



Mammoetslagtand met gaten van de boormossel *Barnea parva*. Collectie Naturalis Biodiversity Center

AANTASTING VAN ZOOGDIERBOTTEN UIT DE NOORDZEE DOOR MARIENE BOORDERS, GRAZERS EN KNAGERS

In en op botten die langs het Noordzeestrand gevonden zijn, komen we met enige regelmaat sporen tegen van kleine mariene organismen. Vaak gaat het dan om gaten die in de botten gemaakt zijn, maar ook komen we krassen of putjes tegen of zelfs nog delen van de kalkskeletjes die de mariene diertjes hun stevigheid gaven. In dit artikel willen we een overzicht geven van wat voor soort sporen je op en in de botten uit de Noordzee tegen kunt komen, welke organismen deze sporen maken en wat ze betekenen voor de tafonomie van de strandvondsten.

Gaten, krassen en putten gemaakt door mariene organismen kunnen we rekenen tot de ichnofossielen. Ichnofossielen of spoorfossielen (ichnos is het Griekse woord voor spoor) zijn de versteende sporen van activiteiten van organismen toen ze nog leefden. Hierbij kun je onder andere denken aan pootafdrukken, bijtsporen, graafgangen en zelfs coprolieten. Net als 'gewone' fossielen, wordt aan ichnofossielen een naam gegeven volgens de binaire nomenclatuur. Namen van ichnofossielen bestaan dus uit een ichnogenusnaam en een ichnosootsnaam. Hogere indelingen dan het genusniveau zijn er voor ichnofossielen echter zelden. Dit heeft te maken met de aard van deze sporen. Eén organisme kan meerdere ichnotaxa maken en tegelijkertijd kan één ichnotaxa door verschillende organismen gemaakt zijn.

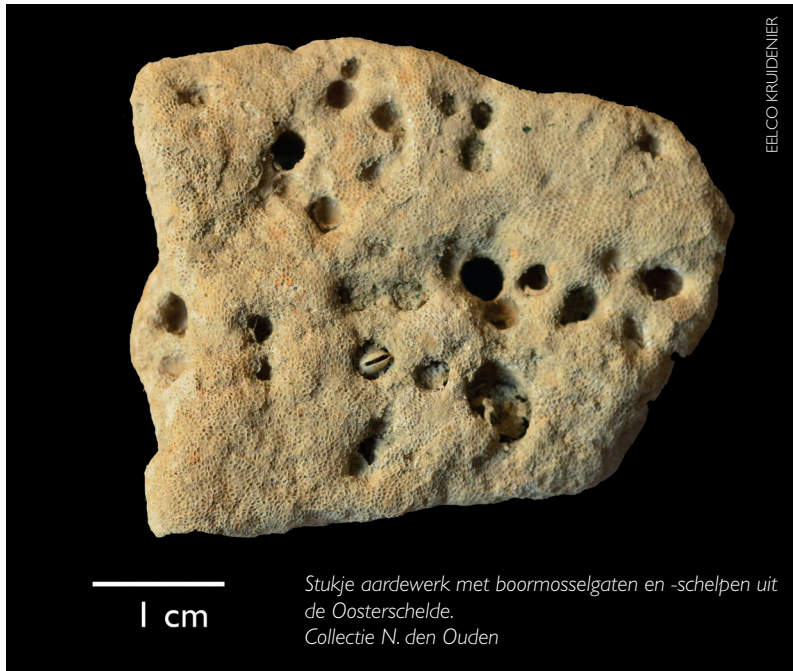
GATEN

Gaten gemaakt door borende zeedieren komen we al vroeg in het fossiele bestand tegen. Deze gaatjes kunnen zich zowel in de ondergrond als in andere organismen bevinden. Zelfs kalkskeletjes uit het late Precambrium hebben al gaatjes die waarschijnlijk het gevolg zijn

van predatie door een borend organisme. Het fossiele voorkomen van de boorders is niet constant; er zijn perioden met veel activiteit en perioden waarin ze maar heel sporadisch waargenomen worden (Wilson & Palmer, 2006). Gaten worden gemaakt door verschillende organismen.



Schelpen van de boormossel *Barnea parva* afkomstig uit de gaten in bovenstaande mammoetslagtand. Collectie Naturalis Biodiversity Center



Stukje aardewerk met boormosselgaten en -schelpen uit de Oosterschelde. Collectie N. den Ouden

Belaústegui *et al.* (2012) onderscheiden verschillende typen van bio-erosie. In de botten onderscheiden ze:

Microgaten: dit zijn zeer kleine gaatjes, veroorzaakt door borende algen, schimmels en bacteriën. Veelal hebben deze gaatjes te maken met het afbreken van de botten om bij vetten en andere voedingsstoffen te komen die in de botten zitten. Dit soort gaatjes vind je dus vooral bij dieren waarvan de botten in verse toestand in het water terecht komen, zoals zeezoogdieren, maar ook vissen en – van oudere datum – mariene reptielen.

Wormgangen: er zijn verschillende annelide (ringwormen of gelede wormen) en sipunculide (pindawormen) wormen die boorgangen maken in harde ondergronden. Ook zijn er siboglinide (baardwormen) wormen (bijv. *Osedax* die verderop uitvoeriger behandeld wordt) die in verse botten boren om zo gebruik te maken van de aanwezige voedingsstoffen.

Boorgangen van tweekleppigen: dit zijn boorgangen die meestal door boormosselen gemaakt worden. Dit gebeurt veelal in harde ondergronden zoals kalksteen, maar ook in (fossiele) botten. Over het algemeen zijn de botten waarin geboord is reeds gefossiliseerd en daarna vrijgekomen uit het sediment en komt het veel minder vaak voor dat boormosselen gaten maken in een recent bot of karkas.

Op de botten onderscheiden Belaústegui *et al.* (2012):

Graassporen van ongewervelden: dit zijn krassen die gemaakt worden door bijvoorbeeld zeeslakken of reguliere zee-egels wanneer ze de algen en andere micro-organismen van botten afgrazen.

Krabbensporen: dit zijn ondiepe groeven en putjes op de randen van botten. Op verse botten worden ze gemaakt door krabben die de laatste restjes vlees ervanaf 'grazen'. Krabben maken ove-

rigens dezelfde soort sporen op oudere botten, maar dan wanneer ze de algen, die zich na verloop van tijd afzetten, eraf grazen.

Predatiesporen van gewervelde roofdieren en aaseters: deze worden ook wel bijtsporen genoemd en kunnen de vorm hebben van krassen, putjes en gaatjes. In mariene context worden veel van dit soort sporen veroorzaakt door haaien en wanneer er nog vlees op het karkas aanwezig is.

Belangrijk om te weten is dat ieder organisme zijn eigen reden heeft om te boren en dat er meerdere manieren van boren zijn. Zo zijn er organismen die door te boren alleen een veilig onderkomen creëren en andere die ook naar voedingsstoffen op zoek zijn. Sommigen boren mechanisch en andere doen het chemisch, door een etsende stof uit te scheiden. Dit alles zorgt ervoor dat het soms erg moeilijk is om vast te stellen welk dier welk gat gemaakt heeft, maar gelukkig zijn er toch wat kenmerken die houvast bieden. Hieronder worden enkele veelvoorkomende voorbeelden beschreven van gaten die we terugvinden in vondsten uit de Noordzee.

ICHNOTAXA DIE WE REGELMATIG TERUGVINDEN OP EN IN ONZE STRANDVONDSTEN

Ichnotaxon: *Gastrochaenolites* Leymerie, 1842

Phylum: Mollusca

Klasse: Bivalvia

Familie: Pholadidae

Soorten: o.a. *Barnea parva*, *Zirfaea crispata*

Nederlandse naam: Boormosselen

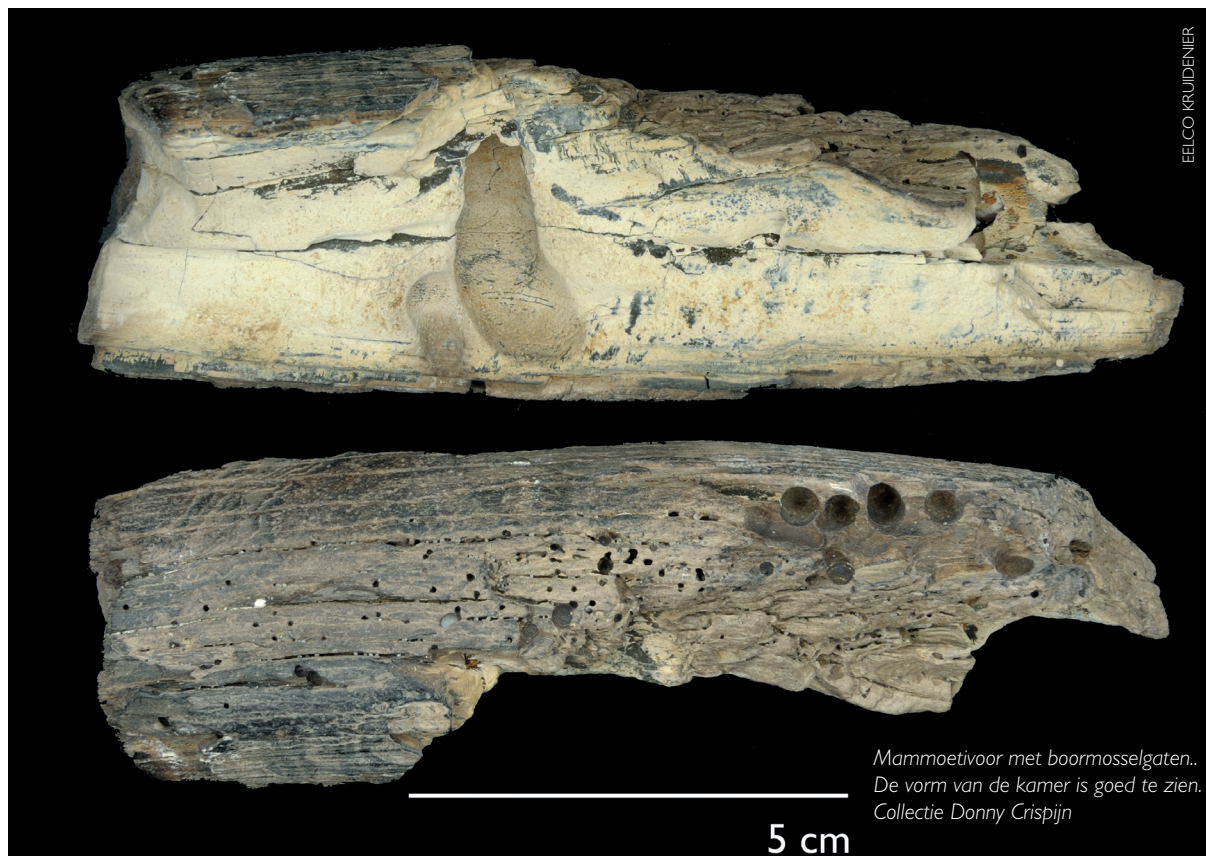
Beschrijving: knotsvormige boorgang in een hard substraat zoals schelp, steen of kalkbodems. De opening van



Fragment van een doornuitsteeksels van een herbivoor met boormosselgaten en kleine graafgangetjes van waarschijnlijk wormachtigen. Collectie Bram Langeveld

NATASJA DE NOUDEN





EELCO KRUIDENIER

Mammoetivoor met boormosselgaten.
De vorm van de kamer is goed te zien.
Collectie Donny Crispijn

5 cm

de gang is smaller dan de hoofdkamer en kan rond, ovaal of haltervormig zijn (Kelly and Bromley, 1984).

Tijdperk: Ordovicium – heden.

Dit ichnotaxon is de meest voorkomende van alle gaten. Het wordt gemaakt door boormosselen en kan voorkomen in botten, steen, hout en veenbrokken. Boormosselen hebben puntige uitsteekseltjes op hun schelp die een soort rasp vormen. Door hun schelp te draaien boren ze langzaam een gang uit. Boormosselen blijven hun hele leven in deze gang wonen, waardoor we zowel kleine gangen met daarin juveniele schelpen, als grotere gangen met daarin volwassen exemplaren vinden. Na hun dood valt de schelp vaak uit de gang waarna deze gang door andere dieren, zoals anemonen of andere mollusken, als onderkomen gebruikt kan worden.

In Nederland komen verschillende soorten boormosselen voor. De kleine boormossel (*Barnea parva*) komt vanaf het Pliocen in onze contreien voor (Janssen *et al.*, 1984) en boort zowel in zachte ondergronden zoals veenbrokken, als in veel hardere ondergronden zoals leisteen, ligniet, kalk, mergel, rode zandsteen en klei (Tebble, 1966).

De ruwe boormossel (*Zirfaea crispata*) is een boorder van vooral zachte sedimentaire gesteenten; komt langs de Nederlandse kust echter ook vaak in veen en harde klei voor. Leeft van het littoraal tot gewoonlijk een meter of 10 diep. Wordt incidenteel ook dieper gevonden tot op 200 meter. In het



EELCO KRUIDENIER

Doorsnede van boormosselgaten in krijtsteen. In het rechtergat is nog een deel van de schelp zichtbaar. Collectie N. den Ouden

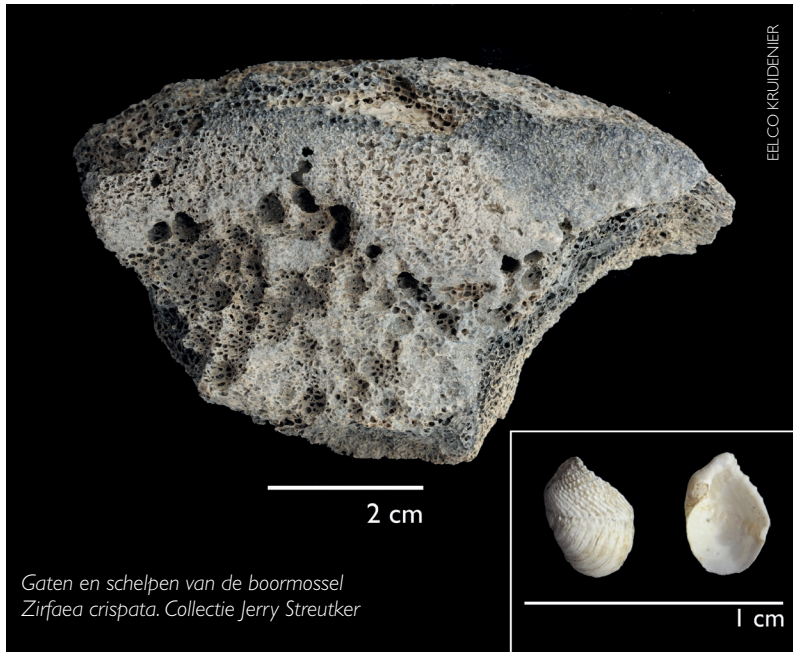
3 cm

noordoost Atlantsche gebied is de soort verspreid van IJsland tot in de Golf van Biskaje en komt in de westelijke Atlantische Oceaan ook voor in de Golf van Maine en de Golf van St. Lawrence.

Gaten van boormosselen komen vaak voor in het fossiele bestand. Belaústegui *et al.* (2012) beschrijven de vondst van een Miocene walvis in Spanje met boorgaten in de bulla (het gehoorbeen). Dit was de eerste keer dat boorgaten werden beschreven in een skelet dat niet verspoeld is. Alle overige tot nu toe beschreven gaten gemaakt door boor-

mosselen bevonden zich op verplaatste botten.

Dat boormosselen niet altijd even kieskeurig zijn bij het zoeken naar een geschikte ondergrond, bewijst de vondst van een aantal fossiele coprolieten in Mali, Afrika. Hier werden op verschillende vindplaatsen uit het Laat-Krijt tot Eoceen coprolieten gevonden in mariene sedimenten. De coprolieten zijn waarschijnlijk gemaakt door de vissen en reptielen waarvan in dezelfde lagen de botten werden gevonden. In zowel de botten als de coprolieten werden boor-



Gaten en schelpen van de boommosseel *Zirfaea crispata*. Collectie Jerry Streutker

gangen van boommosseels aangetroffen. In één geval kon van een boorgat een afgietsel worden gemaakt, waardoor de vorm van een boommosseelschelp zichtbaar werd. Deze schelp was volledig gearticuleerd, wat erop wijst dat de schelp zichzelf in de coproliet heeft ingegraven en dus geen onderdeel uitmaakte van de maaltijd van de maker van de coproliet (Tapanila *et al.*, 2004). Daarnaast geeft de vorm van de gaten aan dat ze gemaakt zijn toen de coprolieten al enigszins gemineraliseerd waren, aangezien de gaten en gangen niet vervormd zijn. In zachtere substraten, zoals klei, veen en niet-gemineraliseerde coprolieten wordt de gang vaak vervormd door druk die op het substraat wordt uitgeoefend.

Ichnotaxon: *Teredolites* Leymerie, 1842
Phylum: Mollusca
Klasse: Bivalvia
Families: Teredinidae
Soorten: o.a. *Teredo navalis*
Nederlandse naam: Paalworm

Beschrijving: clusters van langgerekte gangen van 2 cm of langer.

Tijdperk: Krijt – heden.

Dit ichnotaxon wordt gemaakt door de paalworm. Er zijn meerdere soorten paalwormen, die allemaal tot de familie Teredinidae behoren. Hoewel de naam anders doet vermoeden is de paalworm geen worm, maar een mollusk. Paalwormen worden gekenmerkt door een sterk gereduceerde schelp en een wormachtig zacht lichaam. De boorgangen zijn bekleed met een dun laagje kalk en de gangopening heeft een klepje dat door de paalworm dichtgetrokken kan worden zodat de gang afgesloten is (Monari, 2009). Vaak gaat dit klepje verloren als de paalworm dood gaat. Paalwormen boren uitsluitend in hout waarbij ze het hout zowel gebruiken als veilig onderkomen en ook als voedingsbron. Ze hebben zelfs voor het hout een

gespecialiseerde opslagkamer in hun verteringsstelsel en bacteriële endosymbionten – organismen die symbiotisch in het lichaam van hun gastheer leven - in hun kieuwen die cellulose afbreken (Turner, 1998). Hoewel de paalworm niet in botten boort, hebben we hem toch in dit artikel opgenomen, omdat aangetaste stukken hout regelmatig op het strand gevonden worden. Bovendien kunnen de gaten van paalwormen en boommosseels erg op elkaar lijken.

Ichnotaxon: *Entobia* Bronn, 1838
Phylum: Porifera
Klasse: Demospongiae
Familie: Clionidae
Soort: *Cliona celata*
Nederlandse naam: Boorspons

Beschrijving: boorgaten bestaande uit ronde kamers (met een maximum diameter van ongeveer 1 cm), vaak dicht op elkaar en met elkaar verbonden via korte smalle kanaaltjes (diameter 0,1-1,0 mm); wordt gemaakt door sponzen van de familie Clionidae.

Tijdperk: Siluur-heden.

De boorspons komt in ons gebied in de Noordzee, de Oosterschelde en de Waddenzee voor. Hier vormt hij gaten in harde substraten, zoals kalksteen en grote schelpen. Vooral oesters zijn een favoriet substraat. Maar ook in botten van Pleistocene zoogdieren zien we soms gaten die gemaakt zijn door deze spons. De gaten zijn aan de oppervlakte rond van vorm, maar onder de oppervlakte zijn ze met elkaar verbonden. Een groot deel van het lichaam van de spons bevindt zich in de kamers onder de oppervlakte. Slechts een relatief klein deel van de spons zit aan de oppervlakte.

Cliona celata, de boorspons die in ons gebied verantwoordelijk is voor gaten van het ichnogenus *Entobia*, leeft zowel in de lagere getijdenezone als in water met een diepte tot 200 meter. De soort

komt wereldwijd voor.

Ichnotaxon: *Osspecus tuscia*
Phylum: Annelida
Klasse: Polychaeta
Familie: Siboglinidae
Soort: *Osedax mucofloris*
Nederlandse naam: Botetende snotbloem

Beschrijving: Enkele boorgaten in bot; individuele boorgaten bestaan uit ronde tot semi-ronde openingen; de opening gaat het bot in als een enkel kanaal haaks op de oppervlakte van het bot; aan het einde van het kanaal bevindt zich een ronde of onregelmatig gevormde kamer.

Tijdperk: Oligoceen-heden.

In 2004 werd door Rouse *et al.* in Science een nieuw genus voor een baardworm beschreven. Deze worm werd in 2002 ontdekt in een walviskarkas in Monterey Bay, voor de kust van Californië. Sinds de ontdekking is het aantal soorten dat tot dit genus behoort aanzienlijk gegroeid. In 2009 werd een soort uit de Noordzee beschreven (Glover *et al.*, 2005). Deze soort, *Osedax mucofloris* genaamd, werd aangetroffen op een walviskarkas dat speciaal voor onderzoeksdoeleinden voor de kust van Zweden was afgezonken. Dit was de eerste keer dat een *Osedax*-soort buiten de Grote Oceaan aangetroffen werd en impliceert dat het genus een wereldwijde verspreiding kan hebben. Mogelijk gebruikt het walviskarkassen als een soort van eilandjes om zich te verspreiden.

Ook uit het fossiele bestand is *Osedax* inmiddels bekend. Gaten van deze worm zijn aangetroffen in walvisbotten uit het Vroeg-Oligoceen van Washington State, USA (Kiel *et al.*, 2010) en het Pliocene van de Middellandse Zee (Higgs *et al.*, 2012). Aanvankelijk werd gedacht dat *Osedax* uitsluitend van walviskarkassen leefde (o.a. Glover *et al.* 2005). Experimenten met een afgezonken runderkarkas (Jones *et al.*, 2008) en de vondst van vroeg-oligocene vogelbotten uit mariene context met *Osedax* boorgangen in Amerika (Kiel *et al.*, 2011) tonen aan dat *Osedax* ook op andere dieren kan leven.

Ichnotaxon: *Polydora* Bosc, 1802
Phylum: Annelida
Klasse: Polychaeta
Familie: Spionidae
Soort: *Polydora ciliata*
Nederlandse naam: Slikkokerworm of franjeworm

Beschrijving: Kleine U-vormige boorgaten met laminering (diameter van de gaten ongeveer 0,5 mm). De naam *Polydora* verwijst zowel naar het ichnotaxon als naar het organisme

Tijdperk: Boven Krijt – heden.

Deze borstelworm boort veel in zowel



Bot van een zeer jonge mammoet met gaten van de boorspons *Cliona celata*.
Collectie Hansjorg Ahrens

EELCO KRUIDENIER



Close-up van de *Cliona* gaten. Karakteristiek is de plaatsing in rijen en afname in grootte

EELCO KRUIDENIER



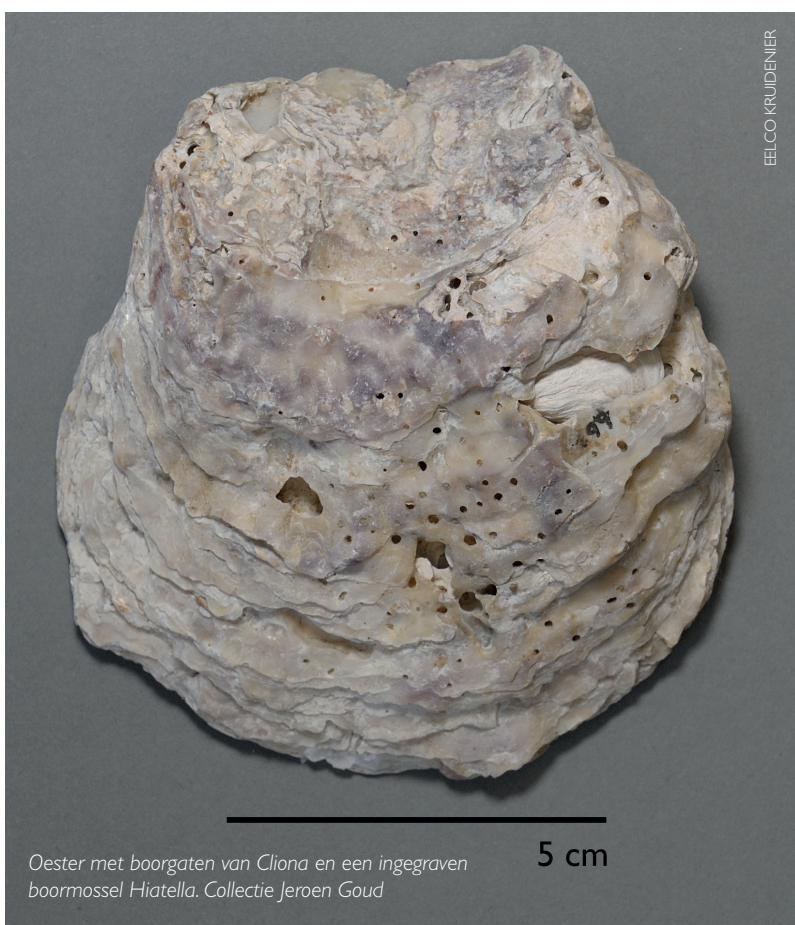
Close-up van de boormossel *Hiatella* in de oesterschelp

EELCO KRUIDENIER



Levende gele boorspons *Cliona celata*

MATTHIEU SONTAG



Oester met boorgaten van *Cliona* en een ingegraven boormossel *Hiatella*. Collectie Jeroen Goud

EELCO KRUIDENIER

2009). Het genus *Polydora* heeft een wereldwijde verspreiding en omvat zowel borende als niet-borende soorten.

Ichnotaxon: cf. *Diplocraterion* Torell, 1870

Maker: een filtervoeder

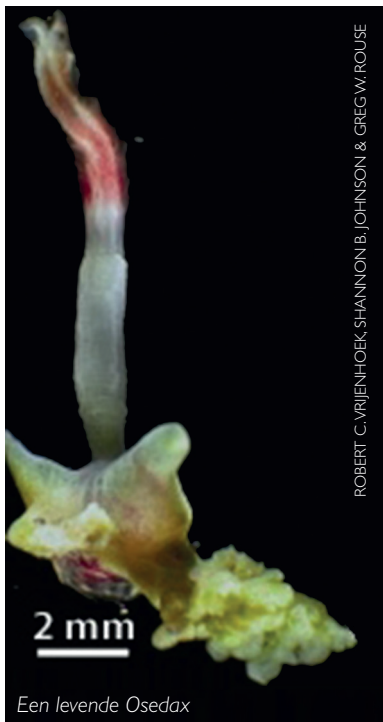
Beschrijving: U-vormige gangen met spreite (een fijne gelaagdheid veroorzaakt door de bewegingen van de bewoner); de gangen staan haaks op het oppervlak; de 'benen' van de U-vorm lopen parallel aan elkaar; diameter van de gangen varieert van 5-15 mm, de afstand tussen de twee benen is 1-7 cm met een gemiddelde van 2-3 cm, de diepte van de gangen is over het algemeen 2-15 cm met een maximum van 35 cm.

Tijdperk: Cambrium – heden.

Dit ichnotaxon wordt vaak niet intact aangetroffen. De interpretatie is dat *Diplocraterion* gemaakt wordt door een filtervoeder in een gebied met hoge waterenergie. Door deze hoge energie is de erosie groter, en bij dit ichnotaxon ontbreken dan vaak ook de bovenste gedeeltes van de gangen. Van het strand van Maasvlakte-2 is een stuk zwaar gemineraliseerd bot bekend met daarin de onderkanten van de U-vorm van *Diplocraterion* nog zichtbaar.

dode als levende schelpen, maar ook in kalksteen en botten. *Polydora* boort zowel mechanisch met zijn borstels als chemisch (van der Pers, 1978). De gan-

gen zijn U-vormig, met de in en uitgang tegen elkaar aan gelegen, waardoor de gaten aan de oppervlakte de vorm van een '8' hebben (Cadée & Wesselingh,



ROBERT C. VRIJENHOEK, SHANNON B. JOHNSON & GREG W. ROUSE

Een levende *Osedax*

Ichnotaxon: *Rogerella* De Saint-Seine, 1951
Phylum: Arthropoda
Klasse: Maxillopoda
Superorde: Acrothoracica
Nederlandse naam: borende zeepokken

Beschrijving: Zeer diepe boorgaten van zeepokken; doorsnede is kort en breed.

Tijdperk: Devoon – heden.

Zeepokken komen voor in alle zeeën. De meest bekende soorten zijn die soorten welke vastzitten aan de onderkant van schepen of op de huid van walvissen. Zij behoren tot de superordes Thoracica en Rhizocephala. Ook op Pleistocene botten vinden we ze regelmatig. Zeepokken zijn geleedpotigen met een uitwendig skelet van

harde kalkplaten. Het exoskelet van de zeepok bestaat uit een zestal wandplaten die vastzitten aan een basisplaat. Deze basisplaat zit op zijn beurt weer vastgehecht aan de ondergrond. Er zijn zeepokken welke direct op de ondergrond groeien en andere die via een steel aan de ondergrond vastgehecht zijn (Raman & Kumar, 2011). Zeepokken zijn uitsluitend marien en geven de voorkeur aan ondiep water (minder dan 100 meter). Een kwart van de soorten leeft in het getijdengebied (Doyle *et al.*, 1997). Het getijdengebied is een zeer erosiegevoelig milieu en daarom zijn de zeepokken die we op aan het strand aangespoelde botten vinden vaak uit elkaar gevallen. Alleen de basisplaat zit dan nog vastgehecht, de wandplaten zijn verloren gegaan.

Naast de Thoracica en Rhizocephala is er nog een derde superorde van zeepokken: de Acrothoracica. Deze zeepokken hebben geen hard exoskelet maar beschermen zich door gaten te boren in een harde ondergrond waaraan ze zich vasthechten via een harde plaat die zich op hun hoofd bevindt. De gaten die ze boren worden beschreven als het ichnogenus *Rogerella*. Zeepokken van de superorde Acrothoracica zijn met een lengte van slechts enkele millimeters doorgaans een stuk kleiner dan die van de andere twee superordes. De volwassen dieren hebben geen beschermend uitwendig skelet. In plaats daarvan zoeken ze bescherming in gaten die ze zelf boren. Dit doen ze wanneer ze nog niet volwassen zijn. De larven van deze zeepokken zijn vrijzwemmend en vervellen meerdere keren. Na de zesde vervelling zijn ze geen larve meer, maar hebben ze de zogenaamde cypride fase bereikt. Dit is het laatste stadium voordat ze volwassen zijn. Ze worden dan omvat door een tweedelige schaal en hebben zes paar poten die ze gebruiken om te zwemmen.

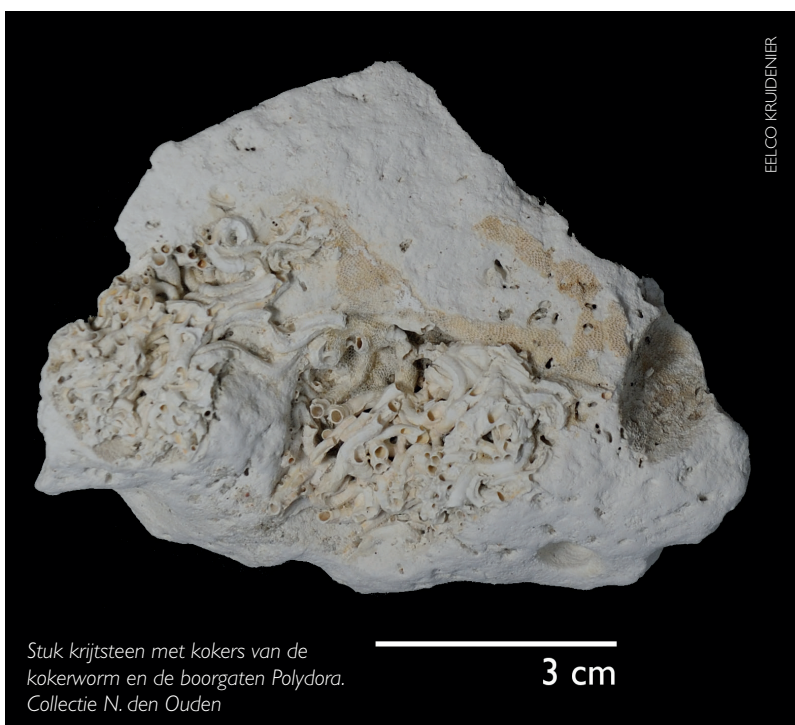
Als ze een geschikte ondergrond vinden hechten ze zich vast en gebruiken ze chitinetandjes om een boorgat te maken. Daarna volgt de metamorfose naar het volwassen stadium en blijven ze de rest van hun leven het boorgat gebruiken als bescherming (Anderson, 1994).

In de Plio-Pleistocene Red Craggs van East Anglia werden bij een inventarisatie van zeepokken door Stephen Donovan in 1988 een groot aantal zeepokken van het genus *Balanus* (thoracica) aangetroffen. De meeste van deze zeepokken zaten vastgehecht aan bivalven (tweekleppigen) en gastropoden (buikepotigen), maar ook een tand van een megalodon (haai) en een schedeldeel van een walvisachtige waren als substraat gebruikt. In een aantal schelpen werden boorgaten gevonden die aan zeepokken van de superorde Acrothoracica toegewezen kunnen worden.

BOORGANGEN EN TAFONOMIE

De tafonomie is meer dan het fossilisatieproces, het beschrijft alle stadia die het organisme heeft ondergaan: van de omstandigheden die hebben geleid tot de dood, de opname in het sediment, de feitelijke bewaring en mineralisatie (= fossilisatie), wat er daarna met de aardlagen gebeurde, hoe de aardlagen met daarin de fossielen aan de oppervlakte kwamen, welke processen de aardlagen erodeerden zodat de fossielen vrij kwamen te liggen, tot aan de omstandigheden waaronder de fossielen gevonden kunnen worden (naar 'Geologie van Nederland').

Boorgangen in pleistocene zoogdierbotten kunnen helpen met het maken van een reconstructie van wat er met het dier dood ging en wanneer het gevonden werd. Als we boorgangen van mariene organismen terugvinden in botten van Pleistocene zoogdieren, dan kunnen we concluderen dat die botten enige tijd in zeewater gelegen hebben. Nu is dat voor botten van volledig mariene zoogdieren zoals walvissen een vrij logische veronderstelling aangezien zij hun hele leven in de zee leven en daar ook sterven. Bij botten van mariene zoogdieren zoals zeehonden en zeeleeuwen is die veronderstelling al minder logisch. Ja, ze brengen een groot deel van hun leven in zee door, maar zijn ook regelmatig aan



EELCO KRUIDENIER

Stuk krijtsteen met kokers van de kokerworm en de boorgaten *Polydora*. Collectie N. den Ouden



EELCO KRUIDENIER

Close-up van de 8-vormige opening van *Polydora*



Groot stuk zwaar gemineraliseerd bot met daarin de onderkant van de graafgang *Diplocraterion*.
Collectie Walter Langendoen

1 cm

land te vinden. Botten van deze dieren kunnen dus ook in een droge omgeving fossiliseren. Botten van landzoogdieren vinden we normaal gesproken natuurlijk niet terug in een mariene context. Hoe zijn ze daar dan toch gekomen? Is het dier gaan zwemmen en heeft het nooit de overkant gehaald? Is het dier op land gestorven en zijn de botten naderhand door bijvoorbeeld een rivier de zee in gespoeld? Of is het dier op land dood gegaan, daar met sediment bedekt en zijn die sedimenten later door zeewater weg geërodeerd? Dit laatste is veelal het geval bij veel materiaal uit de Noordzee.

Als we boorgangen vinden van organismen die naast beschutting ook voedingsstoffen uit botten halen en daarom gaten maken in verse botten, dan weten we dat deze botten meteen of vrij snel na het sterven van het dier in het water terecht zijn gekomen. We moeten dan denken aan bijvoorbeeld boorgangen van *Osedax* wormen in walvisbotten. Vind je de boorgaten van deze wormen in botten van een landzoogdier, dan kun je gaan denken aan het scenario waarbij een dier in zee verdrinkt, of het scenario waarin een vers kadaver door een rivier de zee in wordt gespoeld.

In het geval van organismen die alleen boren om zich vast te hechten aan de ondergrond of om beschutting te vinden is het niet nodig dat de botten vers zijn. Organismen als boommosselelen of zeepokken gebruiken net zo lief oude botten die uit het sediment vrij zijn gekomen. Het soort borend organisme geeft hier een aanwijzing voor het milieu waaruit de botten komen, net voordat ze gevonden worden. Vind je botten op een strand waar net opgespoten is, dan zullen de meeste hiervan geen boorgaten vertonen. Ze lagen immers beschut in de sedimenten onder de zeebodem, waar de borende organismen er niet bij konden. Vind je toch boorgaten, dan kan een conclusie zijn dat die botten al uit de zeebodem geërodeerd waren voordat ze opgezogen werden. Dit geldt dan voornamelijk voor botten met gaten van dieren die in zeer rustig water leven, zoals boommosselelen. Vind je op een bot de basisplaatjes van zeepokken, dan kan het zo zijn dat die enige tijd dicht aan de kust in een gebied

met hoge activiteit heeft gelegen en niet uit dezelfde opgezogen laag komt als het overige materiaal op dat stuk strand.

Bij een taphonomische analyse wordt altijd gekeken naar meerdere factoren en de boorgangen alleen zullen dus niet tot een sluitende conclusie leiden. Ze kunnen wel een goede informatiebron vormen en bovendien geven ze mooi aan dat er in de natuur niet zoiets bestaat als 'afval'. Alles heeft een bestemming, of dat nu meteen is, of pas na duizenden jaren.

DANKWOORD

De auteurs bedanken Jerry Streutker, Donny Crispijn, Bram Langeveld, Hansjorg Ahrens en Walter Langendoen voor het beschikbaar stellen van hun collectiestukken. Steve Donovan heeft geholpen bij het identificeren van *Diplocraterion*.

LITERATUUR

- Anderson, D.T. (1994) Barnacles: Structure, Function. *Development and evolution*. Springer Berlin.
- Cadée, G.C., F.P. Wesselingh (2009) Van levend schelpdier naar fossiele schelp: Tafonomie van Nederlandse strandschelpen. *Informatieblad van de Nederlandse Malacologische Vereniging* 13.
- Donovan, S. K. (1988) Palaeoecology and taphonomy of barnacles from the Plio-Pleistocene Red Crag of East Anglia. *Proceedings of the Geological Association* 99-4, 279-289.
- Doyle, P., A. E. Mather, M. R. Bennett & A. Bussell (1997). Miocene barnacle assemblages from southern Spain and their palaeoenvironmental significance, *Lethaia* 29-3, 267-274.
- Esperante, R., F. Muñis Guinea, K.E. Nick (2009) Taphonomy of a Mysticeti whale in the Lower Pliocene Huelva Sands Formation (Southern Spain). *Geologica Acta* 7-4, 489-505.
- Glover, A.G., B Källström, C.R. Smith, T.D. Dahlgren (2005) World-wide whale worms? A new species of *Osedax* from the shallow north Atlantic. *Proceedings of the Royal Society series B: Biological Sciences* 272-1581, 2587-2592.
- Higgs, N.D., C.T.S. Little, A.G. Glover, T.D. Dahlgren, C.R. Smith, S. Dominici (2012) Evidence of *Osedax* worm borings in Pliocene (~3 Ma) whale bone from the Mediterranean. *Historical Biology: An International Journal of Paleobiology* 24-3, 269-277.
- Jones, W.J., S.B. Johnson, G.W. Rouse, R.C. Vrijenhoek (2008) Marine worms (genus *Osedax*) colonize cow bones. *Proceedings of the Royal Society series B: Biological Sciences* 275, 387-391.
- Kiel S., J.L. Goedert, W.-A. Kahl, G.W. Rouse (2010) Fossil traces of the bone-eating worm *Osedax* in early Oligocene whale bones. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107-19, 8656-8659.
- Kiel S., W.-A. Kahl, J.L. Goedert (2011) *Osedax* borings in fossil marine bird bones. *Naturwissenschaften* 98, 51-55.
- Monari, S. (2008) *Barnea (Anchomasa) parva* (Pennant, 1777) (Pholadidae, Bivalvia) in the Pleistocene sediments of northern Latium (central Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 47-3, 203-210.
- Monari, S. (2009) Phylogeny and biogeography of pholadid bivalve *Barnea (Anchomasa)* with considerations on the phylogeny of Pholadoidea. *Acta Palaeontologica Polonica* 54-22, 315-335.
- Nair, N.B., A.D. Ansell (1968) The Mechanism of Boring in *Zirpaea crispata* (L.) (Bivalvia: Pholadidae). *Proceedings of the Royal Society Series B: Biological Sciences* 170-1019, 155-173.
- Raman, S., R. Kumar (2011) Construction and nanomechanical properties of the exoskeleton of the barnacle, *Amphibalanus reticulatus*. *Journal of Structural Biology* 176-3, 360-369.
- Rouse, G.W., S. K. Goffredi, R. C. Vrijenhoek (2004) *Osedax*: Bone-Eating Marine Worms with Dwarf Males. *Science* 305-5684, 668-671.
- Tapanila, L., E.M. Roberts, M.L. Bouaré, F Sissoko, M.A. O'Leary (2004) Bivalve Borings in Phosphatic Coprolites and Bone, Cretaceous-Paleogene, Northeastern Mali. *Palaio* 19-6, 565-573.
- Turner, R.D. (1998) Superfamily Pholadoidea. In: Beesley, P.L., Ross, G.J.B. Wells, A. (eds). *Mollusca: The Southern Synthesis. Fauna of Australia Volume 5*. CSIRO Publishing, Melbourne, 371-378.
- Wilson, M.A., T.J. Palmer (2006) Patterns and processes in the Ordovician Bioerosion Revolution. *Ichnos: An International Journal for Plant and Animal Traces* 13-3, 109-112.