

# 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

C. Rappoldt, M. Kersten, B.J. Ens



© Photo Jan van de Kam, Griendtsveen

EcoCurves rapport 2, ISSN 1872-5449

SOVON-onderzoeksrapport 2006/12, ISSN 1382-6271



Scholksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde

In opdracht van RWS RIKZ

# **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**

**Tweede gecorrigeerde uitgave**

C. Rappoldt,<sup>1</sup> M. Kersten<sup>2</sup>, B.J. Ens<sup>3</sup>

<sup>1</sup>EcoCurves, Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren, Nederland

<sup>2</sup>EcoSense, Oliemulderstraat 55, 9724 JD Groningen, Nederland

<sup>3</sup>SOVON Vogelonderzoek Nederland, Rijksstraatweg 178, 6573 DG Beek-Ubbergen

E-mail: kees.rappoldt@ecocurves.nl

**EcoCurves rapport 2**

**SOVON-onderzoeksrapport 2006/12**

**EcoCurves, Haren, 2006**

## REFERAAT

C. Rappoldt, M. Kersten, B.J. Ens, 2006. *Scholeksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde ; Modelberekeningen voor de periode 1990-2045 aan het effect van zandhonger en zeespiegelstijging op het aantal scholeksters*. EcoCurves rapport 2, EcoCurves, Haren. SOVON-onderzoeksrapport 2006/12, Sovon Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen. 61 blz. 23 fig.; 3 tab.; 30 ref.

2008. Tweede uitgave, alleen als PDF file, met correctie van een in 5 figuren vermelde eenheid. Het rapport is verder ongewijzigd.

De droogvalduur van de slikken in de Oosterschelde zal in de toekomst naar verwachting verder afnemen tengevolge van de zandhonger van de geulen en de stijging van de zeespiegel. Een kortere droogvalduur vermindert de hoeveelheid voedsel die de vogels tijdens een laagwaterperiode kunnen bemachtigen. Berekeningen met het simulatiemodel WEBTICS (Wader Energy Balance and Tidal Cycle Simulator) in dit rapport laten een geleidelijke afname van de draagkracht van de Oosterschelde zien van ongeveer 40000 scholeksters rond de eeuwwisseling tot ongeveer 8000 in het jaar 2045 (met [5000, 14000] als geschat betrouwbaarheidsinterval). Deze afname is voornamelijk het resultaat van de kortere droogvalduur en wordt in mindere mate veroorzaakt door een halvering van het kokkelbestand in de periode 2001-2045.

Trefwoorden: scholekster, wadvogels, voedsel, model, draagkracht, kokkels, droogvalduur

ISSN 1872-5449

Als SOVON-onderzoeksrapport 2006/12 maakt dit rapport tevens deel uit van de serie ISSN 1382-6271, uitgegeven door Sovon Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.

Dit rapport is beschikbaar als PDF file op [www.ecocurves.nl](http://www.ecocurves.nl).

© 2006, 2008 C. Rappoldt, EcoCurves  
Kamperfoelieweg 17, 9753 ER Haren (gn), Nederland  
Tel.: (050) 5370979; e-mail: [kees.rappoldt@ecocurves.nl](mailto:kees.rappoldt@ecocurves.nl)

Foto voorplaat: © Jan van de Kam, Deurneseweg 1, 5766 PH Griendtsveen

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 en Rijkswaterstaat.

EcoCurves aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek.

# Inhoudsopgave

<b>Lijst van figuren</b>	<b>7</b>
<b>Lijst van tabellen</b>	<b>8</b>
<b>Woord vooraf</b>	<b>9</b>
Bij de tweede uitgave . . . . .	10
<b>Samenvatting</b>	<b>11</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>13</b>
1.1 Achtergrond en Vraagstelling . . . . .	13
1.2 Aanpak . . . . .	13
1.3 Opbouw van dit rapport . . . . .	14
1.4 Technische opmerkingen . . . . .	15
1.4.1 Jaaraanduiding . . . . .	15
1.4.2 Kokkelgewichten . . . . .	15
<b>2 Gegevens en Methoden</b>	<b>17</b>
2.1 Getijde . . . . .	17
2.1.1 De droogvalduurkaarten . . . . .	17
2.1.2 De generatie van getijdencycli . . . . .	18
2.2 Het kokkelbestand . . . . .	20
2.2.1 De schelpdier survey . . . . .	20
2.2.2 Modelbestanden . . . . .	20
2.2.3 Droogvalduur van de kokkels . . . . .	21
2.2.4 De verspreiding van de kokkels . . . . .	23
2.2.5 Discussie van de kokkelverspreiding . . . . .	25
2.3 Voedselopname van scholeksters . . . . .	25
2.3.1 Inleiding . . . . .	25
2.3.2 De potentiële opname tijdens laagwater . . . . .	26
2.3.3 De potentiële cumulatieve voedselconsumptie . . . . .	27
2.3.4 Digestive bottleneck . . . . .	28
2.3.5 Voedselbehoefte en energiebehoefte . . . . .	28
2.3.6 Voedselstress . . . . .	29
2.3.7 De rol van de digestive bottleneck . . . . .	31
<b>3 Het effect van een kortere droogvalduur</b>	<b>33</b>
3.1 Inleiding . . . . .	33
3.2 Resultaat . . . . .	33
3.3 Discussie . . . . .	35
<b>4 Het simulatiemodel WEBTICS</b>	<b>37</b>
4.1 Inleiding . . . . .	37

4.2	Simulatie van de getijdencycli . . . . .	38
4.3	De kokkelbalans . . . . .	38
4.4	Stress index . . . . .	40
4.5	Het kritisch stress niveau . . . . .	40
4.6	Draagkrachtberekening . . . . .	42
4.7	De draagkracht voor modelbestanden . . . . .	43
<b>5</b>	<b>De draagkracht van de Oosterschelde</b>	<b>47</b>
5.1	De gehele Oosterschelde . . . . .	47
5.1.1	De situatie tussen 1990 en 2001 . . . . .	47
5.1.2	Het jaar 2001 . . . . .	48
5.1.3	Prognose . . . . .	49
5.1.4	Vogeltellingen . . . . .	50
5.2	De draagkracht per deelgebied . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Discussie</b>	<b>55</b>
6.1	Conclusies . . . . .	57
	<b>Bibliografie</b>	<b>59</b>



# Lijst van figuren

2.1	Een kaart met de deelgebieden (met afkortingen) . . . . .	17
2.2	Droogvalduren op de kaart en in gesimuleerde getijd cycli . . . . .	19
2.3	Droogvalduur van de kokkels in de periode 1990–2001. . . . .	22
2.4	Droogvalduur van de kokkels in de modelbestanden voor 2001–2045 . . . . .	22
2.5	De survey en het modelbestand voor 2001 . . . . .	23
2.6	Dichtheidsverdeling (naar oppervlak) van kokkels voor een survey- en een modelbestand . . . . .	24
2.7	Dichtheidsverdeling (naar biomassa) van kokkels voor een survey- en een modelbestand . . . . .	24
2.8	Aantal gegeten kokkels per tijdseenheid . . . . .	26
2.9	Voedselopname in september en januari . . . . .	27
2.10	Maximale cumulatieve voedselconsumptie tijdens een laagwaterperiode . . . . .	28
2.11	Voedselopname in kJ en energiebehoefte in september en januari . . . . .	29
3.1	Ontwikkeling van de foerageerintensiteit van overwinterende Schol- eksters in januari . . . . .	35
4.1	De kokkelbalans voor de Oosterschelde in de simulaties voor 1990–2001 . . . . .	39
4.2	Het tweejarig gemiddeld terugkeergetal als functie van het stress niveau . . . . .	40
4.3	Het aantal dood gevonden scholeksters als functie van het stress niveau in de Waddenzee . . . . .	41
4.4	Voorbeeld van een draagkrachtberekening . . . . .	42
4.5	Het kokkelbestand van Oosterschelde West in combinatie met ver- schillende aantallen vogels . . . . .	43
4.6	Invloed van het kokkelgewicht op de draagkracht voor het modelbe- stand 2001 . . . . .	44
5.1	Draagkrachtberekeningen en vogeltellingen voor de Oosterschelde . . . . .	48
5.2	Droogvalduur van de kokkels in de periode 1990–2001. . . . .	49
5.3	Droogvalduur van de kokkels in de modelbestanden voor 2001–2045 . . . . .	50
5.4	De draagkrachtberekeningen voor de afzonderlijke deelgebieden . . . . .	51
5.5	Droogvalduur verdeling van de kokkels in grafiek per deelgebied . . . . .	52

# Lijst van tabellen

2.1	De modelbestanden vergeleken met de surveys voor 1990–2001 . . . .	21
2.2	Vergelijking tussen het foerageren in september en in januari . . . .	30
3.1	Prognose van veranderingen in de Oosterschelde tot 2045 tengevolge van zandhonger . . . . .	34

# Woord vooraf

In het kader van het project “Verkenning Zandhonger” van Rijkswaterstaat Zeeland voert het RIKZ onderzoek uit naar de autonome ontwikkeling van de zandhonger tot het jaar 2050, naar de effecten ervan en naar mogelijke maatregelen.

Voor u ligt het rapport “Scholeksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde” waarin wij in opdracht van Eric van Zanten van het RIKZ berekeningen hebben gedaan aan het aantal scholeksters dat in de Oosterschelde in de toekomst zal kunnen overwinteren bij een geleidelijk afnemende droogvalduur van de slikken. Tengevolge van de afnemende droogvalduur zal bovendien het kokkelbestand naar verwachting ongeveer halveren. De periode 2001–2045 sluit aan op de periode 1990–2001 waarvoor in het kader van de EVA-II studie samen met Bruno Ens ook al modelberekeningen werden gemaakt.

De resultaten laten zien dat de draagkracht voor overwinterende scholeksters van de Oosterschelde aanzienlijk zal afnemen. Deze daling treedt geleidelijk op, hetgeen overigens niet betekent dat ook het aantal vogels geleidelijk zal afnemen. Door het effect van goede en slechte kokkeljaren, plaatstrouw van de vogels en strenge winters kan een afname van het aantal vogels veel grilliger verlopen.

De berekeningen zijn gedaan op basis van de droogvalduurkaarten die door Rijkswaterstaat zijn geleverd. Jeroen Wijsman van Wageningen IMARES te Yerseke heeft op deze kaarten een regressiemodel voor de kokkeldichtheid toegepast en heeft vervolgens de kaarten voor droogvalduur en kokkeldichtheid “afgelezen” op de schaal van de schelpdierssurveys van Wageningen IMARES. Marcel Kersten van EcoSense heeft in Hoofdstuk 2 de kritische factoren voor overwinterende scholeksters nog eens op een rijtje gezet. Cor Berrevoets heeft recente scholekster aantallen ter beschikking gesteld ter vergelijking met de berekende draagkracht.

Tenslotte dank ik Eric van Zanten en Belinda Kater van het RIKZ, de co-auteurs Marcel Kersten en Bruno Ens, en Rudi Drent voor hun commentaar op een concept van dit rapport.

Haren, 1 november 2006  
Kees Rappoldt

# Bij de tweede uitgave

In de Figuren [2.3](#), [2.4](#), [4.5](#), [5.2](#) en [5.5](#) is de gebruikte eenheid voor het kokkelbestand gecorrigeerd. Deze eenheid was in de figuren abusievelijk als miljoen kilogram weergegeven en dat moet zijn duizend kilogram (ton vers). Deze fout is overigens alleen gemaakt in de tekst bij de grafieken en niet in de berekeningen.

Haren, 26 mei 2008  
Kees Rappoldt

# Samenvatting

Een korter wordende droogvalduur leidt tot een vermindering van de mogelijke voedselopname van scholeksters tijdens laagwater. In de winter komen de vogels daardoor gemakkelijker in de problemen. Een prognose van Rijkswaterstaat in de vorm van droogvalduurkaarten voor 2015, 2030 en 2045 vormt het uitgangspunt van deze studie.

Een kortere droogvalduur heeft niet alleen een directe invloed op de scholeksters die tijdens laagwater voedsel zoeken, maar heeft ook invloed op de kokkels, het voornaamste wintervoedsel van de scholeksters in de Oosterschelde. Op basis van de droogvalduurkaarten voor 2001, 2015, 2030 en 2045 is door Wageningen IMARES met behulp van een kokkel habitatmodel een schatting gemaakt van de te verwachten biomassa aan kokkels in dezelfde jaren, ook in de vorm van kaarten. Het resultaat laat een vermindering van het kokkelbestand zien met een factor twee tussen 2001 en 2045.

De kaarten van zowel de droogvalduur als de kokkels zijn “afgelezen” voor het grid dat ook gebruikt wordt voor de jaarlijkse schelpdiersurvey van Wageningen IMARES. De vraag die in dit rapport wordt beantwoord is wat we vervolgens op basis van deze “gegevens” kunnen zeggen over het effect van de zandhonger op het aantal scholeksters dat in de Oosterschelde kan overwinteren.

Allereerst is een poging gedaan om het effect te schatten met een berekening voor een gemiddelde biomassa per eenheid oppervlak, voor één enkele droogvalduur en één karakteristieke getijdeperiode in januari. Het is gebleken dat dat niet goed mogelijk is. De reden is dat de voor de vogels relevante waarden voor de droogvalduur van de kokkels en de kokkeldichtheid afhangen van de mate waarin de hooggelegen kokkels in de loop van de herfst en winter worden geëxploiteerd, van het aantal vogels zelf dus.

Met het simulatiemodel *WEBTICS* wordt het foerageren van de scholeksters gesimuleerd van september tot maart met tijdstappen van een kwartier, samen met het seizoensverloop van de kokkeldichtheid op de schaal van de 25 ha grote gridcellen van de schelpdiersurvey van Wageningen IMARES. Het model berekend de inspanning die de (geïdealiseerde) vogels moeten leveren om aan voldoende voedsel te komen ten opzichte van de maximaal vindbare hoeveelheid voedsel. Dit inspanningsniveau wordt voor de drie wintermaanden gecombineerd tot een stress index, een getal tussen 0 en 1. Gegevens over aantalsverloop en sterfte van scholeksters laten zien dat de echte vogels in de problemen komen bij een stress niveau dat over meerdere jaren boven 0.5 ligt.

Met behulp van dat criterium kan de draagkracht van elk van de vier beschouwde deelgebieden worden berekend als het aantal vogels dat bij een gegeven kokkelbestand kan overwinteren bij een stress niveau van 0.5. De draagkracht van de hele Oosterschelde is de som van de waarden per deelgebied.

De modelbestanden voor de kokkels is echter niet zonder problemen. Het voor het berekenen van de modelbestanden gebruikte habitatmodel beschrijft een verwachtingswaarde voor het kokkelbestand afhankelijk van droogvalduur en stroomsnelheid. De dynamiek van heftig fluctuerende kokkelpopulaties wordt niet in rekening gebracht en de kokkelbanken, die nu eens hier en dan weer daar liggen, *bestaan* niet op de berekende kokkelkaarten. Dat betekent dat er ook veel minder ruimtelijke variatie is dan in de gemeten surveybestanden. Dit ontbreken van heterogeniteit (of “patchyness”) heeft een negatieve invloed op de gesimuleerde vogels omdat op kokkelbanken de hoogste voedselopname kan worden gehaald.

Om dit probleem op te lossen wordt de draagkrachtberekening met modelbestanden “gecalibreerd”. Deze calibratie houdt in dat een kokkelgrootte wordt gekozen zodanig dat de draagkracht voor het modelbestand van 2001 gelijk is aan die voor de surveybestanden uit 1990–2001. Het gebruik van relatief grote kokkels (16 gram) corrigeert voor het ontbreken van kokkelbanken, bij gelijkblijvend totaal bestand. Simulaties met de droogvalduren en de modelbestanden voor 2015, 2030 en 2045 geven vervolgens een prognose voor de toekomstige draagkracht voor scholeksters.

Het resultaat voor 2045 is een draagkracht voor de Oosterschelde van slechts 8000 scholeksters met [5000, 14000] als een geschat betrouwbaarheidsinterval. Daarbij is er vanuit gegaan dat de prognose voor het kokkelbestand correct is. De vermindering is het grootst voor de deelgebieden West en Centraal (een factor 10 ten opzichte van de draagkracht voor 2001) en veel kleiner voor Noord en Oost (ruim een factor 2).

De vermindering van de droogvalduur speelt daarbij de hoofdrol. De langer dan 60% van de tijd droogvallende kokkels worden bijna allemaal opgegeten door de vogels. In principe kan een aanzienlijk deel van de korter droogvallende kokkels ook opgegeten worden, maar alleen zolang er kokkels zijn met een droogvalduur boven de 60%. De draagkracht van een gebied is in essentie het aantal vogels waarbij er in de winter nog net voldoende hooggelegen kokkels zijn om een foerageertijd van 7.5 uur per getijdeperiode te halen.

De afhankelijkheid van de scholeksters van lang droogvallende kokkels impliceert dat visserij op hoog gelegen kokkels een aanzienlijk groter effect zal hebben op scholeksters dan visserij op laag gelegen kokkels. Het is verder evident dat regelmatige verstoring van hooggelegen kokkelbanken in de winter een onevenredig groot effect zal hebben op de vogels, in het bijzonder als de verstoring (ook) bij opkomend en afgaand water optreedt.

# Hoofdstuk 1

## Inleiding

### 1.1 Achtergrond en Vraagstelling

Ten gevolge van de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde is de stroomsnelheid van het water in de geulen verminderd. Daardoor verliezen de slikken over een periode van tientallen jaren geleidelijk sediment aan de geulen (de “zandhonger”), hetgeen leidt tot een afnemende droogvalduur.

In het kader van het project “Verkenning Zandhonger” van Rijkswaterstaat Zeeland voert het RIKZ onderzoek uit naar de autonome ontwikkeling van de zandhonger tot het jaar 2050, naar de effecten ervan en naar mogelijke maatregelen. Een kwantitatieve schatting van de zandhonger is samen met de verwachte zeespiegelstijging door het RIKZ verwerkt tot droogvalduurkaarten voor de jaren 1983, 2001, 2015, 2030 en 2045.

Een afnemende droogvalduur heeft op twee manieren een effect op overwinterende scholeksters. Omdat scholeksters tijdens laagwater voedsel zoeken op de slikken leidt een kortere droogvalduur tot een vermindering van de mogelijke voedselopname. In de winter komen de vogels daardoor eerder in de problemen. In de tweede plaats heeft een kortere droogvalduur ook invloed op de kokkels, het voornaamste wintervoedsel van de scholeksters in de Oosterschelde. Dit effect is doorgerekend door Wageningen IMARES met behulp van een regressiemodel voor het kokkelhabitat (Kater *et al.*, 2004). Het resultaat laat een vermindering van het kokkelbestand zien met een factor twee tussen 2001 en 2045.

De vraag die in dit rapport wordt beantwoord is wat we op basis van de “gegevens” over zowel droogvalduur als kokkelbestand kunnen zeggen over het effect van de zandhonger op het aantal scholeksters dat in de Oosterschelde kan overwinteren.

### 1.2 Aanpak

In het kader van de EVA-II studie naar effecten van visserij is voor de Oosterschelde de draagkracht voor scholeksters uitgerekend met behulp van de kokkelbestanden van de Wageningen IMARES schelpdiersurveys voor de periode 1990–2001 (Rappoldt *et al.*, 2003a). Het hiertoe ontwikkelde model *WEBTICS* (Wader Energy Balance and Tidal Cycle Simulator) berekent de inspanning die overwinterende scholeksters in de maanden december, januari en februari moeten leveren om aan voldoende voedsel te komen. Deze inspanning (of stress index) neemt toe naarmate er meer vogels zijn en daaruit wordt de draagkracht van het voedselge-

bied voor scholeksters geschat. De draagkracht is het aantal scholeksters dat in het gebied kan overwinteren zonder dat de stress index *gemiddeld* een kritische waarde overschrijdt. Het model *WEBTICS* is ook toegepast voor de Wadenzee (Rappoldt *et al.*, 2003b) en de Westerschelde (Rappoldt & Ens, 2005, 2006).

De Oosterschelde schelpdiersurveys worden uitgevoerd met een rasterafstand van ongeveer 500 m hetgeen leidt tot “cellen” van 25 ha. Om aan te kunnen sluiten bij de ervaring die met het rekenwerk op deze schaal is opgedaan, zijn de kaarten voor droogvalduur en kokkel biomassa “afgelezen” voor dezelfde cellen die ook voor de scheldiersurveys worden gebruikt.

De op deze wijze berekende prognoses voor het kokkelbestand kunnen echter niet zonder meer in draagkrachtberekeningen worden gebruikt. Er zijn twee problemen. Allereerst levert het gebruikte habitatmodel voor kokkels (Kater *et al.*, 2004) een gemiddeld te verwachten biomassa. Dat betekent dat de dynamiek van heftig fluctuerende kokkelpopulaties niet in rekening gebracht wordt. Ook de ruimtelijke variabiliteit (de “patchyness”) is veel kleiner dan in werkelijkheid omdat het ontstaan van lokale kokkelbanken met een levensduur van enkele jaren niet door het habitatmodel wordt beschreven. Het gebruik van een gemiddelde verwachtingswaarde leidt dus tot kokkelbestanden die relatief uniform zijn. Deze uniformiteit heeft consequenties voor de berekende voedselopname van de vogels.

Het tweede probleem is het ontbreken van een kokkelgrootte. De kokkelkaarten voor 2001, 2015, 2030 en 2045 leveren alleen een biomassa dichtheid (in  $\text{g m}^{-2}$ ) terwijl in berekeningen aan de voedselopname van scholeksters ook het gewicht van de individuele kokkels een belangrijke variabele is.

Beide problemen worden opgelost door de draagkrachtberekening met modelbestanden te “calibreren” voor het jaar 2001. Met behulp van een keuze voor het individueel kokkelgewicht wordt de draagkracht van het modelbestand voor 2001 gelijk gemaakt aan de draagkracht berekend met de surveybestanden uit de periode 1990–2001. Vervolgens kan de draagkracht voor de andere jaren, 2015, 2030 en 2045 worden berekend met de modelbestanden voor die jaren.

### 1.3 Opbouw van dit rapport

In Hoofdstuk 2.1 wordt ingegaan op de wijze waarop de droogvalduurkaarten zijn gemaakt en toegepast in de modelberekeningen. In Hoofdstuk 2.2 worden de gebruikte kokkelbestanden besproken en wordt ingegaan op de verschillen tussen de surveybestanden en de modelbestanden.

In Hoofdstuk 2.3 komen de factoren die invloed hebben op de voedselopname van scholeksters aan de orde met speciale aandacht voor de verschillen tussen september en januari en de invloed van de droogvalduur.

Hoofdstuk 3 bevat een verkenning van het effect van een kortere droogvalduur op basis van de in Hoofdstuk 2 besproken gegevens. Er wordt daarbij niet gebruik gemaakt van simulatie maar de voedselopname van de vogels wordt berekend voor de maand januari voor slechts één gemiddelde kokkeldichtheid, één gemiddelde droogvalduur, één vogeldichtheid, etc.

Uit de problemen die daarbij optreden blijkt dat een ruimtelijke simulatie van de exploitatie van het kokkelbestand door de scholeksters niet gemist kan worden. In Hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de wijze waarop draagkrachtberekeningen met *WEBTICS* worden gemaakt. De resultaten daarvan zijn te vinden in Hoofdstuk 5 dat gevolgd wordt door de Discussie.



## 1.4 Technische opmerkingen

### 1.4.1 Jaaraanduiding

De verschillende winters worden in dit rapport aangeduid met het jaar waarin het schelpdierbestand gemeten is. Dat is *het eerste* van de twee jaartallen en *niet* het jaar waarin de maand januari valt. In grafieken heeft dus bijvoorbeeld het seizoen 2001 betrekking op de overwinterende vogels tussen de nazomer van 2001 en het voorjaar van 2002.

### 1.4.2 Kokkelgewichten

Kokkelbestanden worden gewoonlijk uitgedrukt in tonnen “vers”. De aanduiding “vers” of “versgewicht” betekent dat de kokkels gewogen zijn inclusief schelp en inclusief het water *in* de schelp. Ten behoeve van berekeningen aan de voedselopname worden versgewichten omgerekend naar vleesgewichten. Daarbij is “nat vlees” of “wet weight” het gewicht van het levende schaaldier in de schelp. Van belang is dat het versgewicht van een kokkel nauwelijks veranderd in de loop van de winter, maar het vleesgewicht gaat achteruit.

Naast versgewicht en (nat) vleesgewicht worden ook nog “gekookt gewicht”, “droog gewicht” en “asvrij drooggewicht” gebruikt. De factoren waarmee al deze gewichten in elkaar omgerekend kunnen worden zijn gegeven in de technische documentatie van *WEBTICS* ([Rappoldt et al., 2003c](#)).

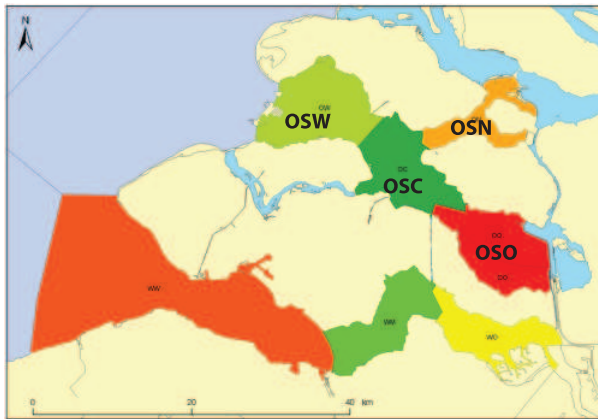


## Hoofdstuk 2

# Gegevens en Methoden

In dit hoofdstuk wordt eerst besproken hoe de gebruikte droogvalduren zijn berekend en verder op welke wijze de gemiddelde droogvalduren worden gecombineerd met historische waterstanden voor het simuleren van dagelijkse getijdencycli. De gebruikte kokkelbestanden worden besproken en er wordt ingegaan op het foerageren van scholeksters.

De in Figuur 2.1 onderscheiden deelgebieden zijn dezelfde als die welke zijn onderscheiden in de EVA-II studie (Rappoldt *et al.*, 2003a). De modelberekeningen zijn steeds per deelgebied uitgevoerd en waar het resultaat getoond wordt voor de hele Oosterschelde is dat de som of het gemiddelde van de resultaten per deelgebied.



**Figuur 2.1.** De op de kaart aangegeven deelgebieden van de Oosterschelde zijn OSW (Oosterschelde West), OSC (Oosterschelde Centraal), OSO (Oosterschelde Oost) en OSN (Oosterschelde Noord). Het model is toegepast op de deelgebieden afzonderlijk.

## 2.1 Getijde

### 2.1.1 De droogvalduurkaarten

De droogvalduurkaarten ten behoeve van het rekenwerk in dit rapport zijn gebaseerd op de bodemhoogteprognosekaarten. Deze zijn door Eric van Zanten van Rijkswaterstaat (opdrachtgever voor deze studie) als volgt verwerkt tot droogvalduurkaarten:

Alle 10 minuten getijwaarnemingen van Stavenisse, Marollegat, Roompotsluis binnen en Krammersluiswest van 2004 zijn op hoogte gesorteerd,

Van de 4 stations kreeg de grenshoogte van de 5% laagste waterstanden een droogvalduur van 0%, de grenshoogte voor de 20% laagste waarden een droogvalduur van 20% (van de tijd) en zo verder voor 40, 60, 80 en 95%, waarbij de 95% grens een droogvalduur 100% kreeg,

De 0, 20,40,60,80 en 100% droogvalduur hoogten zijn met behulp van triangulatie omgezet naar hellende droogvalduurvlakken over de Oosterschelde. Per cel van het kaartgrid is de bodemhoogte en de grenswaarde hoogte van de 0 en 20% droogvalduur bepaald. Voor een bodemhoogte tussen de 0 en 20% grenshoogten is de droogvalduur vervolgens bepaald door lineaire interpolatie:

$$\text{droogvalduur} = \frac{\text{bodemhoogte} - \text{hoogtegrensvlak}(0)}{\text{hoogtegrensvlak}(20) - \text{hoogtegrensvlak}(0)},$$

Deze stap vier keer herhaald voor de klassen 20-40, 40-60, 60-80 en 80-100,

Voor 2015, 2030 en 2045 zijn de droogvalduurvlakken verhoogd met respectievelijk met 9,16 en 24 cm om te corrigeren voor zeespiegelstijging,

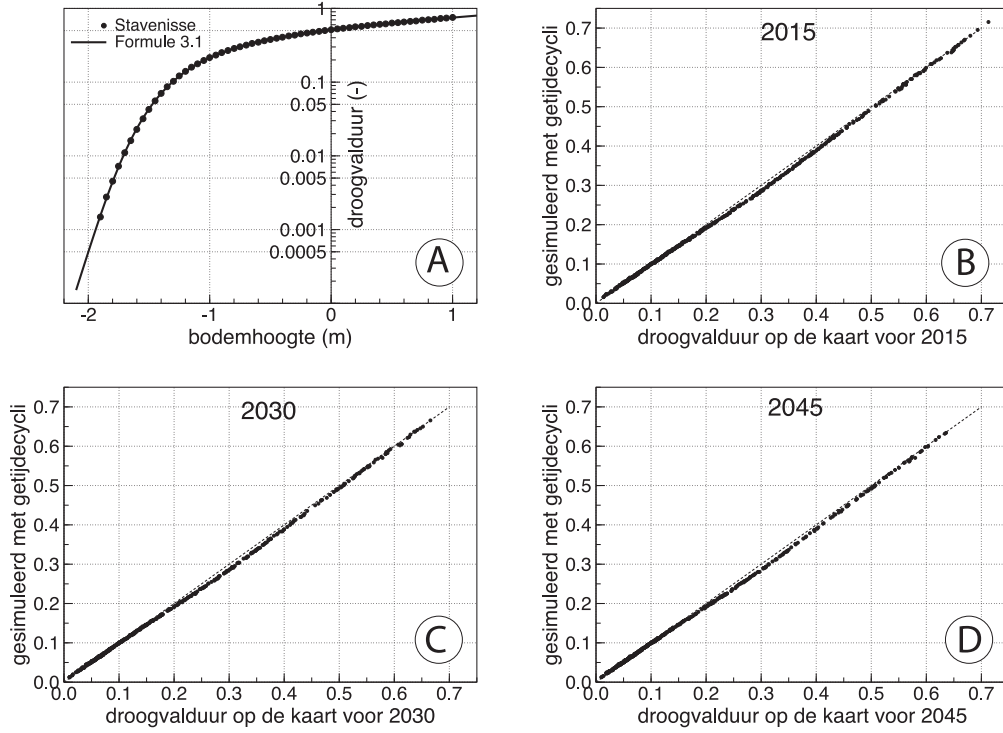
De droogvalduurkaarten zijn vervolgens omgezet naar puntkaarten met het punt in het centrum van elke gridcel. Deze afzonderlijke puntkaarten zijn aan elkaar gekoppeld op een lokatiesleutel (jnittem).

De uitkomst van deze berekeningen is voor 2001 steekproefsgewijs vergeleken met de droogvalduurkaarten van EVA-II. Tussen de 20% en 80% droogvalduur zijn droogvalduurwaarden vrijwel gelijk. Er zijn verschillen, maar deze zijn gering en niet structureel en worden waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in berekening. Tussen de 0-20% en tussen 80-100% zijn er wel verschillen. Deze klassen zijn voor de huidige berekening veel groter. De 0% en de 100% hoogten liggen respectievelijk lager en hoger dan bij in prognose van EVA-II. Dit heeft tot gevolg dat de 0-20% en 80-100% een groter oppervlak beslaan op de nieuwe droogvalduurkaarten. De oorzaak is vermoedelijk dat voor de EVA-II kaarten de laagwaterlijn of laagwaterspring als de 0% lijn is genomen en voor 100% droogvalduur de hoogwaterlijn of de hoogwaterspring.

De berekeningen met het scholekstermodel *WEBTICS* worden gemaakt op een raster van 25 ha grote cellen of “spots” (die van de schelpdiersurveys in de Oosterschelde). De droogvalduurkaarten zijn door Rijkswaterstaat gemaakt op basis van een veel fijner grid. De cijfers voor de 25 ha grote cellen zijn bepaald door de positieve droogvalduren die binnen een 25 ha cel liggen te middelen. Het percentage nul-droogvalduren geeft het deel van de cel dat in een geul (of op het land) ligt. Dat percentage wordt door *WEBTICS* gebruikt om het oppervlak van de cel te reduceren tot dat gedeelte dat daadwerkelijk droogvalt.

### 2.1.2 De generatie van getijdencycli

Ten behoeve van de simulatie van realistische getijdencycli van scholeksters wordt in *WEBTICS* gerekend met gemeten waterstanden en niet met een vaste droogvalduur voor iedere cel. Daarbij wordt echter aan een deelgebied (zoals Oosterschelde-West) slechts één getijdestation toegekend en de waterstanden worden dus niet ruimtelijk geïnterpoleerd tussen verschillende stations. Om nu een gemiddelde droogvalduur van een bepaalde spot toch in de simulatie te realiseren wordt de door een droogvalduurkaart opgelegde droogvalduur van die spot omgerekend naar een bodemhoogte, zodanig dat de gemiddelde droogvalduur door de waterstanden van het gekozen getijstation wordt gerealiseerd.



**Figuur 2.2.** Het verband in (A) tussen de droogvalduur en de bodemhoogte voor een getijdestation wordt voor iedere 25 ha spot van de simulatie gebruikt om voor opgelegde droogvalduren een equivalent bodemhoogte te berekenen. Op deze bodemhoogte worden dan de waterstanden van de winter 2004–2005 toegepast. De op deze wijze gesimuleerde droogvalduren moeten *gemiddeld* overeenkomen met de van de kaart afgelezen opgelegde droogvalduren. In (B), (C) en (D) worden de gesimuleerde gemiddelden vergeleken met de droogvalduurkaarten op de kaart voor alle droogvallende spots.

Ten behoeve van deze hoogteberekening wordt voor het gebruikte getijdestation het verband bepaald tussen bodemhoogte en de gemiddelde droogvalduur. Dat verband is bepaald voor de waterstanden in de periode 2003–2005, dus rondom de voor de droogvalduurkaarten gebruikte waterstanden van 2004. Het verband tussen bodemhoogte en droogvalduur DVD wordt beschreven met behulp van een niet-lineaire fit van de vergelijking

$$DVD(h) = \text{Exp} \left[ e + fh + d \left( \frac{\left(\frac{h-a}{c}\right)^b}{1 + \left(\frac{h-a}{c}\right)^b} \right)^{\frac{1}{b}} \right], \quad (2.1)$$

waarin  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  en  $f$  gefitte parameters zijn en  $h$  de bodemhoogte in meter. Voor het getijdestation Stavenisse bijvoorbeeld is

$$DVD(h) = \text{Exp} \left[ -8.25251 + 0.258990 h + 7.787514 \left( \frac{\left(\frac{h+2.1}{0.668972}\right)^{2.39169}}{1 + \left(\frac{h+2.1}{0.668972}\right)^{2.39169}} \right)^{\frac{1}{2.39169}} \right].$$

Figuur 2.2A laat de curve zien samen met de uit gemeten waterstanden berekende datapunten.

De aldus bepaalde functie wordt nu gebruikt om voor een opgelegde droogvalduur (afgelezen van een kaart voor een bepaald jaar) een equivalent bodemhoogte te

berekenen die vervolgens aan de cel wordt toegekend. Simuleren we vervolgens getijd cycli met behulp van de waterstanden die voor het berekenen van de droogvalduurkaart zijn gebruikt, dan wordt precies de opgelegde gemiddelde droogvalduur gerealiseerd. Dat is te zien in Figuur 2.2. De droogvalduren van de kaarten voor 2015, 2030 en 2045 werden omgerekend naar equivalent hoogten voor de gebruikte stations. Gecombineerd met waterstanden voor het seizoen 2004–2005 worden de door de kaarten opgelegde droogvalduren met slechts kleine afwijkingen gerealiseerd.

De hierboven beschreven analyse is gemaakt voor drie getijdestations, Roompot Binnen (Oosterschelde–West), Stavenisse (Oosterschelde–Midden) en Krammersluis (Oosterschelde–Noord). Het deelgebied Oosterschelde–Oost (de kom) is toegekend aan Stavenisse, omdat de beschikbare tijdserie voor station Marollegat teveel “gaten” bevatte. De gebruikte methodiek maakt het mogelijk om ook met de waterstanden van een iets verder gelegen station realistische getijd cycli te simuleren (de Figuren 2.2B, 2.2C en 2.2D bevatten de resultaten voor de hele Oosterschelde). De kleine afwijking in Figuur 2.2 voor droogvalduren rond 0.3 is niet geanalyseerd. Die zouden te maken kunnen hebben met het feit dat het model *WEBTICS* een winterperiode simuleert (september tot maart) en niet een kalenderjaar. De iets kleinere gemiddelde droogvalduren zouden dus correct kunnen zijn.

## 2.2 Het kokkelbestand

### 2.2.1 De schelpdier survey

Voor de jaren 1990–2001 is gebruik gemaakt van de gegevens van de schelpdiersurveys van Wageningen IMARES zoals die bewerkt zijn ten behoeve van het EVA-II project. Deze schelpdiersurveys zijn uitvoerig gedocumenteerd in [Kamermans & Kesteloo-Hendrikse \(2001\)](#) en [Bult \*et al.\* \(2003\)](#). Voor het omrekenen van de gemeten meibestanden naar september is gebruik gemaakt van de zogenaamde combinatie methode zoals beschreven in [Kamermans & Kesteloo-Hendrikse \(2001, blz 63\)](#). Daarbij wordt een bestandsafhankelijke zomergroei voor éénjarige kokkels gecombineerd met een zomergroei die afhankelijk is van het meigewicht van de kokkels. Een groter begingewicht van de kokkels in mei geeft dus ook een groter gewicht in september, volgens een gefitte machtsfunctie ([Kamermans & Kesteloo-Hendrikse, 2001, Tabel 4.2 op blz 54](#)), terwijl de groei van de éénjarige kokkels *ook* beïnvloed wordt door het totale kokkelbestand ([Kamermans & Kesteloo-Hendrikse, 2001, Figuur 4.6 op blz 59](#)). Voor de overleving van de kokkels in de zomer is 72% gebruikt ([Kamermans & Kesteloo-Hendrikse, 2001, Figuur 3.10](#)).

### 2.2.2 Modelbestanden

Ten behoeve van berekeningen voor de periode 2001–2045 zijn de voor 2001, 2015, 2030 en 2045 vervaardigde droogvalduurkaarten gebruikt voor het schatten van toekomstige kokkelbestanden. Dat is gedaan met Formule 5 uit [Kater \*et al.\* \(2004, blz 32\)](#). Het versgewicht aan kokkels (in  $\text{g m}^{-2}$ ) wordt berekend uit de gemiddelde droogvalduur en uit de stroomsnelheid. De stroomsnelheid is voor alle berekeningen afgelezen van de kaart voor 1996 terwijl de droogvalduren uiteraard zijn afgelezen van de kaarten voor 2001, 2015, 2030 en 2045.

De kokkelbestanden zijn berekend voor de punten van de droogvalduurkaarten. Dat betekent dat voor iedere cel van de schelpdiersurvey een groot aantal waarden is berekend. Voor het droogvallend deel van iedere cel is vervolgens het gemiddelde

**Tabel 2.1.** De totale modelbestanden voor september (in miljoenen kg versgewicht) vergeleken met de surveys voor 1990–2001.

jaar	West	Oost	Noord	Centraal	Totaal
	<b>Surveys</b>				
1990	10325	15590	4038	12615	42567
1991	5197	10762	6152	5809	27919
1992	4778	13194	3521	24474	45966
1993	5654	14013	4538	16329	40534
1994	9494	20267	3023	8985	41769
1995	6497	9219	3967	10504	30187
1996	5035	10266	6219	10035	31556
1997	3385	3352	4433	4623	15792
1998	5168	3028	3185	5536	16916
1999	6915	4827	3928	4865	20535
2000	13365	3535	5804	9289	31992
2001	15805	4445	6078	9552	35880
Average	7635	9375	4574	10218	31801
	<b>Modelbestanden</b>				
2001	9187	9486	4595	10262	33531
2015	7680	7140	4038	7347	26205
2030	6313	5879	3673	5528	21392
2045	5175	5037	3389	4336	17936

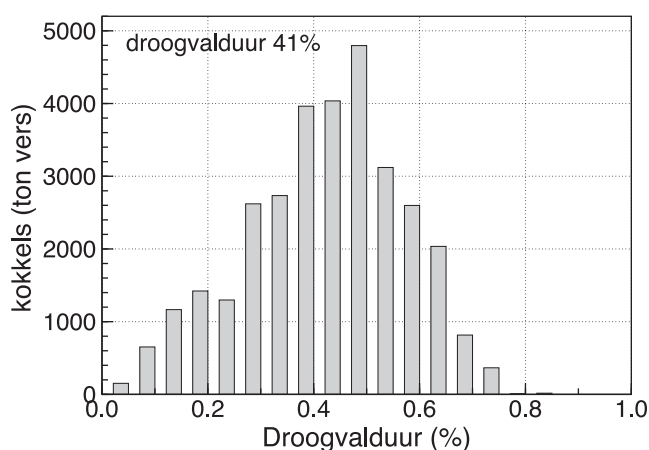
kokkelbestand berekend. De modelbestanden worden dus op dezelfde schaal aan het simulatiemodel *WEBTICS* aangeleverd als de resultaten van de schelpdiersurveys. Voor de zomergroei is op de berekende meibestanden een factor 1.204 toegepast. Dat is het gemiddelde van de netto zomergroei (groei minus sterfte) berekend voor de surveybestanden waarbij de jaren 1997 en 1998 met een mei-bestand onder de 20000 ton buiten beschouwing zijn gelaten.

In Tabel 2.1 worden de berekende totale kokkelbestanden voor september vergeleken met het resultaat van de surveys in de jaren 1990–2001. Voor Oosterschelde Oost, Centraal en Noord komen de modelbestanden voor 2001 goed overeen met het gemiddelde voor de periode 1990–2001. Voor Oosterschelde West is het modelbestand voor 2001 ongeveer 20% te hoog.

### 2.2.3 Droogvalduur van de kokkels

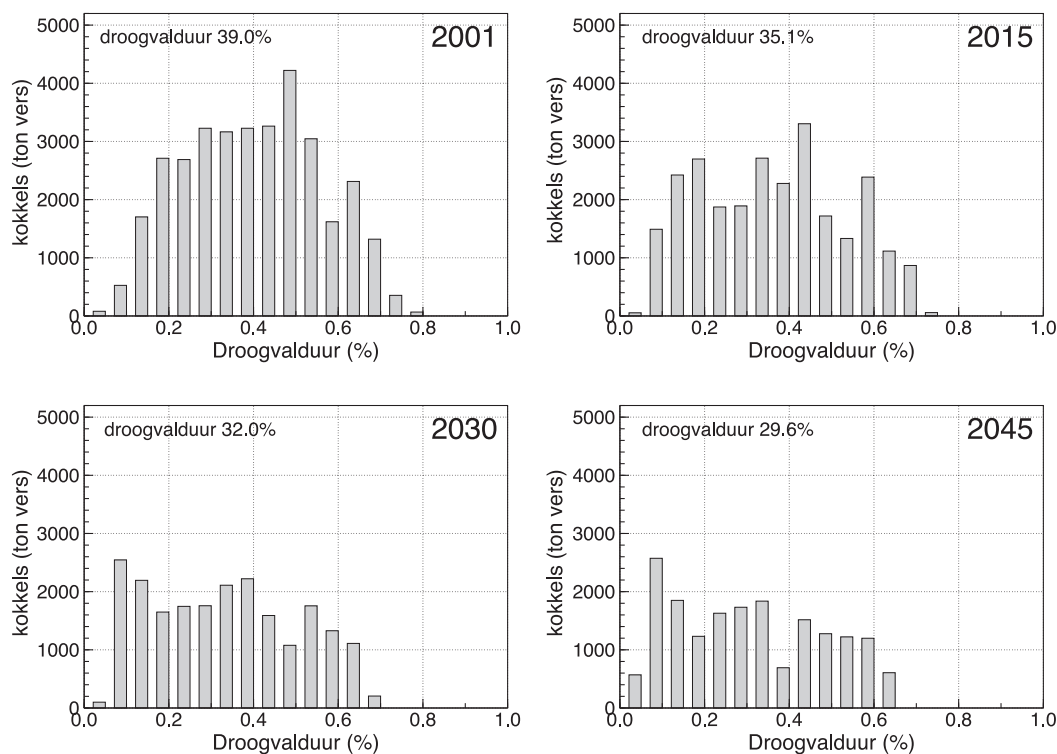
In Figuur 2.3 is te zien hoe de kokkels gedurende de periode 1990-2001 *gemiddeld* verdeeld waren over droogvalduurklassen met een breedte van 5%. Daarbij zijn de totale jaarlijkse versgewichten van de kokkels per droogvalduurklasse gemiddeld. De gemiddelde droogvalduur van de kokkels bedroeg 41% van de tijd. Het histogram geeft de droogvalduurverdeling van de in september aanwezige kokkels zoals berekend uit de droogvalduren die voor ieder jaar zijn bepaald door interpolatie tussen de EVA-II droogvalduurkaarten van 1989 en 2001.

Gelijksoortige grafieken voor de modelbestanden van 2001, 2015, 2030 en 2045 zijn weergegeven in Figuur 2.4. Hier is duidelijk te zien dat de droogvalduur van de kokkels aanzienlijk afneemt van 39% in 2001 tot 29.6% naar verwachting in 2045. Het verschil tussen de droogvalduur voor 2001 en die voor de survey-bestanden



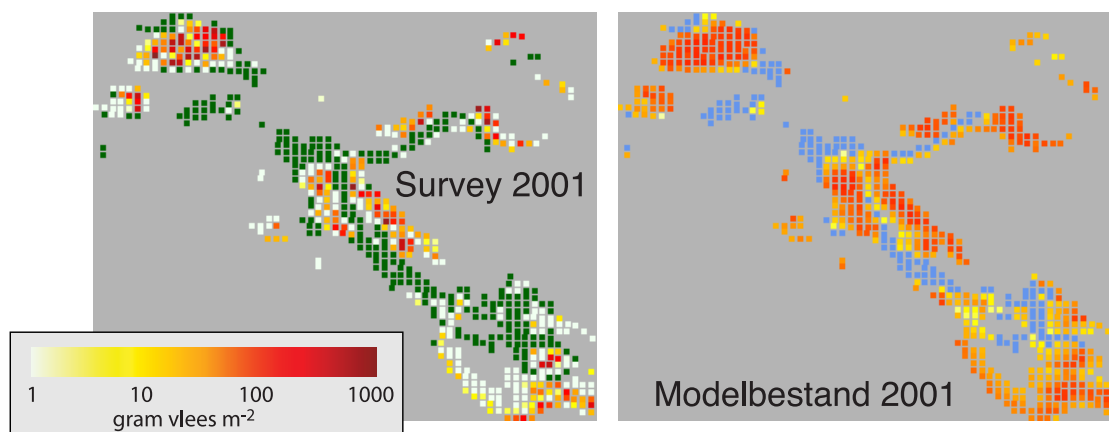
**Figuur 2.3.** Droogvalduur van de kokkels in de periode 1990–2001. Het histogram geeft per droogvalduurklasse het *gemiddelde* vergewicht in september (*na* de zomergroei). De gemiddelde droogvalduur van de kokkels bedroeg 41%.

van de periode 1990–2001 bestanden (de 41% van Figuur 2.3) komt doordat ook in de periode 1990–2001 de droogvalduur al iets is afgenomen en verder kunnen kleine verschillen in de methodiek achter de droogvalduurkaarten een rol spelen (zie Hoofdstuk 2.1). De verdeling van de kokkels over de verschillende droogvalduurklassen is realistisch. Dat is ook te verwachten, omdat immers het regressiemodel van Kater *et al.* (2004) voor het berekenen van de modelbestanden de droogvalduur als een verklarende variabele gebruikt.



**Figuur 2.4.** Droogvalduur van de kokkels in de modelbestanden voor 2001–2045. Het histogram geeft per droogvalduurklasse het vergewicht in september (*na* de zomergroei). De gemiddelde droogvalduur van de kokkels is in iedere figuur aangegeven.





**Figuur 2.5.** De survey en het modelbestand voor 2001 op een logaritmische kleurschaal over 3 decaden. Het modelbestand is veel uniformer (kleuren tussen geel en lichtrood) dan de survey bestanden (wit tot bruin). Details omtrent de niet droogvallende groene en blauwe spots worden besproken in de tekst.

#### 2.2.4 De verspreiding van de kokkels

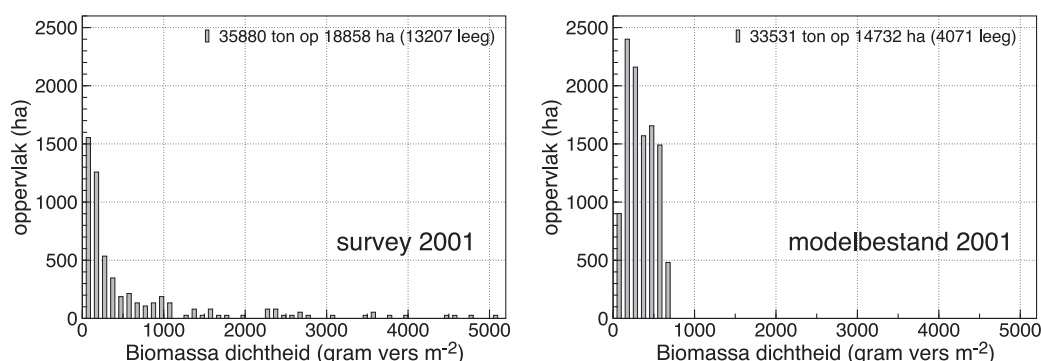
De modelbestanden laten een realistische verdeling over droogvalduurklassen zien. Dat betekent echter nog niet dat de verspreiding over de droogvallende slikken realistisch is. Het regressiemodel beschrijft een gemiddeld te verwachten biomassa als functie van droogvalduur en stroomsnelheid, maar de ruimtelijke heterogeniteit van de kokkels wordt daarmee niet beschreven. Dat is goed te zien in [Figuur 2.5](#) waar de survey van 2001 wordt vergeleken met het modelbestand voor 2001.

De groene spots in de plaat voor de survey vallen niet droog terwijl een klein deel van de visserij daar (en niet op de platen) heeft plaatsgevonden. Dat speelt geen rol voor de modelbestanden, waar blauw gewoon water voorstelt. Het aantal groene spots links is wel groter dan het aantal blauwe rechts. Dat komt omdat in de EVA-II berekeningen een spot ofwel *geheel* droog viel, of *niet* droog viel<sup>1</sup>, terwijl aan de “Zandhonger spots” (rechts) een fractioneel droogvallend oppervlak wordt toegekend. dat heel klein kan zijn, maar waardoor de spot in deze simpele kaartjes toch *niet* blauw wordt gekleurd.

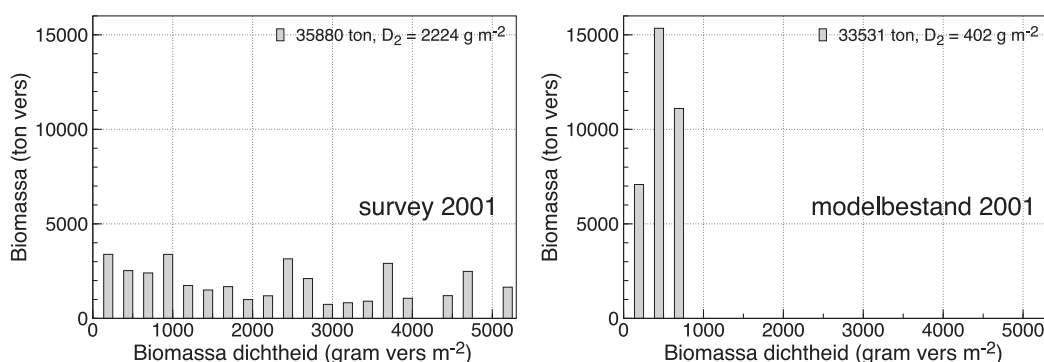
[Figuur 2.6](#) laat de verdeling zien van de kokkels over een groot aantal dichtheidsklassen voor zowel de survey van 2001 als het modelbestand van 2001. De histogrammen bevestigen het beeld van de kaartjes in [Figuur 2.5](#). Opvallend is de grote hoeveelheid “lege” spots in het surveybestand en een hele reeks kleine oppervlakken met hoge kokkeldichtheden. Dat zijn de kokkelbanken die niet door het habitatmodel worden beschreven.

In [Figuur 2.7](#) is te zien dat deze kokkelbanken een aanzienlijk deel van het totale bestand bevatten. Op basis van dichtheidsklassen met een breedte van  $250 \text{ g m}^{-2}$  is de biomassa in iedere klasse weergegeven. Het grootste van de kokkels in de survey ligt op plekken waar de kokkeldichtheid meer dan  $1000 \text{ g m}^{-2}$  bedraagt, terwijl in de modelbestanden dergelijke dichtheden geheel afwezig zijn. Door een gemiddelde biomassa dichtheid te berekenen voor de twee verdelingen van [Figuur 2.7](#) kan dit verschil ook kwantitatief worden uitgedrukt. Voor de survey van 2001 is de

<sup>1</sup>De reden daarvan is dat de schelpdiersurvey puntgegevens oplevert die worden toegekend aan een oppervlak. Er is voor gekozen om een volledig spot oppervlak aan ieder droogvallend punt toe te kennen. Daarmee wordt het kokkelbestand van die spot overschat. Daar staat tegenover dat er ook spots zijn met stukjes droogvallend slik waarvoor het monsterpunt in een geul ligt.



**Figuur 2.6.** De dichtheidsverdeling van de kokkels (september 2001) voor de survey en het habitatmodel. Het histogram geeft voor iedere dichtheidsklasse het oppervlak bedekt met een kokkeldichtheid in die klasse.



**Figuur 2.7.** De dichtheidsverdeling van de kokkels (september 2001) voor de survey en het habitatmodel. Het histogram geeft voor iedere dichtheidsklasse het totale gewicht van de kokkels in die klasse.

gemiddelde kokkeldichtheid  $2224 \text{ g m}^{-2}$ , voor het modelbestand slechts  $402 \text{ g m}^{-2}$ .

Om de betekenis van deze gemiddelden te verduidelijken is het van belang om eerst gewone gemiddelde dichtheden te berekenen. Voor oppervlakken  $s_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) en biomassa dichtheden  $d_i$  ( $i = 1 \dots n$ ) is de gewone gemiddelde dichtheid

$$D_1 = \frac{\sum_{i=1}^n s_i d_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (2.2)$$

gelijk aan het totale bestand gedeeld door het totale oppervlak. Voor het surveybestand in Figuur 2.6 is de gemiddelde dichtheid  $190 \text{ g m}^{-2}$ , voor het modelbestand  $227 \text{ g m}^{-2}$ . Die gemiddelden liggen dichtbij elkaar omdat de totale bestanden en de totale oppervlakken vergelijkbaar zijn.

Vergelijking 2.2 kan gelezen worden als het berekenen van een gemiddelde dichtheid waarbij de oppervlakken  $s_i$  als gewichten worden gebruikt. De gemiddelde dichtheden  $D_2$  uit Figuur 2.7 zijn berekend door in plaats van de oppervlakken de biomassa ( $s_i d_i$ ) te gebruiken als gewichtsfactor:

$$D_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i d_i) d_i}{\sum_{i=1}^n s_i d_i}. \quad (2.3)$$

Het resultaat hiervan is de dichtheid  $D_2$  (in  $\text{g m}^{-2}$ ) waarin de gemiddelde gram kokkel zich bevindt. Deze dichtheid is ecologisch relevanter dan een gewoon ge-

gemiddelde  $D_1$ , dat (voor de surveybestanden) voornamelijk wordt bepaald door een groot aantal “lege” spots.

### 2.2.5 Discussie van de kokkelverspreiding

Het grote verschil in de kokkeldichtheid  $D_2$  tussen de surveybestanden en de modelbestanden wijst niet alleen op een tekortkoming van het gebruikte habitatmodel, maar ook op een schaalprobleem. De metingen waarop de surveybestanden zijn gebaseerd zijn namelijk puntmetingen en *geen gemiddelde dichtheden voor een spot*. De puntmetingen van een survey (op de schaal van 1 meter) en het habitatmodel (gemiddelde dichtheden op een schaal van enkele kilometers) geven informatie op twee heel verschillende schaalniveaus.

Scholeksters foerageren op kokkelbanken en de vogeldichtheden variëren daarbij op een schaal die duidelijk groter is dan 1 meter maar kleiner is dan enkele kilometers. Nu zijn kokkelbanken weliswaar honderden meters groot, maar het gebruik van de hoge puntmetingen uit de surveys voor rekenwerk aan de voedselopname van vogels, in de veronderstelling van uniformiteit, is duidelijk een vereenvoudiging van de werkelijkheid. In het model gaan de vogels op de beste spots foerageren en wordt de voedselopname mogelijk overschat. Ook om andere redenen wordt de voedselopname overschat (zie Hoofdstuk 4.1) en daarom wordt de berekende maximale voedselopname in *WEBTICS* alleen gebruikt als een maat voor de *mogelijkheden van de vogels om aan voedsel te komen* en niet als een absoluut getal voor de haalbare voedselopname (zie de hoofdstukken 2.3.6 en 4.4).

In de modelbestanden komen de hoge “kokkelbankdichtheden” in het geheel niet voor. Een realistisch kokkelbestand is bovendien niet alleen ruimtelijk heterogeen, maar ook de verschillen van jaar op jaar zijn groot door het grillige karakter van de broedval van kokkels. In Hoofdstuk 4.6 wordt een oplossing voor dit probleem besproken, die het mogelijk maakt om toch draagkrachtberekeningen voor de modelbestanden te maken.

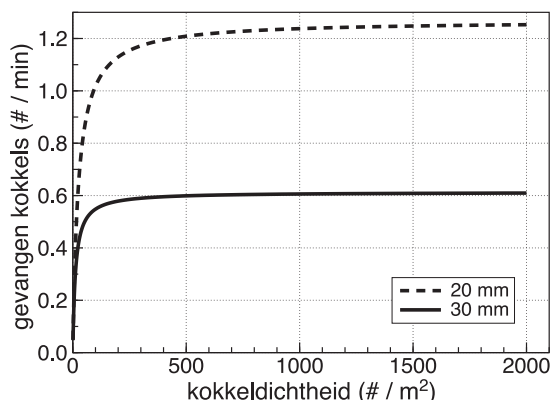
## 2.3 Voedselopname van scholeksters

### 2.3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de ecologie van foeragerende scholeksters. Dat gebeurt aan de hand van concepten en gegevens uit de literatuur die ook in in het simulatiemodel *WEBTICS* zijn opgenomen. De bedoeling hiervan is niet zozeer om het simulatiemodel nog eens te beschrijven, maar om duidelijk te maken welke factoren bepalen of de scholeksters in de winter al of niet voldoende voedsel kunnen vinden.

De droogvalduur van de slikken is daarbij belangrijk. Naarmate de droogvalduur groter is nemen de mogelijkheden voor de vogels om aan voldoende voedsel te komen toe. De inspanning die de vogels moeten leveren om aan voldoende voedsel te komen wordt uitgedrukt als de foerageerintensiteit voor een getijdeperiode (zie Hoofdstuk 2.3.6).

**Figuur 2.8.** Aantal gegeten kokkels per tijdseenheid



### 2.3.2 De potentiële opname tijdens laagwater

De functionele respons beschrijft het aantal kokkels dat per tijdseenheid kan worden gevangen en opgegeten, de “capture rate CR”. Deze hangt af van de dichtheid van kokkels  $d$  in het substraat (de dichtheid beïnvloedt de zoektijd) en van de grootte  $s$  van de kokkels die daadwerkelijk worden opgegeten (de grootte beïnvloedt de “handling time” of “hannestijd”). [Zwarts \*et al.\* \(1996b\)](#) geven een uitgebreid overzicht van de beschikbare gegevens over kokkel etende scholeksters. Met behulp daarvan is de functionele respons (of eigenlijk de “capture rate”) afgeleid ([Rappoldt \*et al.\*, 2003c](#)) als

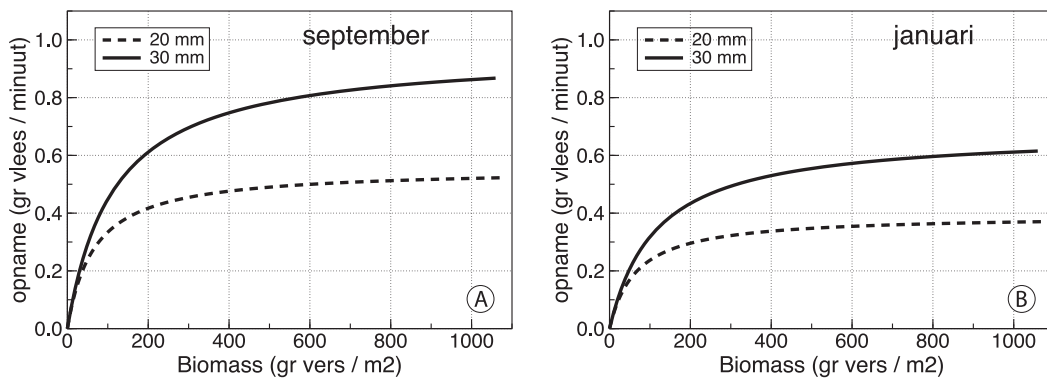
$$CR(d, s) = \frac{0.000860 d}{1 + 0.000190 d s^{1.792}}. \quad (2.4)$$

Figuur 2.8 laat het asymptotische verband zien tussen het aantal gegeten kokkels per minuut en de kokkeldichtheid voor relatief grote kokkels van 30 mm en relatief kleine kokkels van 20 mm.

Bij zeer hoge dichtheid wordt het aantal gegeten kokkels volledig bepaald door de hannestijd; maximaal kunnen per minuut 0.61 grote kokkels worden verorberd. Bij een realistische dichtheid van 100 grote kokkels per m<sup>2</sup> is dat nog altijd 0.55 kokkels per minuut, ofwel 90% van het theoretische maximum. Omdat de hannestijd van kleine kokkels beduidend korter is dan die van grote kokkels kunnen bij zeer hoge dichtheden ongeveer twee keer zoveel kleine kokkels (20 mm) worden gegeten; maximaal 1.26 kleine kokkels per minuut. Bij een dichtheid van 100 kleine kokkels per m<sup>2</sup> is dat 1.02 kokkels per minuut ofwel 81% van het theoretische maximum.

De potentiële voedselopname per tijdseenheid is het product van de capture rate en de vleesinhoud van de gegeten kokkels. Daarnaast moet rekening worden gehouden met het feit dat scholeksters niet in staat zijn om al het vlees uit de schelp te verwijderen. Vaak blijft een deel van de aanhechting van de sluitspier in de schelp achter. Deze achtergebleven fractie wordt geschat op 10% van de totale vleesinhoud ([Zwarts \*et al.\*, 1996a](#)). De vleesinhoud hangt niet alleen af van de afmeting van de kokkel maar ook van de tijd in het jaar omdat de kokkels tussen september en maart sterk vermageren. Gemiddeld is aan het eind van de winter nog slechts 71% van het oorspronkelijke vleesgewicht over (e.g. [Klepper, 1989](#)). Dit heeft uiteraard consequenties voor de opnamesnelheid van de scholeksters (Figuur 2.9).

De laatste factor die van invloed is op de potentiële voedselopname is de dichtheid van de foeragerende scholeksters zelf. Dit effect van interferentie wordt in het WEBTICS-model verdisconteerd als een reductie van de potentiële voedselopname die enerzijds wordt veroorzaakt doordat vogels elkaar in de weg lopen en anderzijds



**Figuur 2.9.** Opnamesnelheid in gram nat vlees per minuut in september en januari bij verschillende prooigrootten en biomassa dichtheden. merk op dat de biomassa dichtheid op de horizontale as is uitgedrukt in gram vers  $m^{-2}$ .

doordat dominante vogels voedsel kunnen stelen van hun burens. In beide gevallen neemt de gemiddelde voedselopname van de aanwezige vogels af. Het effect van interferentie kan worden gekwantificeerd als een factor  $\text{Exp}[-0.000503X]$  (een getal kleiner dan 1) waarmee de functionele respons vermenigvuldigd wordt. Hierin is  $X$  de scholekster dichtheid uitgedrukt als een aantal vogels per hectare (Stillman *et al.* (2002), vereenvoudigd in Rappoldt *et al.* (2006)).

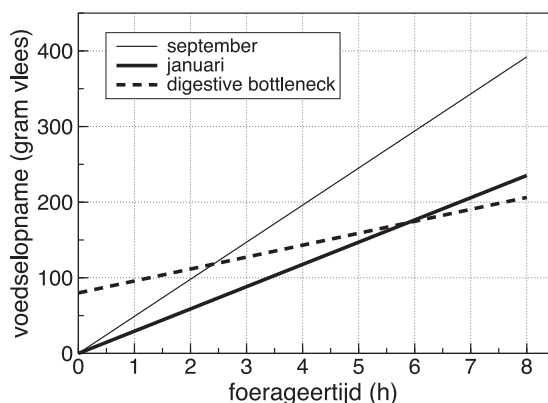
Voor één voedselgebied van enkele duizenden hectare in combinatie met enkele tienduizenden scholeksters is de gemiddelde vogeldichtheid tijdens laagwater laag, slechts tientallen vogels per hectare en is er nauwelijks een effect van interferentie. In de gesimuleerde verdelingen van de scholeksters tijdens laagwater (zie Hoofdstuk 4.2 voor de jaren 1990–2001) varieert de gemiddelde dichtheid van foeragerende vogels tussen 10 en 250 vogels per hectare<sup>2</sup>, afhankelijk van de verspreiding van de kokkels over de droogvallende slikken. Ook bij dit soort dichtheden is het effect van interferentie nog altijd beperkt. Bij een dichtheid van 100 vogels per ha (op een kokkelbank) wordt nog steeds 95% van de potentiële voedselopname gerealiseerd.

Overigens treden in een getijdegebied tijdens opkomend en afgaand water wel kortstondig hogere dichtheden op wanneer de vogels zich noodgedwongen concentreren op de hoogstgelegen delen van het slik. Onder die omstandigheden kan interferentie wel van invloed zijn op de voedselopname. Bij een dichtheid van 1000 vogels per hectare wordt slechts 60% van de potentiële opnamesnelheid gerealiseerd.

### 2.3.3 Potentiële cumulatieve voedselconsumptie tijdens een laagwaterperiode

De cumulatieve hoeveelheid voedsel die een scholekster tijdens een laagwaterperiode maximaal kan opnemen, wordt bepaald door de duur van de laagwaterperiode en de potentiële opnamesnelheid (die afhangt van de afmeting van de kokkels en hun dichtheid, gecorrigeerd voor de achtergebleven fractie van het kokkelvlees en het effect van interferentie; zie Hoofdstuk 2.3.2). Deze maximale cumulatieve voedselconsumptie neemt lineair toe met de tijd sinds het droogvallen van het voedselgebied. Figuur 2.10 geeft voor september en januari, en voor parameters die bij de figuur zijn gegeven, het verband tussen deze maximale cumulatieve consumptie en

<sup>2</sup>Dit wordt berekend als een gewogen vogeldichtheid rond het tijdstip van laagwater waarbij de vogeldichtheid zelf als gewichtsfactor wordt gebruikt. Dit is dus de vogeldichtheid die de gemiddelde vogel “ziet” rond het tijdstip van laagwater.



**Figuur 2.10.** Maximale cumulatieve voedselconsumptie tijdens een laagwaterperiode voor een kokkeldichtheid van  $100 \text{ m}^{-2}$ , een kokkelgrootte van 30 mm (corresponderend met een biomassa dichtheid (versgewicht) van  $960 \text{ g m}^{-2}$  en een vogeldichtheid van  $100 \text{ ha}^{-1}$ ). De maximale consumptie in januari is aanzienlijk lager dan in september omdat de vleesinhoud van de kokkels in de loop van het winterseizoen afneemt. De onderbroken lijn geeft de begrenzing opgelegd door de “digestive bottleneck”.

de droogvalduur. Merk op dat voor een lagere kokkeldichtheid de helling van de lijn afneemt.

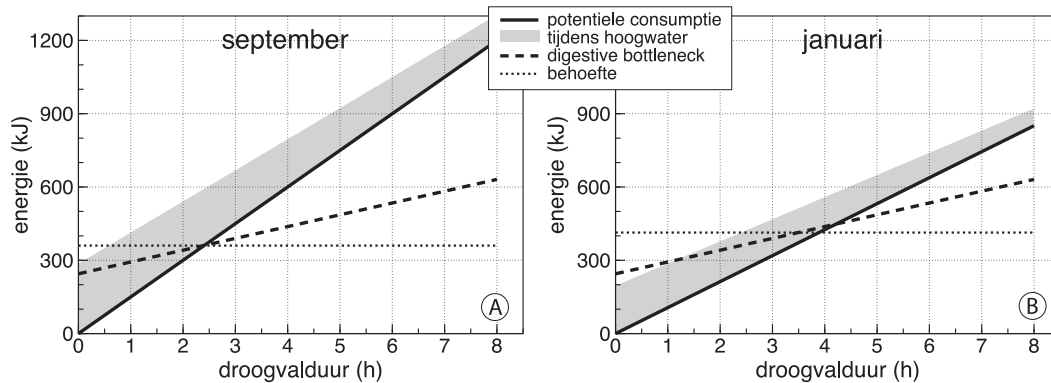
### 2.3.4 Digestive bottleneck

Door beperkingen die samenhangen met het spijsverteringsstelsel van de scholekster kan de potentiële opnamesnelheid slechts gedurende korte tijd worden volgehouden. Deze “digestive bottleneck” (Kersten & Visser, 1996) ontstaat omdat een scholekster niet meer dan 80 gram voedsel in zijn spijsverteringsstelsel kan opslaan en omdat de verwerkingssnelheid van het voedsel (0.263 gram nat vlees per minuut) veel lager is dan een normale potentiële opnamesnelheid (0.52 gram per minuut in januari). De digestive bottleneck beperkt dus de cumulatieve voedselconsumptie in de loop van een laagwaterperiode (Figuur 2.10). In september kan de potentiële opnamesnelheid gedurende de eerste 144 minuten worden volgehouden; daarna beperkt de digestive bottleneck de opnamesnelheid en dus ook de cumulatieve voedselconsumptie gedurende de laagwaterperiode. Omdat de potentiële opnamesnelheid in januari beduidend lager is dan in september, komen de beperkingen van de digestive bottleneck in januari pas na 344 minuten foerageertijd tot uiting. Dus, indien het voedselgebied lang genoeg droog ligt, wordt de voedselconsumptie van de scholeksters niet beperkt door het voedselaanbod maar door de digestive bottleneck. Het voedselaanbod bepaalt dan alleen hoe lang het duurt voordat de digestive bottleneck in werking treedt.

Hoewel de maximale cumulatieve voedselconsumptie in de praktijk niet vaak gerealiseerd zal worden, is dit wel een zeer belangrijke grootte omdat deze aangeeft wat de mogelijkheden zijn voor de vogels om aan voedsel te komen. De verhouding tussen de voedselbehoefte en de maximale cumulatieve voedselconsumptie (“de foerageerintensiteit”) geeft aan hoe hard de vogels moeten werken.

### 2.3.5 Voedselbehoefte en energiebehoefte

De cumulatieve voedselconsumptie tijdens een laagwaterperiode moet voldoende zijn om aan de behoefte van de scholeksters te voldoen. De dagelijkse energiebe-



**Figuur 2.11.** Voedselopname in kJ en energiebehoefte in september en januari als functie van de droogvalduur van het voedselgebied tijdens laagwater (één uniform voedselgebied met 100 kokkels  $\text{m}^{-2}$ , een kokkelgrootte van 30 mm en een vogeldichtheid van 100 scholeksters per hectare). Het grijze deel geeft de maximale additionele voedselconsumptie tijdens hoogwater voor een gemiddelde getijdeperiode.

hoeft van scholeksters is goed bekend (Kersten & Piersma, 1987; Zwarts *et al.*, 1996a) en hangt voornamelijk af van de temperatuur. De energiebehoefte neemt snel toe als de temperatuur daalt onder  $10^{\circ}\text{C}$ . In Figuur 2.11 wordt de cumulatieve voedselconsumptie, omgerekend naar energetische termen per getijdeperiode, in respectievelijk september en januari vergeleken met de energiebehoefte van de scholeksters in de betreffende maanden. De dagelijkse energiebehoefte is daarbij omgerekend naar de energiebehoefte per getijdeperiode.

Tot nog toe zijn we er van uitgegaan dat scholeksters al hun voedsel verzamelen tijdens de laagwaterperiode. Dit is niet geheel terecht omdat, met name op momenten dat de vogels het moeilijk hebben, ook tijdens hoogwater gefoerageerd wordt in omliggende gebieden. Hoewel de opnamesnelheid tijdens hoogwater beduidend lager is dan tijdens laagwater, kan deze additionele voedselconsumptie niet genegeerd worden, temeer omdat bij een vermindering van de droogvalduur de beschikbare tijd voor foerageren tijdens hoogwater toeneemt. Er treedt dus enige compensatie op. In *WEBTICS* wordt uitgegaan van een opnamesnelheid van 0.225 gram nat vlees per minuut (0.6 mg “Ash Free Dry Weight” per seconde, Stillman *et al.*, 2000) tijdens hoogwater. Foerageren buiten het intergetijdegebied gebeurt alleen bij daglicht; daarom is de voedselconsumptie tijdens hoogwater s winters lager dan in september.

De additionele voedselconsumptie tijdens hoogwater is in Figuur 2.11 aangegeven door middel van een grijze balk bovenop de cumulatieve voedselconsumptie tijdens laagwater. De som van de cumulatieve voedselconsumptie tijdens hoogwater en laagwater geeft de maximale cumulatieve consumptie per getijdeperiode. Indien er geen kokkels droogvallen wordt gedurende de gehele daglicht-periode de opnamesnelheid gerealiseerd die geldt gedurende hoogwater. In januari wordt onder die omstandigheden slechts de helft van de behoefte gedekt.

### 2.3.6 Voedselstress

We gaan ervan uit dat de voedselconsumptie per getijdeperiode wordt gestuurd door de energiebehoefte. De vogels eten dus niet meer dan ze nodig hebben. Het voedsel wordt primair verzameld op de droogvallende slikken. Pas als de cumulatieve voedselconsumptie tijdens laagwater (bijna) onvoldoende is om de behoefte

te dekken, gaan de vogels ertoe over om ook tijdens hoogwater te foerageren. De opname tijdens hoogwater doet echter wel mee bij het berekenen van wat maximaal mogelijk is zonder digestive bottleneck (de foerageermogelijkheden voor de voegels). De mate waarin de vogels zich moeten inspannen om aan voedsel te komen wordt de foerageerintensiteit genoemd en wordt berekend als de verhouding tussen de gerealiseerde opname (bijna altijd de voedselbehoefte) en de *foerageermogelijkheden* uitgedrukt als de maximale cumulatieve voedselconsumptie (zonder digestive bottleneck). Deze verhouding is een getal tussen 0 en 1.

De foerageerintensiteit neemt toe als de behoefte toeneemt en neemt af als de maximale opnamesnelheid groter is. De foerageerintensiteit neemt ook af als de droogvalduur toeneemt. Immers, de behoefte blijft constant terwijl de maximale

**Tabel 2.2.** Voorbeeld van grootheden in september en januari die de foerageerintensiteit (en de stress index) voor scholeksters bepalen. De tabel laat zien op welke wijze in Hoofdstuk 3 foerageerintensiteiten worden berekend. Daarbij wordt slechts één droogvalduur gehanteerd (de droogvalduur van de 5% hoogstgelegen kokkels), één kokkeldichtheid (de dichtheid  $D_2$  berekend met Vergelijking 2.3), en één oppervlak  $S$  (zodanig dat  $S \times D_2$  gelijk is aan het totale bestand). Het voor deze tabel gebruikte kokkelbestand is het modelbestand voor 2001. Merk op dat een surveybestand zou leiden tot een grotere  $D_2$  (zie Figuur 2.7), een evenredig kleiner oppervlak  $S$  en een grotere vogeldichtheid. Met gewichten in gram vlees wordt “nat vlees” bedoeld (zie Hoofdstuk 1.4).

grootheid	sept	jan	verschil
<b>kokkeldichtheid</b> ( $\text{m}^{-2}$ )	37.6	28.6	-24%
<b>biomassa dichtheid <math>D_2</math></b> (gram vers $\text{m}^{-2}$ ) voor definitie $D_2$ zie Vergelijking 2.3 modelbestand 2001 33531 ton (Tabel 2.1) oppervlak $S$ met dichtheid $D_2$ is 8340 ha kokkelgrootte: 31 mm, versgewicht 10.7 g herfst consumptie door 40000 vogels	402.	305.	-24%
<b>capture rate</b> ( $\text{min}^{-1}$ ) zie Figuur 2.9	0.45	0.42	-6%
<b>vleesinhoud kokkel</b> (gram vlees) kokkelgrootte: 31 mm	1.93	1.37	-29%
<b>opnamesnelheid</b> (g vlees $\text{min}^{-1}$ ) 90% schelpinhoud, 4.8 vogels $\text{ha}^{-1}$	0.77	0.51	-34%
<b>potentiële consumptie laagwater</b> (g vlees) droogvalduur 5% hoogstgelegen kokkels 8 uur	371.	245.	-34%
<b>potentiële energie consumptie laagwater</b> (kJ) 0.16 gram As Vrij Droog per gram vlees 22.5 kJ (g AVD) $^{-1}$ , 85% assimilatie efficiëntie	1135.	750.	-34%
<b>potentiële energie consumptie hoogwater</b> (kJ) daglicht september 13.2 uur, januari 9.0 uur 0.225 g vlees $\text{min}^{-1}$ (Stillman <i>et al.</i> , 2000)	101.	69.	-32%
<b>potentiële energie consumptie</b> (kJ/cyclus) laagwater + hoogwater	1236.	819.	-34%
<b>potentiële energie consumptie</b> (kJ $\text{d}^{-1}$ ) 1.9322 getijdencycli per dag	2388.	1582.	-34%
<b>energiebehoefte</b> (kJ/dag), $T_{\text{sept}} = 10^\circ \text{C}$ , $T_{\text{jan}} = 3^\circ \text{C}$	696.	819.	+18%
Foerageerintensiteit (stress)	0.29	0.52	



cumulatieve consumptie tijdens de hele droogvalduur stijgt (vergelijk Figuur 2.11). In Tabel 2.2 wordt dit rekenwerk nog eens op een rijtje gezet op de wijze zoals toegepast in Hoofdstuk 3 voor de kokkelbestanden berekend met het habitatmodel (zie ook Hoofdstuk 2.2).

In de winter (januari) is de foerageerintensiteit hoger dan in het najaar (september). Dit komt enerzijds omdat de energiebehoefte toeneemt als de temperatuur daalt en anderzijds omdat de cumulatieve voedselconsumptie afneemt ten gevolge van (1) het vermageren van de kokkels, (2) vermindering van de kokkeldichtheid door consumptie in de voorafgaande maanden en (3) kleinere daglengte. De getallen in Tabel 2.2 laten zien dat de veranderingen in energiebehoefte en voedselaanbod tussen september en januari substantieel zijn (enkele tientallen procenten) en leiden tot een aanzienlijke toename van de noodzakelijke foerageerinspanning.

In dit model kunnen scholeksters alleen dood gaan als de berekende maximale cumulatieve voedselconsumptie kleiner is dan de behoefte. Zoals uiteengezet op bladzijde 37 en in Hoofdstuk 4.5 komen echte scholeksters echter al eerder in de problemen en die problemen worden groter naarmate de foerageerintensiteit dichter bij de 1 ligt. Gegevens over het aantalsverloop van de scholeksters in de Oosterschelde en de Waddenzee en gegevens over de jaarlijkse sterfte van scholeksters in de Waddenzee laten zien dat het kritische niveau van de stress index (ongeveer de gemiddelde foerageerintensiteit) bij ongeveer 0.5 ligt (zie Hoofdstuk 4.5).

### 2.3.7 De rol van de digestive bottleneck

In het voorbeeld van Figuur 2.11 is te zien dat een foerageerintensiteit van 0.5 in januari wordt gerealiseerd bij een foerageerduur van ongeveer 8 uur. Dat is een veel zwaardere eis aan de droogvalduur van de kokkels dan wat er door de digestive bottleneck wordt opgelegd: in 4 uur foerageren kan de energiebehoefte worden gedekt.

De digestive bottleneck speelt om die reden geen rol in de definitie van de foerageerintensiteit (of voor een hele winter: de stress index). De foerageerintensiteit is gedefinieerd als de verhouding tussen de energiebehoefte en de foerageermogelijkheden van de vogels, uitgedrukt als de maximale cumulatieve voedselconsumptie zonder bottleneck.

Onder extreme omstandigheden kunnen de beperkingen van het spijsverteringsstelsel echter wel degelijk een rol spelen. De maximale hoeveelheid voedsel die per etmaal verwerkt kan worden (als het spijsverteringsstelsel 24 uur op maximale snelheid werkt) bedraagt  $24 \times 60 \times 0.263 = 379$  gram nat vlees. Dit komt overeen met een maximale energie-opname per etmaal van  $0.16 \times 0.85 \times 22.5 \times 379 = 1160$  kJ (zie voor parameters Tabel 2.2). Bij temperaturen lager dan  $-8.4^\circ\text{C}$  is de energiebehoefte van scholeksters groter dan de capaciteit van het spijsverteringsstelsel. Onder die omstandigheden teren de vogels dus in op hun energiereserves en vermageren.

Na een periode met extreme kou kan de digestive bottleneck nog enige tijd een rol spelen. De berekende energiebehoefte is in feite de hoeveelheid energie die nodig is om de dagelijkse uitgaven te dekken. Na een periode waarin de vogels zijn vermagerd moeten zij extra eten om het nagestreefde lichaamsgewicht weer te bereiken. De snelheid waarmee zij de opgelopen achterstand kunnen wegwerken wordt begrensd door de maximale energie-opname per etmaal van 1160 kJ. Daarom zullen de vogels langer een suboptimaal gewicht hebben dan verwacht mag worden op grond van het voedselaanbod. In een vereenvoudigde model, met gemiddelde tem-

peratuur en voedselaanbod, blijven extreme omstandigheden buiten beschouwing, maar in de simulaties met *WEBTICS* op grond van historische weersgegevens komen zij wel voor.

## Hoofdstuk 3

# Eenvoudige berekening van het effect van een kortere droogvalduur

In dit hoofdstuk beperken we ons tot het berekenen van een foerageerintensiteiten voor een gemiddelde getijdeperiode in januari op de in Hoofdstuk 2.3.6 besproken methode. We proberen op grond daarvan iets te zeggen over het effect van een kortere droogvalduur. Later, in het simulatiemodel vormt de foerageerintensiteit de basis voor het berekenen van de stress index voor een winterseizoen (zie Hoofdstuk 4.4).

### 3.1 Inleiding

Behoudens eventuele strenge vorstperioden stabiliseert de foerageerintensiteit na januari. Het voedselaanbod neemt weliswaar nog verder af, maar de daglengte neemt toe en met een toename van de temperatuur neemt de energiebehoefte van de vogels af. Een bijkomende reden om te kiezen voor de stress index in januari is gelegen in het niet onbelangrijke feit dat reeds in de loop van februari het aantal scholeksters in de Oosterschelde daalt omdat de vogels terugkeren naar hun broedgebied.

In dit hoofdstuk wordt echter niet een hele getijdezone gesimuleerd met allerlei verschillende droogvalduren, maar beperken we ons tot *de* droogvalduur van één plek met een bepaald oppervlak, één kokkeldichthei, één kokkelgrootte en één droogvalduur. Op basis van de snelheid waarmee scholeksters kokkels kunnen eten proberen we dan iets te zeggen over de consequenties van een korter wordende droogvalduur, zoals die blijkt uit de droogvalduurkaarten en de kokkelbestanden voor 2001, 2015, 2030 en 2045.

### 3.2 Resultaat

De droogvalduurkaarten en de kokkel modelbestanden die in Hoofdstuk 2 in meer detail worden besproken zijn hier gebruikt voor het berekenen van enkele eenvoudige karakteristieken van het foerageergebied.

De gemiddelde biomassa dichtheid  $D_2$  (in  $\text{g m}^{-2}$ ) zoals gedefinieerd in Formule 2.3. Berekend is de biomassa die de gemiddelde gram kokkel “om zich heen ziet”. Die is hoger dan de oppervlakte-gemiddelde biomassa, maar voor modelbestanden is het verschil klein doordat de modelbestanden relatief homogeen zijn (zie Figuur 2.7 op bladzijde 24),

Het effectief droogvallend oppervlak is berekend als de verhouding van het totale kokkelbestand en de biomassa dichtheid  $D_2$ . Het aldus berekende oppervlak levert in combinatie met de biomassa dichtheid precies het totale modelbestand oplevert. “Lege slikken” tellen niet mee,

De droogvalduur is berekend als de mediaan van de droogvalduur van de kokkels (50% ligt langer droog en 50% korter) en als de droogvalduur van de hoogstgelegen 5% van de kokkels.

In Tabel 2.2 worden op basis van deze grootheden foerageerintensiteiten berekend voor het modelbestand van 2001.

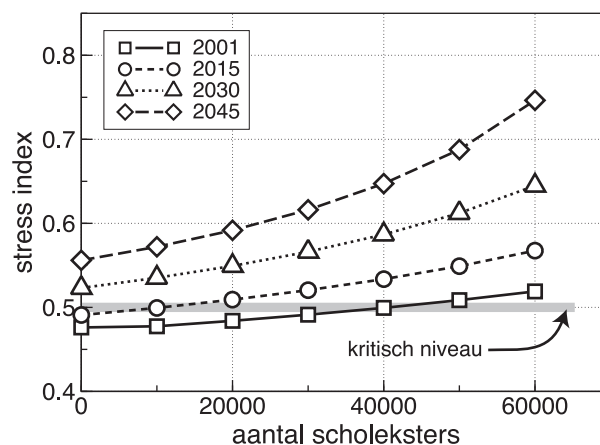
Tabel 3.1 geeft een prognose van de omvang van de te verwachten veranderingen tot 2045. De zandhonger en zeespiegelstijging leiden tot (1) verkleining van het foerageergebied, (2) vermindering van de droogvalduur, (3) afname van de biomassa aan kokkels en bijgevolg tot (4) verhoging van de foerageerintensiteit voor scholeksters in januari. De droogvalduur van de gemiddelde kokkel vermindert naar verwachting met 24%, van bijna 5 uur naar minder dan 4 uur per getijdeperiode. Echter, het zijn de hoogstgelegen kokkels die de beschikbare foerageertijd voor de scholeksters bepalen. Naar verwachting vermindert de droogvalduur van de 5% hoogstgelegen kokkels van 8 uur naar 7 uur per getijdeperiode.

**Tabel 3.1.** Prognose van veranderingen in de Oosterschelde tot 2045 tengevolge van zandhonger. De foerageerintensiteit is berekend op grond van een constant aantal van 40000 overwinterende scholeksters, een kokkelgrootte van 31 mm en een foerageertijd overeenkomend met de droogvalduur van de 5% hoogstgelegen kokkels.

grootheid	2001	2015	2030	2045	2001-2045
<b>opp. droogvallende kokkels</b> (ha)	8343	7333	6649	6070	-27%
<b>kokkel versgewicht mei</b> ( $\text{g m}^{-2}$ )	334	297	267	245	-27%
<b>droogvalduur</b> (min)					
• 50% hoogst gelegen kokkels	291	261	238	221	-24%
• 5% hoogst gelegen kokkels	484	477	454	432	-11%
Foerageerintensiteit januari (-)	0.514	0.548	0.582	0.637	

Met behulp van deze karakteristieken kan nu voor een bepaald aantal scholeksters en een gekozen kokkelgrootte worden berekend hoeveel kokkels er in de maanden september, oktober, november en december worden opgegeten<sup>1</sup> en hoe de kokkel biomassa tengevolge van die predatie afneemt. Voor de in januari resterende dichtheid wordt vervolgens een functionele respons berekend (Figuur 2.9), gecorrigeerd met het effect van interferentie bij de gemiddelde vogeldichtheid. Samen met de droogvalduur levert dat een getal voor de maximale cumulatieve opname per gemiddelde getijdeperiode (Figuur 2.11) die, zoals uiteengezet in Tabel 2.2, met de voedselbehoefte wordt gecombineerd tot de foerageerintensiteit.

<sup>1</sup>Rekening houdend met de verandering in de vleesinhoud van de kokkels en de energiebehoefte van de scholeksters



**Figuur 3.1.** Ontwikkeling van de foerageerintensiteit van overwinterende Scholeksters voor een gemiddelde getijdeperiode in januari in de Oosterschelde op grond van de verwachte veranderingen in het systeem ten gevolge van zandhonger (zie Tabel 3.1). Als een grijze horizontale lijn is het kritische stress niveau uit de simulatiestudie aangegeven (zie Hoofdstuk 4.5).

De foerageerintensiteiten in Tabel 3.1 zijn berekend voor een kokkelgrootte van 31 mm en voor 40000 vogels. Aangezien de foerageerintensiteit voor 40000 vogels in 2045 aanzienlijk hoger is dan 0.5, kan niet verwacht worden dat dit aantal op termijn gehandhaafd blijft. De draagkracht van de Oosterschelde voor overwinterende scholeksters vermindert.

In Figuur 3.1 is de foerageerintensiteit uitgezet als functie van het aantal overwinterende scholeksters, waarbij een kritisch niveau van 0.5 is aangegeven. Voor de omstandigheden in 2001 is de draagkracht van de Oosterschelde ongeveer 40000 vogels (op die basis is de kokkelgrootte gekozen). De berekende foerageerintensiteiten suggereren dat de draagkracht in de toekomst aanzienlijk zal afnemen. In 2015 zou de draagkracht gereduceerd zijn tot slechts 10000 vogels en vóór 2030 zou de scholekster uit de Oosterschelde zijn verdwenen.

### 3.3 Discussie

De berekening in dit hoofdstuk suggereert een dramatisch effect van zandhonger op het aantal overwinterende scholeksters. Het komt erop neer dat het kokkelbestand op de droogvallende slikken in de toekomst geen basis meer zou vormen voor een overwinterende populatie scholeksters.

In deze relatief eenvoudige beschouwing op basis van slechts één kokkeldichtheid en één droogvalduur is een groot aantal zaken in rekening gebracht, de vermagering van de kokkels, de vermindering van de dichtheid gedurende de winter ten gevolge van de predatie, en de maximale opname van de scholeksters. Bij het berekenen van gemiddelden voor de biomassa, het oppervlak en een droogvalduur van het gebied is echter sprake van een zekere willekeur. Het is enerzijds duidelijk dat bijvoorbeeld de mediaan van de droogvalduur weinig te maken heeft met de beschikbare foerageertijd, anderzijds is de droogvalduur van de hoogstgelegen 5% kokkels een tamelijk willekeurige keuze. Iets soortgelijks geldt voor de biomassa van de kokkels. Dergelijke keuzen hebben een grote invloed op het resultaat.

De ontoereikendheid van gemiddelden wordt pas goed duidelijk als we bedenken dat

ook de modelbestanden een beschrijving zijn van gemiddelde verwachtingswaarden. In Hoofdstuk 2.2.4 en met name uit Figuur 2.7 op bladzijde 24 blijkt dat het overgrote deel van de kokkels voorkomt in hoge dichtheden (kokkelbanken) die in de modelbestanden niet eens voorkomen. Bovenstaande draagkrachtberekening kan natuurlijk worden overgedaan voor hogere kokkeldichtheden, maar ook dan blijft het probleem dat de voor de vogels relevante dichtheid van de hoogstgelegen kokkels afhangt van de exploitatie van die kokkels in het najaar, en daarmee van het aantal vogels zelf.

Duidelijk is wel dat het effect van de droogvalduurvermindering wel eens heel groot zou kunnen zijn. In hoeverre de scholeksters gebruik kunnen maken van de plekken met de allerhoogste dichtheden, en in hoeverre de langst droogliggende kokkels worden opgegeten voordat het winter is, al dergelijke effecten kunnen echter alleen worden meegenomen in een ruimtelijke simulatie van de foeragerende vogels over de gehele winterperiode.

## Hoofdstuk 4

# Het simulatiemodel WEBTICS

### 4.1 Inleiding

Op basis van de principes die zijn besproken in Hoofdstuk 2.3 wordt door het model *WEBTICS* een simulatie van de voedselopname van scholeksters uitgevoerd met tijdstappen van 15 minuten. De simulatie begint op 1 september en eindigt op 31 maart van het volgende jaar. De simulatie resulteert in een kleiner wordende hoeveelheid kokkels die voor historische jaren kan worden vergeleken met wat er het volgende jaar tijdens de voorjaarssurvey gevonden is (zie de kokkelbalans in Hoofdstuk 4.2).

De modelberekeningen worden gedaan op de schaal van de schelpdiersurveys van Wageningen IMARES (Kamermans & Kesteloo-Hendrikse, 2001; Bult *et al.*, 2003). Dat betekent dat wordt aangenomen dat de gemeten of berekende kokkeldichtheden en biomassa's betrekking hebben uniforme spots van 25 ha. Ook omtrent de vogels worden enkele belangrijke aannamen gemaakt:

**Alle vogels zijn gelijk** In werkelijkheid zijn er verschillen tussen individuen wat betreft de opnamesnelheid voor verschillende prooien en de mate van dominantie in interactie met andere vogels. Bij een klein voedselaanbod of een korte droogvalduur zullen sommige vogels daarom eerder in de problemen komen dan andere. Voor scholeksters, die gemakkelijk tientallen jaren oud worden, is ook een licht verhoogde sterfte al problematisch (zie Figuur 4.3 op bladzijde 41).

**Perfekte kennis van het gebied** De vogels beschikken alle over een perfecte kennis van de verspreiding van het voedsel in het gebied. Dat kan natuurlijk niet juist zijn, hetgeen betekent dat de mate waarin de schelpdier bestanden geëxploiteerd kunnen worden door het model zal worden overschat.

**Geen verplaatsingskosten** In het model wordt aangenomen dat er geen extra energetische kosten verbonden zijn aan de verplaatsing van de ene plek naar de andere en dat de verplaatsingen ook geen tijd kosten. Nu zijn die kosten in werkelijkheid inderdaad niet erg groot omdat de vogels veel lopen en slechts korte afstanden vliegend afleggen tijdens de getijdeperiode. In het model kunnen de vogels echter wel zomaar overal komen, hetgeen ook weer leidt tot een overschatting van de mogelijkheden van de vogels.

Deze aannamen impliceren dat het model rekent met een soort “supervogels” in een uniform voedselgebied. De berekende maximale voedselopname wordt daarom gebruikt als een maat voor de mogelijkheden van de vogels en niet als een absoluut

getal. Door de maximale voedselopname te combineren met de feitelijke voedselbehoefte kan een stress index worden berekend die aangeeft hoe makkelijk of moeilijk de supervogels door de winter komen.

Boven een kritische waarde van de stress index komen, *niet* de modelvogels, maar *wel* de echte scholeksters in problemen (zie Hoofdstuk 4.5). De berekende draagkracht van een gebied is een aantal scholeksters zodanig dat voor dat aantal vogels de gesimuleerde stress index kritisch is (zie Hoofdstuk 4.6). Tenslotte wordt in Hoofdstuk 4.7 ingegaan op de wijze waarop draagkrachtberekeningen voor modelbestanden zijn uitgevoerd.

## 4.2 Simulatie van de getijdecycli

Gedurende laagwater verspreiden de vogels zich over de droogvallende voedselgebieden en tijdens hoogwater kan op regenwormen worden gefoerageerd in de weilanden. Ten behoeve van het simuleren van realistische getijdecycli wordt gebruik gemaakt van gemeten waterstanden (zie Hoofdstuk 2.1) en voor het berekenen van de voedselbehoefte worden de dagelijkse minimum en maximum temperatuur van het station Vlissingen gebruikt.

Die verspreiding van de vogels over de op een bepaald moment droogliggende slikken wordt uitgerekend zodanig dat de mogelijke voedselopname maximaal is. Dat betekent dat de vogels zich concentreren op slikken met de hoogste kokkeldichtheid. Door interferentie gaat de opnamesnelheid op de beste plekken echter omlaag en kan een deel van de vogels in een lagere dichtheid (maar met een even grote voedselopname) foerageren op plekken met een geringere kokkeldichtheid. De resulterende verdeling van de vogels staat bekend als de “Ideal Free Distribution”, de verdeling van vogels met een ideale kennis van het aanwezige voedsel die zich vrij (zonder energetische kosten) kunnen verplaatsen over het foerageergebied.

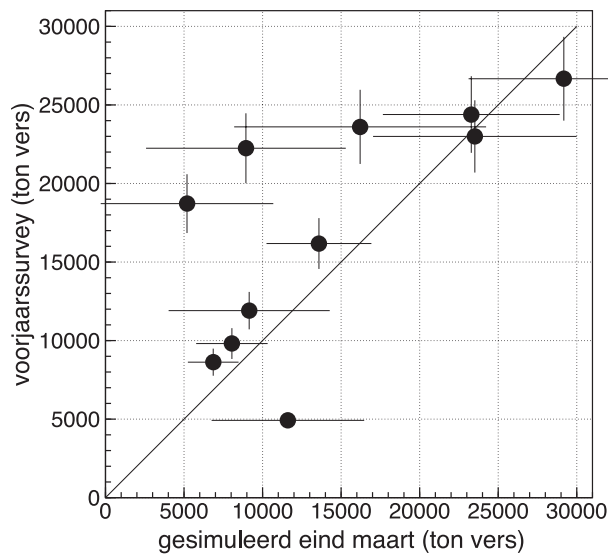
In *WEBTICS* is een mechanisme aanwezig dat voorkomt dat alleen de kokkels op de beste plekken worden gegeten. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het feit dat de geïdealiseerde modelvogels in de meeste omstandigheden hun voedselbehoefte in relatief korte tijd dekken. Het resultaat van een korte tijd op een goed kokkelgebied of een langere tijd op een minder goed gebied is dus voor de modelvogels hetzelfde. Daarom worden de modelvogels tijdens voldoende lange laagwaterperioden gelijkmatiger dan “Ideal Free” verspreid over de droogvallende slikken. Dat gaat niet ten koste van de gerealiseerde voedselopname maar leidt tot een meer gespreide voedselopname, zowel ruimtelijk als temporeel. Onder extreme omstandigheden (korte droogvalduur, weinig voedsel, hoge behoefte) schakelt het model echter over op de Ideal Free Distribution (zie voor details [Rappoldt et al., 2003c](#), Hoofdstuk 2.3.2)

## 4.3 De kokkelbalans

De simulatie van de ruim 400 getijdecycli tussen 1 september en 31 maart leidt uiteindelijk tot een hoeveelheid overblijvende kokkels die vergeleken kan worden met de in mei gevonden twee- en meerjarige kokkels. Voor de Oosterschelde wordt die vergelijking gemaakt in Figuur 4.1. De in de figuur aangegeven foutenmarges bij de punten behoeven enige toelichting.

Het kokkelbestand aan het begin van een simulatie (1 september) komt tot stand door op de gegevens van de survey in mei de zomergroei toe te passen. Voor de onzekerheid in het geschatte meibestand schatten [Bult et al. \(2003, Figuur 4.2\)](#) een





**Figuur 4.1.** De kokkelbalans voor de Oosterschelde in de simulaties voor 1990–2001. Op de horizontale as staat de hoeveelheid kokkels aan het einde van de simulatie op 31 maart. Op de verticale as staat de hoeveelheid twee- en meerjarige kokkels in de voorjaarsurvey.

95%–betrouwbaarheidsinterval van ongeveer 20%. Dat komt overeen met een standaarddeviatie van *ongeveer* 10%. De zomergroei voor de Oosterschelde is geschat met een regressiemodel voor de groei van individuele kokkels, een gemiddelde overleving en een regressiemodel voor de invloed van de bestandsgrootte op de groei van éénjarige kokkels. Dat betekent dat de onzekerheid in de uiteindelijk toegepaste zomergroei opgebouwd zal zijn uit meetfouten, maar vooral uit jaarlijkse variatie. Een recente schatting voor de Westerschelde (op basis van gegevens van IMARES) leverde een standaarddeviatie van 20% in de netto zomergroei (Rappoldt & Ens, 2006). De grafieken voor de Oosterschelde in Kamermans & Kesteloo-Hendrikse (2001, Figuur 3.10 op blz 45 en Figuur 4.9 op blz. 62) geven geen aanleiding te veronderstellen dat de kokkelgroei in de Oosterschelde minder sterk varieert.

De kokkelpredatie door vogels gedurende de winter wordt grotendeels bepaald door het aantal vogels en door hun voedselbehoefte. Dat betekent dat de onzekerheid in het septemberbestand (als absoluut getal) gewoon aanwezig blijft in het kokkelbestand aan het eind van de simulatie. In Figuur 4.1 is daarom op de horizontale schaal een standaarddeviatie aangegeven gelijk aan 20% van het meibestand voraangaand aan het gesimuleerde seizoen. Voor de onzekerheid in het meibestand van het volgende jaar (de verticale as) is de 10% marge van Bult *et al.* (2003) voor de Oosterschelde survey weergegeven.

Zoals uiteengezet in een uitvoerige beschouwing over de kokkelbalans in Rappoldt *et al.* (2003a, Hoofdstuk 5.3.2) is de balans aanzienlijk verbeterd ten opzichte van eerdere versies door het toepassen van de bestandsafhankelijke groei van éénjarige kokkels. Gegeven de foutenmarges is er in slechts twee van de elf seizoenen sprake van een niet sluitende kokkelbalans. Wat de oorzaak is van die afwijkingen (voor de opeenvolgende seizoenen 1994–1995 en 1995–1996) is onduidelijk. Een hoge zomergroei in de jaren 1994 en 1995 zou een verklaring kunnen vormen, maar dat wordt hier verder niet onderzocht. De nog resterende afwijkingen spelen nauwelijks een rol zolang de simulaties elk jaar opnieuw gestart worden met het kokkelbestand voor het betreffende jaar en er geen meerjarige effecten (van bijvoorbeeld de visserij) op de kokkelstand zelf worden beschouwd.

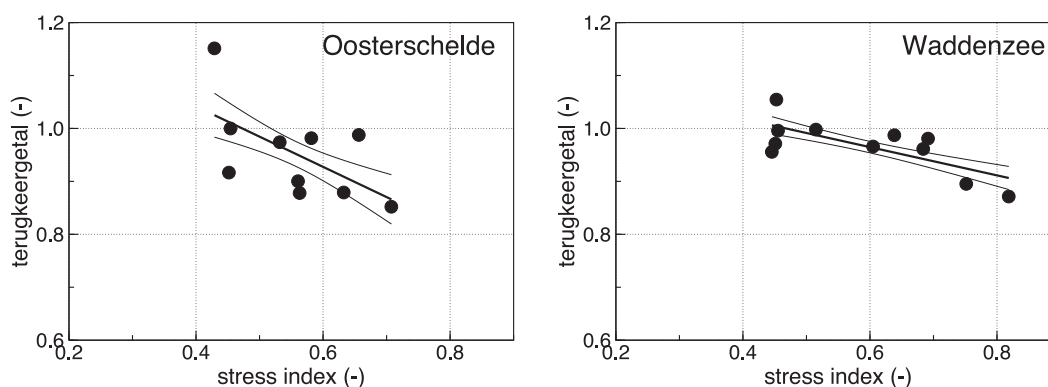
## 4.4 Stress index

Voor iedere laagwaterperiode wordt een “inspanning” berekend als de verhouding tussen de behoefte en de foerageermogelijkheden van de vogels. De foerageermogelijkheden worden berekend als de maximaal mogelijke voedselopname<sup>1</sup>. Dit inspanningsniveau (de “foerageerintensiteit”  $F$ ) is uitvoerig besproken in Hoofdstuk 2.3.6. Uit de  $n$  foerageerintensiteiten in de maanden december, januari en februari  $F_i, i = 1, \dots, n$  wordt een stress index  $S$  berekend als

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1, n} F_i^2}$$

Als alle waarden  $F_i$  gelijk zijn, is de op deze wijze berekende stress index  $S$  gelijk aan de foerageerintensiteit. Voor variërende intensiteiten is  $S$  iets hoger dan de gemiddelde foerageerintensiteit  $\bar{F}$ .

Naarmate er, in het model, méér vogels overwinteren neemt de stress index toe door een combinatie van verschillende effecten. Van het kokkelbestand wordt meer gegeten waardoor het sneller vermindert, vooral op de hooggelegen slikken waar de vogels in grote aantallen voedsel zoeken vlak voor en/of vlak na hoogwater. In de tweede plaats is er interferentie tussen de vogels waardoor hun maximale opname vermindert als de dichtheid aan vogels groter is. Dat leidt ook tot verhoogde foerageerintensiteiten.

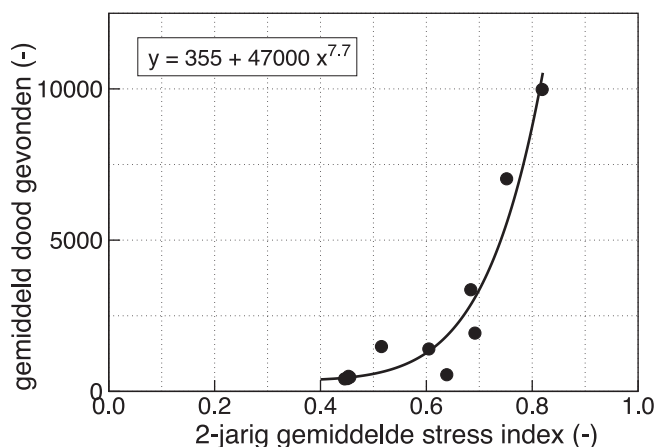


**Figuur 4.2.** Het tweejarig gemiddeld terugkeergetal als functie van de gesimuleerde stress index voor de Oosterschelde en de Waddenzee in de simulaties voor 1990-2001.

## 4.5 Het kritisch stress niveau

Voor de toepassing van het model is de biologische betekenis van het berekende stress niveau van groot belang. Dat is geen eenvoudige kwestie omdat scholeksters veel langer leven dan kokkels en niet verwacht kan worden dat het aantal scholeksters op een tijdschaal van enkele jaren met het voedselaanbod fluctueert. Het gaat daarom niet zozeer om een harde grens aan het aantal scholeksters dat ergens kan

<sup>1</sup>De som van de maximale voedselopname tijdens laagwater en de maximale opname tijdens hoogwater, *zonder* beperking door de maximale verteringsnelheid. Zie ook Figuur 2.11 op bladzijde 29 en Tabel 2.2 op bladzijde 30.



**Figuur 4.3.** Het aantal dood gevonden scholeksters als functie van het gesimuleerde stress niveau in de Waddenzee voor de periode 1990-2001. Elk punt is een tweejarig gemiddelde.

overwinteren, maar veeleer om een relatief kleine sterftekans (e.g. [Atkinson \*et al.\* \(2003\)](#); [Bruinzeel & van de Pol \(2003\)](#) en [Rappoldt \*et al.\* \(2003a\)](#), Hoofdstuk 3 van N. Dingemanse en B.J. Ens)) en om de mogelijke invloed van de wintercondities op het broedsucces (cf. [Ebbing & Spaans, 1995](#); [Madsen, 1994](#); [Hegyí & Sasvári, 1998a,b](#)).

De relatief lange levensduur van scholeksters (tientallen jaren) impliceert dat de reproductie tijdens het broedseizoen elk jaar een relatief bescheiden aantal jonge vogels oplevert waarvan de overleving in hun eerste winter op de lange termijn natuurlijk cruciaal is voor een stabiel aantal scholeksters, maar op de korte termijn weinig invloed daarop heeft (e.g. [Goss-Custard \*et al.\*, 1996](#)). Niettemin moet natuurlijk geprobeerd worden een verband tussen de stress index en de ontwikkeling van de scholeksterpopulatie vast te stellen en daartoe zijn verschillende mogelijkheden.

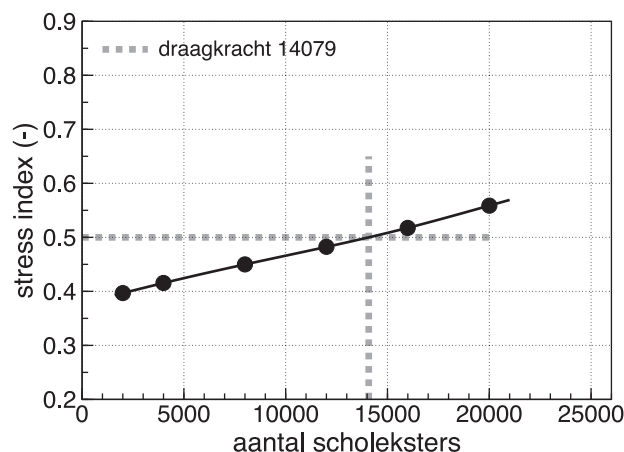
Zowel voor de Oosterschelde als de Waddenzee bestaat een verband tussen de waargenomen aantalsontwikkeling en de voor elk winterseizoen berekende stress index. Het terugkeertal van de vogels<sup>2</sup> drukt uit of het aantal vogels groter of kleiner is in de herfst volgend op een beschouwd jaar. [Figuur 4.2](#) laat zien dat het tweejarig gemiddelde terugkeertal afneemt met de tweejarig gemiddelde stress. De verbanden zijn niet allebei hoog significant<sup>3</sup> ( $P=0.06$  voor de Oosterschelde en  $P=0.01$  voor de Waddenzee), maar het resultaat voor de twee gebieden is wel consistent en geeft aan dat er voor de scholeksters iets mis gaat als de stress index voor meerdere jaren groter is dan ongeveer 0.5.

Dat wordt bevestigd door [Figuur 4.3](#) die het (tweejarig gemiddeld) aantal doodgevonden scholeksters in de Waddenzee laat zien als functie van het (tweejarig gemiddeld) stress niveau. De gegevens die in deze grafiek zijn verwerkt zijn bijeengebracht door Kees Camphuysen en statistisch bewerkt door Paul Goedhart in Bijlage C van [Rappoldt \*et al.\* \(2003b\)](#). De presentatie in [Figuur 4.3](#) is nieuw<sup>4</sup>. Uit de figuur blijkt dat de wintersterfte snel toeneemt naarmate het stress niveau

<sup>2</sup>Het terugkeertal is vrijwel gelijk aan de verhouding tussen het aantal vogels in de herfst (september t/m november) van jaar  $n + 1$  en dat in de herfst van het beschouwde jaar  $n$  (zie [Rappoldt \*et al.\*, 2003a](#), Appendix B).

<sup>3</sup>Er is op deze  $P$  waarden vermoedelijk wat af te dingen omdat de punten, zijnde tweejarige gemiddelden, niet onafhankelijk van elkaar zijn.

<sup>4</sup>De figuur is gemaakt naar aanleiding van een discussie met John Goss-Custard tijdens een EVA-II workshop.



**Figuur 4.4.** Voorbeeld van een draagkrachtberekening voor deelgebied Oosterschelde West. De gesimuleerde stress index als functie van het aantal vogels op de x-as. De curve is door de berekende punten getrokken met behulp van “natural cubic splines” (Press *et al.*, 1992). De draagkracht voor het deelgebied wordt dan gevonden door het aantal vogels af te lezen voor het kritisch stress niveau van 0.5. Dit voorbeeld betreft het deelgebied Oosterschelde West (zie Figuur 2.1) met de kokkel modelbestanden van 2001 in combinatie met een kokkel versgewicht van 16 g (zie Hoofdstuk 4.7), het verloop van het aantal vogels van seizoenen 2001–2002, de droogvalduur van de kaart van 2001, het weer van 2001–2002 en het getij van 2004–2005 (voor 2004 werden de droogvalduurkaarten berekend uit hoogtekarten, zie Hoofdstuk 2.1). Figuur 4.5 geeft het kokkelbestand en het opgegeten deel daarvan voor de verschillende aantallen vogels.

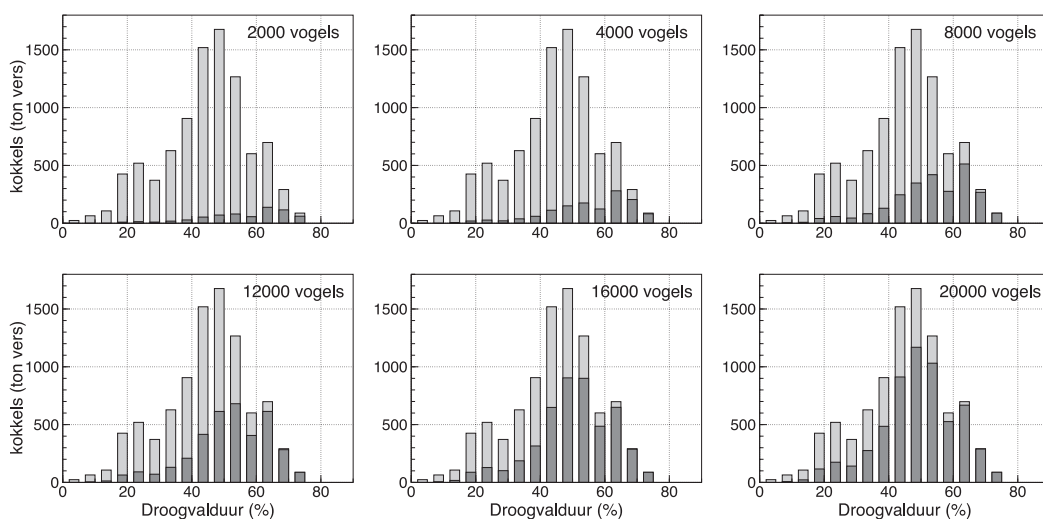
over meerdere jaren boven 0.5 ligt. Voor de meeste van de gesimuleerde seizoenen ligt het stress niveau overigens boven 0.5, hetgeen consistent is met de aanzienlijke afname van het aantal scholeksters in het Nederlands Waddengebied in de betreffende periode.

## 4.6 Draagkrachtberekening

De draagkracht van een deelgebied kan nu met behulp van *WEBTICS* worden geschat door het aantal scholeksters te bepalen waarvoor de stress index precies de waarde 0.5 bereikt. Daartoe wordt een aantal simulaties uitgevoerd, elk met een ander aantal scholeksters<sup>5</sup>. Er wordt dan een grafiek gemaakt van de stress index als functie van het aantal vogels. Tussen de berekende punten wordt vervolgens geïnterpoleerd met behulp van cubic splines (Press *et al.*, 1992), en het aantal vogels waarvoor het model een stress niveau van 0.5 oplevert wordt aan de hand daarvan bepaald.

De exploitatie van het kokkelbestand voor de in Figuur 4.4 beschouwde aantallen vogels is te zien in Figuur 4.5. De scholeksters maken een onevenredig groot gebruik maken van de langst droogvallende kokkels. Door 14000 scholeksters (de geschatte draagkracht) worden de kokkels met een droogvalduur boven de 60% vrijwel allemaal opgegeten.

<sup>5</sup>Waargenomen aantallen vogels worden daartoe vermenigvuldigd met een constante zodat het seizoensverloop van het aantal vogels in stand blijft.



**Figuur 4.5.** Het kokkelbestand van Oosterschelde West in september voor de simulatie runs in de draagkrachtberekening van Figuur 4.4. Het donkere deel van de histogrammen geeft de tijdens de overwintering opgegeten kokkels.

## 4.7 De draagkracht voor modelbestanden

Er zijn belangrijke verschillen tussen de waargenomen bestanden van de IMARES schelpdierssurveys en de modelbestanden berekend met het habitatmodel van [Kater et al. \(2004\)](#). Het habitatmodel beschrijft een verwachtingswaarde voor het kokkelbestand. De ruimtelijke heterogeniteit van de modelbestanden wordt *alleen* veroorzaakt door verschillen in stroomsnelheid en droogvalduur en niet door de grilligheid van de broedval en de vorming van kokkelbanken (zie de Figuren 2.5 en 2.7 op bladzijde 23 en 24). Iets soortgelijks geldt voor de temporele variabiliteit. Een echt kokkelbestand schommelt heftig op en neer tengevolge van jaren met een grote broedval en jaren met een kleine. In de modelbestanden is die variabiliteit geheel afwezig.

Tenslotte ontbreken in de berekende kokkelbestanden uiteraard de nonnetjes. Deze spelen in de Oosterschelde echter een bijzonder kleine rol. In de simulaties voor de historische situatie wordt slechts 1.5% van de behoefte gedekt door predatie op nonnetjes. De nonnetjes worden daarom in het gebruik van de modelbestanden verder buiten beschouwing gelaten.

Bij het berekenen van de draagkracht met behulp van waargenomen surveybestanden wordt het gemiddelde van de stress index beschouwd over een reeks van jaren met zeer verschillende kokkelbestanden. In het geval van de modelbestanden is er dus slechts één relatief homogeen kokkelbestand. Het ruimtelijk en temporeel uniforme karakter van de modelbestanden heeft verschillende consequenties voor de modelvogels in *WEBTICS*.

Er zijn geen uitgesproken “slechte” kokkeljaren, maar ook geen uitzonderlijk goede

De kokkeldichtheden in de modelbestanden komen niet uit boven een versgewicht van ongeveer  $700 \text{ g m}^{-2}$  (zie Figuur 2.6 op bladzijde 24). In Figuur 2.9 (op bladzijde 27) zien we dat voor een dergelijke dichtheid het plafond van de functionele respons nog niet helemaal bereikt is. De stress index voor modelbestanden zal daarom wat groter zijn. Bij simulaties met waargeno-

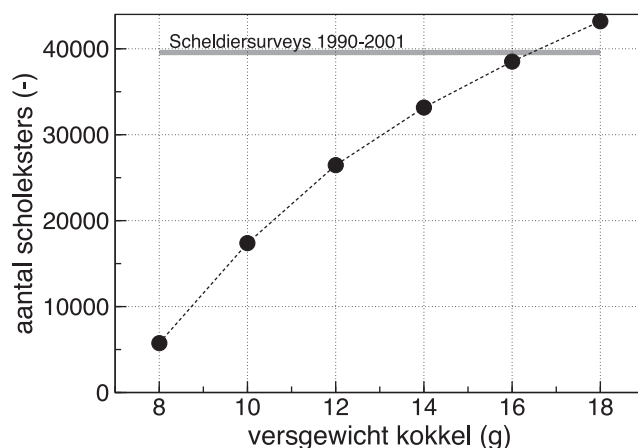
men bestanden zijn er immers spots waar de vogels een (nog) hogere opname kunnen halen.

Door de uniforme verspreiding van de modelbestanden zijn de verschillen in functionele respons tussen verschillende spots relatief klein. Dat leidt tot een meer uniforme verspreiding van de modelvogels en een kleinere stress index voor simulaties met modelbestanden vanwege minder interferentie.

De geringere interferentie kan echter leiden tot een snellere exploitatie van de lang droogvallende kokkels in het najaar waardoor er in de winter weinig van over is en de stress index juist toeneemt.

Het bestuderen van al deze effecten vergt een systematisch opgezette reeks “modelexperimenten”. Daarbij moet bedacht worden dat er tussen de uniforme 25 ha spots van de schelpdiersurvey en de werkelijke kokkelverdeling ook al een aanzienlijk schaalverschil bestaat (zie ook Hoofdstuk 2.2.4 op bladzijde 25). Dit schaalverschil wordt “verstopt” in het kritisch stress niveau van 0.5 (naast de veronderstellingen over de “supervogels” in het model op bladzijde 37). Om die reden is ook voor draagkrachtberekeningen met modelbestanden een eenvoudiger benadering verkozen.

Het voor de modelbestanden gebruikte habitatmodel van Kater *et al.* (2004) levert een biomassa maar geen kokkelgrootte. Er moet dus een gewicht voor de individuele kokkels gekozen worden om de biomassa (in  $\text{g m}^{-2}$  (vers)) om te rekenen naar een aantal kokkels per  $\text{m}^2$  en vandaar naar een “capture rate”, een functionele respons, etc. (zie Hoofdstuk 2.3.2). Bij een gegeven biomassa heeft het gekozen versgewicht een grote invloed op de voedselopname (Figuur 2.9 op bladzijde 27). Om de hierboven genoemde effecten van het gebruik van modelbestanden zo goed mogelijk te neutraliseren is nu een versgewicht gekozen zodanig dat voor het modelbestand van 2001 de berekende draagkracht in overeenstemming is met de draagkracht voor de surveybestanden van 1990–2001, elk gecombineerd met de situatie van 2001. Fi-



**Figuur 4.6.** Invloed van het kokkelgewicht op de draagkracht voor het modelbestand 2001. De simulaties zijn uitgevoerd met het kokkel modelbestand van 2001 in combinatie met het aangegeven kokkel versgewicht, het verloop van het aantal vogels van seizoen 2001–2002, de droogvalduur van de kaart van 2001, het getij van 2004–2005 (voor 2004 werden de droogvalduurkaarten berekend uit hoogtekaarten, zie Hoofdstuk 2.1) en het weer van 2001–2002. De horizontale lijn geeft de draagkracht voor de surveybestanden 1990–2001 gecombineerd met dezelfde abiotische gegevens. Deze draagkracht is berekend door steeds met de 12 bestanden een simulatie uit te voeren en van de 12 stress indices het gemiddelde te berekenen.

guur 4.6 laat de grafiek zien op basis waarvan een kokkelgewicht is gekozen van 16 gram (vers).

Dat zijn grote kokkels (35 mm), wat suggereert dat de netto invloed van de uniformiteit van modelbestanden negatief is voor de vogels. Dat komt doordat de in de modelbestanden de hoge “kokkelbankdichtheden” ontbreken.





## Hoofdstuk 5

# De draagkracht van de Oosterschelde in de periode 1990–2045

### 5.1 De gehele Oosterschelde

Figuur 5.1 laat het resultaat zien van vogeltellingen en draagkrachtberekeningen voor de Oosterschelde. Anders dan in voorgaande studies is de draagkracht van het hele gebied berekend als de som van de draagkrachten voor de deelgebieden<sup>1</sup>. In de figuur is het resultaat van verschillende berekeningen weergegeven, die hieronder zullen worden toegelicht.

#### 5.1.1 De situatie tussen 1990 en 2001

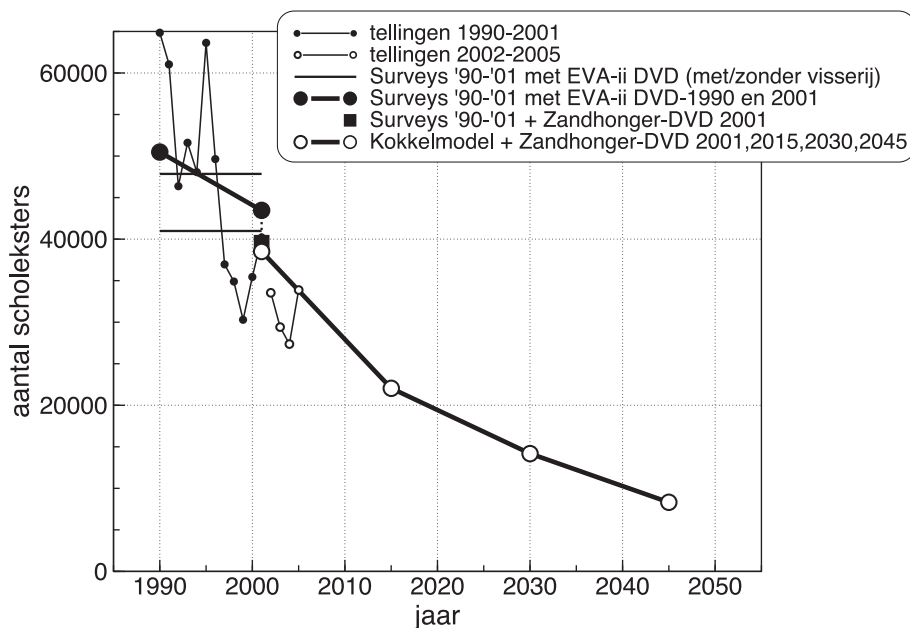
Het onderste horizontale lijntje (bij 41000 vogels) geeft de draagkracht berekend met de EVA-II kokkelbestanden (gebaseerd op de schelpdierssurveys van Wageningen IMARES) in combinatie met de EVA-II gegevens over de droogvalduur, de historische waterstanden en temperaturen. Deze draagkracht is berekend *met* de historische visserij. Het gemiddeld aantal overwinterende scholeksters in de periode 1990–2001 bedroeg 47000, dat is 6000 meer dan de berekende draagkracht. De getelde aantallen zijn echter scherp gedaald rond 1995 (zie Figuur 5.1).

Figuur 5.2 geeft de verdeling van de kokkels over droogvalduurklassen. Deze verdeling is eerder getoond in Figuur 2.3, maar nu is met het donkere deel van het histogram aangegeven welke kokkels zijn opgegeten in de modelruns voor de historische aantallen scholeksters. De nadruk ligt daarbij duidelijk op de langst droogvallende kokkels. Van kokkels met een droogvalduur korter dan 30% wordt nauwelijks gegeten. De gemiddelde predatie in de beschouwde periode bedraagt 37% van het gemiddelde kokkelbestand.

Het bovenste horizontale lijntje in Figuur 5.1 (bij 47900 vogels) geeft de berekende draagkracht *zonder* visserij. De draagkracht met en zonder visserij zijn beide iets

---

<sup>1</sup>In voorgaande studies werden de berekende stress niveaus voor de deelgebieden gewogen gemiddeld en werd op basis van gemiddelde stress niveaus een draagkracht voor het hele gebied bepaald. Dat heeft als nadeel dat er een vaste verdeling van de vogels over de deelgebieden moet worden aangenomen, bijvoorbeeld die van een bepaald jaar. Nu wordt per deelgebied de draagkracht bepaald en de gevonden aantallen worden gewoon opgeteld. In alle deelgebieden hebben de vogels het dan even moeilijk.



**Figuur 5.1.** Draagkrachtberekeningen met *W&BTICS* en vogeltellingen voor de Oosterschelde. De afkorting DVD in de legenda staat voor “droogvalduur”. Zie de tekst van Hoofdstuk 5.1 voor een uitvoerige toelichting.

hoger dan in [Rappoldt et al. \(2003a, Figuur 5.33\)](#) omdat nu *wel* de dichtheidsafhankelijke groei van éénjarige kokkels in rekening is gebracht, en door technische verbeteringen in de berekening<sup>2</sup>. Het hier bepaalde visserij effect (6900 vogels) is vergelijkbaar met de in [Rappoldt et al. \(2003a\)](#) berekende 5700 vogels.

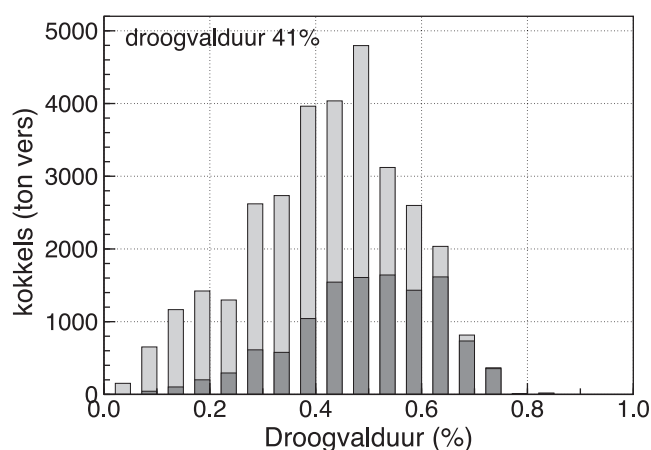
De schuin naar beneden lopende lijn tussen 1990 en 2001 (met twee dikke zwarte punten) geeft het effect van de droogvalduurvermindering in de negentiger jaren. Het punt voor 1990 is berekend door voor het interpoleren droogvalduurkaarten het jaar 1990 te gebruiken en dat van 2001 is berekend voor de droogvalduren van 2001. Daarbij is geïnterpoleerd tussen de droogvalduurkaarten van 1989 en 2001, zoals die ten behoeve van het EVA-II onderzoek zijn gemaakt en er is gerekend zonder visserij. Alhoewel de gebruikte kokkelbestanden niet helemaal consistent zullen zijn met de droogvalduren<sup>3</sup> is het duidelijk dat er ook in de negentiger jaren al een effect is geweest van een korter wordende droogvalduur.

### 5.1.2 Het jaar 2001

Het jaar 2001 is gebruikt om de simulaties met de modelbestanden te koppelen aan die voor de schelpdiersurveys. Allereerst worden de schelpdiersurveys gecombineerd met de droogvalduren zoals die zijn afgelezen van de nieuwe “Zandhonger” droogvalduurkaarten. Dat levert een iets lagere draagkracht op: het gat tussen het zwarte ronde punt voor 1990 en het zwarte vierkante punt. Het verschil ontstaat door de iets andere behandeling van gedeeltelijk droogvallende spots in de bereke-

<sup>2</sup>direct gebruik van gemeten waterstanden, een extra getijstation, meer simulatieruns voor verschillende aantallen vogels, beter interpolatie, draagkrachtberekening per deelgebied

<sup>3</sup>Dat is onvermijdelijk als met gemeten bestanden wordt gerekend omdat er voor een draagkrachtberekening dan altijd een reeks van jaren nodig is.



**Figuur 5.2.** Droogvalduur van de kokkels in de periode 1990–2001. Het histogram geeft per droogvalduurklasse het *gemiddelde* versgewicht in september (*na* de zomergroei). De gemiddelde droogvalduur van de kokkels bedroeg 41%. Het donkergrijze deel van het histogram geeft per droogvalduurklasse de *gemiddelde* hoeveelheid kokkels die in de modelruns worden opgegeten door scholeksters tussen september en maart. Voor deze simulaties zijn de historische vogelaantallen gebruikt in combinatie met de EVA-II droogvalduurkaarten en de historische visserij.

ningen met de “Zandhonger droogvalduur”<sup>45</sup> en door het weglaten uit simulaties van de mosselbanken die in de negentiger jaren nog een kleine bijdrage aan de draagkracht hebben geleverd (Rappoldt *et al.*, 2003a) maar die sinds 1995 geen rol meer spelen.

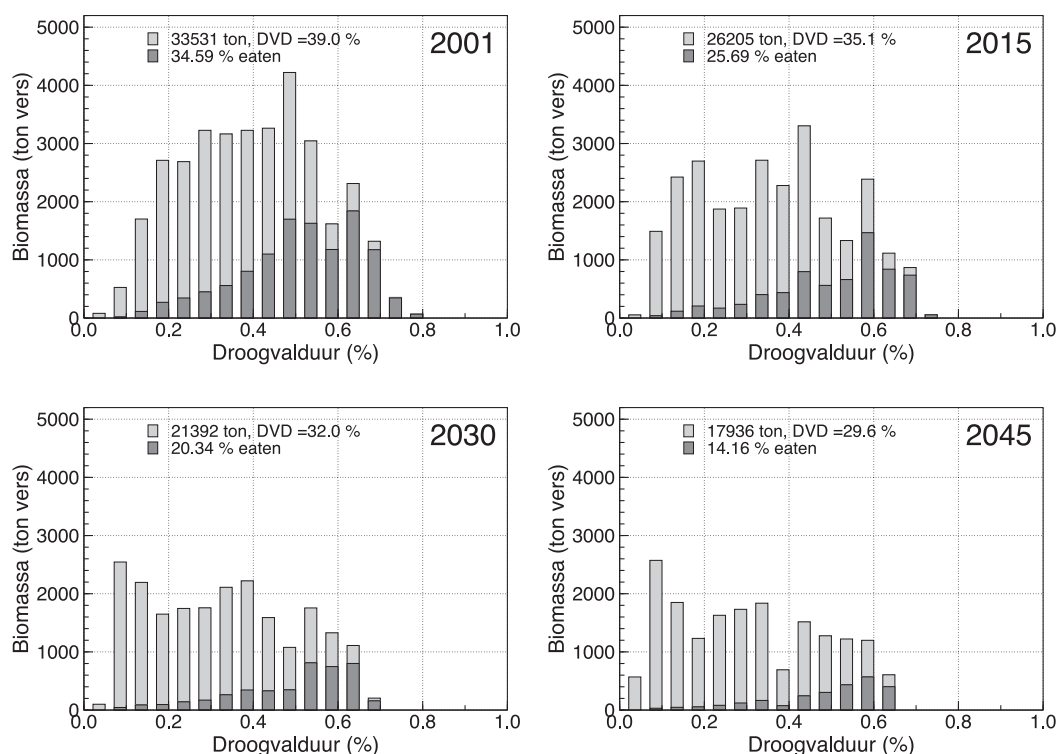
### 5.1.3 Prognose

Zoals uiteengezet in Hoofdstuk 4.7 is het gebruik van modelbestanden gecalibreerd voor het jaar 2001 met behulp van een kokkel versgewicht van 16 gram. De draagkracht voor het modelbestand van 2001 valt daarom vrijwel samen met die voor de surveybestanden (het grote open rondje en het zwarte vierkant voor 2001, vergelijk Figuur 4.6). Op basis van deze calibratie is de prognose voor 2015, 2030 en 2045 berekend. De simulaties zijn uitgevoerd met het (relatieve) seizoensverloop in het aantal vogels van seizoen 2001–2002, het getij van 2004–2005 (voor 2004 werden de droogvalduurkaarten berekend uit hoogtekaarten, zie Hoofdstuk 2.1) en het weer van seizoen 2001–2002. Uit Figuur 5.1 blijkt een sterke afname van het aantal scholeksters dat naar verwachting in de Oosterschelde zal kunnen overwinteren.

Een daling van het aantal scholeksters met ruim een factor 4 is een aanzienlijk sterkere afname dan die van het kokkelbestand. De prognose van het kokkelbestand neemt tussen 2001 en 2045 met ongeveer een factor twee af tot 18000 ton (Tabel 2.1 op bladzijde 21). Een steeds kleiner deel van de kokkels wordt dus door de scholeksters gegeten zoals te zien is in Figuur 5.3. Het gegeten deel van de kokkels in

<sup>4</sup>De schelpdierssurvey levert puntgegevens die worden toegekend aan een oppervlak. Er is destijds voor gekozen om een volledig spot oppervlak aan ieder punt van de survey toe te kennen. Daarmee wordt het kokkelbestand van die spot overschat. Daar staat tegenover dat er ook spots zijn met stukjes droogvallend slik waarvoor het monsterpunt in een geul ligt. De “Zandhonger” droogvalduurkaarten worden gebruikt in combinatie met een zeer groot aantal berekende kokkelbestanden. Er is daarom voor die kaarten gewerkt met een droogvallende fractie van elke spot.

<sup>5</sup>De surveybestanden hadden ook nog kunnen worden gecombineerd met de zandhonger droogvalduuren waarbij dan op de EVA-II manier met gedeeltelijk droogvallende spots wordt omgegaan, maar dat is niet gebeurd.



**Figuur 5.3.** Droogvalduur van de kokkels in de modelbestanden voor 2001–2045. Het histogram geeft per droogvalduurklasse het versgewicht in september (na de zomergroei). De gemiddelde droogvalduur van de kokkels is in iedere figuur aangegeven. Het donkergrijze deel van het histogram geeft aan hoeveel kokkels in het model worden opgegeten door scholeksters tussen september en maart. Deze hoeveelheid is berekend door voor ieder deelgebied een simulatie uit te voeren met het aantal scholeksters op draagkracht, onder de condities waaronder ook de draagkracht prognose (in Figuur 5.1 op bladzijde 48) is berekend (16 grams kokkels, waterstanden van 2004, weer 2001 en zonder visserij).

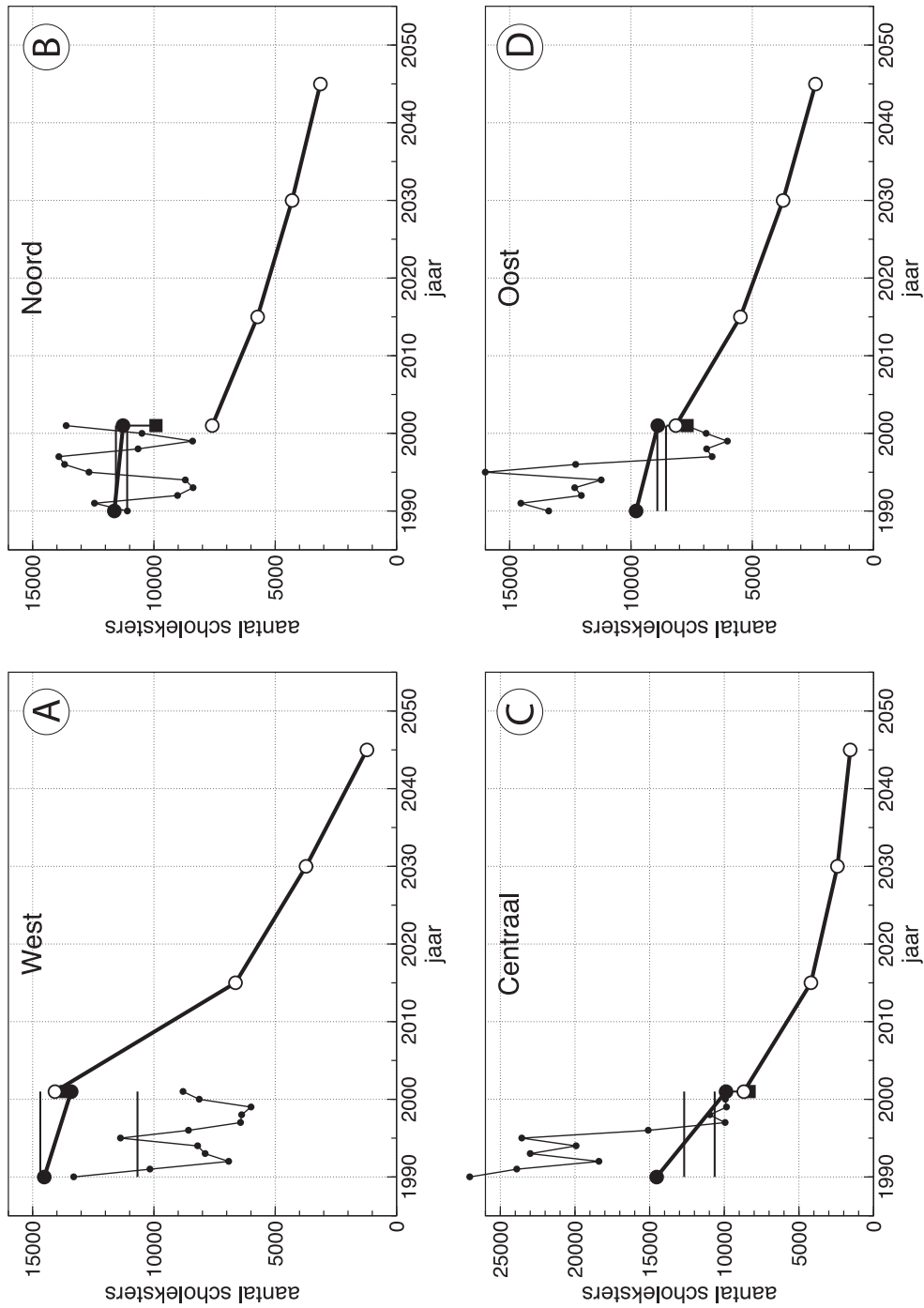
deze figuur is berekend voor de aantallen scholeksters volgens de draagkracht prognose. Figuur 5.3 illustreert dat de vogels in aanzienlijke mate afhankelijk van lang droogvallende kokkels. Tengevolge van de korter wordende droogvalduur neemt de berekende draagkracht dan ook sneller af dan het kokkelbestand. Blijkbaar zijn de vogels niet in staat om kort droogvallende kokkels te exploiteren zonder dat althans een deel van de kokkels langer dan 60% van de tijd droog valt.

#### 5.1.4 Vogeltellingen

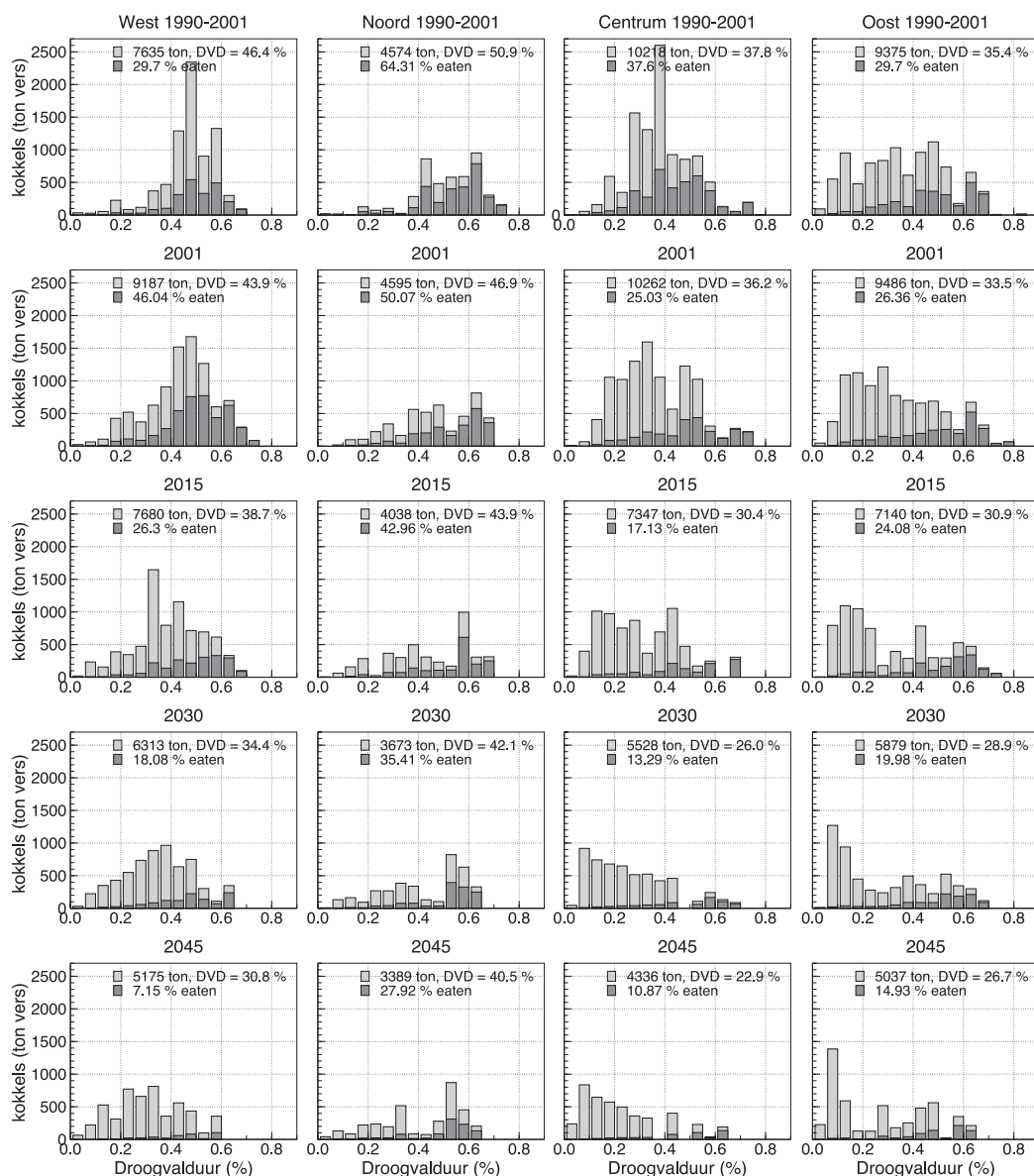
In Figuur 5.1 op bladzijde 48 is een reeks opgenomen van Oosterschelde aantallen voor de “EVA-II periode” 1990–2001. Verder laat de figuur het resultaat voor enkele recente jaren zien (Cor Berrevoets, pers. comm.). De aantallen fluctueren maar laten ook een grote daling zien tussen 1990 en 2005. Die daling en de recente aantallen zijn niet in strijd met de berekende prognose.

## 5.2 De draagkracht per deelgebied

In Figuur 5.4 op bladzijde 51 zijn de resultaten ook te zien per deelgebied. De grote witte rondjes met de erdoor getrokken zwarte lijn is de berekende prognose



**Figuur 5.4.** Draagkrachtberekeningen voor de afzonderlijke deelgebieden West, Noord, Centraal en Oost. Voor betekenis van de verschillende lijnen en punten kan de legenda van Figuur 5.1 worden geraadpleegd.



**Figuur 5.5.** Het versgewicht van de kokkels in 5% droogvalduurklassen voor ieder deelgebied. De gegeten hoeveelheid in de bovenste rij grafieken is gesimuleerd voor de historische vogelaantallen. Het gegeten percentage geeft de gemiddeld gegeten hoeveelheid als fractie van het gemiddelde septemberbestand. In de rijen voor 2001, 2015, 2030 en 2045 is de droogvalduurverdeling berekend voor de modelbestanden. Voor de modelbestanden is de exploitatie van de kokkels gesimuleerd met de scholeksters op draagkracht (zie Figuur 5.4 op bladzijde 51).

op basis van de “zandhonger” droogvalduurkaarten en de kokkel modelbestanden. De legenda is verder dezelfde als die in Figuur 5.1, alleen de recente tellingen ontbreken. De afname in West en Centraal bedraagt ongeveer een factor 10 en komt neer op het vrijwel verdwijnen van de overwinterende scholeksters. De afname vindt voor een belangrijk deel al vòòr 2015 plaats. Voor de deelgebieden Noord en Oost is de afname in de draagkracht veel beperkter, maar nog altijd ruim een factor twee.

Ook voor de deelgebieden zijn droogvalduur histogrammen gemaakt met gemid-

delden voor de periode 1990–2001 en met de resultaten voor de modelbestanden (Figuur 5.5 op bladzijde 52). Ook voor de deelgebieden is te zien dat de exploitatie van de kokkels door de scholeksters dramatisch terugloopt, vooral in de deelgebieden West en Centrum, indien de aantallen scholeksters inderdaad zo sterk dalen. Opvallend in de histogrammen voor Noord en in mindere mate voor Oost is dat er tussen 2001 en 2045 een opsplitsing lijkt te ontstaan tussen enerzijds slikken die, letterlijk, steeds verder wegzakken en anderzijds slikken die een droogvalduur van rond 60% min of meer handhaven. Het zijn die laatste lang droogvallende slikken waar de kokkels nog worden gegeten door de resterende scholeksters.

Voor de Oosterschelde als geheel is de draagkracht voor het modelbestand 2001 gecalibreerd op die voor de surveybestanden. In Figuur 5.1 liggen daarom het grote open rondje en het zwarte vierkant bijna op elkaar. Het verschil is 1045 vogels omdat de calibratie niet heel nauwkeurig is uitgevoerd (zie Figuur 4.6 op bladzijde 44). Voor de deelgebieden zijn er verschillen. Voor West, Centraal en Oost ligt de draagkracht voor het modelbestand iets *boven* die voor de surveys, voor deze drie deelgebieden samen is het verschil 1278 vogels. Voor Oosterschelde Noord is de draagkracht voor het modelbestand ruim 2300 vogels *lager*. Bij een nauwkeuriger calibratie zou dit verschil kleiner zijn geweest en zouden de afwijkingen voor de andere deelgebieden iets groter zijn geweest.

Blijkbaar zijn de verschillen tussen surveybestanden en modelbestanden (zie Hoofdstuk 4.7) in Oosterschelde Noord anders dan voor de overige drie deelgebieden. Een aparte calibratie voor Oosterschelde Noord zou leiden tot een *nog* groter kokkelgewicht ter compensatie van de uniformiteit van de modelbestanden. We hebben niet gepoogd één en ander helemaal te herleiden tot verschillen in verspreiding van de kokkels. Naast histogrammen van droogvalduur en biomassa dichtheid zou daarvoor een analyse nodig zijn van de correlatie tussen die twee grootheden. Als de hoge biomassa dichtheden (de kokkelbanken) ook nog eens lang droogvallen dan kan de exploitatie van de kokkels door de vogels hoge waarden bereiken. Het is in dit verband opvallend dat de in Noord gegeten fractie van de surveybestanden (64%) *veel* hoger is dan die van de overige deelgebieden (zie de bovenste rij grafieken in Figuur 5.5 op bladzijde 52).

De vogeltellingen tussen 1990 en 2001 voor Oosterschelde Noord laten een aantal zien dat schommelt rond de voor de surveybestanden berekende draagkracht. Voor het deelgebied West ligt het gemiddelde van de tellingen 20% onder de berekende draagkracht *met* visserij. Dat is een afwijking die binnen de onzekerheid van de modelberekeningen valt, en zeker binnen de onzekerheid voor het niveau van deelgebieden. Voor Centraal en Oost zijn de aantallen aanvankelijk veel hoger dan de berekende draagkracht maar dalen scherp rond 1995. Een zekere traagheid in aantalsaanpassingen is voor de langlevende en plaatstrouwe scholeksters zeer wel denkbaar. Het algehele beeld is dat de aantallen scholeksters in de deelgebieden consistent zijn met de draagkrachtberekeningen.





## Hoofdstuk 6

# Discussie

### Modelstudie

In Hoofdstuk 2.3 is een poging gedaan om het effect van zandhonger en zeespiegelstijging op het aantal overwinterende scholeksters te schatten met een berekening voor een gemiddelde biomassa, één droogvalduur en één karakteristieke getijdeperiode in januari. Het is gebleken dat dat niet goed mogelijk is. De reden is dat de voor de vogels relevante waarden voor de droogvalduur van de kokkels en de kokkeldichtheid afhangen van de mate waarin de hooggelegen kokkels in de loop van de herfst en winter worden geëxploiteerd, van het aantal vogels zelf dus.

Ondanks een zekere willekeur bij de keuze van een kokkeldichtheid en een droogvalduur suggereert de berekening in Hoofdstuk 3 echter wel dat het effect van de voorziene droogvalduurvermindering groot is. Dat wordt bevestigd door uitvoerige berekeningen met het simulatiemodel *WEBTICS* in Hoofdstuk 5, waarin wordt gerekend met 25 ha “spots” die elk een droogvalduur en een biomassa hebben en waarvan de exploitatie wordt gesimuleerd door de hele periode van september tot en met maart door te rekenen.

Ook de invoer voor het simulatiemodel is echter niet geheel probleemloos. Het belangrijkste probleem is dat het habitatmodel van *Kater et al. (2004)* wel voor iedere spot een biomassa oplevert maar niet het gewicht van de individuele kokkels. Dat gewicht heeft wel een grote invloed op de mogelijke voedselopname van de scholeksters zoals te zien is in Figuur 2.9 op bladzijde 27. Er is een effectief kokkelgewicht bepaald door te eisen dat de draagkracht berekend met het modelbestand van 2001 gelijk is aan de draagkracht berekend met de 12 surveybestanden van 1990–2001 (Figuur 4.6). Het resultaat is een kokkelgewicht van 16 gram vers.

Met behulp van dit (hoge) kokkelgewicht wordt ook gecorrigeerd voor effecten van de relatieve uniformiteit van de modelbestanden<sup>1</sup> (Figuur 2.6 op bladzijde 24). Er zijn een verschillende van zulke effecten denkbaar (zie Hoofdstuk 4.7) waarvan vermoedelijk de belangrijkste is het ontbreken van heel hoge lokale kokkeldichtheden (zie de vergelijking in Figuur 2.7 op bladzijde 24). Dat leidt tot een lagere opnamesnelheid voor de modelbestanden en een iets hogere stress index, waarvoor dus gecorrigeerd wordt door middel van een relatief hoge kokkelgrootte.

Als in de uniforme biomassa dichtheden van een modelbestand kunstmatig heterogeniteit wordt aangebracht (bij gelijkblijvend bestand) dan daalt inderdaad de berekende stress index. Calibratie van de draagkracht op de survey van 2001 leidt

---

<sup>1</sup>De modelbestanden zijn in feite verwachtingswaarden voor de kokkel biomassa zonder jaarlijkse variabiliteit en ruimtelijke variabiliteit (kokkelbanken).

dan tot een lagere kokkelgrootte. Verkennende berekeningen hebben bevestigd dat dit effect bestaat en dat het substantieel is. De uitkomst van hercalibratie was een veel realistischer kokkelgrootte van 32 mm (12 g vers). De consequentie van deze benadering is dat er een stochastisch element in de draagkrachtberekening voor een komt: de aangebrachte variabiliteit in de biomassa dichtheden. Stochastische draagkrachtberekeningen zijn in het kader van het onderzoek voor dit rapport niet meer gemaakt.

## De droogvalduur van de kokkels

De droogvalduur van de kokkels blijkt een grote rol te spelen in de draagkracht van een gebied voor scholeksters. Dat blijkt duidelijk uit de histogrammen in de Figuren 5.2, 5.3, 5.5 en 4.5 (bladzijde 49, 50, 52 en 43). Daarin is steeds het 's winters opgegeten deel van de in september aanwezige kokkels aangegeven.

In die figuren is te zien dat de langer dan 60% van de tijd droogvallende kokkels bijna allemaal opgegeten worden bij een stress index van 0.5 (het aantal scholeksters is gelijk aan de draagkracht). Weliswaar kan een aanzienlijk deel van de korter droogvallende kokkels opgegeten worden, maar alleen zolang er ook kokkels zijn met een droogvalduur boven de 60%. Als de foerageertijd in de winter daar onder komt neemt de stress index toe. De draagkracht van een gebied is in essentie het aantal modelvogels waarbij er in de winter nog net voldoende hooggelegen kokkels zijn om een foerageertijd van 60% (ongeveer 7.5 uur) te halen.

Deze afhankelijkheid van de scholeksters van lang droogvallende kokkels impliceert dat het effect van kokkelvisserij veel groter zal zijn voor hoog gelegen kokkels. Indien visserij wordt toegestaan zou een differentiatie naar droogvalduur voor de vogels van groot belang zijn. Kokkels die minder dan 30% droogvalduur hebben zijn voor de vogels bijvoorbeeld nauwelijks interessant terwijl het vissen van lang droogvallende kokkels hoogstwaarschijnlijk direct ten koste gaat van de scholeksters.

Het is verder evident dat regelmatige verstoring van hooggelegen kokkelbanken in de winter een onevenredig groot effect zal hebben op de vogels, in het bijzonder als de verstoring (ook) bij opkomend en afgaand water optreedt.

## Draagkrachtschatting

In het simulatiemodel wordt slechts één stress index berekend en er wordt daarbij geen principieel onderscheid gemaakt tussen te weinig voedsel en te korte droogvalduur. Het gebruikte kritische stress niveau (de mate waarin de vogels last hebben van een verhoging van de stress) is voornamelijk gebaseerd op voedselstress. Of de gesimuleerde stress verhoging tengevolge een kortere droogvalduur daar zonder meer mee kan worden vergeleken is natuurlijk de vraag. Het zou ook nog kunnen dat in de herfst de echte scholeksters de hoogst gelegen kokkels in mindere mate prederen omdat ze in de "makkelijke tijd" gewoon lang op hun hoogwatervluchtplaatsen blijven zitten. In dat geval wordt de exploitatie van de hoog gelegen kokkels in de herfst door het model overschat en wordt de draagkracht onderschat.

In de limietsituatie, zonder een effect van de kortere droogvalduur op de scholeksters, verwachten we dat het aantal scholeksters nog altijd evenredig met het kokkelbestand afneemt, tot zo'n 20000 vogels (zie Tabel 2.1). Het extra effect van een kortere foerageertijd heeft in *WEBTICS* geleid tot een verdere verkleining van de draagkracht tot slechts 8300 vogels. Als de droogvalduur een minder groot

effect heeft, door een betere exploitatie of door een geringere gevoeligheid van de vogels, dan komen we uit op een (optimistische) draagkracht rond 14000 vogels. Het effect van een kleinere foerageertijd op de draagkracht kan echter even goed nog onderschat zijn. Onze schatting voor de draagkracht van de Oosterschelde voor 2045 is daarom 8000 vogels met [5000, 14000] als een geschat betrouwbaarheidsinterval. Daarbij is er vanuit gegaan dat de prognose voor het kokkelbestand correct is.

Het resultaat in de Figuren 5.1 en 5.4 (bladzijde 48 en 51) suggereert dat de vermindering van de draagkracht in de periode tot 2045 geleidelijk plaatsvindt. Wel gaat de daling in de periode tot 2015 sneller dan daarna. Dat betekent echter niet dat ook het aantal vogels geleidelijk afneemt. Door het effect van goede en slechte kokkeljaren, plaatstrouw van de vogels en strenge winters kan een afname van het aantal vogels veel grilliger verlopen (zie ook literatuur over de scholeksterpopulatie gerefereerd in Hoofdstuk 4.5).

## Mosselen

Zowel in de Oosterschelde als in de Waddenzee is de historische situatie dat een deel van de scholeksters er in de winter van mosselen heeft geleefd. Mosselen vormen ook een stabielere voedselbron dan het heftig fluctuerende kokkelbestand. In de Oosterschelde zijn de natuurlijke mosselbanken vervangen door mosselpercelen die later naar het sublitoraal zijn verplaatst. In de Waddenzee zijn de droogvallende mosselbanken rond 1990 zwaar beschadigd door de mosselvisserij tengevolge waarvan ze zijn verdwenen. De laatste jaren ontwikkelen zich met name in de oostelijke Waddenzee nieuwe mosselbanken (Ens *et al.*, 2004; Goudswaard *et al.*, 2006).

Ook in de Oosterschelde zou daarom de instandhouding (of aanleg) van litorale mosselbanken een bijdrage kunnen leveren aan de draagkracht voor scholeksters. Door de hoge biomassa van een mosselbank, in de orde van 3 kg versgewicht per m<sup>2</sup>, foerageren scholeksters op mosselbanken in hogere dichtheden en speelt het interfereentie effect ook tijdens laagwater daar een belangrijke rol. Dat leidt ertoe dat het aantal scholeksters dat van mosselen kan leven eenvoudig geschat kan worden uit het oppervlak mosselbank. Zwarts noemt in van de Kam *et al.* (1999, Figuur 4.38) een gemiddelde dichtheid van 30 scholeksters per hectare, foeragerend op mosselbanken onder Schiermonnikoog in de jaren 1971–1973. Smit *et al.* (1998) noemen een dichtheid van 40 scholeksters per hectare (refererend aan Zwarts & Drent (1981) en Ens & Cayford (1996)).

## 6.1 Conclusies

Ten gevolge van de zandhonger en de zeespiegelstijging neemt de draagkracht van de Oosterschelde voor Scholeksters af van ongeveer 40000 vogels in 2001 tot 8000 vogels in 2045 (met [5000, 14000] als een geschat betrouwbaarheidsinterval). Deze aantallen zijn berekend zonder een mogelijk effect van kokkelvisserij. De afname van de draagkracht is het sterkst in Oosterschelde West en Centraal en vindt min of meer geleidelijk plaats. Vóór 2015 gaat de draagkracht echter wel sneller naar beneden dan daarna.

Overwinterende scholeksters die in de Oosterschelde kokkels eten zijn in belangrijke mate afhankelijk van kokkelbanken die tenminste 60% van de tijd droogvallen. Als die er niet of nauwelijks zijn kunnen de overige kokkels niet door de vogels geëxploiteerd worden.



# Bibliografie

- Atkinson, P. W., Clark, N. A., Bell, M. C., Dare, P. J., Clark, J. A., Ireland, P. L., 2003. Changes in commercially fished shellfish stocks and shorebird populations in the Wash, England. *Biological Conservation* 114, 127141.
- Bruinzeel, L., van de Pol, M., 2003. De afname van de Scholekster op Schiermonnikoog. *Limosa* 76, 24–38. Onderdeel van "Studiedag van de NOU en de NSWG over de achteruitgang van de Scholekster in Nederland".
- Bult, T. P., Ens, B. J., Baars, D., Kats, R. K. H., Leopold, M. F., 2003. 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.
- Ebbinge, B. S., Spaans, B., 1995. The importance of body reserves accumulated in spring staging areas in the temperate zone for breeding in dark-bellied brent geese *branta b. bernicla* in the high arctic. *J. Avian Biol.* 26, 105–113.
- Ens, B. J., Cayford, J. T., 1996. Feeding with other oystercatchers. In: Goss-Custard, J. D. (Ed.) *The Oystercatcher: From Individuals to Populations*, pp. 77–104. Oxford University Press, Oxford.
- Ens, B. J., Smaal, A. C., de Vlas, J., 2004. The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde. final report of the second phase of the scientific evaluation of the Dutch shellfish fishery policy (EVA-II). Technical report, Alterra, Wageningen, the Netherlands. Alterra-rapport 1011.
- Goss-Custard, J. D., le V. dit Durell, S. E. A., Clarke, R. T., Beintema, A. J., Caldow, R. W. G., Meininger, P. L., Smit, C. J., 1996. Population dynamics: predicting the consequences of habitat change at the continental scale. In: Goss-Custard, J. D. (Ed.) *The Oystercatcher, from individuals to populations*, pp. 352–381. Oxford University Press, New York.
- Goudswaard, P. C., Steenbergen, J., Baars, J., Kesteloo, J., Jol, J., van Stralen, M. R., 2006. Het mosselbestand en het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen in de Waddenzee in het voorjaar van 2006. Technical report, Wageningen IMARES, Yerseke, the Netherlands. Rapport C059/06.
- Hegyí, Z., Sasvári, L., 1998a. Components of fitness in lapwings *Vanellus vanellus* and black-tailed godwits *Limosa limosa* during the breeding season: do female body mass and egg size matter? *Ardea* 86, 43–50.
- Hegyí, Z., Sasvári, L., 1998b. Parental condition and breeding effort in waders. *Journal of Animal Ecology* 67, 41–53.

- Kamermans, P., Kesteloo-Hendrikse, J. J., 2001. Voortgangsverslag deelproject H2 van EVA-II: Schattingen van groei en sterfte van de kokkel ten behoeve van de extrapolatie van voorjaarsinventarisaties naar bestandsgroottes in het najaar. Technical report, Wageningen IMARES, voorheen RIVO, Yerseke, the Netherlands. RIVO Rapport.
- Kater, B. J., Brinkman, A., Baars, J., Aarts, G., 2004. Kokkelhabitatkaarten voor de Oosterschelde en Waddenzee. Eindrapport EVA-II deelproject H3 (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase. Technical report, Wageningen IMARES, voorheen RIVO, Yerseke, the Netherlands. RIVO Rapport C060/03.
- Kersten, M., Piersma, T., 1987. High levels of energy expenditure in shorebirds: metabolic adaptations to an energetically expensive way of life. *Ardea* 75, 175–187.
- Kersten, M., Visser, W., 1996. The rate of food processing in the oystercatcher: food intake and energy expenditure constrained by a digestive bottleneck. *Functional Ecology* 10, 440–448.
- Klepper, O., 1989. A model of carbon flows in relation to macrobenthic food supply in the Oosterschelde estuary (S.W. Netherlands). Ph.D. thesis, Department of Theoretical Production Ecology, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- Madsen, J., 1994. Impacts of disturbance on migratory waterfowl. *Ibis* 137, S67–S74.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., 1992. Numerical Recipes, the art of scientific computing, second edition. Cambridge University Press, New York.
- 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., 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., Ens, B. J., Kersten, M. A. J. M., Dijkman, E. M., 2003c. Wader Energy Balance & Tidal Cycle Simulator WEBTiCS, technical documentation version 1.0. Rapport voor de deelprojecten B1 en D2 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 869.
- Rappoldt, C., Ens, B. J., Stillman, R. A., 2006. A geometrical model for the effect of interference on average food intake. In prep.
- Smit, C. J., Dankers, N., Ens, B. J., Meijboom, A., 1998. Birds, mussels, cockles and shellfish fishery in the Dutch Wadden Sea: How to deal with low food stocks for eiders and oystercatchers? *Senckenbergiana maritima* 29, 141–153.
- Stillman, R. A., Goss-Custard, J. D., West, A. D., le V. dit. Durell, S. E. A., Caldow, R. W. G., McGrorty, S., Clarke, R. T., 2000. Predicting mortality in novel environments: tests and sensitivity of a behaviour-based model. *Journal of Applied Ecology* 37, 564–588.
- Stillman, R. A., Poole, A. E., Goss-Custard, J. D., Caldow, R. W. G., Yates, M. G., Triplet, P., 2002. Predicting the strength of interference more quickly using behaviour-based models. *Journal of Animal Ecology* 71, 532–541.
- van de Kam, J., Ens, B., Piersma, T., Zwarts, L., 1999. Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Schuyt & Co, Haarlem, the Netherlands.
- Zwarts, L., Drent, R. H., 1981. Prey depletion and the regulation of predator density: Oystercatchers (*Haematopus ostralegus*) feeding on mussels (*Mytilus edulis*). In: Jones, N. V., Wolff, W. J. (Eds.) Feeding and survival strategies of estuarine organisms, volume 15 of *Marine Science*, pp. 193–216. Plenum, New York.
- Zwarts, L., Ens, B. J., Goss-Custard, J. D., Hulscher, J. B., Kersten, M., 1996a. Why Oystercatchers *Haematopus ostralegus* cannot meet their daily energy requirements in a single low water period. *Ardea* 84A, 269–290.
- Zwarts, L., Ens, B. J., Goss-Custard, J. D., Hulscher, J. B., le V. dit. Durell, S. E. A., 1996b. Causes of variation in prey profitability and its consequences for the intake rate of the oystercatcher *Haematopus ostralegus*. *Ardea* 84A, 229–268.