

De relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de Grote Sterns van De Petten, Texel

M.J. Baptist & M.F. Leopold

Rapport C097/07



Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies

Wageningen **IMARES**

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Noord-Holland
Postbus 3119
2001 DC Haarlem

Publicatiedatum: 24 oktober 2007

- Wageningen **IMARES** levert kennis die nodig is voor het duurzaam beschermen, oogsten en ruimte gebruik van zee- en zilte kustgebieden (Marine Living Resource Management).
- Wageningen **IMARES** is daarin de kennispartner voor overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties voor wie marine living resources van belang zijn.
- Wageningen **IMARES** doet daarvoor strategisch en toegepast ecologisch onderzoek in perspectief van ecologische en economische ontwikkelingen.

© 2007 Wageningen **IMARES**

Foto omslag: Hans Verdaat

Wageningen IMARES is een samenwerkingsverband tussen Wageningen UR en TNO. Wij zijn geregistreerd in het Handelsregister Amsterdam nr. 34135929, BTW nr. NL 811383696B04.



A_4_3_1-V2

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

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

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Kwaliteitsborging	4
1. Inleiding	5
2. Materiaal en methoden.....	8
3. Resultaten.....	14
4. Discussie	27
5. Conclusie en doorwerking naar effecten van zandwinning	33
Dankwoord.....	37
Referenties	38
Bijlage A. De prooivis	40
Verantwoording	45

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2000 gecertificeerd kwaliteitsmanagement systeem (certificaatnummer: 08602-2004-AQ-ROT-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2009. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Het laatste controle bezoek vond plaats op 16-22 mei 2007. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2000 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2009 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997, deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het laatste controlebezoek heeft plaatsgevonden op 12 juni 2007.

1. Inleiding

Achtergrond van de vraag

Vanwege een stijgende vraag naar suppletiezand voor de Nederlandse kust (zie o.a. Leopold & Baptist, 2007) wordt er in toenemende mate zand gewonnen op de Noordzee. De winning van grote hoeveelheden suppletiezand op de Noordzee is MER-plichtig. In het kader van de winning van suppletiezand in 2007 is een MER opgesteld (Boon *et al.*, 2006a,b). Hierin wordt onder andere gesteld dat de effecten op zichtjagende (broedende) sterns van de zandwinning nabij de Razende Bol verwaarloosbaar zijn. Boon *et al.*, 2006a: “*Deze vogels kunnen enige verstoring ondervinden en enig effect als gevolg van de vertroebeling*”. In het achtergrondrapport (Boon *et al.*, 2006b) wordt opgemerkt dat empirische studies over de relatie tussen foerageermogelijkheden voor zichtjagers en de troebelheid van water zeldzaam zijn. Een aanbeveling van een Expertmeeting te Scheveningen op 30 juni 2006 was dan ook dat het raadzaam is onderzoek te doen naar de relatie tussen doorzicht en vangstsucces van verschillende foeragerende vogels in kustwateren, zowel in een T0 als in een T1.

Om effectschattingen van troebelheid te valideren is een evaluatieprogramma opgesteld door Rijkswaterstaat dat betrekking heeft op ondermeer zichtjagers; het evaluatieprogramma zandwinning 2007. Het programma dient antwoord te geven op de vraag of het foerageersucces van sterns wordt beïnvloed door vertroebeling van het zeewater door de slibpluim die vrijkomt bij zandwinning. Deze hoofdvraag is uitgesplitst in vier deelvragen:

1. wordt het vangstsucces (jagen op vissen) positief of negatief beïnvloed door vermindering van het doorzicht en zo ja wat is de relatie?
2. wat is de relatie tussen het doorzicht en de slibconcentratie?
3. welke slibconcentraties treden waar en wanneer op bij de zandwinning?
4. waar langs de Nederlandse kust komen grote sterns voor in het broed- en voedseizoen?

Wageningen IMARES heeft opdracht gekregen deelvraag 1 te onderzoeken voor de broedende Grote Sterns van de kolonie van De Petten, op Texel. Dit onderzoek is uitgevoerd als een T0-onderzoek: de Grote Sterns zijn geobserveerd in hun natuurlijke, niet door zandwinning verstoorde omgeving. In dit rapport zijn de resultaten van deze studie uitgewerkt.

De Grote Stern (*Sterna sandvicensis*), foerageerstrategie en zichtdiepte

De Grote Stern is een viseter die voornamelijk foerageert in ondiepe kustwateren. Zijn dieet bestaat hoofdzakelijk (99,3%) uit Haring, Sprot en twee soorten zandspiering (Stienen *et al.*, 2000). Grote Sterns zijn zichtjagers; ze vliegen boven het water op zoek naar vis die ze na een duikvlucht proberen te vangen. Dit is een veel energie vragende foerageertechniek, ze zijn afhankelijk van vis in het bovenste deel van de waterkolom en moeten in korte tijd hun snel groeiende kuikens van voedsel voorzien. Ze kunnen slechts één prooi(vis) tegelijkertijd in hun snavel vervoeren en moeten dus voor iedere gevangen vis heen en weer pendelen tussen kolonie en foerageergebied. Dit maakt dat het vangstsucces van een prooi mogelijk effecten heeft op hun broedsucces.

Hun potentieel foerageergebied heeft een grote omvang en de vliegafstanden zijn soms groot. Zolang de kuikens bij het nest verblijven is een afname van het vangstsucces van de volwassen vogels een grotere risicofactor in het grootbrengen van de jongen dan later in het seizoen. Dan nemen ze hun vliegvlugge jongen mee naar vlakbij hun foerageergebied. Na afloop van het broedseizoen zijn de volwassen sterns meer flexibel en minder kwetsbaar in termen van energieverlies ten gevolge van de vliegafstanden (Stienen, 2006).

Uit eerdere studies is af te leiden dat Grote Sterns foerageren in water met een doorzicht tussen 0,50 en 3,0 m (Stienen *et al.*, 1993, Brenninkmeijer *et al.*, 2002b, Stienen, 2006). De zichtdiepte speelt een rol bij het foerageren, maar daarnaast zijn ook factoren van belang als de feitelijke aanwezigheid van hoeveelheden vis en

eventuele aanwezigheid van roofvissen (bv. Makreel), die de kleinere prooivis naar boven jagen. Theoretisch wordt het vangstsucces van de Grote Stern beïnvloed door verschillende factoren:

1. De *aantrefkans* van de vis op een locatie (afhankelijk van de zichtdiepte, maar ook van de ruimtelijke dichtheid aan vis en het gedrag van vis);
2. De *ontsnapkans* van de vis, als deze zijn belager opmerkt (afhankelijk van de zichtdiepte, de diepte waarop de vis zich begeeft, de zichtbaarheid van zijn predator, de vissoort, de temperatuur);
3. De *trefkans* van de Grote Stern (afhankelijk van leeftijd en ervaring, mogelijk ook windsnelheid, golfhoogte en doorzicht).

In het veld zijn deze factoren niet los van elkaar te meten. Het gecumuleerde effect van deze factoren is het netto vangstsucces.

Men veronderstelt dat het vangstsucces vermindert bij kleinere zichtdieptes; de Grote Stern zou minder goed in staat zijn de prooi te zien en dus meer moeite hebben met het vangen van een prooi (Ainley, 1977). Dit verband werd niet gevonden door Haney & Stone (1988) en is daarmee in lijn met Eriksson (1985) die op grond van een model geen effect van troebelheid veronderstelt. De laatste studie is echter geldig voor oligotrofische Scandinavische meren. Stienen & Brenninkmeijer (1994) en Brenninkmeijer et al., (2002a) vonden wél een toenemend vangstsucces (in aantal vis per uur) bij toenemend doorzicht in Guinée-Bissau. Aan de andere kant veronderstelt men dat ook bij grotere zichtdieptes het vangstsucces vermindert. Een mogelijke reden is dat de vis een naderende stootduikende stern eerder ziet aankomen en deze ontwijkt. Anderzijds kan de vis geleerd hebben dat het gevaarlijk is in helder water. Het gevolg is een anti-predatiereactie van de vis: de vis 'durft' niet aan de oppervlakte te zwemmen omdat het de predatoren kan zien en zich kwetsbaar voelt (Stienen en Brenninkmeijer, 1997). Dientengevolge moet de Grote Stern dieper duiken om een prooi te vangen en dat maakt de vangst lastiger.

De onderzoeksvraag voor deze studie luidt:

Wat is het verband tussen het vangstsucces van Grote Sterns en de zichtdiepte van het water?

In deze studie gaan we uit van de hypothese is dat er een optimale zichtdiepte bestaat. In troebel water is het lastiger de prooi te zien, maar bevindt deze zich wel nabij het oppervlak en in helder water is het lastig de prooi te vangen omdat deze dieper zit en/of de aanvaller ziet aankomen.



Figuur 1. Grote Stern met Zandspiering (Foto Hans Verdaat).

2. Materiaal en methoden

Studiegebied

Het onderzoek richtte zich op de Grote Sterns van de broedkolonie in De Petten, op Texel. Hier is door Natuurmonumenten eind 2003 een schelpenstrandje aangelegd met de bedoeling broedgelegenheid voor sterns te creëren. Al in 2004 werden 98 nesten van Grote Sterns geteld. Als gevolg van een zomerstorm was het broedsucces laag. In 2005 zijn 90 nesten geteld en in 2006 zelfs 1098. Voor de start van deze studie, in mei 2007, zijn 337 nesten geteld (waarnemer Martin de Jong voor reproductiemeetnet Waddenzee, Natuurmonumenten / IMARES).

Op 4 juni 2007 zijn de eerste kuikens waargenomen (onafhankelijk door zowel Martin de Jong als Martin Baptist). Het aantal opgroeiende kuikens kent een piek tussen begin juni en half juli. Tijdens de piek foerageren enkele honderden Grote Sterns op het Marsdiep en de wateren rond de Razende Bol om voldoende voedsel naar het nest te brengen. Ook moeten de volwassen vogels voldoende voedsel voor zichzelf vinden. Dit betekent dat in principe een paar duizend succesvolle duiken per dag plaatsvinden in het studiegebied.

Vaartuig

Het onderzoek werd uitgevoerd vanaf een klein, snel en wendbaar vaartuig dat ondiep steekt. Er werd gebruik gemaakt van “Het Sop”, van schipper Rutgert Oosterhuis. Het Sop is een 12 m lange chartervisboot die een maximale snelheid van 25 knopen kan halen. De thuishaven is op Texel (Oudeschild). Het Sop is volledig uitgerust en gecertificeerd voor werk op volle zee.



Figuur 2. Broedkolonie Grote Sterns in De Petten, Texel (Foto Martin Baptist).

Meetprotocol

Iedere meetdag werd gewerkt met twee waarnemers aan boord en een schipper. Een meetdag startte om 08:00 u 's ochtends en duurde tot eind van de middag. In deze periode is de aanvoer van voedsel naar de kolonie praktisch stabiel (volgens Stienen, 2006, fig. 2.8c), zodat verwacht wordt dat de factor 'tijdstip van de dag' geen belangrijke invloed heeft.

De waarneemmethode is dat met het onderzoeksschip wordt rondgevoerd op zoek naar Grote Sterns. Er werden dus geen raaien of vastgestelde patronen gevaren. Getracht werd het onderzoeksschip binnen 100 m afstand van foeragerende Grote Stern(s) te krijgen. Grote Sterns foerageren vaak met twee individuen. Maar ook solitaire exemplaren of kleine, losse groepen worden geobserveerd. Wanneer er een uitzonderlijk goed voedselaanbod is komen grotere groepen voor.

Visuele observaties zijn uitgevoerd met behulp van een verrekijker. De waarneming is vervolgens afhankelijk van de groepsgrootte:

- Bij solitair foeragerende exemplaren is van de eerst waargenomen duik (of poging daartoe) het duikgedrag en –succes vastgelegd volgens onderstaand protocol;
- Bij tweetallen werden beiden geobserveerd en werd de eerst waargenomen duik vastgelegd;
- Bij groepen werd *at random* een Grote Stern geselecteerd die zich in de nabijheid van het schip bevond en werd van dit individu de duik vastgelegd.

Van iedere duik werd vastgelegd:

1. Type duik:

- *afgebroken* tijdens de duik. Dit is een (poging tot) duik die niet tot een prooi leidt;
- *diepe duik (Full Plunge Dive)*, waarbij de Grote Stern, meestal rechtstandig, duikt en geheel en relatief langdurig onder water verdwijnt;
- *ondiepe duik (Partial Plunge Dive)*, waarbij de Grote Stern, meestal onder een kleine hoek, duikt en gedeeltelijk en relatief kort onder water verdwijnt;
- *dip (Contact Dip)*, waarbij de Grote Stern met niet meer dan snavel en poten het water raakt, zie Figuur 3 (Taylor, 1983).

2. Visvangst

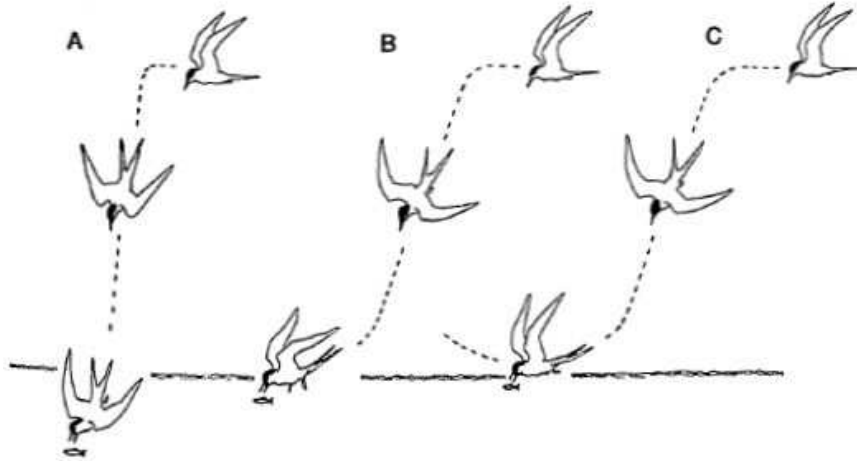
- *Mis*, de Grote Stern komt zonder prooi naar boven;
- *Haring-achtigen, Clupeidae*, bijvoorbeeld Haring of Sprot. Het verschil tussen deze soorten is in het veld niet waarneembaar.
- *Zandspiering-achtigen, Ammodytidae*, bijvoorbeeld Noorse Zandspiering of Kleine Zandspiering. Het verschil tussen deze soorten is in het veld niet waarneembaar;
- *Overig*. Wanneer geen van bovenstaande typen wordt gevangen. Dit komt zelden voor. Het verschil tussen de twee typen prooien (haring-achtigen en zandspiering-achtigen) is in het veld waarneembaar aan de lengte/breedte verhouding van de vis, aan de stijfheid van de vis en aan de vorm van de staart. Zandspiering-achtigen zijn kenmerkend dunner dan haring-achtigen. Zandspiering-achtigen zijn soepele vissen die in de vorm van een omgekeerde U in de bek hangen, terwijl haring-achtigen stijvere vissen zijn die meer een banaan-vorm hebben in de bek. Tot slot is de staart van de zandspiering-achtigen minder wijd en vaak zelfs samengevouwen.

Van iedere prooi wordt de lengte afgeschat relatief aan de snavelengte van de Grote Stern, die $5,4 \pm 0,25$ cm bedraagt (Stienen, 2006).

3. Lot van de gevangen prooi

- *Zelf*, de prooi wordt zelf opgegeten.

- *Verlies*, de Grote Stern verliest de prooi.
- *Kolonie*, de Grote Stern houdt de prooi in de snavel en vliegt (waarschijnlijk) terug naar de kolonie.



Figuur 3. Drie duiktypen van sterns. A: diepe duik (Full Plunge Dive), B: ondiepe duik (Partial Plunge Dive, C: dip (Contact Dip). Figuur uit Taylor, 1983).

Het vastleggen van de duikvariabelen gebeurde door een waarnemer met verrekijker. De andere waarnemer hield, in contact met de schipper, de duiklocatie in de gaten. Nadat een duik van een Grote Stern is geobserveerd en vastgelegd werd direct naar de betreffende locatie gevaren. Op de duiklocatie werd een drijvende boei, met daaraan een ketting van ongeveer 0.5 m lengte, overboord gezet. Deze boei werd door de stroming in de bovenste 0.5 m waterkolom, die is beïnvloed door getij en wind, meegevoerd. Hierdoor markeert de boei, al drijvend, de watermassa waarin werd gedoken en niet de geografische positie waar dit water overheen stroomt. Op de duiklocatie werden de volgende fysische parameters vastgelegd:

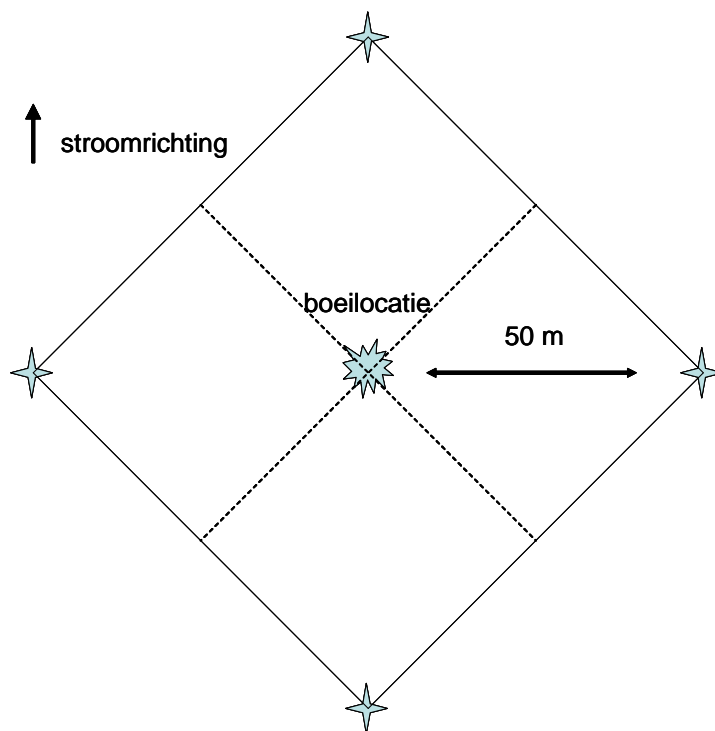
4. Fysische parameters

- *Tijdstip van de duik*. Opgeschreven wordt het tijdstip waarop het vaartuig ter plaatse is van de duiklocatie. Strikt genomen is dit zo'n minuut na de duik zelf.
- *Geografische locatie*. Met een GPS werd de geografische locatie (lat-lon) vastgelegd van de duiklocatie, dus de locatie waar de boei te water is gelaten.
- *Watertemperatuur*. Met een putsemmer werd een watermonster genomen van de oppervlakte en hiervan werd de temperatuur bepaald.
- *Waterbijzonderheden*. Relevante bijzonderheden over de duiklocatie werden genoteerd, zoals de aanwezigheid van stroomnaden of zandbanken.
- *Secchi-diepte*. Met behulp van een secchi-schijf (wit, doorsnede 30 cm) werd het doorzicht bepaald tot op 0,1 m nauwkeurig.
- *Significante golfhoogte*. De gemiddelde afstand van dal tot top van de golven werd bepaald voor de (33%) hoogste golven.
- *Bewolking*. De bewolingsgraad van de hemel in achtsten bedekking.
- *Weersbijzonderheden*. Overige omgevingsfactoren zoals regen of storm werden genoteerd.

Vervolgens werd, relatief ten opzichte van de boei (die meestroomt met het omringende water en zwevende stof), op afstanden van 50 m op vier omringende locaties het doorzicht gemeten. Twee locaties bevinden zich stroomafwaarts respectievelijk stroomopwaarts en twee locaties bevinden zich loodrecht op de stroomrichting ter weerszijden van de boei links en rechts. Er is gekozen voor deze relatieve positiebepaling, omdat dan

eventueel voorkomende slibwolken worden gevolgd. Op deze wijze wordt de watermassa rondom de duiklocatie bemonsterd, ook wanneer deze watermassa zich verplaatst. Bij een vaste positiebepaling is er kans dat de slibgehalten wijzigen met het meegevoerde water.

De op deze wijze verkregen figuur van de bemonsteringen (zie Figuur 4) is symmetrisch; het levert een centroïde Voronoi diagram met de duiklocatie als gemiddelde. Hiermee kan bepaald worden in hoeverre de waarneming in het midden afwijkt van de gemiddelde waarneming uit het omringende gebied en wat de standaardafwijking is; dit geeft een maat voor de heterogeniteit van het doorzicht in het veld. Bij kust nabije locaties werd bovendien een dwarsraai op de kust bemonsterd, hetgeen informatie oplevert over het zichtdiepte in die richting.



Figuur 4. Meetpunten voor de secchi-schijf, relatief ten opzicht van de meebewegende boeilocatie.

Tot slot werden voor iedere meetdag meteorologische parameters verzameld van KNMI-station De Kooy in Den Helder en meetpost Texelhors op Texel.

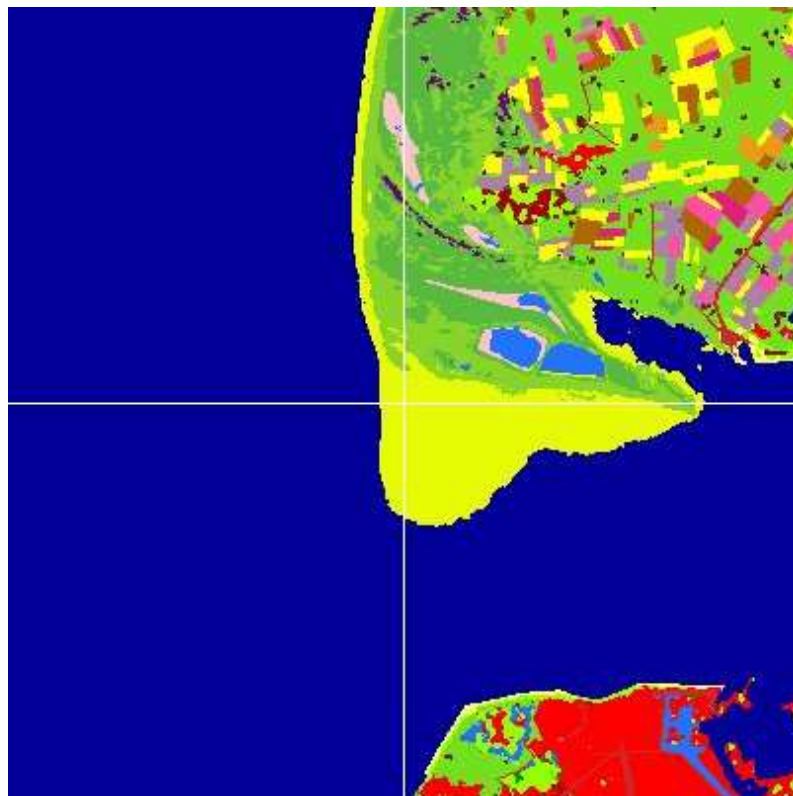
5. Meteorologische gegevens

- Etmaalgemiddelde overheersende windrichting in graden
- Etmaalgemiddelde windsnelheid
- Tien min. gemiddelde overheersende windrichting in graden
- Tien min. gemiddelde windsnelheid
- Etmaalgemiddelde luchttemperatuur

De over 10 min. gemiddelde winddata zijn afkomstig van KNMI-windmeetstation 229 Texelhors. Dit meetstation is in het onderzoeksgebied gelegen, zie Figuur 5, zodat de winddata betrouwbaar worden geacht voor dit onderzoek. Middeling over een interval van 10 min. is dermate kort dat deze windsnelheid kan worden benut als actuele windsnelheid tijdens het moment van duiken.

De gegevens van windmeetstations geven de potentiële windsnelheid, dit is de wind die gecorrigeerd is voor omgevingseffecten zoals beschutting door bebouwing of vegetatie en die gemeten had kunnen worden wanneer

de meting gedaan was op 10 m hoogte in een open en vlakke omgeving. Meetstation Texelhors meet de wind op 10 m hoogte en staat in een open en vlakke omgeving, dus er is niet veel correctie op de ruwe meetdata. Meer informatie is te vinden op <http://www.knmi.nl/samenw/hydra/>.



Figuur 5. Positie (midden van de afbeelding, op kruispunt) van windmeetstation 229 Texelhors (bron: KNMI).

Waarneemdagen

Er is gewerkt met een team van wisselende waarnemers bestaande uit (in alfabetische volgorde): Martin Baptist, Jenny Cremer, Jannes Heusinkveld, Martin de Jong, Mardik Leopold, Cor Smit en Hans Verdaat. Waarnemingen zijn gedaan gedurende 11 dagen in juni en juli 2007.

Tabel 1. Waarneemdagen en waarnemers.

<i>Datum</i>	<i>Waarnemer</i>	Waarnemer
8 juni 2007	Mardik Leopold	Martin Baptist
14 juni 2007	Mardik Leopold	Hans Verdaat
18 juni 2007	Mardik Leopold	Cor Smit
21 juni 2007	Hans Verdaat	Jannes Heusinkveld
25 juni 2007	Martin Baptist	Martin de Jong
2 juli 2007	Cor Smit	Jannes Heusinkveld
5 juli 2007	Martin Baptist	Jenny Cremer
9 juli 2007	Martin de Jong	Jenny Cremer
12 juli 2007	Martin de Jong	Hans Verdaat
16 juli 2007	Martin de Jong	Jannes Heusinkveld
19 juli 2007	Martin de Jong	Hans Verdaat

Zichtdieptemetingen

De zichtdiepte werd bepaald door middel van een Secchi-schijf, ter beschikking gesteld door het Koninklijk Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek (NIOZ). De Secchi-schijf is vervaardigd van wit plexiglas verzaagd met lood en heeft een doorsnede van 30 cm. De schijf is bevestigd aan een touw met merktekens om de 0,5 m. De Secchi-schijf werd te water gelaten aan de schaduwzijde van de boot. De schijf werd neergelaten tot deze niet meer zichtbaar is en vervolgens langzaam omhoog gehaald tot hij net wel zichtbaar is. De zichtdiepte werd tot op 0,1 m nauwkeurig afgelezen op het touw.

Meetfouten kunnen optreden door golven, door bubbelschermen opgewekt door de schroef van de boot en door schuim aan het oppervlakte (bijvoorbeeld in een stroomnaad, zie Figuur 9). In de laatste twee gevallen werd rustig gewacht tot de luchtbellen of het schuim zijn verdwenen. In het geval van golven werd de aflezing bemoeilijkt, maar in dat geval kan gebruik worden gemaakt van het fluctuerende waterpeil dat zodanig kan werken dat de schijf net wel en net niet zichtbaar is.

Voordat de metingen begonnen, werden de merktekens die iedere 50 cm waren aangebracht op de secchi-schijf nagemeten. Het bleek dat het touw (in de loop der jaren) gekrompen was. Wij hebben de werkelijke touwlengte opnieuw bepaald. Om veldcondities na te bootsen is het touw eerst een uur in zout water gelegd en vervolgens verticaal opgehangen en pas dan nagemeten. De op 0,1 m nauwkeurig afgelezen meetwaarden in het veld zijn met 0,9388 vermenigvuldigd om de werkelijke zichtdiepte te verkrijgen. Deze waarden zijn verwerkt in de verdere analyse.

Statistische analyse

Een vangstsuccescurve werd opgesteld door middel van logistische regressie. Logistische regressie kan worden gebruikt om het verband te leggen tussen een binaire respons variabele (0 of 1) en één of meer verklarende variabelen. In het geval van deze studie is de binaire respons 'mis of raak', met andere woorden, was de Grote Stern in staat een prooi te vangen of niet. De verklarende variabele daarbij is de zichtdiepte.

Een bijzondere vorm van logistische regressie is de Gaussische logit curve (Ter Braak & Looman, 1985). Hierin is de zogenaamde logit-transformatie op de waarschijnlijkheid gegeven door een kwadratische functie:

$$\log\left(\frac{p(x)}{1-p(x)}\right) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$$

waarin $p(x)$ is de kans op succes als functie van de verklarende parameter (x) en β 's zijn regressieparameters.

De bovenstaande kwadratische logistische regressie geeft een klokvormige curve als uitvoer. Een klokvormige curve is voor deze studie een realistische vorm. De hypothese is immers dat er een optimale zichtdiepte bestaat en dat het vangstsucces afneemt in troebeler water en ook in helderder water (zie inleiding).

Deze vergelijking kan worden herschreven als:

$$p(x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2)}$$

Wanneer de beta-coëfficiënten bekend zijn is de optimale zichtdiepte te berekenen door:

$$\text{optimum} = \frac{-\beta_1}{2\beta_2}$$

3. Resultaten

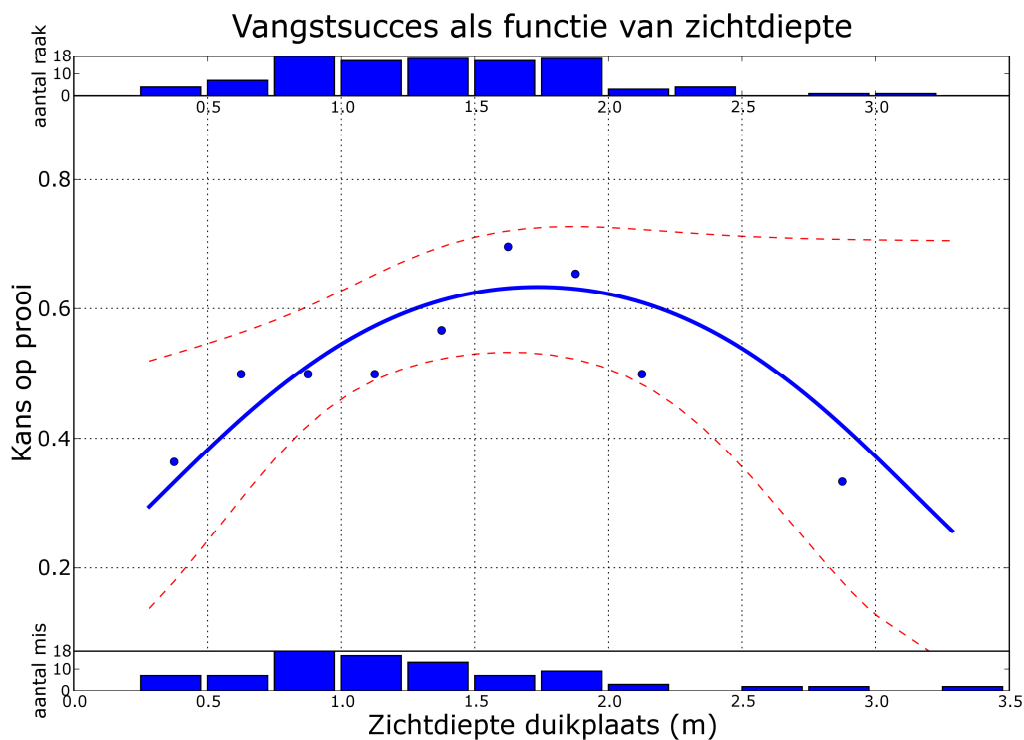
Vangstsuccescurve voor zichtdiepte

Logistische regressie is toegepast op de geprotocolleerde duiken om een verband te vinden tussen het vangstsucces en de zichtdiepte. Tabel 2 geeft de beta-coëfficiënten, de standaardafwijking daarop en de significantie van deze waarden:

Tabel 2. Resultaten van de logistische regressie voor zichtdiepte.

Zichtdiepte			
	beta-coëfficiënten	Std. afw.	$P_r (> z)$
beta 0	-1,48	0,72	0,0408
beta 1	2,33	0,99	0,0188
beta 2	-0,67	0,31	0,0306

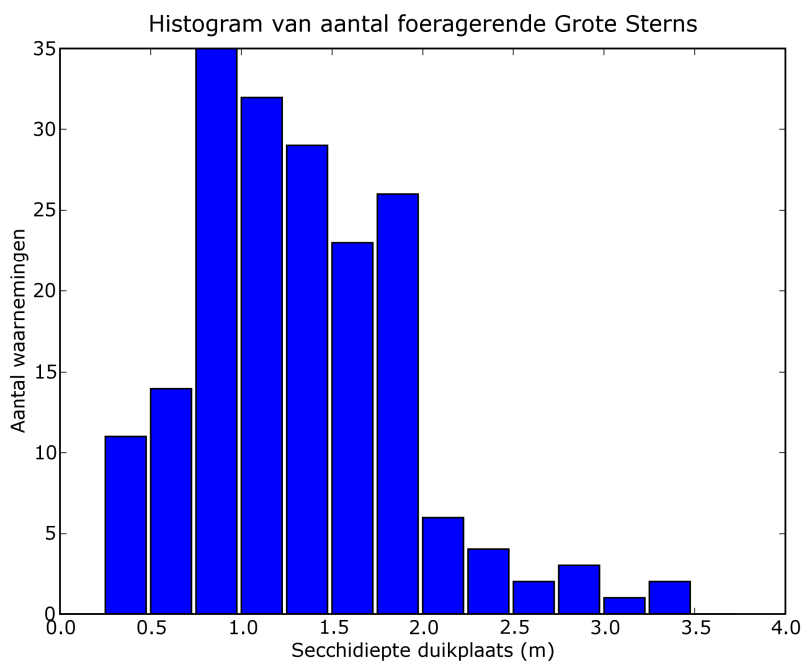
De gevonden relatie is statistisch significant met $P < 0,05$.



Figuur 6. Vangstsucces als functie van zichtdiepte. De doorgetrokken (blauwe) lijn geeft de vangstsuccescurve gebaseerd op logistische regressie. De gestippelde (rode) lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval. De histogrammen boven en beneden geven voor het totaal aantal waargenomen duiken (N=189) respectievelijk het aantal met prooi (aantal raak) en zonder prooi (aantal mis). De stippen geven per histogramklasse de kans op een prooi.

Figuur 6 geeft de vangstsuccescurve voor zichtdiepte van de geprotocolleerde duiken (N=189). De waarden op de x-as zijn afgebroken bij de waargenomen minimale en maximale secchi-diepte. Extrapolatie naar kleinere of grotere zichtdieptes valt buiten het waargenomen domein en is derhalve onbetrouwbaar.

De resultaten wijzen op optimale zichtdieptes tussen ongeveer 1,5 tot 2,0 m, met een optimale waarde op 1,74 m. Aan het 95% betrouwbaarheidsinterval is te zien dat de afname in vangstsucces bij kleinere zichtdieptes betrouwbaarder uit de data volgt dan bij grotere zichtdieptes. De afname in betrouwbaarheid is het gevolg van minder waarnemingen bij extremere zichtdieptes, hetgeen volgt uit de weergegeven histogrammen en uit Figuur 7.



Figuur 7. Histogram met bins per 0,25 m van het aantal foeragerende Grote Sterns als functie van de Secchidiepte op de duikplaats.

Vangstsucces, windsnelheid, golfhoogte en waterdiepte

Andere omgevingsvariabelen, zoals windsnelheid, golfhoogte en waterdiepte kunnen ook van invloed zijn op het vangstsucces van de Grote Stern. Logistische regressie toegepast op deze parameters geeft echter geen statistisch significant verband (allen $P > 0,05$), Tabel 3.

Tabel 3. Resultaten van de logistische regressie voor golfhoogte, waterdiepte en windsnelheid.

Golfhoogte			
tussen 10 en 120 cm			
	beta-coëfficiënten	Std. afw.	$P_r (> z)$
beta 0	0,74	0,41	0,07
beta 1	-2,13	1,74	0,22
beta 2	1,42	1,57	0,37

Waterdiepte			
tussen 1,5 en 23,3 m			
	beta-coëfficiënten	Std. afw.	$P_r (> z)$
beta 0	0,19	0,49	0,70
beta 1	0,04	0,13	0,76
beta 2	-0,004	0,006	0,49

Windsnelheid			
tussen 1,0 en 13,8 (m/s)			
	beta-coëfficiënten	Std. afw.	$P_r (> z)$
beta 0	0,91	0,68	0,18
beta 1	-0,19	0,26	0,47
beta 2	0,01	0,02	0,66

Vangstsucces, getijfase en tijdstip op de dag

Tot slot kan ook het tijdstip op de dag en de getijfase van invloed zijn. Voor de getijfase is geregistreerd of de stroming duidt op eb, vloed of kentering. In principe is de getijfase in meer onderdelen dan de genoemde drie op te delen, bijvoorbeeld door reconstructie van de getijtabel met de tijdstippen van waarneming. Echter, hier spelen twee problemen een rol. De eerste is de getij-assymetrie; het optreden van maximale of minimale stroomsnelheid loopt niet synchroon met de tijdstippen van hoog of laag water en kentering. De tweede is dat een mogelijke invloed van getijstroming ook in de ruimte variabel is. Metingen zijn verricht op zee waar de getijstroomsnelheden laag zijn en in het Marsdiep waar de stroming lokaal hoog kan zijn. Bij onderzoek naar de factor getijstroming is het beter de stroomsnelheid ter plaatse te meten.

De kansen op succes bij eb (N=88), vloed (N=97) of kentering (N=4) zijn respectievelijk 55,5%, 53,4% en 75%. De factor tijdstip op de dag kan van invloed zijn op het gedrag van de Grote Stern en/of het gedrag van de prooi (de vissen kennen een verticaal migratiepatroon dat tijdsafhankelijk is). In de proefopzet is verondersteld dat waarnemingen tussen 08:00 u en 18:00 u geen effect van tijdstip op de dag kennen op het vangstsucces. In deze periode is de aanvoer van voedsel naar de kolonie namelijk praktisch stabiel (Stienen, 2006, fig. 2.8c). De logistische regressie toegepast op de factor tijdstip op de dag geeft inderdaad geen statistisch significant effect, Tabel 4.

Tabel 4. Resultaten van de logistische regressie voor tijdstip op de dag.

Tijdstip			
	beta-coëfficiënten	Std. afw.	$P_r (> z)$
beta 0	-0,24	4,69	0,96
beta 1	0,15	18,43	0,99
beta 2	1,34	17,64	0,94

Spreiding in waargenomen zichtdieptes

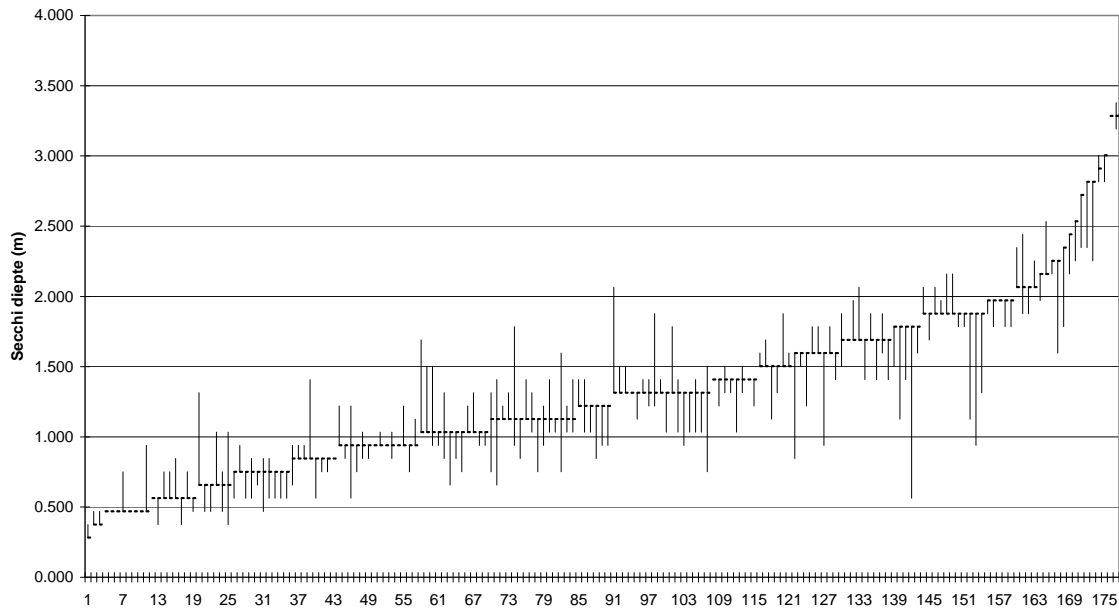
De zichtdiepte is bepaald voor 5 punten, zodat hiermee de ruimtelijke variabiliteit in het doorzicht bepaald kan worden. Onder invloed van stroomsnelheid, windcondities en dichtheidsverschillen is het sediment in het water in meer of mindere mate homogeen gemengd. Dit kan leiden tot zeer heterogene patronen, ook bij kalm zomerweer wanneer slibwolken als bloemkolen naar de oppervlakte opwellen. De spreiding in de waarnemingen is geanalyseerd om deze heterogeniteit vast te stellen. Aangezien niet voor iedere positie op vijf punten een meting kon worden verricht (bv. te dicht op de kust), zijn er N=178 waarnemingen van 5 Secchidieptes in plaats van N=189.

Figuur 8 geeft de spreiding in zichtdieptes voor drie punten in de stroomrichting (dus stroomopwaarts, duikpunt en stroomafwaarts) en voor drie punten dwars op de stroomrichting (dus links, duikpunt en rechts). Een verticale lijn geeft voor iedere duikwaarneming het verschil tussen de maximaal waargenomen en de minimaal waargenomen zichtdiepte, en een blokje geeft de zichtdiepte op de duiklocatie zelf. Het blijkt dat er een grotere spreiding zit in de dwarsrichting dan in de stroomrichting zelf. De dwarsrichting is bij veel waarnemingen een dwarsraai op de kust (aangezien de stroomrichting langs de kust is) en vaak is het water nabij de kust troebeler. Ook in de stroomrichting wordt een spreiding gevonden. Dit betekent dat er in verschillende watermassa's wordt gemeten en dat er een ruimtelijke heterogeniteit is in troebelheid. Observaties tijdens de metingen bevestigen dit beeld, zeker onder bepaalde omstandigheden. Zo zijn de verschillen in zichtdiepte bijzonder groot wanneer zich een stroomnaad voordoet. Bij een stroomnaad kan de zichtdiepte decimeters verschillen over een afstand van enkele meters dwars op de stroomnaad. Maar dit betekent ook dat metingen in de stroomrichting een grote spreiding hebben wanneer net links of rechts naast de stroomnaad wordt gemeten, zie kader. Uit berekening van het gemiddelde en de standaardafwijkingen van de metingen volgt dat de spreiding dwars op de stroomrichting het grootst is.

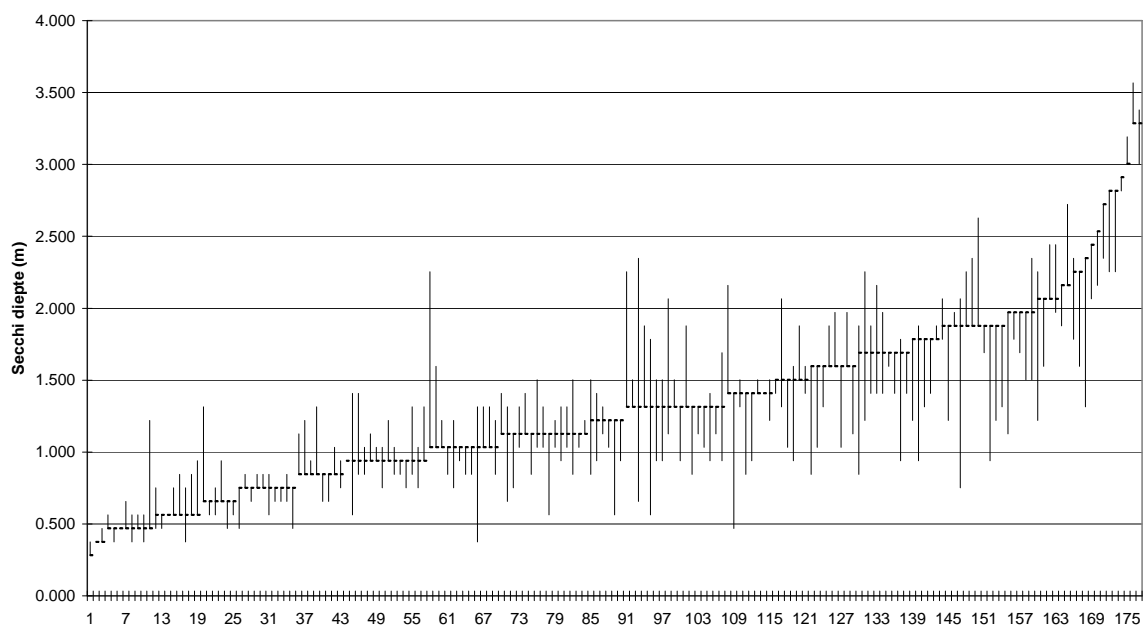
Tabel 5. Gemiddelden en standaardafwijkingen voor waarnemingen aan secchidieptes.

Locaties	Gem.	Std. afw.
Drie locaties in stroomrichting	1,29	0,14
Drie locaties dwars op stroomrichting	1,28	0,21
Vier omringende locaties	1,27	0,19
Vijf locaties	1,28	0,19

Secchi diepte range in stroomrichting



Secchi diepte range dwars op stroomrichting



Figuur 8. Maximale, minimale en duikpunt Secchidiepte waarnemingen in de stroomrichting (bovenste paneel) en dwars op de stroomrichting (onderste paneel).



Figuur 9. Stroomnaad (foto Martin Baptist).

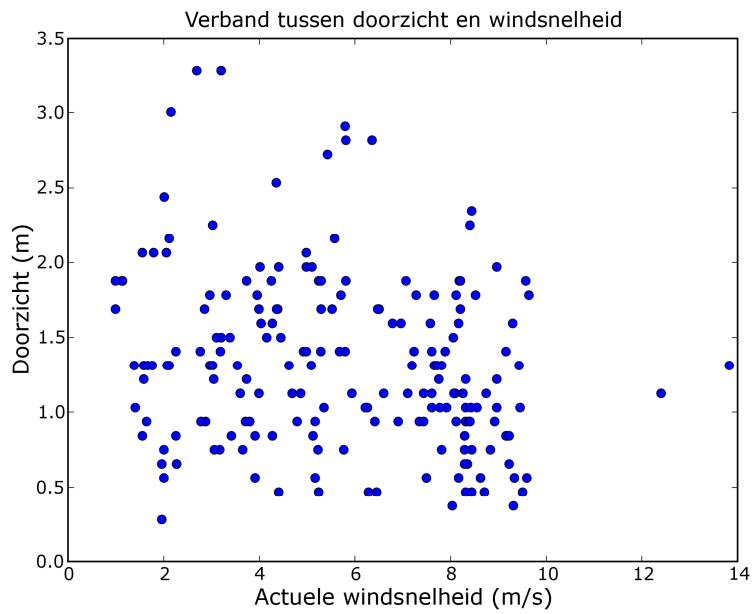
Metingen bij een stroomnaad

Op 5 juli 2007, om 13:50 u werden waarnemingen gedaan aan een stroomnaad voor de kust van Texel op locatie $52^{\circ} 59' 449$, $4^{\circ} 42' 253$. Een duikende stern werd waargenomen aan de troebele kant van de stroomnaad (dit is bijna altijd het geval!). De zichtdiepte werd vastgesteld op 0,70 m (niet-gecorrigeerd voor touwlengte). Vijftig meter links van de duiklocatie (gezien vanuit de stroomrichting) was het doorzicht 1,40 m, vijftig meter rechts was het doorzicht 0,70 m. In de stroomrichting werd twee maal gemeten ter rechterzijde van de stroomnaad, 1,40 m stroomafwaarts en 1,20 m stroomopwaarts.

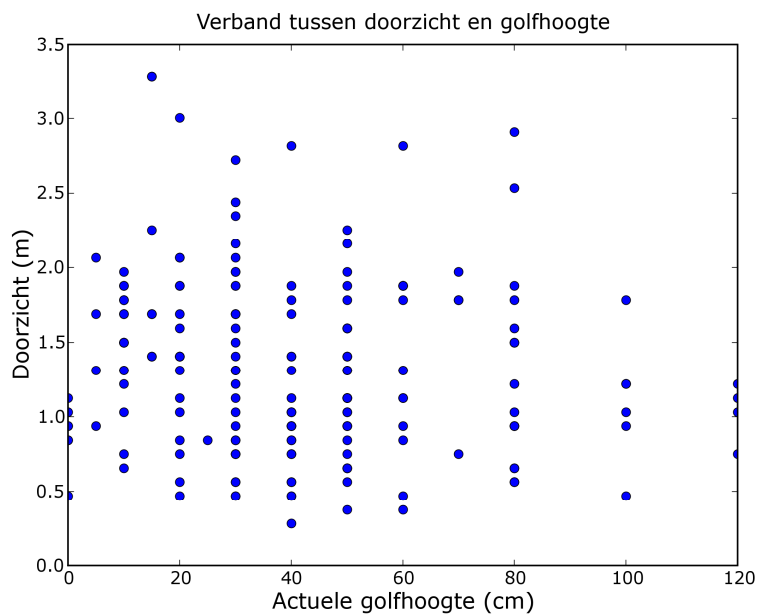
De meting daaropvolgend werd wederom bij de stroomnaad gemeten. Dit vond plaats om 13:59 u, op locatie $52^{\circ} 59' 553$, $4^{\circ} 42' 172$. De Grote Stern dook in het troebele deel van het water. De zichtdiepte op de duiklocatie was 0,90 m. Vijftig meter naar links 1,40 m en vijftig meter naar rechts 0,90 m. In de stroomrichting werd nu beurtelings links en rechts gemeten, stroomopwaarts was het doorzicht 1,50 m en stroomafwaarts 0,90 m.

Zichtdiepte en omgevingsfactoren

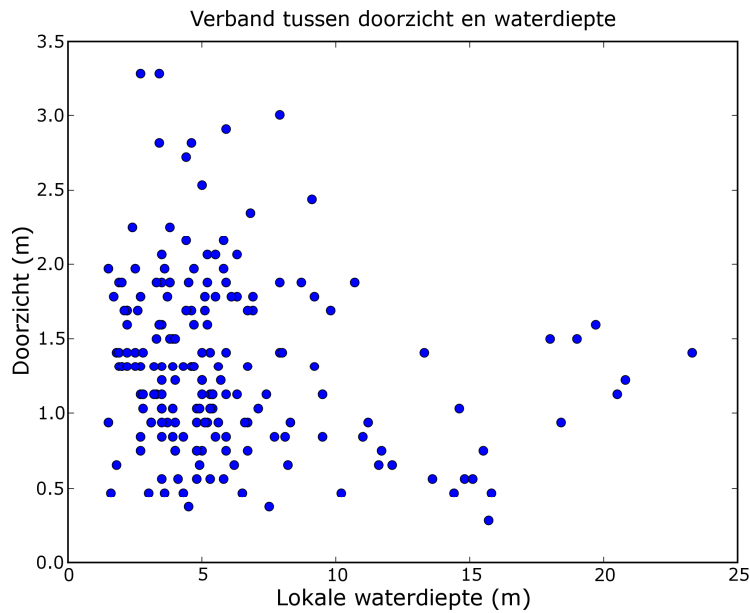
Mogelijk is er een relatie tussen de zichtdiepte en de actuele of lokale omgevingsfactoren. Dit zou betekenen dat deze parameters niet onafhankelijk van elkaar zijn. Echter, geen significante lineaire regressie werd gevonden voor de relaties tussen doorzicht en windsnelheid, doorzicht en golfhoogte en doorzicht en waterdiepte, zie onderstaande figuren.



Figuur 10. Het verband tussen doorzicht en windsnelheid.



Figuur 11. Het verband tussen doorzicht en golfhoogte.

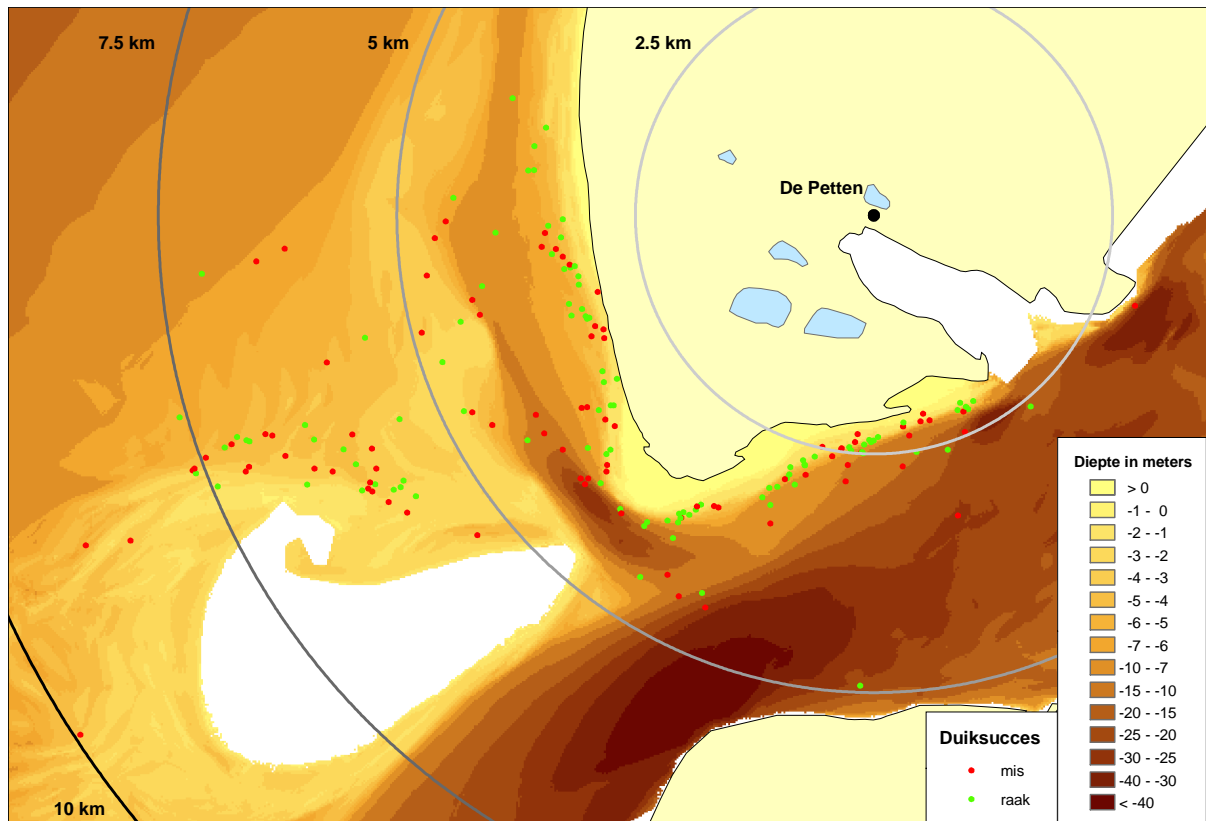


Figuur 12. Verband tussen doorzicht en waterdiepte.

Foerageerhabitat

De Grote Sterns van De Petten kennen een aantal favoriete foerageerplekken. Het ondiepe kustgebied ten zuiden van De Hors wordt benut om te foerageren. Ook de westrand van De Hors tot aan Rijksstrandpaal 10 wordt gebruikt. Verder noordelijk is door ons niet gevaren.

De Waddenzee vanaf de Mokbaai verder oostwaarts is minder favoriet en wordt alleen benut voor het gedeelte van de veerhaven tot aan de NIOZ haven. Bij de Razende Bol wordt vooral gefoerageerd aan de noordzijde, in het ondiepe water waar de Razende Bol een inham kent.



Figuur 13. Locaties van geprotocolleerde Grote Stern duiken. Cirkels geven de vliegafstanden aan vanaf de kolonie.

Figuur 13 geeft de geografische posities van de 189 geprotocolleerde duiken geplot op een dieptekaart. Deze figuur geeft geen statistisch correct beeld van de voorkeursgebieden van de Grote Sterns van De Petten, aangezien de meetinspanning niet ruimtelijk homogeen verdeeld was, en omdat er niet is gecorrigeerd voor de meetinspanning door middel van gewogen interpolatietechnieken. Toch is een interpretatie te geven voor het gebied rondom de Hors, waar de meetinspanning groot was. Hier blijkt de aanwezigheid het grootst te zijn in de ondiepe kustzone.

Op de Razende Bol is een ondiepe baai aanwezig waar soms grote aantallen Grote Sterns verblijven en foerageren, zie Figuur 14. Het is onmogelijk om in deze baai per schip metingen te verrichten. Bovendien is het water zo ondiep dat er veelal sprake zal zijn van bodemzicht. Een ander voorkeurshabitat betreft net ondergelopen zandbanken. Kennelijk zijn deze rijk aan vis (zandspiering) en is het daar makkelijk vangen, zie Figuur 15. Ook deze zandbanken zijn onbereikbaar en liggen te ver weg voor goede waarnemingen.

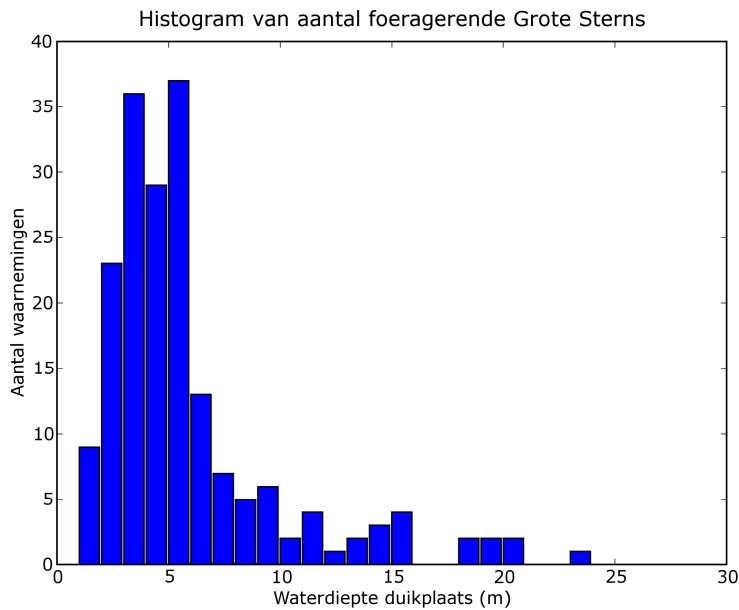


Figuur 14. Ondiepe baai op de Razende Bol (midden foto) met daarvoor 112 rustende Grote Sterns (foto Rutgert Oosterhuis).



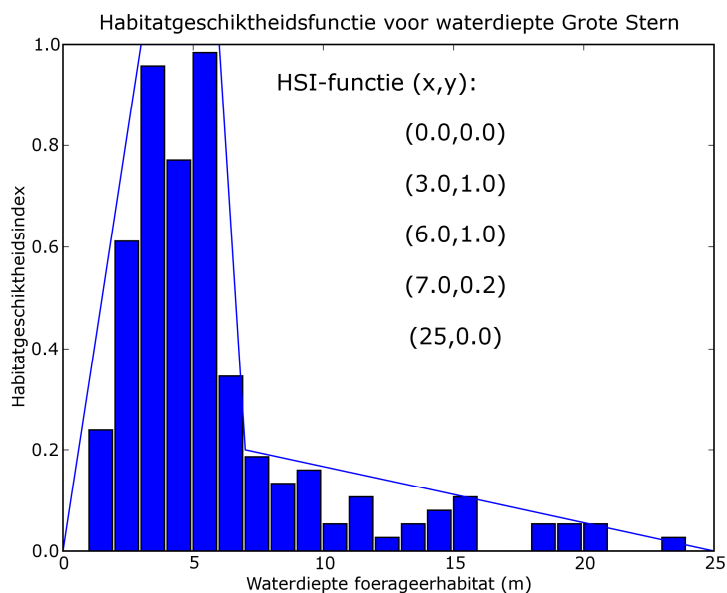
Figuur 15. Foeragerende Grote Sterns (12 exemplaren) en Kleine Mantelmeeuwen boven een ondergelopen zandbank (foto Rutgert Oosterhuis).

Van iedere duiklocatie is de waterdiepte gemeten. Uit Figuur 16 kan bepaald worden dat de meeste foeragerende Grote Sterns zijn waargenomen in waterdieptes tussen 3 m en 6 m. Vergelijking met Figuur 13 laat zien dat er niet bepaald een tekort is aan dieper of ondieper water in de nabijheid van hun foerageerhabitat. Grote Sterns hebben een duidelijke voorkeur voor ondiep kustwater. Vanwege de onderzoeksmethodiek, waarin wordt gevaren met een schip, zijn de echt ondiepe gedeelten (< 1 m waterdiepte) niet toegankelijk. Observaties wijzen echter uit dat hier ook wordt gefoerageerd, zie bovenstaand. Aan de andere kant wijzen onze observaties uit dat Grote Sterns een voorkeur hebben voor dieper water dan bv. Visdief/Noordse Stern en zeker Dwergsterns, die nabij de waterlijn foerageren.



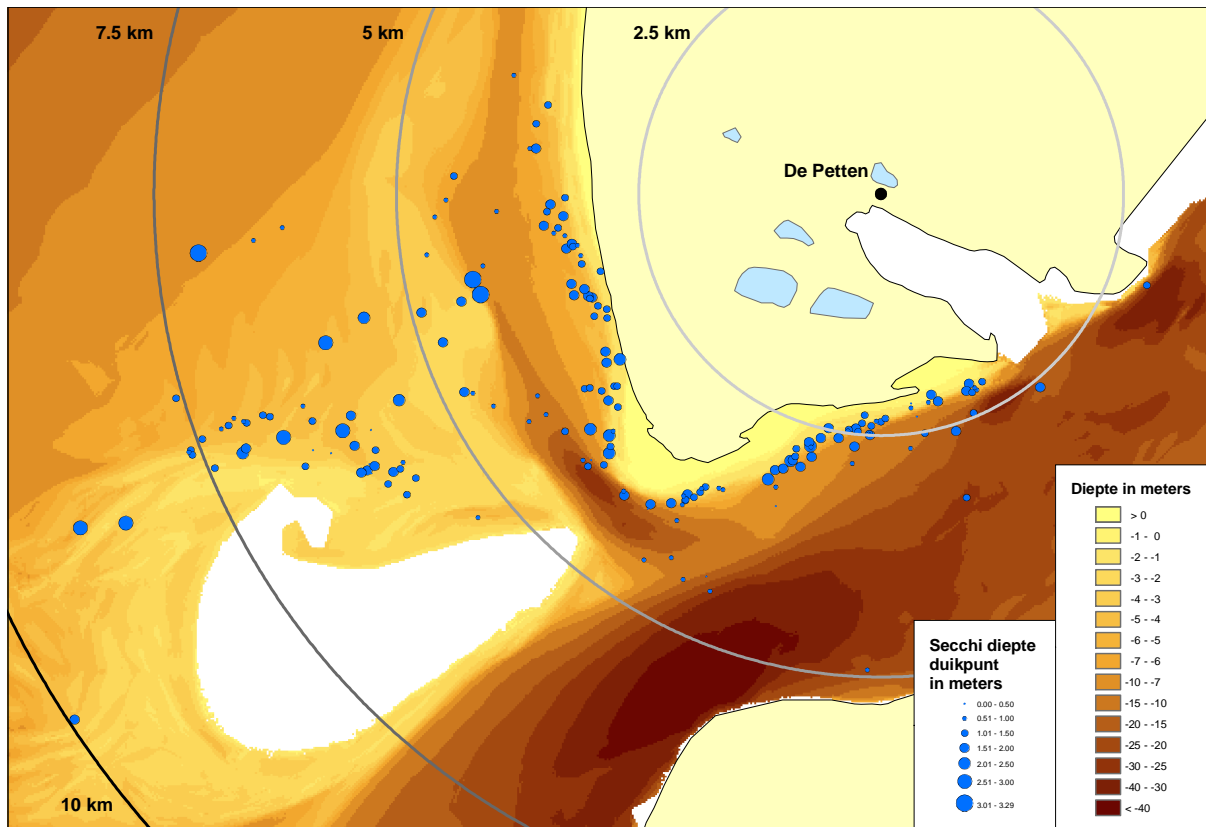
Figuur 16. Histogram, bins per 1.0 m, van aantal foeragerende Grote Sterns als functie van de waterdiepte op de duikplaats (m).

Uit Figuur 16 kan een habitatgeschiktheidsfunctie worden afgeleid voor het foerageerhabitat van de Grote Stern. De y-as wordt genormaliseerd tussen 0.0 en 1.0 en de waarnemingen worden gebruikt om een aantal breekpunten te definiëren voor een geschiktheidsfunctie, zie Figuur 17.



Figuur 17. Habitatgeschiktheidsfunctie voor waterdiepte foerageerhabitat Grote Stern.

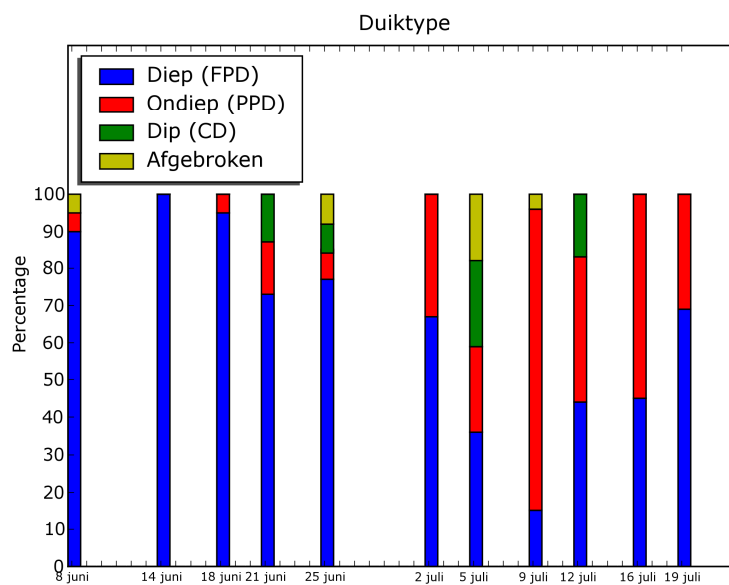
Tot slot geeft Figuur 18 de gemeten zichtdiepte voor alle duiklocaties. Hieruit komt geen duidelijke relatie met geografische positie of diepte (zie ook Figuur 12) naar voren.



Figuur 18. Zichtdiepte van alle duiklocaties.

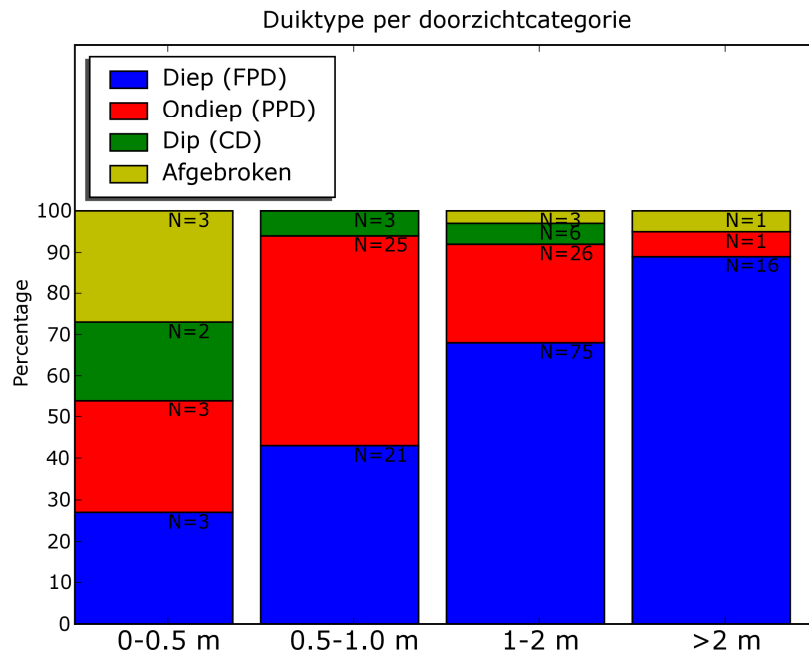
Duiktype

Van de 189 geprotocolleerde duiken is in 116 gevallen (61%) een “diepe duik, Full Plunge Dive (FPD)” gemaakt, in 55 gevallen (29%) een “ondiepe duik, Partial Plunge Dive (PPD)”, in 11 gevallen (6%) een “dip, Contact Dip (CD)” en in 7 gevallen (4%) is de duik wel ingezet maar “afgebroken”.



Figuur 19. Percentage duiktypen voor de meetdagen.

In de loop van de tijd lijkt er een trend gaande naar meer ondiepe duiken ten koste van diepe duiken, zie Figuur 19. Dit heeft vermoedelijk te maken met veranderende omstandigheden, zoals het doorzicht, dat in juli minder groot was dan in juni. Figuur 20 laat zien dat er een sterk effect is van het doorzicht op het duiktype. In troebeler water wordt de Diepe duik minder vaak gebruikt. Bij zeer troebel water wordt het duiktype Dip vaker toegepast en wordt een ingezette duik ook vaker Afgebroken.



Figuur 20. Percentage duiktype voor vier doorzichtcategorieën. Afkortingen volgens Taylor (1983).

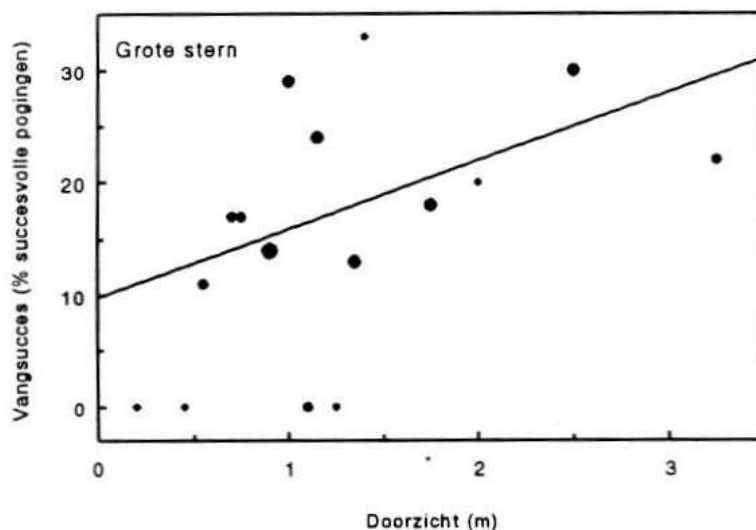
4. Discussie

Vangstsucces en zichtdiepte

Stienen *et al.* (1993), Stienen en Brenninkmeijer (1994) en Brenninkmeijer *et al.* (2002a) deden onderzoek naar het foerageersucces van overwinterende sterns, waaronder Grote Stern, in Guinée-Bissau. Hiervoor zijn het gemiddelde vissucces (het aantal gevangen vissen per uur), het vangstsucces (het percentage geslaagde duiken) en de duikfrequentie (het aantal duiken per uur) bepaald. Ze vonden voor de Grote Stern bij groter doorzicht een significant hoger vangstsucces, volgens een lineaire regressie:

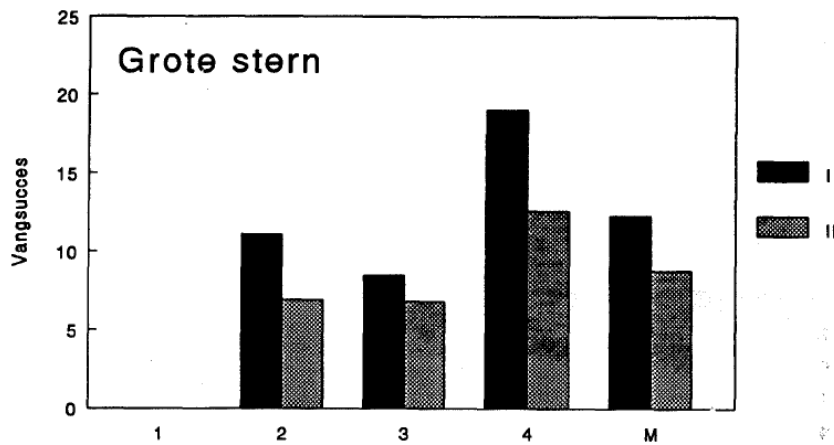
$$Y = 0,09816 + 0,06072X$$

waarin Y is het vangstsucces (%) en X is het doorzicht (m), zie Figuur 21.

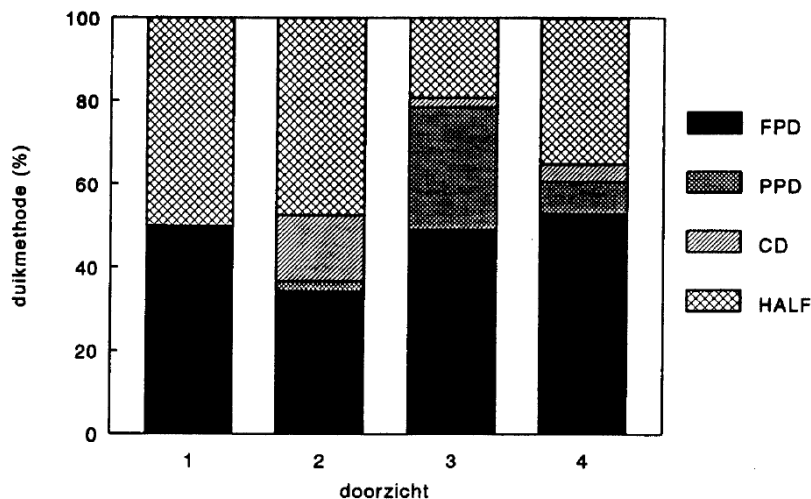


Figuur 21. Vangstsuccesfunctie uit Stienen en Brenninkmeijer, 1994. De grootte van de stippen geeft het aantal waarnemingsminuten weer in de categorieën 5-14 min, 15-29 min, 30-59 min en > 60 min.

Stienen *et al.* (1993) geven het vangstsucces en duiktype voor verschillende doorzichtcategorieën. In deze studie is, net als in onze studie, de “afgebroken duik” geregistreerd, die zij “halve duik” noemen. Hun resultaten voor de relaties tussen doorzicht en vangstsucces en doorzicht en duiktype zijn gepresenteerd in Figuur 22 en Figuur 23. Zij vonden hiervoor geen statistisch significante verbanden.



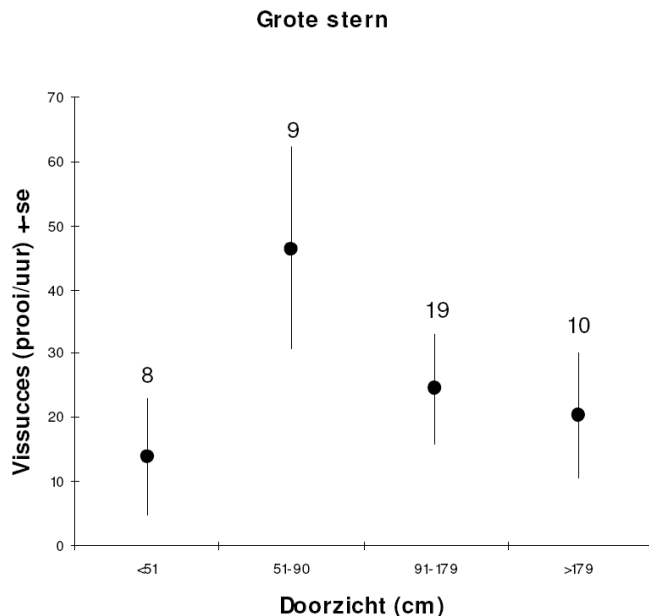
Figuur 22. Vangstsucces uit Stienen *et al.*, 1993 voor vijf doorzichtscategorieën, exclusief (I) en inclusief (II) afgebroken duiken (1 = 0,0-0,25 m, 2 = 0,25-0,50 m, 3 = 0,50-1,0 m, 4 = > 1,0m, M = gemiddeld).



Figuur 23. Duiktype uit Stienen *et al.*, 1993 voor vier doorzichtscategorieën (1 = 0,0-0,25 m, 2 = 0,25-0,50 m, 3 = 0,50-1,0 m, 4 = > 1,0m).

Stienen en Brenninkmeijer (1994) vonden een gemiddeld vangstsucces van 12%. Hun waarnemingen kwamen overeen met die van Dunn (1972a), die vangstsuccespercentages van 13% en 17% vond voor respectievelijk juveniele en adulte Grote Sterns in Sierra Leone. Deze percentages zijn een stuk lager dan het gemiddelde gevonden in onze studie (54%). Ons resultaat komt overeen met het onderzoek van Taylor (1983) aan de Schotse oostkust tijdens het broedseizoen. Hij vond een gemiddeld vangstsucces voor Grote Sterns van ongeveer 46%. Het lage vangstsucces in Sierra Leone suggereert dat het vangen van vis in de overwinteringsgebieden lastiger is, maar het komt waarschijnlijk doordat de sterns een groot voedselaanbod hebben en vaker pogingen doen. Het gemiddelde vissucces van 8,5 vissen per uur is op een normaal niveau (Stienen *et al.*, 1993).

Brenninkmeijer *et al.*, 2002b onderzochten in de Westerschelde de relatie tussen foerageersucces en doorzicht. Het foerageersucces van de Grote Stern was in troebel water (Secchidiepte <0,5 m) niet significant lager dan in helderder water (Secchidiepte >0,5 m). Zij vonden een gemiddeld vangstsucces van 27%.



Figuur 24. Vissucces (in aantal prooien per uur) van Grote Sterns in de Westerschelde voor verschillende doorzichtcategorieën, uit Brenninkmeijer *et al.*, 2002b.

Stienen en Brenninkmeijer (1997) onderzochten foeragerende Grote Sterns nabij Griend. Ze vonden dat het aantal sterns dat rondom het onderzoeksschip foerageerde geen duidelijk verband vertoonde met de lokale troebelheid van het water. Wel vonden ze dat vrijwel alle waarnemingen van foeragerende sterns betrekking hadden op een doorzicht van 1 tot 1,75 m, met de hoogste aantallen bij 1 tot 1,25 m. In water tot 1 m doorzicht werden geen foeragerende sterns waargenomen en in water met een doorzicht groter dan 1,75 is in slechts 1 geval een groep foeragerende sterns aangetroffen. In onze studie werden foeragerende Grote Sterns aangetroffen over een bredere range van zichtdieptes, maar voornamelijk tussen 0,75 m en 2,0 m. Wij vonden geen duidelijke piek bij een zichtdiepte van 1,0 m tot 1,25 m, zie Figuur 7.

Een in MER-studies vaak aangehaalde studie is die van Henkel (2006). Hij onderzocht onder andere de Forsters Stern (*Sterna forsteri*) in Monterey Bay, Californië. Deze stern is meer te vergelijken met een Visdief dan met een Grote Stern, qua duikgedrag en foerageerhabitat. Henkel vond een significant groter aandeel Forsters Sterns in troebeler water, wat bij hem een doorzicht kleiner dan 3,0 m betekent, dus dit is niet relevant voor de Nederlandse kustzone.

De door ons gevonden afname van het vangstsucces met toenemend doorzicht kan mogelijk verklaard worden door de afnemende beschikbaarheid van prooivis. Stienen en Brenninkmeijer (1997), later samengevat in Stienen (2006) en Stienen *et al.* (2000), geven als onderbouwing een verband tussen het doorzicht en het voorkomen van haring-achtigen en zandspiering-achtigen in de bovenste 2 m. De visbemonstering is uitgevoerd in de Vliestroom met een Isaac's Kidd Midwater Trawl net. Meer vis werd gevangen in troebeler water. Een soortgelijk resultaat werd gevonden voor Spiering in het IJsselmeer door Mous (2000).

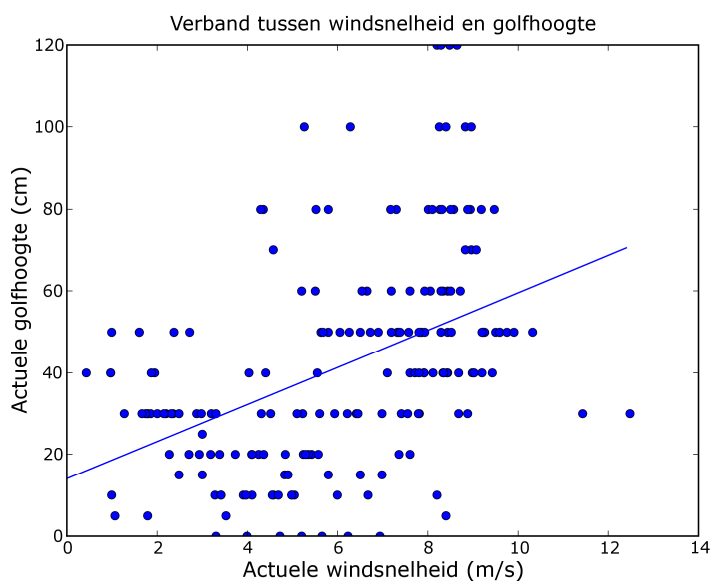
Vangstsucces, windsnelheid en golfhoogte

Eerdere studies laten zien dat het foerageersucces van Grote Sterns niet alleen wordt beïnvloed door zichtdiepte, maar ook door windsnelheid en golfcondities. Dunn (1972b, 1973) vond een *toenemend* succes met toenemende windsnelheid in de range van 0.5 – 7.0 m/s. Ook was er een toenemend succes met gematigde golfcondities (kleine windgolven) vergeleken met een kalme zee (oppervlakte vlak of kleine ribbels). Hij verklaart dit enerzijds

doordat de vis bij een vlakke zee beter in staat is de predator te zien terwijl deze bovendien meer zijn best moet doen om stilstaand in de lucht te hangen. Anderzijds is de reflectie van een vlakke zee beperkend voor het zicht. Taylor (1983) vond een *afname* in vangstsucces van Grote Sterns bij windsnelheden in de range van 3 - 16 m/s. Hij veronderstelt dat de toenemende golfhoogte hierbij ook een rol speelt. Stienen *et al.* (2000) en Stienen (2006) rapporteren een *toenemend* transport van vis (g kuiken¹ uur⁻¹) naar de broedkolonie van Griend bij windsnelheden oplopend tot 8 m/s en vervolgens een *afname* die sterker wordt vanaf 14 m/s. In onze studie vinden we geen significant effect van windsnelheid in de range van 0 tot 12,5 m/s en ook niet voor golfhoogte in de range van 0 tot 120 cm.

Interessant zijn ook de waarnemingen aan het vangstsucces van Dunn (1973), die in 1968 en 1969 onderzoek deed naar de relatie met windsnelheid en golfcondities in Northumberland, Engeland. In 1968 vond hij een vangstsucces van 11,0% en 16,8% voor respectievelijk een kalme zee en een gematigde zee, terwijl hij in 1969 respectievelijk 35,7% en 57,7% succes waarnam. Een verklaring voor de verschillen tussen de jaren wordt niet gegeven.

Golfhoogte en windsnelheid kunnen gecorreleerd zijn, maar wij vonden slechts een zwak lineair verband tussen de actuele windsnelheid en de actuele golfhoogte (Figuur 25):
 $Y = 14 + 4,55X$ met $R^2 = 0,20$ en $P = 0,11$.



Figuur 25. Verband tussen windsnelheid en golfhoogte.

Foutendiscussie

Er is in deze studie niet gemeten in hoeverre de door ons gebruikte boei met 0,5 m ketting daadwerkelijk het stromingspatroon met de juiste snelheid volgt. Dit kan bijvoorbeeld worden uitgevoerd door een stroomsnelheidsmeter te bevestigen aan de boei. Theoretisch zou de stroomsnelheid 0,0 m/s moeten zijn wanneer de boei exact meebeweegt met het water. In de praktijk zijn er natuurlijk turbulente schommelingen die de boei door zijn grootte en massa traagheid niet kan volgen.

De windgevoeligheid van de boei is beperkt door het gebruik van de ketting. Er is door ons waargenomen dat bij harde wind en hoge golven de boei verwaait. Echter, het is in deze omstandigheden ook aannemelijk dat het bovenste deel van de waterkolom door de windwrijving is aangedreven en een wind- en golfgedreven stroming

kent. Waarnemingen aan het gedrag van de boei in een stroomnaad wijzen uit dat deze stroomnaad nauwkeurig wordt gevolgd.

In deze studie is gewerkt met een team van wisselende waarnemers, zie Tabel 1. Er is systematisch voor gezorgd dat meer ervaren waarnemers de onervaren waarnemers inwerken in de protocollen. Echter, het gebruik van verschillende waarnemers kan de resultaten beïnvloeden doordat de ene waarnemer anders beoordeelt dan de andere waarnemer. We noemen dit de *waarnemersfout*. Deze fout wordt dus gemaakt bovenop afleesfouten, of een andere meetfouten; het gaat hier specifiek om het feit dat er meer waarnemers zijn ingezet voor deze studie.

Wij verwachten dat de waarnemersfout in de Secchidiepte niet erg groot is. Een secchidiepte meting is robuust, in die zin dat de methode duidelijk is, de meting voorzichtig en steeds opnieuw uitgevoerd kan worden tot het correct is en dat verschillende waarnemers tot dezelfde resultaten komen. Dit laatste is enkele malen in wisselende samenstelling getoetst.

Tijdens de waarnemingen werd de actuele golfhoogte genoteerd. Het schatten van golfhoogtes is niet eenvoudig, aangezien er een spectrum van kleine, grote, lange (deining) en korte golven aanwezig is. Een bepaling van de significante golfhoogte - de gemiddelde hoogte van de hoogste 33% van de waargenomen golven - is voor ongetrainde waarnemers niet eenvoudig. De schattingen van de golfhoogte zijn in veel gevallen geverifieerd aan de schatting van de schipper, Rutger Oosterhuis. Dit betekent dat er een geringe waarnemersfout is gemaakt aangezien praktisch gezien de golfhoogte is geschat door één waarnemer.

Het tellen van de groeps grootte van de foeragerende sterns heeft slechts een kleine waarnemersfout omdat de groepen in de regel klein waren.

Het waarnemen van het vangstsucces, duikgedrag, prooi soort en prooilengte is in deze volgorde in toenemende mate moeilijker. Deze waarnemingen moeten in één keer goed uitgevoerd worden; een tweede kans is er niet. In de meeste gevallen is het duidelijk of er een prooi gevangen is of niet. Moeilijke omstandigheden zijn wanneer de Grote Stern met de rug naar de waarnemers uit het water opvliegt (tegen de wind in) en wanneer de Grote Stern de prooi snel zelf opeet.

Het categoriseren van het duiktype kan leiden tot waarnemersfouten, omdat het onderscheid niet altijd even duidelijk is. Vooral het verschil tussen een “diepe duik” en een “ondiepe duik” is soms lastig te maken en waarnemers kunnen hier een eigen interpretatie aan geven. De duiktypen “contact dip” en “afgebroken” zijn meer onderscheidende typen.

Het beschrijven van de prooi soort en prooilengte is uitermate lastig. In veel gevallen werd de prooi zelf opgegeten, zodat de waarneemtijd kort is. Het schommelen van de boot als gevolg van golven bemoeilijkt deze waarneming (met de verrekijker) nog meer. Vooral de schattingen van de vislengte hebben een grote meeton nauwkeurigheid, vermoedelijk enkele centimeters en hier is mogelijk een grote waarnemersfout. Dit vermoeden is met name sterk wanneer Figuur 29 nader wordt geanalyseerd: de vislengtes van de eerste drie waarneemdagen zijn langer dan van de overige dagen en op deze dagen was één en dezelfde persoon de waarnemer van de vislengtes.

Tot slot is er een mogelijke beïnvloeding van de resultaten door verstoring of aantrekking van ons onderzoeksschip. Hiervoor is tijdens de waarnemingen echter geen enkele aanwijzing gevonden.

Aanbevelingen voor onderzoek

Om een beter gefundeerde uitspraak te doen over het *vangstsucces* van Grote Sterns is aanvullend onderzoek noodzakelijk met betrekking tot de prooivissen. De prooivissen van Grote Sterns kennen een dagritmiek van verticale migratie. Het vangstsucces (vangstfrequentie, prooi keuze, lengte van de prooi) wordt onder andere bepaald door het aanbod van prooivis, naast de eerder genoemde fysische factoren waarbij met name doorzicht en windkracht van belang zijn. Aangezien de Grote Sterns afhankelijk zijn van vis in de bovenste waterlaag (maximaal 2 meter diep) is nader onderzoek naar de aanwezigheid van prooivissen in relatie tot slibpluimen sterk

aan te bevelen. Het vangstsucces hangt mogelijk in belangrijke mate samen met het gedrag van de prooivis in plaats van de (on)mogelijkheid van zichtjagen. Wij denken dat het vangen van vis in de bovenste 2 m van de waterkolom een belangrijke aanvulling kan zijn op het hier uitgevoerde onderzoek, in aanvulling op het onderzoek van Stienen en Brenninkmeijer (1997). Wageningen IMARES heeft hiervoor het Surface and Under Ice Trawl (SUIT) net ontwikkeld dat zich speciaal op de bovenste waterlaag richt. Hiermee kan de aanwezigheid van pelagische prooivis in relatie tot omgevingsfactoren onderzocht worden.

In deze studie werd onderzoek gedaan naar het *vangstsucces* van adulte Grote Sterns in hun foerageergebied, in de kuikenperiode. Het vangstsucces alleen is nog niet voldoende om een uitspraak te kunnen doen over het succesvol voeden van de jonge vogels. Om het werkelijke *broedsucces* van Grote Sterns te bepalen is aanvullend onderzoek noodzakelijk in de broedkolonie. Kleptoparasitisme is een bekende beperkende factor voor het foerageersucces en hangt onder andere ook samen met de windkracht (Stienen, 2006). Nader onderzoek zal moeten plaatsvinden om het daadwerkelijke broedsucces te kunnen vaststellen, hetgeen van meer aanvullende factoren belangrijk is, zoals de groeisnelheid van de kuikens en de afstand tot het foerageergebied, naast de factor voedselstress. Een recente studie van Stienen *et al.* (2007) wijst uit dat voor het succesvol opgroeien van kuikens een spectrum aan prooidierlengtes van klein (5-6 cm haring-achtigen voor net uitgekomen kuikens) tot groot (>10 cm voor bijna vliegvlugge jongen) beschikbaar moet zijn. Wanneer in het aanbod een bepaalde grootte-klasse mist is dit beperkend voor het opgroeien van de kuikens.

Mogelijk is een beperking van het doorzicht in het foerageergebied, in samenhang met kleptoparasitisme en andere factoren, door een vergrote voedselstress beperkend in het broedsucces van de kolonie. De doorwerking van vangstsucces naar broedsucces is niet onderzocht in deze studie.

Het broedsucces kan verder ook samenhangen met zaken die buiten de waarnemingen liggen. Los van zaken die in de kolonie spelen (bijv. predatie) kan hiervoor deels gecorrigeerd worden door de groeisnelheid van de kuikens als maat te nemen. Dan blijven echter nog over:

- elders foerageren (op te lossen door telemetrie en waarnemingen aan vliegrichting t.o.v. kolonie);
- op andere tijden foerageren. Zo is er door Stienen *et al.*, (2007) vastgesteld dat Grote Sterns aanzienlijke aantallen wormen (*Nereis virens*) kunnen eten, maar dit is zelden door directe waarnemingen aan foeragerende vogels vastgesteld. Onderzoek aan prooiersten in faeces in de kolonie kan uitwijzen of er behalve haring-achtigen en zandspiering-achtigen ook andere prooien zijn aangevoerd (zoals bijv. Ansjovis).

5. Conclusie en doorwerking naar effecten van zandwinning

De onderzoeksvraag van deze opdracht luidde:

Wat is het verband tussen het vangstsucces van Grote Sterns en de zichtdiepte van het water?

Uit studie van Grote Sterns die foerageren in de broedtijd nabij de kolonie van De Petten, Texel, volgt dat het vangstsucces (de kans op het vangen van een proovis) significant wordt beïnvloed door de troebelheid van het water. Er is een optimale zichtdiepte van ongeveer 1,75 m (met een range van 1,5 – 2,0 m) waarbij de kans op het vangen van een proovis ongeveer 60% is. Wanneer activiteiten zoals zandwinning plaatsvinden in water met een zichtdiepte tot 1,75 m en de zichtdiepte vermindert, dan betekent dit een *verslechtering* van de kans op succes tot ongeveer 30% bij een zichtdiepte van 0,4 m. Wanneer activiteiten plaatsvinden in water met een zichtdiepte vanaf 1,75 m en de zichtdiepte vermindert, dan betekent dit een *verbetering* van de kans op succes van minimaal 25% in water met een zichtdiepte van ongeveer 3,2 m tot 63% bij een zichtdiepte van 1,75 m.

De bovenstaande relatie is niet lineair, maar wordt gegeven door een logistische curve, zie Tabel 2:

$$p(x) = \frac{\exp(-1,48 + 2,33x - 0,67x^2)}{1 + \exp(-1,48 + 2,33x - 0,67x^2)}$$

waarin x is de zichtdiepte in meters, gemeten met een secchi-schijf, en $p(x)$ is de kans op het vangen van een proovis.

Vangstsucces en zwevend stofgehalte

Voor een doorwerking naar de mogelijke effecten van zandwinning kunnen de resultaten voor de doorzichtmetingen worden omgerekend naar een concentratie zwevend stof in het water. Eerst is een omrekening van Secchi-diepte naar een extinctiecoëfficiënt nodig. De extinctiecoëfficiënt is een maat voor de uitdoving van licht in het water volgens de wet van Lambert-Beer. Voor de zuidelijke Noordzee is deze relatie empirisch bepaald op (Visser, 1970):

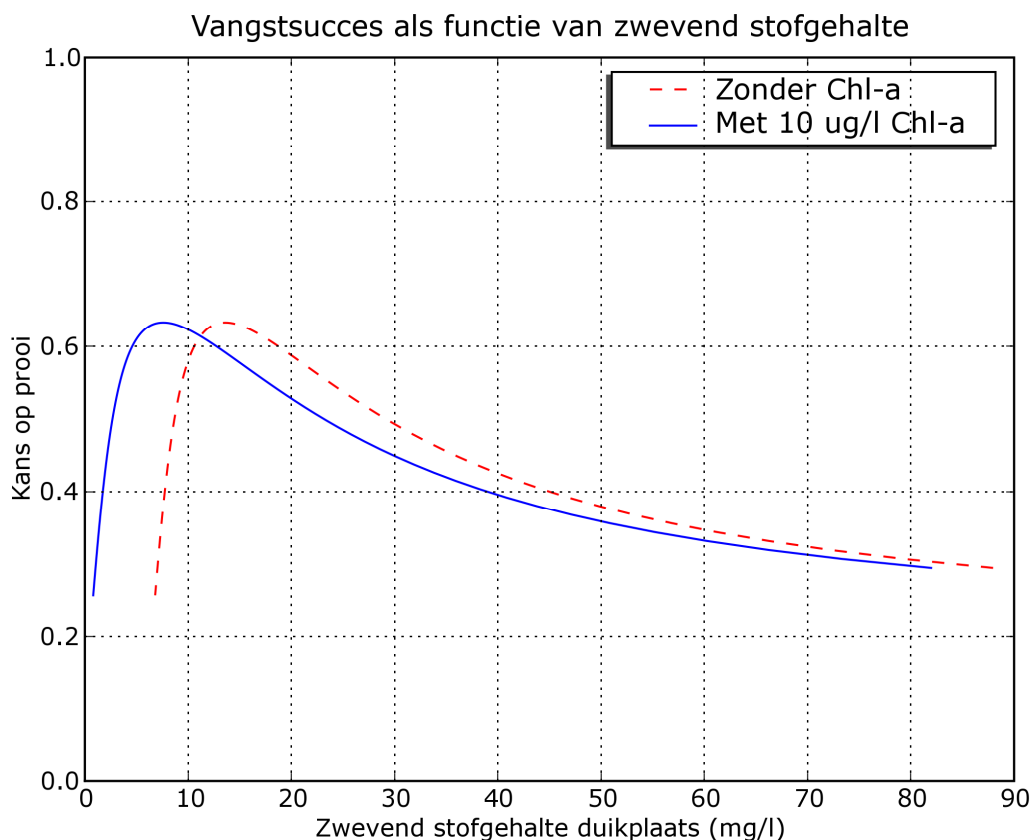
$$K_D = \frac{1,25}{S}$$

waarin K_D is de extinctiecoëfficiënt (m^{-1}) en S is de Secchi-diepte (m).

Vervolgens is een omrekening van een extinctiecoëfficiënt naar een zwevend slibgehalte nodig. Hiervoor is een empirische relatie gegeven voor de Nederlandse kustzone door Suijlen & Duin (2001):

$$K_D = 0,05[TSM] + 0,03[CHL] + 0,04$$

waarin [TSM] is de concentratie Total Suspended Matter (mg/l) en [CHL] is de concentratie chlorofyl als maat voor de algenconcentratie ($\mu g/l$). De extinctie wordt hierin dus bepaald door een achtergrondextinctie (0,04) en de concentraties zwevend stof en algen. Figuur 26 presenteert twee curven voor het vangstsucces als functie van het lokale zwevend stofgehalte. Eén curve is gegeven voor water zonder algen en één curve is gegeven voor water met daarin een zomergemiddelde concentratie van $10 \mu g/l$ chlorofyl.



Figuur 26. Vangstsuccescurve als functie van het slibgehalte op de duikplaats in zee water met algen (doorgetrokken blauwe lijn) en zonder algen (gestippelde rode lijn).

Een zomergemiddelde concentratie van zwevend stof voor de Nederlandse kustzone nabij de -20m NAP lijn ligt tussen de 5 en 10 mg/l (Suijlen & Duin, 2001). Onder omstandigheden van een zomergemiddelde concentratie algen resulteert dit nabij het optimale doorzicht voor Grote Sterns.

Figuur 26 kan gebruikt worden om in te schatten wat het effect is van een toename van het zwevend stofgehalte op het vangstsucces van Grote Sterns. De *near-field* effecten rondom een zandwinlokatie (orde grootte honderden meters) resulteren in een lokale toename van 6-8 mg/l (Boon et al., 2006a). Bij een achtergrondconcentratie van 5 mg/l is het effect neutraal en blijft het succes 60-61%. Bij een achtergrondconcentratie van 10 mg/l is het effect een afname van 62% naar 55-57%.

De *far-field* effecten (orde grootte 10 x 10 km) resulteren in een toename van 1 mg/l (Boon et al., 2006a). Bij een achtergrondconcentratie van 5 mg/l is het effect een verbetering van het vangstsucces van 61% naar 63%. Bij een achtergrondconcentratie van 10 mg/l is het effect een afname van 62% naar 61%.

In water met zeer lage zwevend stofgehaltes impliceert Figuur 26 een verbetertraject van 25% vangstsucces bij 0,8 mg/l zwevend stof naar maximaal 63% bij 7,5 mg/l.

Hoe relevant is een afname van het vangstsucces door zandwinning?

Stienen *et al.* (2000) vonden in de kolonie van Griend een gemiddelde aanvoer van ongeveer 10 prooien per dag voor het eerste jong, ongeacht de leeftijd van het jong. Het tweede jong kreeg minder dan 3 prooien per dag. Van de vis die naar de kolonie werd gebracht werd ongeveer 70% gegeten (de rest werd geroofd of ging verloren). Om één jong groot te brengen moeten dus 14 vissen per dag aangevoerd worden.

Grote Sterns hebben een vliegsnelheid van 9-15 m/s, afhankelijk van meewind, zijwind of tegenwind (Wakeling & Hodgson, 1992). Deze snelheden zijn door ons bevestigd. Wanneer we met 20 knopen (ongeveer 10 m/s) vliegende Grote Sterns probeerden te achtervolgen konden we ze vaak niet bijhouden. Tijdens het foerageren vliegen Grote Sterns langzamer, namelijk 6,8 m/s (Stienen *et al.*, 1993). In onze studie zat de hoge dichtheid Grote Sterns op maximaal 7,5 km afstand van de kolonie, Figuur 13. Het afleggen van 7,5 km afstand bij 10 m/s kost ongeveer 12,5 minuten.

Gesteld dat een oudervogel 7 prooien per dag naar een jong brengt (en de andere ouder de andere 7), dan is een oudervogel per dag ongeveer 3 uur vliegtijd kwijt van en naar de kolonie voor het jong in het nest. De resterende 15 uur daglicht moet worden benut voor het vinden van de benodigde prooien voor het jong en voor eigen consumptie en voor rusten en op het nest passen.

Brenninkmeijer *et al.* (2002a) geven een nauwkeurige berekening van de energiebehoefte van sterns gebaseerd op hun *basale metabolische verbranding* (BMR). Zij stellen de maximaal benodigde hoeveelheid energie per dag op $3 \times \text{BMR}$ (kJ/h). Dit geldt voor een situatie met 10 uur vliegen en 14 uur rusten. Een Grote Stern heeft een BMR van 3,55 kJ/h, dus het moet minimaal 10,7 kJ/h, of 257 kJ/dag vangen om in leven te blijven. Hieraan kan worden voldaan door het eten van gemiddeld 52,5 g vis per dag. Dit zijn omgerekend 7,5 (kleine) vissen van 7 g per stuk. Opmerkelijk is dat werd waargenomen dat ze tijdens foerageren 8 vissen van 7 g per stuk vangen in één uur tijd en daarmee dus genoeg hebben voor een dag.

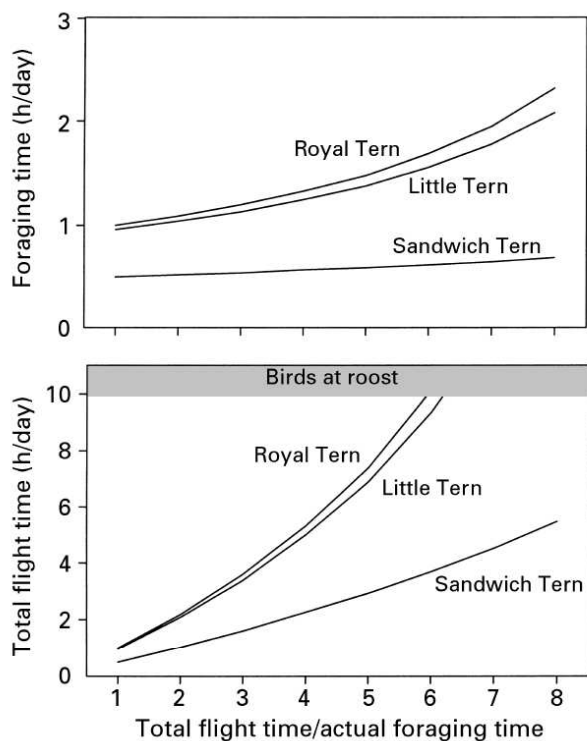
Een Grote Stern tijdens de broedtijd zal gebaseerd op bovenstaande gegevens 15 vissen per dag moeten vangen. Op onze breedtegraad is de daglengte 's zomers zo'n 15 uur. Gesteld dat een sternpaar de taken gelijk verdeelt, dan moet iedere Grote Stern 2 vissen per uur vangen.

Wanneer een Grote Stern een prooivis heeft gelokaliseerd en besluit een duik in te zetten is het door ons gemeten maximale vangstsucces 63%. Met andere woorden, de *verwachtingswaarde* is dat een stern na 1,6 duik een vis te pakken heeft. In zeer helder of zeer troebel water is de verwachtingswaarde ongeveer 4 duiken (bij een vangstsucces van 25%). Gegeven de behoefte aan 2 prooien per uur volgt dat onder ongunstige omstandigheden een stern 8 duiken per uur moet maken. Brenninkmeijer *et al.* (2002b) namen waar dat Grote Sterns in de Westerschelde tot 77 duiken per uur maken wanneer ze foerageren. Dat is dus ruim boven het noodzakelijke bij moeilijke omstandigheden. Een hoge duikfrequentie impliceert overigens dat er veel vis beschikbaar is en waarschijnlijk hoeven de sterns niet lang te zoeken om in hun voedselbehoefte te voorzien.

Het effect van een zandwinning op het doorzicht resulteert in een maximale theoretische afname in het vangstsucces van 63% bij 7,5 mg/l naar 57% bij 15,5 mg/l (near-field toename van 8 mg/l). Dit betekent dat de verwachtingswaarde stijgt van 1,6 duiken per prooi naar 1,75 duiken per prooi. Dus om in de voedselbehoefte van 2 prooien per uur te voorzien moet de stern 0,3 duiken per uur extra maken. Vergeleken met een duikfrequentie van 77 duiken per uur is deze verslechtering niet wezenlijk.

In bovenstaande analyse is het effect van een vergrote zoektijd niet meegenomen. De tijd die een Grote Stern spendeert met het zoeken naar een school vis kan een beperkende factor worden. Wanneer het water troebeler wordt door zandwinning kan dit een effect hebben op de zoektijd. Brenninkmeijer *et al.* (2002a) berekenden op basis van energiebudgetten dat overwinterende Grote Sterns in Guinee-Bissau kunnen overleven met een zoektijd van ongeveer 5 uur tegen een foerageertijd van ongeveer 0,6 uur, Figuur 27. Dit model is niet zondermeer toepasbaar op de broedperiode in Nederland, maar gezien de grote actieradius van Grote Sterns is het niet waarschijnlijk dat Grote Sterns wezenlijk worden bekort in hun zoektijd wanneer de slibconcentratie met 8 mg/l

toeneemt in een klein gebied rondom een zandwinning, of met 1 mg/l toeneemt in een groter gebied (10x10 km). Zenderstudie kan deze verwachting bevestigen of ontcrachten.



Figuur 27. Relatie tussen foerageertijd en totale vliegtijd voor Grote Stern (Sandwich Tern) in Guinee-Bissau, uit Brenninkmeijer *et al.* (2002a).

Voorbehoud

Een voorbehoud moet worden gemaakt ten aanzien van andere factoren die het vangstsucces mogelijk kunnen beïnvloeden, naast het doorzicht van het water. Het is niet uit te sluiten dat de proovis en/of de Grote Stern anders reageert op zandwinning. De resultaten die hier worden gepresenteerd gelden voor natuurlijke omstandigheden. Bij zandwinning kunnen andere effecten optreden:

- De proovis wordt mogelijk verjaagd door geluid of getril;
- De proovis reageert op de slibwolk, bijvoorbeeld doordat het slib dat aan de waterkolom wordt toegevoegd de zuurstofconcentratie verlaagt, de ijzersulfideconcentratie verhoogt of op andere manieren de waterkwaliteit verandert.
- De Grote Sterns reageren op verstoring nabij een zandwinning.

Anderzijds mag niet onvermeld blijven dat Grote Sterns, zeker in de broedperiode, vooral nabij de kust foerageren (en dus niet bij de -20 m dieptelijn waar zandwinning plaatsvindt). De effecten van zandwinning zijn vanuit dit gegeven niet groot.

Dankwoord

De auteurs van deze studie danken het NIOZ voor het lenen van hun Secchi-schijf. Ook danken zij schipper Rutger Oosterhuis van “Het Sop” voor de plezierige samenwerking en zijn bijdrage aan het onderzoek. Verder wordt IMARES-collega Erik Meesters bedankt voor de statistische uitwerking. En natuurlijk worden de IMARES-waarnemers Jenny Cremer, Jannes Heusinkveld, Martin de Jong, Cor Smit en Hans Verdaat heel hartelijk bedankt voor hun inzet om zoveel mogelijk Grote Sterns te protocolleren.

Referenties

- Ainley, D. G. (1977). Feeding methods in seabirds: a comparison of polar and tropical nesting communities in the eastern Pacific Ocean. In: Llano, G. A. (ed.) Adaptations within Antarctic ecosystems. Smithsonian Inst., Washington, D.C., p. 669-685
- Boon, A. R., G.W.R. Gerrits, M. van Ledden, J.M. Meulepas, M.C. de Vriend (2006a). MER winning suppletiezand Noordzee 2007 Achtergrondrapport, Royal Haskoning 29 september 2006
- Boon, A. R., G.W.R. Gerrits, M. van Ledden, J.M. Meulepas, M.C. de Vriend (2006b). MER winning suppletiezand Noordzee 2007 Hoofdrapport, Royal Haskoning 29 september 2006
- Brenninkmeijer, A., E.W.M. Stienen, M. Klaassen & M. Kersten (2002). Feeding ecology of wintering terns in Guinea-Bissau. *Ibis* 144: 602-613.
- Brenninkmeijer, A., G. Doeglas & J. de Fouw (2002). Foeragegedrag van sterns in de westelijke Westerschelde in 2002, Altenburg en Wymenga, A&W-rapport 346.
- Dunn, E.K. (1972a). Effect of age on the fishing ability of Sandwich Terns *Sterna sandvicensis*. *Ibis* 114: 360-366.
- Dunn, E.K. (1972b). Studies on terns, with particular reference to feeding ecology. Ph.D. thesis, Durham University, Durham.
- Dunn E.K. (1973). Changes in fishing ability of terns associated with windspeed and sea surface conditions. *Nature* 244: 520-521.
- Eriksson, M.O.G. (1985). Prey detectability for fish-eating birds in relation to fish density and water transparency. *Ornis Scand.* 16(1): 1-7.
- Haney, J.C. & A.E. Stone (1988). Seabird foraging tactics and water clarity: are plunge divers really in the clear? *Mar. Eco. Prog. Ser.* 49: 1-9.
- Henkel, L.A. (2006). Effect of water clarity on the distribution of marine birds in nearshore waters of Monterey Bay, California. *J. Field Ornithol.* 77(2): 151-156.
- Leopold, M.F. & M.J. Baptist (2007). De effecten van onderwaterzandsuppleties op het habitat van de Kustzee, Spisula en enkele beschermde soorten zeevogels. Wageningen IMARES rapport nr. C014/07, 62 p.
- Mous, P.J. (2000). Interactions between fisheries and birds in IJsselmeer, The Netherlands. Wageningen, Ponsen & Looijen. PhD Thesis Wageningen University, 213 p.
- Stienen E.W.M. (2006). Living with gulls : trading off food and predation in the Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*. Alterra scientific contributions 15, Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen, ISBN 90-367-2480-5.
- Stienen, E.W.M., A. Brenninkmeijer & C.E. Geschiere (1993). De relatie tussen de foerageermogelijkheden van de grote stern *Sterna sandvicensis* en het doorzicht van het water, alsmede de invloed van kleptoparasitisme door

de kokmeeuw *Larus ridibundus* op de visaanvoer en het broedsucces van de grote stern: voorlopige resultaten. IBN-DLO, DG-512.

Stienen, E.W.M. & A. Brenninkmeijer (1994). Voedseleecologie van de grote sterns (*Sterna sandvicensis*): onderzoek ter ondersteuning van een populatie-dynamisch model. IBN-DLO, IBN-rapport 120. 94 pp.

Stienen, E.W.M. & A. Brenninkmeijer (1997). Fluctuaties in de lokale voedselbeschikbaarheid in relatie tot de populatiedynamiek van de Grote Stern *Sterna sandvicensis*: resultaten 1995-1996. BEON project IBN 95 H 24. BEON rapport nr 97-1, 40 pp.

Stienen, E.W.M., P.W.M van Beers, A Brenninkmeijer, J.M.P.M. Habraken, M.H.J.E. Raaijmakers & P.G.M van Tienen (2000). Reflections of a specialist: patterns in food provisioning and foraging conditions in Sandwich Terns *Sterna sandvicensis*. *Ardea* 88: 33-49.

Stienen, E.W.M., W. Courtens & M. van de Walle (2007). Population dynamics of gulls and terns. In: Vincx, M., E. Kuijken & F. Volckaert (Eds.). Higher trophic levels in the southern North Sea (TROPHOS). Belgian Science Policy.

Suijlen, J.M. & R.N.M. Duin (2001). Variability of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea; Climatological study on the suspended matter concentrations in the North Sea. Rijkswaterstaat Report RIKZ/OS/2001.150X

Taylor, I.R. (1983). Effect of wind on the foraging behaviour of Common and Sandwich Terns. *Omis scandinavica* 14: 90-96. doi:10.2307/3676011.

Ter Braak, C.J.F. & C.W.N. Looman (1986). Weighted averaging, logistic regression and the Gaussian response model. *Vegetatio* 65, 3-11.

Visser, M.P. (1970). The turbidity of the Southern North Sea. *Dt. Hydr.Zt.* 23, 3, pp98-117.

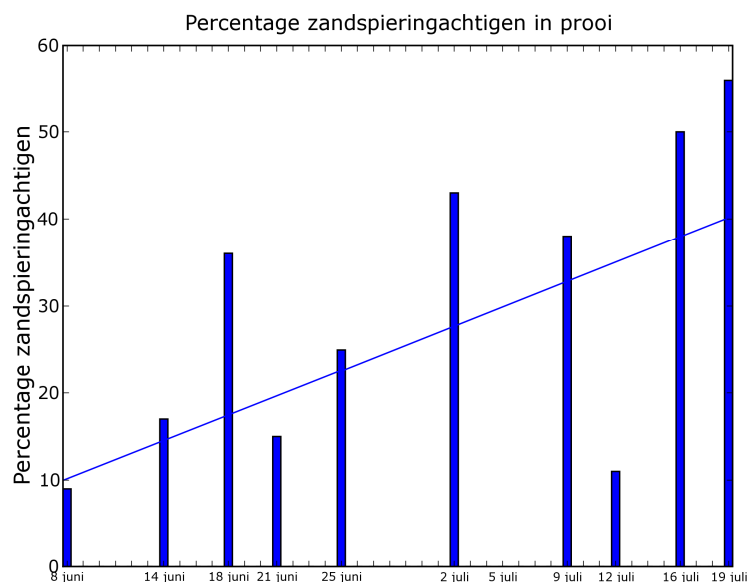
Wakeling, J.M. & J. Hodgson (1992). Optimisation of the flight speed of the little, common and sandwich tern. *J. exp. Biol.* 169: 261-266

Bijlage A. De proovis

Tijdens deze studie naar vangstsucces zijn gegevens verzameld over de proovis. Het gaat hierbij om het lot van de prooi, de soortgroep en de lengte. De uitwerking hiervan wordt in deze bijlage gerapporteerd om twee redenen:

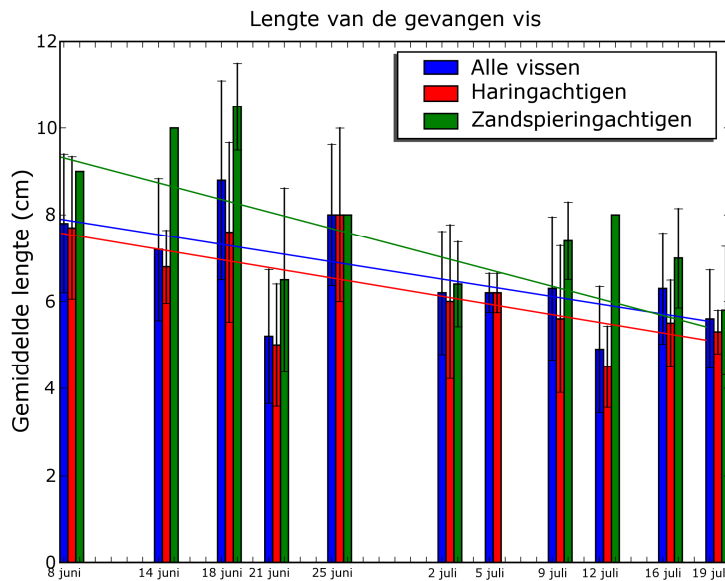
1. Het maakt geen deel uit van de onderzoeksvraag.
2. Het aantal waarnemingen van gevangen vis is relatief laag en de onzekerheid in de schattingen van vislengte is relatief groot, zodat de statistische waarde van de gevonden verbanden niet erg groot is.

Van de 189 geprotocolleerde duiken is in 104 gevallen een prooi gevangen. Het gemiddelde vangstsucces is derhalve 55%. De prooi bestond in 73 gevallen (70%) uit haringachtigen en in 31 gevallen (30%) uit zandspieringachtigen. Andere prooien werden niet waargenomen.



Figuur 28. Percentage zandspieringachtigen in prooi.

In de loop van de tijd is er een trend naar een groter aandeel (percentage van totaal aantal proovissen) zandspieringachtigen. De lineaire trend in Figuur 28 is $Y = 10,0 + 0,73X$ (met X = aantal dagen vanaf start metingen), heeft een $R^2 = 0,29$ en $P = 0,08$ en is dus statistisch niet sterk.



Figuur 29. Lengte van de gevangen vis; gemiddelde lengte en standaardafwijking.

De lengte van de prooi laat in de loop van de tijd een dalende trend zien, hoewel statistisch niet erg sterk. Figuur 29 geeft de gemiddelde lengte en standaardafwijking van de prooivis (uitgesplitst per groep) voor iedere meetdag.

De lineaire trends zijn:

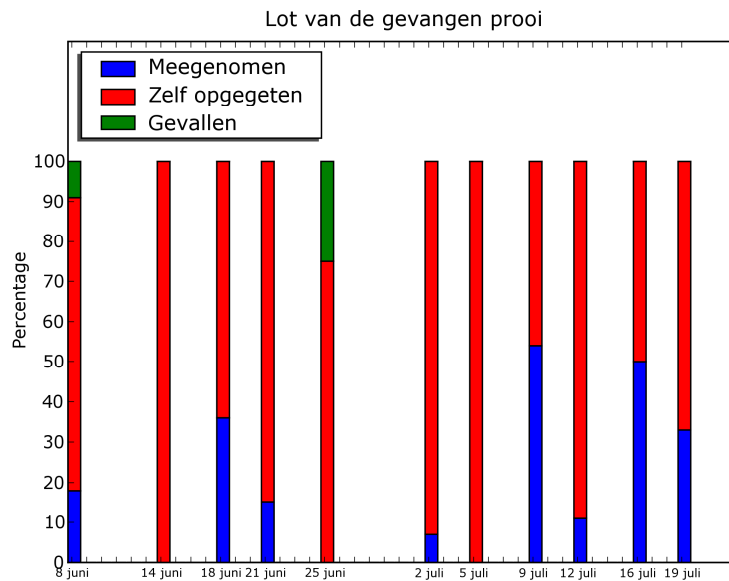
Alle vis: $Y = 7,9 - 0,057X$ met een $R^2 = 0,41$ en $P = 0,034$.

Haring $Y = 7,6 - 0,060X$ met een $R^2 = 0,49$ en $P = 0,017$.

Zandspiering: $Y = 9,3 - 0,100X$ met een $R^2 = 0,22$ en $P = 0,15$ (niet significant).

De afnemende lengte in de loop van de tijd is opmerkelijk aangezien Stienen (2006) heeft gevonden dat naarmate de Grote Stern kuikens ouder worden, de ouders juist grotere vis aanvoeren. Figuur 29 laat zien dat de dalende trend in vislengtes niet wordt veroorzaakt door het toenemende aandeel aan zandspiering in de prooi; ook deze kent een dalende trend, hoewel niet significant.

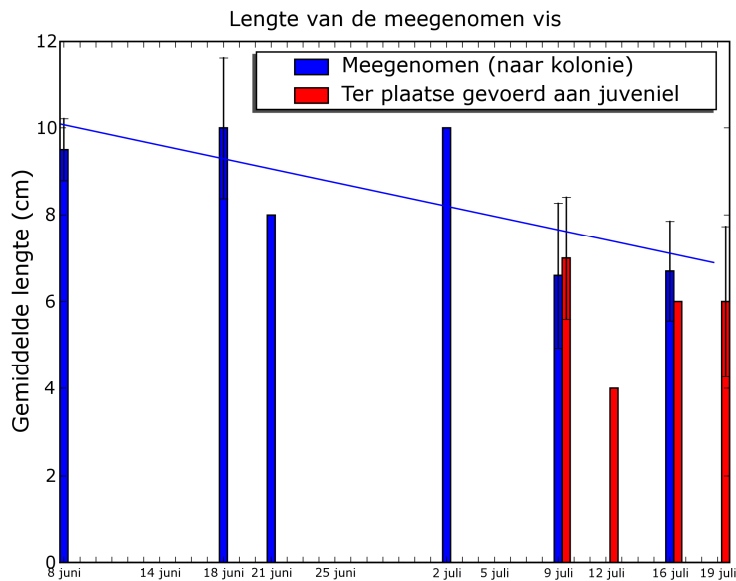
Een toenemende vislengte is vooral te verwachten wanneer de oudervogels selectief de grotere prooien meenemen naar hun kuiken(s) en de kleinere prooien zelf eten. Een onderscheid moet dus gemaakt worden tussen "meegenomen" en "zelf gegeten".



Figuur 30. Lot van de gevangen prooi.

Van de 104 gevallen waarin een prooi werd gevangen is in 24 gevallen (23%) de prooi meegenomen door de Grote Stern, vermoedelijk naar de broedkolonie. In 78 gevallen (75%) werd de prooi vrijwel direct na de vangst opgegeten. In slechts 2 gevallen (2%) viel een gevangen prooi uit de snavel. Het is niet uit te sluiten dat een “meegenomen” prooi alsnog, buiten zicht van de waarnemers, is opgegeten. Figuur 30 laat de afloop van de gevangen prooi zien voor iedere meetdag.

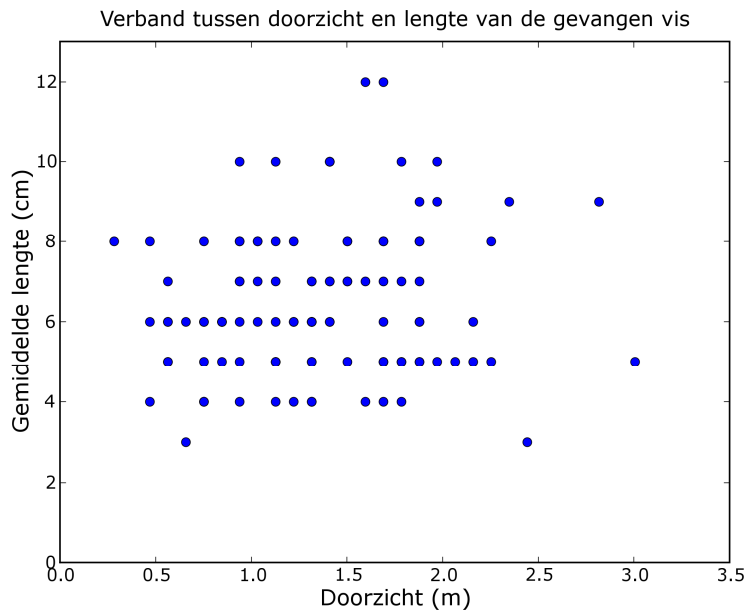
Een complicatie is dat in de loop van de tijd steeds meer vliegvlugge juvenielen zijn waargenomen. Op 2 juli werd het eerste jong gezien, meevliegend met de oudervogel en oefenend op het vangen van objecten (bv. zeewier) uit het water. Vanaf 9 juli werden regelmatig juvenielen waargenomen. In zeven gevallen werd een gevangen prooi ter plaatse aan het zwemmende jong gevoerd. In de database zijn deze gevallen beschreven als “meegenomen”, maar hiervan zijn apart aantekeningen gemaakt, dus kunnen deze worden onderscheiden in de analyse. Het is namelijk mogelijk dat oudervogels met meezwemmende jongen niet meer selectief zijn in het selecteren van de prooilengte. Als het jong in de buurt zwemt kan het met weinig inspanning voldoende kleine vis gevoerd krijgen. Dit betekent dat de waargenomen prooien vanaf 9 juli worden vertekend door de aanwezigheid van juvenielen.



Figuur 31. Lengte van de meegenomen vis, gemiddelde en standaardafwijking per dag.

Figuur 31 laat de lengte van de “meegenomen” vis zien (N=17, op sommige dagen is N=1, dan is geen berekening van de standaardafwijking mogelijk). Zandspiering en Haring zijn bij elkaar opgeteld vanwege het lage aantal waarnemingen en de soortgelijke trend. Er is onderscheid gemaakt tussen daadwerkelijk meegenomen - de oudervogel vliegt er mee weg – en ter plaatse gevoerd aan een juveniel. De daadwerkelijk meegenomen prooien laten een dalende trend zien in lengte. De lineaire trend is:

$Y = 10,1 - 0,078X$ met een $R^2 = 0,52$ en $P = 0,10$. De significantie is dus niet hoog. Het is dus mogelijk dat lokaal aanwezige juvenielen de kleinere lengtes verklaren, maar dit is niet met zekerheid vast te stellen. Een nieuwe complicatie is dat wanneer een prooi door een vogel wordt “meegenomen” richting de kust, dat dit niet hoeft te betekenen dat deze prooi helemaal naar het nest in De Petten wordt gebracht. Er is ook een mogelijkheid dat deze naar een jong wordt gebracht dat op het strand van De Hors zit. De kortere vliegafstand maakt dat selectie op prooigrootte minder relevant is.



Figuur 32. Het verband tussen doorzicht en lengte van de gevangen vis.

Aangezien de omstandigheden in de loop van de tijd veranderen (bv. de troebelheid) en er door Stienen en Brenninkmeijer (1994) een (zwak) verband is gevonden tussen doorzicht en vislengte is ook dit onderzocht. Er is in onze studie geen significant lineair verband gevonden tussen het doorzicht en de lengte van de gevangen vis, $R^2 = 0,02$ en $P = 0,19$, zie Figuur 32.

Verantwoording

Rapport C097/07

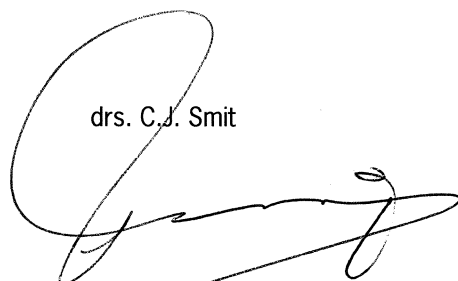
Projectnummer: 439.61090.01

Baptist, M.J. & M.F. Leopold (2007). De relatie tussen zichtdiepte en vangstsucces van de Grote Sterns van De Petten, Texel. Wageningen IMARES Rapport 097/07.

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

Akkoord:

drs. C.J. Smit



Handtekening:

Datum:

24 oktober 2007

Akkoord:

Prof. dr. ir. P. Reijnders



Handtekening:

Datum:

24 oktober 2007

Aantal exemplaren:	40
Aantal pagina's:	45
Aantal tabellen:	5
Aantal figuren:	32
Aantal bijlagen:	1