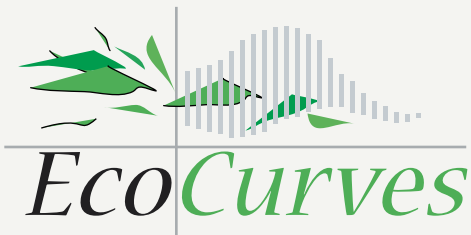


Het effect van bodemdaling op het aantal scholeksters dat kan overwinteren in de Waddenzee

Exploratieve berekeningen met het model WEBTICS

C. Rappoldt, B.J. Ens



Het effect van bodemdaling op het aantal scholeksters
dat kan overwinteren in de Waddenzee

In opdracht van de Nederlandse Aardolie Maatschappij

Het effect van bodemdaling op het aantal scholeksters dat kan overwinteren in de Waddenzee

Exploratieve berekeningen met het model WEBTICS

C. Rappoldt¹, B. J. Ens²

¹EcoCurves, Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren

²SOVON vogelonderzoek Nederland, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

E-mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

EcoCurves rapport 12

SOVON-onderzoeksrapport 2011/05

EcoCurves, Haren, 2011

REFERAAT

C. Rappoldt, B. J. Ens, 2011. *Het effect van bodemdaling op het aantal scholeksters dat kan overwinteren in de Waddenzee ; Exploratieve berekeningen met het model WEBTICS*. EcoCurves rapport 12, EcoCurves, Haren. SOVON-onderzoeksrapport 2011/05, SOVON Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen. 57 blz.

In dit rapport wordt verslag gedaan van exploratieve berekeningen met het model WEBTICS aan het effect van bodemdaling op het aantal Scholeksters dat in een kombergingsgebied kan overwinteren. Als er géén aanpassing optreedt van de lokatie van de bodemdieren en het voedsel dus gewoon meedaalt met de bodem bedraagt het effect $5 \pm 2\% \text{ cm}^{-1}$ daling. Omdat bodemdaling langzaam optreedt over een periode van 20 jaar kunnen de bodemdieren echter opschuiven en "hun droogvalduur gelijk houden". Het effect is dan $1,8 \pm 0,7\% \text{ cm}^{-1}$ daling. Daarbij wordt aangenomen dat de vestigingskans en de dichtheid van de schelpdieren op iedere hoogte gelijk blijven. Voor de komberging Pinkegat veroorzaakt een niet door opslibbing gecompenseerde bodemdaling van 3,9 cm (in de periode 2005–2025) een vermindering van de draagkracht met 1000 scholeksters (bij opschuivend voedsel). Voor het Zoutkamperlaag veroorzaakt de verwachte bodemdaling van 1,3 cm een vermindering van de draagkracht met 500 scholeksters.

Trefwoorden: waddenzee, bodemdaling, scholekster, droogvalduur

ISSN 1872-5449

Als SOVON-onderzoeksrapport 2011/05 maakt dit rapport tevens deel uit van de serie ISSN 1382-6271, uitgegeven door SOVON Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.

© 2011 EcoCurves BV

Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren (gn), Nederland

Tel.: (050) 5370979; e-mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

Voorplaat: "Scholeksters bij hoogwater op de oostpunt van Ameland"

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van EcoCurves BV.

EcoCurves BV aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de gegevens en de modelresultaten in dit rapport.

Inhoudsopgave

Lijst figuren	7
Lijst tabellen	8
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Waterstanden	13
2.1 Berekening van waterstanden	13
2.1.1 Droogvalduurkaart	14
3 Bodemdaling en Voedsel	17
3.1 Scenario 1: Het voedsel daalt mee met de bodem	17
3.2 Scenario 2: Het voedsel schuift op	18
4 Draagkracht van deelgebieden	21
4.1 Methode voor het berekenen van een draagkracht	21
4.1.1 De stress index	21
4.1.2 Draagkracht	22
4.1.3 Voorbeeld van een berekende draagkracht	22
4.1.4 Een effectberekening	23
4.1.5 "Ideal free" en "verspreid" foerageren	24
4.1.6 Het belang van de droogvalduur	24
4.2 Natuurlijke deelgebieden	25
4.3 De kombergingen	26
4.4 Draagkracht van de kombergsgebieden	28
4.5 Bespreking	29
4.5.1 Stochasticiteit in de kokkelbestanden	29
4.5.2 Pinkegat, Kom 5	30
4.5.3 Marsdiep, Kom 1	30
4.5.4 Bodemdaling	30
5 Het effect van bodemdaling	31
5.1 Scenario 1: Het voedsel daalt mee met de bodem	31
5.1.1 Verandering van de draagkracht	31
5.1.2 Relatieve verandering van de draagkracht	32
5.1.3 De grootte van het effect van bodemdaling	33
5.2 Scenario 2: Het voedsel schuift op	34
5.2.1 De grootte van het effect van bodemdaling	35
5.3 Onzekerheid en robuustheid van het effect	35
6 De invloed van visserij	37

6.1	Methode	37
6.2	Resultaat	38
6.3	Discussie	38
7	Conclusie en Discussie	39
	Bibliografie	42
	Appendix A Getij	46
A.1	Ruimtelijke interpolatie tussen getijdestations	47
A.1.1	Verdeling van het gebied in driehoeken	47
A.1.2	Interpolatie binnen een driehoek	47
	Berekening van de gewichten	48
A.1.3	Interpolatie langs een rand	49
	Appendix B De invloed van de gebruikte waterstanden	51
B.1	Draagkracht voor vaste waterstands jaren	52
B.2	Effect van bodemdaling	52
B.3	De kommen 1 en 5	54
	Appendix C Foerageren op mosselen	55
C.1	Het aandeel mosselen in het dieet	55
C.1.1	Discussie	57

Lijst van figuren

2.1	Door Rijkswaterstaat gemeten waterstanden	13
2.2	Getijdstations in het Nederlands Waddengebied	14
2.3	voorbeeld: Droogvalduurkaart Waddengebied	15
3.1	Voorbeeld van een hoogteverdeling	18
3.2	Verandering van oppervlak door bodemdaling	19
3.3	Hoogteverdeling voor alle kombergingsgebieden	20
4.1	Voorbeeld van een draagkracht berekening met en zonder bodemdaling	23
4.2	Droogvalduur van de kokkels en het door scholeksters gegeten deel	25
4.3	Voor vogels natuurlijke deelgebieden	26
4.4	Indeling in kombergingsgebieden	27
4.5	Aanvulling van "gat in de kaart"	27
5.1	Scenario 1: Effectberekening als draagkrachtverandering	32
5.2	Effectberekening als relatieve draagkrachtverandering	33
5.3	Het effect hangt af van de droogvalduur van de kokkels	34
5.4	Scenario 2: Relatieve draagkrachtverandering	35
6.1	De invloed van visserij op de draagkracht voor scholeksters	37
7.1	Het aantal overwinterende scholeksters in het Waddengebied	40
A.1	Interpolatie binnen een driehoek van getijdstations	47
A.2	Interpolatie langs de lijn tussen twee getijdstations	49
B.1	De surveys 2001–2008 in combinatie met een vast waterstandsjaar	51
B.2	Het effect van bodemdaling berekend voor een vast waterstandsjaar in combinatie met de surveys van 2001–2008	52
C.1	Mossel functionele respons	55
C.2	Gemiddeld dieet bij "Ideal Free" verspreiding van de vogels	56
C.3	Gemiddeld dieet bij "Ideal Free" verdeling van de vogels	57

Lijst van tabellen

4.1	Berekende draagkracht en gemiddeld getelde aantallen	25
4.2	Consistentie tussen de totale draagkracht berekend voor een indeling in eilanden en de totale draagkracht van de kombergingsgebieden . .	28
4.3	Voor elk kombergingsgebied het aantal spots in de IMARES schelp- diersurveys van 2001–2008 met een droogvalduur boven de 45% . . .	29
A.1	De gebruikte getijde stations.	46
B.1	De invloed van de gebruikte waterstanden op de berekende draagkracht	53

Samenvatting

In dit rapport wordt verslag gedaan van exploratieve berekeningen met het model WEBTICS aan het effect van bodemdaling op het aantal Scholeksters dat in een kombergingsgebied kan overwinteren. Het betreft een eerste serie berekeningen op basis van de IMARES scheldiersurvey (Kamermans *et al.*, 2003; Bult *et al.*, 2004), de hoogtekaart van Rijkswaterstaat voor de periode 2003–2008 en een niet door opslibbing gecompenseerde, uniforme bodemdaling (Wang & Eysink, 2005). Deze gegevens zijn gecombineerd met de door Rijkswaterstaat iedere 10 minuten geregistreeerde waterstanden bij 15 getijdestations. Tussen de getijdestations is de waterstand lineair geïnterpoleerd.

De jaarlijkse variatie in voedselaanbod en gemiddelde waterstand is groot. Scholeksters zijn langlevende dieren, en de aantallen zullen daarom niet instantaan reageren op die jaarlijkse fluctuaties, maar op de gemiddelde omstandigheden over een langere periode. Om die reden wordt een draagkrachtberekening met WEBTICS gedaan voor een reeks van jaren met verschillend voedselaanbod en getij.

De berekeningen in dit rapport zijn gedaan voor de periode 2001–2008. Omdat draagkrachten *met* en *zonder* bodemdaling voor dezelfde periode en voor dezelfde parameterwaarden worden berekend is het berekende effect in hoge mate onafhankelijk van allerlei details omtrent waterstanden en voedselbestanden.

Twee scenario's voor de schelpdieren

Het effect van bodemdaling wordt voor twee scenario's berekend. Het eerste scenario is dat de bodemdieren op hun plaats blijven en dus meedalen met de bodem.

De bodemdaling treedt echter langzaam op, over meerdere generaties schelpdieren, en de voedselbestanden zullen dus vermoedelijk opschuiven en "hun hoogte en droogvalduur gelijk houden" (Beukema, 2002). Dat is het tweede scenario. Het voedsel op relatief hooggelegen wad krijgt dan een *geringer oppervlak* tot zijn beschikking en daardoor neemt de *hoeveelheid* hooggelegen voedsel af. Daarbij wordt aangenomen dat de vestigingskans en de dichtheid van de schelpdieren op iedere hoogte gelijk blijven.

Als het voedsel meedaalt met de bodem (scenario 1) is het effect een vermindering van de draagkracht met $5 \pm 2\% \text{ cm}^{-1}$ daling. Bij opschuivend voedsel (scenario 2) is het effect $1,8 \pm 0,7\% \text{ cm}^{-1}$ daling. Voor de komberging Pinkegat veroorzaakt een bodemdaling van 3,9 cm (in de periode 2005–2025) een vermindering van de draagkracht met ongeveer 1000 scholeksters (bij opschuivend voedsel). Voor het Zoutkamperlaag veroorzaakt de verwachte bodemdaling van 1,3 cm een vermindering van de draagkracht met ongeveer 500 scholeksters. Zonder aanpassing van de lokatie van de bodemdieren (in scenario 1) is de draagkrachtvermindering 2 à 3 keer zo groot.

Kokkelvisserij

Het effect van bodemdaling kan worden vergeleken met andere invloeden op het aantal scholeksters zoals die van de kokkelvisserij. Het effect van kokkelvisserij is *ruwweg* 1% van de draagkracht per procent visserij, maar dat is zeer sterk afhankelijk van de hoogte van de beviste kokkelbanken en de totale visserijdruk per komberging (die aanzienlijk groter kan zijn dan de *gemiddelde* visserijdruk voor het hele Waddengebied).

Berekeningen aan het *gecombineerde effect* van de bodemdaling en de lokale kokkelvisserij, zoals die werkelijk heeft plaatsgevonden, zijn op dit moment niet haalbaar door een gebrek aan visserijgegevens en door door stochastische afwijkingen in de voedselgegevens voor met name het Pinkegat.

Verbeteringen

De exploratieve berekeningen hebben duidelijk gemaakt dat voor de evaluatie in 2012 nog het nodige verbeterd kan worden. De draagkracht voor scholeksters wordt voor een belangrijk deel bepaald door de bestanden lang droogliggende schelpdieren. De steekproefgrootte van de jaarlijkse schelpdiersurvey van IMARES is mogelijk te klein om op het niveau van een komberging de fractie lang droogliggende schelpdieren goed te schatten. Voor de definitieve berekeningen is het daarom belangrijk ook de door het NIOZ verzamelde gegevens over de bodemfauna ([Aarts et al., 2010](#)) te benutten en daarmee de steekproefgrootte te verhogen.

Daarnaast maken de exploratieve berekeningen duidelijk dat de handmatige kokkelvisserij een groot effect kan hebben op de draagkracht in een komberging. Het is alleen mogelijk om in 2012 goede berekeningen te maken van het gecombineerde effect van bodemdaling en kokkelvisserij als er goede gegevens over de kokkelvisserij beschikbaar zijn. Dat wil zeggen dat van elk jaar bekend moet zijn hoeveel kokkels op welke plaat gevist werden, waarbij vooral de hoogteligging van de beviste kokkelbanken belangrijk is.

Tenslotte kan de gevoeligheid van het aantal scholeksters voor het aandeel lang droogvallende kokkels nog eens kritisch bekeken worden door gebruik te maken van de situatie in de Oosterschelde. In de Oosterschelde neemt de droogvalduur van het voedsel gestaag af ten gevolge van de zandhonger van de geulen. In [Rappoldt et al. \(2006\)](#) is daar eerder aan gerekend, maar er zijn ondertussen vijf nieuwe jaren met een schelpdiersurvey en met vogeltellingen.

Inleiding

In dit rapport wordt verslag gedaan van exploratieve berekeningen met het model WEBTICS¹ aan het effect van bodemdaling op het aantal overwinterende scholeksters in de Waddenzee. Het betreft een eerste serie berekeningen op basis van de IMARES scheldiersurvey (Kamermans *et al.*, 2003; Bult *et al.*, 2004), de hoogtekaart van Rijkswaterstaat voor de periode 2003–2008 en een eenvoudige beschrijving van de bodemdaling.

Het doel van deze exploratieve berekeningen is om alle benodigde data bij elkaar te krijgen en na te gaan of, en op welke wijze, het model WEBTICS kan worden gebruikt voor een schatting van het effect van bodemdaling. Van belang is ook het kwantificeren van de onzekerheid in het berekende effect.

Dit rapport is niet de plaats voor een uitvoerige documentatie van het gebruikte model. Enkele veranderingen die zijn aangebracht worden echter wel besproken en gedocumenteerd. Dat betreft met name een veel betere methode voor het simuleren van de getijdencycli. Er wordt nu gebruik gemaakt van de waterstanden die elke 10 minuten gemeten zijn door 15 getijdestations in en bij de Waddenzee (Hoofdstuk 2).

In Hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe de bodemdaling in rekening wordt gebracht in het WEBTICS model. Het meest eenvoudige scenario is een verlaging van de hoogte van de gebruikte schelpdierbestanden. Dit scenario wordt aangeduid met "meedalend voedsel".

Omdat bodemdaling plaatsvindt over een periode van enkele decaden zullen de kokkelbanken echter ook opschuiven. De mate waarin dit opschuiven compenseert voor de bodemdaling hangt af van de vorm van de droogvallende platen. Dit naar ons idee meer realistische scenario hebben wij aangeduid met "opschuivend voedsel".

De Waddenzee wordt vervolgens ingedeeld in een aantal deelgebieden waarvoor vogelaantallen bekend zijn. De berekende draagkracht kan dan vergeleken worden met de gemiddeld getelde aantallen.

Tenslotte worden in Hoofdstuk 5 de berekeningen gemaakt aan het effect van bodemdaling per kombergingsgebied. Door te rekenen voor *alle* kombergingsgebieden wordt een indruk verkregen van de robuustheid van het berekende effect. De robuustheid wordt verder bestudeerd door draagkrachtberekeningen te maken voor verschillende jaren getij en weer. Tenslotte dient de grootte van het effect te worden vergeleken met andere optredende processen en ingrepen in het gebied, zoals kokkelvisserij. Daarmee is een begin gemaakt.

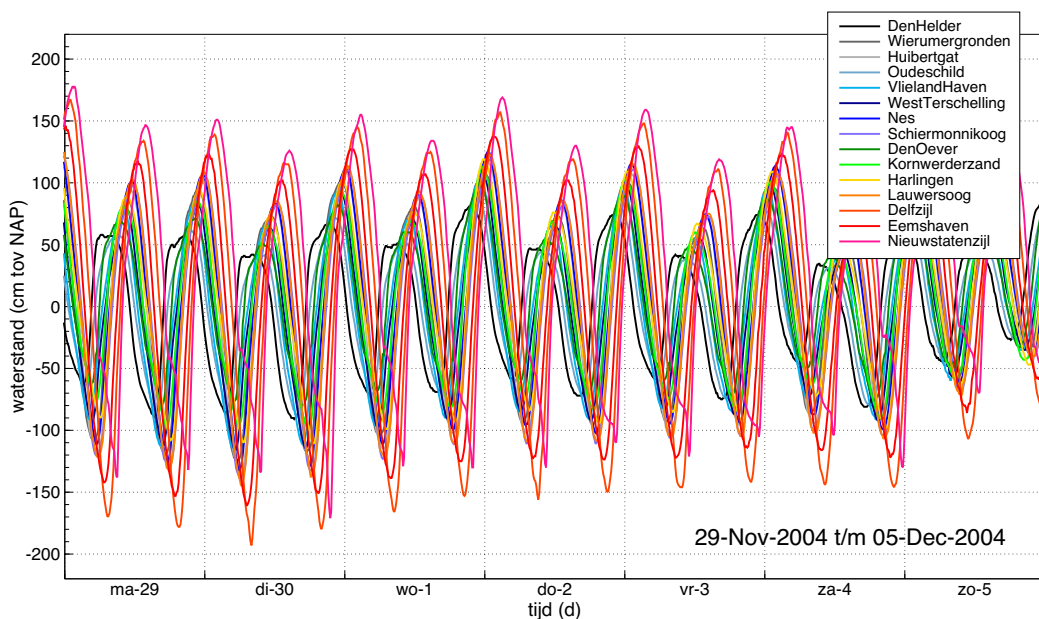
¹Wader Energy Budget and Tidal Cycle Simulator

Waterstanden

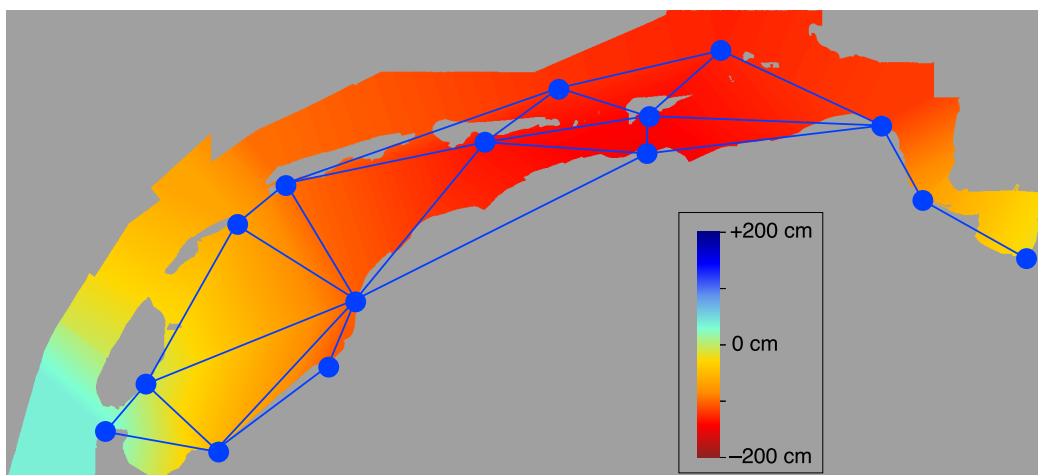
De simulatie van foeragerende scholeksters vergt iedere tijdstap een waterstand voor iedere "spot" waarvoor voedselgegevens bekend zijn. De waterstand wordt vergeleken met de van een hoogtekaart afgelezen hoogte om te bepalen of de spot onder water staat of niet. De waterstand op een bepaalde plaats en tijd wordt berekend uit de door Rijkswaterstaat om de 10 minuten bij 15 getijdestations gemeten waterstanden.

2.1 Berekening van waterstanden

Figuur 2.1 toont een voorbeeld van gemeten waterstanden. Duidelijk is te zien dat de getijgolf zich verplaatst van west naar oost. Ook het aanzienlijk grotere getijverschil in het Eems Dollard gebied is opvallend.



Figuur 2.1. Voorbeeld van door Rijkswaterstaat gemeten waterstanden. De grafiek toont de waterstanden bij 15 stations voor een week in de herfst van 2004 (29 november t/m 5 december).



Figuur 2.2. Interpolatie tussen getijdestations in het Waddengebied. De waterstanden worden gevonden door interpolatie binnen de ingetekende driehoeken of door interpolatie langs de dichtstbijgelegen rand. Voor details zie de tekst en Appendix A.

Om tijdens de simulatie met WEBTICS voor een bepaald punt en voor een bepaald tijdstip de waterstand te bepalen wordt er ruimtelijk geïnterpoleerd tussen de bij naburige getijdestations gemeten waterstanden. Bij wijze van voorbeeld laat Figuur 2.2 geïnterpoleerde waterstanden zien voor het Nederlands Waddengebied.

De gebruikte getijdestations zijn als blauwe stippen ingetekend in Figuur 2.2. Gaande van Den Helder over de eilanden zijn dat: Den Helder, Oudeschild, Vlieland haven, West-Terschelling, Nes, Wierumergronden, Schiermonnikoog en Huibertgat. En gaande van Den Helder langs de afsluitdijk en het vaste land: Den Helder, Den Oever buiten, Kornwerderzand, Harlingen, Lauwersoog, Eemshaven, Delfszijl en Nieuwstatenzijl.

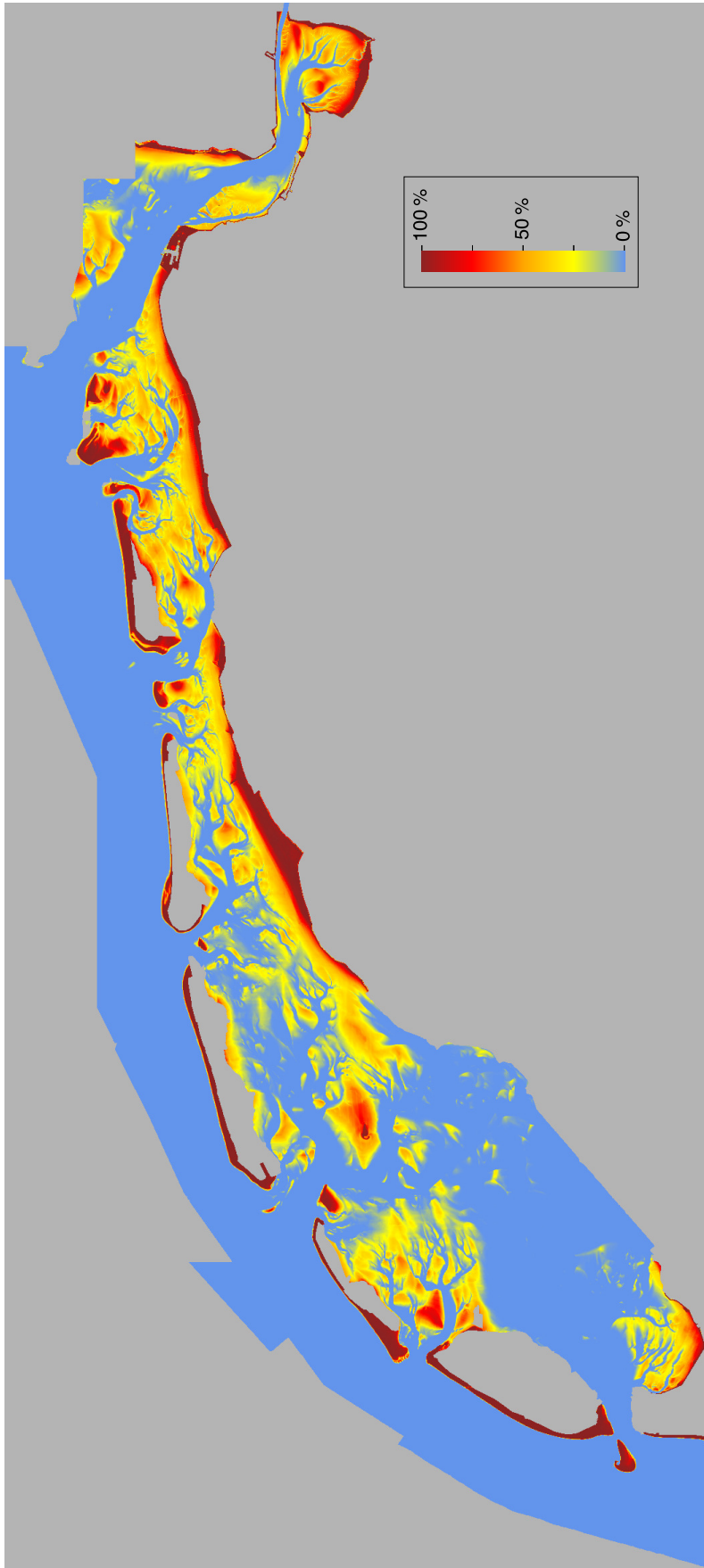
Figuur 2.2 laat tevens zien hoe er wordt geïnterpoleerd. Het grootste deel van het gebied wordt afgedekt met driehoeken gevormd door de getijdestations. Binnen die driehoeken wordt de waterstand gevonden als een gewogen gemiddelde van de drie waterstanden op de hoeken. Dat wordt nader besproken in hoofdstuk A.1.2 op bladzijde 47. Voor de punten die niet in een driehoek liggen wordt geïnterpoleerd langs de dichtstbijzijnde rand. Dat geldt met name voor enkele zeegaten in het westen, voor het Balgzand en voor het Eems-Dollard gebied. De details daarvan worden uiteengezet in hoofdstuk A.1.3 op bladzijde 49.

Tenslotte, ligt een punt niet *naast* één van de lijnstukken van de rand, dan wordt de waterstand voor het dichtstbijzijnde station gebruikt.

2.1.1 Droogvalduurkaart

Door voor alle punten van de hoogtekaart, en voor een reeks van jaren, de waterstanden te bepalen kan een droogvalduurkaart worden berekend. Die kaart geeft het percentage van de tijd dat een punt droogvalt.

De meest recente hoogtekaart van Rijkswaterstaat voor het Waddengebied heeft betrekking op de periode 2003–2008 en heeft een resolutie van 20 m. Bij wijze van voorbeeld is voor de gridcellen van deze kaart de hoogte vergeleken met geïnterpoleerde waterstanden over de periode 2003–2008. Het resultaat is de droogvalduurkaart in Figuur 2.3 op bladzijde 15. De geïnterpoleerde waterstanden zijn berekend voor iedere 10 minuten, in overeenstemming met de registraties van Rijkswaterstaat.



Figuur 2.3. Droogvaldruur kaart berekend met de in WEBTICS gebruikte interpolatie procedure (zie hoofdstuk 2.1). De hoogtekkaart van Rijkswaterstaat over de periode 2003–2008 is gecombineerd met geïnterpoleerde waterstanden over de gehele meetperiode 2003–2008. Bij nauwkeurige beschouwing blijkt de kaart enkele merkwaardige ribbels en drempels te bevatten die worden veroorzaakt door meetfouten in de hoogtekkaart van Rijkswaterstaat (± 10 cm). Een voorbeeld is een "lijn" in zuid-oostelijke richting over het wantij van Schiermonnikoog. (Bij gebruik van het PDF document van dit rapport kan worden ingezoomd om details te bekijken.)

In WEBTICS is overigens geen droogvalduurkaart nodig omdat de waterstanden voor de gridcellen van de schelpdiersurvey tijdens de simulatie worden berekend op de hierboven geschetste wijze. In de tijd wordt lineair geïnterpoleerd binnen het betreffende 10 minuten interval.

Bodemdaling en Voedsel

De bodemdaling ten gevolge van gaswinning leidt in eerste instantie tot de vorming van een bodemdalingsschotel rond de winplaats. Door de grote dynamiek van het stelsel van geulen en platen in een kombergingsgebied treedt echter een grote mate van compenserende opslibbing op.

Volgens Wang & Eysink (2005) is daarom het "netto resultaat" van de bodemdaling dat de komberging als geheel hoogte verliest. Op de schaal van de hele komberging wordt de daling slechts relatief langzaam gecompenseerd door aanvoer van sediment van buitenaf. Om die reden wordt in dit rapport gerekend met een uniforme daling in een heel kombergingsgebied.

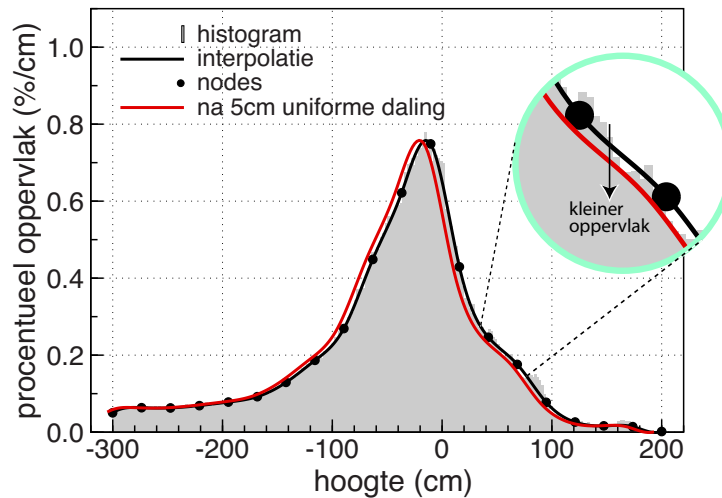
Voor de scholeksters is in feite niet de hoogte van de wadplaten van belang maar de hoogte van het voedsel. Kokkelbanken bereiken een leeftijd van een jaar of vijf terwijl de bodemdaling optreedt over een periode van tientallen jaren. Als we aannemen dat kokkels zich vestigen in een bepaalde hoogterange (Beukema, 2002), dan zal de vestigingsplaats dus langzaam opschuiven terwijl de bodem daalt.

Het effect van bodemdaling wordt daarom voor twee scenario's berekend.

- **Het voedsel daalt mee met de bodem.** De droogvalduur neemt af en daarmee de foerageertijd voor de vogels. Dit leidt tot een relatief groot effect op de draagkracht voor overwinterende scholeksters.
- **Het voedsel schuift op terwijl de bodem daalt.** Als de bodemdaling langzaam optreedt, over meerdere generaties schelpdieren, dan kan het voedsel opschuiven. Is dan bovendien voor iedere droogvalduur het beschikbare wadoppervlak gelijk, dan schuiven de schelpdierbanken op, maar blijven even groot. Er zou dan voor de vogels niets veranderen. Dat is echter niet het geval. De kokkels op relatief hooggelegen wad krijgen een geringer oppervlak tot hun beschikking. Voor laaggelegen kokkels kan het beschikbaar oppervlak toenemen tengevolge van bodemdaling. Omdat de draagkracht voor scholeksters erg gevoelig is voor de hoeveelheid lang droogvallende kokkels is er ook in dit scenario een negatief effect.

3.1 Scenario 1: Het voedsel daalt mee met de bodem

Dit is voor berekeningen met WEBTICS het eenvoudigste scenario. WEBTICS rekent op basis van een schelpdierbemonstering. Voor ieder monsterpunt wordt een hoogte afgelezen van de hoogtekkaart. Van die hoogte wordt een aantal centimeters bodemdaling afgetrokken. Het simulatiemodel combineert vervolgens de



Figuur 3.1. De verdeling van de hoogte voor het Zoutkamperlaag (Kom 6 in Figuur 4.4 op bladzijde 27). Het histogram is gemaakt voor een klassebreedte van 2 cm. De stippen zijn de "nodes" van de berekende gladde curve. In het uitvergrote gedeelte van de grafiek is te zien hoe deze gefitte curve door het histogram loopt. De rode curve heeft dezelfde vorm als de zwarte, maar is 5 cm naar links geschoven. Zie de tekst voor verdere uitleg.

nieuwe hoogtes met de waterstanden van een reeks van jaren, zoals uiteengezet in hoofdstuk 2.1.

3.2 Scenario 2: Het voedsel schuift op

Iets lastiger is het om het opschuiven van de schelpdierbestanden in rekening te brengen. Daartoe wordt eerst de hoogteverdeling afgeleid van de hoogtekaart 2003–2008.

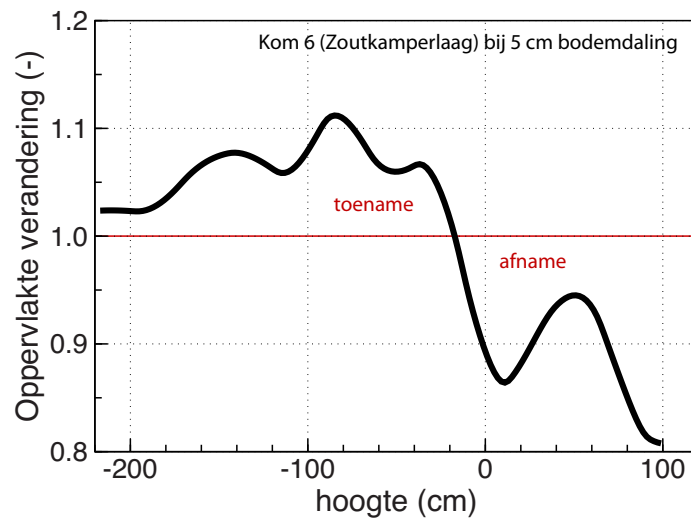
De gridcellen (20×20 m) van de hoogtekaart worden ingedeeld in een groot aantal hoogteklassen tussen -300 cm en $+200$ cm. De scores geven een histogram waardoor een gladde functie wordt gefit¹ die weergeeft hoeveel oppervlak aanwezig is op een bepaalde hoogte. Figuur 3.1 laat een voorbeeld zien voor het Zoutkamperlaag (Kom 6 in Figuur 4.4 op bladzijde 27). Het histogram en de resulterende verdeling zijn geschaald zodanig dat het totale oppervlak onder de curve 100% bedraagt.

Een uniforme bodemdaling betekent dat de hoogteverdeling naar links schuift. In het voorbeeld van Figuur 3.1 is dat gedaan voor een bodemdaling van 5 cm. Als nu (bijvoorbeeld) kokkels zich vestigen op een hoogte van $+50$ cm dan zien we in het uitvergrote deel van de hoogteverdeling dat het beschikbaar oppervlak iets kleiner geworden is. Links van de top gebeurt het omgekeerde. De hoeveelheid laag gelegen oppervlak neemt iets toe door een uniforme bodemdaling.

Deze toe- of afname is eenvoudig in rekening te brengen op bestaande schelpdier-surveys door het oppervlak dat aan een monsterpunt is toegekend te vermenigvuldigen met een correctiefactor². Deze correctiefactor ligt iets boven de 1,00 voor laaggelegen voedsel en iets onder de 1,00 voor hooggelegen voedsel en wordt (in

¹Least-squares cubic spline fit berekend met subroutine SC2FIT beschreven in [NASA's JPL laboratory \(1994\)](#).

²Het oppervlak dat aan een monsterpunt wordt toegekend hoort bij de schelpdiersurvey. Dat oppervlak wordt hier dus gecorrigeerd om in rekening te brengen dat het totale oppervlak op de hoogte van het monsterpunt groter of kleiner wordt door bodemdaling.

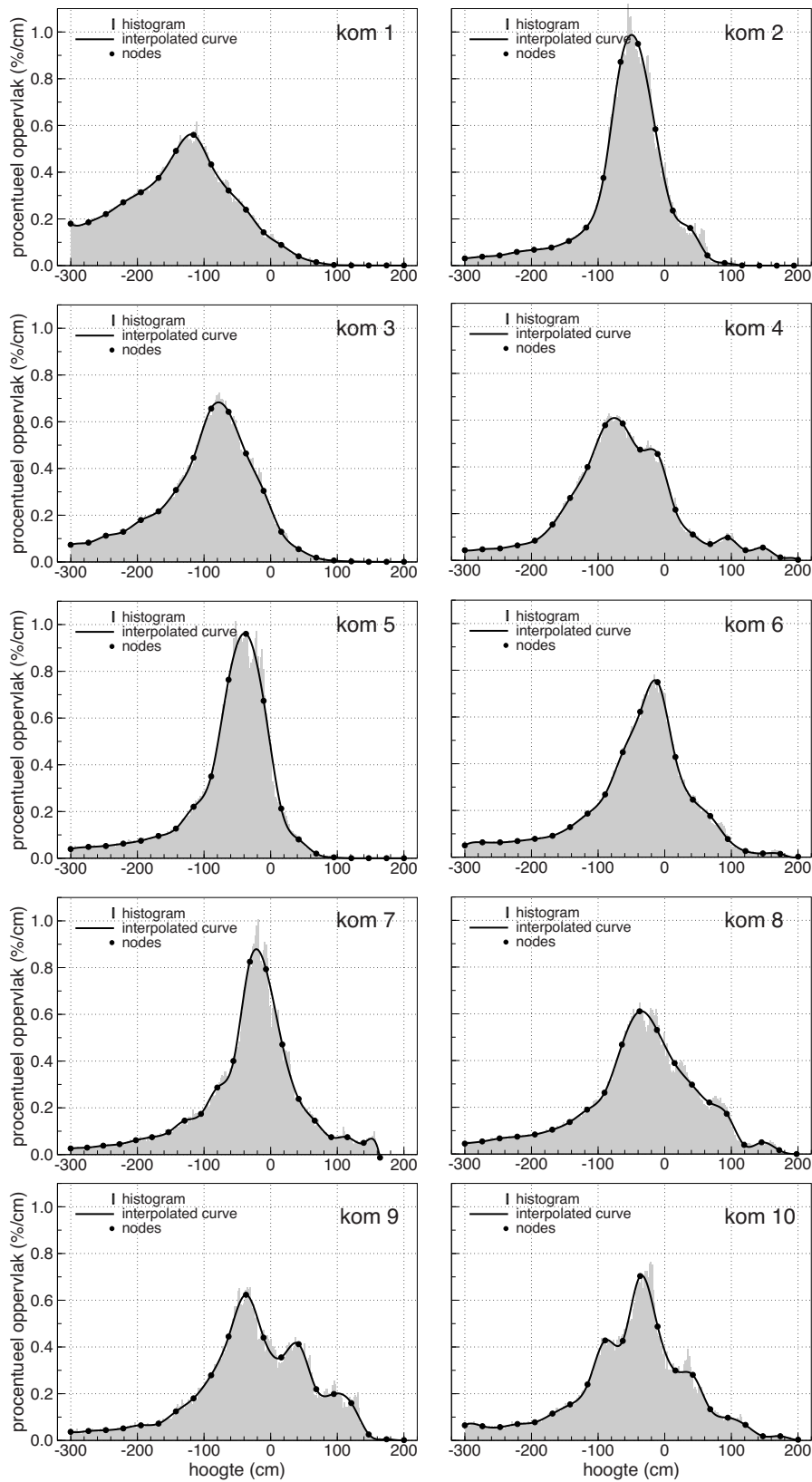


Figuur 3.2. Voorbeeld van het effect van bodemdaling. De curve is berekend voor het Zoutkamperlaag uit de hoogteverdeling in Figuur 3.1 en voor een daling van 5 cm. Het oppervlak bij hoogten beneden -18 cm neemt toe. Daarboven neemt het oppervlak af. Het effect is vrijwel lineair met de grootte van de daling.

het voorbeeld van Figuur 3.1) berekend als de verhouding tussen de rode en zwarte curve. Voor een daling van 5 cm toont Figuur 3.2 de correctiefactor als functie van de hoogte.

Inderdaad neemt het oppervlak toe voor hoogten beneden -18 cm en daarboven neemt het af. De slingers in de grafiek zijn het gevolg van verschillen in helling van de hoogteverdeling. Ze *kunnen* in overeenstemming zijn met de werkelijkheid, maar *kunnen* ook het gevolg zijn van artefacten of fouten in de hoogtekaart. Belangrijk is het verschil tussen de lage en hoge delen van het wad en dat komt tot uitdrukking in de berekende curve.

Figuur 3.3 op bladzijde 20 geeft voor alle kombergingen (zie Figuur 4.4 op bladzijde 27) de hoogteverdeling berekend uit de hoogtekaart voor 2003–2008.



Figuur 3.3. Hoogteverdeling voor alle kombergingsgebieden (zie Figuur 4.4 op bladzijde 27) berekend voor de hoogtekkaart van Rijkswaterstaat over de periode 2003–2008.

Draagkracht van deelgebieden

Een draagkracht berekening moet gedaan worden voor deelgebieden. De reden is dat scholeksters nu eenmaal niet de hele Waddenzee doorvliegen tijdens een laagwaterperiode, maar vanuit de hoogwatervluchtplaatsen een beperkt bereik hebben, van 5 à 10 km. Het zou dus niet juist zijn om alle scholeksters te laten profiteren van een paar heel goede mosselbanken bij Rottum, bijvoorbeeld. Daar profiteren alleen de scholeksters van die permanent daar in de buurt verblijven en daar ook geteld worden.

Na een beknopte uitleg van de gebruikte methode wordt eerst de draagkracht berekend van deelgebieden *tussen* de grote geulen. Voor de vogels zijn dat de natuurlijke deelgebieden omdat ze elk tij door het water vanuit de geulen naar hun hoogwatervluchtplaatsen worden teruggedreven. Vervolgens wordt de draagkracht berekend van de kombergingsgebieden. In Hoofdstuk 5 volgen dan berekeningen aan het effect van bodemdaling.

4.1 Methode voor het berekenen van een draagkracht

Het model WEBTICS¹ simuleert in tijdstappen van een kwartier de voedselopname van de scholeksters in een bepaald deelgebied. De voedselgegevens zijn afkomstig van de schelpdiersurvey van IMARES. Het gebied is ingedeeld in "cellen" waarvoor voedselgegevens beschikbaar zijn. Elk kwartier wordt bepaald welk van de cellen droogliggen. De scholeksters worden (op een bepaalde manier) verdeeld over de droogvallende cellen en foerageren totdat ze genoeg hebben.

4.1.1 De stress index

Tevens wordt berekend wat de scholeksters *maximaal* aan voedsel zou kunnen vinden, als ze niet stoppen als ze genoeg hebben en ook nooit een volle maag hebben. De verhouding tussen de voedselbehoefte en deze hypothetische maximale voedselopname is een getal tussen 0 en 1 dat aangeeft hoe hard de vogels (in de betreffende getijperiode) hebben moeten "werken" om in hun voedselbehoefte te voorzien. Het gemiddelde van al deze getallen over de meteorologische winter (de maanden december, januari en februari) wordt de *stress index* genoemd en karakteriseert de overwintering van de vogels.

¹Wader Energy Budget and Tidal Cycle Simulator

Een berekende stress index is hoger als

- er meer scholeksters zijn omdat (1) de voedselopname bij het foerageren in een hogere dichtheid lager is, en (2) in de loop van het seizoen de voedseldichtheid sneller afneemt,
- de droogvalduur kleiner is omdat de maximale voedselopname dan kleiner is,
- de temperatuur lager is omdat de voedselbehoefte dan groter is,
- er minder voedsel is omdat de maximale voedselopname dan kleiner is en de behoefte gelijk blijft.

4.1.2 Draagkracht

Als model en werkelijkheid identiek zouden zijn, dan zou de maximale stress index 1.00 kunnen bedragen. Dat is echter niet zo. In het model worden impliciet allerlei vereenvoudigende veronderstellingen gemaakt. Zo foerageren de vogels op grote cellen met binnen iedere cel een uniforme voedseldichtheid. De scholeksters in het model zijn verder allemaal gelijk terwijl er in werkelijkheid grote verschillen zijn. Er worden in het model ook geen vlieggkosten in rekening gebracht en er wordt aangenomen dat de vogels het gehele gebied perfect kennen.

Deze en andere factoren zorgen ervoor dat de maximale stress index voor overwinterende scholeksters in een gebied aanzienlijk lager ligt dan 1.00. Met behulp sterftcijfers en het aantalsverloop van de scholeksters in de negentiger jaren is voor het maximale stress niveau een waarde bepaald van 0.50 (Rappoldt *et al.*, 2006), *te bepalen als een gemiddelde over een reeks van jaren*. Deze waarde is bepaald voor de Oosterschelde en het Waddengebied² en bleek ook uitstekend te werken voor de Westerschelde (Rappoldt & Ens, 2005, 2006, 2007).

Het maximale (of kritische) stress niveau wordt dus niet geïnterpreteerd als een absolute grens waarboven de vogels dood gaan, maar als een index die correspondeert met een toenemende sterftkans, een verlaagde reproductie door een slechte conditie in het voorjaar, een slechtere overleving van de jongen, of wat dan ook de directe oorzaak moge zijn van een afnemend aantal overwinterende vogels.

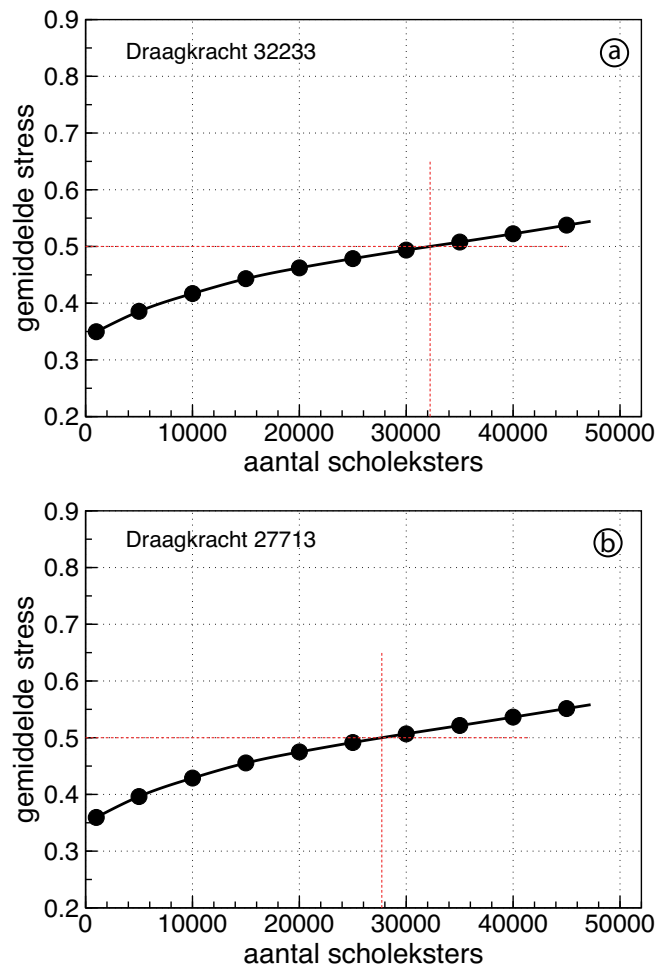
De kokkelstand is aan grote natuurlijke schommelingen onderhevig en de opeenvolging van goede en slechte jaren is een natuurlijk verschijnsel, waarmee de vogels hebben leren leven en waaraan de slechts langzaam veranderende aantallen zijn aangepast³. Een draagkracht wordt daarom altijd berekend voor de voedselbestanden over een reeks van jaren. Door de geringe jaarlijkse sterfte en reproductie is het immers de *gemiddelde* overleving die invloed heeft op het aantal scholeksters.

4.1.3 Voorbeeld van een berekende draagkracht

Figuur 4.1a toont een voorbeeld van een draagkrachtberekening. Voor kombergingsgebied 6 (het gebied tussen de Engelsmanplaat en het wantij van Schiermonnikoog) is een draagkracht berekend voor de voedselbestanden uit de jaren 2001–2008. Voor ieder seizoen wordt een stress index berekend en de gemiddelde waarde

²In de eerste rapporten over Oosterschelde (Rappoldt *et al.*, 2003a) en Waddenzee (Rappoldt *et al.*, 2003b) werd nog gewerkt met een kwadratische index. Dat is echter nodeloos gecompliceerd en de calibratie is daarom in Rappoldt *et al.* (2006) herhaald voor een lineaire index.

³Een eenmaal volwassen scholekster kan tientallen jaren oud worden (Goss-Custard, 1996). De jaarlijkse aanwas door reproductie en de jaarlijkse sterfte liggen in de orde van procenten.



Figuur 4.1. Draagkracht berekening voor de voedselbestanden over de periode 2001–2008 in combinatie met de hoogtekaart van Rijkswaterstaat over de periode 2003–2008. (a) zonder bodemdaling. (b) met een uniforme bodemdaling van 40 mm.

wordt met behulp van herhaalde simulaties bepaald als functie van het aantal overwinterende vogels (waarvoor gewoon waarden worden gekozen).

De grafiek in Figuur 4.1a laat zien dat de gemiddelde stress index inderdaad oploopt met het aantal vogels. Door de grafiek af te lezen bij een kritisch stress niveau van 0.50 wordt de draagkracht geschat op 32000 vogels.

4.1.4 Een effectberekening

In Figuur 4.1b is de hele procedure herhaald onder toepassing van een uniforme bodemdaling van 40 mm over het gehele kombergingsgebied. Dat levert hogere stress indices op, een hoger gemiddelde, en daardoor een lagere draagkracht. Het verschil in draagkracht, $32233 - 27713 = 4520$ vogels is het resultaat van de opgelegde bodemdaling.

Dit voorbeeld illustreert tevens een belangrijk methodisch punt. Er zitten natuurlijk allerlei afwijkingen in een berekende draagkracht ten gevolge van stochastische afwijkingen in de voedselgegevens, het kritisch stress niveau, modelparameters rond voedselbehoefte, parameters rond de groei en het vleesgewicht van schelpdieren,

etc. Als deze waarden zijn echter gelijk in de draagkrachtberekening met en zonder bodemdaling.

Als het effect, in dit geval 4520 vogels, dan ook nog eens wordt uitgedrukt als percentage ten opzichte van de berekende draagkracht, dan ontstaat een zekere robuustheid tegen de onzekerheid in de model input.

Deze robuustheid betekent natuurlijk niet dat voor willekeurige parameterwaarden kan worden gerekend. Modelresultaten moeten wel degelijk in de buurt liggen van de realiteit, maar een afwijking van bijvoorbeeld 10% in een parameterwaarde betekent niet dat een effect van 1% niet meer gedetecteerd kan worden.

Hieronder worden allereerst draagkracht berekeningen gedaan voor deelgebieden waarvoor ook aantallen vogels bekend zijn (de "eilandgebieden"). Vervolgens wordt nagegaan of de draagkracht van de kombergingsgebieden consistent is met die van de eilandgebieden. Effectberekeningen voor de kombergingsgebieden worden beschreven in Hoofdstuk 5.

4.1.5 "Ideal free" en "verspreid" foerageren

Een belangrijke parameter van het model bepaalt de wijze waarop de vogels worden verspreid over het droogvallende wad (de droogvallende "cellen"). Twee methoden worden gehanteerd, de zogenaamde "ideal free verdeling" en "verspreid foerageren". De ideal free verdeling maximaliseert de momentane voedselopname door de hoogste vogeldichtheid op de rijkste plekken te leggen en op de armere plekken een (veel) lagere. Dat gebeurt zodanig dat op alle bezette plekken de voedselopname even groot is.

Lang niet altijd echter, is er de noodzaak om de voedselopname te maximaliseren. In perioden dat de vogels gemakkelijk aan hun behoefte kunnen voldoen, kunnen ze zich over meer verschillende "cellen" verspreiden. Als dat toegelaten wordt, dan raken in de simulaties de rijkste voedselgebieden minder snel uitgeput.

Het kritisch stress niveau van 0.50 is bepaald voor "verspreid foerageren", maar wordt in dit rapport ongewijzigd toegepast op de simulaties met een ideal free verdeling. Door de snellere uitputting van de rijkste voedselgebieden is de berekende draagkracht daardoor lager dan die voor verspreid foerageren.

4.1.6 Het belang van de droogvalduur

Scholeksters eten kokkels als ze droogvallen, dus het is evident dat de droogvalduur van de kokkels invloed zal hebben op de draagkracht van een gebied voor scholeksters. Het in Figuur 4.1 berekende effect van bodemdaling wordt geheel daardoor veroorzaakt omdat het effect van de daling op de kokkels zelf buiten beschouwing is gebleven.

Figuur 4.2 illustreert nog eens hoe het werkt. De figuur laat histogrammen zien van de droogvalduur van de kokkels met daarin aangegeven het door scholeksters gegeten deel. De (model)vogels eten het meest van de lang droogvallende kokkels. Door bodemdaling verschuift het gehele histogram naar links en de droogvalduur van de voor scholeksters interessante kokkels neemt daardoor relatief snel af.

Tabel 4.1. Berekende draagkracht en gemiddeld getelde aantallen. De draagkracht berekening is gedaan voor zowel verspreid foeragerende vogels als onder de aanname van "ideal free" verdeelde vogels. In dat laatste geval worden alleen de beste plekken gebruikt.

deelgebied	verspreid	ideal free	geteld
Balgzand+Texel	10720	9310	21268
Friesche Kust	11873	7424	15925
Vlieland	8709	6663	6632
Terschelling	13547	9656	11453
Ameland+Kust	52868	40921	34096
Schiermonnikoog+Kust	62685	45364	29547
Rottum+Kust	49352	43967	22426
Totaal	209754	163305	141347

4.2 Natuurlijke deelgebieden

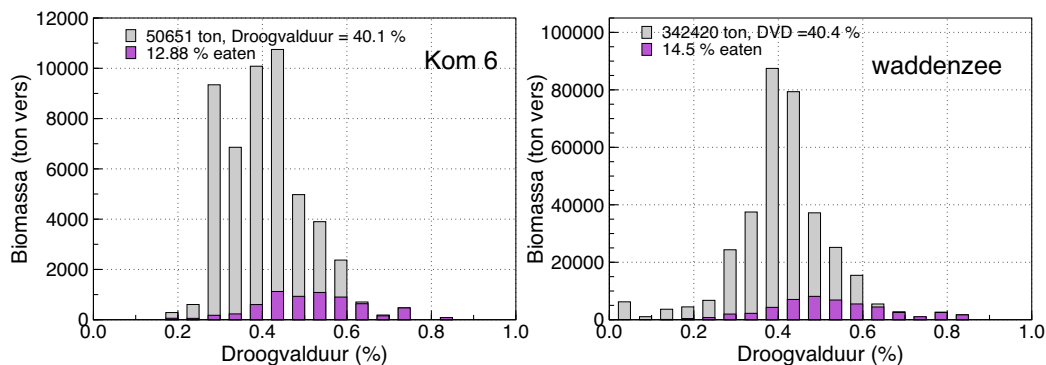
De vogels die van dezelfde foerageergebieden gebruik maken worden ook wel een "getijdpopulatie" genoemd. De vogels overtijen op een kwelder, zandplaat of in een polder, verspreiden zich met laagwater over het wad, en worden met opkomend water vanaf de geulen tussen de eilanden weer teruggedreven naar hun hoogwatervluchtplaats. Dat betekent dat grote geulen de natuurlijke scheiding vormen tussen getijdpopulaties en dat de natuurlijke deelgebieden voor vogels dus eerder de eilanden zijn dan de kombergingen.

Door middel van tellingen op de hoogwatervluchtplaatsen zijn voor die deelgebieden bovendien aantallen scholeksters bekend zodat een vergelijking gemaakt kan worden tussen een berekende draagkracht en getelde aantallen.

De gebruikte indeling in Figuur 4.3 bestaat uit de 5 grote eilanden, het gebied bij Rottum en een deel van de Friesche kust. De kust oostelijk van Zwarte Haan is ingedeeld bij de tegenover liggende eilanden.

De draagkracht is berekend met het voedsel voor de seizoenen 2001–2002 tot en met 2008–2009. Voor ieder seizoen zijn het historische getij en weer gebruikt. De draagkracht is dan het aantal vogels waarbij de gemiddelde stress index het kritisch niveau van 0.50 overschrijdt.

De berekeningen zijn gedaan voor zowel verspreid foeragerende vogels als voor ideal free verdeelde vogels. Het resultaat is te zien in Tabel 4.1. Enkele opmerkingen



Figuur 4.2. Droogvalduur van de kokkels in 2004 met (in paars) het deel gegeten door scholeksters op draagkracht (voor verspreid foerageren). (a) Kom 6. (b) Gecombineerd histogram voor alle kombergingen.

over de resultaten:

- Er is een aanzienlijk verschil in draagkracht tussen de twee opties voor de verspreiding van de vogels (zie hoofdstuk 4.1.5 op bladzijde 24).
- Voor de deelgebieden Balgzand+Texel en Friesche Kust is het aanwezige aantal vogels hoger dan het berekende aantal.
- Voor de drie oostelijke deelgebieden is dat omgekeerd: de berekende draagkracht ligt aanzienlijk boven de getelde aantallen.

De verschillen tussen de berekende draagkracht en de getelde aantallen *kunnen* veroorzaakt worden door afwijkingen in de input of door fouten in het model⁴.

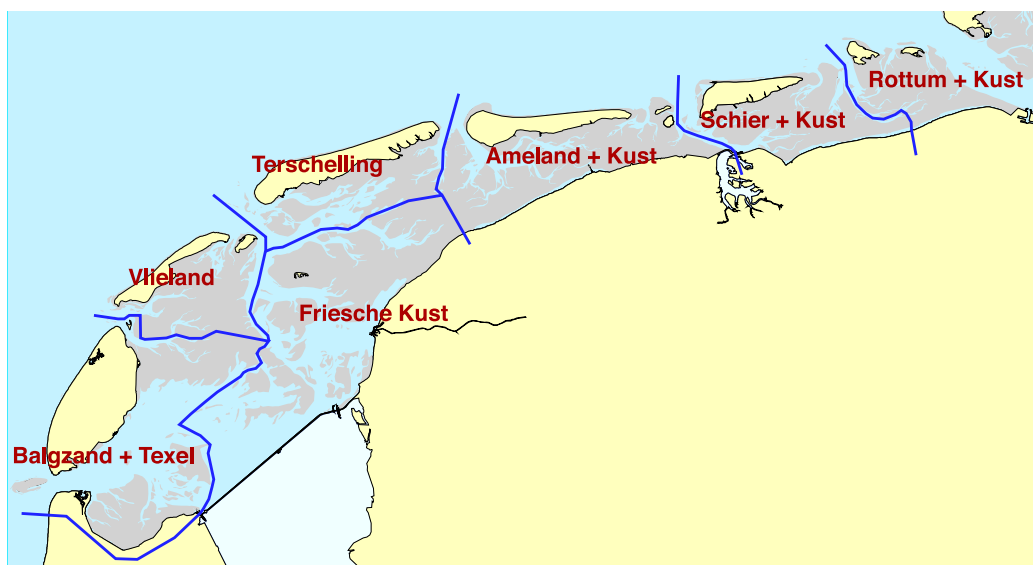
De berekende draagkrachten *kunnen* ook wijzen op een werkelijk bestaande situatie. Het zou kunnen dat er door het herstel van de mosselbanken in het oosten momenteel een situatie bestaat waarin het aantal scholeksters in de oostelijke waddenzee achterblijft bij de draagkracht. Behalve goede winters zullen er in dat geval meerdere goede broedseizoenen nodig zijn voor een feitelijk herstel van de aantallen.

4.3 De kombergingen

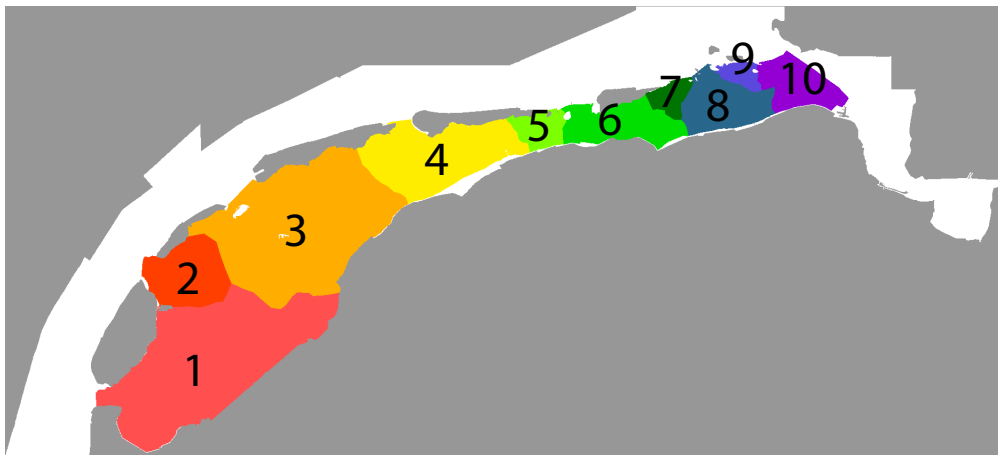
Sediment transport speelt zich van nature af in de kombergingsgebieden die door een geul tussen de eilanden met de Noordzee in verbinding staan. In Figuur 4.4 is de gebruikte indeling weergegeven.

Een probleem dat vooral speelt als de onderscheiden deelgebieden relatief klein zijn is dat er "gaten" in de 2003–2008 kaart van Rijkswaterstaat zitten op plaatsen die voor vogels belangrijk zijn, veelal vlak onder enkele eilanden. We hebben dat

⁴De calibratie van WEBTICS, dat is het bepalen van het kritisch stress niveau, is gedaan met een eerdere versie van het model. De veranderingen sindsdien aangebracht zijn niet essentieel, maar kunnen wel enige invloed hebben, zoals het sterk verbeterde gebruik van de gemeten waterstanden.



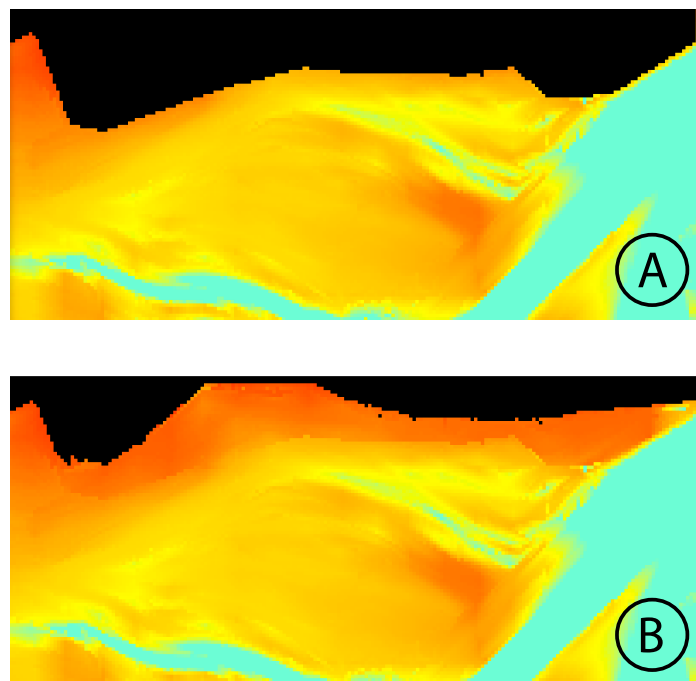
Figuur 4.3. Omdat vogels voor een groot deel op de eilanden overtijden en zich vandaar met afgaand water verspreiden over het wad zijn de natuurlijke deelgebieden voor vogels de "eilandgebieden" en niet de kombergingsgebieden.



Figuur 4.4. Indeling in kombergingsgebieden. Het Pinkegat gebied is Kom 5, de komberging van het Zoutkamperlaag is Kom 6.

opgelost door voor die plaatsen de kaart voor 1997-2002 af te lezen. Ook die is niet volledig, maar het grootste deel van voedsel-spots zonder hoogte blijkt wèl op de 1997-2002 kaart te staan.

Vanwege de rol van kom 5 onder Ameland-Oost bekijken we de "gaten" in de kaart van Rijkswaterstaat voor dat deelgebied wat nauwkeuriger. Ten zuiden van de Hon zit een gat dat zelfs op de overzichtskaart in Figuur 2.3 goed te zien is. Figuur 4.5A toont de zwarte strook ten zuiden van de Hon in meer detail en in Figuur 4.5B is die gedeeltelijk gevuld met gegevens van de 1997-2002 kaart.



Figuur 4.5. Het "gat" in de hoogtekaart onder Ameland-Oost is gedeeltelijk gevuld met de gegevens van de kaart 1997-2002. (A) Detail van de kaart van 2003-2008. (B) Ten zuiden van de Hon is een deel van de ontbrekende hoogtes aangevuld met de kaart van 1997-2002. Er is een plotselinge hoogteverandering te zien.

Tabel 4.2. Berekende draagkracht voor de kombergingsgebieden en een vergelijking van het totale aantal met dat voor de indeling in eilanden in Tabel 4.1. De kolommen met kokkelgegevens hebben betrekking op twee- en meerjarige kokkels, het voornaamste wintervoedsel van scholeksters.

Kom	Draagkracht		Kokkels (twee- en meerjarig)		
	verspreid	ideal free	sept (kiloton)	droogvalduur(%)	gegeten ^(a) (%)
1	6668	5385	6.64	36.0	23.2
2	14293	10781	6.83	45.8	43.3
3	25121	18501	21.82	37.2	24.8
4	37871	30906	54.96	37.7	18.1
5	3367	2316	9.92	37.4	6.3
6	32233	22515	19.35	43.7	29.0
7	17289	11130	8.38	44.0	37.7
8	45712	33646	37.16	44.7	31.2
9	16693	15545	15.13	45.7	33.5
10	9895	9352	15.95	40.3	13.1
”kommen”	209142	160077	196.16	40.3	22.3
”eilanden”	209754	163305	196.16 ^(b)	40.3 ^(b)	20.5

(a) Het percentage gegeten kokkels is een *gemiddeld percentage* over de 8 beschouwde seizoenen met het aantal scholeksters op draagkracht bij *verspreid* foerageren. Dit percentage zegt dus iets over een gemiddelde winter. De verhouding tussen *de totale gegeten hoeveelheid kokkels* (in 8 jaar) en *de som van de bestanden* is wat lager, 18.4% voor de gecombineerde kommen en 17.2% voor de gecombineerde eilanden, en zegt iets over het lot van de gemiddelde (twee- en meerjarige) kokkel.

(b) Het totale kokkelbestand en de gemiddelde droogvalduur van het totale bestand zijn uiteraard hetzelfde voor de indeling in ”kommen” en ”eilanden”, maar de gemiddeld jaarlijks gegeten fractie is wel iets verschillend.

4.4 Draagkracht van de kombergsgebieden

De draagkracht is berekend voor alle kombergingsgebieden apart (zie Tabel 4.2) voor zowel verspreid foeragerende scholeksters als voor een ideal free verdeling (zie hoofdstuk 4.1.5 op bladzijde 24). Tabel 4.2 laat verder zien dat het totaal van de berekende draagkrachten goed overeen komt met de totale draagkracht berekend voor de eiland-indeling.

Voor de komgebieden 1 en 5 is de berekende draagkracht echter erg klein. Het gaat in werkelijkheid in Kom 1 om naar schatting tenminste 22000 vogels⁵. En in Kom 5 gaat het waarschijnlijk om ongeveer 14000 vogels⁶.

Tabel 4.2 bevat ook enkele kolommen met kokkelgegevens, het bestand in kiloton (vers), de gemiddelde droogvalduur van de kokkels en het bij draagkracht (met verspreid foerageren) door de scholeksters gegeten percentage. Alle getallen zijn gemiddelden over de acht beschouwde seizoenen 2001–2008.

⁵Het getal van 22000 is berekend over de seizoenen volgend op september 2001–2008, als een gemiddelde over de maanden september tot en met maart, en met behulp van de volgende SOVON telgebieden: een kwart van WG11 (Texel), WG14 (Harlingen-Afsluitdijk), WG15 (Afsluitdijk), WG16 (Wieringen), WG17 (Balgzand), WG18 (kust Den Helder).

⁶Berekend op dezelfde manier als het getal voor Kom1, maar nu met de telgebieden WG26 (Holwerd-Lauwersoog), de helft van WG22 (Ameland), de helft van WG23 (Engelsmanplaat).

Tabel 4.3. Het aantal spots ("cellen") in de IMARES schelpdiersurvey's met een droogvalduur boven de 45%.

Survey	Aantal spots met een droogvalduur boven 45% voor:									
	kom 1	kom 2	kom 3	kom 4	kom 5	kom 6	kom 7	kom 8	kom 9	kom 10
2001	14	34	44	30	4	27	25	53	20	12
2002	13	26	32	26	6	26	14	53	19	16
2003	13	17	22	46	10	25	13	54	17	23
2004	12	36	45	37	10	33	15	31	16	15
2005	7	24	28	16	4	14	9	24	12	9
2006	6	24	28	18	4	16	10	27	11	9
2007	6	15	29	16	3	15	9	23	11	8
2008	6	22	29	16	3	17	10	23	11	9
gemiddeld	10.	25.	32.	26.	6.	22.	13.	36.	15.	13.

4.5 Bespreking

Voor de meeste kombergingen is de berekende draagkracht consistent met die voor de eilandgebieden in hoofdstuk 4.2. Zoals hierboven opgemerkt geldt dat echter *niet* voor de kommen 1 en 5.

4.5.1 Stochasticiteit in de kokkelbestanden

Voordat we nader op ingaan op het resultaat voor de kommen 1 en 5, hier enkele opmerkingen over de nauwkeurigheid van de kokkelbestanden.

Bult *et al.* (2004, Figuur 4.2) geven voor het totale kokkelbestand van de Waddenzee een 95%-betrouwbaarheidsinterval van $\pm 30\%$ voor kleine bestanden en $\pm 10\%$ voor grote bestanden. Voor één enkel kombergingsgebied zal de foutenmarge aanzienlijk groter zijn in verband met het veel kleinere aantal monsters.

Met WEBTICS wordt op basis van de survey een draagkracht berekend voor scholteksters die in het bijzonder afhangt van de hoeveelheid lang droogvallende kokkels (zie Figuur 4.2 op bladzijde 25). Dat betekent een nog kleiner aantal monsters dat uiteindelijk de berekende draagkracht bepaalt.

Ter illustratie van dit punt laat Tabel 4.3 voor alle kombergingsgebieden het aantal spots zien met een droogvalduur boven de 45%. Opvallend is het wel erg kleine aantal in kom 5 (gemiddeld 6 monsters per jaar met een droogvalduur boven 45%). Dat hoeft overigens niet aan de survey te liggen, want ook de kaart (en de fouten daarin) speelt bij de bepaling van dit aantal een rol.

De toevallige fout in een berekende draagkracht wordt weer wat verminderd doordat een draagkrachtberekening altijd voor een reeks van jaren wordt gedaan. Voor grote deelgebieden is de jaarlijkse variatie in het kokkelbestand veel groter dan een toevallige fout van enkele tientallen procenten, maar voor kleine deelgebieden zal de stochasticiteit van de monsternamen een steeds grotere rol gaan spelen.

De *grootte* van stochastische afwijkingen in een berekende draagkracht kan onderzocht worden, maar dat valt buiten het kader van dit rapport. We willen hier slechts vaststellen dat voor kleine deelgebieden de berekende draagkracht een stochastisch element krijgt en mogelijk ook "biased" is⁷.

⁷Dat wil zeggen dat het gemiddelde van de draagkrachten berekend voor een groot aantal random realisaties van de survey niet hetzelfde is als de draagkracht voor de gemiddelde survey,

4.5.2 Pinkegat, Kom 5

In Tabel 4.2 valt op dat in Kom 5 slechts 6.3% van de kokkels wordt gegeten door de (verspreid foeragerende) scholeksters op draagkracht. De berekende draagkracht is dus lager dan op grond van het *gemiddelde kokkelbestand* verwacht zou mogen worden.

Dat betekent dat het probleem vermoedelijk gelegen is in enkele slechte jaren die er òf wel in werkelijkheid niet waren, òf die op het aanwezige aantal scholeksters (van ongeveer 22000) geen blijvende invloed hebben gehad. Inspectie van de resultaten voor de afzonderlijke seizoenen leert dat het hier vermoedelijk de seizoenen 2001–2002 en 2002–2003 betreft die slecht waren voor Kom 5, maar voor géén van de andere deelgebieden.

Een paar slechte jaren extra hoeft niet met bijzondere omstandigheden ter plekke te maken te hebben. Zoals in hoofdstuk 4.5.1 hierboven uiteengezet kan heel goed het gevolg zijn van stochasticiteit in de schelpdiersurvey, met name vanwege het bijzonder kleine aantal laag droogvallende spots in Kom 5.

4.5.3 Marsdiep, Kom 1

Het op draagkracht gegeten percentage van de kokkels in Kom 1 past *wel* in het beeld van de overige kommen. En de gemiddelde droogvalduur van de kokkels is weliswaar laag, de laagste uit de reeks zelfs, maar nauwelijks lager dan die voor de kommen 3, 4 en 5. Vergelijken we de kommen 1 en 3 in Tabel 4.2 dan is inderdaad de verhouding tussen gemiddeld kokkelbestand en draagkracht vergelijkbaar (1.00 vogel per ton voor Kom 1 en 1.15 vogel per ton voor Kom 3 bij verspreid foerageren).

Het lijkt dus allemaal tamelijk "normaal", maar toch is de berekende draagkracht maar een kwart van het aanwezige aantal vogels. De reden is hier dus niet zo eenvoudig als voor Kom 5, al is ook hier het aantal spots in de survey met een droogvalduur boven de 45% klein, gemiddeld 10. Er is dus ook hier mogelijk sprake van stochasticiteit via de schelpdiergegevens. De gegevens voor de negentiger jaren en een vergelijking met de schelpdiergegevens van het NIOZ ([Aarts et al., 2010](#)), kunnen hier mogelijk uitsluitsel geven.

4.5.4 Bodemdaling

De lage berekende draagkracht voor de kommen 1 en 5 is opvallend, maar wordt hier verder opgevat als het resultaat van stochasticiteit in de schelpdiersurvey. De schelpdierbestanden in de 10 kombergingen worden dus beschouwd als 10 herhalingen in een proef en het effect van bodemdaling wordt in het volgende hoofdstuk berekend voor *alle* kombergingen apart. De verschillen tussen de kombergingen geven dan een indruk van de nauwkeurigheid van het berekende gemiddelde effect.

dus dat de draagkracht systematisch afwijkt tengevolge van toevallige fouten in de survey.

Het effect van bodemdaling

Als de bodem daalt neemt bij gelijkblijvende waterstanden de droogvalduur af. Dat leidt tot hogere stress niveaus voor de gesimuleerde seizoenen, en daarmee tot een lagere waarde voor een berekende draagkracht.

Doordat voor ieder kombergingsgebied slechts een beperkte hoeveelheid voedselgegevens beschikbaar is, ontstaan stochastische afwijkingen in de berekende draagkrachten, en mogelijk ook in het effect van bodemdaling. De berekeningen zijn daarom niet alleen voor de kommen 5 en 6 gedaan (waar de bodemdaling feitelijk heeft plaatsgevonden of nog plaatsvindt), maar voor *alle* kombergingen.

De berekeningen zijn gedaan voor schelpdierbestanden die gewoon meedalen (of meestijgen) met de bodem en voor schelpdierbestanden die opschuiven in de periode. Deze opschuiving compenseert gedeeltelijk het effect van bodemdaling en levert inderdaad een kleiner effect op voor de scholeksters.

5.1 Scenario 1: Het voedsel daalt mee met de bodem

De scheldierssurveys over de periode 2001–2008 leveren monsterpunten waarvoor de hoogtekaart van Rijkswaterstaat (periode 2003–2008) is afgelezen. De hoogtes worden eenvoudig verminderd met de bodemdaling. In dit scenario schuiven de schelpdieren dus niet op.

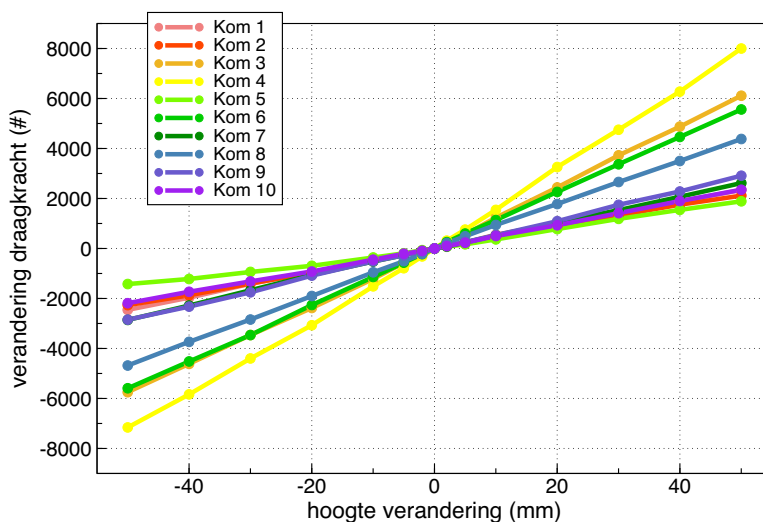
5.1.1 Verandering van de draagkracht

Tabel 4.2 op bladzijde 28 geeft de berekende draagkracht voor de komgebieden *zonder bodemdaling*, dus bij een hoogteverandering van 0,0 mm. Figuur 5.1 geeft aan wat er met de berekende draagkracht gebeurt als de bodem *in de hele komberging* gedaald is (hoogteverandering negatief) of gestegen is (hoogteverandering positief¹), *bij gelijkblijvende waterstanden en hetzelfde voedsel*.

Het in Figuur 5.1 weergegeven effect is berekend voor verspreid foeragerende vogels en (net als Tabel 4.2), voor de jaren 2001–2008, en voor de hoogtekaart van Rijkswaterstaat voor de jaren 2003–2008.

Het effect van bodemdaling zal voor een groot gebied met veel scholeksters groter zijn dan dat voor een klein gebied met relatief weinig vogels. Het ligt daarom voor

¹Ten opzicht van de hoogtekaart 2003–2008 heeft de bodemdaling in het Pinkegat al voor een belangrijk deel plaatsgevonden. Er is daarom gerekend met zowel een daling als een stijging van de bodem.



Figuur 5.1. De verandering van de draagkracht in Tabel 4.2 (verspreid foerageren) bij een uniforme daling of stijging van de bodem, als het voedsel met de bodem meedaalt (scenario 1). De punten geven een berekende waarde weer. De kleuren van de lijnen komen overeen met de kleuren op de kaart in Figuur 4.4.

de hand om het in Figuur 5.1 berekende effect uit te drukken als een percentage van de draagkracht zonder bodemdaling.

5.1.2 Relatieve verandering van de draagkracht

Figuur 5.2 laat het berekende effect van hoogteverandering zien, uitgedrukt als percentage van de draagkracht zonder hoogteverandering. Voor 8 van de 10 kombergingen is het effect ongeveer 4% per centimeter bodemdaling. Voor de kommen 1 en 5 echter is het *relatieve* effect ruim twee keer zo groot.

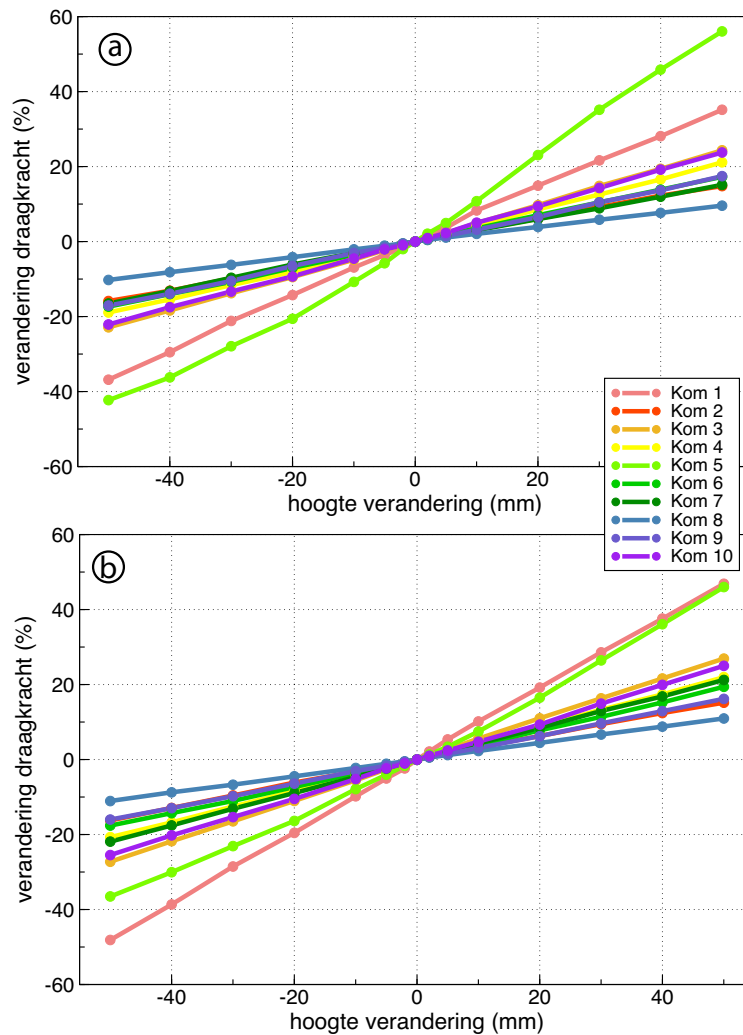
Inplaats van een uitzondering te maken voor de kommen 1 en 5 kunnen we ook proberen de verschillen in de grootte van het effect beter te begrijpen. Daartoe wordt voor iedere komberging apart het percentage scholeksters per centimeter bodemdaling berekend (dat is de helling van de lijnen in Figuur 5.2)².

Het op deze wijze gekwantificeerde effect wordt in grafiek gebracht als functie van de droogvalduur van de twee- en meerjarige kokkels, voor elk deelgebied gemiddeld over de beschouwde seizoenen 2001–2008 (zie Tabel 4.2). Het resultaat in Figuur 5.3 laat zien dat bodemdaling vermoedelijk een groter effect heeft bij een kortere droogvalduur van de kokkels. Dat is te als volgt te begrijpen.

Bij een kleine droogvalduur is de draagkracht van het gebied relatief laag (zie het percentage gegeten kokkels in Tabel 4.2), omdat slechts een klein deel van de kokkels lang droogvalt (zie Figuur 4.2 op bladzijde 25). Verschuift nu de droogvalduur, dan zal het voor scholeksters interessante deel van het kokkelbestand snel in grootte toe- of afnemen. Dat betekent een grote gevoeligheid van de draagkracht voor hoogteverandering.

Bij een grote gemiddelde droogvalduur zal een hoogteverandering een kleiner relatief effect hebben omdat een relatief groot deel van de kokkels lang droogvalt en die fractie reageert minder gevoelig op de verandering.

²De lijnen zijn niet helemaal recht, maar de richting wordt zeer goed benaderd door de draagkrachtvermindering bij -40 mm te delen door 4 (centimeter).



Figuur 5.2. Het effect van bodemdaling en bodemstijging uitgedrukt als percentage ten opzichte van de draagkracht zonder bodemdaling. De kokkels dalen (of stijgen) mee met de bodem (scenario 1). (a) Verspreid foerageren. (b) Ideal free verdeling.

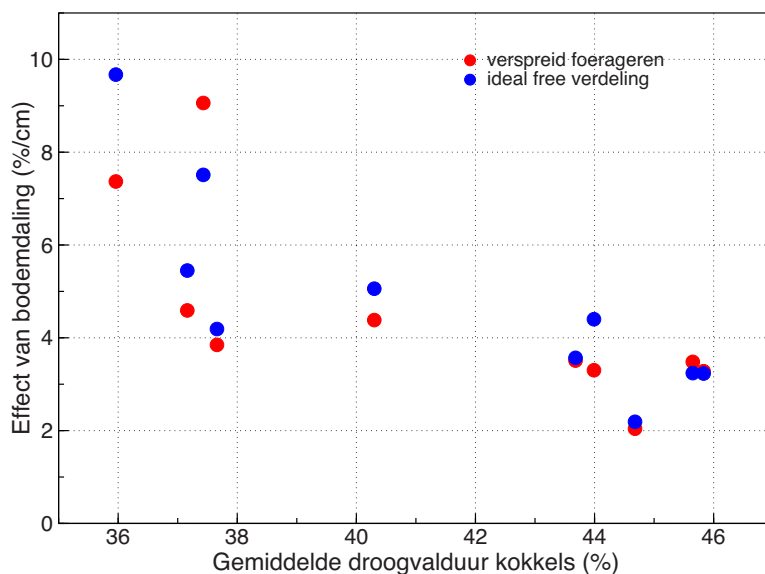
5.1.3 De grootte van het effect van bodemdaling

De totale berekende draagkracht zonder bodemdaling is 209142 vogels voor verspreid foerageren, en met 4 cm daling³ wordt dat 179033 vogels. Het effect op de totale draagkracht is dus $3.6\% \text{ cm}^{-1}$. Aan dit gemiddelde dragen vooral de deelgebieden met een hoge draagkracht bij.

We kunnen ook het effect van de gemiddelde droogvalduur in Figuur 5.3 negeren en de verschillen tussen de kommen als toevallige variabiliteit beschouwen. Het gemiddelde procentuele effect is dan $4.5 \pm 2.1\% \text{ cm}^{-1}$. Dit gemiddelde is iets hoger dan het draagkracht-gewogen gemiddelde van $3.6\% \text{ cm}^{-1}$ vanwege het relatief grote effect in de kommen 1 en 5 met een kleine draagkracht.

Dezelfde cijfers voor ideal free foerageren (zie hoofdstuk 4.1.5 op bladzijde 24) zijn een gewogen gemiddeld effect op de totale draagkracht van $4.0\% \text{ cm}^{-1}$ en een gemiddeld procentueel effect voor de 10 komgebieden van $4.9 \pm 2.2\% \text{ cm}^{-1}$.

³Het maakt bijzonder weinig uit voor welke bodemdaling dit getal berekend wordt. Voor 5 mm daling is het gemiddelde effect $3.7\% \text{ cm}^{-1}$



Figuur 5.3. Het effect van bodemdaling in scenario 1 uitgedrukt als percentage draagkrachtverlies als functie van de droogvalduur van de kokkels, berekend voor zowel verspreid als ideal free foerageren.

5.2 Scenario 2: Het voedsel schuift op

Als voor alle hoogtes het oppervlak aan wadplaat hetzelfde zou zijn, dan kan het voedsel opschuiven terwijl de bodem daalt. In dat geval zou er voor de vogels niets veranderen. Bij de gegeven plaatmorfologie leidt bodemdaling echter tot een vermindering van het relatief lang droogvallend plaat oppervlak. Dat betekent dat het opschuiven van het voedsel de bodemdaling slechts gedeeltelijk zal compenseren.

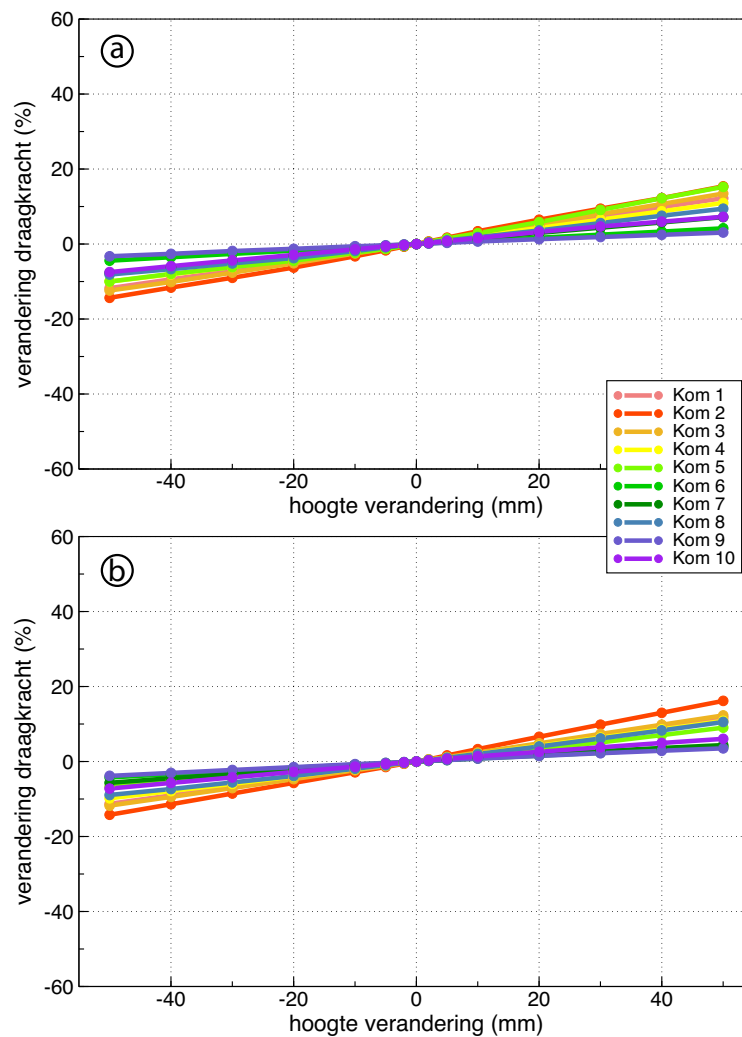
In WEBTICS wordt aan dit scenario gerekend door het oppervlak dat aan ieder monsterpunt van een survey is toegekend⁴ te veranderen. Het oppervlak wordt vermenigvuldigd met een factor afgeleid uit de hoogteverdeling van de betreffende komberging. Deze factor beschrijft de verkleining (of vergroting) van het beschikbare oppervlak als het voedsel opschuift en zodoende op gelijke hoogte blijft. We nemen hierbij dus aan dat de kans op vestiging en de dichtheid van de kokkels op een bepaalde hoogte gelijk blijven. In hoofdstuk 3.2 is de berekening van de correctiefactoren uitvoerig beschreven.

Figuur 5.4 toont het berekende effect bij opschuivend voedsel. Het effect is weer vrijwel lineair met de grootte van de hoogteverandering.

Zoals verwacht is het effect is aanzienlijk kleiner dan dat in scenario 1 voor meedalende kokkels. Dat is overigens niet noodzakelijkerwijs het geval. Als het oppervlak lang droogvallend wad snel afneemt met de hoogte (zoals op de top van een wadplaat⁵), dan kunnen de lang droogvallende delen van het voedsel (bijna) geheel verdwijnen en kan het effect met opschuivend voedsel zelfs groter zijn dan met meedalend voedsel⁵.

⁴De oppervlakken die aan de monsterpunten worden toegekend maken deel uit van de IMARES schelpdiersurvey. Ze zijn ook nodig voor het maken van een jaarlijkse schatting van het schelpdierbestand.

⁵In dit verband is het interessant dat voor Kom2 de effecten voor meedalend voedsel en voor opschuivend voedsel ongeveer even groot zijn, 3.3 respectievelijk 2.9 % cm⁻¹ voor zowel verspreid als ideal free foerageren.



Figuur 5.4. De relatieve verandering van de draagkracht in Tabel 4.2 voor een uniforme daling of stijging van de bodem, als het voedsel opschuift zodat de droogvalduur gelijk blijft (scenario 2). De schaal is dezelfde als die in Figuur 5.2. De kleuren van de lijnen komen overeen met de kleuren op de kaart in Figuur 4.4. (a) Verspreid foerageren. (b) Ideal free verdeling.

5.2.1 De grootte van het effect van bodemdaling

De totale berekende draagkracht zonder bodemdaling is natuurlijk dezelfde als die in scenario 1, 209142 vogels voor verspreid foerageren. Met 4 cm daling wordt dat 194681 vogels. Het effect op de totale draagkracht is dan $1.7\% \text{ cm}^{-1}$ voor zowel verspreid als ideal free foerageren. Aan dit gemiddelde dragen vooral de deelgebieden met een hoge draagkracht bij.

Het gemiddelde over de percentages per deelgebied bedraagt $1.8 \pm 0.7\% \text{ cm}^{-1}$ voor verspreid foerageren en $1.7 \pm 0.7\% \text{ cm}^{-1}$ voor ideal free foerageren.

5.3 Onzekerheid en robuustheid van het effect

Om een onzekerheidsmarge te schatten is gerekend voor *alle* kombergingen, die natuurlijk in allerlei details omtrent schelpdiersurvey en hoogtekaart van elkaar

verschillen (zie bijvoorbeeld Figuur 3.3 op bladzijde 20). De variatie rond het gemiddelde effect, uitgedrukt als standaardafwijking, bedraagt ongeveer 40% van de gemiddelde waarde ($4.9 \pm 2.2 \% \text{ cm}^{-1}$ voor meedalend voedsel en $1.7 \pm 0.7 \% \text{ cm}^{-1}$ voor opschuivend voedsel).

Verder zijn alle berekeningen uitgevoerd voor zowel verspreid als ideal free foeragerende vogels. De wijze van verspreiding blijkt weinig invloed te hebben op het relatieve effect van bodemdaling (Figuren 5.2 en 5.4).

In Appendix B wordt bestudeerd hoe gevoelig een berekend effect is voor het gebruik van een andere serie waterstanden. Er is immers nogal wat natuurlijke variatie in waterstand tussen jaren. Bij gebruik van hogere waterstanden is een berekende draagkracht lager zijn en zal het *effect van bodemdaling* mogelijk anders zijn.

De berekeningen in Appendix B zijn gedaan voor *meedalend voedsel* en voor een *ideal free* verdeling van de vogels. Het resultaat is dat een berekende draagkracht inderdaad sterk beïnvloed wordt door de gemiddelde laagwaterstand, maar een berekend *relatief effect* van bodemdaling wijkt niet sterk af van dat in Figuur 5.3b, een effect van ongeveer $5 \% \text{ cm}^{-1}$ dat alleen hoger is bij het gebruik van waterstanden die de gemiddelde droogvalduur sterk verlagen, hetgeen consistent is met het resultaat in Figuur 5.3.

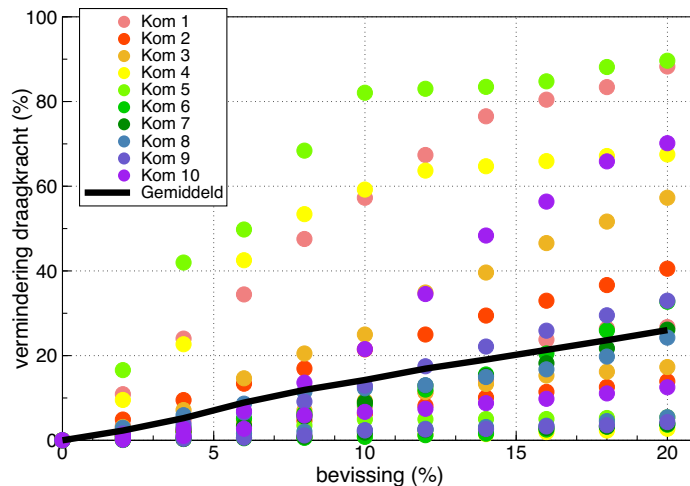
De invloed van visserij

Bij het beoordelen van de grootte van het effect van bodemdaling is het van belang om ook andere invloeden op het aantal scholeksters te kennen. Omdat de kokkelvisserij ook in de kombergingen met bodemdaling aanzienlijk is geweest worden hier dan ook berekeningen gemaakt aan het effect van visserij.

6.1 Methode

In het model WEBTICS wordt kokkelvisserij in rekening gebracht door op 1 oktober een opgegeven hoeveelheid kokkels weg te halen. Dat gebeurt in de berekeningen voor dit rapport voor ieder kombergingsgebied apart. Voor ieder gebied apart worden dus de kokkels verwijderd van de plekken met de grootste dichtheid aan kokkels die voldoende groot zijn voor menselijke consumptie. Die plekken worden, beginnend bij de grootste dichtheid, voor 85% leeg gevist totdat de opgegeven hoeveelheid is gerealiseerd.

Over de plaatsen waar de kokkelvisserij in werkelijkheid heeft plaatsgevonden zijn geen gegevens beschikbaar. We hebben daarom het effect van visserij bestudeerd per komberging, en met een variabel percentage. Omdat het effect van visserij sterk



Figuur 6.1. Vermindering van de draagkracht voor scholeksters als functie van het percentage visserij. De visserij is per kombergingsgebied toegepast.

afhangt van de droogvalduur van de opgeviste kokkels laten we in de berekeningen de visserij op twee manieren plaatsvinden, op de kokkels met een droogvalduur onder 45% of op de kokkels met een droogvalduur boven 45%.

De berekeningen zijn gedaan met een voor alle jaren gelijke visserijdruk tussen 2% en 20% van de bestandsgrootte in september. Dat gaat aanzienlijk verder dan de maximale visserij van 5% voor de gehele Waddenzee. Echter, als 5% van het *totale bestand* uit één of enkele kombergingen wordt weggevoerd, dan is de *lokale visserijdruk* automatisch aanzienlijk groter dan de globale 5%.

De bedoeling van deze berekeningen is om het effect van bodemdaling te kunnen vergelijken met het effect van bijvoorbeeld 10% visserij in een (gemiddeld) kombergingsgebied. Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling om allerlei opties voor visserij door te rekenen of om deelgebieden te identificeren waar de visserij grotere of kleinere effecten heeft. In het bijzonder is het geviste percentage gelijk gehouden in alle gesimuleerde seizoenen en varieert dus niet met de bestandsgrootte.

6.2 Resultaat

Het resultaat in Figuur 6.1 laat zien dat het effect van visserij sterk varieert tussen de kombergingen. De grootste effecten worden altijd berekend voor het vissen op relatief lang droogvallende kokkels. De curve in Figuur 6.1 geeft het gemiddelde over alle kombergingen en over de twee "visserij methodes". De curve laat een gemiddeld effect zien dat iets groter is dan het geviste percentage.

6.3 Discussie

Het effect van visserij in Figuur 6.1 is slechts het *directe effect* van de visserij in een bepaald jaar. Het uitgangspunt van ieder gesimuleerd seizoen is immers het kokkelbestand van dat jaar, ook als dat al beïnvloed is door visserij in de voorgaande jaren.

Een analyse van het volledige effect van visserij vraagt een vergelijking tussen simulaties met visserij en de kokkelbestanden zoals die zouden zijn geweest zonder visserij. Dat is geen gemakkelijke kwestie, maar voor kokkelbanken met meerjarige kokkels is de situatie relatief eenvoudig. Die kokkels groeien nauwelijks meer en ze verdwijnen langzaam door natuurlijke sterfte, predatie door vogels, en visserij. In de situatie van schaarser wordend voedsel "aan het einde van een kokkelpiek", heeft dus een jaarlijks herhaalde bevissing een cumulatief effect op de vogels dat in de berekeningen met WEBTICS niet wordt meegenomen.

Conclusie en Discussie

De berekeningen in dit rapport aan het effect van een *uniforme bodemdaling*¹ in een kombergingsgebied laten zien dat de draagkracht voor scholeksters lineair afneemt met $5 \pm 2\% \text{ cm}^{-1}$ daling (hoofdstuk 5.1.3), onder de voorwaarde dat er géén aanpassing optreedt van de lokatie van de bodemdieren en het voedsel dus gewoon meedaalt met de bodem.

Omdat de bodemdaling optreedt over een periode van enkele decaden, aanzienlijk langer dan de leeftijd van een kokkelbank, is dit ecologisch gezien onwaarschijnlijk (Beukema, 2002). Als de schelpdieren langzaam opschuiven en "hun droogvalduur gelijk houden" bedraagt het effect $1.8 \pm 0.7\% \text{ cm}^{-1}$ bodemdaling (hoofdstuk 5.2.1). Voor deze berekening is aangenomen dat vestigingskans en dichtheid van de kokkels op een bepaalde hoogte gelijk blijven (en niet het totale bestand).

De berekeningen zijn uitgevoerd met de schelpdierbestanden, het weer en het getij uit de periode 2001–2008, in combinatie met de hoogtekaart van Rijkswaterstaat uit dezelfde periode. De uitkomst is robuust tegen een andere aanname omtrent de verspreiding van vogels en ook tegen het gebruik van afwijkende waterstanden zolang de droogvalduur van de kokkels realistisch gesimuleerd wordt. De standaard deviaties zijn geschat aan de hand van de verschillen tussen de 10 kombergingsgebieden.

Komberging 5, Pinkegat, ligt tussen 2005 en 2025 circa 3.9 cm lager dan het geval zou zijn geweest zonder gaswinning (Wang & Eysink, 2005, Figuur 4.5)². Daarna verdwijnt het verschil langzaam doordat de gaswinning zal zijn gestopt. In scenario 2 voor opschuivende voedselbestanden komt dat overeen met een draagkrachtverlies van 7% en dat correspondeert met ongeveer 1000 scholeksters³.

Komberging 6, Zoutkamperlaag, ligt ongeveer 1.3 cm lager (Wang & Eysink, 2005, Figuur 4.5). Dat is een effect van 2.3% op 23000 aanwezige vogels⁴, ofwel een

¹Dat is een bodemdaling die overal in de komberging even groot is. Er is dus geen "bodemdalingsschotel" gebruikt.

²De gebruikte curves uit Wang & Eysink (2005, Figuur 4.5) zijn (1) Het plaatvolume met label "Vp-geen" zonder gaswinning en (2) Het plaatvolume met label "Vp-tot" met gaswinning uit zowel het Amelandveld als uit de nieuwe velden. Het verlies van plaatvolume is omgerekend naar een gemiddelde netto bodemdaling met behulp van een plaatoppervlak van $44.6 \times 10^6 \text{ m}^2$ voor het Pinkegat en $72.15 \times 10^6 \text{ m}^2$ voor het Zoutkamperlaag.

³Berekend op basis van het aanwezige aantal van 14000, geschat voor het winterseizoen in de periode 2001–2008 uit de telresultaten voor de SOVON telgebieden WG26 (Holwerd-Lauwersoog), de helft van WG22 (Ameland), de helft van WG23 (Engelsmanplaat).

⁴Berekend uit de overwinterende aantallen over 2001–2008 in de SOVON telgebieden: de helft van WG23 (Engelsmanplaat), driekwart van WG31 (Schiermonnikoog) en WG35a (kust van Linthorsthomanpolder tot Lauwersoog)



Figuur 7.1. Het aantal overwinterende scholeksters in het Nederlands Waddengebied berekend als het gemiddeld aanwezige aantal in de periode van september tot en met maart. Het op de horizontale as weergegeven seizoen is het jaarnummer van september.

vermindering met 500 vogels. Als de bodemdieren niet opschuiven en dus meedalen met de bodem (scenario 1), dan is het effect 2 à 3 keer zo groot.

De beoordeling van deze effecten als zijnde groot of klein is niet het onderwerp van dit rapport. Hieronder echter enkele opmerkingen die daarbij van belang zijn.

- Het aantal scholeksters in de Waddenzee is het resultaat van sterfte en broedsucces. Scholeksters worden relatief oud, afname door sterfte en toename door broedsucces bedragen gemiddeld slechts procenten van de populatie per jaar, en dat betekent dat het aantal vogels slechts langzaam varieert.
- Het aantal scholeksters in de Waddenzee wordt dus niet beperkt door een draagkracht als absolute bovengrens waarboven alle vogels dood gaan. Net zo min hebben plotseling alle vogels het heel gemakkelijk als hun aantal onder de "draagkracht" ligt.
- Een invloed op de draagkracht zoals berekend in dit rapport moet daarom worden gezien als een verhoging van de sterftekans, uitgedrukt als een verandering van het aantal. Scholeksters zijn aangepast aan veranderende schelpdierbestanden en jaarlijkse variaties in het getijde, maar als de *gemiddelde* sterftekans verhoogd is dan zal het aantal vogels afnemen totdat het weer in evenwicht is met het broedsucces. De snelheid waarmee dit gebeurt wordt niet berekend door het WEBTICS model.
- Vanwege de grote jaarlijkse variatie wordt een draagkrachtberekening met WEBTICS altijd gedaan voor een reeks van jaren met verschillend voedselaanbod en verschillend getij. Voor de berekeningen in dit rapport is de periode 2001–2008 gebruikt.
- Voor een organisme dat van jaar op jaar reageert op sterk fluctuerende omstandigheden is het zinvol om een "effect" te vergelijken met de natuurlijke variaties, maar voor scholeksters die langzaam reageren op *gemiddelde omstandigheden* is dat niet juist. Een effect op de draagkracht moet daarom niet vergeleken worden met de (grote) jaarlijkse variatie in voedselaanbod of getijde.
- Een effect op de draagkracht kan natuurlijk wel vergeleken worden met de aantalsveranderingen zoals die zich in het verleden hebben voorgedaan. Fi-

guur 7.1 laat daartoe het overwinterende aantal scholeksters zien tussen 1973 en 2008.

- De periode waarover de bodemdaling optreedt is lang genoeg, tientallen jaren, om een effect op de draagkracht ook feitelijk te laten optreden.

Een geheel andere kwestie is of de veronderstelde bodemdaling ook werkelijk optreedt. Die vraag kan met name voor het Pinkegat worden gesteld, maar valt buiten het kader van dit rapport.

Kokkelvisserij en bodemdaling

De laatste jaren heeft een aanzienlijke visserij plaatsgevonden onder Ameland-Oost en bij Engelsmanplaat. Gedetailleerde gegevens daarover ontbreken echter en bovendien zijn de schelpdiersurveys voor Kom 5 (Pinkegat) te grof om de effecten van bodemdaling en visserij te combineren in cumulatieve effectberekeningen (zie Tabel 4.3). Wel zijn er voor twee visserij scenario's en 10 verschillende visserij percentages effectberekeningen gemaakt waaruit blijkt dat de invloed van bevissing ruwweg gelijk is aan het opgeviste percentage kokkels⁵.

Een visserij van 5% leidt tot een draagkrachtvermindering van *ruwweg* 5% (sterk afhankelijk echter van de wijze van bevissing en van bijkomende cumulatieve effecten). 5% van 140000 scholeksters is 7000 vogels. De draagkrachtvermindering in Pinkegat en Zoutkamperlaag tengevolge van bodemdaling is $1000 + 500 = 1500$ vogels voor scenario 2 (bodemdieren passen zich aan en schuiven op naar zones met een gelijke droogvalduur) en rond 4000 vogels als er geen aanpassing plaatsvindt van de lokatie van bodemdieren.

Indien de toegestane visserij van 5% van het *totale bestand* wordt geconcentreerd in één of twee kombergingen dan is de *lokale visserijdruk* overigens aanzienlijk groter dan de globale 5%. Eigenlijk zouden berekeningen gedaan moeten worden naar het effect van lokale visserij in combinatie met bodemdaling. Zoals gezegd zijn zulke berekeningen momenteel niet haalbaar door een gebrek aan visserijgegevens en door stochastiek in de voedselgegevens.

Verbeteringen

De exploratieve berekeningen in dit rapport hebben duidelijk gemaakt dat voor de evaluatie in 2012 nog het nodige verbeterd kan worden. De draagkracht voor scholeksters wordt voor een belangrijk deel bepaald door de bestanden lang droogliggende schelpdieren. En de steekproefgrootte van de jaarlijkse schelpdiersurvey van IMARES is mogelijk te klein om op het niveau van een komberging de fractie lang droogliggende schelpdieren goed te schatten. Voor de definitieve berekeningen is het daarom belangrijk om ook de door het NIOZ verzamelde gegevens over de bodemfauna (Aarts *et al.*, 2010) te benutten en daarmee de steekproefgrootte te verhogen.

Verder is het alleen mogelijk om goede berekeningen te maken van het *gecombineerde effect* van bodemdaling en kokkelvisserij als er ook goede gegevens over de kokkelvisserij beschikbaar komen. Dat wil zeggen dat van elk jaar bekend moet zijn hoeveel kokkels op welke plaat gevestigd werden, waarbij vooral de hoogteligging van de beviste kokkelbanken belangrijk is.

⁵Hierin is het cumulatieve effect van jaarlijkse visserij op de kokkelbestanden niet meegenomen, alleen het directe effect van een opgevestigd deel op de overwinterende scholeksters in hetzelfde seizoen.

Tenslotte kan de gevoeligheid van het aantal scholeksters voor het aandeel lang droogvallende kokkels nog eens kritisch bekeken worden door gebruik te maken van de situatie in de Oosterschelde. In de Oosterschelde neemt de droogvalduur van het voedsel gestaag af ten gevolge van de zandhonger van de geulen. In [Rappoldt *et al.* \(2006\)](#) is daar eerder aan gerekend, maar er zijn ondertussen vijf nieuwe jaren met een schelpdiersurvey en met vogeltellingen.

Referenties

- Aarts, G., Dekinga, A., Holthuijsen, S., ten Horn, J., Smith, J., Kraan, C., Brugge, M., Bijleveld, A., Piersma, T., v.d. Veer, H., 2010. Benthic macrofauna in relation to natural gas extraction in the Dutch Wadden Sea. Technical report, NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research, Texel, the Netherlands.
- Beukema, J. J., 2002. Expected changes in the benthic fauna of Wadden Sea tidal flats as a result of sea-level rise or bottom subsidence. *Journal of Sea Research* 47, 25–39.
- Bult, T. P., Ens, B. J., Baars, D., Kats, R. K. H., Leopold, M. F., 2004. Evaluatie van de meting van het beschikbare voedselaanbod voor vogels die grote schelpdieren eten. Rapportage in het kader van EVA-II deelproject B3. Technical report, Wageningen IMARES, voorheen RIVO, Yerseke, the Netherlands. RIVO Rapport C018/04.
- Goss-Custard, J. D., 1996. *The Oystercatcher, from individuals to populations.* Oxford University Press, New York.
- Kamermans, P., Kesteloo-Hendrikse, J. J., Baars, D., 2003. Evaluatie van de geschatte omvang en ligging van kokkelbestanden in de waddenzee, ooster- en Westerschelde. Rapportage in het kader van EVA-II deelproject H2. Technical report, Wageningen IMARES, voorheen RIVO, Yerseke, the Netherlands. RIVO Rapport C054/03.
- NASA's JPL laboratory, 1994. Math77, Mathematical Subprograms for FORTRAN 77. Language Systems Corporation, Sterling VA 20164, USA. Based on Math77 of NASA's Jet Propulsion Laboratory, currently distributed by Math à la Carte, www.mathalacarte.com.
- 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 1992–1993 met het simulatiemodel WEBTICS. Technical report, Alterra, Wageningen, the Netherlands. Alterra-rapport 1209.
- 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. Technical report, EcoCurves, Haren, the Netherlands. EcoCurves rapport 1.
- Rappoldt, C., Ens, B. J., 2007. Scholeksters en de verruiming van de Westerschelde; Modelberekeningen voor de periode 1992-2015 aan het effect van de voorgenomen verruiming van de vaargeul op het aantal scholeksters. Technical report, EcoCurves, Haren, the Netherlands. EcoCurves rapport 5.
- Rappoldt, C., Ens, B. J., Berrevoets, C. M., Geurts van Kessel, A. J. M., Bult, T. P., Dijkman, E. M., 2003a. 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 de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. Technical report, Alterra, Wageningen, the Netherlands. Alterra-rapport 883.
- Rappoldt, C., Ens, B. J., Bult, T. P., Dijkman, E. M., 2003b. 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. Technical report, Alterra, Wageningen, the Netherlands. Alterra-rapport 882.
- 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. Technical report, EcoCurves, Haren, the Netherlands. EcoCurves rapport 2.
- Wang, Z. B., Eysink, W. D., 2005. Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning ; Vloedkommen van het Friesche Zeegat. Technical report, Waterloopkundig Laboratorium, Delft, the Netherlands. Rapport Z3995.
- Zwarts, L., Ens, B. J., Goss-Custard, J. D., Hulscher, J. B., le V. dit. Durell, S. E. A., 1996. Causes of variation in prey profitability and its consequences for the intake rate of the oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Ardea* 84A, 229–268.

Appendices

APPENDIX A

Getij

Om een waterstand te kunnen vergelijken met de hoogtekaart, moet de waterstand eerst zelf worden berekend. Beschikbaar zijn metingen met een interval van 10 minuten voor een reeks getijdestations. Zouden we echter voor ieder punt van de kaart de waterstand van het dichtstbijgelegen getijdestation gebruiken, dan ontstaan er storende discontinuïteiten. Er moet dus geïnterpoleerd worden tussen de stations.

De interpolatie wordt op zuiver geometrische wijze uitgevoerd. Er wordt dus geen rekening gehouden met het plaatselijk verloop in de waterstand tengevolge van stroming in de geulen of met effecten van wind. De 15 getijdestations in het Nederlands Waddengebied leveren echter ook zonder fysisch model een heel redelijke weergave van de wijze waarop de "getijgolven" zich van west naar oost door het gebied verplaatsen. Bovendien zullen lokale verschillen in waterstand bij opkomend water grotendeels gecompenseerd worden door de omgekeerde verschillen bij afgaand water. Voor ecologische berekeningen lijkt de geometrische aanpak dus voldoende nauwkeurig.

De gebruikte getijgegevens zijn afkomstig van Rijkswaterstaat (www.waterbase.nl). Ook de hoogtekaart van de Waddenzee, die de basis vormt voor een berekende droogvalduurkaart is afkomstig van Rijkswaterstaat.

Tabel A.1. De gebruikte getijde stations.

XRD	YRD	GetijStation =
111850,	553230,	'DenHelder',
132030,	549440,	'DenOever',
151610,	564780,	'Kornwerderzand'
156480,	576550,	'Harlingen',
208850,	602790,	'Lauwersoog',
250750,	607900,	'Eemshaven',
276540,	584310,	'Nieuwstatenzijl',
258000,	594430,	'Delfzijl',
221990,	621330,	'Huibertgat',
209170,	609500,	'Schiermonnikoog',
192882,	614562,	'Wierumergronden',
179707,	604916,	'Nes',
143870,	597420,	'WestTerschelling',
135280,	590000,	'VlielandHaven',
118980,	561460,	'Oudeschild'

A.1 Ruimtelijke interpolatie tussen getijdestations

Tabel A.1 geeft de lijst gebruikte getijdestations met de coördinaten in het Rijksdriehoek stelsel.

A.1.1 Verdeling van het gebied in driehoeken

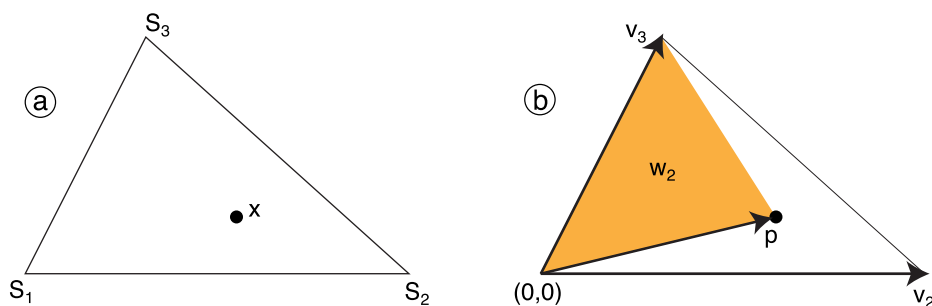
Figuur 2.2 laat geïnterpoleerde waterstanden zien voor het Nederlands Waddengebied. De gebruikte getijdestations zijn als blauwe stippen ingetekend. Gaande van Den Helder over de eilanden zijn dat: Den Helder, Oudeschild, Vlieland haven, West-Terschelling, Nes, Wierumergronden, Schiermonnikoog en Huibertgat. En gaande van Den Helder langs de afsluitdijk en het vaste land: Den Helder, Den Oever buiten, Kornwerderzand, Harlingen, Lauwersoog, Eemshaven, Delfszijl en Nieuwstatenzijl.

Het grootste deel van het gebied wordt afgedekt met driehoeken gevormd door getijdestations. Binnen die driehoeken wordt de waterstand gevonden als een gewogen gemiddelde van de drie waterstanden op de hoeken. Dat wordt nader besproken in hoofdstuk A.1.2. Voor de punten die niet in een driehoek liggen wordt geïnterpoleerd langs de dichtstbijzijnde rand. Dat geldt met name voor enkele zeegaten in het westen, voor het Balgzand en voor het Eems-Dollard gebied. De details daarvan worden uiteengezet in hoofdstuk A.1.3.

Tenslotte, ligt een punt niet *naast* één van de lijnstukken van de rand, dan wordt de waterstand voor het dichtstbijzijnde station gebruikt.

A.1.2 Interpolatie binnen een driehoek

Figuur A.1a laat een punt \vec{x} zien dat ligt in een driehoek gevormd door drie getijdestations, met coördinaten gegeven door \vec{S}_1 , \vec{S}_2 en \vec{S}_3 (bijvoorbeeld Rijksdriehoek coördinaten). We verschuiven de oorsprong naar de plaats van het eerste station. Het resultaat is te zien in Figuur A.1b, waarin de vectoren $\vec{v}_2 = \vec{S}_2 - \vec{S}_1$ en $\vec{v}_3 = \vec{S}_3 - \vec{S}_1$ de driehoek weergeven (samen met de oorsprong) en het beschouwde punt P gegeven wordt door $\vec{p} = \vec{x} - \vec{S}_1$.



Figuur A.1. Een driehoek gevormd door drie getijdestations. Voor een punt binnen de driehoek wordt de waterstand berekend als een gewogen gemiddelde van de waterstanden bij de stations. Het gekleurde oppervlak is het gewicht behorende bij station S_2 .

De interpolatie wordt uitgevoerd door de positie \vec{p} van het punt te beschrijven als

lineaire combinatie van \vec{v}_2 en \vec{v}_3 . Dus

$$\vec{p} = w_2 \vec{v}_2 + w_3 \vec{v}_3. \quad (\text{A.1})$$

Voor $\vec{x} = \vec{S}_1 + \vec{p}$, betekent dat

$$\vec{x} = w_2 \vec{S}_2 + w_3 \vec{S}_3 + (1 - w_2 - w_3) \vec{S}_1,$$

wat met $w_1 = 1 - w_2 - w_3$ geschreven wordt als

$$\vec{x} = w_1 \vec{S}_1 + w_2 \vec{S}_2 + w_3 \vec{S}_3.$$

Met deze drie gewichten wordt de waterstand in punt P gevonden volgens

$$L_P = w_1 L_1 + w_2 L_2 + w_3 L_3, \quad (\text{A.2})$$

waarin L_1 , L_2 en L_3 de niveaus bij de drie getijdestations. Wat rest is de berekening van de drie gewichten.

Berekening van de gewichten

De vector vergelijking A.1 is equivalent aan

$$\begin{cases} p_x = w_2 v_{2x} + w_3 v_{3x} \\ p_y = w_2 v_{2y} + w_3 v_{3y} \end{cases}$$

met als oplossing

$$\begin{cases} w_2 = \frac{(p_x v_{3y} - p_y v_{3x})}{(v_{2x} v_{3y} - v_{2y} v_{3x})} \\ w_3 = \frac{(v_{2x} p_y - v_{2y} p_x)}{(v_{2x} v_{3y} - v_{2y} v_{3x})} \end{cases}$$

De teller van de uitdrukking voor w_2 is het oppervlak opgespannen¹ door de vectoren \vec{p} en \vec{v}_3 . De noemer is gelijk aan het door de vectoren \vec{v}_2 en \vec{v}_3 opgespannen oppervlak. Het gewicht w_2 is dus gelijk aan de *verhouding* tussen het in Figuur A.1b ingekleurde gebied en het totale oppervlak van de driehoek.

De gewichten w_2 en w_3 zijn niet noodzakelijkerwijs positief. Het oppervlak opgespannen door \vec{v}_2 en \vec{v}_3 is positief als de hoek tussen \vec{v}_2 en \vec{v}_3 positief is (van \vec{v}_2 kom je links draaiend naar \vec{v}_3) en negatief is als de hoek negatief is. Dat betekent dat het gewicht w_2 *alleen* positief is als \vec{p} en \vec{v}_2 *aan dezelfde kant* van \vec{v}_3 liggen², met andere woorden, als \vec{p} aan de juiste kant van \vec{v}_3 ligt (naar binnen). Iets dergelijks geldt voor het gewicht w_3 , dat positief is als \vec{p} en \vec{v}_3 aan dezelfde kant van \vec{v}_2 liggen.

Tenslotte, als de som van w_2 en w_3 groter is dan 1, dan zal de lineaire combinatie \vec{p} ook buiten de driehoek liggen. Dat betekent dat ook $w_1 = 1 - w_2 - w_3$ positief moet zijn.

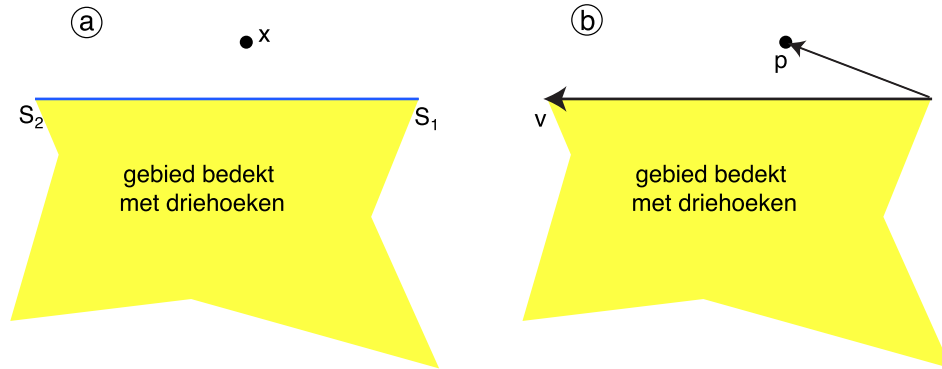
We hebben dus met het berekenen van de drie gewichten ook de vraag beantwoord of punt P binnen de driehoek ligt of niet. Als de gewichten alle drie positief zijn ligt punt P binnen de driehoek.

¹Voor twee vectoren \vec{v}_2 en \vec{v}_3 in het horizontale vlak is de uitdrukking $(v_{2x} v_{3y} - v_{2y} v_{3x})$ gelijk aan de z-component van het vector uitproduct $\vec{v}_2 \times \vec{v}_3$. Omdat de twee overige componenten van het uitproduct nul zijn, is de z-component gelijk aan het opgespannen oppervlak.

²De teller en de noemer zijn dan beide positief of beide negatief.

A.1.3 Interpolatie langs een rand

Voor een punt P dat *naast* het met driehoeken bedekte gebied ligt wordt de waterstand gevonden door interpolatie langs een rand. De waterstand op het punt wordt dan het gewogen gemiddelde van *twee* gemeten standen.



Figuur A.2. Een randlijn tussen twee getijdestations. Gaande van station 1 naar station 2 ligt het gebied bedekt met driehoeken links van de rand. Een punt buiten dat gebied ligt dus altijd rechts van de rand. Als de gewichten in Vergelijking (A.1.3) beide positief zijn ligt het punt *naast* de rand.

In Figuur 2.2 bestaat de rand uit een verzameling lijnstukken, elk tussen twee stations. Daarbij wordt het gebied linksom gaand omsloten. Beginnend in Den Helder volgen Den Oever, Kornwerderzand, Harlingen, Lauwersoog en Eemshaven. Vanaf de Eemshaven krijgen we eerst een rand naar Delfzijl, dan van Delfzijl naar Nieuwstatenzijl, en vervolgens weer terug van Nieuwstatenzijl naar Delfzijl, Eemshaven, Huibertgat, Wierumergronden, en via de eiland stations terug naar Den Helder.

Voor het bepalen van de twee gewichten beschouwen we Figuur A.2. Het eerste station van een lijnstuk is station 1 en het tweede is station 2. Dat wil zeggen dat, gaande van station 1 naar station 2, het met driehoeken bedekte gebied links ligt en het "buitengebied" rechts. Kiezen we weer de oorsprong bij getijdestation 1, dan wijst de vector $\vec{v} = \vec{S}_2 - \vec{S}_1$ van station 1 naar station 2. De vector $\vec{p} = \vec{x} - \vec{S}_1$ wijst van station 1 naar het punt P . De gewichten worden dan gegeven door

$$\begin{cases} w_2 = \frac{p_x v_x + p_y v_y}{v_x^2 + v_y^2} \\ w_1 = 1 - w_2 \end{cases} .$$

Zijn beide gewichten positief dan ligt het punt *naast* de lijn tussen de twee stations³. Als dat niet het geval is dan worden de twee stations *niet* gebruikt in berekeningen voor het betreffende punt. Verder moet het punt ook buiten het door driehoeken bedekte gebied liggen en *rechts* van het lijnstuk⁴.

Tenslotte moet het gebruikte lijnstuk ook dicht bij het punt liggen dan enig individueel station. Dat voorkomt dat een "verweg gelegen" rand van een grillig gevormd gebied gebruikt worden voor de interpolatie.

³Dat wil zeggen, er bestaat een loodlijn vanaf het punt P naar het lijnstuk die uitkomt *tussen* de twee getijdestations.

⁴Dat voorkomt dat lijnstukken langs de kust worden gebruikt voor interpolatie bij de zeegaten. De positie van het punt ten opzichte van het lijnstuk volgt uit het teken van $(p_x v_y - p_y v_x)$.

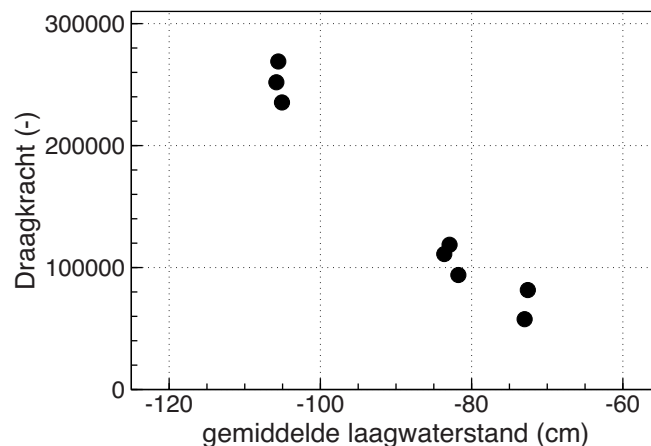
Ligt een punt naast meerdere lijnstukken dan wordt het dichtstbijzijnde gebruikt.
Ligt een punt naast geen enkel lijnstuk dan wordt slechts één waterstand gebruikt,
die van het dichtstbijgelegen station.

De invloed van de gebruikte waterstanden

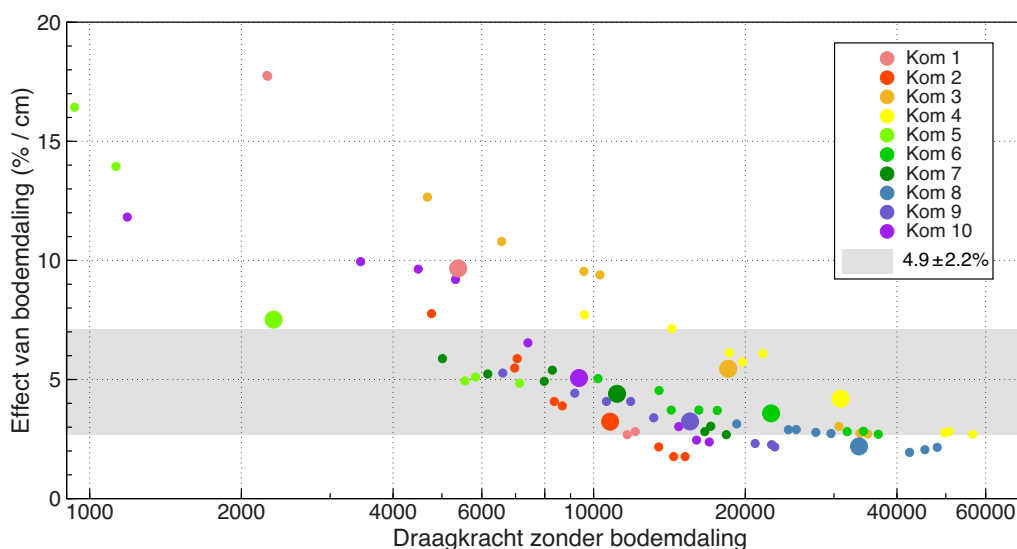
In dit hoofdstuk wordt bestudeerd hoe gevoelig een berekend effect is voor het gebruik van een andere serie waterstanden. Er is nogal wat natuurlijke variatie in waterstand tussen jaren. Bij gebruik van hogere waterstanden zal een berekende draagkracht lager zijn en zal het *effect van bodemdaling* mogelijk anders zijn.

De effectberekeningen in Hoofdstuk 5 zijn uitgevoerd met de historische waterstanden zoals die gemeten zijn in de beschouwde seizoenen 2001–2008.

Om de gevoeligheid voor de gebruikte waterstanden te bestuderen wordt hier een wat extreme keuze gemaakt. Het effect van bodemdaling worden berekend voor een *vast* "waterstandsjaar" dat steeds opnieuw wordt toegepast op de simulaties voor de opeenvolgende jaren. De berekeningen zijn gedaan *zonder het opschuiven van voedsel* (het voedsel daalt mee met de bodem) en voor een *ideal free* verdeling van de vogels.



Figuur B.1. De draagkracht voor de surveys 2001–2008 in combinatie met een vast waterstandsjaar, in grafiek gebracht tegen de de gemiddelde laagwaterstand in Harlingen voor het gebruikte jaar. De gemiddelde laagwaterstand is berekend voor de meteorologische winter (december, januari, februari), dezelfde periode die gebruikt wordt voor het bepalen van de stress index voor een winter (zie hoofdstuk 4.1.1).



Figuur B.2. Het effect van bodemdaling (percentage draagkrachtverlies per centimeter) in grafiek gebracht tegen draagkracht zonder bodemdaling. De grote stippen geven het effect voor historisch getij (dezelfde waarden als die in Figuur 5.3 voor een ideal free verdeling). De kleine stippen geven het effect met gebruik van een vast waterstandsjaar (zie Tabel B.1). Het gemiddelde effect voor historisch getij, $4.9 \pm 2.2\% \text{ cm}^{-1}$, (zie ook hoofdstuk 5.1.3) is aangegeven in de figuur als een lichtgrijs gebied. De berekeningen zijn gedaan *zonder het opschuiven van voedsel* en met een *ideal free* verdeling van de vogels. Voor verdere uitleg zie de tekst.

B.1 Draagkracht voor vaste waterstands jaren

De gebruikte waterstands jaren zijn de jaren 2001 t/m 2008¹. Eerst zijn weer draagkrachten berekend zonder bodemdaling, vervolgens onder oplegging van een *uni-forme* bodemdaling van 4 cm. De resultaten zijn te vinden in Tabel B.1.

Allereerst valt op dat de variatie in de berekende draagkracht groot is. De draagkracht zonder bodemdaling varieert over ruwweg een factor 4 tussen de verschillende "waterstands jaren". Voor enkele komgebieden leidt dat tot erg kleine waarden voor de draagkracht of tot nul. Figuur B.1 laat zien dat deze variatie samenhangt met de gemiddelde laagwaterstand.

We merken hierbij op dat elk van de waterstands jaren is gebruikt in combinatie met *alle* schelpdiers surveys voor de periode 2001–2008. In Figuur B.1 is de variatie tengevolge van fluctuaties in het voedselbestand daarom geheel afwezig.

B.2 Effect van bodemdaling

Omdat het effect van bodemdaling proportioneel is met de daling (Figuur 5.1) kan uit Tabel B.1 voor ieder waterstands jaar (en voor iedere kom) een percentage scholeksters per centimeter daling worden berekend². In Figuur B.2 is een grafiek

¹De gebruikte waterstands jaren komen overeen met de periode waarvoor de schelpdiergegevens gebruikt zijn. Dat hoeft natuurlijk niet. We hadden ook alle waterstanden tussen 1990 en 2010 kunnen gebruiken en dus steeds elk waterstands jaar toepassen op de 8 beschouwde seizoenen.

²De situaties met een draagkracht van 0 zijn hier buiten beschouwing gelaten. Dat betreft voornamelijk de kommen 1 en 5 waarover in hoofdstuk B.3 nog enkele opmerkingen.

Tabel B.1. De draagkracht berekend met de schelpdiersurveys over de periode 2001–2008 voor een vast "waterstandsjaar". Het bovenste deel van de tabel geeft de resultaten zonder bodemdaling. Het onderste deel met 4 cm bodemdaling. Aan de rijen voor de verschillende waterstandsjaaren is een regel toegevoegd met de eerder berekende "standaard draagkracht", berekend met gebruik van het historische getij voor elk jaar. De berekeningen zijn gedaan met een ideaal free verdeling van de vogels (zie hoofdstuk 4.1.5).

Jaar	Deelgebieden										totaal
	kom 1	kom 2	kom 3	kom 4	kom 5	kom 6	kom 7	kom 8	kom 9	kom 10	
Vast waterstandsjaar zonder bodemdaling											
2001	0	4767	2093	9589	0	10204	4005	19233	6602	1187	57680
2002	9309	13472	30662	49731	5555	31848	16623	42392	20926	14749	235267
2003	299	7052	6567	18587	583	14259	6168	25249	10605	4487	93856
2004	2246	8666	10298	19737	933	16177	8278	27602	11852	5321	111110
2005	11661	14425	33803	50811	5830	34307	17079	45447	22549	16007	251919
2006	210	6976	4681	14287	9	13495	5015	24346	9176	3447	81642
2007	2255	8357	9558	21663	1127	17601	7979	29592	13168	7407	118707
2008	12097	15186	35008	56541	7132	36723	18344	48053	22886	16964	268934
Voor historisch getij (Tabel 4.2 op bladzijde 28)											
	5385	10781	18501	30906	2316	22515	11130	33646	15545	9352	160077
Vast waterstandsjaar met 4 cm bodemdaling											
2001	0	3288	0	6631	0	8148	2833	16823	5211	626	43560
2002	7418	12300	26940	44237	4458	28268	14755	39108	18991	12965	209440
2003	0	5394	3731	14037	0	12136	4877	22322	8873	2759	74129
2004	650	7317	6432	15211	320	13777	6492	24535	9920	3362	88016
2005	10410	13408	30081	45102	4640	30417	15003	41704	20503	14431	225699
2006	0	5448	2311	10208	0	11045	3836	21528	7551	2075	64002
2007	656	6993	5910	16389	498	14999	6404	26366	11385	5470	95070
2008	10735	14114	31199	50427	5749	32751	16378	43926	20895	15348	241522
Voor historisch getij											
	3303	9388	14469	25726	1620	19297	9173	30703	13531	7460	134670

gemaakt van deze percentages, uitgezet tegen de draagkracht zonder bodemdaling. De resultaten voor een vast waterstandsjaar (kleine stippen) worden bovendien vergeleken met het al eerder berekende effect voor historisch getij (grote stippen).

De horizontale as van Figuur B.2 is logaritmisch zodat resultaten voor grote komgebieden (met een inherent grotere draagkracht) en kleine komgebieden op dezelfde wijze worden weergegeven³.

Als het effect van bodemdaling een vast percentage van de draagkracht zou bedragen, dan zouden (voor iedere komberging) de kleine stippen in Figuur B.2 op een horizontale lijn moeten liggen, samen met de grote stip voor historisch getij. Dat is duidelijk niet het geval. Voor alle kombergingen is het effect van bodemdaling kleiner bij een relatief hoge waarde van de draagkracht. Dat kan als volgt worden begrepen.

Toepassing van een vast waterstandsjaar met *lage waterstanden* leidt tot een hogere draagkracht dan het historisch getij. De gemiddelde droogvalduur van de kokkels is dan echter ook relatief hoog en het *relatieve* effect van bodemdaling is dus kleiner, in overeenstemming met Figuur 5.3 op bladzijde 34.

³Op een logaritmische schaal correspondeert een factor X hogere of lagere draagkracht altijd met dezelfde afstand, onafhankelijk van de grootte van de draagkracht.

Het in hoofdstuk 5.1.3 berekende effect van bodemdaling voor historisch getij (en ideal free verdeelde vogels) $4.9 \pm 2.2\% \text{ cm}^{-1}$. Deze schatting is in Figuur B.2 weergegeven als een lichtgrijze band. Wat betreft de robuustheid voor het gebruik van andere waterstanden concluderen we nu het volgende.

Als de gebruikte historische waterstanden worden vervangen door een andere reeks, dan zal het *relatieve effect* van bodemdaling op de draagkracht vergelijkbaar zijn zolang de gemiddelde droogvalduur van de kokkels realistisch is. Het effect valt dan binnen het betrouwbaarheidsinterval dat wordt bepaald door verschillen tussen de kombergingen. Er is dus geen sprake van een grote gevoeligheid voor de details van een bepaald "waterjaar" of iets dergelijks.

Als waterstanden worden gebruikt uit een heel andere periode dan de voedselstanden dan kan dat dus tot een ander effect van bodemdaling leiden. We moeten hier echter wel bedenken dat ook de hoogte van de wadplaten zich aanpast aan een op lange termijn veranderend getij (Wang & Eysink, 2005). Het heeft daarom ook weinig betekenis om voedselgegevens door te rekenen met waterstanden uit een heel andere periode.

B.3 De kommen 1 en 5

Voor de kommen 1 en 5 (Marsdiep en Pinkegat) werd in hoofdstuk 4.5 vastgesteld dat de gesimuleerde draagkracht te laag is. Ook in Figuur B.2 nemen deze twee komgebieden een bijzondere positie in. *Als* in de berekeningen de gemiddelde droogvalduur van de kokkels lager is dan in werkelijkheid, dan zal zowel de berekende draagkracht te laag, als het effect van bodemdaling te hoog zijn.

Een te lage droogvalduur kan worden veroorzaakt door fouten in de hoogtekaart, maar ook door stochastiek in de scherpdiërsurvey.

Deze vermoedens worden overigens genegeerd in de effectschatting voor ideal free foerageren van $4.9 \pm 2.2\% \text{ cm}^{-1}$. Daarin zijn de kommen 1 en 5 dus gewoon meegenomen.

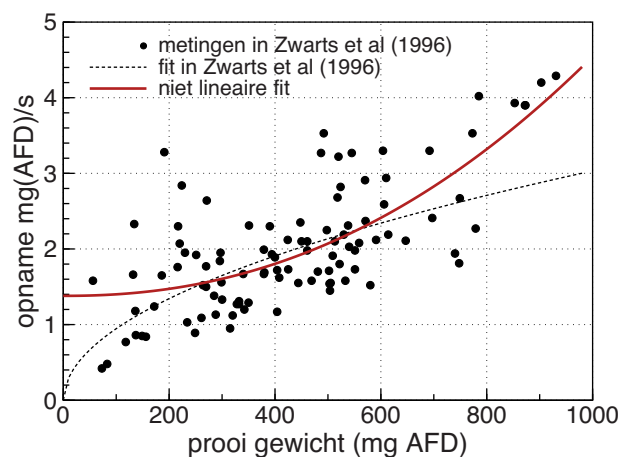
Foerageren op mosselen

Nu mosselen als voedselbron voor scholeksters weer belangrijker worden was het noodzakelijk de gegevens over de voedselopname als functie van de grootte van de mosselen nog eens te bekijken. Dat heeft geresulteerd in een opnieuw gefitte curve die leidt tot een iets grotere bijdrage van mosselen dan de eerder gebruikte lijn.

C.1 Het aandeel mosselen in het dieet

Tot nu toe is voor het berekenen van de snelheid waarmee scholeksters mossels kunnen eten gebruik gemaakt van een uitdrukking in [Zwarts *et al.* \(1996, Figure 12\)](#). Deze heeft echter als nadeel dat er gefit is op logaritmische assen waardoor de afwijkingen bij grote mosselen groot zijn, terwijl dat nu juist de mosselen zijn die gegeten worden.

Figuur C.1 toont de oorspronkelijke datapunten op lineaire schalen, de fit van [Zwarts *et al.* \(1996\)](#) en een nieuwe niet-lineaire fit. Het zal duidelijk zijn dat er voor deze punten geen éénduidige keuze te maken is voor de te fitten uitdrukking.



Figuur C.1. De voedselopname als functie van de grootte van de gegeten mosselen. De afkorting AFD staat voor Ash Free Dry weight. De gegevens zijn afkomstig dezelfde als die in [Zwarts *et al.* \(1996, Figure 12\)](#). De assen van de grafiek zijn hier echter lineair in plaats van logaritmisch. De stippellijn is de oorspronkelijke, en tot nu toe gebruikte fit van Zwarts, de rode lijn is een niet-lineaire fit van $y = a + bx^c$ op de punten.

Essentieel is echter dat de curve de opname van grote mosselen redelijk beschrijft.

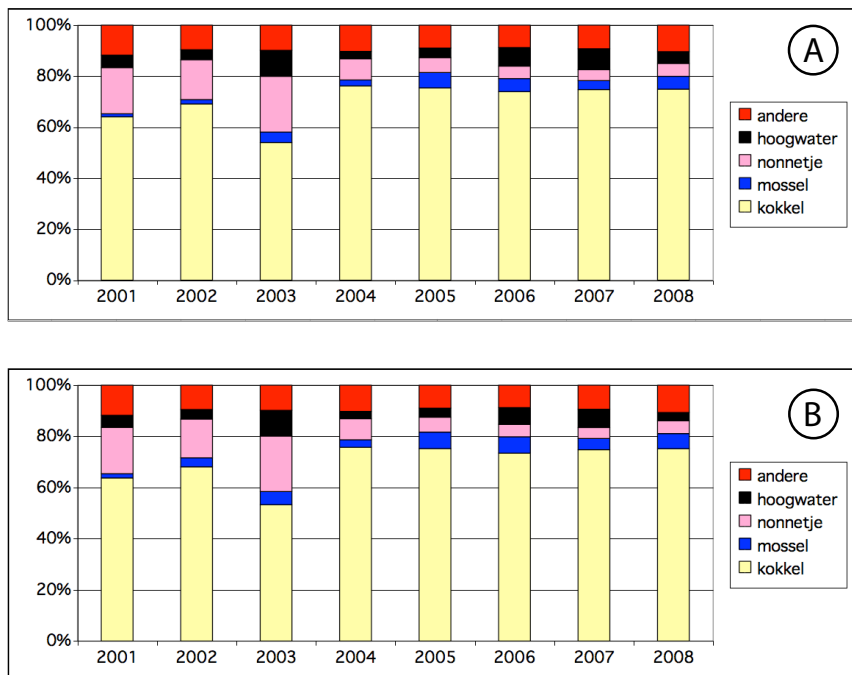
Simulaties van de scholeksters in de periode 2001–2008 laten zien dat het aandeel mosselen in het dieet inderdaad groter wordt door deze verandering. In Figuur C.2 is dat in grafiek gebracht. De blauwe bandjes geven het aandeel mosselen weer. Opvallend is hoe weinig het aandeel mosselen toeneemt, terwijl er toch een substantieel hogere functionele respons is geïmplementeerd.

De reden daarvan ligt in de wijze waarop de verspreiding van de scholeksters gesimuleerd wordt. De tot nu toe gebruikelijke optie is dat de vogels zich zoveel mogelijk verspreiden en overal foerageren waar ze gedurende de laagwaterperiode voldoende kunnen eten.

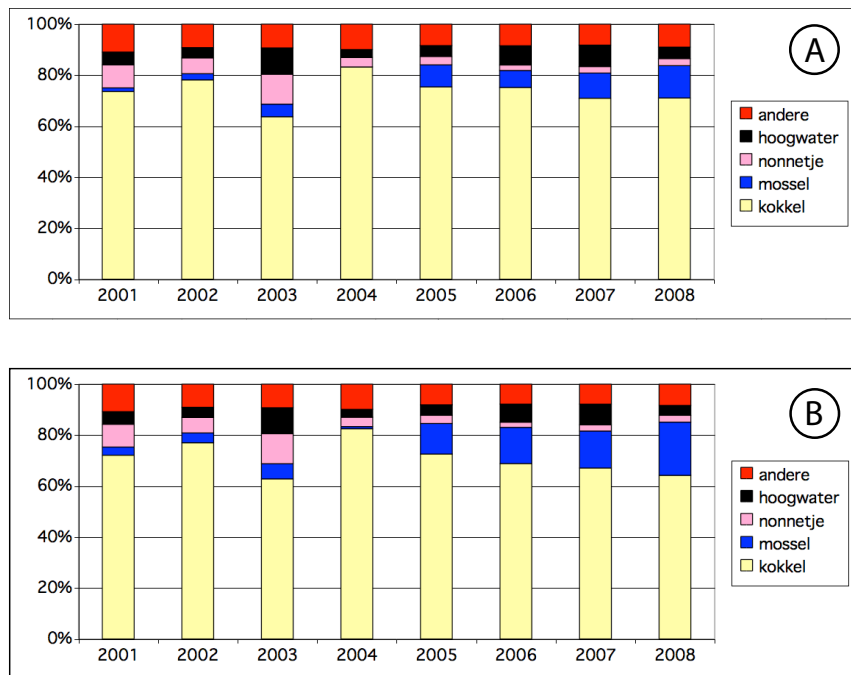
Als we inplaats daarvan de ideal free verdeling aanhouden¹, dan foerageren de vogels alleen op de beste plekken. Die plekken raken relatief snel uitgeput waardoor de vogels in de winter sneller in de problemen komen. De draagkracht van het gebied wordt er dus kleiner als we de vogels concentreren op de allerbeste plekken.

Figuur C.3 laat echter zien dat het aandeel mosselen aanzienlijk groter is voor een ideal free verdeling van de vogels. Het aandeel mosselen neemt toe in de loop der jaren, in overeenstemming met de ontwikkeling van de moselbanken. Het effect van een hogere functionele respons is ook groter dan bij verspreid foerageren. In de simulatie van seizoen 2008-2009 droegen mosselen 20% bij aan het totale dieet, *gemiddeld* voor de Waddenzee.

¹Dat is de verdeling zodanig dat de voedselopname maximaal is, hetgeen impliceert dat alleen de beste plekken in aanmerking komen, met vogeldichtheden zodanig dat de voedselopname op alle gebruikte plekken even groot (en maximaal) is.



Figuur C.2. Dieet bij het verspreiden van de scholeksters zodanig dat ze overal waar ze genoeg kunnen krijgen ook daadwerkelijk foerageren. (A) Voor de oude functionele respons. (B) Met de nieuwe fit die een hogere opname van mossels beschrijft.



Figuur C.3. Dieet bij ideal free verdeling van de scholeksters. (A) Voor de -oude- functionele respons. (B) Met de nieuwe fit die een hogere opname van mossels beschrijft.

C.1.1 Discussie

Dit resultaat komt tot stand doordat de mosselen maar een klein deel uitmaken van het potentieel "foerageerbaar" oppervlak. Bij verspreiding van de vogels neemt het aandeel mosselen dan af. Of de vogels zich in werkelijkheid vooral op de allerbeste plekken concentreren of niet is niet bekend. En of een sterkere verspreiding in gelijke mate optreedt voor kokkel en mossel etende vogels is ook niet bekend. Om de eventuele gevoeligheid voor de wijze van verspreiding te kunnen vaststellen zijn de effectberekeningen in dit rapport uitgevoerd met zowel verspreid als ideal free foeragerende vogels.