

Hard substraat Waddenzee houvast voor 17 soorten

SAMENVATTING

De Waddenzee is een zand- en slibrijk systeem. De zeebodem bestaat echter deels uit hard substraat van natuurlijke oorsprong. Keileem, veen, stenen, dode schelpen en hout vormen habitats voor kenmerkende soorten. In dit artikel laten we zien dat er in 35 % van de monsters in permanent overstromde delen van de Nederlandse Waddenzee natuurlijk hard substraat aan het oppervlak van het sediment is aangetroffen. We identificeerden 17 kenmerkende soorten die in deze monsters met hard substraat, maar niet in monsters met enkel zand aan het oppervlak gevonden zijn. Ook wordt de oorsprong, ecologische waarde, en mogelijke consequenties voor het beheer van de Waddenzee van deze substraten besproken.

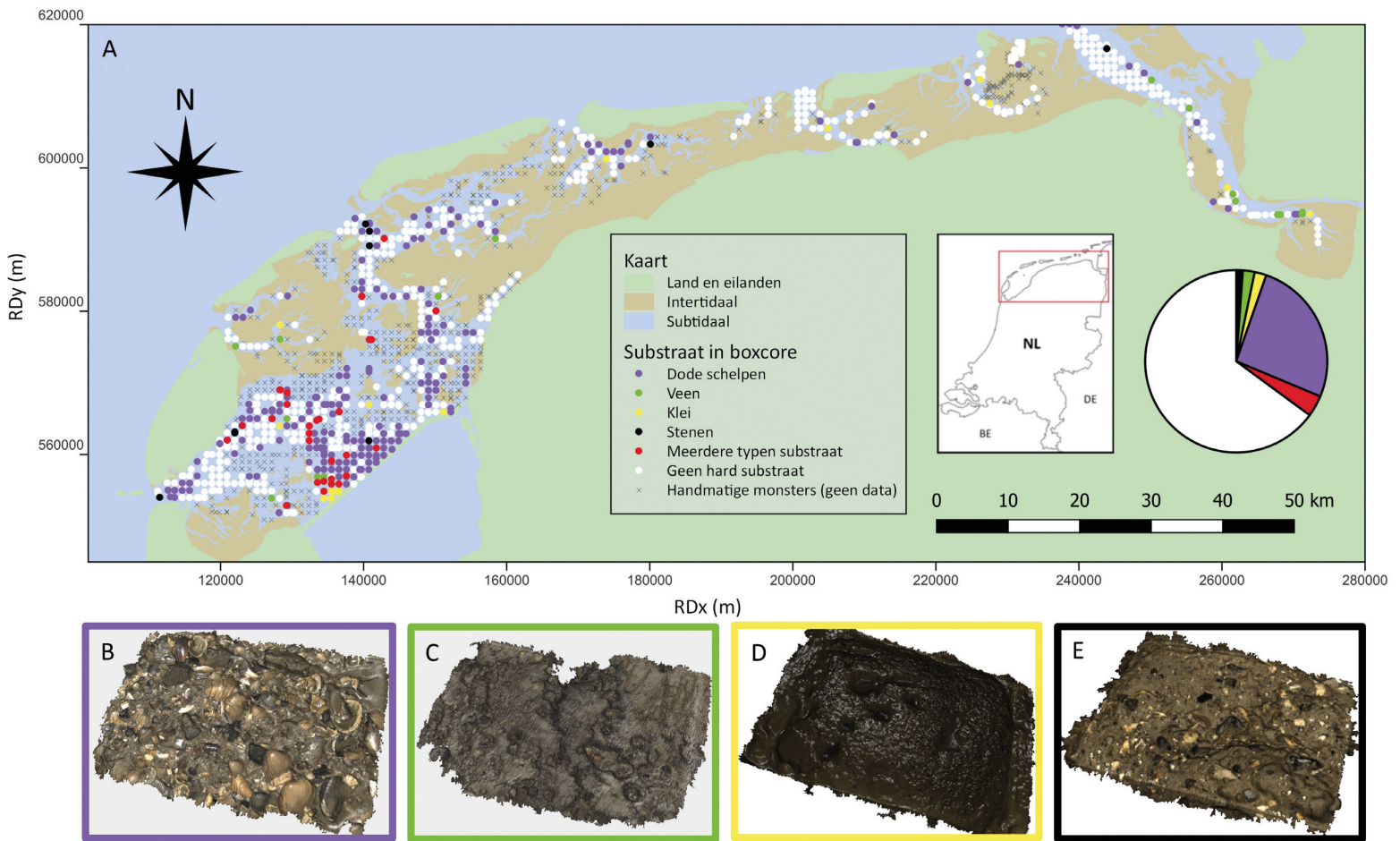
Tekst **Oscar Franken e.a.***

De Waddenzee is een nationaal en internationaal belangrijk ecosysteem dat loopt van Den Helder in Nederland tot Esbjerg in Denemarken. Het is daarmee een van de grootste getijdensystemen ter wereld. Vanwege de unieke geomorfologische en biologische waarden is het gebied benoemd tot UNESCO-werelderfgoed, en is het daarnaast aangemerkt als Natura 2000 en RAMSAR-gebied. Van de internationale Waddenzee ligt ongeveer 44 % permanent onder water (subtidaal; Ricklefs et al., 2022), en binnen Nederland is dit zelfs bijna 50 %. Omdat van het subtidaal relatief weinig bekend is over het bodemtype, het voorkomen en de abundantie van soorten die in en op de zeebodem leven (benthische soorten), hebben we in 2019 een grootschalige bemonsteringscampagne uitgevoerd (Franken et al., in voorbereiding). Hierbij hebben we in de diepere delen elke kilometer met een boxcore van 0,06 vierkante meter een bodemonster genomen, aangevuld met willekeurig verspreide mon-

sters. Van elk van de 767 genomen boxcore-monsters maakten we met een 3D-scanner een scan van het bodemoppervlak en analyseerden we de bodemsaamenstelling en de benthische soorten. Waar hard substraat, zoals schelpen, klei, veen of stenen, aan het oppervlak lag, is deze als 'aanwezig' geregistreerd, ook wanneer slechts een deel van het oppervlak was bedekt. In sommige monsters vonden we meerdere typen hard substraat, waarbij elk type genoteerd werd. Natuurlijk voorkomend hard substraat heeft in dit artikel onze speciale aandacht omdat het een vestigingsubstraat biedt voor soorten die niet op los zand en slib voorkomen. Daarnaast biedt de aanwezigheid van substraten meer heterogeniteit van de wadbodem, waardoor op kleine schaal variatie in het onderwaterlandschap ontstaat. Deze habitatheterogeniteit heeft onder andere invloed op de lokale hydrodynamische condities zoals beschutting tegen hoge stroomsnelheden en kan bescherming tegen predatie bieden (Kovalenko et al., 2021; Menge et al., 1985). Hiermee heeft habitatheterogeniteit over het algemeen een positief effect op de benthische biodiversiteit (Mestdagh et al., 2020; Van der Ouderaa et al. 2021; Tews et al., 2004; Buhl-Mortensen et al., 2010; Zeppilli et al., 2016).

Habitat voor kenmerkende benthische soorten

In 35 % van de monsters troffen we hard substraat aan het oppervlak; in de meeste monsters waren dit dode schelpen (30 %), gevolgd door klei (4 %), veen (3 %) en stenen (2 %) ¹. Van de 767 onderzochte boxcores zijn alle benthische soorten - soorten die op of in de bodem leven - op naam gebracht. Op basis van deze gegevens hebben we soorten geselecteerd die in monsters met hard substraat en niet in monsters met enkel zand- en slib aan het oppervlak zijn aangetroffen ². In totaal waren dit 17 kenmerkende soorten: 14 soorten in monsters met schelpen, drie met klei en vijf met veenbrokken. De mate waarin deze soorten



afhankelijk zijn van hard substraat hebben we op basis van de literatuur en informatie in online databases (o.a. WoRMS; Stichting Anemoon; verspreidingsatlas.nl; Hayward & Ryland, 2017) ingedeeld in drie klassen; zes soorten blijken ‘volledig afhankelijk’ (hard substraat nodig als vestigingssubstraat), zeven soorten ‘matig afhankelijk’ (vaak aanwezig op plekken met hard substraat) en negen soorten ‘niet afhankelijk’ (geen link met hard substraat bekend) te zijn 2. Verschillende soorten mosdiertjes zijn bijvoorbeeld volledig afhankelijk van hard substraat omdat ze zich hieraan vasthechten, terwijl voor de kleine slangster ‘matig’ geldt omdat de soort tevens kan voorkomen op zand en slib en bovendien mobiel is. Voor zeldzame waarnemingen kan het ook toeval zijn dat ze in een monster met hard substraat zijn gevonden, en hoewel het grootste aantal monsters enkel zand en/of slib aan het oppervlak had (65%), is om deze reden het aantal monsters met de waargenomen soorten in de tabel opgenomen 2. Het is bekend dat hard substraat ook een hotspot kan zijn voor exoten, die soms invasief blijken te zijn (Grotje et al., 2016; Bushbaum, Lackschewitz & Reise, 2012). Dit bleek in deze monsters niet het geval te zijn. Van de gevonden soorten

wordt alleen de penseelkrab als exoot beschouwd (o.a. Gittenberger et al., 2008, 2015).

Schelpen

Hieronder nemen we de verschillende typen natuurlijk hard substraat onder de loep. We beschrijven de herkomst en schetsen waar het type in het subtidaal van de Waddenzee voorkomt. Uit onze bemonsteringscampagne blijkt dat in 30% van de monsters schelpen aan het oppervlak van de wadbodem liggen. Op dode schelpen komen op geulbodems onder meer diverse soorten vlokreeften, mosdiertjes en borstelwormen voor die niet in monsters zonder hard substraat aan het oppervlak zijn aangetroffen. Ook soorten die in andere studies op schelpen werden aangetroffen zoals hydroïdpoliepen en zeepokken (Dankers en Van Moorsel, 2001), werden geobserveerd, maar doordat deze ook in monsters zonder hard substraat zijn gevonden zijn deze niet in de tabel 2 opgenomen. Naast het voorkomen van dode schelpen om en nabij levende schelpdierbanken, kunnen hoge concentraties dode schelpen ontstaan doordat ze in de geulen terechtkomen en daar accumuleren op plaatsen waar door de hoge stroomsnelheden geen of weinig afzetting van zand en

1 Angetroffen hard substraat op het bodemoppervlak in 767 boxcore-bodemmonsters uit 2019. A) Kleur stippen: type aangetroffen hard substraat. De witte stippen: locaties van bemonstering waar geen hard substraat aan het oppervlak is gevonden. De kruisjes: bemonstering met een andere techniek (handmatig). Daardoor kon het intacte bodemoppervlak niet worden gescoord. Taartdiagram: de ratio's van de gevonden substraten in de monsters. B-E) 3D-scans van boxcore-oppervlaktes met type substraten, kleuren van omlinjing corresponderen met het desbetreffende substraat in de legenda.

| Substraat Soort | NL-naam | Groep | Associatie met hard substraat | Gevonden in monsters | |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------|
| | | | | Aantal | Percentage |
| Schelpen | | | | 226 | 29,5 |
| <i>Ophiura albida</i> * | Kleine slangster | Stekelhuidigen (Echinodermata) | +/- | 2 | |
| <i>Centraloecetes kroyeranus</i> * | - | Vlokreeft (Amphipoda) | - | 2 | |
| <i>Abludomelita obtusata</i> * | Onechte honingvlokreeft | Vlokreeft (Amphipoda) | - | 1 | |
| <i>Aspidelectra melolontha</i> * | - | Mosdierkje (Bryozoa) | + | 3 | |
| <i>Alcyonidium parasiticum</i> | Overwoekerend mosdierkje | Mosdierkje (Bryozoa) | +/- | 1 | |
| <i>Anguinella palmata</i> | Slangmosdierkje | Mosdierkje (Bryozoa) | + | 1 | |
| <i>Hemigrapsus takanoi</i> | Penseelkrab | Tienpotigen (Decapoda) | +/- | 2 | |
| <i>Lepidochitona cinerea</i> | Asgrauwe keverslak | Keverslakken (Chitonida) | + | 1 | |
| <i>Eurydice pulchra</i> | Agaatpissebed | Pissebedden (Isopoda) | - | 1 | |
| Folliculinidae | nvt | Flesdierjjes (Ciliates) | + | 1 | |
| <i>Lepidonotus squamatus</i> | Geschubde zeerups | Borstelworm (Polychaeta) | +/- | 1 | |
| <i>Streptosyllis websteri</i> | - | Borstelworm (Polychaeta) | - | 3 | |
| <i>Malacoceros tetracerus</i> | - | Borstelworm (Polychaeta) | - | 1 | |
| Serpulidae | Kalkkokerworm | Borstelworm (Polychaeta) | + | 1 | |
| Veen | | | | 25 | 3,3 |
| <i>Ophiura albida</i> * | Kleine slangster | Stekelhuidigen (Echinodermata) | +/- | 1 | |
| <i>Abludomelita obtusata</i> * | Onechte honingvlokreeft | Vlokreeft (Amphipoda) | - | 1 | |
| <i>Aspidelectra melolontha</i> * | - | Mosdierkje (Bryozoa) | + | 1 | |
| <i>Farrella repens</i> | Bekermosdierkje | Mosdierkje (Bryozoa) | + | 1 | |
| <i>Abra tenuis</i> | Tere dunschaal | Tweekleppige (Bivalvia) | - | 1 | |
| Klei | | | | 33 | 4,3 |
| <i>Ophiura albida</i> * | Kleine slangster | Stekelhuidigen (Echinodermata) | +/- | 1 | |
| <i>Centraloecetes kroyeranus</i> * | - | Vlokreeft (Amphipoda) | - | 1 | |
| <i>Neomysis integer</i> | Brakwateraasgarnaal | Aasgarnalen (Mysida) | - | 1 | |
| Stenen | | | | 16 | 2,1 |
| - | - | - | - | | |
| Totaal hard substraat | | | | 269 | 35,1 |
| Geen hard substraat | | | | 498 | 64,9 |
| Totaal | - | - | | 767 | 100 |

2



2 Overzicht van soorten die in boxcores met hard substraat aan het oppervlak zijn aangetroffen, maar niet in monsters met enkel zand of slib. Van de 17 soorten en soortgroepen is aangegeven of ze geen (-), een matige (+/-) of sterke (+) associatie hebben met harde substraten en in hoeveel wadbodemmonsters ze zijn aangetroffen. Soorten met een (*) zijn op meerdere typen hard substraat aangetroffen.

4 Veenpakket met Amerikaanse boommossel (Foto: Oscar Franken)

5 Het oude bos tussen Roggebotsluis en Elburg, 1957. (Foto: Directie van de Wieringermeer)

slib is. Het betreft vooral kokkels, strandgapers en mosselen. De laatsten hebben echter een schelpkalksamenstelling die snel uit elkaar valt (aragoniet), zodat een belangrijk deel van de oudere schelpenbanken uit kokkelschelpen bestaat.

Holoceen veen

Oude veenlagen kunnen aan het oppervlak van de wadbodem beschikbaar komen. Veenlagen dateren veelal uit het Holoceen, vanaf ca. 11.500 jaar geleden. In de huidige Waddenzee lagen destijds uitgestrekte veenmoerassen, gevormd onder invloed van stagnerend water. Door het warmere klimaat en de daaruit volgende zeespiegelstijging verdronken die veenmoerassen. Vanaf circa zes- tot vijftienduizend jaar geleden vormden zich Waddeneilanden met daarachter een rustige Waddenzee (Vos, 2015). Daarna volgde een lange periode waarin zeewaartse landuitbreiding en overstroming door de zee lokaal afwisselden (Oost et al., 2017). Zo werd een opeenvolging van veenlagen en zand/sliblagen gevormd. Het GeoTOP-model geeft aan waar een veenlaag dicht aan het oppervlak ligt (Stafleu et al., 2019). De locaties komen grotendeels overeen met de door ons genomen monsters. Vooral in de westelijke Waddenzee zijn er aanzienlijke stukken waar veen aan het oppervlak ligt. Zo bestaat in

grote delen van de Vliestroom de bovenste vijf meter uit dikke veenlagen (Hijma, 2017). Nog altijd spoelen op de Waddeneilanden en in binnenbochten van geulen grote brokken oud veen aan die herinneren aan de uitgestrekte veenmoerassen van het Holoceen.

Hout in Waddenzee

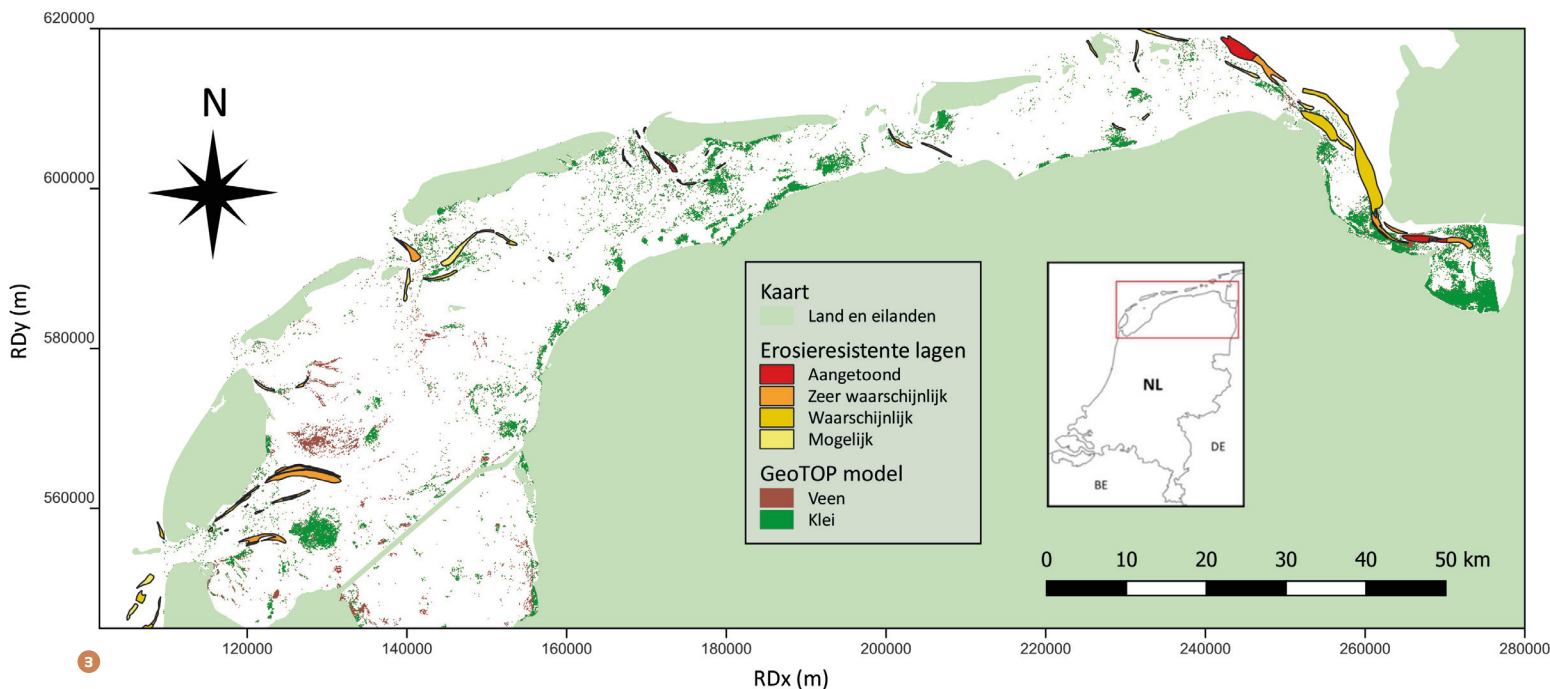
Ook hout vormt een natuurlijk hard substraat in de Waddenzee. Enerzijds hout dat voorheen aangevoerd werd via rivieren, anderzijds hout afkomstig van de vroegere moerasbossen in de Waddenzee. Waar veenmoerassen en -bossen zijn verdronken, kunnen in de ondergrond nog stobben en wortelstronken aanwezig zijn. Ze spoelen aan op stranden en zijn bijvoorbeeld tijdens de drooglegging van de Zuiderzee op verschillende plekken gevonden (5). Ten oosten van Texel vond een duikteam diverse boomstobben van een verdronken oud bos (Vos, 2012). Daarnaast zal drijfhout voor het afsluiten van de Zuiderzee en Lauwerszee een vast onderdeel zijn geweest van het ecosysteem van de Waddenzee. Drijfhout werd vervoerd door rivieren om vervolgens tot afzetting te komen in de rustigere delen van de Waddenzee. Naast het afsluiten van deze zeearmen zijn ook de bovenstroomse bossen grotendeels gekapt en wordt hout dat in het water dreigt te vallen preventief verwijderd om de veiligheid van de vaarwe-

Kunstmatig hard substraat

Naast het natuurlijke hard substraat heeft de mens hard substraat aan de Waddenzee toegevoegd. Zo ligt de Waddenzee bezaaid met historische scheeps- en vliegtuigwrakken. Er zijn verhalen over de Romeinen die met duizend schepen langs de kust voeren, waarvan een deel zonk. Vondsten van een ketel uit het Vlie en scherven van Schiermonnikoog suggereren dat Romeinse schepen ook in de Waddenzee zijn vergaan. Duizenden recentere wrakken zijn aanwezig rond de zeegaten en langs de hoofdgeulen van de Waddenzee. Bij stormen zijn veel schepen vergaan die voor anker lagen bij de verschillende redes. Zo vergingen in 1660 in één nacht meer dan honderd schepen bij de Rede van Texel (Vos, 2012). Daarnaast liggen op een aantal plaatsen in de Waddenzee vliegtuigwrakken. Al deze wrakken zijn, al dan niet tijdelijk, voor de organismen in de Waddenzee beschikbaar als hard substraat. De

eeuwenlange strijd van de mens tegen het water heeft in de Waddenzee ook haar sporen achtergelaten. Van houten kwelderwerken tot zeewaartse zeekerijen: overal in de Waddenzee zijn waterwerken aangelegd. Op minimaal 21 locaties is onder de laagwaterlijn hard substraat aangebracht in de vorm van bestortingen met stortsteen, basaltblokken en staalslakken (Gotje et al., 2016). Onderwater bestortingen zijn onder meer ingezet om erosie door geulmigratie tegen te gaan. Ook is het mogelijk om zwerfstenen in de Waddenzee tegen te komen die daar niet op natuurlijke wijze terecht zijn gekomen. Denk aan afgedwaalde stenen voor de kustverdediging of stenen die vroeger als ballast van schepen werden meegenomen. Sommige dijken of dammen liggen permanent onder water. Voorbeelden zijn de restanten van de dam van Holwerd naar Ameland, in 1871-1872 aangelegd ten behoe-

ve van landaanwinning, de Pollendam uit 1874 ten westen van Harlingen, de Vangdam uit 1780 in het Balgzand ten oosten van Den Helder en de Laurens Brandligtdam (Napoleondam) op het Balgzand uit 1785. In 1762 is bij 't Horntje aan de zuidkant van Texel een stenen zeewering gebouwd, maar deze is in 1792 weggezonken in de Texelstroom. Van meer recente datum zijn de Afsluitdijk (1932), de zeedijk die de voormalige Lauwerszee afsluit (1969) en de harde zeedijken, strekdammen en sluizen langs nagenoeg de hele Waddenkust en rond de havens. Onder het zand en slib liggen verder nog enkele verdronken dorpen, kerken en kloosters, waarvan restanten aan de oppervlakte kunnen komen. Ook bakens, boeien, mosselzaadinstallaties en boorplatforms zijn door mensen in de Waddenzee aangebrachte harde substraten waar organismen zich op kunnen vestigen.



gen te kunnen garanderen. Ook voordat dood hout het mariene milieu bereikt, heeft het al een belangrijke waarde voor de natuur in rivieren (Roni et al., 2014) en in het mariene milieu kunnen specifieke organismen voorkomen, zoals Amerikaanse boormossel, ruwe boormossel en paalworm. Daarnaast biedt de complexe structuur onder water veel variatie in stroomsnelheden en schuilmogelijkheden voor predatoren waarvan veel soorten kunnen profiteren. Uit berekeningen op basis van rivieren van over de hele wereld blijkt dat in een niet verstoord systeem jaarlijks circa 2.500 m³ hout door alleen al de IJssel aangevoerd kon worden, terwijl de houtaanvoer momenteel nihil is (Wohl & Iskin, 2021). In deze studie is er, mede door de gebruikte methode, geen hout aangetroffen tijdens het bemonsteren.

Stenen

De natuurlijke herkomst van stenen (63-200 mm) en keien (200-630 mm) gaat terug tot het Pleistoceen toen in de voorlaatste ijstijd keileem, stenen, potklei en grindlagen werden afgezet of achtergelaten in wat nu de Waddenzee is. Ook zijn stenen via rivieren aangevoerd. Grote en kleinere zwerfstenen zijn in vooral snelstromende geulen te vinden, waar het zand en slib niet permanent kan bezinken. Dit zijn ook de locaties waar in deze studie stenen gevonden zijn ¹. Volgens een kaart uit 2007, gebaseerd op sedimentdata en veldwaarnemingen, ligt in de diepere getijdengeulen van onder meer de Texelstroom stenig substraat (Ens et al., 2007). Bij de drooglegging van het IJsselmeer, vroeger onderdeel van de Waddenzee, lag de zeebodem plaatselijk zelfs bezaaid met zwerfstenen. Dit is nog zichtbaar in het Van der Lijn geologisch reservaat bij Urk (Hoogendoorn 2007) ⁶. Bekende stenvelden vlak buiten de Waddenzee zijn de Borkumse Stenen ten noorden van het Duitse eiland Borkum en de Texelse

³ Het voorkomen van erosieresistente lagen, met name potklei, in de Nederlandse Waddenzee, uitgedrukt in een kleurgradiënt van rood - de laag is aangevoerd - tot geel - er ligt mogelijk een erosieresistente laag - (Van Onselen, 2021), en uitvoer van het GeoTOP-model, dat aangeeft waar veen (bruin) en klei (donkergroen) aan het oppervlak ligt.

⁶ Stenen zijn na de drooglegging van de Zuiderzee duidelijk zichtbaar in het van der Lijn geologisch reservaat bij Urk. (Foto: Han Olff)

Stenen ten westen van Texel. Stenen en keien bieden, net als de andere harde substraten, een vestigingssubstraat voor benthische soorten. Op de 16 monsters met stenen aan het oppervlak vonden we echter geen soorten die specifiek op dit substraat voorkwamen.

Pleistoceen keileem en potklei

In de zeebodem bevinden zich harde lagen keileem en potklei. Potklei is klei die is samengeperst door het ijs wat erin de ijstijd bovenop lag en zo stevig in elkaar is gedrukt dat het nu een harde laag vormt. Deze pakketten zijn in het overgrote deel van de Waddenzee bedekt onder zand en slib. Dan verliezen ze hun ecologische relevantie aangezien organismen zich er niet op kunnen vestigen. Her en der komen ze aan of nabij het oppervlak, wat dagzomen wordt genoemd. Dagzomen vindt vooral onder water plaats in de wadgeulen. Daar liggen zogeheten erosiebestendige of erosieresistente lagen die de vorm en ligging van geulen kunnen beïnvloeden (Pierik et al., 2018, Hijma, 2017, Van Onselen, 2020). Ligt de laag bijvoorbeeld op de bodem van een geul dan gaat hij verdieping tegen en wordt de geul relatief breed. Op andere plaatsen verhindert een harde laag in de geulwand dat de geul gaat 'wandelen'. Onderzoek wijst uit dat in de Waddenzee tenminste 44 locaties zijn waar onder water erosiebestendige lagen dagzomen (Van Onselen, 2021) ³. Ten westen van Ameland ligt in het Born-diep een schoolvoorbeeld van een geulwand en -bodem die door erosiebestendige kleilagen wordt beïnvloed (Forzoni et al., 2018). Ook in het Eems-Dollard estuarium liggen meerdere harde keileem en lagen potklei in de bodem. Ze zijn aangetoond met een serie boringen (Pierik et al., 2018). Het voorkomen van een kleilaag dicht aan het oppervlak volgt ook uit het GeoTOP-model (Stafleu et al. 2019), dat mede is gebaseerd op booronderzoeken ³.

Consequenties Waddenbeheer

In de Waddenzee ligt natuurlijk hard substraat aan het oppervlak, volgens deze studie in een derde van de genomen bodemmonsters. Deze van nature voorkomende substraten vervullen een belangrijke rol binnen het Waddenecosysteem. Ze zorgen voor meer heterogeniteit van de wadbodem en bieden een habitat en vestigingssubstraat voor soorten die niet op zand en slib gevonden worden. Het Natura 2000-beheerplan stuurt onder andere aan op ecologisch herstel van de ondergedoken Waddenzee. Gezien de ecologische waarde van hard natuurlijk substraat, is het van belang om het aanwezige substraat te behouden en beschermen, met name waar het winning, verstoring, vergraven of bedekken van de subtidale bodem betreft. Zo worden dode schelpen uit de Waddenzee gewonnen in de diepere geulen van het Marsdiep, het Vlie en het Friese Zeegat. Bij het baggeren en uitdiepen van geulen zouden harde lagen ontzien moeten worden. Om het aanwezige hard substraat te kunnen beschermen, moeten we beter lokaliseren waar het ligt. Het adequaat in kaart brengen van natuurlijk hard substraat vereist het nemen van meer bodemmonsters in het subtidal. Ook het gebruik van akoestische technieken (sonar) kan verder worden onderzocht. Als een beheerdoel het vergroten van de heterogeniteit van de wadbodem en daarmee het stimuleren van een diversere levensgemeenschap van soorten op de bodem is, kan daarnaast het actief herintroduceren van natuurlijke harde substraten op hiervoor geschikte locaties overwogen worden.

Dankwoord

De auteurs bedanken de bemanning van onderzoeksschip 'RV Navicula', en alle vrijwilligers en betrokkenen bij de bemonstering en het uitzoeken van de monsters in het laboratorium! Voor het verwerken van monsters, het op naam brengen van soorten en het organiseren van de data bedanken we vooral Loran Kleine Schaars, Bianka Rasch, Jeroen Kooijman, Evaline van Weerlee, Simone Miguel en Anita Koolhaas. Dit onderzoek was mogelijk dankzij het Waddenfonds, Rijkswaterstaat en



de Provincies Noord-Holland, Fryslân en Groningen. Dit project staat geregistreerd als 'Waddentools: habitat heterogeniteit' nummer WF2018-187059, en staat ook bekend als Waddenmozaïek. ■

Oscar Franken^{1,2} (o.franken@rug.nl), * Han Olff¹ Laura Govers^{1,2}, Tjisse van der Heide^{1,2} Sander Holthuijsen^{1,5}, Jon Dickson², Sterre Witte², Quirin Smeele³, Erik van Onselen⁴, Albert Oost⁴, Addo van der Eijk⁶.

1: Conservation Ecology Group, Groningen Institute for Evolutionary Life Sciences (GE-LIFES), Rijksuniversiteit Groningen, 2: NIOZ, Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, 3: Natuurmonumenten, 4: Deltares, 5: Waardenburg Ecology, 6: Van der Eijk tekstproducties.

SUMMARY

Hard substrates Wadden Sea important for 17 benthic taxa

The Wadden Sea is an important soft-sediment dominated system. However, there are areas in this shallow sea where hard substrates are also present on the sediment surface. Boulder clay, peat, rocks, dead shell accumulations and wood are important habitats for certain benthic species. In this study, we show that in 35 % of the boxcore samples from the permanently submerged (subtidal) Dutch Wadden Sea, hard substrates were observed on the sediment surface. We identified 17 benthic taxa that were exclusively found in samples when a hard substrate was present on the sediment surface, but not in samples that only contained soft sediment. We also discuss the origin (Pleistocene, Holocene, contemporary and artificially introduced) of the most important hard substrates, and discuss the ecological values and possible consequences of the presence of hard substrates for nature management decisions in the Wadden Sea ecosystem.

Literatuur

De literatuurlijst van dit artikel vindt u door deze QR-code te scannen, of bij de online versie van dit artikel, die te vinden is op <https://delevendenatuurmagazine.nl/de-levende-natuur-nummer-03-2023/samenvatting-hard-substraat/>

