



# Het belang van de Ballastplaat voor wadvogels in de westelijke Waddenzee

Een literatuurstudie naar de effecten van zoutwinning op de aanwezige wadvogels

Sjoerd Duijns, Sander Holthuijsen, Anita Koolhaas & Theunis Piersma



# Het belang van de Ballastplaat voor wadvogels in de westelijke Waddenzee

Een literatuurstudie naar de effecten van bodemdaling door  
zoutwinning onder de Ballastplaat op de aanwezige vogelsoorten

Sjoerd Duijns, Sander Holthuijsen, Anita Koolhaas & Theunis Piersma

Rapport nr: 2013-8  
Datum: Augustus 2013  
Foto's omslag: Ondergaande zon boven de Ballastplaat; overvliegende  
bergeend, wad nabij Ballastplaat en kanoet  
wegvliëgend met kokkel; S. Duijns



Het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, NIOZ

Landsdiep 4

1797 SZ 't Horntje

Texel

Dit rapport is uitgevoerd in opdracht van Natuur Monumenten en de Waddenvereniging, maar geheel zonder  
verdere inmenging vanuit de opdrachtgevers geschreven. De conclusies komen voor rekening van het NIOZ.

## INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
1 Inleiding.....	8
1.1 Doel van deze literatuurstudie .....	8
2 Juridische status van het Werelderfgoed Waddenzee .....	10
2.1 Natura 2000 en de Waddenzee .....	10
2.1.1 Natura 2000 en de bergeend .....	10
2.1.2 Natura 2000 en de kanoet .....	11
2.2 De Waddenzee als cruciale schakel .....	12
2.3 Carry-over effecten.....	13
2.4 Cumulatieve negatieve effecten.....	13
2.4.1 Recreatie en militaire oefeningen .....	13
2.4.2 Menselijke exploitatie.....	13
2.4.3 Natuurlijke veranderingen .....	14
3 Het studiegebied: de Ballastplaat .....	15
3.1 Huidige situatie .....	16
3.2 Getijverlenging.....	17
3.3 Macrozoöbenthos.....	17
3.4 SIBES .....	18
3.4.1 Soorten diversiteit.....	19
3.4.2 Verspreiding per soort .....	20
4 Het belang van de Ballastplaat voor bergeenden .....	28
4.1 Huidige situatie .....	28
5 Het belang van de Ballastplaat voor kanoeten .....	31
5.1 De spiermaag van de kanoet .....	32
5.2 De kanoet en de westelijke Waddenzee .....	32
5.3 De kanoet in relatie tot de Ballastplaat .....	34

5.4 De kanoet en de getijverlenging.....	35
5.5 Cumulatieve negatieve effecten op de kanoetenpopulatie.....	36
5.6 Veldbezoek februari 2013 .....	38
5.7 Beschikbaar foerageergebied kanoeten.....	39
6 Effecten van bodemdaling .....	40
6.1 Minder droogvallende wadplaten .....	40
6.2 Verandering sedimentatie samenstelling.....	41
6.3 Een kortere droogvalduur .....	44
7 Dankwoord .....	45
Referenties .....	46

## SAMENVATTING

---

Frisia Zout B.V. onderzoekt de mogelijkheid om vanaf het land op een diepte van 2.5 tot 3 kilometer onder de Waddenzee zout te winnen. Natuurmonumenten en de Waddenvereniging hebben het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) gevraagd de ecologische consequenties te onderzoeken van de verwachte bodemdaling door deze zoutwinning op de Ballastplaat.

Uit langjarig wadvogelonderzoek is duidelijk dat de Ballastplaat van groot belang is voor trekkende wadvogels. Volgens het ingediende Milieu Effect Rapportage (MER), door ingenieursbureau ARCADIS, zou de winning geen aantoonbaar effect hebben op beschermde wadvogels, maar in deze MER is belangrijk, openbaar gepubliceerd, en *peer-reviewed* ecologisch onderzoek in het Ballastplaatgebied niet meegenomen. In het MER is ook niet onderkend dat wadvogels als de kanoet in korte maar cruciale perioden van de Ballastplaat afhankelijk zijn.

De Ballastplaat ligt ter hoogte van Harlingen in het breedste deel van de Waddenzee. Dit zorgt voor een unieke situatie in de Waddenzee ten aanzien van het tij: tussen Richel, bij Vlieland en de Ballastplaat zit twee uur tijverschil. Op geen enkele andere plek in de Nederlandse Waddenzee bestaat een dergelijke situatie. Vandaar dat wadvogels als de kanoet en andere steltlopers dankbaar gebruik maken van deze unieke 'getijverlenging' in de westelijke Waddenzee. Ze kunnen per dag vier uur extra foerageren, door met het tij mee te trekken.

De Ballastplaat is de laatste tien jaar ook uitgegroeid tot een belangrijk gebied voor ruiende bergeenden. Eenden kunnen tijdens de rui van hun vleugels bijna een maand niet vliegen. Ze zijn dan erg kwetsbaar voor verstoring en zoeken rustige gebieden op. Sinds 1997 ruien er steeds meer bergeenden rond de Ballastplaat. Dat hangt samen met de toename van beschikbaar voedsel als slijkgarnaaltjes. Bodemdaling kan een effect hebben op de samenstelling van het sediment, en daarmee op de bodemfauna. Slijkgarnaaltjes hebben een voorkeur voor fijn sediment. In de westelijke Waddenzee bevindt dit fijne sediment zich voornamelijk rondom het studiegebied van de Ballastplaat en dit verklaart waarom bergeenden hier zo massaal voorkomen. De bodemdaling en de daarop volgende suppletie zal het sediment grover maken. Dit kan dus tot veranderingen leiden in het voedselaanbod voor bergeenden.

De Ballastplaat is ook een cruciale schakel in de westelijke Waddenzee voor kanoeten die broeden op de toendra bij de Poolzee en overwinteren in de Waddenzee of verder zuidelijk. Kanoeten kraken schelpen in hun spiermaag. Aan het einde van de zomer, wanneer deze vogels uit de Arctische broedgebieden terugkomen hebben ze kleinere magen. Een vogel die net uit het noorden terugkomt heeft dan ook enige tijd behoefte aan 'luxer voedsel' dan alleen schelpdieren. Kanoeten moeten in zo'n periode het aantal uren dat ze dagelijks aan foerageren besteden verhogen om genoeg voedsel binnen te krijgen. De getijverlenging rond de Ballastplaat is daarbij de sleutel. Ook in perioden van extreme kou maken wadvogels gebruik van de extra mogelijkheden om te foerageren rond de Ballastplaat. Elders op het

wad kunnen ze bij extreme kou in een etmaal niet voldoende energie binnen krijgen om warm te blijven

Dit zijn alleen de directe gevolgen van de afname in potentieel foerageergebied en de evenredige afname van kanoeten. Daarnaast wordt er in het MER van uitgegaan dat de bodemdaling gecompenseerd gaat worden door natuurlijke sedimentage en kunstmatige zandsuppletie. Dit zal een verandering in sedimentsamenstelling tot gevolg hebben, waardoor de bentische soortensamenstelling ook verandert. Uitgaande van alleen al de gemiddelde dichtheid van 10 kanoeten per ha voor de hele Waddenzee is met het verlies van beschikbaar wad een afname van ruim 2.000 vogels te verwachten. Dat is ongeveer 5% van de huidige najaarspopulatie. Daarnaast zal de overleving van de gehele populatie afnemen. Omdat nagenoeg alle kanoeten in de westelijke Waddenzee op enig moment gebruik maken van de Ballastplaat zullen de werkelijke verliezen aan kanoeten kunnen oplopen tot het verdwijnen van een kwart van de huidige populatie.

Zowel de kanoet als de bergeend zijn in Nederland beschermde soorten. In het kader van de nota van toelichting van Natura 2000 is bepaald dat de populaties van deze soorten in standgehouden dienen te worden. Voor de kanoet is verder ook aangegeven dat de kwaliteit van het leefgebied verbeterd moet worden.

## 1 INLEIDING

---

Frisia Zout B.V. onderzoekt de mogelijkheid om vanaf het land onder de Waddenzee, op een diepte van 2.5 tot 3 kilometer zout te winnen door oplosmijnbouw. Hiervoor is door ARCADIS een Milieu Effect Rapportage (MER) opgesteld. Daarin is bekeken of er bij deze zoutwinning (tijdelijke) effecten optreden op de morfologie en de ecologie van de Waddenzee. Het zout zal op enkele kilometers diepte onder de Waddenzee worden gewonnen. De bodemdaling van de diepe ondergrond zet zich door tot aan het oppervlak en kan via abiotische factoren ecologische effecten hebben.

De belangrijkste conclusie van het MER is dat er geen directe effecten van de bodemdaling op ecologische parameters te verwachten zouden zijn. Daarnaast verwacht ARCADIS dat er geen zogenoemde bodemdalingsschotel zal ontstaan. De daling van de bodem, zoals die van dag tot dag zal optreden onder de Waddenzee, wordt vrijwel direct vereffend door de steeds optredende erosie en sedimentatie, aldus het rapport. De bodemdaling wordt daarmee als het ware uitgesmeerd over een veel groter gebied dan de bodemdalingsschotel zelf, zoals ook bij de bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee het geval is. Volgens het rapport is de geleidelijke bodemdaling relatief klein ten opzichte van de natuurlijke dynamiek van de wadbodem. Daarnaast stelt het rapport dat de snelheid waarmee de sedimentatie kan plaatsvinden voldoende groot is om deze bodemdaling, zelfs in het diepste en snelst dalende deel van de bodemdalingsschotel, te vereffenen. De zeer kleine verlaging van de wadbodem is beoordeeld ten opzichte van de variatie en de trends in de ontwikkelingen die van nature optreden in het studiegebied. Het ontbreken van merkbare en meetbare morfologische effecten betekent dat er ook geen effecten op de ecologische waarden van het Waddensysteem verwacht worden, aldus het rapport.

### 1.1 DOEL VAN DEZE LITERATUURSTUDIE

---

In deze literatuurstudie vatten we de beschikbare wetenschappelijke literatuur samen en zullen we op basis van beschikbare data laten zien wat het belang is van het voorgestelde zoutwinningsgebied voor trekkende steltlopers en ruiende bergeenden, en wat de effecten kunnen zijn van bodemdaling op vogels die afhankelijk zijn van de Ballastplaat.

Het NIOZ, is het oceanografische instituut van Nederland. Het instituut verricht zowel fundamenteel als toegepast wetenschappelijk onderzoek om kennis te verzamelen over estuaria, zeeën en oceanen. De afdeling Marine Ecologie richt zich op het functioneren van de ecosystemen in getijde- en kustgebieden, kustzeeën en de open oceaan. Voortbouwend op een halve eeuw van Nederlandse observaties en experimenteel onderzoek aan vogels, zijn de kustvogels uit het getijdegebied onze modelorganismen geworden voor gedragsstudies en onderzoek naar de trofische ecologie van kustsystemen. Het werk baseert zich mede op de jaarlijkse 'Synoptic Intertidal Benthic Survey' (SIBES), een inventarisatie van veranderingen in het 'resource landscape' voor kustvogels. Voor het intergetijde van de gehele Waddenzee proberen we relaties te vinden tussen het voorkomen van benthische evertrebraten en de kustvogels die zich met deze soorten voeden. Naast de kanoet die zich voedt met weekdieren, richten we ons nu ook op een omnivore soort met een vergelijkbare levensloop, de rosse grutto. Miniatuur-zenders worden gebruikt om individuen te volgen op



hun tocht door diverse landschappen die de vogels op verschillende wijze in hun levensbehoeften voorzien. We volgen herkenbare populaties op hun jaarlijkse tocht van de Arctische gebieden via de Waddenzee naar West-Afrika. Deze internationale programma's zullen ons inzicht verschaffen in de effecten van een snel veranderende wereld op vogels en hun ecosystemen.

## 2 JURIDISCHE STATUS VAN HET WERELDERFGOED WADDENZEE

---

De Waddenzee is uniek in haar soort (van de Kam et al. 2004). Vanwege de bijzondere planten, dieren en landschappen die er te vinden zijn en door de bijzondere rol die het gebied wereldwijd vervult, is de bescherming van de Waddenzee vastgelegd in verschillende wetten, richtlijnen, verdragen en overeenkomsten die allemaal met elkaar in verbinding staan.

Sinds juni 2009 heeft het Nederlandse en Duitse gedeelte van de Waddenzee ook de status 'Werelderfgoed'. Deze status verandert niets aan deze beschermingsmaatregelen; er komen geen nieuwe regels bij. Dat deze beschermde gebieden nu Werelderfgoed zijn geworden is vooral een bekroning van de jarenlange inzet van veel bewoners, organisaties en overheden voor het gebied.

Naast wereldwijde verdragen zoals OSPAR en RAMSAR zijn er ook belangrijke Europese en landelijke overeenkomsten en verdragen zoals de Habitat- en Vogelrichtlijn. De Europese Unie heeft in de Vogelrichtlijn vastgelegd op welke manier de vogels in Europa beschermd moeten worden. De richtlijn geeft het doel aan, de lidstaten zijn verplicht om met wetten dit doel te bereiken. Daarnaast moeten de landen maatregelen nemen om voor deze vogels een 'voldoende gevarieerd leefgebied van voldoende omvang te beschermen, in stand te houden of te herstellen'. Volgens de Vogelrichtlijn moeten alle natuurlijk in Europa in het wild levende vogelsoorten en hun eieren, hun nesten en hun leefgebieden door de Europese landen worden beschermd. Nederland heeft de Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn geïmplementeerd in de Flora- en faunawet en de Natuurbeschermingswet. Samen zorgen deze bepalingen voor bescherming van de soorten en bescherming van de leefgebieden.

### 2.1 NATURA 2000 EN DE WADDENZEE

---

In het Natura 2000 aanwijzingsbesluit Waddenzee zijn concrete instandhoudingsdoelen geformuleerd. Tevens wordt met dit besluit de aanwijzing van de Waddenzee als speciale beschermingszone onder de Vogelrichtlijn, inclusief de daarbij behorende Nota van toelichting, gewijzigd.

#### 2.1.1 NATURA 2000 EN DE BERGEEND

---

In het Natura 2000 aanwijzingsbesluit Waddenzee is over de bergeend het volgende opgenomen:

**Doel:** Behoud omvang en kwaliteit leefgebied met een draagkracht voor een populatie van gemiddeld 38.400 vogels (seizoensgemiddelde).

**Toelichting:** Aantallen bergeenden zijn van grote internationale en zeer grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied en slaappleaats. De draagkrachtschatting heeft betrekking op beide functies. De Waddenzee levert met circa 70% van de Nederlandse bergeenden verreweg de grootste bijdrage voor deze vogels binnen Nederland. De soort is het hele jaar aanwezig, met de hoogste aantallen

tussen september en november, de laagste in april en mei en een kleiner minimum in augustus, wanneer een deel van de vogels voor de rui tijdelijk naar het Duitse Waddengebied trekt. Een groeiend aantal (10-20.000) ruit ook in de Nederlandse Waddenzee, onder andere bij Wieringen en onder Ameland. Buiten de ruitijd zijn de grootste concentraties te vinden langs de kusten van het vasteland. Aantallen waren lange tijd stabiel. Recent is er enige toename. Behoud van de huidige situatie is voldoende gezien de landelijk gunstige staat van instandhouding.

Uit deze toelichting van het aanwijzingsbesluit blijkt dat de bergeend beschermd moet worden en de huidige aantallen in stand gehouden moeten worden.

---

### 2.1.2 NATURA 2000 EN DE KANOET

---

In het Natura 2000 aanwijzingsbesluit Waddenzee is over kanoeten het volgende opgenomen:

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

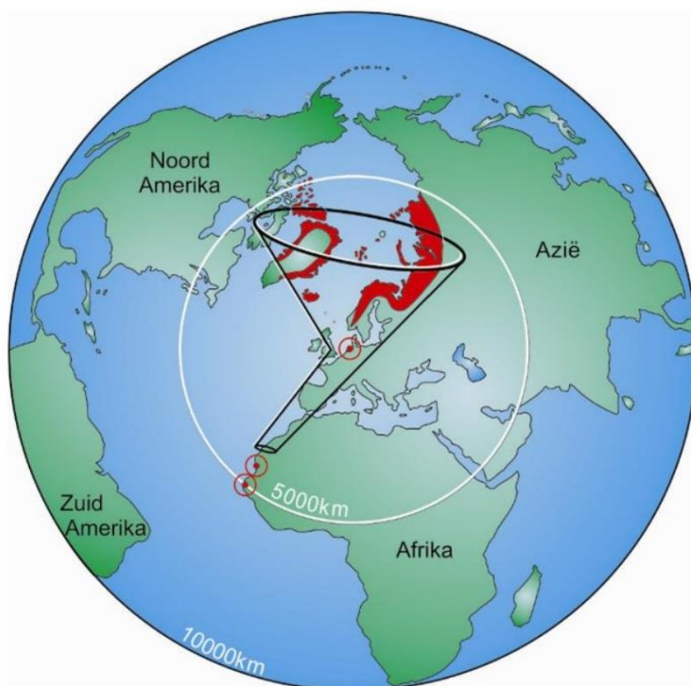
**Toelichting:** Aantallen kanoeten in de Waddenzee zijn van grote internationale en zeer grote nationale betekenis. Het gebied heeft voor de soort met name een functie als foerageergebied en slaapplek. De draagkrachtschatting heeft betrekking op beide functies (gebaseerd op tellingen van hoogwater-vluchtplaatsen). De Waddenzee levert voor de kanoet de grootste bijdrage binnen Nederland. De soort is het hele jaar aanwezig, met lage aantallen van mei tot juli, relatief hoge aantallen van augustus tot februari en een doortrekkiepiek in augustus, die wordt toegeschreven aan de 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 de Vliehors, Richel en Griend. De soort overtijt in zeer grote groepen maar wisselt sterk tussen de beschikbare plaatsen, met een zeer grote actieradius. De overwinteraars behoren tot de Groenlands/Canadese ondersoort *islandica*. Aantallen waren eerst stabiel en zijn daarna fors toegenomen. Sinds de eerste helft van de jaren negentig zijn ze weer fors afgenomen. Deze afname wordt voor een (klein) deel gecompenseerd door toename in de zoute Delta en resulteert in aantallen die vergelijkbaar zijn met 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. Omdat daardoor ook de andere aspecten van de staat van instandhouding (matig) ongunstig zijn, is verbetering van kwaliteit leefgebied in het doel opgenomen.

Uit deze toelichting mag je dus concluderen dat de kanoet beschermd moet worden en de huidige aantallen in stand gehouden moeten worden. Daarnaast zouden er maatregelen genomen moeten worden die de kwaliteit van het leefgebied verbeteren.

## 2.2 DE WADDENZEE ALS CRUCIALE SCHAKEL

De Waddenzee is zoals gezegd een belangrijk getijdegebied voor miljoenen vogels die er broeden of er de winter doorbrengen (van de Kam et al. 2004). Bovendien maakt een groot aantal vogels in het Waddengebied een noodzakelijke tussenstop om bij te tanken tijdens de lange trek van en naar de overwinteringgebieden in West-Afrika en de Arctische broedgebieden tussen Noord-Canada en Siberië (Piersma 2007). Deze vogels volgen de zogenoemde Oost-Atlantische trekroute, waarbinnen de Waddenzee een cruciale schakel is (Figuur 1). Jaarlijks maken 10 tot 12 miljoen vogels gebruik van de Waddenzee. De Waddenzee is zo aantrekkelijk vanwege haar rijke flora en fauna en vanwege de ruimte en rust om er voedsel te zoeken en tijdens hoogwater ongestoord te overtijen. Vooral de hoge dichtheden aan schelpdieren (o.a. Bocher et al. 2007) maken het voorkomen van gespecialiseerde schelpdieretende vogelsoorten mogelijk. Het grootste deel van de wadvogels bestaat uit steltlopers die allemaal, zij het in verschillende mate, migreren.

Bedreigingen zijn vaak het eerst merkbaar in organismen die hoog in de voedselketen staan. Vogels springen daarbij het meest in het oog. Zij zijn ook goede graadmeters van de staat waarin de Waddenzee zich bevindt. Momenteel worden aantalsontwikkelingen van wadvogels goed gevolgd, maar betrouwbare internationale overzichten per vogelsoort ontbreken. Bovendien worden bedreigingen vaak te laat opgemerkt of blijft onduidelijk wat de oorzaken van bepaalde negatieve ontwikkelingen zijn.



**Figuur 1.** Voor de trekvogels van vele toendragebieden speelt de Waddenzee een cruciale rol als tussenstation tijdens de trek naar zuidelijker gelegen Waddengebieden, en als eindstation in de winter. De Waddenzee vormt daarom een onderdeel van een internationaal meta-ecosysteem.

## 2.3 CARRY-OVER EFFECTEN

---

Veel wadvogels komen in bepaalde perioden in het jaar in andere gebieden langs de Oost-Atlantische trekroute voor. Daardoor kunnen ontwikkelingen in het ene gebied de soort ook op andere plaatsen beïnvloeden. Dit worden *carry-over* effecten genoemd. Zo kan bijvoorbeeld de industriële visserij in West-Afrika een nadelig effect hebben op wadvogels bij ons.

De dalende aantallen vogels rond het wad worden in andere West-Europese getijdengebieden (nog) niet waargenomen. Ook omdat uitgerekend twee vogelsoorten, scholekster en eidereend, die het hele jaar door in de Waddenzee aanwezig zijn in aantal achteruitgaan (Ens et al. 2009), is het toch aannemelijk dat de belangrijkste oorzaken voor de achteruitgang van wadvogels in het Waddengebied zelf gezocht moeten worden.

## 2.4 CUMULATIEVE NEGATIEVE EFFECTEN

---

De ligging van de Waddenzee in het welvarende en dichtbevolkte West-Europa zorgt voor verschillende bedreigingen. Al deze bedreigingen hebben ook een cumulatief effect. Bijvoorbeeld door de mechanische kokkelvisserij zijn in het verleden al vogelsoorten in aantal afgenomen (o.a. Piersma et al. 2001; van Gils et al. 2006a). Andere factoren komen daar nog eens bovenop. Zo hebben stabiele structuren als mosselbanken en zeegrasvelden een belangrijke rol in de sedimenthuishouding van de Waddenzee. Ze vormen biodiverse bodemgemeenschappen die een voorspelbare voedselbron voor veel vogelsoorten opleveren. Door menselijke ingrepen worden die natuurlijke waarden van de Waddenzee bedreigd. Grootschalige exploitatie van schelpdieren als kokkels tast de basis van het Waddenzee-ecosysteem aan. Het heeft negatieve gevolgen voor de sedimenthuishouding en de bodemfauna. Het herstel van deze ingrepen verloopt bovendien traag.

---

### 2.4.1 RECREATIE EN MILITAIRE OEFENINGEN

---

Toenemende recreatiedruk en militaire oefeningen in het Waddengebied zorgen voor verstoring van wadvogels, vooral op hoogwatervluchtplaatsen en ruilocaties van zeeëenden (Koolhaas, Dekinga & Piersma 1993; Spaans, Bruinzeel & Smit 1996). Ook ruimtelijke ontwikkelingen als de aanleg van windmolenparken en havenuitbreiding zorgen voor een verkleining van het foerageer- en rustgebied voor wadvogels.

---

### 2.4.2 MENSELIJKE EXPLOITATIE

---

Garnalenvisserij zorgt door het gebruik van uiterst fijnmazige netten waarschijnlijk voor veel bijvangst van jonge vis. Naast exploitatie van natuurlijke bronnen als vis, schelp- en schaaldieren en van delfstoffen als gas en zout, tast ook recreatie en het gebruik als militair oefenterrein de natuurlijke waarden van de Waddenzee aan.

Wat kunnen we leren van de problematiek van de gaswinning? De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) is in 2007 gestart met aardgasexploitatie onder delen van het Wad en het Lauwersmeer. Hierbij wordt het principe van 'hand aan de kraan' gehanteerd: de

gaswinning moet worden gestaakt wanneer zou blijken dat er schadelijke effecten zijn op abiotische of biotische factoren. In een, in opdracht van de NAM uitgevoerde, poweranalyse laten Wiersma et al. (2009), zien dat met de huidige vogeltelinspanning in principe trendbreuken in 9 van de 10 onderzochte broedvogelsoorten zouden kunnen worden aangetoond. Aangezien volgens het voorliggende MER voor de zoutwinning onder de Ballastplaat, deze zoutwinning een veel snellere bodemdaling dan gaswinning tot gevolg zal hebben, zou een dergelijke poweranalyse voor trekvogels op zijn plaats zijn geweest.

---

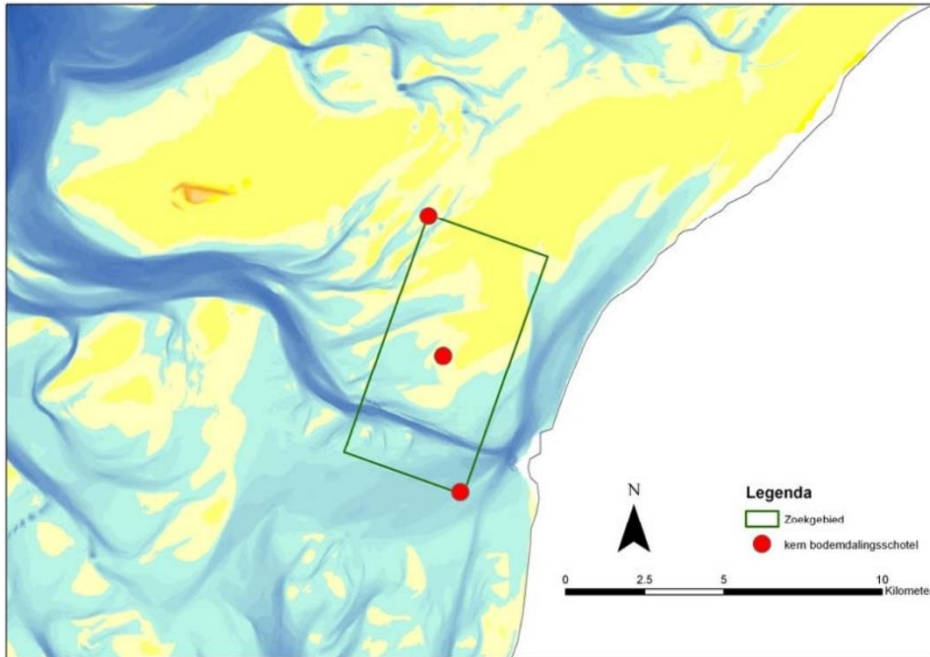
### 2.4.3 NATUURLIJKE VERANDERINGEN

---

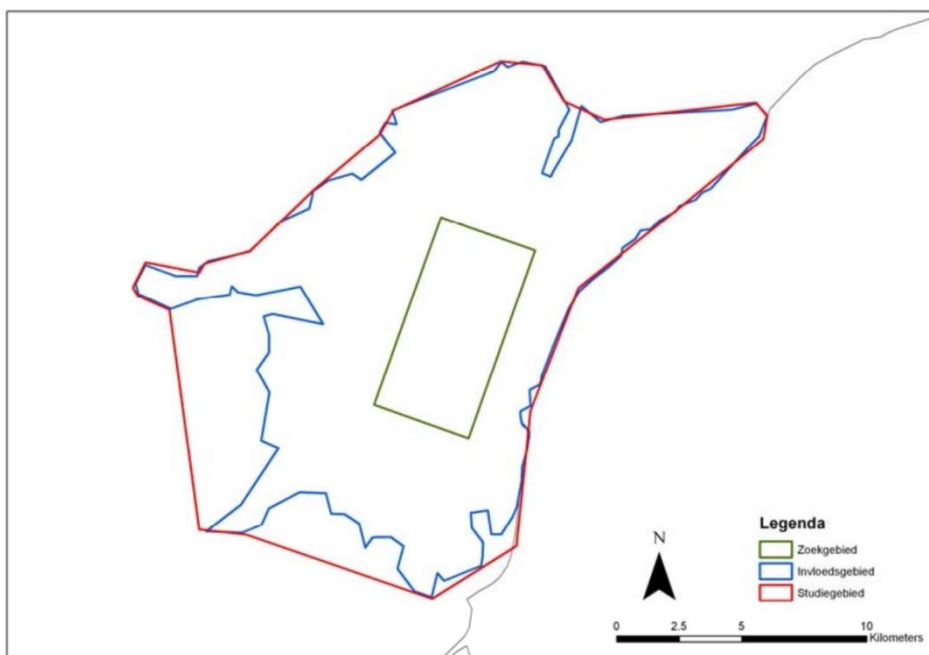
De opwarming van de aarde zal invloed hebben op de Arctische broedgebieden van veel wadvogels. Door zeespiegelrijzing kunnen getijdengebieden kleiner worden of zelfs verloren gaan.

### 3 HET STUDIEGEBIED: DE BALLASTPLAAT

Het zoekgebied in onderstaande figuur is het gebied waarin zoutwinputten aangelegd zouden kunnen worden (Figuur 2). Dit zoekgebied is vastgesteld in de startnotitie voor het Milieueffectrapport en wordt hierna aangeduid als de Ballastplaat. De zoutwinputten zullen zich onder het zoekgebied gaan bevinden. De bodemdaling die samenhangt met deze putten kan zich uitstrekken tot buiten het zoekgebied (Figuur 3).



**Figuur 2.** Zoekgebied zoals weergegeven in de startnotitie van het MER, met de drie kernen van de theoretische bodemdalingsschotels.



**Figuur 3.** Zoekgebied (groen), invloedsgebied (blauw) met contour (rood) die het studiegebied rondom de Ballastplaat vormt.

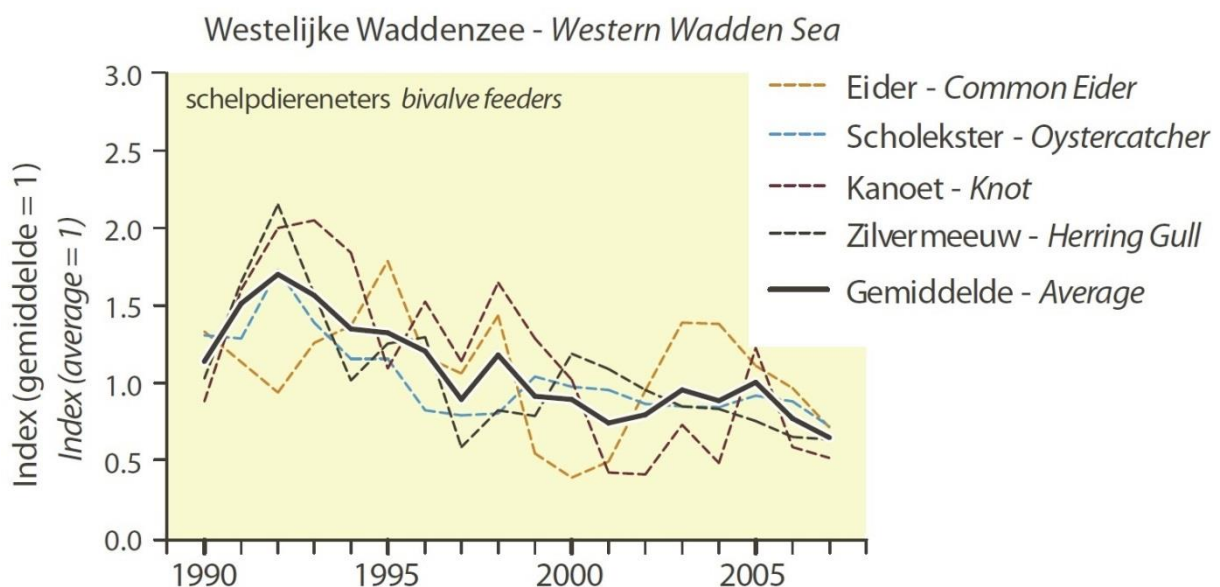
### 3.1 HUIDIGE SITUATIE

In alle gebieden in en rond de Waddenzee die bij hoogwater droog blijven, en waar zich hoogwatervluchtplaatsen kunnen bevinden, worden wadvogels geteld. Jaarlijks worden meerdere gebiedsdekkende, integrale hoogwatertellingen uitgevoerd. Sinds 1994 gebeurt dit vier tot vijf keer per jaar. Tegenwoordig worden integrale tellingen uitgevoerd in september, november, januari, mei en een jaarlijks wisselende maand. Naast deze integrale tellingen worden tien deelgebieden al jarenlang frequenter geteld, meestal maandelijks (steekproeftellingen) (Ens et al. 2009).

Voor de analyses zijn 18 algemene soorten wadvogels geselecteerd die voornamelijk op wadplaten of in geulen foerageren en die voor hun voedsel afhankelijk zijn van in en op de bodem levende ongewervelde dieren (Ens et al. 2009). Het dieet van deze vogelsoorten is op basis van de gewichtpercentages van hun prooidieren ingedeeld in drie categorieën:

- (1) soorten die hoofdzakelijk (>50%) leven van tweekleppige schelpdieren;
- (2) soorten die hoofdzakelijk (>50%) leven van wormen;
- (3) soorten die een gemengd dieet hebben of die leven van andere organismen in en op de bodem, zoals slakjes, garnalen en vlokreeftjes.

Schelpdiereneters in de westelijke Waddenzee laten een scherpe afname zien (Figuur 4). Ook voor de kanoeten geldt een dalende trend, wat duidt op een afname in voedselaanbod. Voor de soorten die voornamelijk wormen eten, waaronder kluit, bontbekplevier en rosse grutto, is er een toenemende trend te zien en soorten afhankelijk van een gemengd dieet zijn min of meer stabiel (Ens et al. 2009).

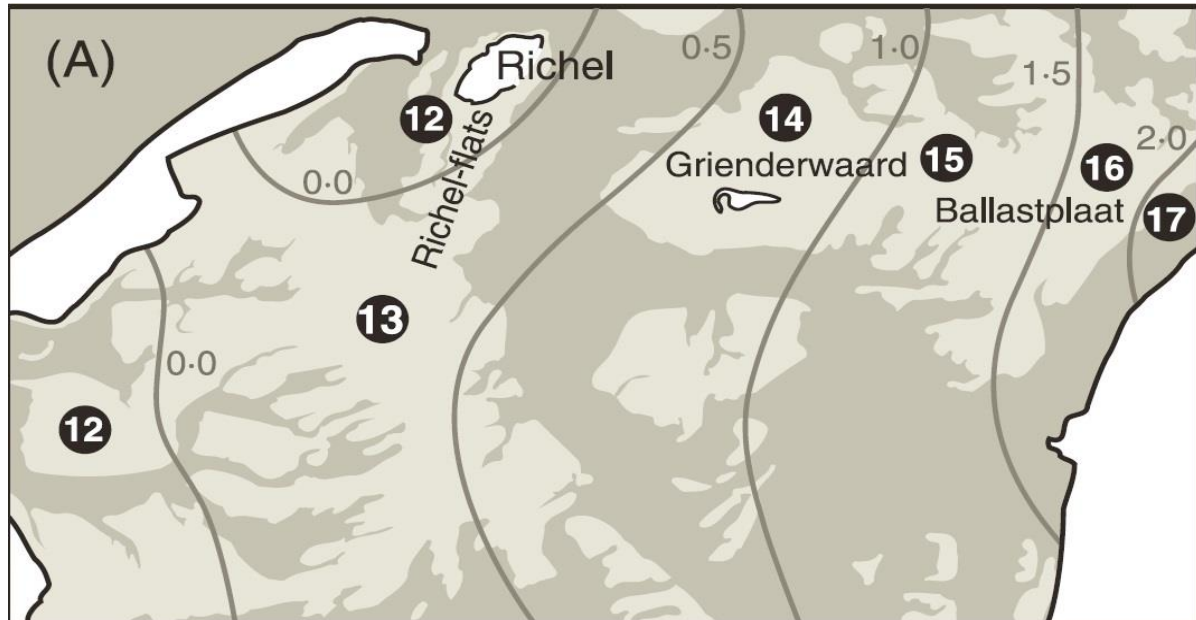


**Figuur 4.** Aantalveranderingen (index) per vogelsoort in 1990-2008 voor de schelpdiereneters in de westelijke Waddenzee (uit Ens et al. 2009).



### 3.2 GETIJVERLENGING

Doordat de Waddenzee in het voorgestelde zoutwingebied (Figuur 2 en 3) op zijn breedst is speelt rond de Ballastplaat het unieke fenomeen van getijverlenging. Bij het westelijk gelegen Richel is het zo'n twee uur eerder laagwater dan bij de oostelijk gelegen Ballastplaat. Hierdoor kan een steltloper twee uur extra foerageren per tij door oostwaarts mee te schuiven met het getij. Dit komt neer op vier uur extra eten per etmaal (Figuur 5).



**Figuur 5.** De getijverlenging in de westelijke Waddenzee. Vanwege de natuurlijke getijbeweging is het zo'n twee uur eerder laagwater bij het westelijk gelegen Richel dan bij de oostelijk gelegen Ballastplaat. Een steltloper kan hierop inspelen door in de trekijd, wanneer de voedselbehoefte groot is, twee uur per tij extra te foerageren door oostwaarts mee te schuiven met het getij. Dit komt neer op vier uur extra per etmaal (uit van Gils et al. 2005a).

Dit 'meeschuiven met het tij' is niet overal mogelijk. Het hangt samen met de breedte van de Waddenzee. In het oostelijke, smalle deel van de (Nederlandse) Waddenzee is het niet mogelijk, in het brede westelijke deel juist wel.

Er zijn aanwijzingen dat diverse steltlopers gebruik maken van deze getijverlenging, met name de trekkende soorten die voorafgaand aan de migratie naar de arctische zone in korte tijd moeten opvetten. Van rosse grutto's is bekend dat die hun dagelijkse foerageertijd met 80 tot 100% laten toenemen om het vertrekgewicht te kunnen halen (Duijns et al. 2009). Ook van andere soorten als zilverplevier, bonte strandloper, drieteenstrandloper en kanoet is bekend dat voorafgaand aan de trek de foerageertijd toeneemt. De getijverlenging kan hierin een cruciale rol spelen.

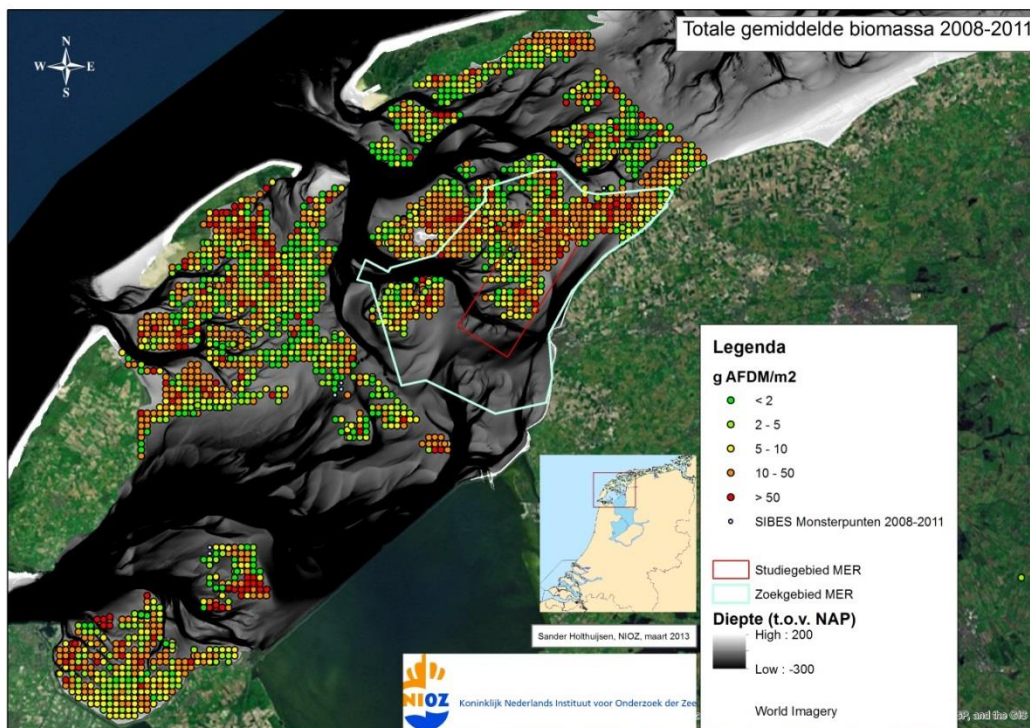
### 3.3 MACROZOÖBENTHOS

Het voedsel voor zowel vogels als vissen bestaat voornamelijk uit macrozoöbenthos. Dit zijn alle organismen groter dan 1 mm levend in of op de bodem, zoals schelpdieren, wormen en slakken. Om het belang van deze organismen in te kunnen schatten is het belangrijk ze eerst in kaart te brengen.

### 3.4 SIBES

Het NIOZ is in 2008 begonnen met een langjarige synoptische macrozoöbenthos bemonstering van alle litorale (droogvallende) gebieden in de Waddenzee. Dit is het project SIBES (*Synoptic Intertidal Benthic Survey*). Vanaf het onderzoeksvaartuig RV *Navicula* wordt tijdens hoogwater met rubberbootjes, of lopend tijdens laagwater, de bodemfauna op de wadplaten bemonsterd met behulp van steekbuis en zeef. De monsterpunten liggen op 500 meter afstand verspreid over het hele droogvallende deel van de Nederlandse Waddenzee (Bijleveld et al. 2012; Compton et al. in druk). Op elk punt wordt een monster genomen tot een diepte van 30 cm, waarbij de bovenste 4 cm apart wordt gezeefd en uitgezocht. Die bovenste 4 cm zijn van belang voor soorten met een kortere snavel als de kanoet. Van de schelpdieren worden de lengtes gemeten, en vlees en schelp gewogen. Ook de wormen worden geteld, gemeten en gewogen door middel van asvrij drooggewicht (AFDM; Figuur 6).

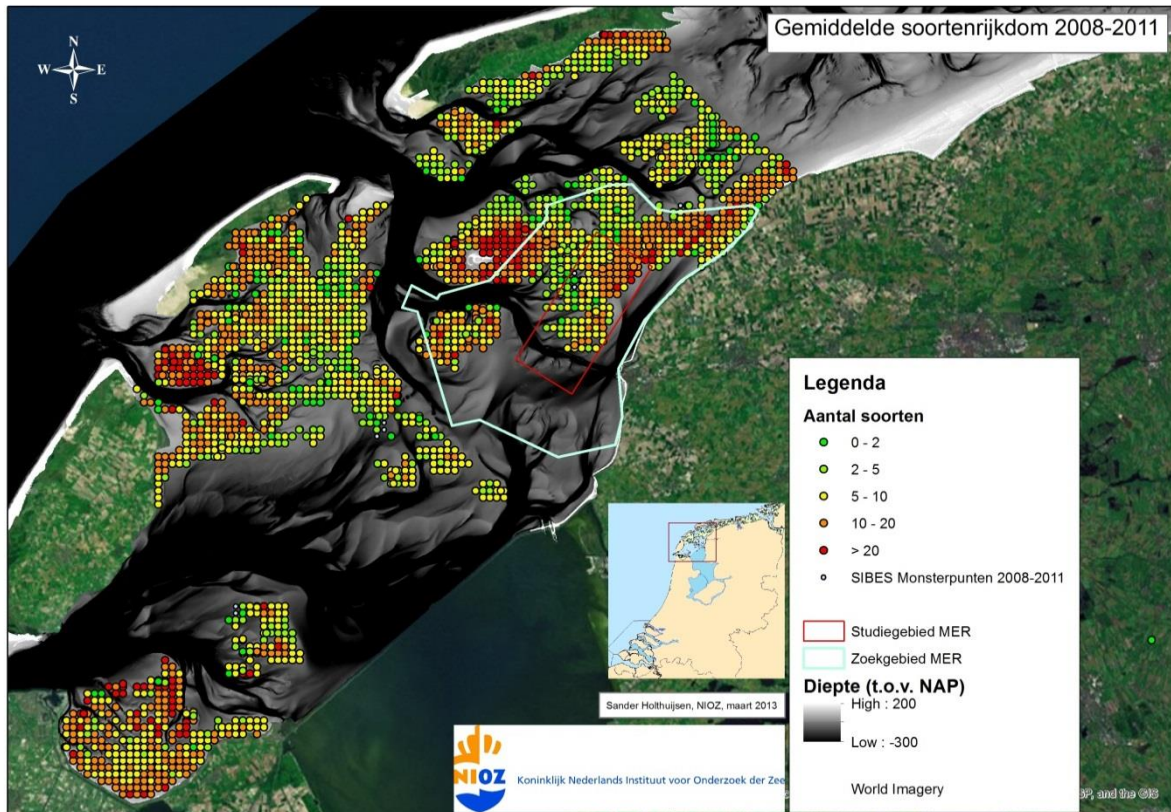
Vóór 2008 werd een soortgelijke bemonstering ook al uitgevoerd in de westelijke Waddenzee om de verspreiding van het voedsel voor steltlopers als de kanoet in kaart te brengen (o.a. van Gils et al. 2005a; van Gils et al. 2005b). Door alle, vooral antropogene, veranderingen in de fauna van de Waddenzee is het monitoren van de bodemfauna een steeds belangrijker doel op zich geworden (o.a. Piersma et al. 2001; van Gils et al. 2006a). Op grond van deze gegevens kan de biomassa en soortenrijkdom voor de hele droogvallende westelijke Waddenzee worden berekend (Figuur 6 en 7). Dit laat zien dat met name de hooggelegen gebieden zoals de Ballastplaat, maar ook het gebied ten oosten van Griend, het rijkst zijn (zie ook Compton et al. in druk).



**Figuur 6.** Een overzicht van de gemiddelde biomassa per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee. Dit overzicht betreft alle aanwezige macrozoöbenthos tot een diepte van 30cm. De hogergelegen gebieden als de Hengst, het oosten van Griend en het noordelijke deel van de Ballastplaat zijn de rijkste gebieden (in biomassa) van de westelijke Waddenzee. In het zuidelijke deel van de Ballastplaat bevinden zich geen droogvallende wadplaten, vandaar dat daar geen monsterspunten zijn genomen.

### 3.4.1 SOORTEN DIVERSITEIT

Uit de SIBES-gegevens blijkt de soortendiversiteit van de westelijke Waddenzee (Figuur 7). Hier is een vergelijkbaar patroon zichtbaar: het gebied ten oosten van Griend, Balgzand, de Hengst en het noordelijke deel van Ballastplaat zijn gebieden met de hoogste soortendiversiteit (> 20 soorten per monsterpunt).



**Figuur 7.** Een overzicht van de gemiddelde soortenrijkdom per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee. Dit overzicht betreft een gemiddelde van alle aanwezige macrozoöbenthos soorten tot een diepte van 30 cm.

---

### 3.4.2 VERSPREIDING PER SOORT

---

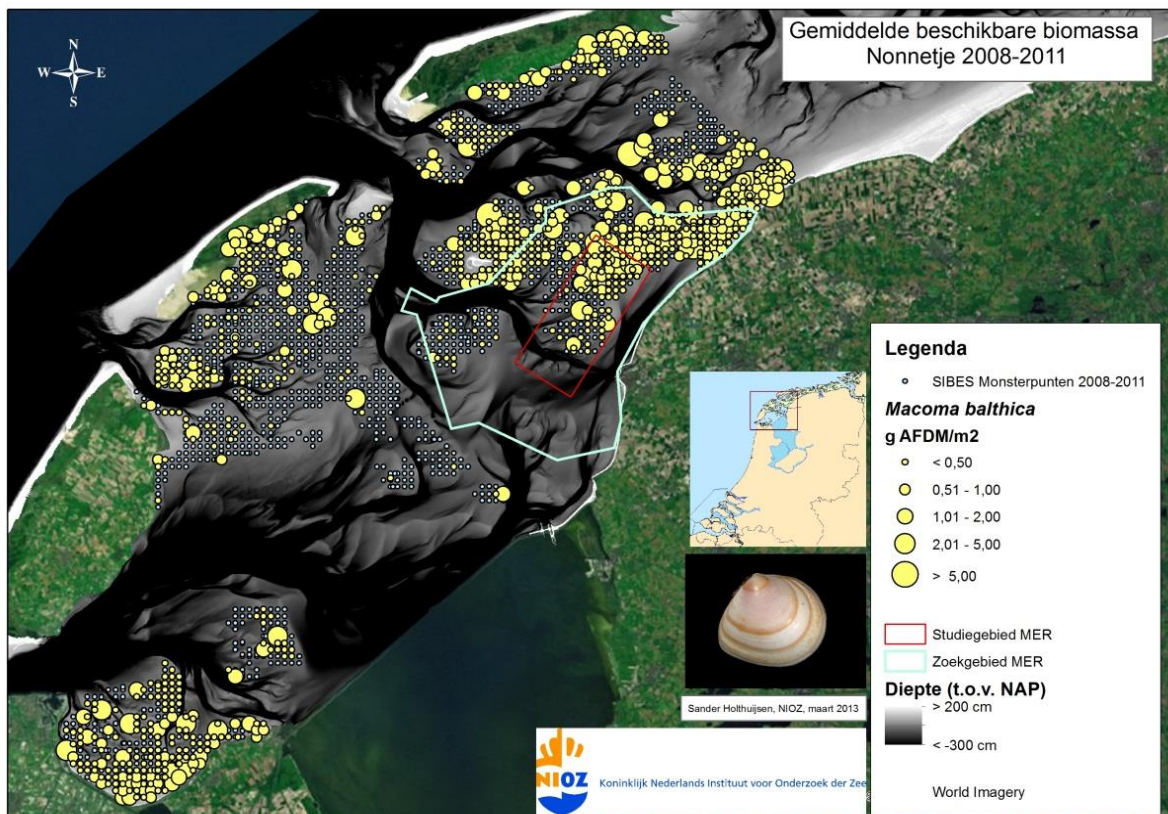
De kanoet is een sleutelsoort onder de wadvogels die van de Ballastplaat afhankelijk zijn. Hun dieet bestaat voornamelijk uit schelpdieren. Daarom zullen we in de volgende paragraaf aandacht besteden aan de verspreiding van de belangrijkste prooien voor kanoeten die het hele jaar gegeten worden. Op basis van veldonderzoek is per soort een grootteklasse bepaald die voor kanoeten nog bereikbaar (top 4 cm van het sediment) en inslikbaar (grootte van de prooi) is. De grootteklasse voor de volgende soorten is vastgesteld (uit Zwarts & Blomert 1992)

Soort	Max. lengte in mm
nonnetje	16
kokkel	12
strandgaper	17
platte slijkgaper	14
mossel	21
wadslakje	niet van toepassing

### 3.4.2.1 HET NONNETJE

Het nonnetje is een zogenoemde *filterfeeder* die het voedsel via een sypho uit het water haalt. Nonnetjes foerageren tijdens hoog- en in mindere mate met laagwater. Het nonnetje filtert zijn voedsel (algen, andere micro-organismen en detritus) uit het zeewater en kan dus alleen tijdens overstroming foerageren (Newell 1965).

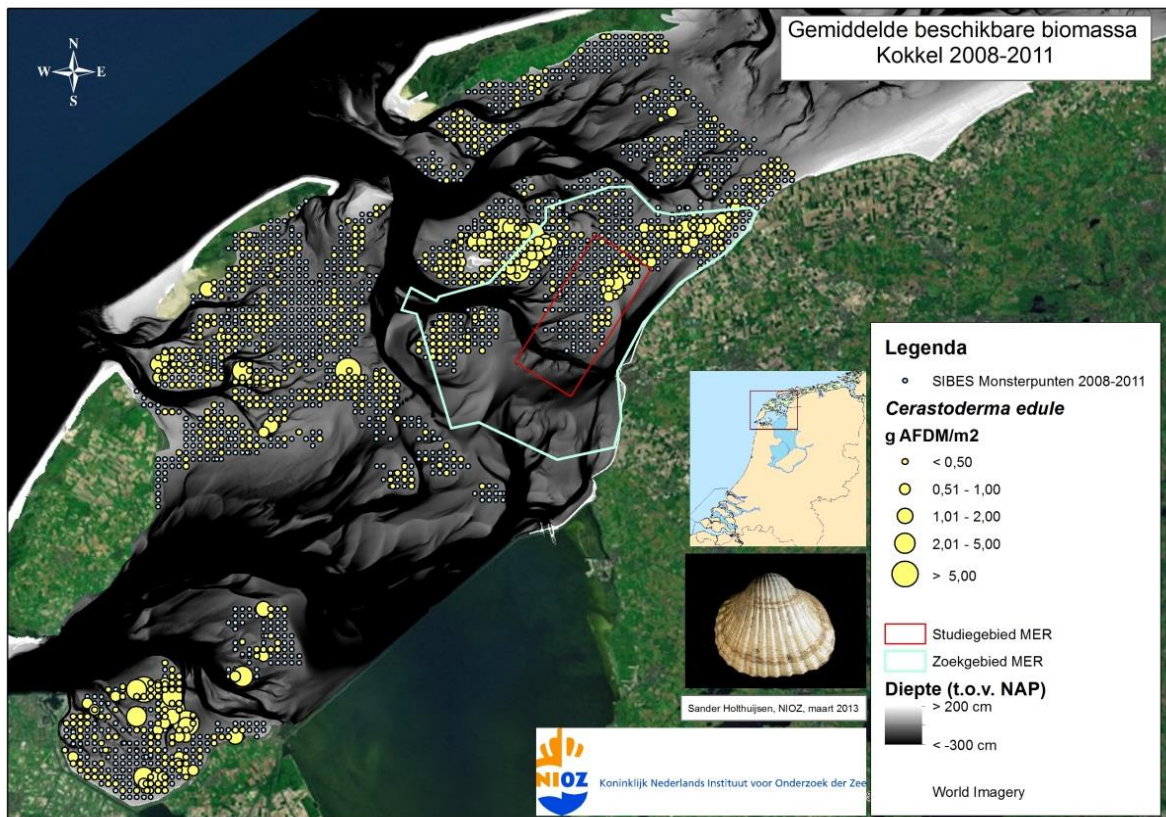
Het nonnetje is van oudsher de favoriete prooi van kanoeten. Nonnetjes hebben een relatief dunne schelp en veel vlees ten opzichte van bijvoorbeeld de kokkel (o.a. van Gils et al. 2005c). Nonnetjes met een maximale lengte van 16 mm in de bovenste 4 cm van het sediment zijn in aantal en biomassa talrijk rond Griend en de Ballastplaat (Figuur 8).



**Figuur 8.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa van het nonnetje per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.

### 3.4.2.2 DE KOKKEL

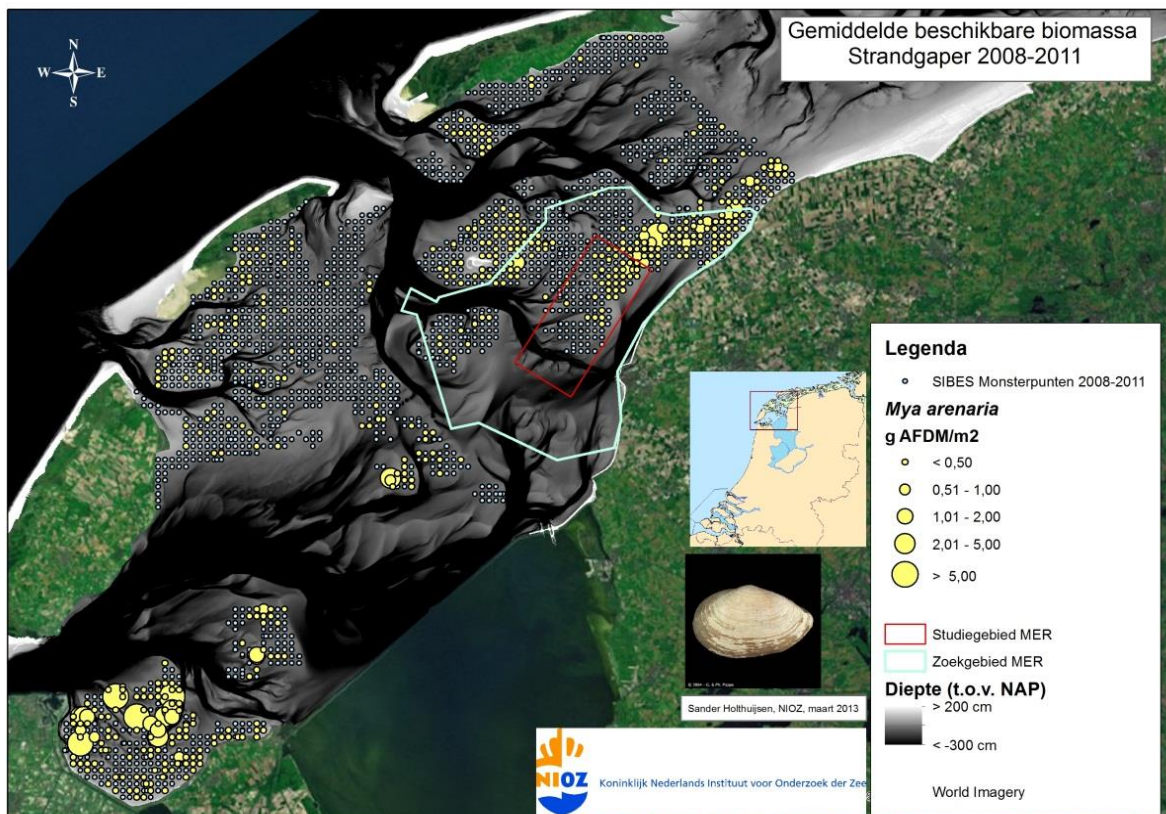
De kokkel is een tweekleppig schelpdier dat algemeen voorkomt in de ondiepe kustwateren en estuaria in Nederland. Het dier leeft ondiep ingegraven in de bodem, vooral op laagwater droogvallende platen. De kokkel is zeer algemeen en heeft een geklusterde verspreiding (Figuur 9). De Vlas (1982) heeft in 1980 monsters genomen verspreid over de gehele Waddenzee en vond 83% van de kokkels op kokkelbanken met een dichtheid van minimaal 300 kokkels per m<sup>2</sup>. Deze kokkelbanken bedekten 18% van het wad. Kokkelbroed kan voorkomen in duizenden, tot tienduizenden individuen per m<sup>2</sup>. Voor kokkels die ouder zijn dan een jaar is de dichtheid meestal niet hoger dan enkele honderden per m<sup>2</sup>. De kokkel filtert zijn voedsel (algen, andere micro-organismen en detritus) uit het zeewater en kan dus alleen tijdens overstroming foerageren.



**Figuur 9.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa van de kokkel per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.

### 3.4.2.3 DE STRANDGAPER

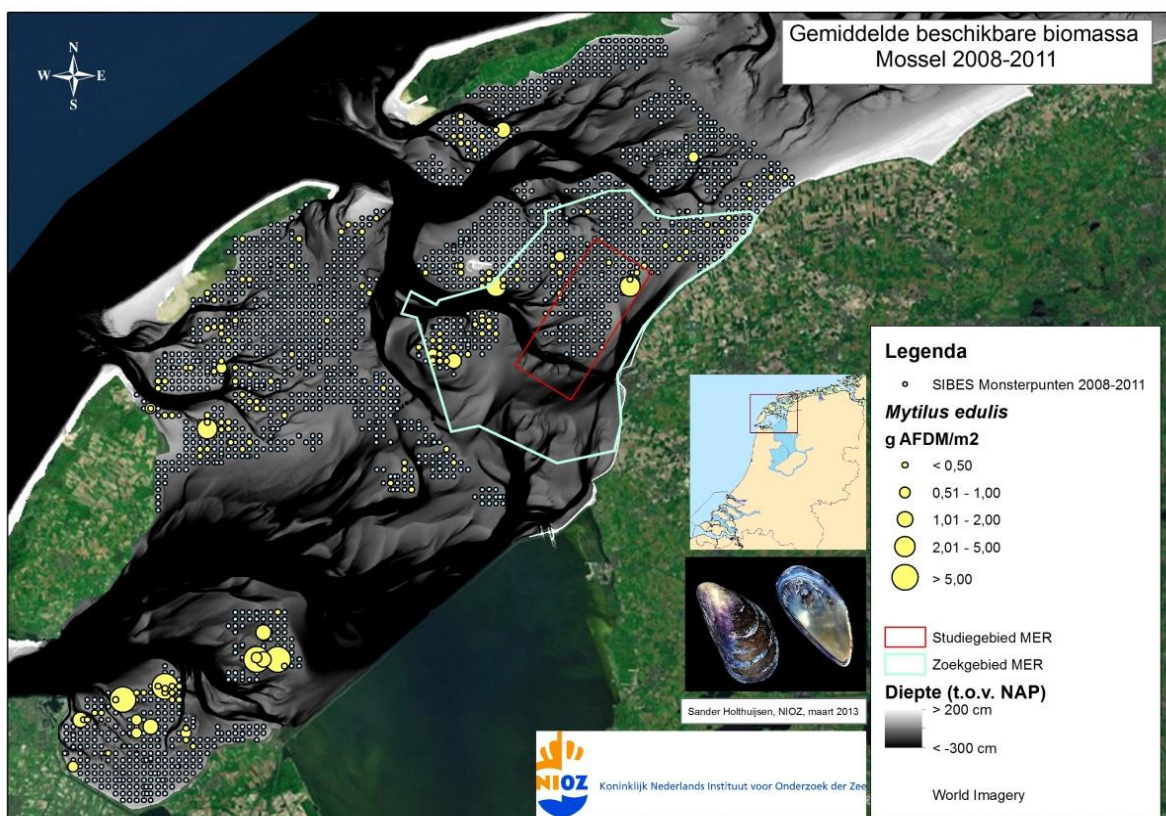
De strandgaper is een soort die vooral voorkomt in het intergetijdegebied en leeft in een verticale positie op een diepte van maximaal 40 cm in het sediment, afhankelijk van leeftijd en de lengte van de adembuis of siphon. Ook de strandgaper is een filterfeeder die met zijn siphon micro-organismen (flagellaten) en detritus uit het water haalt. Daarnaast kan de strandgaper met zijn siphon voedseldeeltjes van het sedimentoppervlak naar binnen trekken. De strandgaper levert in de Nederlandse Waddenzee een belangrijke bijdrage aan de totale biomassa van de bodemdieren (Figuur 10). Van jaar tot jaar kunnen zich echter grote verschillen voordoen in gemiddelde biomassa (Beukema 1976). Op het Balgzand lag de biomassa van alle bodemdieren in de jaren zeventig tussen 15 en 24 gram/m<sup>2</sup>. Van alle soorten varieerde de biomassa van de strandgaper het meest: 1-11 gram m<sup>2</sup>. Deze variatie wordt verklaard door de onregelmatige en meestal niet succesvolle broedval. Wanneer de broedval wel massaal en succesvol is kan dit binnen enkele jaren tot een zeer grote dichtheid leiden (Beukema 1982). Wanneer het broed van 3-10 mm is uitgegroeid tot schelpen van 2-5 cm, is de dichtheid al zeer sterk gereduceerd (Zwarts 1988).



**Figuur 10.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa van de strandgaper per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.

### 3.4.2.4 DE MOSSEL

Mosselen zijn een belangrijke voedselbron voor veel wadvogels. Bovendien leven veel vogels van de organismen die op en tussen de mosselen op banken voorkomen. Jonge mosseltjes die net de grootte hebben bereikt om zich op de wadbodem te vestigen (mosselbroedjes), klampen zich aan elkaar of aan dode schelpen vast met behulp van zogenaamde byssusdraden. Dit voorkomt dat de kleine schelpjes met de getijdestromen wegspoelen. Naast wegspoelen lopen opgroeiende jonge mosseltjes het risico om ten prooi te vallen aan krabben, zeesterren en vogels. Na de eerste winter bestaat er een goede kans dat de aan elkaar geklampte mosseltjes uit kunnen groeien tot een stabiele structuur, een zogenoemde mosselbank (Verwey 1952). Mossels komen zeer geconcentreerd voor in mosselbanken die meestal zijn gelegen op laaggelegen wadplaten waar voldoende stroming is (Verwey 1952; Figuur 11). Mossels kunnen alleen tijdens de hoogwaterperiode voedsel zoeken, wanneer het fytoplankton en ander fijn organisch materiaal uit het water wordt gefilterd. Wadplaten die boven NAP liggen en dus langer dan de helft van de tijd droogliggen zijn daarom ongeschikt. Er is om dezelfde reden een positief verband tussen groeisnelheid en overspoelingsduur (Baird & Drinnan 1957). De groei wordt ook geremd door een hoog slibgehalte van het water (Verwey 1952).

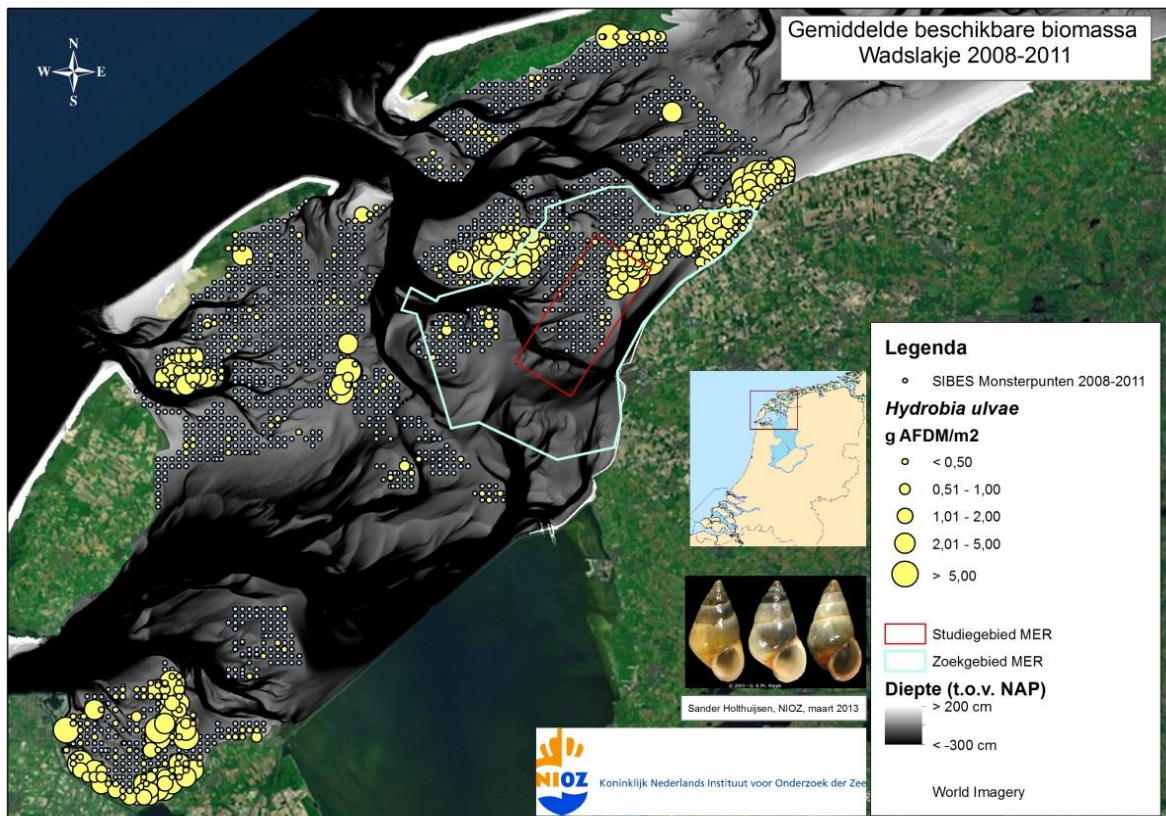


**Figuur 11.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa van de mossel per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.



### 3.4.2.5 HET WADSLAKJE

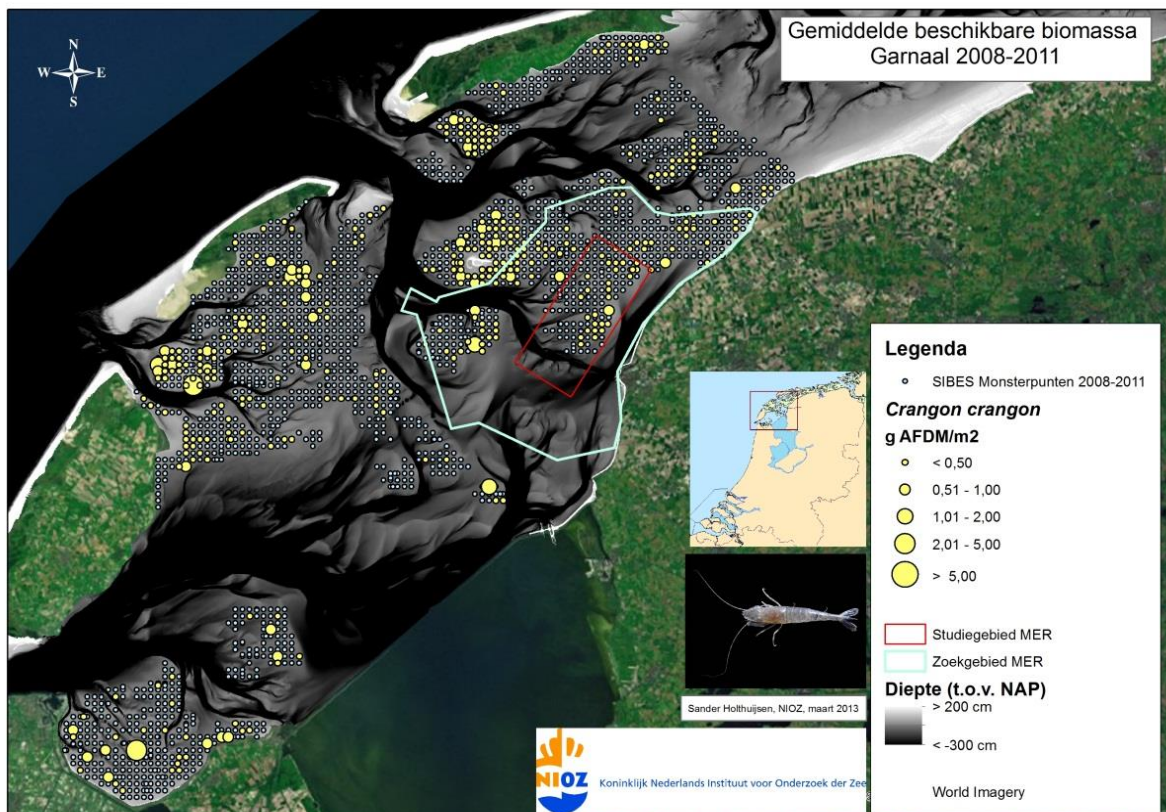
Het wadslakje is een herbivoor dat zowel graast op zeesla en zeegras, als ook leeft van de microflora op de zandkorrels (Newell 1964). Het wadslakje leeft op slikbodems in ondiep water in en net onder de getijdezone. Het wadslakje heeft een zeer geclusterde verspreiding en kan in enorme aantallen op het wad voorkomen (Figuur 12). Het wadslakje is een belangrijke voedselbron voor vele andere organismen, zoals diverse steltlopers (Dekinga & Piersma 1993; Moreira 1994).



**Figuur 12.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa van het wadslakje per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.

### 3.4.2.6 DE GARNAAL

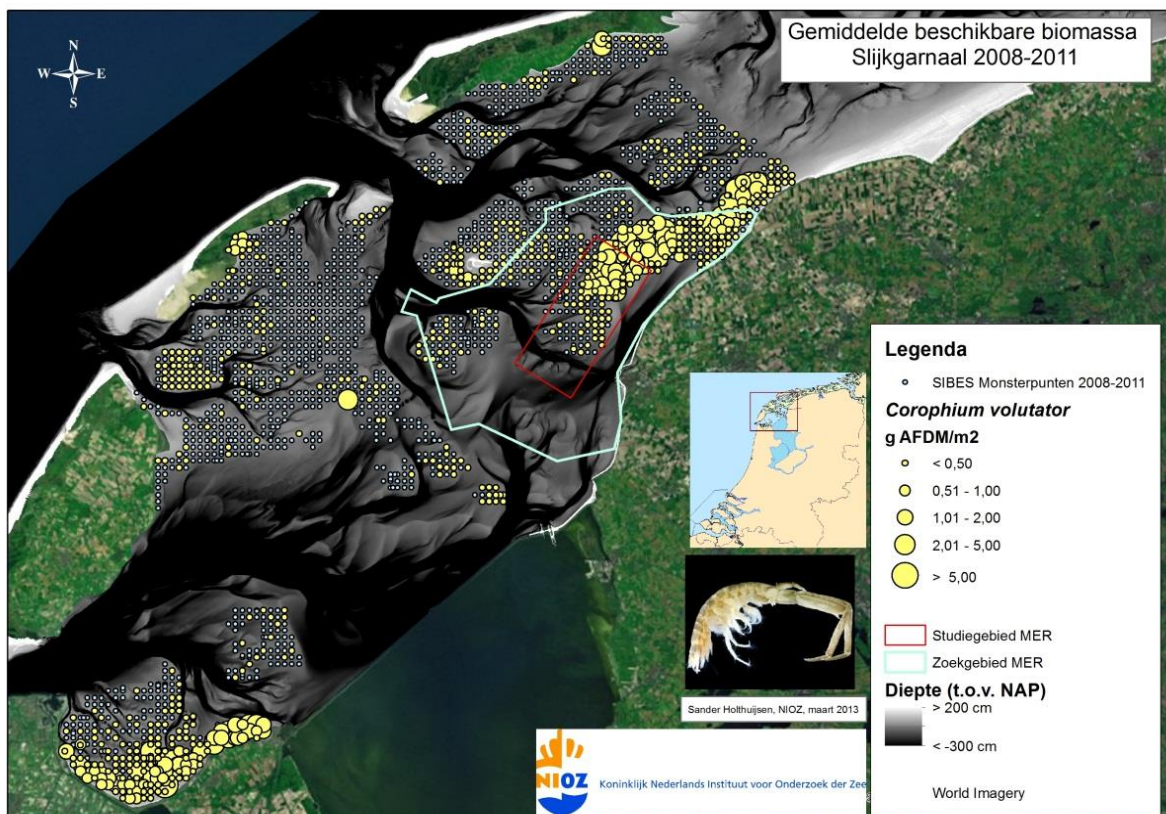
De garnaal is een kreeftachtige uit de orde van tienpotigen en is de bekendste garnalensoort. De lengte is gemiddeld 5 cm en de kleur is grijs tot bruin met een onregelmatige vlekjestekening. De garnaal kan van kleur veranderen om zich aan te passen aan de ondergrond en is dan nagenoeg onzichtbaar. De garnaal komt veel voor in kustwateren met een zanderige tot slibbige ondergrond (Figuur 13). De garnaal foerageert 's nachts over de bodem en graaft zich overdag in zodat alleen de ogen en voelsprieten uitsteken. Het is een alleseter die plantaardig materiaal, aas en borstelwormen eet. In de getijdzone vind je alleen garnalenbroed van 5 tot 25 mm, waarvan de broedval in april en mei heeft plaatsgevonden.



**Figuur 13.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa van de garnaal per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.

### 3.4.2.7 DE SLIJKGARNAAL

De slijkgarnaal komt algemeen voor op de hoger gelegen wadplaten in de Waddenzee (Figuur 14), waar ze leven in een u-vormige tunnel in het slik. De korrelgrootte van het sediment is erg belangrijk voor de stevigheid van de tunnel en er moet ook voldoende voedsel op de korrels zitten. Binnen zijn verspreidingsgebied bereikt de slijkgarnaal zeer grote dichtheden: gemiddeld 3 tot 10 duizend per m<sup>2</sup>. De maximale dichtheid kan oplopen tot wel 120 duizend per m<sup>2</sup> (Goss-Custard 2008). In de meeste studies is de dichtheid bepaald met behulp van een 1 mm zeef, wat een onderschatting oplevert (Fish & Mills 1979). De 1 mm zeef, die gebruikt wordt bij onderzoek in de Nederlandse Waddenzee, geeft alleen de dichtheden van de grootste slijkgarnaal van 5 tot 9 mm. De slijkgarnaal vindt het meeste voedsel door substraat te eten dat van het oppervlak wordt geschraapt. Ze selecteren daarbij het fijnste substraat en nemen vooral de bacteriën op die kleven aan de slib- en fijne zanddeeltjes van minder dan 63 µm (Fenchel, Kofoed & Lappalainen 1975).



**Figuur 14.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa van de slijkgarnaal per monsterpunt van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.

## 4 HET BELANG VAN DE BALLASTPLAAT VOOR BERGEENDEN

---

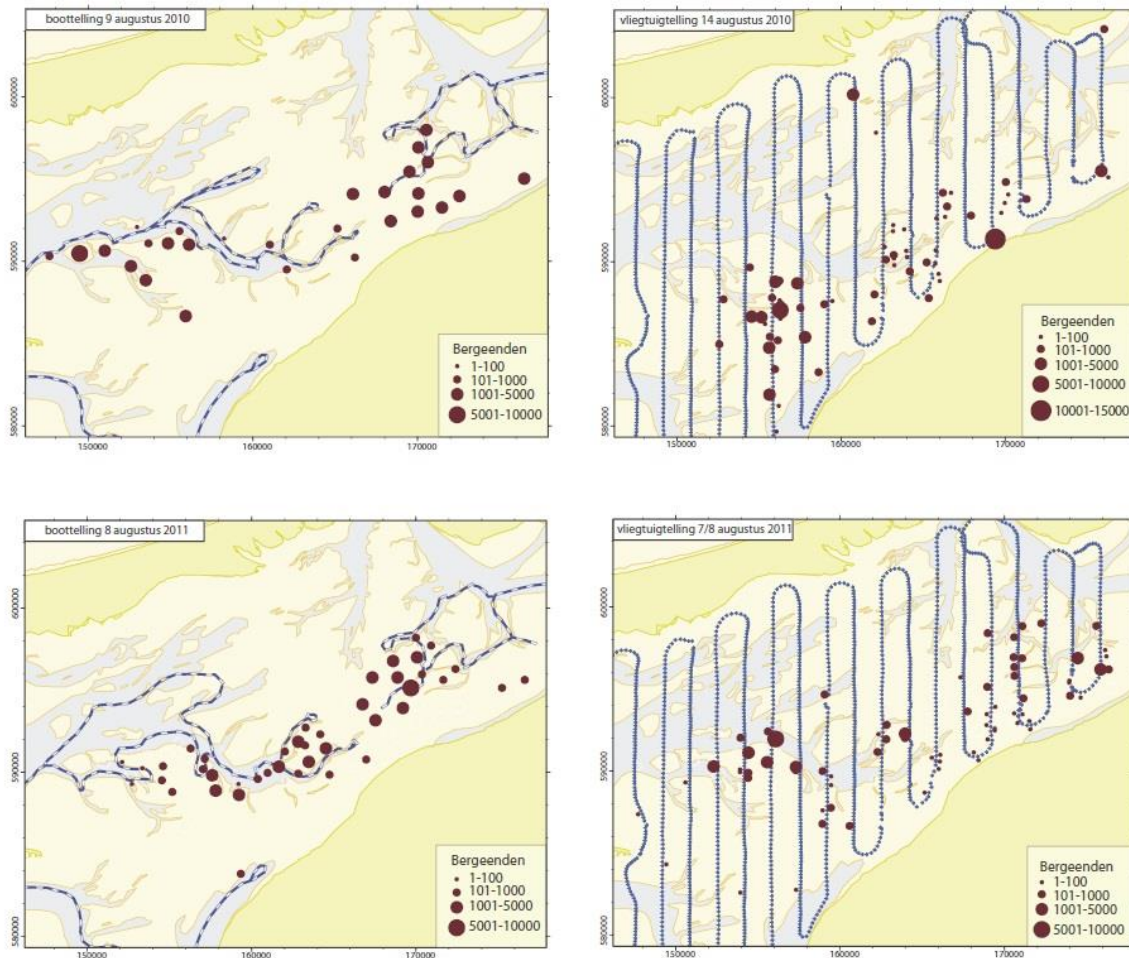
Bergeenden stonden in Nederland voorheen vooral bekend als broedvogel en overwinteraar. 's Zomers trokken ze langs de kust richting Duitse Wadden waar ze hun verenpak vernieuwden. Bergeenden kunnen tijdens hun ruiperiode bijna een maand niet vliegen. Ze zijn dan erg kwetsbaar voor menselijke verstoring en zoeken rustige gebieden in de Waddenzee op. Van oudsher ruien vrijwel alle West-Europese bergeenden in het Waddengebied van Sleeswijk-Holstein in Duitsland. Rond 1900 ruiden daar ruim 200.000 bergeenden. Sindsdien namen de aantallen er gestaag af en vormden zich steeds grotere ruiconcentraties in de Nederlandse wateren. De laatste vier decennia worden ook op andere plaatsen grote concentraties ruiende bergeenden waargenomen, bijvoorbeeld in de Nederlandse Waddenzee op het Balgzand en de Breehorn voor de kust van Den Helder (Swennen & Mulder 1995).

### 4.1 HUIDIGE SITUATIE

---

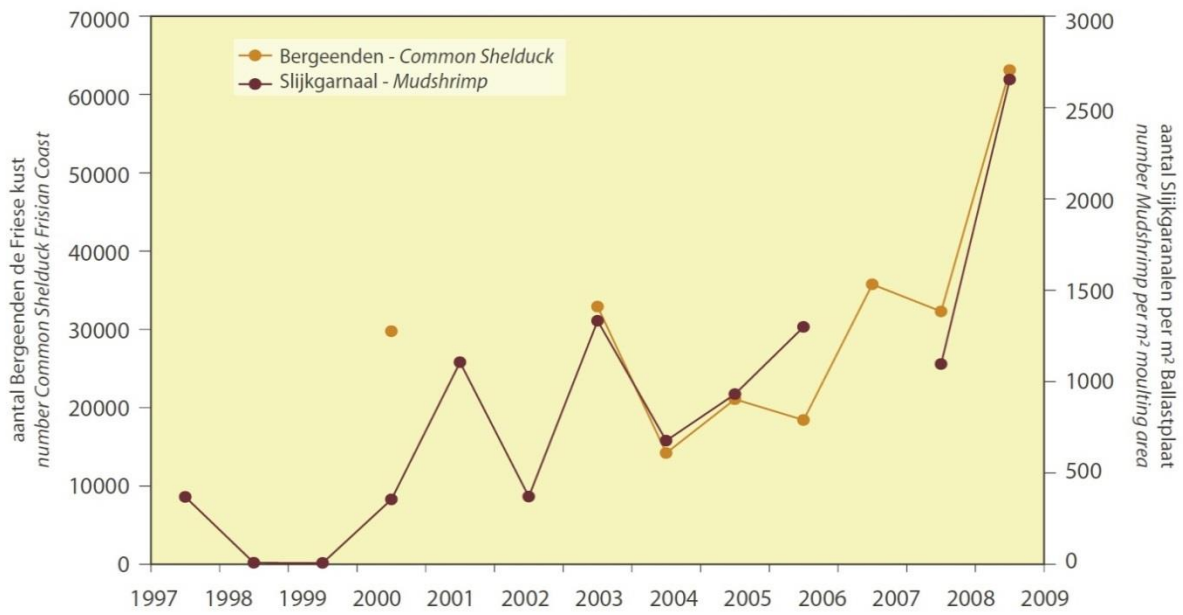
De laatste decennia verblijven bergeenden in steeds grotere aantallen op het wad voor Harlingen, rond de Ballastplaat om te ruien (Kraan et al. 2006; Kleefstra et al. 2011). Tijdens de jaarlijkse bodemfaunabemonstering van het NIOZ werden hier tussen 1997 en 2002 regelmatig enkele tientallen tot honderden ruiende bergeenden gezien, toenemend tot maxima van 12.500 individuen in de eerste helft van augustus van 2003 en 2004, en 23.000 in 2005 (Kraan et al. 2006).

In augustus 2010 en 2011 zijn met twee schepen gerichte tellingen van ruiconcentraties van bergeenden uitgevoerd (Figuur 15). De vraag was of de toename van ruiende bergeenden zich na 2005 heeft doorgezet en of dit samenhangt met een toenemend voedselaanbod en hoe de aantallen ruiende bergeenden het beste in kaart kunnen worden gebracht. Dit laatste is belangrijk omdat tellingen van ruiende bergeenden mogelijk worden opgenomen in het *Trilateral Monitoring and Assessment Program* (TMAP), het monitoringprogramma voor de Waddenzee dat in samenwerking met Duitsland en Denemarken wordt georganiseerd (Kleefstra et al. 2011). Uit deze tellingen bleek inderdaad dat de toename van de ruiende bergeenden heeft doorgezet en er dus een positieve ontwikkeling voor bergeenden in de westelijke Waddenzee plaats vindt.



**Figuur 15.** Verspreiding van ruiende bergeenden in het centrale deel van de Nederlandse Waddenzee tijdens boot- en de vliegtuigtellingen in 2010 en 2011, waarbij ook de gevaren en gevlogen (met stippellijn) route is weergegeven (uit Kleefstra et al. 2011).

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat ruiende bergeenden op het Friese wad worden aangetrokken door een goed aanbod van slijkgarnalen (Kraan et al. 2006). De slijkgarnaal is eerder in het dieet van bergeenden aangetroffen, maar dan vooral in het voorjaar (Swennen & Mulder 1995). De bodemfaunabemonsteringen van het NIOZ (Kraan et al. 2006) laten zien dat slijkgarnalen sinds 2000 talrijker zijn en in de laatste jaren nog verder zijn toegenomen tot maar liefst 2.650 individuen per m<sup>2</sup> in 2009. In dezelfde periode namen ook de aantallen ruiende bergeenden toe (Figuur 16). Er is een duidelijk statistisch positief verband tussen aantallen slijkgarnalen en bergeenden ( $R^2=0.67$ ;  $P<0.05$ ). Het belang van de slijkgarnaal als prooi in het centrale deel van de Waddenzee is opmerkelijk, omdat elders in het wadengebied ruiende bergeenden op andere prooien foerageren. Tegelijk komt ook hier het uitzonderlijke belang van de Ballastplaat naar voren.

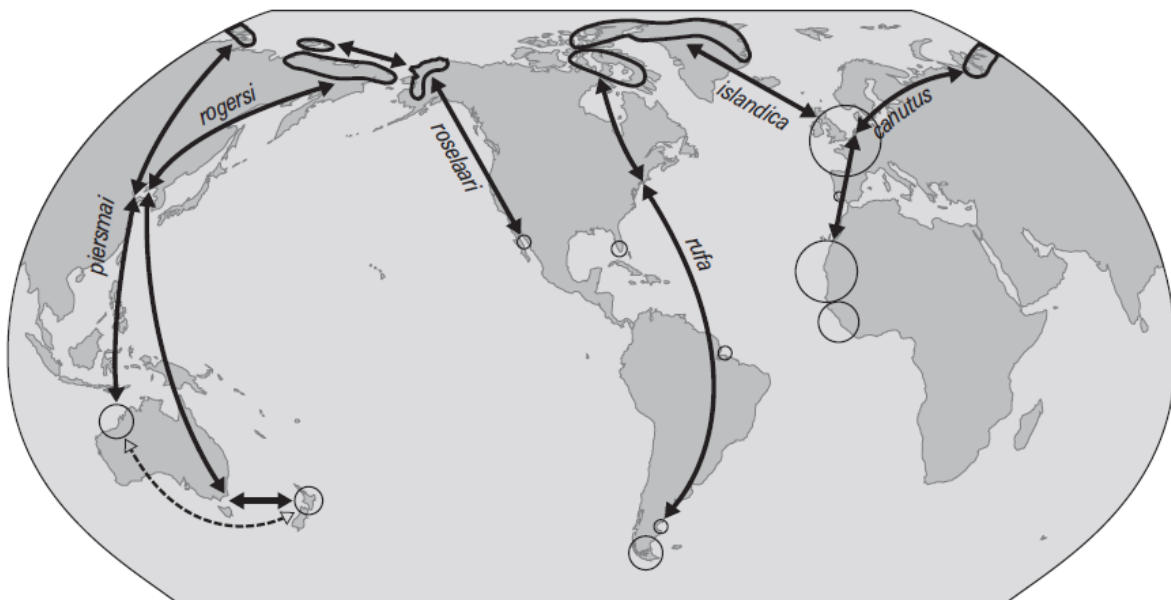


**Figuur 16.** Aantalsontwikkeling van bergeenden en slijkgarmaal op het Friese wad, bestaande uit de wadplaten van de Ballastplaat, het meest oostelijke deel van Griend, en de Vlakte van Oosterbierum, in 1997-2009. Er is een significant positief verband ( $R^2=0.67$ ;  $P<0.05$ ) (uit Kleefstra et al. 2011).

## 5 HET BELANG VAN DE BALLASTPLAAT VOOR KANOETEN

Kanoeten migreren jaarlijks heen en weer tussen de toendra rond het Noordpoolgebied (zomer) en onder andere de Banc d'Arguin in Mauretanië (winter) (o.a. Piersma 2007; Figuur 17). Kanoeten kunnen deze enorme vlucht niet in één keer maken; ze hebben tussenstops nodig in getijdegebieden zoals de Waddenzee. Daar kunnen ze bijtanken tijdens laagwater op de drooggevallende wadplaten. Dit maakt de Waddenzee een cruciale schakel tussen de verschillende ecosystemen. Het vormt letterlijk een trechter, waar alle vogels uit de diverse noordelijke broedgebieden doorheen moeten om weer op krachten te komen (zie ook Figuur 1).

Waar scholeksters hun prooischelpen openen om het vlees eruit te eten, slikken kanoeten de schelpdieren met schelp en al in (o.a. Goss-Custard et al. 1977; Zwarts & Blomert 1992). Ze hebben een speciale gespierde maag die de schelp letterlijk kraakt. Het schelpgruis wordt later weer uitgepoept. Nadeel van zo'n sterke maag is dat hij relatief groot is voor zo'n klein vogeltje. Grote magen vereisen hoge onderhoudskosten en – misschien nog wel belangrijker – hoge transportkosten. Met andere woorden: de kanoet geeft heel wat extra energie uit om een zware maag mee te torsen. Vooral tijdens de langeafstandtrek tussen broed- en overwinteringsgebied (5.000 tot 16.000 km) is de energetische tol hoog. Een kanoet weegt gemiddeld 140 gram en de spiermaag tot 15 gram. Dat is dus 10% van het lichaamsgewicht. Het is in de trektijd gunstig voor de vogels om zo licht mogelijk te zijn. Kanoeten hebben hiervoor een speciale aanpassing. Ze kunnen hun maag en darm verkleinen in de periode voor de trek. Die veranderingen gebeuren binnen één à twee weken (o.a. Piersma & Lindström 1997; Piersma 1998; Piersma & van Gils 2011).



**Figuur 17.** De verspreiding van kanoeten. Er zijn zes ondersoorten erkend, die alle in de arctische toendra broeden (juni-juli; gearceerde gebieden). Na hun lange migraties (pijlen), brengen de kanoeten het niet-broedseizoen (augustus-mei) door op diverse wadgebieden (het oppervlak van de punten is geschaald naar overwinterende aantallen) (uit Piersma & van Gils 2011).

## 5.1 DE SPIERMAAG VAN DE KANOET

---

Bij aankomst in de Waddenzee geeft de verkleinde maag van de kanoet een groot probleem: ze kunnen dan geen dikke schelpen kraken, maar hebben wel honger. Dit zijn juist de perioden dat kanoeten veel sneller moeten eten dan in andere tijden van het jaar. Vlak vóór de trek moeten ze vetreserves aanleggen om de gigantische afstanden te overbruggen, meestal 80 tot 100 gram vet. Vlak ná de trek moeten ze hun uitgeputte vetreserves weer snel op peil brengen. Kanoeten dragen normaal zo'n 20 gram vet met zich mee.

Met behulp van ultrasone-geluidstechnieken is het mogelijk de grootte van de spiermaag te meten (Dietz et al. 1999). Op deze manier hebben NIOZ-onderzoekers vast kunnen stellen dat de grootte van de maag zich aanpast aan de omstandigheden en dat de vogels hun voedselkeuze ook aanpassen aan de beschikbare kracht van hun maag (o.a. van Gils et al. 2007; Kraan et al. 2009). Vogels met een nog niet zo heel goed ontwikkelde spiermaag kiezen relatief zachte en dus makkelijk te verteren prooien, zoals garnalen en schelpdieren met een dunne schelp en veel vlees, zoals het nonnetje. Die prooien komen evenwel in lagere dichtheden voor. Hierdoor moeten de vogels met een relatief kleine spiermaag langer voedsel zoeken op het wad. Ze maken daarbij 'werkdagen' tot wel 17 uur (van Gils et al. 2005b). Wanneer de vogels weer een goed ontwikkelde spiermaag hebben kunnen ze de algemener voorkomende schelpdieren weer aan. Ze zijn daardoor veel sneller klaar met eten.

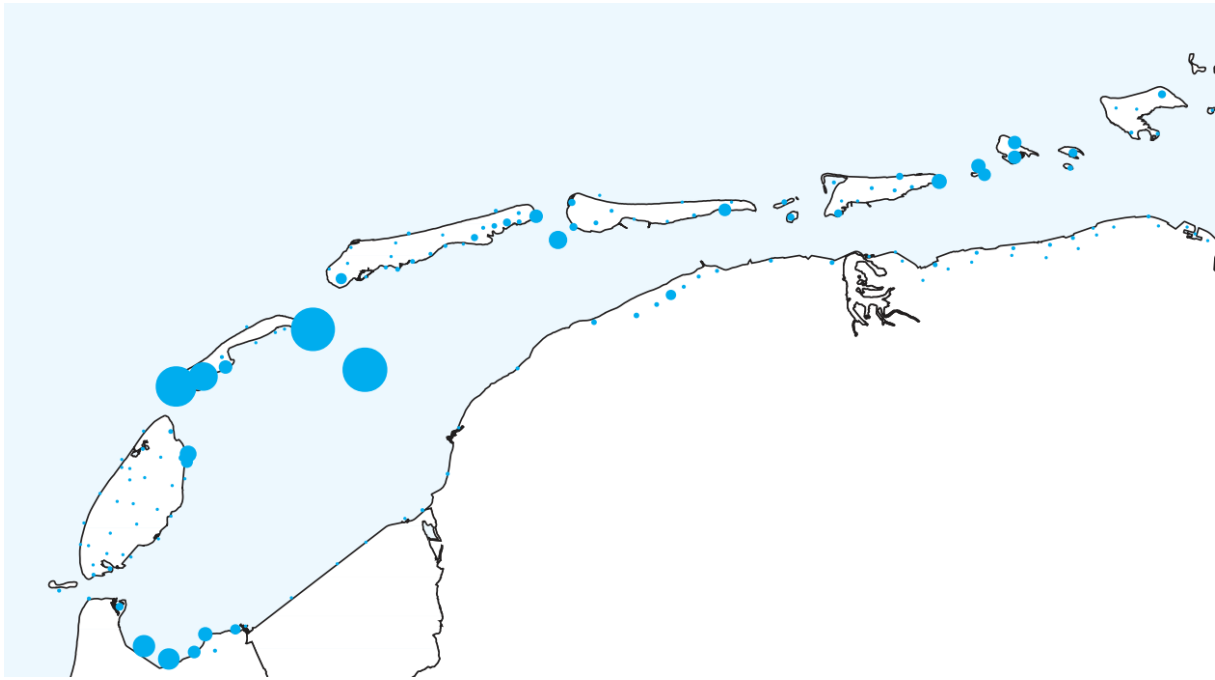
## 5.2 DE KANOET EN DE WESTELIJKE WADDENZEE

---

Doordat er veel metingen zijn gedaan aan het voedselaanbod en het dieet als ook aan de energetische kosten van de kanoet (o.a. Piersma, Verkuil & Tulp 1994; Piersma et al. 1995; van Gils et al. 2005a; van Gils et al. 2005b; van Gils et al. 2006b), kan de minimale voedselbehoefte worden berekend. Deze minimale voedselbehoefte houdt in dat vogels een bepaald gebied nodig hebben, met een bepaalde ondergrens van voedselaanbod. Met deze gegevens kan een voorspelling worden gedaan op welke plekken het voor de kanoet wel of niet goed toeven is.

Al in de beginfase van het onderzoek van het NIOZ werd duidelijk dat de kanoet afhankelijk is van de westelijke Waddenzee (o.a. Piersma, Prokosch & Bredin 1992; Piersma et al. 1993; Piersma, Verkuil, & Tulp 1994; Koffijberg et al. 2003). Ook nu geldt dat nog (Spaans et al. 2009). De westelijke Waddenzee herbergt over het algemeen meer dan 80% van de kanoetenpopulatie (Figuur 18), met uitschieters van bijna 100.000 kanoeten op Griend en Vlieland (Kleefstra 2012). Op basis van deze studies is eind jaren negentig een vervolgonderzoek gestart (o.a. van Gils et al. 2006b). Met moderne zendertechniek worden de vogels gedurende het getij gevolgd in relatie tot het aanwezige voedsel.

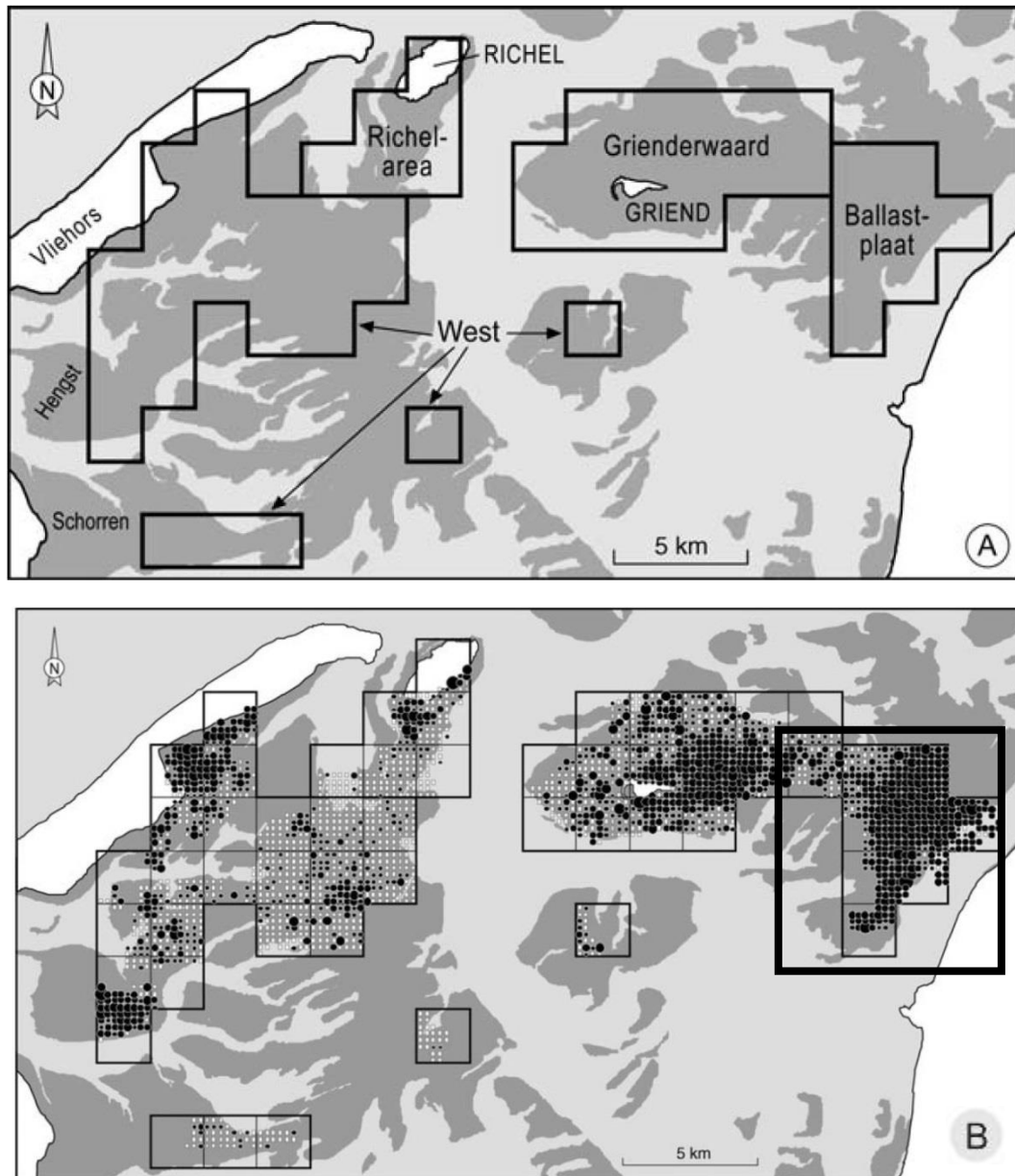




**Figuur 18.** Overzicht van de hoogwatervluchtplaatsen van kanoeten, waarin de hoogste concentraties zich bevinden in de westelijke Waddenzee rond Griend, de Richel en de Vliehors. De data bestaat uit langjarige gemiddelden van 1990 – 2000. (uit Koffijberg et al. 2003)

### 5.3 DE KANOET IN RELATIE TOT DE BALLASTPLAAT

In het zenderonderzoek met de kanoeten werd al snel het belang van de gehele westelijke Waddenzee voor deze vogels bevestigd. Om te begrijpen waarom kanoeten op de ene plaats wel voorkomen en minder in het andere gebied, is van 1996 tot 2000 de gehele westelijke Waddenzee bemonsterd op aanwezige benthische fauna in een vast grid van 250 m waaronder de Ballastplaat (Figuur 19).



**Figuur 19.** A. De westelijke Waddenzee, het studiegebied van van Gils et al. (2006b), in de jaren 1996 – 2000, onderverdeeld in een aantal deelgebieden, waaronder de Ballastplaat. B. Een overzicht van de bemonsterde stations op een 250 meter grid. De grootte van de symbolen zijn geschaald naar de verwachte opname snelheid voor kanoeten en gemiddeld over de jaren. Als de verwachte opname snelheid 0 is, zijn de symbolen open. In de modellen die vervolgens zijn ontwikkeld om te voorspellen waar de vogels naar toe gaan, zijn er groepen van 55 blokken gemaakt. Hier is dus duidelijk uit op te maken dat het oosten van Griend en de Ballastplaat hele rijke en dus potentieel aantrekkelijke foerageerplekken zijn voor kanoeten.

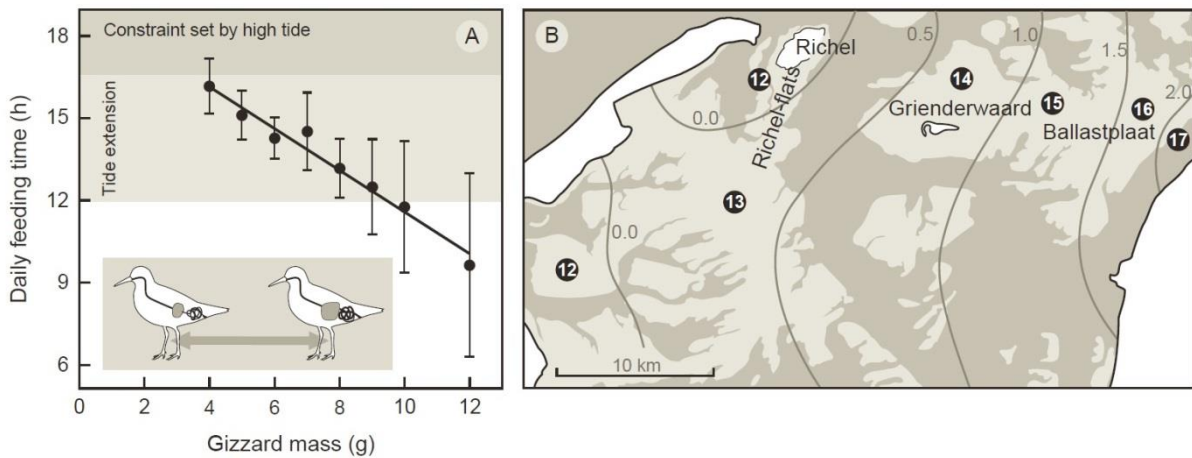
Op basis van de voedseldichtheid en -beschikbaarheid zou je verwachten dat de kanoet altijd naar de rijkste plekken zou gaan, zoals de Ballastplaat (Figuur 19). De vogels blijken echter lang niet altijd naar de Ballastplaat te vliegen om te foerageren, omdat de vlieggkosten niet altijd opwegen tegen de baten van het foerageren op de Ballastplaat. Foerageren op Richel of Griend kan dan voordeliger zijn (van Gils et al. 2006b). Dit hangt af van de afstand van de foerageerplek tot de rustplaats, in relatie tot de maaggrootte van de kanoet. In de tijden dat de kanoet een kleine maag heeft, gelden er andere afwegingen en gaan kanoeten wel naar de Ballastplaat (Piersma 1998). Onderzoek met gezenderde vogels heeft dit bevestigd (van Gils & Piersma 1999; van Gils et al. 2000; van Gils et al. 2005b; van Gils et al. 2006b).

#### 5.4 DE KANOET EN DE GETIJVERLENGING

---

Wanneer kanoeten uit de broedgebieden in de Waddenzee arriveren hebben ze allemaal een kleine maag, wat het vliegen 'goedkoper' maakt, maar wel beperkingen op hun voedselopname legt. De maag kan simpelweg niet te veel ballast aan. In een normale 'werkdag' van 12 uur kunnen de vogels niet genoeg eten. De oplossing zit in de getijverlenging in de westelijke Waddenzee, waardoor een kanoet vier uur extra per etmaal kan foerageren. De vogels vliegen dan naar verder gelegen gebieden om hun werkdag te verlengen tot 16 – 17 uur en dus toch in hun dagelijkse behoefte te kunnen voorzien (van Gils et al. 2005a, Figuur 20).

Analyse van het ruimtelijke gebruik van de Waddenzee door gezenderde kanoeten laat zien dat kanoeten inderdaad aan getijverlenging doen door zich met het afgaan tij oostwaarts te verplaatsen (Figuur 20). Dit doen alleen de vogels met een kleine maag, of vogels met een extreme behoefte aan voedsel, bijvoorbeeld voor vertrek naar broed- en overwinteringsgebieden, of bij extreme kou. Dit zijn de perioden dat de Ballastplaat en omgeving druk worden bezocht. Dat er op andere momenten geen vogels in het gebied zijn doet daar niets aan af.



**Figuur 20.** De getijverlenging voor kanoeten. In de westelijke Nederlandse Waddenzee, kunnen kanoeten hun dagelijkse foerageertijd verlengen met 4 tot 5 u t.o.v. de gebruikelijke 12 uur. Kanoeten spelen in op het naar het oosten opschuivende tij. In het gebied tussen Richel en de Friese kust zijn ze in staat de laagwater periodes als het ware uit te rekken door in de loop van een laagwaterperiode met het tij mee naar het oosten op te schuiven. Met opkomend water verplaatsen ze zich naar het noordoosten van de Grienderwaard. Ze doen dan de noordkant van het eiland niet meer aan, maar vliegen rechtstreeks terug naar de Richel om daar na hoogwater aan te komen. **A.** Hoe kleiner de spiermaag, hoe langer de gezenderde kanoeten afwezig waren van de hoogwatervluchtplaats op de Richel en dus nog aan het foerageren waren (gemiddelde  $\pm$  standaardfout). De inzet laat een kanoet zien met ofwel een kleine (links) of grote (rechts) spiermaag. **B.** De genummerde stippen tonen de uren van beschikbaar wad en getijcurves, uitgedrukt in uren vertraging per getijcyclus ten opzichte van het getij bij de Richel (naar van Gils et al. 2005a; uit Piersma 2012).

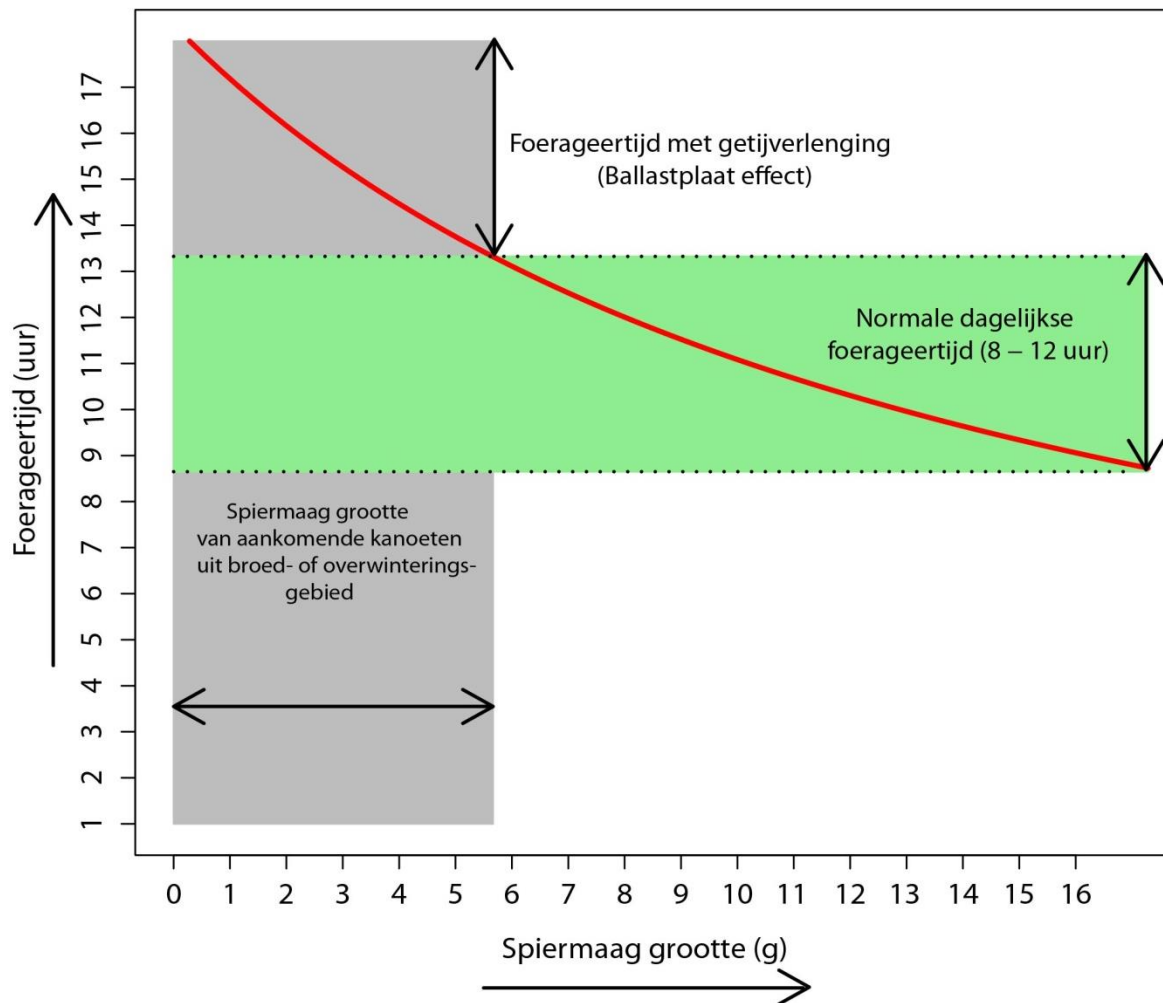
## 5.5 CUMULATIEVE NEGATIEVE EFFECTEN OP DE KANOETENPOPULATIE

De populatie kanoeten laat al lange tijd een afname zien (o.a. van Roomen et al. 2005; Ens et al. 2009; Kraan et al. 2009; Kraan et al. 2010a). Uit een analyse van de effecten van mechanische kokkelvisserij op de bodemfauna blijkt een negatief effect op de benthische soortensamenstelling (Piersma et al. 2001). Er was een vergroting van de korrels in het sediment en een afname van met name kokkels en nonnetjes. Daarnaast nam de kwaliteit van het voedsel af. Kanoeten lieten vervolgens een toename zien in maag grootte om hiervoor te compenseren (van Gils et al. 2006a). Deze vergroting van de maag bleek echter niet groot genoeg om deze effecten te compenseren. De overleving van kanoeten in dit gebied liep in dezelfde periode dan ook terug.

Om de effecten van habitat verlies door de mechanische kokkelvisserij te bestuderen is de relatie tussen habitatafname en aantallen kanoeten vergeleken. In deze studie van Kraan et al. (2009) is aangetoond dat de aantallen kanoeten in de westelijke Waddenzee inderdaad afhankelijk zijn van het beschikbare foerageergebied. Als het beschikbare foerageergebied minder wordt, loopt deze afname nagenoeg parallel met de afname in aantallen kanoeten. In een periode van tien jaar (1996 t/m 2005) hebben de kanoeten 55% van hun beschikbare foerageergebied verloren, wat tot een afname van 42% (26.000) van de kanoeten leidde. Daarnaast is aangetoond dat de jaarlijkse overleving ook terugliep (van 89% tot 82%). Deze overlevingsgetallen konden al de helft van de afname (13.000 kanoeten) verklaren. De

overige vogels zijn naar andere gebieden getrokken. De dichtheid van kanoeten bleef gelijk in de studieperiode (10 vogels/ha), wat erop duidt dat het gebied voortdurend maximaal werd gebruikt.

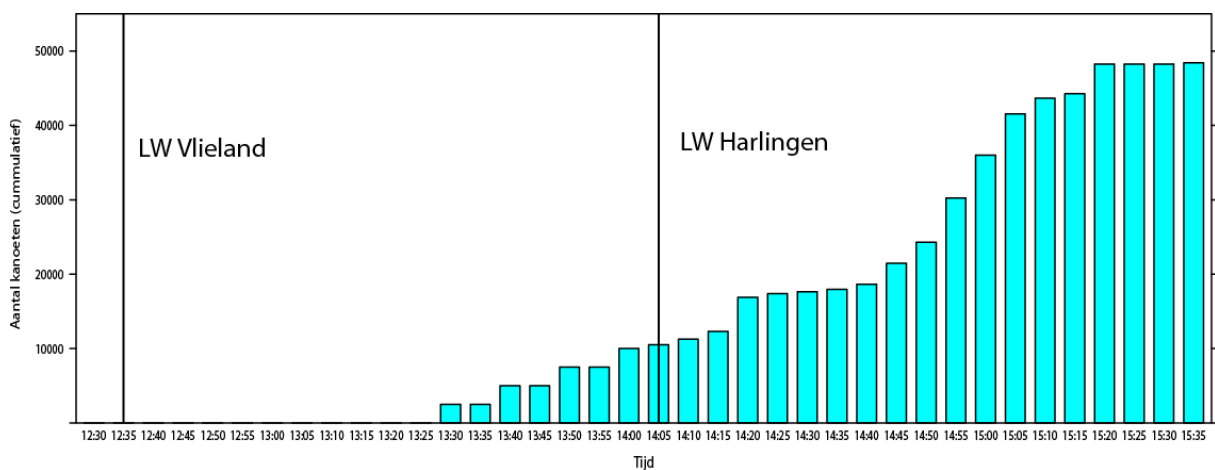
Behalve een trechter in de trekweg van kanoeten (zie ook Figuur 1) is de Waddenzee ook een flessenhals: een gebied waar ze met een kleine maag toch aan voldoende energie moeten komen. Het verlengde getij rond de Ballastplaat is daar de sleutel. Bij het (deels) wegvallen van de beschikbaarheid van de Ballastplaat, zal dit dus doorwerken op alle kanoeten (Figuur 21).



**Figuur 21.** Conceptueel model van de maag grootte en foerageertijd voor kanoeten. Wanneer kanoeten arriveren uit het broedgebied hebben **alle** kanoeten kleine spiermagen. Hierdoor hebben ze een beperkte opnamesnelheid, omdat kanoeten met een kleine spiermaag op hoogwaardig en zacht voedsel (moeten) foerageren, wat minder rijk verspreid is dan laagwaardig voedsel (nonnetjes en garnaltjes vs. kokkels). Dit houdt indirect in dat vogels met een kleine spiermaag, langer moeten foerageren (tot maximaal 17 uur). Dit kan alleen wanneer de vogels gebruik maken van een getijverlenging. In de westelijke Waddenzee maken kanoeten gebruik van getijverlenging door met het getij mee te foerageren in oostelijke richting (richting Ballastplaat). Op deze manier kunnen ze aan de minimale voedselopname komen die ze nodig hebben om in leven te blijven. De Ballastplaat is dus belangrijk voor kanoeten met een kleine maag (< 5 gram).

## 5.6 VELDBEZOEK FEBRUARI 2013

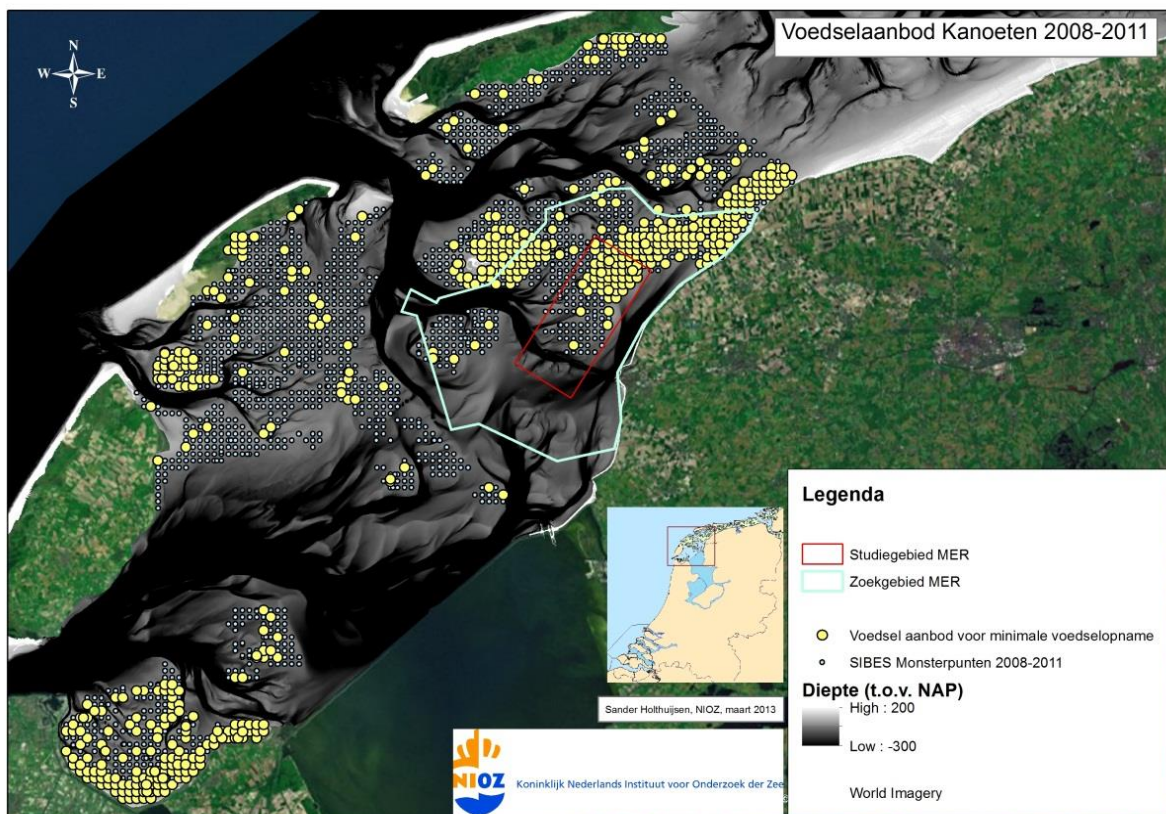
Om te zien of vogels ook in tijden van extreme kou gebruik maken van de getijverlenging rond Ballastplaat, is in februari 2013, een uitzonderlijk koude maand, een veldbezoek gebracht aan het gebied. Met gemiddeld 1.7 graden was deze maand de op twee na koudste sinds het begin van de systematische registratie van de temperatuur. Het bleek dat kanoeten inderdaad in grote getale gebruik maakten van de Ballastplaat en omgeving. Vanaf laagwater bij Harlingen vertrokken in totaal bijna 50.000 kanoeten vanaf het wad bij Griend richting Ballastplaat om al een paar uur extra te foerageren (Figuur 22). Dit aantal ligt boven de gestelde draagkracht van 44.400 individuen uit de Natura 2000 doelstelling. Echter deze draagkracht gaat uit van een seizoensgemiddelde en maandelijkse fluctuaties zijn niet ongewoon. Daarnaast is bekend dat in perioden van extreme kou een toename van kanoeten in de Westelijke Waddenzee plaats vindt, die uit Oostelijke richting komen (Spaans et al. 2009), wat deze hoge aantallen kan verklaren. Deze waarnemingen bevestigen dat Ballastplaat een uitwijkmogelijkheid is wanneer de kosten voor de energiehuishouding omhoog gaan. Wanneer een deel van de Ballastplaat onbereikbaar wordt door bodemdaling zal dit een nieuwe flessenhals worden voor de kanoetenpopulatie in de westelijke Waddenzee (o.a. Spaans et al. 2009).



**Figuur 22.** Tellingen van kanoeten (gesommeerd per 5 min interval), verplaatsend van de Grienderwaard richting Ballastplaat. Deze telling is uitgevoerd op 22 februari 2013. Ongeveer 1 uur na de laagwaterperiode (LW) bij Vlieland, beginnen groepen kanoeten zich te verplaatsen naar de Ballastplaat, waar het dan nog laagwater in Harlingen is.

## 5.7 BESCHIKBAAR FOERAGEERGEBIED KANOETEN

Uit experimenteel onderzoek met kanoeten blijkt heel nauwkeurig wat de minimale opname per dag moet zijn om in leven te kunnen blijven: 0.3 mg drogestof per seconde (o.a. Wiersma & Piersma 1994; Piersma et al. 1995). Dit maakt het mogelijk om ook geschikt foerageergebied te definiëren: minimaal 0.7 gram drogestof/m<sup>2</sup> (Piersma et al. 1995). Slechts een klein deel van de westelijke Waddenzee is rijk genoeg om aan de dagelijkse voedselbehoefte van kanoeten te voldoen. Van de bemonsterde punten bevat 19% voldoende voedsel om in de minimale voedselvoorziening voor kanoeten te voorzien: het Oostwad van Griend, rondom de Hengst, Balgzand en het voorgestelde zoutwingebied rondom de Ballastplaat (Figuur 23).



**Figuur 23.** Een overzicht van de gemiddelde beschikbare biomassa voor kanoeten, op basis van een minimale voedselbeschikbaarheid van 0.7 gram AFDM (droge stof)/m<sup>2</sup>, van 2008 t/m 2011 van de westelijke Waddenzee.

## 6 EFFECTEN VAN BODEMDALING

---

De schattingen betreffende de inhoud van de bodemdalingsschotel t.g.v. gaswinning is 3.000.000 m<sup>3</sup> versus 15.000.000 m<sup>3</sup> t.g.v. zoutwinning (MER). De schattingen betreffende het diepste punt (zonder sedimentatie) in de Waddenzeebodem bedraagt 14 cm t.g.v. gaswinning versus 100 cm t.g.v. zoutwinning. Zoutwinning veroorzaakt dus een veel grotere bodemdaling dan gaswinning. Op dit moment wint Frisia Zout B.V. jaarlijks tot circa 1.2 miljoen ton zout uit de winningsgebieden Barradeel en Barradeel II. In amper 10 jaar tijd is er 32 cm bodemdaling veroorzaakt. Ter vergelijking: de bodemdaling door de nieuwe gaswinning in de Waddenzee bedraagt maximaal 10 cm in ruim 30 jaar (MER rapportage). Zoutwinning heeft dus een 10 keer snellere bodemdaling tot gevolg dan gaswinning.

De negatieve effecten van bodemdaling, kunnen worden onderverdeeld in drie categorieën:

- 1 Minder droogvallende wadplaten
- 2 Verandering sedimentatie samenstelling
- 3 Kortere droogvalduur

### 6.1 MINDER DROOGVALLENDE WADPLATEN

---

Het ligt voor de hand, dat wanneer er potentieel foerageergebied verdwijnt, dit direct effect heeft op de vogels die afhankelijk zijn van dit gebied. Hieronder schetsen we de situatie voor de kanoet, maar het is aannemelijk dat meerdere steltlopers afhankelijk van het studiegebied, evenredige nadelige effecten zullen ondervinden.

De aantallen kanoeten in de westelijke Waddenzee zijn afhankelijk van het beschikbare foerageergebied (Kraan et al. 2009). Wordt het beschikbare foerageergebied minder, dan loopt deze afname nagenoeg parallel met de afname in aantallen kanoeten. In de periode van 1996 t/m 2005, hebben de kanoeten 55% van hun beschikbare foerageergebied verloren, wat tot een afname van 42% van de kanoeten leidde. Daarnaast is op basis van overlevingsgetallen aangetoond dat de jaarlijkse overleving ook terug liep (van 89% tot 82%). Deze overlevingsgetallen konden al de helft in afname van de kanoeten verklaren; de overige moeten naar andere gebieden zijn getrokken.

Hieruit valt af te leiden, dat zelfs wanneer een klein deel van de Ballastplaat wegvalt dit direct op de aantallen kanoeten van invloed zal zijn. Het is belangrijk te realiseren dat nagenoeg alle kanoeten op enig moment in het jaar dit gebied gebruiken (zie ook 5.4).

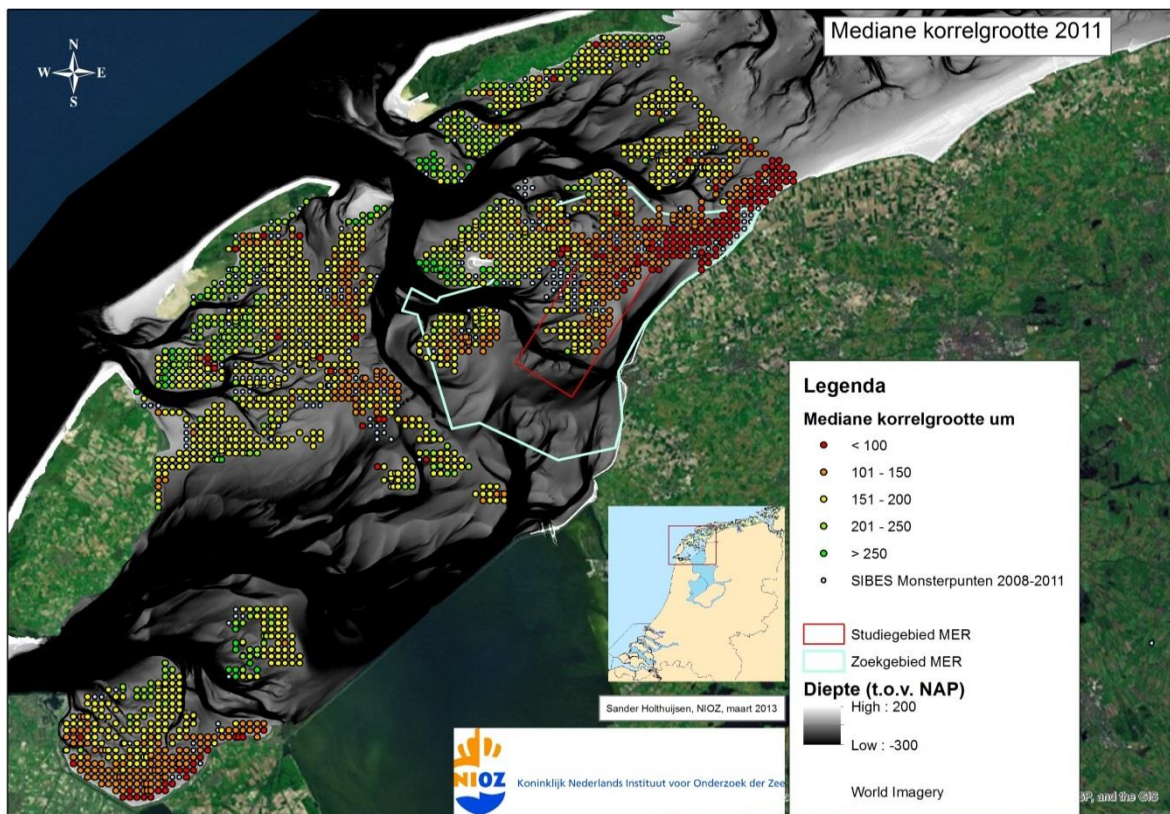
In de rapportage over de effecten van de bodemdaling (MER) wordt uitgegaan van een afname van 191 tot 247 ha beschikbaar wad. Als de gemiddelde dichtheid van kanoeten 10 individuen per ha is (Kraan et al. 2009), is dus een afname van zo'n 2.000 kanoeten te verwachten. Dat is ongeveer 5% van de huidige najaarspopulatie. Het gebruik van zo'n gemiddelde levert evenwel een onderschatting van het werkelijke effect, omdat alle kanoeten in de westelijke Waddenzee op enig moment van het jaar van de Ballastplaat gebruik moeten maken om te overleven. Verlies van delen van de Ballastplaat kan dus leiden tot het verlies van foerageergebied op cruciale momenten voor vele duizenden kanoeten;



misschien wel van meer dan 10.000 vogels. In zo'n geval treft het een kwart van de populatie.

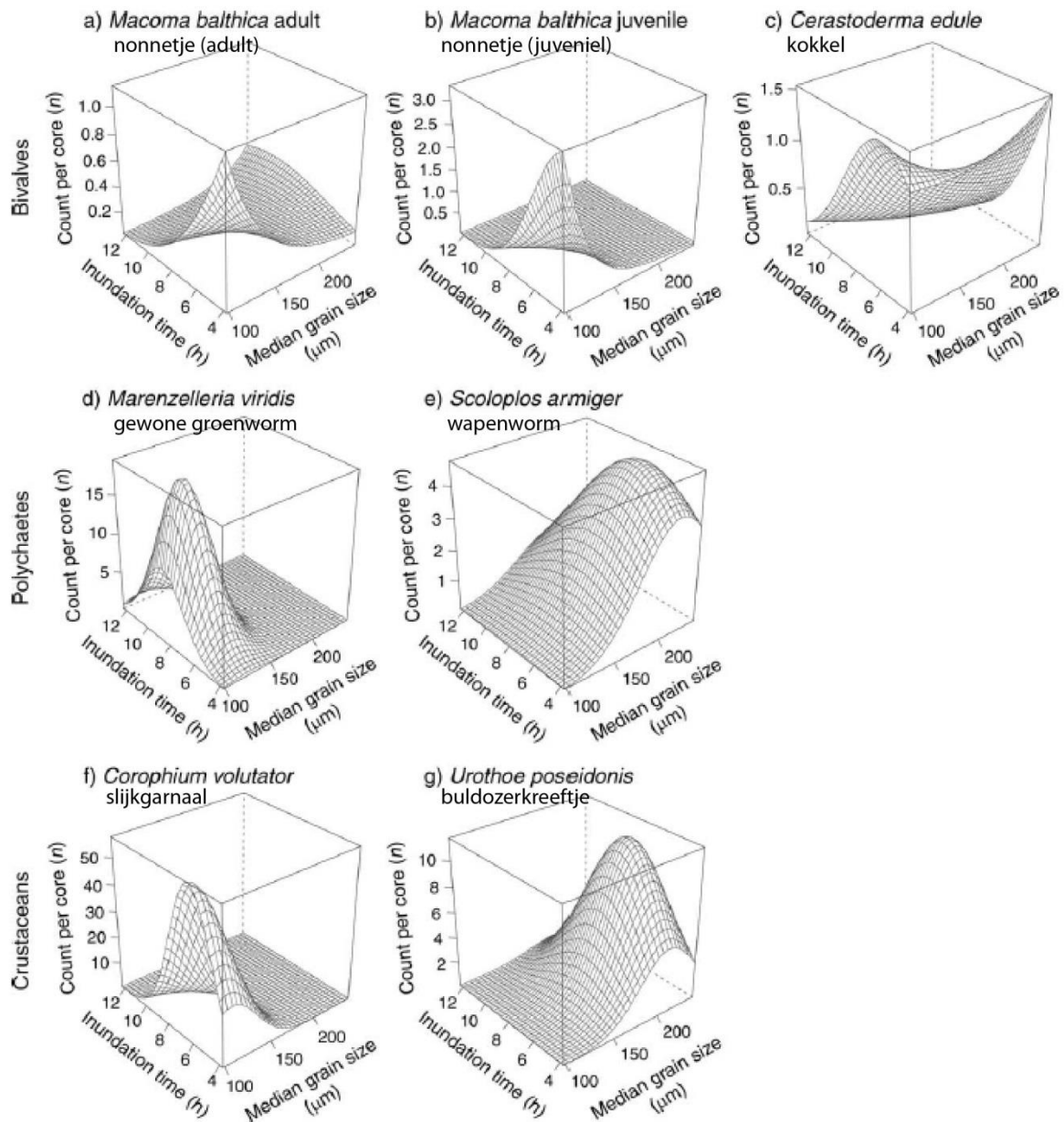
## 6.2 VERANDERING SEDIMENTATIE SAMENSTELLING

In het MER is gesteld dat bodemdaling zal optreden met 0.07 mm per getij. Dit komt neer op meer dan 5 cm per jaar. Verder wordt verwacht dat deze daling op lange termijn grotendeels door sedimentatie gecompenseerd gaat worden, maar er wordt van een uiteindelijke daling van meer dan 3 cm uitgegaan na de beëindiging van de zoutwinning. Het lijkt echter niet aannemelijk dat de natuurlijke sedimentatie deze daling kan compenseren, zeker niet in sediment kwaliteit, omdat de Ballastplaat een hoge en slikkige wadplaat is (Figuur 24). Dit wordt veroorzaakt door de lage stroomsnelheid van het water ter plaatse. Hoe verder van de zeegaten, hoe langzamer het water stroomt. Op plaatsen als de Ballastplaat zet het fijnste sediment zich af. Een vergelijking met andere dalende gebieden, zoals de gaswinlocaties van de NAM, is dan ook niet relevant.



**Figuur 24.** Een overzicht van de mediane korrelgrootte in 2011 van de westelijke Waddenzee. De gebieden met het fijnste sediment bevinden zich ver van de zeegaten, waaronder een groot deel van het studiegebied rondom de Ballastplaat.

Daarnaast wordt ook overwogen om de bodemdalingseffecten t.g.v. zouwinning te compenseren door extra zandsuppleties uit te voeren. Naast het feit dat het kunstmatig aanbrengen van zand ertoe kan leiden dat bodemleven dieper onder het sediment verdwijnt, zal er ook een nog grotere sedimentverandering plaatsvinden. Het is moeilijk te voorspellen hoe de voedselsituatie zich zal aanpassen aan een verandering van sediment en diepte. Benthische organismen hebben een duidelijke relatie met bijvoorbeeld de droogvalduur en de sedimentsamenstelling. Kijk je naar de voorkeuren van diverse benthische soorten, dan zie je grote verschillen (Figuur 25). De belangrijkste prooi voor kanoeten is het nonnetje. Deze soort heeft een voorkeur voor fijn sediment en een korte droogvalduur. Dit betekent dat deze voorkomt op de diepere delen op het wad. Foeragerende kanoeten met kleine magen die op hoog kwaliteit voedsel foerageren zullen moeilijker aan hun trekken komen. Als een deel van de wadplaten dieper komt te liggen als gevolg van de bodemdaling, en er daarnaast een verandering in de sediment samenstelling zal plaatsvinden, zullen nonnetjes (deels) verdwijnen of in ieder geval minder rijk verspreid zijn. De kanoeten met kleine magen, die afhankelijk zijn van de getijverlenging en van deze prooi, zullen niet meer in hun dagelijkse energie voorziening kunnen voorzien en verdwijnen door migratie en sterfte (Kraan et al. 2009).



**Figuur 25.** Op basis van de jaarlijkse bemonsteringen, is de voorkeur van een aantal belangrijke benthische soorten (welke ook belangrijk zijn in het dieet van kanoeten), op basis van voorkomen uitgezet tegen droogvalduur (*Inundation time*) en korrelgrootte (*Median grain size*). Uit deze analyse komt naar voren dat zowel adulte als juveniele nonnetjes in slikkig wad voorkomen met een korte tot middellange droogvalduur. Dit betekent dat deze belangrijkste prooi voor kanoeten voornamelijk op diepere delen voorkomen, die het meeste last hebben van potentiële bodemdaling. Daarnaast komen de adulten ook voor op een grovere korrelgrootte met een langere droogvalduur (de hogere delen op het wad). De kokkel komt voor over een breed spectrum van korrelgroottes en een droogvaltijd (6-8 uur). De gewone groenworm heeft een beperkte leefomgeving, gezien de voorkeuren van fijn sediment (100-150 µm) en een droogvalduur van 6-10 uur. De wapenworm houdt van een grof sediment over de hele breedte van droogvalduur. De slijkgarnaal komt voornamelijk voor op slikkig wad met een gemiddelde droogvalduur van 6-8 uur. Het buldozerkreeftje houdt van grof sediment en een gemiddelde droogvalduur (uit Kraan et al. 2010b).

### 6.3 EEN KORTERE DROOGVALDUUR

---

Wanneer bodemdaling optreedt kunnen er gebieden ontstaan die niet meer bereikbaar zijn tijdens laagwater. Daarnaast kunnen er gebieden ontstaan die korter droogvallen. Dit zal effecten hebben op de kanoeten die gebruik maken van de getijverlening op de Ballastplaat. Als het foerageergebied kleiner en minder lang beschikbaar wordt, zullen de kanoeten niet meer in hun dagelijkse voedselbehoefte kunnen voorzien. Dit zal migratie naar andere gebieden en sterfte tot gevolg hebben (Kraan et al. 2009). In het MER wordt uitgegaan van een afname 8% van de droogvalduur. Dit houdt in dat de kanoet tijdens één getij (inclusief getijverlenging), zo'n twee uur per dag aan potentieel foerageergebied minder kan gebruiken. Naast de afname van 2.000 kanoeten door onbereikbaarheid van droogvallende platen zal dit getal dus nog verder oplopen. Overigens zal een kortere droogvalduur ook van invloed zijn op de aanwezige bodemfauna. Zoals in de vorige paragraaf (6.2) beschreven is heeft elke soort een optimum aan omgevingsvariabelen nodig (waarvan droogvalduur de meest belangrijke), en bij kortere droogvalduren zal dus ook de soortensamenstelling veranderen wat vervolgens weer zal doorwerken op de kanoetenpopulatie.

## 7 DANKWOORD

---

We bedanken alle medewerkers van het SIBES team, voor al hun harde werk en inzet de afgelopen jaren om deze monsterklus te klaren: Anne Dekinga, Henk van der Veer, Job ten Horn, Maarten Brugge, Tanya Compton, Lise Klunder en Niamh McSweeney. Verder bedanken we de bemanning van de Navicula: Bram Fey, Hein de Vries, Wim Jan Boon, Cor van Heerwaarden, Tony van der Vis en Kees van der Star. Daarnaast bedanken we alle vrijwilligers die elk jaar hun bijdrage leveren. Ook bedanken we Rob Buiten en Jacintha van Dijk voor het becommentarieren van eerdere versies van dit rapport.

## REFERENTIES

---

- Baird, R. & Drinnan, R. 1957. The ratio of shell to meat in *Mytilus* as a function of tidal exposure to air. *Journal du Conseil*, 22, 329-336.
- Beukema, J. J. 1976. Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 10, 236-261.
- Beukema, J. J. 1982. Annual variation in reproductive success and biomass of the major macrozoobenthic species living in a tidal flat area of the Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 16, 37-45.
- Bijleveld, A. I., van Gils, J. A., van der Meer, J., Dekinga, A., Kraan, C., van der Veer, H. W. & Piersma, T. 2012. Designing a benthic monitoring programme with multiple conflicting objectives. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 526-536.
- Bocher, P., Piersma, T., Dekinga, A., Kraan, C., Yates, M.G., Guyot, T., Folmer, E.O. & Radenac, G. 2007. Site- and species-specific distribution patterns of molluscs at five intertidal soft-sediment areas in northwest Europe during a single winter. *Marine Biology*, 151, 577-594.
- Compton, T., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer, H. W. & Piersma, T. in druk. Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research*.
- 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.
- de Vlas, J. 1982. De effecten van de kokkelvisserij op de bodemfauna van Waddenzee en Oosterschelde. Rijksinstituut voor Natuurbeheer.
- Dietz, M. W., Dekinga, A., Piersma, T. & Verhulst, S. 1999. Estimating organ size in small migrating shorebirds with ultrasonography: An intercalibration exercise. *Physiological and Biochemical Zoology*, 72, 28-37.
- Duijns, S., van Dijk, J.G.B., Spaans, B., Jukema, J., de Boer, W.F. & Piersma, T. 2009 Foraging site selection of two subspecies of Bar-tailed Godwit *Limosa lapponica*: time minimizers accept greater predation danger than energy minimizers. *Ardea*, 97, 51-59.
- Ens, B. J., van Winden, E. A. J., van Turnhout, C. A. M., van Roomen, M. W. J., Smit, C. J. & Jansen, J. M. 2009. Aantalontwikkeling van wadvogels in de Nederlandse Waddenzee in 1990-2008. Verschillen tussen Oost en West. *Limosa*, 82, 100-112.
- Fenchel, T., Kofoed, L. & Lappalainen, A. 1975. Particle size-selection of two deposit feeders: the amphipod *Corophium volutator* and the prosobranch *Hydrobia ulvae*. *Marine Biology*, 30, 119-128.
- Fish, J. & Mills, A. 1979. The reproductive biology of *Corophium volutator* and *C. arenarium* (Crustacea: Amphipoda). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 59, 355-368.
- Goss-Custard, J. D., Jenyon, R. A., Jones, R. E., Newbery, P. E. & Williams, R. L. B. 1977. The ecology of the Wash. II. Seasonal variation in the feeding conditions of wading birds (Charadrii). *Journal of Applied Ecology*, 14, 701-719.
- Goss-Custard, J.D. 2008. The winter feeding ecology of the Redshank *Tringa totanus*. *Ibis*, 111, 338-356.
- Kleefstra, R., Smit, C., Kraan, C., Aarts, G., van Dijk, J. & de Jong, M. 2011. Het toegenomen

- belang van de Nederlandse Waddenzee voor ruiende Bergeenden. *Limosa*, 84, 145 - 154.
- Kleefstra, R. 2012. Watervogeltellingen in Nederland. *Nieuwsbrief seizoen 2012/2013*, nr 2, oktober 2012.
- Koffijberg, K., J. Blew, K. Eskildsen, K. Günther, B. Koks, K. Laursen, L. Rasmussen, P. Potel, and P. Südbeck. 2003. High tide roosts in the Wadden Sea. A Review of Bird Distribution, Protection Regimes and Potential Sources of Anthropogenic Disturbance. Project 34.
- Koolhaas, A., Dekinga, A. & Piersma, T. 1993. Disturbance of foraging Knots by aircraft in the Dutch Wadden Sea in August-October 1992. *Wader Study Group Bulletin*, 68, 20-22.
- Kraan, C., Piersma, T., Dekinga, A. & Fey, B. 2006. Bergeenden vinden Slijkgarnaaltjes en rust op nieuwe ruiplaats bij Harlingen. *Limosa*, 79, 19 - 24.
- Kraan, C., van Gils, J. A., Spaans, B., Dekinga, A., Bijleveld, A. I., van Roomen, M., Kleefstra, R. & Piersma, T. 2009. Landscape-scale experiment demonstrates that Wadden Sea intertidal flats are used to capacity by molluscivore migrant shorebirds. *Journal of Animal Ecology*, 78, 1259-1268.
- Kraan, C., van Gils, J. A., Spaans, B., Dekinga, A. & Piersma, T. 2010a. Why Afro-Siberian Red Knots *Calidris canutus canutus* have stopped staging in the western Dutch Wadden Sea during southward migration. *Ardea*, 98, 155-160.
- Kraan, C., Aarts, G., van der Meer, J. & Piersma, T. 2010b. The role of environmental variables in structuring landscape-scale species distributions in seafloor habitats. *Ecology*, 91, 1583-1590.
- Moreira, F. 1994. Diet, prey-size selection and intake rates of Black-tailed Godwits *Limosa limosa* feeding on mudflats. *Ibis*, 136, 349-355.
- Newell, R. 1964. Some factors controlling the upstream distribution of *Hydrobia ulvae* (Pennant), (Gastropoda, Prosobranchia). *Proceedings of the Zoological Society of London*, 142, 85-106.
- Newell, R. 1965. The role of detritus in the nutrition of two marine deposit feeders, the prosobranch *Hydrobia ulvae* and the bivalve *Macoma balthica*. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 144, 25-45.
- Piersma, T. 1998. Phenotypic flexibility during migration: Optimization of organ size contingent on the risks and rewards of fueling and flight? *Journal of Avian Biology*, 29, 511-520.
- Piersma, T. 2007. Using the power of comparison to explain habitat use and migration strategies of shorebirds worldwide. *Journal of Ornithology*, 148, S45-S59.
- Piersma, T. 2012. What is habitat quality? Dissecting a research portfolio on shorebirds. In: *Birds and habitat: relationships in changing landscapes series: ecological reviews* (Ed. by R. J. Fuller), pp. 383-407. Cambridge: Cambridge University Press.
- Piersma, T., Prokosch, P. & Bredin, D. 1992. The migration system of Afro-Siberian Knots *Calidris canutus canutus*. *Wader Study Group Bulletin*, 64, 52-63.
- Piersma, T., Hoekstra, R., Dekinga, A., Koolhaas, A., Wolf, P., Battley, P. & Wiersma, P. 1993. 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., Verkuil, Y. & Tulp, I. 1994. Resources for long-distance migration of knots *Calidris canutus islandica* and *C. c. canutus*: How broad is the temporal exploitation window of benthic prey in the western and eastern Wadden Sea? *Oikos*, 71, 393-407.

- 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. & Lindström, Å. 1997. Rapid reversible changes in organ size as a component of adaptive behaviour. *Trends in Ecology and Evolution*, 12, 134-138.
- 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. & van Gils, J. A. 2011. *The flexible phenotype: a body-centred integration of ecology, physiology, and behaviour*: Oxford University Press, Oxford and New York.
- Spaans, B., Bruinzeel, L. W. & Smit, C. J. 1996. *Effecten van verstoring door mensen op wadvogels in de Waddenzee en de Oosterschelde*: Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek (IBN-DLO).
- 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.
- Swennen, C. & Mulder, T. 1995. Ruiende bergeenden *Tadorna tadorna* in de Nederlandse Waddenzee. *Limosa*, 68, 15-20.
- van de Kam, J., Ens, B., Piersma, T. & Zwarts, L. 2004. *Shorebirds: an illustrated behavioural ecology*: KNNV Publishers, Utrecht.
- van Gils, J. & Piersma, T. 1999. Day and nighttime movements of radiomarked Red Knots staging in the western Wadden Sea in July-August 1995. *Wader Study Group Bulletin*, 89, 36-44.
- van Gils, J., Piersma, T., Dekinga, A. & Spaans, B. 2000. Voortdurend in de lucht: zenderonderzoek aan Kanoeten *Calidris canutus* in de westelijke Waddenzee. *Limosa* 73, 29-34.
- van Gils, J. A., Dekinga, A., Spaans, B., Vahl, W. K. & Piersma, T. 2005a. 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., de Rooij, S. R., van Belle, J., van der Meer, J., Dekinga, A., Piersma, T. & Drent, R. 2005b. Digestive bottleneck affects foraging decisions in Red Knots *Calidris canutus*. I. Prey choice. *Journal of Animal Ecology*, 74, 105-119.
- van Gils, J. A., Battley, P. F., Piersma, T. & Drent, R. 2005c. Reinterpretation of gizzard sizes of Red Knots world-wide emphasises overriding importance of prey quality at migratory stopover sites. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences Series B*, 272, 2609-2618.
- van Gils, J. A., Piersma, T., Dekinga, A., Spaans, B. & Kraan, C. 2006a. Shellfish dredging pushes a flexible avian top predator out of a marine protected area. *PLoS Biology*, 4, 2399-2404.
- van Gils, J. A., Spaans, B., Dekinga, A. & Piersma, T. 2006b. Foraging in a tidally structured environment by Red Knots (*Calidris canutus*): Ideal, but not free. *Ecology*, 87, 1189-1202.
- van Gils, J. A., Dekinga, A., van Den Hout, P. J., Spaans, B. & Piersma, T. 2007. Digestive organ size and behavior of Red Knots (*Calidris canutus*) indicate the quality of their benthic food stocks. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 53, 329-346.
- van Roomen, M., van Turnhout, C., van Winden, E., Koks, B., Goedhart, P., Leopold, M. F. &



- Smit, C. J. 2005. Trends van benthivore watervogels in de Nederlandse Waddenzee 1975-2002: grote verschillen tussen schelpdiereneters en wormeneters. *Limosa*, 78, 21-38.
- Verwey, J. 1952. On the ecology of distribution of Cockle and Mussel in the Dutch Wadden Sea; their role in sedimentation and the source of their food supply. *Archives Neerlandaises de Zoologie*, 10, 172-239.
- 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., Roodbergen, M., Goedhart, P. & Ens, B. 2009. *Ontwikkeling en toepassing van een poweranalyse voor de vogelmonitoringgegevens in het kader van de nieuwe gaswinning*. SOVON-onderzoeksrapport 2009/11. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.
- Zwarts, L. 1988. De bodemfauna van de Fries-Groningse Waddenkust. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
- Zwarts, L. & Blomert, A. M. 1992. Why Knot *Calidris canutus* take medium sized *Macoma Balthica* when 6 prey species are available. *Marine Ecology-Progress Series*, 83, 113-128.