

Het Friese Front: hydrografie, geologie en biologie, met nadruk op de zeevogels

The Frisian Front: hydrography, geology and biology, with special reference to marine birds

Mardik Leopold,
Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee

Inleiding

De Noordzee is, in tegenstelling tot wat menigeeen denkt, niet zo maar een eenvormige bak met zeewater die plaatselijk alleen in diepte verschilt. Verschillen in diepte tussen de zuidelijke en de noordelijke helft maken, samen met grootschalige stromingspatronen, dat er in de Noordzee een groot aantal zeer verschillende biotopen zijn ontstaan. Om de biologische aspecten van het Noordzee ecosysteem te kunnen begrijpen, is het noodzakelijk om eerst in te gaan op de natuurkunde van de Noordzee. Zaken als stroming, verschillen in watermassa's en de invloed van wind bepalen het functioneren van het hele systeem. Het blijkt dat er op zee net als aan land, een waar mozaïek van landschappen en ecosystemen bestaat. Deze hangen weliswaar met elkaar samen, maar van plaats tot plaats kunnen ze toch sterk verschillen. In dit artikel wordt een klein zeegebied in de zuidelijke Noordzee besproken, het Friese Front. Dit gebied is (in stricte zin) ongeveer 15 km breed en 100 km lang, en strekt zich in een zuidwest-noordoost richting uit op ca. 50 km ten noorden van de eilanden Texel, Vlieland en Terschelling. Om de tekst niet nodeloos te belasten met literatuurverwijzingen, wordt hier vermeld dat alle in dit artikel gebruikte gegevens uitgebreid zijn beschreven in De Gee *et al.* (1991).

Hydrografie

De Noordzee staat aan alle kanten in verbinding met andere wateren. In het zuiden is ze via Het Kanaal verbonden met de Atlantische Oceaan en in het noorden gaat ze zelfs zonder duidelijke overgang in deze oceaan over. In het noordoosten is de Noordzee via Skagerrak en Kattegat verbonden met de Oostzee. Bovendien wordt ze ook via vele estuaria door rivieren gevoed. Dit betekent dat de Noordzee voortdurend van vers water wordt voorzien. Uit de riviermonden stromen ieder uur honderdduizenden kubieke meters zoet water in de zee. Toch leveren de rivieren slechts een relatief geringe bijdrage aan de verversing van de Noordzee. De grootste waterstromen komen, aangedreven door de Golfstroom, uit de oceaan de Noordzee binnen. De verbinding tussen de Noordzee en de Atlantische Oceaan is in het noorden het grootst en hier komt dan ook de grootste hoeveelheid water naar binnen. Deze watermassa beweegt zich langs de Schotse en Engelse kust naar het zuiden, tot ze ter hoogte van de Doggersbank in de centrale Noordzee afbuigt naar het oosten, om via de Deense en Noorse kant de Noordzee weer te verlaten. Water uit Het Kanaal stroomt aanvankelijk naar het noordnoordoosten (NNO), maar buigt ter hoogte van de kust van Norfolk naar het oosten af om daarna de zelfde route te volgen als het water dan uit het noorden komt. De beide hoofdstromen ontmoeten elkaar dus ergens op de Noordzee, en dwingen elkaar om samen verder oostwaarts te stromen. Deze twee hoofdstromen worden geflankeerd door randstromen waar rivierwater (met name Humber, Theems en Rijn) doorheen gemengd zit. In totaal komen zo vier soorten water, ieder met eigen temperatuur en zoutkarakteristieken, ergens in de zuidelijke Noordzee bij elkaar, om verder noordoostwaarts te stromen. Het gaat om:

Continentaal Kustwater: Atlantisch Oceaanwater uit het Kanaal, gemengd met zoetwater uit rivieren van het continent.

Engels Kanaalwater: ongemengd Atlantische Oceaanwater uit het Kanaal.

Engels Kustwater: Atlantisch Oceaanwater, gemengd met Engels rivierwater.

Centraal Noordzeewater: ongemengd Atlantisch Oceaanwater, afkomstig uit de noordelijke opening van de Noordzee.

Een gebied waar twee watermassa's elkaar ontmoeten wordt door hydrografen een front genoemd. Watermassa's met een verschillende samenstelling of temperatuur mengen niet makkelijk, waardoor zo'n front bij goed weer vaak

duidelijk als een scheidslijn te zien is. Het gebied in de Noordzee, waar de noordelijke en zuidelijke watermassa's elkaar ontmoeten, wordt wel het Friese Front (in brede zin) genoemd. De toevoeging 'Friese' is afgeleid van de Engelse naam voor de Waddeneilanden, de *Frisian Islands*, waar dit front relatief dicht bij ligt.

Behalve dat verschillende watermassa's elkaar ontmoeten, is er nog meer aan de hand in het gebied van het Friese Front. De diepte verandert plotseling in het gebied: ten zuiden van het Friese Front is de zee over een groot gebied 20 tot 25 meter diep, maar ter hoogte van het front neemt de diepte over een afstand van slechts 15 km toe tot ruim 40 meter. Door het grotere verval neemt de stroomsnelheid van het Kanaalwater vrij plotseling sterk af. Hierdoor kunnen slib- en planktondeeltjes, die door de sterke stroom in het zuidelijke zeegebied worden meegevoerd ter hoogte van het Friese Front bezinken. Dit heeft twee belangrijke gevolgen voor het systeem ter plaatse. Er is een continue aanvoer van materiaal uit het zuiden en het water, dat ten zuiden van het front troebel is, wordt plotseling veel helderder door het bezinken van veel zwevende stof. Deze bezinking van allerlei deeltjes brengt ons naar het volgende hoofdstuk: de geologie.

Er is echter nog een hydrografisch punt dat eerst aandacht behoeft en dat is de stratificatie van de waterkolom. Ondiep water dat in beweging is, zoals in een rivier, zal van onder tot boven geheel zijn doorgemengd. Door de wrijving van het stromende water over de bodem en door de invloed van wind aan de bovenzijde, wordt de hele waterkolom voortdurend gemengd. In stilstaand water is er echter geen wrijving met de bodem en wanneer er weinig wind en veel zon is, zal er een gelaagdheid ontstaan. De bovenste laag wordt door de zon opgewarmd, zet uit en wordt dus lichter en blijft daardoor drijven op het koudere 'onderwater'. Op zee vinden deze processen ook plaats. Ten zuiden van het Friese Front is de zee ondiep en is de getijstroom zo sterk, dat de zee zich hier gedraagt als een rivier. Door wrijving met de bodem is de hele waterkolom gemengd. In de noordelijke Noordzee, met diepten van meer dan 100 meter en lagere stroomsnelheden kan de zon in de zomer een warme bovenlaag vormen. In de herfst, wanneer de hoeveelheid instraling afneemt en de hoeveelheid wind toeneemt, wordt de gelaagdheid van het water afgebroken. In de zomer ligt de grens tussen het noordelijke, gelaagde systeem en het zuidelijke gemengde systeem ter hoogte van het Friese Front. In warme, rustige zomers ligt dit 'gelaagheidsfront' zuidelijker dan in winderige, koude zomers. De precieze locatie van het front in het water ligt dus niet vast. In slechte zomers met veel wind is de waterkolom geheel gemengd tot op vele tientallen kilometers ten noorden van het Friese Front.

Geologie

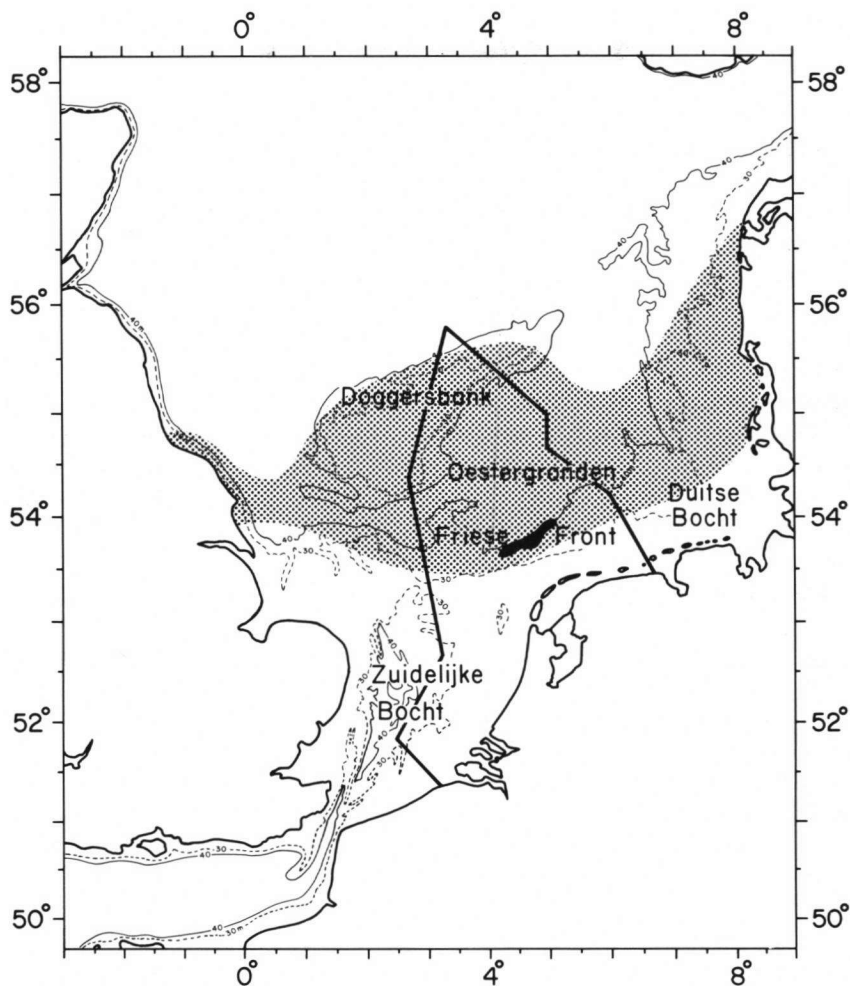
Ten zuiden van het Friese Front bestaat de zeebodem uit grof zand. De bodemtopografie wordt gedomineerd door grote, wandelende zandduinen. Door de hoge getijde-stroomsnelheden en door de geringe waterdiepte wordt de bodem voortdurend in beweging gehouden. Door de invloed van de wind wordt de menging van de waterkolom nog versterkt. Tijdens storm is de invloed van de golven tot op de bodem merkbaar en wordt materiaal dat eventueel toch bezonken was weer opgewerveld en door de noordwaarts gerichte reststroom (het verschil tussen vloed- en ebstroom) naar het noorden afgevoerd.

Ter hoogte van het Friese Front wordt de zee snel dieper en neemt de invloed van de golven af. Bovendien heeft de waterstroom uit het zuiden hier een veel omvangrijker 'bedding' tot zijn beschikking en neemt de sterkte van de reststroom ook snel af. Gecombineerd betekent dit dat materiaal dat in het zuiden (en westen) niet kon bezinken en steeds weer werd opgewerveld, uiteindelijk bezinkt op het Friese Front. Hier blijft het liggen, buiten bereik van normale stormgolven en onaangedaan door de geringe reststroom. Het gevolg is dat op het Friese Front een stabiele kleibodem ligt, die sterk verschilt van de instabiele zandbodem in het zuiden. Ten noorden van het front is de bodem ook slibachtig, maar bevat ze minder klei dan op het Friese Front zelf. Van alle overgangen die in het Friese Front gebied te vinden zijn, is de overgang van zand naar klei in de zeebodem het meest permanent aanwezig. Het 'bodemfront' ligt, in tegenstelling tot het 'waterfront', altijd op dezelfde plaats. De term Friese Front wordt in enge zin dan ook gebruikt voor het gebied waar de hoogste dichtheid slibdeeltjes in de bodem gevonden wordt. Deze zone loopt ruwweg van 53°30'N, 4°O, tot 54°N, 5°O (figuur 1).

De stabiliteit van de zeebodem van het Friese Front op een grotere tijdschaal is niet bekend. Schattingen van de netto sedimentatie snelheid op het Friese Front voor de laatste 30 tot 40 jaar komen op slechts ca. 0.4 cm per jaar. De jaarlijkse aanvoer van materiaal moet aanzienlijk hoger zijn (in de orde van centimeters). Er moet dus ook afvoer plaats vinden. Of dit sluipend gaat, of dat er tijdens zeer zware 'super'stormen ineens veel materiaal verdwijnt is niet bekend.

Biologie

PLANKTON Net als aan land staat zonlicht, via planten, aan de basis van het hele voedselweb. Grote planten komen in zee alleen voor langs de kusten, terwijl op volle zee alleen microscopisch kleine soorten voorkomen: het fyto-



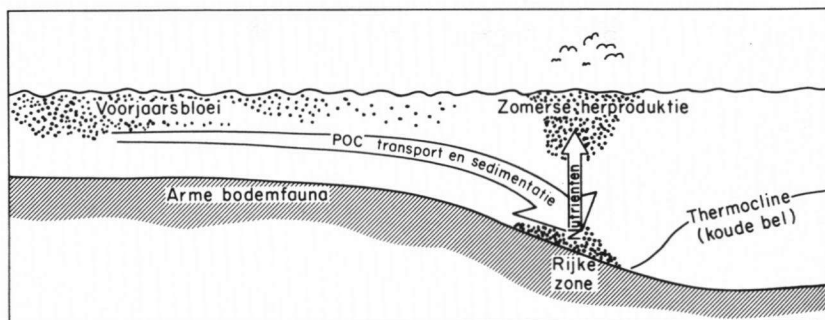
Figuur 1. De Noordzee met het Nederlands Continentaal Plat (lijn), de zone waarin het getijfront in de zomer kan liggen (arcering) en het Friese Front (zwart) (naar De Gee et al. 1991).

Figure 1. The North Sea with the Dutch Continental Shelf (line), the area where the tidal front occurs in summer (shading) and the Frisian Front (black).

plankton. De hoeveelheid beschikbaar licht voor het plankton wordt door drie factoren bepaald: de waterdiepte, de waterhelderheid en het seizoen. Op het Friese Front zijn de omstandigheden, in vergelijking met die ten noorden en ten zuiden van dit gebied, bijzonder gunstig voor de groei van het fytoplankton. Doordat het zwevende materiaal grotendeels is uitgezakt is de waterhelderheid veel hoger dan in het zuiden (figuur 2). In het noorden is het water ook helder, maar raakt het in de zomer gestratificeerd. Hierdoor is er weinig uitwisseling tussen het boven- en onderwater. Plankton dat gevangen zit in de bovenste laag krijgt wel voldoende licht maar na een korte bloei in het voorjaar treedt hier snel uitputting op van de noodzakelijke nutriënten (meststoffen als fosfaat en nitraat). Afstervende planktoncellen zinken namelijk en belanden onder de zogenaamde spronglaag, de overgang tussen beide waterlagen. Hier worden de cellen door bacteriën afgebroken en verrijken de vrijkomende nutriënten het onderwater. Onder de spronglaag dringt echter onvoldoende licht door voor een goede planktongroei. De bovenlaag wordt zo steeds verder verarmd en ondanks voldoende licht groeit het plankton hier in de zomer slecht. Op het Friese Front is het water net ondiep genoeg om tot op de bodem voldoende licht te hebben (het water is hier immers helder) en er vindt voortdurend aanvoer van verse nutriënten plaats.

Een belangrijke bijdrage aan de toevoer van nutriënten wordt gevormd door afbraakprocessen in en op de bodem. De hier talrijk aanwezige bacteriën en andere kleine organismen breken afgestorven materiaal af, zodat de hierin aanwezige nutriënten weer vrij kunnen komen voor opname door het plankton. Door dit hergebruik is de productie van het fytoplankton boven het bodemfront met zijn rijke bodem vol bezinsel, hoger dan ten zuiden en ten noorden ervan. In mooie zomers met weinig wind, kan er boven de rijke bodem een ware planktonzuil staan, die gevoed wordt door de nutriënten uit de bodem en het zonlicht van boven. In winderige zomers is deze extra productie over een veel groter gebied rond het bodemfront verdeeld.

Een extra voordeel voor het plankton kan het samenkomen van verschillende watermassa's in het Friese Front gebied zijn. In de regel is één bepaalde nutriënt in een watermassa beperkend voor het plankton. Wanneer nu twee (of zelfs meer) watermassa's, ieder met hun eigen beperkende factor elkaar ontmoeten, kan het plankton de verschillende beperkende nutriënten uit meerdere watermassa's betrekken en kan er dus groei op een hoger niveau dan in de afzonderlijke watermassa's plaatsvinden. Dit laatste punt is voor het Friese Front vooralsnog theorie, omdat er onvoldoende metingen aan de chemische achtergrond van de planktongroei ter plaatse zijn gedaan, maar in andere zeegebieden met fronten is dit verschijnsel bekend. Al met al wordt



Figuur 2. Visualisering van de Friese Front hypothese. Op het Friese Front is de bodem sterk verrijkt door het bezinken van voorjaarsbloeien van algen, afkomstig uit zuidelijk, ondiepere wateren. De opvallend hoge algenconcentratie op het Friese Front in de zomer wordt toegeschreven aan de grote aanvoer van nutriënten uit de bodem (naar De Gee et al. 1991).

Figure 2. The Frisian Front hypothesis visualised. The bottom in the Frisian Front is enriched as a result of deposition of algae, blooming in spring in more southerly, shallower waters. The remarkably high algae concentration in the Frisian Front is attributed to nutrients rising from the bottom.

de jaarproductie op het Friese Front van het fytoplankton geschat op 420 gram koolstof per m^2 per jaar. In de aangrenzende zeegebieden ten noorden en ten zuiden van het front is dit slechts 240 gram per m^2 per jaar. Niet alleen de hoeveelheid geproduceerd plankton verschilt tussen deze drie gebieden, ook de soortensamenstelling is anders. De betekenis hiervan is nog onduidelijk.

De volgende stap in de voedselketen is die naar het dierlijk plankton. Dit zoöplankton groeit echter veel langzamer dan het fytoplankton, en is daardoor een weinig effectieve consument ervan. Ongeveer 20% van het geproduceerde fytoplankton komt ten goede aan het grazende zoöplankton, 10% gaat naar de bodemgemeenschap, terwijl de overige 70% wordt benut door bacteriën, in de zogenaamde microbiële kringloop. Via deze weg komt overigens nog eens 20% bij het zoöplankton terecht en, zoals hierboven beschreven, eveneens een groot deel terug bij het fytoplankton. Dierlijk plankton groeit langzamer maar leeft langer dan plantaardig plankton zodat de respons van

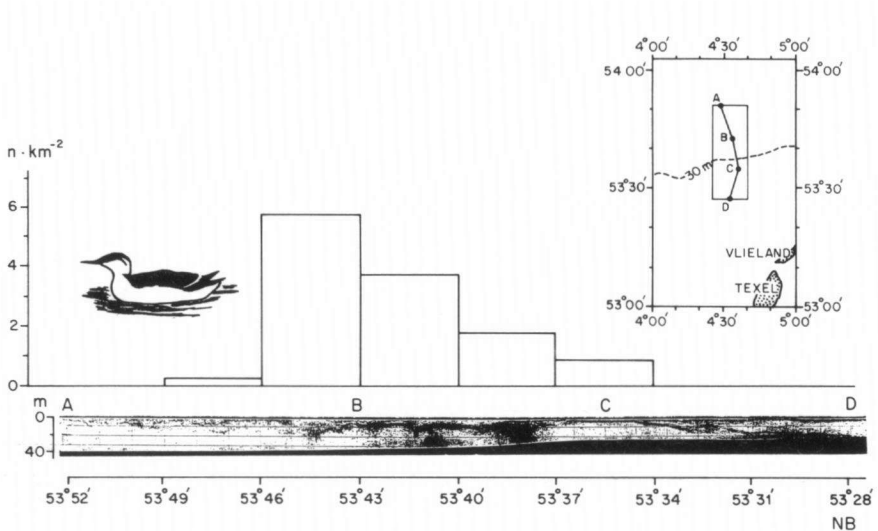
het zoöplankton op de gunstige condities op het front een meer uitgewaaid karakter heeft dan dat van het fytoplankton. Op het Friese Front worden dan ook gedurende langere tijd in de zomer verhoogde concentraties van dierlijk plankton, met name roeipootkreeftjes (copepoden) aangetroffen. Het zelfde geldt voor allerlei andere planktonische consumenten, variërend van bacteriën tot macroplankton, zoals vislarven en (rib)kwallen.

BODEMGEMEENSCHAP In de zeebodem leeft een groot aantal dieren (de infauna), variërend in grootte van microscopisch kleine aaltjes (nematoden) en foraminiferen tot grotere wormen, slangsterren, zeeëgels en schelpdieren. Op de zeebodem leeft nog een andere groep ongewervelde dieren (de epifauna), zoals de zeesterren, zeemuizen, garnalen, krabben en heremietkreeften. Het bodemfront, de scherpe overgang van zand naar klei, gaat gepaard met een sterk verschil in soortsaanstelling. De levensgemeenschap in en op de bodem van het Friese Front wijkt sterk af van die op slechts enkele kilometers ten noorden en ten zuiden ervan en kan als uniek worden bestempeld. Het gaat in dit artikel te ver om alle soorten op te sommen die karakteristiek zijn voor het Friese Front. We moeten volstaan met de vaststelling dat ten zuiden van het bodemfront echte 'zandbodemsommen' als de Rechtsgestrepte Platschelp *Tellina fabula*, de worm *Ophelia borealis* en het Zeeboontje *Echinocyamus pusillus* (een zeeëgel) domineren. Op het front is er een abrupte overgang naar een gemeenschap waarin de Parelmoerneut *Nucula turgida*, de Hartegel *Echinocardium cordatum* en de Schelpkokerworm *Lanice conchilega* domineren. In de zeer slibrijke kernzone van het Friese Front, een paar honderd meter tot enkele kilometers ten noorden van deze zuidrand van het Friese Front is weer een andere gemeenschap te vinden, gedomineerd door de slangster *Amphiura filiformis* en de tweekleppigen *Mysella bidentata* (Tweeandmosseltje) en *Abra alba* (Witte Donschaal). Nog verder naar het noorden, voorbij het eigenlijke bodemfront, worden de Perkamentworm *Chaetopterus variopedatus* en de Penhoren *Turritella communis* algemeen. Deze laatste twee soorten leven vooral van materiaal dat in het water zweeft, terwijl de dominante 'echte' Friese Front soorten consumenten zijn van materiaal dat op de bodem is gesedimenteerd. Dit past natuurlijk goed bij hun voorkomen in het frontgebied, waar voortdurend materiaal uit de waterkolom uitzakt en op de bodem terecht komt. Afgezien van de soortsaanstelling is ook de hoeveelheid bodemdieren bijzonder op het Friese Front. Vergeleken met de zeebodem ten noorden en ten zuiden van het front wordt er 4, respectievelijk 10 keer zo veel biomassa aan bodemdieren gevonden.

VISSEN Aangetrokken door een groot voedselaanbod, variërend van zoö-plankton tot allerlei bodemdieren als wormen en schelpdieren, is ook de visstand hoog op het Friese Front. Wellicht heeft ook de waterhelderheid met de hoge visstand te maken: veel vissen zijn immers oogjagers. Verschillende vissoorten zijn op het Friese Front talrijker dan in de onliggende gebieden. Met een boomkor is de visstand bemonsterd. Met dit vistuig worden alleen vissen die op of vlak boven de bodem zwemmen gevangen. Van deze groep waren Wijting *Merlangius merlangus*, Schar *Limanda limanda*, Dwergtong *Buglossidum luteum* en in mindere mate Tong *Solea solea* op het front duidelijk talrijker dan aan weerszijden ervan. Andere bodembewonende soorten (met name Koningsgarnaal *Crangon allmani* en Gewone Zwemkrab *Liocarcinus hol-satus*) kwamen bij deze monsternames ook als bijzonder talrijk uit de bus.

Vissen die hoger in de waterkolom zwemmen, zoals Haring *Clupea haren-gus* en Makreel *Scomber scombrus*, worden niet of nauwelijks gevangen. Om toch enig inzicht te krijgen in het voorkomen van deze groep vissen, die voor veel zeevogels juist zeer belangrijk zijn, is de waterkolom bekeken met een echolood. Dit apparaat zendt geluidsgolven uit richting zeebodem en is ontworpen om aan de hand van de teruggekaatste echo de waterdiepte te meten. Als er echter een school vissen onder het schip zwemt, is dit ook zichtbaar als een echo boven de bodem. Tijdens echo-surveys boven de slibrijke bodemzone van het Friese Front werden stevast zware echo's in de waterkolom gemeten (figuur 3). Om welke soorten het hierbij gaat is uit de echo's niet op te maken maar vistrekken met planktonnetten wezen er, samen met visuele waarnemingen, op dat veel van deze zware echo's werden veroorzaakt door dichte scholen Sprot *Spattus sprattus* en jonge Haring. In magen van Zeekoeten *Uria aalge* op het Friese Front werden naast Sprot en Haring ook veel jonge Horsmakrelen *Trachurus trachurus* aangetroffen (Geertsma 1992). Aangenomen mag dus worden dat kleine pelagische vissen, die voor zeevogels attractieve prooiën zijn, relatief talrijk zijn op het Friese Front.

Bij de Nederlandse vissers is het Friese Front bekend als 'de rug'. In dit slibrijke gebied, met zijn vele 'bodemvuil' (een visserijterm, waarmee ook de in- en epifauna wordt bedoeld) is het vissen met een boomkor, dé specialiteit van de Nederlandse vloot, niet eenvoudig. De zware bodem vergt extra motorvermogen omdat de netten, vooral wanneer er gewerkt wordt met kleine maaswijdtes, snel dichtslibben met commercieel onaantrekkelijke bijvangst. Toch werd tijdens vogeltellingen een relatief hoge dichtheid boomkor-kotters op het Friese Front aangetroffen. Blijkbaar wegen de hoge dichtheden van Schar en Tong op tegen de problemen bij het vissen.



Figuur 3. De relatie tussen het voorkomen van kleine vis (echogrammen) en de Zee-koet *Uria* aalge, langs een raai over het Friese Frint (inzet) in augustus 1987.

Figure 3. The relation between the occurrence of small shoaling fish (echo survey) and Guillemots at the Frisian Front (inset).

ZEEVOGELS Met hoge dichtheden van pelagische, voor zeevogels aantrekkelijke vis, en met een hoge dichtheid viskotters, is een hoge dichtheid van allerlei zeevogels op het Friese Front gewaarborgd. De vogels in het gebied kunnen op voedsleecologische gronden in twee groepen worden ingedeeld: een groep die diep duikend zelf vissen vangt en daarmee onafhankelijk is van onnatuurlijke voedselbronnen en een groep die veel voedsel eet dat door de (menselijke) visserij beschikbaar komt. Deze laatste voedselbron bestaat uit overboord gegooide bijvangst (ondermaatse vis en vissoorten die niet verkoopbaar zijn) en de ingewanden van marktwaardige vissen, die aan boord gestript worden. In een biologisch rijk gebied als het Friese Front gaat per vistrek gemiddeld vermoedelijk een paar ton van dit materiaal overboord. De precieze hoeveelheid is niet bekend, noch de mate waarin zeevogels hiervan profiteren. Uit vogeltellingen blijkt echter duidelijk, dat iedere actieve kotter honderden *Larus*-meeuwen en Drieteenmeeuwen *Rissa tridactyla*, Noordse Stormvogels *Fulmarus glacialis* en Jan van Genten *Sula bassana*, aangevuld met een enkele Grote Jager *Catharacta skua*, Kleine of Middelste Jager *Stercorarius parasiticus* en *S. pomarinus* om zich heen verzamelt. De dichtheden van deze soorten zijn dan ook het hele jaar door hoger dan ten noorden en

ten zuiden van het front. In hoeverre deze vogelsoorten zelf vissen in het gebied en in welke mate hun voorkomen direct wordt gestuurd door de hoge dichtheden van pelagische vissen, is niet bekend. Er zijn enkele waarnemingen gedaan aan groepen Jan van Genten en Drieteenmeeuwen, die doken op een school vissen aan de oppervlakte. Jan van Genten zijn met hun grote duikdiepte in het voordeel boven soorten als meeuwen, die alleen kunnen vissen in de bovenste waterlaag. De laatste groep lijkt dus het sterkst aangewezen op de visserij. Van Noordse Stormvogels is bekend dat ze veel plankton kunnen eten wanneer dit ('s nachts?) aan het oppervlak komt. In hoeverre dit op het Friese Front een rol van betekenis speelt, is onbekend.

De Kleine Mantelmeeuw *Larus fuscus* en de Zilvermeeuw *L. argentatus* verdienen speciale aandacht. Adulte Kleine Mantelmeeuwen, vermoedelijk afkomstig van Terschelling, komen in de broedtijd vrij algemeen voor op het front en profiteren hier van de bijvangsten van de visserij. Voor Zilvermeeuwen lijkt het front net te ver weg van de kolonie. In het winterhalfjaar kunnen wel grote aantallen Zilvermeeuwen achter kotters op het front worden aangetroffen. De Kleine Mantels zijn dan inmiddels weggetrokken en de Grote Mantelmeeuw *Larus marinus*, wintergast in onze wateren, profiteert in hun plaats van de visserij in dit gebied.

De Zeekoet en de Alk *Alca torda* bezetten een andere ecologische niche. Deze soorten eten vooral kleine vissen die ze zelf vangen. Met een maximaal gemeten duikdiepte van 180, respectievelijk 140 meter (Piatt & Nettleship 1985, Jury 1988) vormt de diepte op het Friese Front geen probleem, en zijn alle vissen hier bereikbaar. Gegeven de hoge dichtheden van Sprut en jonge Haring en Horsmakreel, ligt het voor de hand dat Zeekoet en Alk hier in hoge dichtheden voorkomen. In het broedseizoen zijn beide soorten afwezig, maar eind juli komen de eerste Zeekoeten al weer op het front aan. In augustus/september zijn de dichtheden hier maximaal en verblijven zo'n 10.000 Zeekoeten op het front. Dit zijn bovendien niet zo maar willekeurige vogels, maar voor een groot deel succesvolle broedvogels met hun kuiken. Deze vogels moeten na het verlaten van de kolonies vrijwel *linea recta* naar het Friese Front zijn gezwommen, een afstand van ten minste 300 km. Ze kunnen de afstand niet vliegend overbruggen, omdat de jongen bij het verlaten van de kolonie nog lang niet volgroeid zijn. De oudervogels benutten deze periode om de slagpennen te ruïen. Ze ruïen alle slagpennen tegelijkertijd en kunnen dus ook tijdelijk niet vliegen. Gezien de richting van de waterbewegingen, komen de vogels uit Oost-Engeland (Flamborough Head) en/of Oost-Schotland (Isle of May). Vogels van Helgoland kunnen het Friese Front waarschijnlijk niet zwemmend bereiken, zij moeten immers tegen de stroom

in. Terugmeldingen van geringde jonge Helgolandse Zeekoeten komen voornamelijk uit Denemarken, Noorwegen en Zweden (D. Moritz, Vogelwarte Helgoland, *in litt.*). Alken arriveren later, pas in oktober op het Friese Front. In oktober/november zijn ook hun dichtheden op het Friese Front hoger dan in omliggende gebieden. In oktober beginnen de Zeekoeten de frontlijn in zuidelijke richting over te trekken. Tot en met september zijn Zeekoeten op het front talrijk, maar ten zuiden van het gebied met het hoge slibgehalte in de bodem ontbreken ze dan vrijwel geheel. Met de afbraak in de nazomer van de scheidslijn tussen troebel, gemengd water in het zuiden en helder, gestratificeerd ten noorden van het front (minder zon en meer wind), is het voor Zeekoeten blijkbaar niet langer voordelig om het zuiden te mijden. Alken zijn met name in oktober opvallend talrijk op het front maar kort daarna vinden we ook hoge dichtheden in de kustzone boven de Waddeneilanden. Vanaf december worden in het gebied van de Bruine Bank, gelegen halverwege tussen Nederland en Engeland ter hoogte van IJmuiden, ook zeer hoge dichtheden van beide soorten aangetroffen. Uit werk aan olieslachtoffers weten we inmiddels, dat de Zeekoeten in de winter op de Bruine Bank een dieet hebben dat naast vette pelagische vissen als Haring en Sprot, ook bestaat uit magere bodembewonende kabeljauwachtigen (Leopold & Camp-huysen 1992). Kabeljauwachtigen, met name de Wijting zijn ook op het Friese Front talrijk maar worden door de Zeekoeten aldaar, althans in de nazomer, niet geprefereerd. Horsmakreel wordt ten zuiden van de Bruine Bank in de maand december nog wel vrij veel gegeten, maar deze vis verlaat in de winter de Noordzee. Het beeld dat uit dit geheel naar voren komt is dat Zeekoeten en wellicht ook Alken in ons deel van de Noordzee, vette, kleine, pelagische vissoorten als voedsel prefereren. Dit komt overeen met het voedsel in de broedkolonies. Hier nemen ook zandspierungen (*Ammodytidae*) een prominente plaats in het dieet in, maar deze vissen ontbreken op het slibbige Friese Front. In de nazomer is er blijkbaar voldoende Haring, Sprot en Horsmakreel om het gebrek aan zandspierung te compenseren. Later in de winter is de concentratie van Zeekoeten minder sterk op het Friese Front en er mag worden aangenomen dat de beschikbaarheid van geschikte vissen terugloopt. Dit komt overeen met waarnemingen aan de maaginhouden van in augustus op het front gevangen Sprotten: deze bleken vol te zitten met copepoden. De aantallen copepoden lopen na de zomer terug en wellicht wordt het gebied daarmee minder aantrekkelijk voor de Sprot en dus ook voor Zeekoet en Alk. Sprot is in de winter juist zeer talrijk in de kustzone bij de Wadden, waar dan ook veel alkachtigen verblijven.

WALVISACHTIGEN Twee soorten walvisachtigen worden met enige regelmaat op het Friese Front aangetroffen: de Witsnuitdolfijn *Lagenorhynchus albirostris* en de Bruinvis *Phocoena phocoena*. Geen van beide soorten is algemeen in het Nederlandse deel van de Noordzee, maar waarnemingen van Bruinvis- sen lijken licht geconcentreerd in het gebied van het front. Deze dieren zijn echter veel minder talrijk dan de zeevogels en de patronen van voorkomen zijn daardoor ook minder makkelijk te vinden.

Samenvatting en conclusie

Door een samenspel van bodemtopografie, met name de plotselinge toename van de diepte, en het patroon van waterbewegingen is in de zuidelijke Noordzee een bijzonder gebied ontstaan: het Friese Front. Het gebied fungeert als een soort bezinkput voor elders geproduceerd plankton materiaal en slibdeeltjes en heeft daardoor een bijzonder rijke bodem. Door bacteriële afbraak komen veel van de met de afgezette deeltjes neergeslagen nutriënten weer vrij voor hergebruik door het plankton. Hierdoor, en door de hoge waterhelderheid in de zomer, is er een grote productie die door de hele voedselketen, tot en met visetende zeevogels en de mens, doorwerkt.

Het gebied vangt dus zwevend materiaal in, dat ten zuiden en ten westen ervan niet permanent kan bezinken. De levensgemeenschap is uniek, en vergeleken met het aangrenzende zuidelijke gebied, uitzonderlijk stabiel. Dit betekent, dat lozingen van stoffen in zee, op of ten zuiden of westen van het Friese Front, gevolgen kunnen hebben voor het ecosysteem van het front. Dit geldt voor stoffen die in het water zweven, maar ook voor opgeloste stoffen, want ook die kunnen via opname door algen in de voedselketen terecht komen. Met name lozingen op het front zelf dienen zeer kritisch bekeken te worden. Immers, in tegenstelling tot de situatie in de rest van de zuidelijke Noordzee, waar de zeebodem door wind en getij steeds in beweging is, zal materiaal dat op het Friese Front neerddwarrelt, er lang blijven liggen en door de rijke bodemfauna in de bodem worden gebracht en snel in de voedselketen worden opgenomen.

Summary

On the Dutch continental shelf in the North Sea a sudden transition exists between the shallow (ca. 25 m) waters of the Broad Forties in the southern half, and the deeper Oyster Grounds (ca. 50 m) in the north. Between these two areas of sea a sudden increase in water depth is accompanied by dropping tidal current velocities, resulting in deposition of mud and detritus on the bottom. Between the 30 and 40 m depth contours, a narrow zone is found with a high mud and organic carbon content, and

abundant benthic life. This rich zone is known as the Frisian Front. As a result of the high local remineralisation of detritus, and possibly further enhanced by mixing water masses of different origin and nutrient load, phytoplankton may be relatively abundant during periods of good weather in summer. The benthic and pelagic production is consumed by a large numbers of animal species, at all trophic levels. Several species of demersal and pelagic fish are locally abundant, attracting both seabirds and human fishermen. The offal and discards produced by the fishing operations attract scavenging seabirds to the area, while schools of small pelagic fish (clupeids and scad) attract large numbers of Guillemots, particularly shortly after the breeding season and in winter. The hydrography of the southern North Sea prevents particles with neutral or slightly negative buoyancy from being deposited south or west of the front. Therefore, such particles tend to accumulate at the front, enriching marine life. On the other hand, the influence of pollutants, from discharges at the front itself or from areas to the south or west of the area, may also have a large impact on the life at the front.

Literatuur

- Gee A. de, Baars M.A. & Veer H.W. van der (eds) 1991. De Ecologie van het Friese Front. Waarnemingen aan een biologisch-rijke zone in de Noordzee, gelegen tussen de Zuidelijke Bocht en de Oestergronden. NIOZ-rapport 1991-2, 96 pp, NIOZ, Texel.
- Geertsma M. 1992. Dieet van de Zeekoet *Uria aalge* op het Friese Front in het najaar van 1989; een vergelijkend voedselonderzoek. Doctoraalverslag, NIOZ - Texel/Dieroecol. R.U. Groningen, 44pp.
- Jury J.A. 1988. Deep-diving auk: Razorbill at 140 metres. North Sea Bird Club Report for 1986: 54.
- Leopold M.F. & Camphuysen C.J., 1992. Olievogels op het Texelse strand, februari 1992. Nioz-rapport 1992-5: 29 pp..
- Piatt J.F. & Nettleship D.N. 1985. Diving depths of four alcids. Auk 102: 293-297.
- M.F. Leopold, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Postbus 59, 1790 AB Den Burg, Texel.