



Zeelak heeft supertanden

Het sterkste natuurlijke materiaal ter wereld is afkomstig van een weekdier: de schaalhoorn. Deze zeelak komt ook in Nederland voor, en is een voorbeeld voor ingenieurs.

Gemma Venhuizen

Een versie van dit artikel verscheen ook in NRC Handelsblad van 3 augustus 2019, overgenomen met toestemming van de auteur.

Schaalhoorns leven van algen die ze van de rotsen schrapen. Bij laag water zie je hem soms op kademuren, vastgeklampt aan de stenen; bij hoog water kruipt hij rond over diezelfde stenen op zoek naar algen. Zijn schelp oogt als een puntige rijstplukkershoed, simpel en glad – geen gedraaid huisje zoals je bij een zeelak zou verwachten. Maar de schaalhoorn is dan ook geen gewone zeelak. Met zijn schelp is hij zeesterren te slim af, met zijn ‘voet’ kan hij sterke golven weerstaan. En daarnaast produceert dit weekdier het sterkste natuurlijke materiaal ter wereld. Onder zijn punthoed draagt de schaalhoorn zijn geheim met zich mee: tandjes die zo sterk zijn dat ze een inspiratiebron vormen voor de mens.

Niet als de meeste andere weekdieren hebben schaalhoorns een radula. Dat is een tong met daarop rijen tandjes, die ze gebruiken om algen van de rotsen te grazen. De tanden van schaalhoorns bevatten het ijzerhoudende mineraal goethiet, en dat is grotendeels verantwoordelijk voor de extreme sterkte, schreef de Britse hoogleraar en ingenieur Asa Barber al in 2015 in het Journal of the Royal Society Interface. Samen met collega's van de universiteit van Portsmouth ontdekte hij dat de tanden van de gewone schaalhoorn (*Patella vulgata*) trekkrachten tot 6,5 gigapascal (GPa) kunnen weerstaan voordat ze breken – 2 GPa meer dan spinzijde, dat andere supersterke materiaal van biologische oorsprong. 1 GPa staat gelijk aan een druk van 10.000 bar. Ter vergelijking: de spanning in een autoband is 2 tot 3 bar.

Synthetische vezels

“Zulk stevig graasgereedschap is interessant voor de mens. Want hoe meer we weten over die ingenieuze tong, hoe natuurgetrouwer we die kunnen nabootsen, en dus zelf ook uitzonderlijk sterke materialen kunnen maken”, vertelt Asa Barber aan de telefoon. Inmiddels werkt hij niet meer in Portsmouth maar aan de Londense South Bank University. Daar doet hij nog altijd onderzoek naar composieten – materialen die zijn opgebouwd uit meerdere componenten.

“Ik houd me als ingenieur veel bezig met nanotechnologie en koolstofvezels.

Maar die synthetische vezels, zoals kevlar, kunnen vaak maar trekkrachten rond de 3 gigapascal weerstaan. Zelfs grafeen, dat als sterkste kunstmatige materiaal te boek staat, kan maar ongeveer 6 gigapascal aan.” Toch is de schaalhoorntand nog niet het allersterkste materiaal ter wereld, benadrukt Barber. “Diamant bijvoorbeeld is nog sterker, dat kan trekkrachten tot

10 gigapascal aan. Het ligt dus wel een beetje aan je definitie van 'natuurlijk'. Eigenlijk is het nauwkeuriger om te zeggen: de schaalhoorn tand is het sterkste materiaal van biologische oorsprong."

Baggermachine

Ook John Videler, emeritus-hoogleraar bionica en mariene zoölogie aan de Rijksuniversiteit Groningen, heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar de tanden van de gewone schaalhoorn. Hij schreef erover in zijn boek 'Leren van de natuur' en voerde in de jaren negentig een onderzoek uit in opdracht van baggermaatschappij Boskalis.

"Ze wilden weten hoe ze efficiënter konden baggeren in harde ondergrond. Daarbij gebruiken ze zogeheten cutterzuigers, die met een roterende kop met hardstalen tanden materiaal van de bodem lossnijden. Maar die tanden sneuvelden vaak."



Afbeelding 1. Een schaalhoorn (links), gefotografeerd op een rots aan de Ierse kust. Ze leven van algen die ze van de rotsen schrapen.

Het bleek dat de tanden van die zuigerkoppen wel wat weg hadden van de radula's van zeeslakken, met een verschil: de stalen cuttertanden waren recht, terwijl de slakkentanden gekromd zijn. "Zo komen niet alle krachten op het uiteinde van zo'n tand terecht, maar worden ze afgeleid naar het dikkere deel. Daardoor breken ze niet zomaar af." Videler ging met zijn bevindingen naar de fabrikant van de cuttertanden, maar die zag er geen heil in de mallen te veranderen. "Als ze langer mee zouden gaan zou hij er minder verkopen, was zijn reactie." Niettemin was Videler gegrepen door de schaalhoorn. "We smeerden glasplaten dun in met niervet, en filmde ze vervolgens van onderen terwijl ze aan het grazen waren. Dan zag je mooi die rijen tandjes. Haast buitenaards."

Schaalhoorns hebben net als andere grazende slakken meerdere tandenrijen achter elkaar omdat de tanden ondanks hun hardheid toch slijten door het grazen. "Als de voorste tandenrij

te ver versleten is, laat die los, en neemt de daarachter gelegen rij de schraapfunctie over. Maar zelfs tijdens het slijtproces blijven de tanden scherp. Dat komt door de opbouw: de goethietkristallen liggen in een soort dakpanconstructie op elkaar.”

Beschadigde schelpen

Naast de tong is ook de schelp van de schaalhoorn sterk, zolang er geen beschadigingen optreden, schreven Italiaanse en Ierse onderzoekers deze zomer in het 'Journal of the Royal Society Interface'. Zij beschadigden de schelpen van schaalhoorns opzettelijk op drie manieren: door er iets bovenop te laten vallen (om de impact van bijvoorbeeld stenen die met het getij tegen de schelp aanbotsen na te bootsen), door er een stukje af te vijlen (om de schuren- de werking van zand na te bootsen) of door er een gaatje in te maken met een spijker. Vervolgens keken ze na verschillende tijdsintervallen (0, 10, 30 en 60 dagen) of de schelpen de schade hadden gerepareerd. Na 60 dagen bleken bijna alle schelpen net zo sterk als de controlegroep van onbeschadigde schelpen (met uitzondering van de gaatjesgroep: daarvan had 50 procent het loodje gelegd). Wel waren ze nog beduidend dunner. Het lijkt er dus op dat er nog sprake is van een ander herstelmechanisme: mogelijk is de mineraalstructuur van het herstelde deel anders, waardoor de schelp met minder materiaal toch net zo sterk is.

Slijmspoor

Schaalhoorns leven in getijdenezones langs de Europese kust, en bevinden zich dus grofweg de helft van de tijd boven water. De schelp is zo gevormd dat golfslag en vogelsnavels er nauwelijks grip op kunnen krijgen. Daarom kunnen schaalhoorns bij hoogwater gewoon op de rotsen verblijven, en hoeven ze niet zoals andere slakken beschutting te zoeken in spleten. Videler: “Dat heeft als voordeel dat ze, zodra ze onder water komen, meteen kunnen beginnen met grazen.” De schelp blijft gevuld met water, zodat het weekdier niet uitdroogt. “Wanneer ze onder water staan, gaan de dieren rondkruipen en grazen, tot enkele meters van hun vaste stek”, zegt Videler. “En het fascinerende is: ze keren altijd weer terug naar hun eigen parkeerplek. Die laat vaak de vorm van de rand van de schelp zien. De rand sluit precies aan op de harde bodem.”

Schaalhoorns weken met enzymen de onderliggende rotsen op en schuren ze vervolgens precies bij met hun schelp. Doordat schaalhoorns tot wel 35 jaar oud kunnen worden, ontstaan zo diepe 'litttekens' op de rotsen. Zelfs als de slijmsporen worden weggeschrobd, kunnen veel schaalhoorns de weg naar huis nog terugvinden. Waarschijnlijk zijn sommige chemische signalen zo plakkerig dat er altijd wel een beetje aan de rotsen blijft kleven. Schaalhoorns zijn in ieder geval in staat hun eigen slijmspoor te onderscheiden van dat van hun burens.

“Schaalhoorns hebben ook een stevige, gespierde 'voet' waarmee ze zich vasthouden aan de rotsen, door zich vacuüm te zuigen én door een soort lijmachtig slijm te produceren”, zegt Barber, die voor zijn onderzoek aan de tandjes tientallen schaalhoorns langs de Britse kust oogstte. “Soms moesten we ze loswrikken met een mes.”

Met hun voet kunnen ze ook een trucje uithalen dat 'mushrooming' heet: als er een vijand – zoals een zeester – nadert, kan de schaalhoorn zich een stukje opduwen, waardoor hij op een paddenstoel lijkt. Als de zeester een van zijn armen onder de schelp beweegt, klapt de schaalhoorn razendsnel weer naar beneden, waardoor de zeesterarm wordt afgeklemd.

Afbeeldingen: Pim Rooymans