek Effecten van MZI's. Het is namelijk onduidelijk in hoeverre het mosselzaad op MZI's om voedsel zal gaan concurreren met natuurlijke schelpdierpopulaties
- In het kader van het PRODUS-project wordt bestudeerd of de natuurlijke mosselbanken ook daadwerkelijk herstellen
- Het is niet precies duidelijk waar (op welke hoogte in de getijdzone) handkokkelvisserij plaatsvond/vindt
- Zonder kennis over de droogvalduur van beviste kokkelbanken is het niet mogelijk om het effect van handkokkelvisserij in de huidige vorm op de draagkracht voor Scholeksters te berekenen
- De belangrijkste gesignaleerde kennisleemte m.b.t. schelpdieren betreft de voedsel-ecologie, groei-eigenschappen en mortaliteit van de Amerikaanse Zwaardschede en de Japanse Oester. Zonder deze soortspecifieke kennis blijft het onmogelijk om de mogelijke effecten van deze uitheemse soorten op de draagkracht voor vogels middels modellering kwantitatief in te schatten
- Zonder populatiemodel is het niet mogelijk om na te gaan of de afname van de aantallen Scholeksters die in de Waddenzee overwinteren alleen wordt veroorzaakt door het afgenomen voedselaanbod in de Waddenzee of ook door veranderingen in het broedgebied.

Uit de huidige studie is gebleken dat voor iedere vogelsoort wel specifieke redenen zijn aan te wijzen die een achteruitgang in de populatieomvang hebben veroorzaakt. Wat betreft de draagkracht van de Waddenzee voor schelpdieretende vogels geldt in algemene zin dat de al uitgevoerde en de nog volgende reductie van de eutrofiëring een negatief effect hebben op de beschikbaarheid van schelpdieren en nu al de grens bepalen van het aantal schelpdiereters dat in het gebied aanwezig kan zijn (Hoofdstuk 9). Een tekort aan litorale mosselbanken in de westelijke Waddenzee, de ontwikkeling van enkele schelpdiersoorten die veel minder geschikt zijn als voedselbron voor schelpdiereters (Amerikaanse

Zwaardschede en Japanse Oester) en het geringe bestand aan eetbare sublitorale schelpdieren dragen aan deze tekorten bij. In het geval van de Zwarte Zee-eend in de Noordzeekustzone speelt de de-eutrofieringsproblematiek minder maar wel de omslag van de geprefereerde Halfgeknotte Strandschelp naar de Amerikaanse Zwaardschedes die minder vlees bevat (Hoofdstuk 4). Het is daarom niet waarschijnlijk dat de Instandhoudingsdoelen van Natura 2000 voor deze 3 soorten in de nabije toekomst gerealiseerd kunnen worden.

11 Referenties

- Arts, F.A. (2009) Midwintertelling van zee-eenden in de Waddenzee en Nederlandse kustwateren, januari 2009. *Rapport RWS Waterdienst BM09.07/ Delta Project Management, Culemborg*, 25 p.
- Arts, F.A. (2010) Midwintertelling van zee-eenden in de Waddenzee en de Nederlandse kustwateren, januari 2010. *Rapport RWS Waterdienst BM10.16/ Delta Project Management, Culemborg*, 25 p.
- Arts, F.A. & Berrevoets, C.M. (2006) Midwintertelling van zee-eenden in de Waddenzee en Nederlandse kustwateren, januari 2006. *Rapport RIKZ 2006.009, Middelburg / Delta Project Management, Culemborg*, 22 p.
- Atkinson, P.W., Crooks, S., Drewitt, A., Grant, A., Rehfisch, M.M., Sharpe, J. & Tyas, C.J. (2004) Managed realignment in the UK - the first 5 years of colonization by birds. *Ibis*, 146 (Suppl. 1), 101-110.
- Baptist, M.J. & Leopold, M.F. (2009) The effects of shoreface nourishments on *Spisula* and scoters in The Netherlands. *Marine Environmental Research*, 68, 1-11.
- Battley, P.F. & Piersma, T. (2005) Adaptive interplay between feeding ecology and features of the digestive tract in birds. In: J.M. Starck & T. Wang (eds.), *Physiological and Ecological Adaptations to Feeding in Vertebrates*. Science Publishers, New Hampshire.
- Becuwe, M. (1973) Een ecologische interpretatie van het seizoenale talrijkepatroon van de Steenloper, *Arenaria interpres*, in België. *De Giervalk* 63, 281-290.
- Beintema, A., Buesink, H. & van den Bergh, L. (1993) Overwinterende watervogels in Nederland, 1967-89. *Limosa*, 66, 17-24.
- Beukema, J.J. 1989. Long-term changes in macrozoobenthic abundance on the tidal flats of the western part of the Dutch Wadden Sea. *Helgoländer Meeresunters.* 43, 405-415.
- Beukema, J.J. & Dekker, R. 1995. Dynamics and growth of a recent invader into European coastal waters: the American Razor Clam, *Ensis directus*. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 75, 351-362
- Beukema, J.J. & Dekker, R. (2005) Decline of recruitment success in cockles and other bivalves in the Wadden Sea: possible role of climate change, predation on postlarvae and fisheries. *Marine Ecology - Progress Series*, 287, 149-167.
- Beukema, J.J., Dekker, R. & Jansen, J.M. (2009) Some like it cold: populations of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) suffer in various ways from a warming climate. *Marine Ecology - Progress Series*, 384, 135-145.
- Beukema, J.J., Dekker, R. & Philippart, C.J.M. (2010) Long-term variability in bivalve recruitment, mortality, and growth and their contribution to fluctuations in food stocks of shellfish-eating birds *Marine Ecology - Progress Series*, 414, 117-130.
- Beukema, J.J., Essink, K., Michaelis, H. & Zwarts, L. (1993) Year-to-Year variability in the biomass of macrobenthic animals on tidal flats of the Wadden Sea - How predictable is this food source for birds. *Netherlands Journal of Sea Research*, 31, 319-330.
- Bijlsma, R.G., Hustings, F. & Camphuysen, C.J. (2001) Avifauna van Nederland, deel 2. Algemene en schaarse vogels van Nederland. *GMB Uitgeverij / KNNV uitgeverij, Haarlem / Utrecht*, 496 p.
- Blew, J., Günther, K., Laursen, K., van Roomen, M., Südbek, P., Eskildsen, K. & Potel, P. (2007) Trends of waterbird populations in the International Wadden Sea 1987-2004 - an update. In: *Seriously declining trends in migratory waterbirds. Causes - concerns - consequences. Proceedings of the International Workshop on 31 August 2006 in Wilhelmshaven, Germany. Wadden Sea Ecosystem No. 23, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven*, 9-31.
- Blew, J. & P. Südbek (eds.). (2005) Migratory waterbirds in the Wadden Sea. Overview of numbers and trends of migratory waterbirds in the Wadden Sea 1980-2000. *Wadden Sea Ecosystem No. 20. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven; Trilateral Monitoring and Assessment Group; Joint Monitoring Group of Migratory Birds in the Wadden Sea, Wilhelmshaven, Germany*, 192 p.
- Blomert, A.M., Ens, B.J., Goss-Custard, J.D., Hulscher, J.B. & Zwarts, L. (eds.). (1996) Oystercatchers and their estuarine food supplies. *Ardea*, 84A, Special Issue, 1-538.

- Boele, A., van Bruggen, J., van Dijk, A.J., Hustings, F., Vergeer, J.-W. & Plate, C.L. (2011) Broedvogels in Nederland in 2009. *SOVON monitoringrapport 2011/01, Beek-Ubbergen*, 152 p.
- Brinkman A.G., 1993a. Biological processes in the EcoWasp ecosystem model. *IBN Research Report, Wageningen 93/6*, 111 pp.
- Brinkman, A.G., 1993b. Estimation of length and weight growth parameters in populations with a discrete reproduction characteristic. *IBN Research Report 93/5, Wageningen*, 27 pp +app.
- Brinkman, A.G. & Smaal, A.C. (2003) Draagkracht van de Waddenzee: synthese van onderzoeken naar de invloed van natuurlijke processen en menselijk handelen op de schelpdierbestanden en groeimogelijkheden van schelpdieren in de Nederlandse Waddenzee. *Alterra rapport 888, Wageningen*, 243 p.
- Brinkman, A.G., Ens, B.J. & Kats, R. (2003) Modelling the energy budget and prey choice of eider ducks. *Alterra rapport 839, Wageningen*, 133 p.
- Brinkman, A.G. & Smaal, A.C. (2004) Onttrekking en natuurlijke productie van schelpdieren in de Nederlandse Waddenzee in de periode 1976-1999. *Alterra rapport 888, Wageningen*, 234 p.
- Brinkman, A.G., de Leeuw, J., Leopold, M. F., Smit, C.J. & Tulp, I. (2007) Voedselecolgie van een zestal schelpdieretende vogels. *Rapport Wageningen IMARES C078/07, IJmuiden*, 120 p.
- Brinkman, A.G. & Jansen J.M. (2007). Draagkracht en exoten in de Waddenzee. *Wageningen IMARES Rapport C073/07*, 34 pp
- Brinkman, A.G. (2008). Nutriënt- en chlorofylgehalten in het westelijke en oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee; waarden en trends tussen 1980 en 2005 en mogelijke oorzaken daarvan. *Wageningen IMARES Rapport C112/08, Texel*.
- Brinkman, A.G., Ens, B.J., Jansen, J. & Leopold, M.F. (2008) Handkokkelactiviteiten in de Waddenzee. Antwoord op een aantal vragen van de Provincie Fryslân. *IMARES Rapport C047/08, Texel*, 62 p.
- Brinkman, A.G. (in prep). Primary and secondary production in shallow tidal areas and coastal zones is limited by nutrients rather than by light.
- Bult, T.P., van Stralen, M., Brummelhuis, E. & Baars, D. (2004a) Eindrapport EVA II deelproject F4b (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase): Mosselvisserij en -kweek in het sublitoraal van de Waddenzee. *RIVO Rapport C049/04, Yerseke*.
- Bult, T.P., Ens, B.J., Baars, J.M.D.D., Kats, R.K.H. & Leopold, M.F. (2004b). Eindrapport EVA II deelproject B3 (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase): Evaluatie van de meting van het beschikbare voedselaanbod voor vogels die grote schelpdieren eten. *RIVO rapport C018/04, IJmuiden, 1-108*.
- Cadée, G.C. (2006) Eidereenden op *Ensis directus* dieet. *Spirula*, 351, 86-87.
- Cadée, G.C. (2008) Scholeksters en Japanse Oesters. *Natura*, 105, 6-7.
- Cadée G.C. & Hegeman J. (2002). Phytoplankton in the Marsdiep at the end of the 20th century; 30 years monitoring biomass, primary production, and Phaeocystis blooms. *Journal of Sea Research* 48, 97-110.
- Caldow, R.W.G. & Furness, R.W. (2001) Does Holling's disc equation explain the functional response of a kleptoparasite? *Journal of Animal Ecology*, 70, 650-662.
- Camphuysen, C.J., Berrevoets, C.M., Cremers, H.J.W.M., Dekinga, A., Dekker, R., Ens, B.J., van der Have, T.M., Kats, R.K.H., Kuiken, T., Leopold, M.F., van der Meer, J. & Piersma, T. (2002) Mass mortality of common eiders (*Somateria mollissima*) in the Dutch Wadden Sea, winter 1999/2000: starvation in a commercially exploited wetland of international importance. *Biological Conservation*, 106, 303-317.
- Camphuysen, C.J., Ens, B.J., Heg, D., Hulscher, J.B., van der Meer, J. & Smit, C.J. (1996) Oystercatcher *Haematopus ostralegus* winter mortality in the Netherlands: the effect of severe weather and food supply. *Ardea*, 84A, Special Issue, 469-492.
- Cayford, J.T. & Goss-Custard, J.D. (1990) Seasonal changes in the size selection of mussels, *Mytilus edulis*, by Oystercatchers, *Haematopus ostralegus*: An optimality approach. *Animal Behaviour*, 40, 609-624.

- Cherry, S.G., Derocher, A.E., Hobson, K.A., Stirling, I. & Thiemann, G.W. (2010) Quantifying dietary pathways of proteins and lipids to tissues of a marine predator. *Journal of Applied Ecology*, 48, 373–381.
- Colijn, F. & Cadée G.C. (2003) Is phytoplankton growth in the Wadden Sea light or nitrogen limited? *Journal of Sea Research*, 49, 83–93.
- Compton, T.J., Troost, T.A., Drent, J., Kraan, C., Bocher, P., Leyrer, J., Dekinga, A. & Piersma, T. (2009) Repeatable sediment associations of burrowing bivalves across six European tidal flat systems. *Marine Ecology Progress Series*, 382, 87–98.
- Craeymeersch, J.A., Leopold, M.F. & van Wijk, O.M. (2001) Halfgeknotte strandschelp en Amerikaanse Zwaardschede: een overzicht van bestaande kennis over visserij, economische betekenis, regelgeving, ecologie van de beviste soorten en effecten op het ecosysteem. *RIVO rapport C033.01*, Yerseke, 34 p.
- Craeymeersch, J.A. & Perdon, J. (2004) De Halfgeknotte strandschelp, *Spisula subtruncata*, in de Nederlandse kustwateren in 2004, met een bijlage over de ontwikkeling van het bestand aan mesheften (*Ensis* sp.). *RIVO rapport C073.04*, Yerseke, 30 p.
- Craeymeersch, J.A. & Perdon, J. (2006) De Halfgeknotte strandschelp, *Spisula subtruncata*, in de Nederlandse kustwateren in 2005. *RIVO rapport C036.06*, Yerseke, 22 p.
- Cramp, S. & K.E.L. Simmons (ed.). (1977) Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa, Vol. I, Ostrich to Ducks. *Oxford University Press, Oxford*, 722 p.
- Cramp, S. & K.E.L. Simmons (eds.). (1983) Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa, Vol. III, Waders to Gulls. *Oxford University Press, Oxford*, 913 p.
- Cremer, J. & Smit, C.J. (2009) Het dieet van de Steenloper *Arenaria interpres*: een literatuuroverzicht. *IMARES rapport C141/09*, Texel, 28 p.
- Christensen, T.K. (2008) Factors affecting population size of Baltic Common Eiders *Somateria mollissima*. *Thesis, Department of Wildlife Ecology and Biodiversity, University of Aarhus, National Environmental Research Institute, University of Aarhus - Denmark*, 204 p.
- Dankers, N.M.J.A., Meijboom, A., Cremer, J.S.M., Dijkman, E.M., Hermes, Y. & te Marvelde, L. (2003) Historische ontwikkeling van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. *Alterra rapport 876*, Wageningen, 114 p.
- Davidson, N.C. & Morrison, R.I.G. (1992) Time budgets of pre-breeding Knots on Ellesmere Island, Canada. *Wader Study Group Bulletin*, 64, *Supplementary volume: The migration of Knots*, 137–143.
- Davidson, P.E. (1971) Some foods taken by waders in Morecambe Bay, Lancashire. *Bird Study*, 18, 177–186.
- De Jong, M.L., Ens, B.J. & Leopold, M.F. (2005) Het voorkomen van Zee- en Eideeenden in de winter van 2004-2005 in de Waddenzee en de Noordzeekustzone. *Alterra rapport 1208*, Wageningen, 44 p.
- De Jong, M.L., Smit, C.J. & Leopold, M.F. (2009) Aantallen en verspreiding van Eiders, Toppereenden en zee-eenden in de winter van 2008-2009 in de Waddenzee en de Noordzeekustzone. *IMARES rapport C148/09*, Texel, 31 p.
- De Jong, M.L., Smit, C.J. & Leopold, M.F. (2010) Aantallen en verspreiding van Eiders, Toppereenden en zee-eenden in de winter van 2009-2010 in de Waddenzee en de Noordzeekustzone. *IMARES rapport C160/10*, IJmuiden, 32 p.
- De Leeuw, J. (1997) Demanding divers. Ecological energetics of food exploitation by diving ducks. *Thesis, University of Groningen*, 178 p.
- De Leeuw, J.J. (1999) Food intake rates and habitat segregation of tufted duck *Aythya fuligula* and scaup *Aythya marila* exploiting zebra mussels *Dreissena polymorpha*. *Ardea*, 87, 15–31.
- De Mesel I, Wijsman J. & van Gool A. 2008. Groeimetingen op percelen in de westelijke Waddenzee. *Rapport Onderzoeksproject Duurzame schelpdiervisserij (PRODUS). Deelproject 1A. IMARES rapport C023/08*, 29 p.

- De Vlas, J. 1982. De effecten van de kokkelvisserij op de bodemfauna van de Oosterschelde en de Waddenzee. *RIN-rapport 82/19*, 99 p.
- Dekinga, A., Dietz, M.W., Koolhaas, A. & Piersma, T. (2001) Time course and reversibility of changes in the gizzards of red knots alternately eating hard and soft food. *Journal of Experimental Biology*, 204, 2167-2173.
- Dekinga, A. & Piersma, T. (1993) Reconstructing diet composition on the basis of faeces in a mollusc-eating wader, the Knot *Calidris canutus*. *Bird Study* 40, 144-156.
- Dekker, R. 1995. Het macrozoobenthos op twaalf raaien in het sublitoraal van de westelijke Waddenzee in 1994. *NIOZ-rapport 1995-1. Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Den Burg*, 53 p.
- Delany, S. & Scott, D. (2002) Waterbird Population Estimates - Third Edition. *Wetlands International Global Series No. 12, Wageningen*, 226 p.
- Delany, S. & Scott, D. (2006) Waterbird Population Estimates - Fourth Edition. *Wetlands International, Wageningen*, 233 p.
- Delany, S., Scott, D., Dodman, T. & D. Stroud (eds.). (2009) An Atlas of Wader Populations in Africa and Western Eurasia. *Wetlands International, Wageningen*, 521 p.
- Deppe, L. (2003) Die Trauerente (*Melanitta nigra*) in der Deutschen Bucht - GIS-basierte Bewertung räumlicher und zeitlicher Parameter. *Diplom Arbeit, Universität Hamburg*.
- Dijkema, K.S., van Tienen, G. & van Beek, J.G. (1989) Habitats of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea 1:100 000. *RIN Texel/ Veth Foundation, Leiden: 24 habitat maps*.
- Dott, H.E.M. (1997) Declines in turnstones and purple sandpipers wintering in south east Scotland. *Scottish Birds*, 19, 101-104.
- Dronkers, J. 2005. Natural and human impacts on sedimentation in the Waddensea. An analysis of historical data. *Rijkswaterstaat/RIKZ*.
- Durell, S.E.A. le V. dit, Goss-Custard, J.D. & Caldow, R.W.G. (1993) Sex-related differences in diet and feeding method in the Oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Journal of Animal Ecology*, 62, 205-215.
- Durinck, J., Skov, H., Jensen, F.P. & Pihl, S. (1994) Important marine areas for wintering birds in the Baltic Sea. *Report Ornith Consult / NERI, Copenhagen*, 109 p.
- Ehlert, W. (1964) Zur Ökologie und Biologie der Ernährung einiger Limikolenarten. *Journal für Ornithologie*, 105, 1-53.
- Ens, B.J. (2000) Berekeningsmethodiek voedselreservering Waddenzee. *Alterra rapport 136, Wageningen*, 70 p.
- Ens, B.J. (2006). The conflict between shellfisheries and migratory waterbirds in the Dutch Wadden Sea. In: Boere, G.C., Galbraith, C.A., Stroud, D.A., editors. *Waterbirds around the world. Edinburgh, UK: The Stationery Office*, 806-811.
- Ens, B.J., Berrevoets, C.M., Bruinzeel L., Bult T., Haanstra L., Hulscher J.B., Koks B., van de Pol M., Rappoldt C., Teunissen W.A., Verhulst S. (2003). Synthese: wat veroorzaakt de huidige achteruitgang van Scholeksters in Nederland? *Limosa*, 76, 34-38.
- Ens, B.J., Borgsteede, F.H.M., Camphuysen, C.J., Dorresteijn, G. M., Kats, R.K.H. & Leopold, M.F. (2002) Eidereendensterfte in de winter 2001/2002. *Alterra rapport 521, Wageningen*, 113 p.
- Ens, B.J., Craeymeersch, J. A., Fey, F.E., Heessen, H.J.L., Smaal, A.C., Brinkman, A.G., Dekker, R., van der Meer, J. & van Stralen, M.R. (2007) Sublitorale natuurwaarden in de Waddenzee. Een overzicht van bestaande kennis en een beschrijving van een onderzoekopzet voor een studie naar het effect van mosselzaadvisserij en mosselkweek op sublitorale natuurwaarden. *Rapport IMARES C077/07, Texel*, 117 p.
- Ens, B.J., Dirksen, S., Smit, C.J. & Bunschoke, A.J. (1996) Seasonal changes in size selection and intake rate of Oystercatchers *Haematopus ostralegus* feeding on the bivalves *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule*. *Ardea*, 84A, Special Issue, 159-176.
- Ens, B.J., Kats, R. & Camphuysen, C.J. (2006) Waarom zijn Eiders niet massaal gestorven in de winter van 2005/2006? *Limosa*, 79, 95-106.

- Ens, B.J., Kersten, M., Brenninkmeijer, A. & Hulscher, J.B. (1992) Territory quality, parental effort and reproductive success of Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*). *Journal of Animal Ecology*, 61, 703-715.
- Ens, B.J., Safriel, U.N. & Harris, M.P. (1993) Divorce in the long-lived and monogamous Oystercatcher, *Haematopus ostralegus* - incompatibility or choosing the better option. *Animal Behaviour*, 45, 1199-1217.
- Ens, B.J., Smaal, A.C. & de Vlas, J. (2004) The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde. *Alterra report 1011, RIVO report C056/04, RIKZ report 2004.031, Wageningen*, 212 p.
- Ens, B.J., van Winden, E.A.J., van Turnhout, C.A.M., van Roomen, M.W.J., Smit, C.J. & Jansen, J.M. (2009a) Aantalsontwikkeling van wadvogels in de Nederlandse Waddenzee in de periode 1990-2007. Verschillen tussen Oost en West. *Limosa*, 82, 100-112.
- Ens, B., Aarts, B., Oosterbeek, K., Roodbergen, M., Sierdsema, H., Slaterus, R. & Teunissen, W. (2009b) Onderzoek naar de oorzaak van de dramatische achteruitgang van de Scholekster in Nederland. *Limosa*, 89, 83-92.
- Eriksson, B.K., van der Heide, T., van de Koppel, J., Piersma, T., van der Veer, H.W., Olf, H., (2010). Major Changes in the Ecology of the Wadden Sea: Human Impacts, Ecosystem Engineering and Sediment Dynamics. *Ecosystems* 13, 752-764.
- Eschweiler, N., Molis, M. & Buschbaum, C. (2009) Habitat-specific size structure variations in periwinkle populations (*Littorina littorea*) caused by biotic factors. *Helgoländer Marine Research* 63, 119-127.
- Evans, P.R., Herdson, D.M., Knights, P.J. & Pienkowski, M.W. (1979) Short-term effects of reclamation of parts of Seal Sands, Teesmouth, on wintering waders and shelduck. I. Shorebird diets, invertebrate densities, and impact of predation on the invertebrates. *Oecologia*, 41, 183-206.
- Fey-Hofstede, F., Jansen, J., Dijkman, E. & Kesteloo-Hendrikse, J. (2008) Ruimtelijke verspreiding van sublitorale mosselvoorkomens en mosselzaadvisserij van 1997-2007. *IMARES Rapport C102/08, Ijmuiden*, 31 p.
- Gavrilov, V.M. & Dolnik, V.R. (1985) Basal metabolic rate, thermoregulation and existence energy in birds: world data. *Acta XVIII Congr. Internat. Ornithology*, 421-466.
- Geurts van Kessel, A.J.M. (2004) Verlopend tij. Oosterschelde, een veranderend natuurmonument *RIKZ-rapport RIKZ/2004.028*, 79 p.
- Gill, J.A., Sutherland, W.J. & Norris, K. (2001) Depletion models can predict shorebird distribution at different spatial scales. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 268, 369-376
- Glutz von Blotzheim, U.N., Bauer, K.M. & Bezzel, E. (1977) Handbuch der Vögel Mitteleuropas, Band 7. Charadriiformes (Vol. 2). *Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden*, 893 p.
- Goss-Custard, J.D. (1996) The Oystercatcher: From individuals to populations. *Oxford University Press, Oxford*, 442 p.
- Goss-Custard, J.D., Jones, R.E. & Newbery, P.E. (1977) The ecology of the Wash. I. Distribution and diet of wading birds (Charadrii). *Journal of Applied Ecology*, 14, 681-700.
- Goss-Custard J.D. & le V. dit Durell S.E.A. (1983). Individual and age differences in the feeding ecology of oystercatchers *Haematopus ostralegus* wintering on the Exe estuary, Devon. *Ibis*, 125, 155-171.
- Goss-Custard, J.D., le V. dit Durell, S.E.A., Clarke, R.T., Beintema, A.J., Caldow, R.W.G., Meininger, P.L. & Smit, C.J. (1996) Population dynamics: predicting the consequences of habitat change at a continental scale. In: J.C. Goss-Custard (ed.), *The Oystercatcher. From Individuals to Populations. Oxford University Press, Oxford*, 352-383.
- Goss-Custard, J.D., Stillman, R.A., West, A.D., Caldow, R.W.G., Triplet, P., le V. dit Durell, S.E.A. & McGrorty, S. (2004) When enough is not enough: shorebirds and shellfishing. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B-Biological Sciences*, 271, 233-237.

- Goudswaard, P.C., Perdon, K.J., Kesteloo, J.J., Jol, J. & Jansen, J.M. (2009a) Mesheften (*Ensis directus*), Strandschelpen (*Spisula subtruncata*), Kokkels (*Cerastoderma edule*), Mosselen (*Mytilus edulis*) en Otterschelpen (*Lutraria lutraria*) in de Nederlandse kustwateren in 2009. *Rapport IMARES C086/09, Yerseke*, 37 p.
- Goudswaard, P.C., Jansen, J.M.J., van Zweeden, C., Kesteloo, J.J. & van Stralen, M.R. (2009b) Het mosselbestand en het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen in de Waddenzee in het voorjaar van 2009. *IMARES rapport C092/09, IJmuiden*, 26 p.
- Goudswaard, P.C., Perdon, K.J., Kesteloo, J.J., Jol, J., van Zweeden, C., Hartog, E., Jansen, J.M.J. & Troost, K. (2010) Schelpdieren in de Nederlandse kustwateren, een kwantitatieve en kwalitatieve bestandsopname in 2010. *Rapport IMARES C099/10, Yerseke*, 66 p.
- Groves, S. (1978) Age-related differences in Ruddy Turnstone foraging and aggressive behavior. *Auk*, 95, 95-103.
- Hagemeyer, E. J. M., Smit C.J. (eds.), de Boer, P., van Dijk, A.J., Ravenscroft, N., van Roomen, M.W.J. & Wright, M. (2004) Wader- and waterfowl count on the Banc d'Arguin, Mauritania, January-February 2000. *WIWO report 81, Beek-Ubbergen*, 146 p.
- Haloui, L. (2009) Onder de stenen. Een onderzoek naar het dieet van de overwinterende Steenloper (*Arenaria interpres interpres*) populatie in het Nederlandse Waddenzeegebied. *Rapport Wageningen IMARES, Van Hall Larenstein*, 29 p.
- Heg, D., Ens, B.J., van der Jeugd, H.P. & Bruinzeel, L.W. (2000) Local dominance and territorial settlement of nonbreeding oystercatchers. *Behaviour*, 137, 473-530.
- Hirakawa, H. (1995) Diet optimization with a nutrient or toxic constraint. *Theoretical Population Biology*, 47, 331-346.
- Hulscher, J.B. (1985) Growth and abrasion of the Oystercatcher bill in relation to dietary switches. *Netherlands Journal of Zoology*, 35, 124-154.
- Hulscher J.B. (1996). Food and feeding behaviour. In: Goss-Custard J.D. (editor). *The Oystercatcher: From Individuals to Populations. Oxford University Press, Oxford*, 7-29.
- Hulscher, J.B., Exo, K.-M. & Clark, N. (1996) Why do Oystercatchers migrate? In: J.C. Goss-Custard (ed.), *The Oystercatcher. From Individuals to Populations. Oxford University Press, Oxford*, 155-185.
- Hustings, F., Koffijberg, K., van Winden, E., van Roomen, M., SOVON Ganzen- en Zwanenwerkgroep, Soldaat, L., Slaterus, R. & Kleefstra, R. (2009) Watervogels in Nederland in 2007/2008. *Waterdienst-rapport 2009.020, SOVON-monitoringrapport 2009/02. SOVON Vogelonderzoek, Beek-Ubbergen*, 110 p.
- Hustings, F., Koffijberg, K., van Winden, E., van Roomen, M., SOVON Ganzen- en Zwanenwerkgroep, Soldaat, L., van den Bremer, L., Schoppers, J., Slaterus, R. & Vergeer, J.-W. (2008) Watervogels in Nederland in 2006/2007. *Waterdienst-rapport 2008.061, SOVON-monitoringrapport 2008/04. SOVON Vogelonderzoek, Beek-Ubbergen*, 176 p.
- ICES (2005) Report on the Working Group on Seabird Ecology (WSEG), 29 March - 1 April 2005, Texel, The Netherlands. *ICES CM 2005/G:07*, 49 p.
- Jensen, F.P., Perennou, C. & Lutz, M. (2009) European Union Management Plan for Scaup *Aythya marila* 2009 - 2011. *European Commission, DG ENV B2*, 41 p.
- Jeschke, J.M., Kopp, M. & Tollrian, R. (2002) Predator functional responses: Discriminating between handling and digesting prey. *Ecological Monographs*, 72, 95-112.
- Jongbloed, R., Tamis, J., Dankers, N., Smaal, A., Jansen, J. & Smit, C. (in prep.) NEA Mosselraadvisserij in het sublitoraal van de Waddenzee (Nb-wetvergund). IMARES rapport.
- Kaiser, M.J., Galanidi, M., Showler, D.A., Elliott, A.J., Caldow, R.W.G., Rees, E.I.S., Stillman, R.A. & Sutherland, W.J. (2006) Distribution and behaviour of Common Scoter *Melanitta nigra* relative to prey resources and environmental parameters. *Ibis*, 148, 110-128.
- Kamermans, P., Schuiling, E., Baars, D. & van Riet, M. (2003). Eindrapport EVA II (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase) Deelproject A1: Visserij-inspanning: wijze van vissen, locatie van

- vissen, vangsten en bodemberoering van schelpdiervisserij-activiteiten in Waddenzee en Zeeuwse Delta. *RIVO rapport C057/03*, 1-95.
- Karasov, W.H. & McWilliams, S.R. (2005) Digestive constraints in mammalian and avian ecology. In: M Stark & T. Wang (eds.), *Physiological and ecological adaptations to feeding in vertebrates. Science Publishers.*
- Kats, R.K.H. (2007) Common Eiders *Somateria mollissima* in the Netherlands: the rise and fall of breeding and wintering populations in relation to stocks of shellfish. *Thesis, University of Groningen*, 336 p.
- Kersten, M. (1996) De najaarstrek van Steenlopers door de Waddenzee. *Limosa*, 69, 141-142.
- Kesteloo-Hendrikse, J.J., van Stralen, M.R., Jol, J. & Craeymeersch, J.A. (2005). Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2005. *RIVO rapport C050/05*, 1-41.
- Kesteloo J.J., van Stralen M.R., Fey F., Jol J. & Goudswaard P.C. (2007). Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2007. *IMARES Rapport C071/07*, IJmuiden, 44 p.
- Kesteloo, J.J., van Zweeden, C., Troost, K. & Jansen, J.M. (2010) Het kokkelbestand in de Nederlandse kustwateren in 2010. *IMARES rapport C098/10*, IJmuiden, 46 p.
- Koskimies, P. (1992). Population sizes and recent trends of breeding birds in the Nordic countries. *Bird Census News* 5(3): 41-79.
- Kraan, C., Aarts, G., Van der Meer, J. & Piersma, T. (2010) The role of environmental variables in structuring landscape-scale species distributions in seafloor habitats. *Ecology*, 91, 1583-1590.
- Kraan, C., Dekinga, A., Folmer, E.O., van der Veer, H.W. & Piersma, T. (2007) Macrobenthic fauna on intertidal mudflats in the Dutch Wadden Sea: Species abundances, biomass and distributions in 2004 and 2006. NIOZ-Report 2007-2. *NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research, Texel*, 40 p.
- Lammens, E. (1999) Het voedselweb van IJsselmeer en Markermeer: Veldgegevens, hypothesen, modellen en scenario's. *Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.*
- Legendre, P. & Legendre, L. (1998) *Numerical Ecology. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam.*
- Leopold, M. (1993) Spisula's, zeeëenden en kokkelvisserij: een nieuw milieuprobleem op de Noordzee. *Sula*, 7, 24-28.
- Leopold, M., Baptist, H., Wolf, P. & Offringa, H. (1995) De Zwarte Zeeëend *Melanitta nigra* in Nederland Common Scoters *Melanitta nigra* in The Netherlands. *Limosa*, 68, 49-64.
- Leopold, M.F. (1996) Spisula subtructata als voedselbron voor zee-eenden in Nederland. *BEON rapport 96-2, Den Haag*, 58 p.
- Leopold, M.F. (2001) Wat is er mis met de Waddenzee? Eiders verkiezen de Noordzee. *Nieuwsbrief NZG*, 3, 2-3.
- Leopold, M.F. (2002) Eiders *Somateria mollissima* scavenging behind a lugworm boat. *Journal of Sea Research*, 47, 75-82.
- Leopold, M.F., Kats, R.K.H. & Ens, B.J. (2001) Diet (preferences) of common eiders *Somateria mollissima*. *Wadden Sea Newsletter*, 1, 25-31.
- Leopold, M.F., Skov, H. & Hüppop, O. (1993) Where does the Wadden Sea end? Links with the adjacent North Sea. *Wadden Sea Newsletter 1993-3*, 5-9.
- Leopold, M.F., Smit, C.J., Goedhart, P.W., van Roomen, M.W.J., van Winden, A.J. & van Turnhout, C. (2004) Langjarige trends in aantallen wadvogels, in relatie tot de kokkelvisserij en het gevoerde beleid in deze. Eindverslag EVAII (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase), deelrapport C2. *Alterra rapport 954 / SOVON onderzoeksrapport 2004/07, Wageningen*, 165 p.
- Leopold, M.F., van der Land, M.A. & Welleman, H.C. (1998) Spisula en zee-eenden in de strenge winter van 1995/96. *BEON rapport 98-6, Den Haag*, 35 p. & bijlagen.
- Lehikoinen, A., Christensen, T.K., Ost, M., Kilpi, M., Saurola, P. & Vattulainen, A. (2008) Large-scale change in the sex ratio of a declining eider *Somateria mollissima* population. *Wildlife Biology*, 14, 288-301.

- Meelis, E. (1964a) Steenlopers. *Amoeba*, 40, 7-9.
- Meelis, E. (1964b) De Steenloper, *Arenaria interpres* (L.). *Aythya*, 3, 2-11.
- Nehls, G. (1995) Strategien der Ernährung und ihre Bedeutung für Energiehaushalt und Ökologie der Eiderente (*Somateria mollissima* (L., 1758)). *Thesis, Christian Albrechts University, Kiel*, 177 p.
- Nehls, G. (1998) Bestand und Verbreitung der Trauerente *Melanitta nigra* im Bereich des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeeres. *Seevögel*, 19, 19-22.
- Nebel, S., Piersma, T., Van Gils, J., Dekinga, A. & Spaans, B. (2000) Length of stopover, fuel storage and a sex-bias in the occurrence of red knots *Calidris c. canutus* and *C.c. islandica* in the Wadden Sea during southward migration. *Ardea*, 88, 165-176.
- Nilsson, L. (1972) Habitat Selection, Food Choice, and Feeding Habits of Diving Ducks in Coastal Waters of South Sweden during the Non-Breeding Season. *Ornis Scandinavica*, 3, 55-78.
- Nolet, B. (1983) Consumptie door steltlopers op het wad, I en II. *Aythya*, 22, 4-16.
- Noordhuis, R. (red). (2010) Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland. *Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad*, 421 p.
- Norris, K. & Johnstone, I. (1998) The functional response of oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) searching for cockles (*Cerastoderma edule*) by touch. *Journal of Animal Ecology*, 67, 329-346.
- Offringa, H. (1991) Verspreiding en voedselocologie van de Zwarte Zeeëend (*Melanitta nigra*) in Nederland. *NIOZ-rapport 1991-13, Texel*, 39 p. & appendix.
- Oost, A.P. & Bokhorst, M. (2002) Effecten van spuilocaties op hydraulica, morfologie en ecologie. Effecten van alternatieve spuilocaties langs de Afsluitdijk op hydraulica, morfologie en ecologie van Waddenzee en IJsselmeer. *Rapport RIKZ 2002.056, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Haren*, 50 p & bijlagen.
- Oosterbeek, K. (2006) Toppers in de Waddenzee. *Ongepubliceerd rapport SOVON, Beek Ubbergen*, 17 p.
- Over, H.J. & Mörzer Bruijns, M.F. (1956) Waterwildconcentraties in Nederland in februari 1956. *De Levende Natuur*, 59, 149-155.
- Philippart, C.J.M., Beukema, J.J., Cadée, G.C., Dekker, R., Goedhart, P.W., van Iperen, J.M., Leopold, M.F. & Herman, P.M.J. (2007) Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems*, 10, 95-118.
- Philippart, C.J.M., van Aken, H.M., Beukema, J.J., Bos, O.G., Cadée, G.C. & Dekker, R. (2003) Climate-related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography* 48, 2171-2185.
- Piersma, T. (1994) Close to the edge: energetic bottlenecks and the evolution of migratory pathways in Knots. *Thesis, University of Groningen*, 366 p.
- Piersma, T., Dietz Maurine, W., Dekinga, A., Nebel, S., van Gils, J., Battley, P.F. & Spaans, B. (1999a) Reversible size-changes in stomachs of shorebirds: When, to what extent, and why? *Acta Ornithologica Warsaw*, 34, 175-181.
- Piersma, T., Gudmundsson, G.A. & Lilliendahl, K. (1999b) Rapid changes in the size of different functional organ and muscle groups during refueling in a long-distance migrating shorebird. *Physiological and Biochemical Zoology*, 72, 405-415.
- Piersma, T., Hoekstra, R., Dekinga, A., Koolhaas, A., Wolf, P., Battley, P. & Wiersma, P. (1993a) Scale and intensity of intertidal habitat use by Knots *Calidris canutus* in the western Wadden Sea in relation to food, friends and foes. *Netherlands Journal of Sea Research*, 31, 331-357.
- Piersma, T., Koolhaas, A. & Dekinga, A. (1993b) Interactions between stomach structure and diet choice in shorebirds. *Auk*, 110, 552-564.
- Piersma, T., Koolhaas, A., Dekinga, A., Beukema, J.J., Dekker, R. & Essink, K. (2001) Long-term indirect effects of mechanical cockle-dredging on intertidal bivalve stocks in the Wadden Sea. *Journal of Applied Ecology*, 38, 976-990.
- Piersma, T., Kraan, C. & Dekinga, A. (2009) Hoe het nonnetje verdween uit de Waddenzee. *In : G.C. Cadée, S. van Leeuwen & J.J. ter Poorten (eds.), Schitterende schelpen en slijmerige slakken. Nederlandse Malacologische Vereniging*, 96-99.

- Piersma, T. & Lindström, A. (1997) Rapid reversible changes in organ size as a component of adaptive behaviour. *Trends in Ecology and Evolution*, 12, 134-138.
- Piersma, T., van Aelst, R., Kurk, K., Berkhoudt, H. & Maas, L.R.M. (1998) A new pressure sensory mechanism for prey detection in birds: the use of principles of seabed dynamics? *Proceedings of the Royal Society of London Series B - Biological Sciences*, 265, 1377-1383.
- Piersma, T., van Gils, J., de Goeij, P. & van der Meer, J. (1995) Holling's functional response model as a tool to link the food-finding mechanism of a probing shorebird with its spatial distribution. *Journal of Animal Ecology*, 64, 493-504.
- Piersma, T., Verkuil, Y. & Tulp, I. (1994) Resources for long-distance migration of Knots *Calidris canutus islandica* and *C. canutus*: How broad is the temporal exploitation window of benthic prey in the western and eastern Wadden Sea? *Oikos*, 71.
- Pihl, S., Laursen, K., Hounisen, J.P. & Frikke, J. (1992) Landsdaekkende optælling af vandfugle fra flyvemaskine, januar/februar 1991 og januar/marts 1992. *Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr 44*, 42 p.
- Pihl S., P. Clausen, K. Laursen, J. Madsen & Bregnballe, T. (2006) Conservation status of bird species in Denmark covered by the EU Wild Birds Directive. *NERI Technical Report no 570. National Environmental Research Institute, Kalø*.
- Postma H. (1961) Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1, 148-190
- Postma H. & Rommets J.W. (1970) Primary production in the Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 470-493
- Poulton, V.K., Lovvorn, J.R. & Takekawa, J.Y. (2002) Clam density and scaup feeding behavior in San Pablo Bay, California. *Condor*, 104, 518-527.
- Prater, A.J. (1972a) Food of Turnstones in Morecambe Bay. *Bird Study*, 19, 51-52.
- Prater, A.J. (1972b) The ecology of Morecambe Bay III. The food and feeding habits of knot (*Calidris canutus*) in Morecambe Bay. *Journal of Applied Ecology*, 9, 179-194.
- Prater, A.J. (1976) The distribution of coastal waders in Europe and North Africa. *In: M. Smart (ed.) Proceedings Fifth Conference on Conservation of Wetlands and Waterfowl, Heiligenhafen. IWRB, Slimbridge*, 255-271.
- Pulliam, H.R. (1974) On the theory of optimal diets. *American Naturalist*, 108, 59-74.
- 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. *Alterra rapport 1209, Wageningen*: 1-44.
- Rappoldt, C. & Ens, B.J. (2006). Scholeksters en kokkels in de Westerschelde; Modelberekeningen voor de periode 1992-2003 op basis van een verbeterde schatting van de groei en overleving van kokkels in de zomer. *EcoCurves rapport 1 / SOVON-onderzoeksrapport 2006/06*, 66 p.
- Rappoldt, C., Ens, B.J., Bult, T. & Dijkman, E.M. (2003a) Scholeksters en hun voedsel in de Waddenzee. Rapport voor deelproject B1 van EVA-II, de tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. *Alterra rapport 882, Wageningen*, 152 p.
- Rappoldt, C., Ens, B.J., Dijkman, E., Bult, T., Berrevoets, C.M. & Geurts van Kessel, J. (2003b). Scholeksters en hun voedsel in de Oosterschelde. Rapport voor deelproject D2 thema 1 van EVA II, de tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. *Alterra rapport 883, Wageningen*, 137 p.
- Rappoldt, C., Ens, B.J., Kersten, M. & Dijkman, E. (2004). Wader Energy Balance & Tidal Cycle Simulator WEBTICS. Technical Documentation version 1.1. *Alterra rapport 869, Wageningen*, 95 .
- Rappoldt, C., Kersten, M. & Ens, B.J. (2006). Scholeksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde; Modelberekeningen voor de periode 1990-2045 aan het effect van zandhonger en zeespiegelstijging op het aantal scholeksters. *Ecocurves rapport 2/SOVON-onderzoeksrapport 2006/12*, 1-61.

- Rappoldt, C. & Ens, B.J. (2008) Het kokkelbestand tussen 2001-2007 en het aantal scholeksters in de Waddenzee. Een beknopte modelstudie naar het effect van visserij. *EcoCurves rapport 8, Haren*, 42 p.
- REFCOND Guidance (2003). Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters; version 7.0, 5 March 2003 - final. *CIS Working Group 2.3*.
- Rehfishch, M.M., Austin, G.E., Freeman, S.N., Armitage, M.J.S. & Burton, N.H.K. (2004) The possible impact of climate change on the future distributions and numbers of waders on Britain's non-estuarine coast. *Ibis*, 146, 70-81.
- Reneerkens, J., Piersma, T. & Spaans, B. (2005) De Waddenzee als kruispunt van vogeltrekwegen. Literatuurstudie naar de kansen en bedreigingen van wadvogels in internationaal perspectief. *NIOZ-report 2005-4, Texel*, 125 p.
- Ridderinkhof, H., (1988) Tidal and residual flows in the western Wadden Sea. I: Numerical model results. In: EON. The ecosystem of the western Wadden Sea: field results and mathematical modelling. *NIOZ-rapport 1988-11*, 21 p.
- Riegman, R., Jacobs, P., Brinkman, B. & Kamermans, P. (in prep). Meerjarige effectmetingen aan MZI's in de Westelijke Waddenzee en Oosterschelde. Voortgangsrapport Deelproject 1: Effect MZI op Draagkracht 2010. *IMARES, Wageningen UR*.
- RIKZ (1998) Sedimentatlas Waddenzee. Ministerie van Verkeer en Waterstaat/ Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) Haren, CD ROM.
- Robinson, L.A., Greenstreet, S.P.R., Reiss, H., Callaway, R., Craeymeersch, J., De Boois, I., Degraer S., Ehrich, S., Fraser, H.M., Goffin, A., Kröncke, I., Jorgenson, L.L., Robertson, M.R. & Lancaster, J. (2010) Length-weight relationships of 216 North Sea benthic invertebrates and fish. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90, 95-104.
- Ruiters, P.S., (1992) Relaties tussen verspreiding en dieetkeuzes van steltlopers en het voorkomen van macrozoobenthos in de Westerschelde. *Rapporten en Verslagen NIOO 1992-04, Yerseke*, 49 p.
- Saier, B., (2001) Ecological comparison of intertidal and subtidal mussel beds (*Mytilus edulis* L.) in the Wadden Sea. *Dissertation University of Hamburg*, 164 p.
- Saier, B. (2001) Direct and indirect effects of seastars *Asterias rubens* on mussel beds (*Mytilus edulis*) in the Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 46, 29-42.
- Saier, B. (2002) Subtidal and intertidal mussel beds (*Mytilus edulis* L.) in the Wadden Sea: diversity differences of associated epifauna. *Helgoland Marine Research*, 56, 44-50.
- Schellekens, T., Van Stralen, M., Kesteloo-Hendrikse, J. & Smaal A. (2011) Analyse historische data westelijke Waddenzee. IMARES-rapport (in prep.).
- Schricke, F. (1993) La baie du Mont Saint-Michel, premiere zone de mue en France pour la macreuse noire (*Melanitta nigra*) *Alauda*, 61, 35-38.
- Scott, D.A. & Rose, P.M. (1996) Atlas of Anatidae population in Africa and western Eurasia. *Wetlands International Publication 41, Wageningen*, 336 p.
- Skov, H., Durinck, J., Leopold, M.F. & Tasker, M.L. (1995) Important bird areas for seabirds in the North Sea including the Channel and the Kattegat. *BirdLife International, Cambridge*, 156 p.
- Smit, C. (2010) Dertig jaren wadvogel- en ganzen tellingen op Texel: de Kanoet. *De Skor*, 29, 179-187.
- Smit, C.J., Ens, B.J., van Roomen, M., van Winden, E., van Turnhout, C., van Duin, W.E., Meesters, E.H.W. & Bos, O.G. (2010) Verschillen in de aantalsontwikkeling van doortrekkende en overwinterende watervogels in de Nederlandse Waddenzee en hun mogelijke oorzaken. *IMARES rapport (in druk)*.
- Smit, C.J. & Piersma, T. (1989) Numbers, midwinter distribution, and migration of wader populations using the East Atlantic flyway. In: H. Boyd & J.-Y. Pirot (eds.), *Flyways and reserve networks for water birds. IWRB Special Publ. 9, Slimbridge*, 24-63.
- Smith, L.E., Hall, C., Cranswick, P.A., Banks, A.N., Sanderson, W.G. & Whitehead, S. (2007) The status of Common Scoter *Melanitta nigra* in Welsh waters and Liverpool Bay, 2001-2006. *Welsh Birds*, 5, 4-28.

- Söhle, I., Wilson, L.J., Dean, B.J., O'Brien, S.H., Webb, A. & Reid, J.B. (2006) Surveillance of wintering seabirds, divers and grebes in UK inshore areas: Aerial surveys and shore-based counts 2005/06. *JNCC Report 392, Peterborough*.
- Sonntag, N., Engelhard, O. & Garthe, S. (2004) Sommer- und Mauservorkommen von Trauerenten *Melanitta nigra* und Samtenten *M. fusca* auf der Oderbank (sudliche Ostsee). *Vogelwelt 125(2)*, 77-82.
- SOVON & CBS (2005) Trends van vogels in het Nederlandse Natura2000 netwerk. *SOVON-informatierapport 2005/09. SOVON Vogelonderzoek, Beek-Ubbergen / Centraal Bureau voor de Statistiek*, 320 p.
- Spaans, A.L., van de Winden, J., Lensink, R., van den Bergh, L.M.J. & Dirksen, S. (1998) Vogelhinder door windturbines. Landelijk onderzoeksprogramma, deel 4: nachtelijke vliegbewegingen en vlieghoogtes van vogels langs de Afsluitdijk. *Rapport 98.015. Bureau Waardenburg, Culemborg / Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO), Wageningen*.
- Spaans, B., Brugge, M., Dekinga, A., Horn, H., van Kooten, L. & Piersma, T. (2009) Oost, West, Thuis Best. Op welke schaal benutten individuele Kanoeten het Nederlandse Waddengebied? *Limosa*, 82, 113-121.
- Steketee, J. (1976) Verslag Steenloperonderzoek. *Vlieboek 3, Vogelwerkgroep ACJN*, 18-23.
- Stillman, R.A., West, A.D., Goss-Custard, J.D., McGrorty, S., Frost, N.J., Morrissey, D.J., Kenny, A.J. & Drewitt, A.L. (2005) Predicting site quality for shorebird communities: a case study on the Humber estuary, UK. *Marine Ecology - Progress Series*, 305, 203-217.
- STOWA, 2007. Referenties en maatlatten voor de natuurlijke watertypen voor de KaderRichtlijn Water. Expertteams, D.T. van der Molen & R. Pot (red). *STOWA Rapportnummer 2007-32*, 290 pp.
- Stork V.E. (red.). (2010) Ornithologisch jaarverslag Texel 2009. *Vogelwerkgroep Texel, De Cocksdorp*, 65 p.
- Sutherland, W.J., Ens, B.J., Goss-Custard, J.D. & Hulscher, J.B. (1996) Specialization. In: *J.C. Goss-Custard (ed.), The Oystercatcher. From Individuals to Populations. Oxford University Press, Oxford*, 56-76.
- Swennen, C. (1976) Populatie-structuur en voedsel van de Eidereend *Somateria m. mollissima* in de Nederlandse Waddenzee. *Ardea*, 64, 311-371.
- Swennen, C. (1985) Iets over de vogels van het open water van IJsselmeer, Waddenzee en Noordzee. *Het Vogeljaar*, 33, 208-214.
- Swennen, C., de Bruyn, L.L.M., Duiven, P., Leopold, M.F. & Marteyn, E.C.L. (1983) Differences in bill forms of the Oystercatcher *Haematopus ostralegus*; a dynamic adaptation to specific techniques. *Netherlands Journal of Sea Research*, 17, 57-83.
- Swennen, C. & Duiven, A.G. (1989) Eidereend *Somateria mollissima* gestikt in Amerikaanse zwaardscheden. *Limosa*, 62, 153-154.
- Swennen, C. & Spaans, A.L. (1970) De sterfte van zeevogels door olie in februari 1969 in het Waddengebied. *Het Vogeljaar*, 18, 233-245.
- Taal, C., van Wijk, M.O., Klok, A., de Wilde, J.W. & Smit, M.H. (2003). *Visserij in Cijfers 2002. LEI periodiek rapport 03-04*, 1-82.
- Troost K. (2009) Pacific Oysters in Dutch estuaries. Causes of success and consequences for native bivalves. PhD -thesis Univ. Groningen. 253 pp.
- Troost, K., Kamermans, P. & Wolff, W.J. (2008) Larviphagy in native bivalves and an introduced oyster. *Journal of Sea Research*, 60, 157-163
- Tucker, G. M. & Heath, M.F. (1994) Birds in Europe: their conservation status. *BirdLife Conservation Series No. 3, Cambridge*, 600 p.
- Tulp, I., Craeymeersch, J., Leopold, M., Damme, C. v., Fey, F. & Verdaat, H. (2010) The role of the invasive bivalve *Ensis directus* as food source for fish and birds in the Dutch coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 90(3), 116-128.

- Tulp, I., van den Bergh, L.M.J., Dirksen, S. & Schekkerman, H. (1999) Nachtelijke vliegbewegingen toppereenden bij de Afsluitdijk. *Rapport 99.018 Bureau Waardenburg, Culemborg / Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen* 27 p.
- Van Dalfts, J., de Kluijver, M., Lewis, W., van Moorsel, G., D.Tempelma & van der Wal, J.T. (2007) The Macrobenthic Fauna in the Dutch Sector of the North Sea in 2006 and a comparison with previous data. *Report Grontmij/AquaSense, Ecosub & TNO-Imares, Amsterdam*, 68 p.
- Van de Kam, J., Ens, B., Piersma, T. & Zwarts, L. (1999) Ecologische Atlas van de Nederlandse wadvogels. Schuyt & Co, Haarlem, 368 p.
- Van de Kuip, C. (1991) Wanbeleid in de Waddenzee kost duizenden vogels het leven. *Vogels*, 66, 230-235.
- Van de Pol, M. (2006) State-dependent life-history strategies: a long-term study on Oystercatchers. *Thesis, Rijksuniversiteit Groningen*, 213 p.
- Van de Pol, M., Atkinson P.W., Blew J., Crowe O, Delany S., Duriez O., Ens B.J., Hälterlein B., Hötker H., Laursen K., Oosterbeek K.H., Petersen Æ., Thorup O., Tjørve K., Triplet P. & Yésou P. (2011) A global assessment of the conservation status of the nominate subspecies of Eurasian Oystercatcher (*Haematopus ostralegus ostralegus*). *International Wader Studies*.
- Van de Pol, M., Brouwer, L., Ens, B.J., Oosterbeek, K. & Tinbergen, J.M. (2010a) Fluctuating selection and the maintenance of individual and sex-specific diet specialization in free-living Oystercatchers. *Evolution*, 64, 836-851.
- Van de Pol, M., Bruinzeel, L.W., Heg, D., Van der Jeugd, H.P. & Verhulst, S. (2006) A silver spoon for a golden future: long-term effects of natal origin on fitness prospects of oystercatchers (*Haematopus ostralegus*). *Journal of Animal Ecology*, 75, 616-626.
- Van de Pol, M., Ens, B.J., Oosterbeek, K., Brouwer, L., Verhulst, S., Tinbergen, J.M., Rutten, A.L. & de Jong, M. (2009) Oystercatchers' bill shapes as a proxy for diet specialization: more differentiation than meets the eye. *Ardea*, 97, 335-347.
- Van de Pol, M., Pen I., Heg D., Weissing F.J. (2007) Variation in habitat choice and delayed reproduction: adaptive queuing strategies or individual quality differences? *American Naturalist*, 170, 530-541.
- Van de Pol, M., Oosterbeek, K., Rutten, A.L., Ens, B.J., Tinbergen, J.M. & Verhulst, S. (2008) Biometric sex discrimination is unreliable when sexual dimorphism varies within and between years: an example in Eurasian Oystercatchers *Haematopus ostralegus*. *Ibis*, 151, 171-180.
- Van de Pol, M. & Verhulst, S. (2006) Age-dependent traits: A new statistical model to separate within- and between-individual effects. *American Naturalist*, 167, 766-773.
- Van de Pol, M., Vindenes Y, Sæther B-E, Engen S, Ens B.J, Oosterbeek K. & Tinbergen J.M. (2010b) Effects of climate change and variability on population dynamics in a long-lived shorebird. *Ecology*, 91, 1192-1204.
- Van der Winden, J., Spaans, A.L., Tulp, I., Verboom, B., Lensink, R., Jonkers, D.A., van de Haterd, R.J.W. & Dirksen, S. (1999) Deelstudie Ornithologie MER Interprovinciaal Windpark Afsluitdijk. *Rapport Bureau Waardenburg 99.002 / Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Culemborg/Wageningen*, 218 p.
- Van Eerden, M.R., de Leeuw, J.J., Slager, B. & bij de Vaate, A. (1997) A field test of the carrying capacity concept in wintering diving ducks: do high foraging costs delimit exploitation of Zebra Mussels? *In: De Leeuw J.J. 1997. Demanding divers: Ecological energetics of food exploitation by diving ducks. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen, Groningen*, 178 p.
- Van Eerden, M.R., van Rijn, S.H.M. & Roos, M. (2005) Ecologie en Ruimte: gebruik door vogels en mensen in de SBZ's IJmeer, Markermeer en IJsselmeer. *RIZA Rapport 2005.014, Lelystad*, 129 p.
- Van Gils, J.A. (2004) Foraging decisions in a digestively constrained long-distance migrant, the red knot (*Calidris canutus*). *PhD Thesis, University of Groningen, The Netherlands*, 352 p.
- Van Gils, J.A., de Rooij, S.R., van Belle, J., van der Meer, J., Dekinga, A., Piersma, T. & Drent, R. (2005a) Digestive bottleneck affects foraging decisions in red knots *Calidris canutus*. I. Prey choice. *Journal of Animal Ecology*, 74, 105-119.

- Van Gils, J.A., Dekinga, A., Spaans, B., Vahl, W. K. & Piersma, T. (2005b) Digestive bottleneck affects foraging decisions in red knots *Calidris canutus*. II. Patch choice and length of working day. *Journal of Animal Ecology*, 74, 120-130.
- Van Gils, J.A., Edelaar, P., Escudero, G. & Piersma, T. (2004) Carrying capacity models should not use fixed prey density thresholds: a plea for using more tools of behavioural ecology. *Oikos*, 104, 197-204.
- Van Gils, J.A., Piersma, T., Dekinga, A. & Dietz, M.W. (2003a) Cost-benefit analysis of mollusc-eating in a shorebird II. Optimizing gizzard size in the face of seasonal demands. *Journal of Experimental Biology*, 206, 3369-3380.
- Van Gils, J.A., Piersma, T., Dekinga, A., Spaans, B., Kraan, C., 2006. Shellfish dredging pushes a flexible avian top predator out of a marine protected area. *PLoS. Biol.* 4, 2399-2404.
- Van Gils, J.A., Piersma, T. & Hong-Yan, Y. (2009) Factoren die de dieetkeuze van kanoetstrandlopers *Calidris canutus* bepalen onthullen de draagkracht van de Nederlandse Waddenzee. *NIOZ-report 5 June 2009*, 44 p.
- Van Gils, J.A., Schenk, I.W., Bos, O. & Piersma, T. (2003b) Incompletely informed shorebirds that face a digestive constraint maximize net energy gain when exploiting patches. *American Naturalist*, 161, 777-793.
- Van Gils, J.A., Spaans, B., Dekinga, A. & Piersma, T. (2006) Foraging in a tidally structured environment by red knots (*Calidris canutus*): Ideal, but not free. *Ecology*, 87, 1189-1202.
- Van Kleunen, A., K. Koffijberg, de Boer, P., J. Nienhuis, Camphuysen, C.J., Schekkerman, H., Oosterbeek, K.H. de Jong, M.L., Ens, B.J. & Smit, C.J. (2010) Broedsucces van kustbroedvogels in de Waddenzee in 2007 en 2008. *SOVON-monitoringrapport 2010/04, IMARES-rapport C169/10. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen, IMARES, Texel. WOt-werkdocument 227. WOT Natuur & Milieu, Wageningen*, 70 p.
- Van Rijn S. (2002). Watervogels in IJsselmeer en Markermeer; seizoensverslag 2001/2002. *RIZA werkdocument 2002.215X*. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.
- Van Roomen, M., Keijl, G., Koks, B. & Mostert, K. (2008) Numbers of wintering waders on the North Sea coast of the Netherlands in January 1998. In: *N.H.K. Burton, M.M. Rehfish, D.A. Stroud & C.J. Spray (eds). The European Non-Estuarine Coastal Waterbird Survey, International Wader Studies 18*. International Wader Study Group, Thetford, UK., 55-58.
- Van Roomen, M., van Turnhout, C., van Winden, E., Koks, B., Goedhart, P., Leopold, M. & Smit, C. (2005) Trends van benthivore watervogels in de Nederlandse Waddenzee 1975-2002: grote verschillen tussen schelpdiereneters en wormeneters. *Limosa*, 78, 21-38.
- Van Roomen, M., van Winden, E., Koffijberg, K., Boele, A., Hustings, F., Kleefstra, R., Schoppers, J., van Turnhout, C., SOVON Ganzen- en Zwanenwerkgroep & Soldaat, L. (2004) Watervogels in Nederland in 2002/2003. *RIZA-rapport BM04.09, SOVON-monitoringrapport 2004/09. SOVON Vogelonderzoek, Beek-Ubbergen / RIZA Lelystad*, 235 p.
- Van Roomen, M., van Winden, E., Koffijberg, K., Ens, B., Hustings, F., Kleefstra, R., Schoppers, J., van Turnhout, C., SOVON Ganzen- en Zwanenwerkgroep & Soldaat, L. (2006) Watervogels in Nederland in 2004/2005. *RIZA-rapport BM06.14, SOVON-monitoringrapport 2006/02. SOVON Vogelonderzoek, Beek-Ubbergen*, 191 p.
- Van Roomen, M., van Winden, E., Koffijberg, K., van den Bremer, L., Ens, B., Kleefstra, R., Schoppers, J., Vergeer, J.-W. & SOVON Ganzen- en Zwanenwerkgroep & Soldaat, L. (2007) Watervogels in Nederland in 2005/2006. *Waterdienst-rapport BM07.09, SOVON-monitoringrapport 2007/03. SOVON Vogelonderzoek, Beek-Ubbergen*, 182 p.
- Van Stralen, M. (2008) Inventarisatie van het wilde mosselbestand in de Waddenzee in het najaar van 2008. *MarinX notitie 2008.76.1, Scharendijke*, 16 p.
- Van Zweeden, C., Goudswaard, P.C. & Troost, K. (2010) Het mosselbestand en het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen in de Waddenzee in het voorjaar van 2010. *IMARES rapport C139/10, IJmuiden*, 28 p.

- Verhulst, S., Oosterbeek, K., Rutten, A. L. & Ens, B.J. (2004) Shellfish fishery severely reduces condition and survival of oystercatchers despite creation of large marine protected areas. *Ecology and Society*, 9, Article 17.
- Verweij, J. (1956) De Waddenzee als voedsel-areaal voor vogels bij strenge kou. *Ardea*, 44, 218-224.
- Wetlands International. (2002) Waterbird population estimates - Third edition. *Wetlands International Global Series No. 12, Wageningen*, 226 p.
- Wiersma, P. & Piersma, T. (1994) Effects of microhabitat, flocking, climate and migratory goal on energy expenditure in the annual cycle of Red Knots. *Condor*, 96, 257-279.
- Wiersma, P., van Winden, E., Koffijberg, K., Oosterbeek, K., Zoetebier, D. & Ens, B.J. (2011) Voortgangsrapportage monitoring vogels in de Waddenzee in het kader van de nieuwe gaswinstingen over de periode 1990-2009. *SOVON-onderzoeksrapport 2011-01*, 47 p.
- Witbaard, R. & Kamermans P. (2010) De bruikbaarheid van de klepstandmonitor op Ensis directus ten behoeve van de monitoring van aan zandwinning gerelateerde effecten. *NIOZ rapport 2009-10*.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N. & Smith, G.M. (2007) Analysing ecological data. *Springer, New York*.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A. & Smith, G.M. (2009) Mixed effects models and extensions in ecology with R. *Springer, New York*.
- Zwarts, L. (1970) Wadvogelinventarisaties op een fourageergebied. *Schierboek*, 4, 102-112.
- Zwarts, L. (1991) Mosselbanken: wadvogels op een kluitje. *Vogels*, 61, 8-12.
- Zwarts, L. (1991) Seasonal variation in body weight of the bivalves *Macoma balthica*, *Scrobicularia plana*, *Mya arenaria* and *Cerastoderma edule* in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 31, 231-245.
- Zwarts, L. & Blomert, A.M. (1992) Why Knot *Calidris canutus* take medium-sized *Macoma balthica* when six prey species are available. *Marine Ecology Progress Series* 83, 113-128.
- Zwarts, L., Blomert, A.M. & Wanink, J.H. (1992) Annual and seasonal variation in the food supply harvestable by Knot *Calidris canutus* staging in the Wadden Sea in late summer. *Marine Ecology Progress Series*, 83, 129-139.
- Zwarts L., Ens B.J., Goss-Custard J.D., Hulscher J.B. & dit Durell S.E.A. le V. (1996a) Causes of variation in prey profitability and its consequences for the intake rate of the Oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Ardea*. 84A, 229-268.
- Zwarts, L., Ens, B.J., Goss-Custard, J.D., Hulscher, J.B. & Kersten, M. (1996b) Why Oystercatchers *Haematopus ostralegus* cannot meet their daily energy requirements in a single low water period. *Ardea*, 84A, Special Issue, 269-290.

12 Verantwoording

Rapport C155/11

Projectnummer: 430.82010.08

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. T.J.W. Ysebaert
Senior onderzoeker

Handtekening:

Akkoord: Dr. P. Kamermans
Senior onderzoeker

Handtekening:

Datum: 1 december 2011

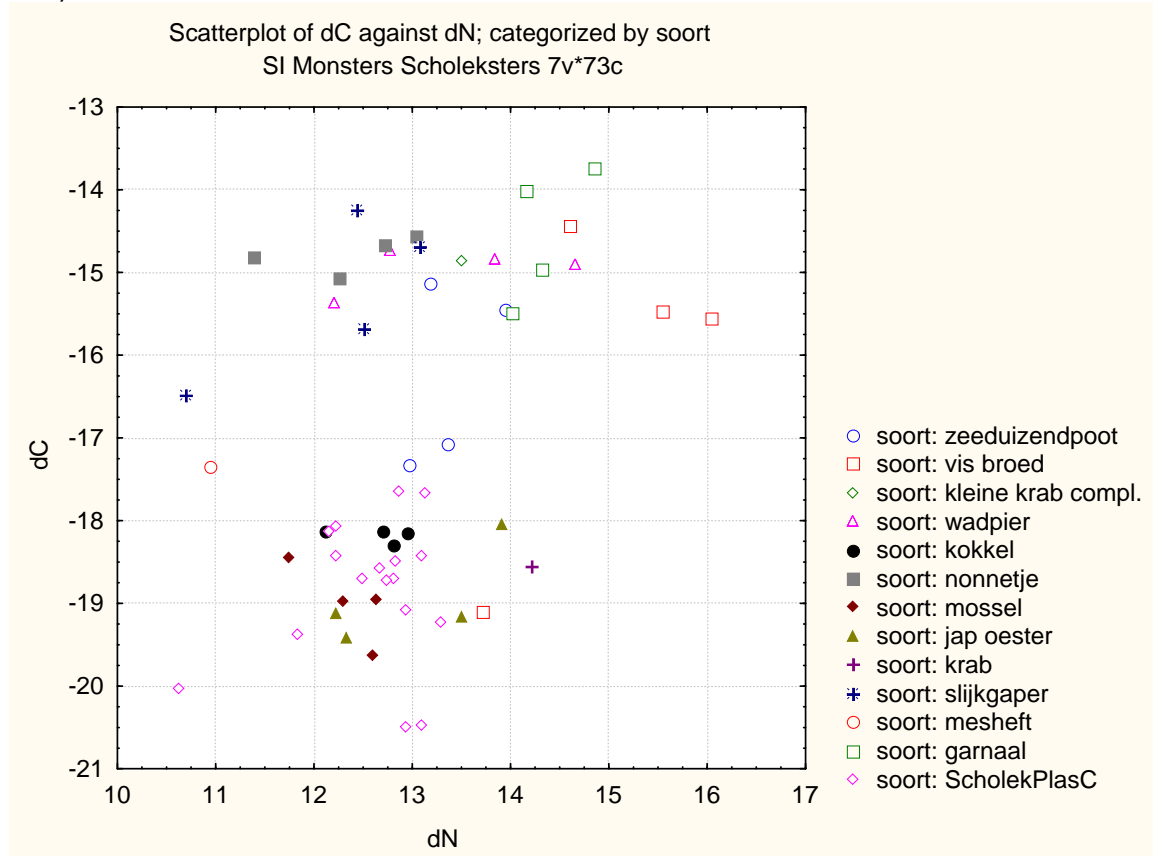
Akkoord: Drs. F.C. Groenendijk
Afdelingshoofd

Handtekening:

Datum: 5 december 2011

Bijlage 1: Prey choice and prey fidelity in Oystercatchers

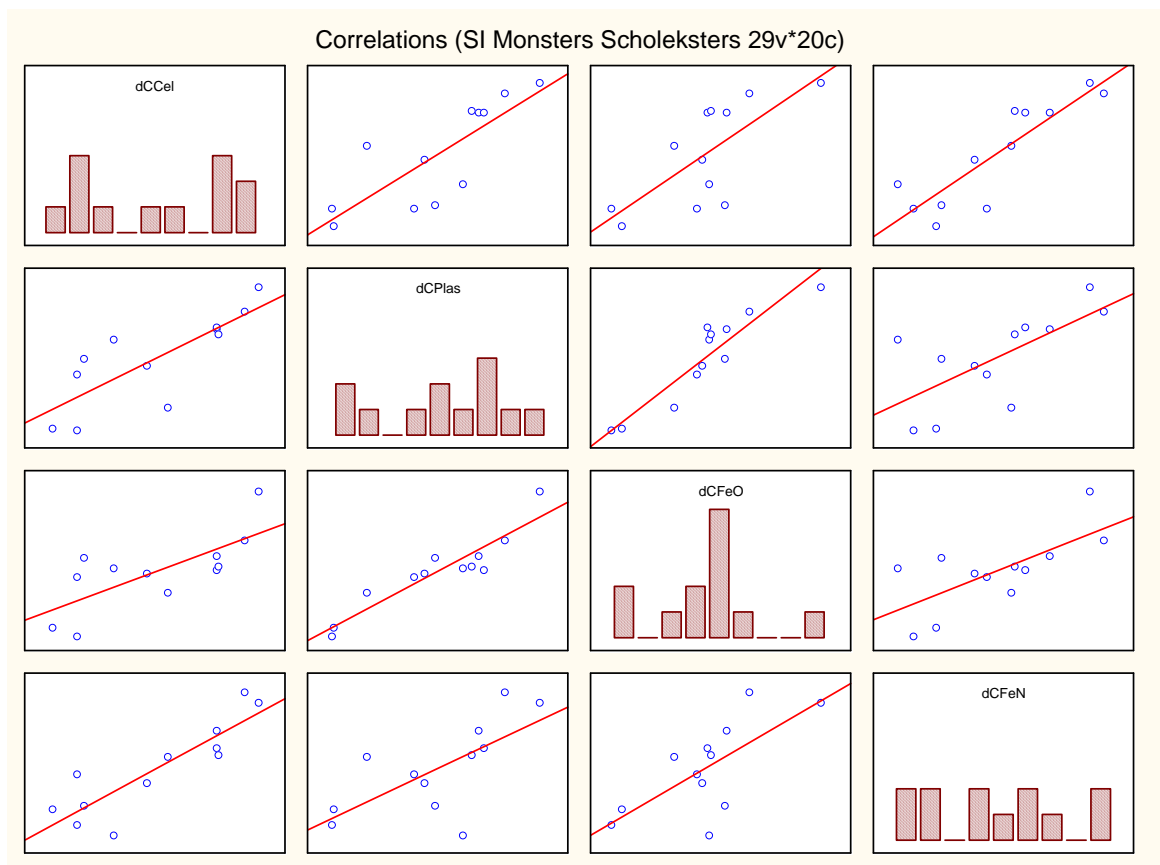
We used nitrogen and carbon stable isotope ratio (δN and δC , respectively) analyses to elucidate prey choice. Potential prey items of Oystercatchers were gathered in the vicinity of Schiermonnikoog and analysed for δN and δC .



This analysis indicated considerable variation in both δN and δC and a clear distinction in stable isotope ratios among prey species notably with respect to δC . Unfortunately however, considerable overlap existed among prey groups (e.g. shellfish versus worms). Only pelagically filter feeding shellfish (Mussel, Oyster, Cockle) had a distinctly lower δC than all benthic feeders (e.g. Nereis, Macoma). The site of sampling appeared to have little effect (data not shown).

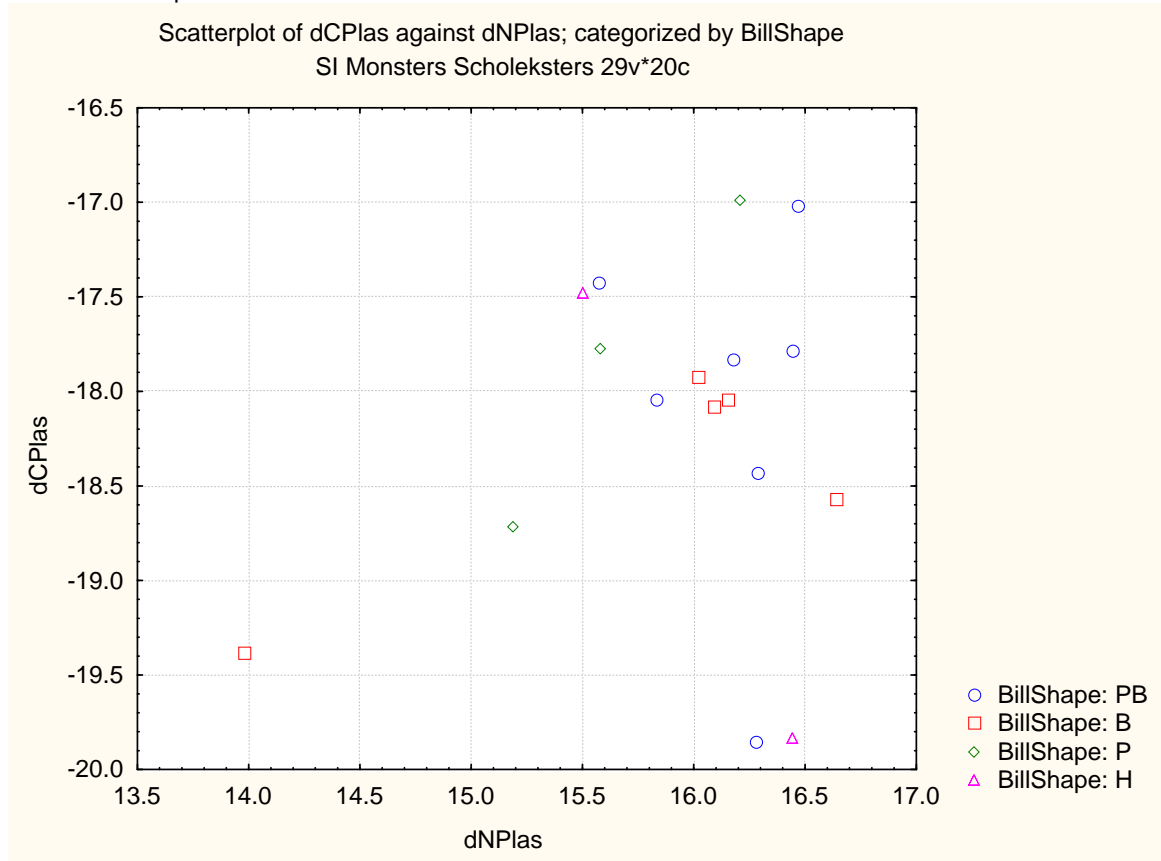
Twenty Oystercatchers were caught in the vicinity of Schiermonnikoog between 31 August and 29 September 2008. Of most of the birds caught an old feather, a new feather a blood cell sample and a blood plasma sample was collected and analysed for δN and δC . These tissues contain information of diet choice across an approximately one-year time scale. Two δN data points were deleted from the data set since they were apparently aberrant. Correlation between the δC of these samples was high, ranging between 0.67 and 0.93. For δN correlations were generally poor (graphs not shown), with significant results for the dNPlas-dNFeO (0.63) and dNPlas-dN Cel (0.61) comparisons only. Nevertheless, especially since prey-species can be differentiated on the basis of δC , we can rather safely conclude that these data indicate a generally high fidelity in prey choice in individual birds.

Correlations (SI Monsters Scholeksters) Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=12 (Casewise deletion of missing data)						
Variable	Means	Std.Dev.	dCCel	dCPlas	dCFeO	dCFeN
dCCel	-17.5336	0.766598	1.000000	0.799412	0.725862	0.875391
dCPlas	-18.4008	0.912354	0.799412	1.000000	0.927192	0.679284
dCFeO	-16.9525	0.882848	0.725862	0.927192	1.000000	0.695787
dCFeN	-16.9692	1.428104	0.875391	0.679284	0.695787	1.000000



In Figure 1, I also plotted plasma δN and δC for the sampled birds after correcting them for discrimination effects (-3.35‰ for δN and -0.65 for δC , following Evans-Ogden et al. [2004, Auk] and Dietz et al. [submitted]). This comparison indicates that the Oystercatchers sampled were probably mostly eating Mussels, Oysters, Cockles and Nereis.

In Oystercatchers, the general foraging mode can be inferred from bill type. Unfortunately however, given the species-specific δC in prey we do not expect a parallel between bill type and prey δC . Only the "hammer" bill type might be an exception here, being a bill type often associated with the consumption of Oysters and Mussels, which had a distinctly low δC . However, the hammer bill type did not show a distinct δC pattern.



In conclusion:

1. There is considerable variation in δN and δC among potential prey species of the oystercatcher.
2. Prey species have distinct isotopic patterns, notably with respect to δC .
3. Unfortunately these distinct differences in δC among prey species are not ranked such that we expect a clear difference in δC in the tissues of oystercatchers with distinct bill types.
4. A close intra-individual correlation exists in tissues with a large variation in turnover rates (cells versus plasma) and moments of synthesis (old versus new feathers) indicating a high specialisation and faithfulness in prey choice for individual birds.