



DE GEHEIMEN VAN DE
IJSVIS ZIJN NIET MEER VEILIG

IJSKOUDE INFORMATIE

Tekst: Pauline van Schayck

Zeewater van -1,9 graden Celsius, een overschot aan zuurstof en maanden waarin de zon niet opkomt of ondergaat: het maakt de ijsvis allemaal niets uit. Wetenschappers onderzoeken hoe deze diersoort zich heeft aangepast aan de kou - en wat wij daaraan hebben.

Bij Bouvet, een van de meest afgelegen Antarctische eilanden, ving de Noorse zoöloog Ditlef Rustad in 1927 een wonderbaarlijke vis. Rustad verbaasde zich over de krokodilachtige kaak en over de bleke kieuwen, die bij andere vissen roodpaars zijn door het bloed dat erdoorheen stroomt. Maar deze vis had melkwitte kieuwen, met kleurloos bloed. Op zich een opzienbarende ontdekking, maar aanvankelijk bleef het bij een notitie in zijn reisverslag; pas in 1954 werd zijn ontdekking van 'wit bloed' bij de zwartvinijsvis (*Chaenocephalus aceratu*) door andere onderzoekers bevestigd. Anno 2019 weten wetenschappers heel wat meer van de krokodilijsvissen waartoe de zwartvinijsvis behoort. Sterker nog: ze staan ervan versteld hoe deze dieren in die extreme omstandigheden gedijen. Want waar ons bloed in het ijzige zeewater bij Antarctica zou bevriezen en onze cellen door ijskristallen lekgeprikt zouden worden, blijkt de lage temperatuur voor de ijsvis geen enkel probleem. Onderzoekers willen tot in detail uitpluizen waar dat hem in zit. Met moderne technieken die in de tijd van Rustad nog lang niet in zicht waren, ontrafelen ze stapje voor stapje de geheimen van de ijsvis.

Bevroren vissenbloed

Dankzij DNA-technieken en krachtige computers weten we nu bijvoorbeeld onder meer dat de voorouders van de ijsvissen flink verschilden van de exemplaren die vandaag de dag de Antarctische wateren bevolken. Ze hadden bijvoorbeeld nog hemoglobine, het eiwit dat zuurstof vervoert in het bloed - en het rood kleurt. En ze leefden op de oceaانبodem, waardoor ze geen zwemblaas nodig hadden die voor drijfvermogen zorgde. Daar kwam verandering in toen tussen 14 en 10 miljoen jaar geleden hun omgeving drastisch veranderde als gevolg

van schuivende aardplaten. Afrika en Australië waren al langzaam weggedreven van Antarctica en uiteindelijk kwam ook het zuidelijkste puntje van Zuid-Amerika los. Hierdoor kon op zee een sterke cirkelvormige stroming rond Antarctica ontstaan, waarin steeds minder warmer water van verder weg instroomde. Zo zakte de watertemperatuur langzaam tot bijna twee graden onder nul. Dat is net boven het vriespunt van zeewater, maar onder het vriespunt van lichaamsvloeistoffen. Veel vissoorten overleefden deze temperatuurdaling niet. De voorlopers van de ijsvissen hadden geluk: ze bleken te beschikken over een trukendoos waarmee ze bevroering konden voorkomen. Deze voorheen nutteloze antivries-toolbox werd uiteindelijk hun redding.

IJswater vol zuurstof

Om nog verder in deze geschiedenis en de antivries-trukendoos van de ijsvissen te duiken, onderzochten wetenschappers uit Duitsland, Zuid-Korea en de Verenigde Staten onlangs het genoom (het geheel aan erfelijke informatie) van een zwartvinijsvis, bestaande uit ruim 1 miljard basen (de DNA-letters A, C, T of G). Ter vergelijking: het menselijk genoom bevat ongeveer 3 miljard basen. De onderzoekers vergeleken vervolgens het genoom met dat van andere straalvinnigen, de klasse waartoe de zwartvinijsvis behoort en waarvan al meer genen en functies waren beschreven. Een nuttige stap, want uit verschillen tussen verwanten met dezelfde voorouder kun je afleiden welke aanpassingen specifiek zijn voor een soort in een bepaald leefgebied. Op deze manier vonden de onderzoekers genen die waren veranderd, verdwenen of juist veel meer kopieën bevatten. Zo hebben bepaalde genen er bijvoorbeeld voor gezorgd dat ijsvissen hun rode bloedcellen verloren. Een van de onderzoekers, de Duitse biochemicus Manfred Schartl, legt uit hoe

DOUG ALLAN/NATURE PICTURE LIBRARY/GETTY IMAGES

■ Er zijn zo'n zestien soorten ijsvissen bekend. Het zijn de enige gewervelden die in het volwassen stadium geen hemoglobine in hun bloed hebben.

■ De ijsvis hoeft niet bang te zijn voor ijsvisser, want die zijn alleen in de noordelijke poolgebieden actief. En daar is geen ijsvis te bekennen.

■ Het bloed van ijsvissen is kleurloos, maar er zijn ook dieren met blauw bloed, zoals spinnen en krabben. En borstelwormen hebben groen bloed.

■ De zwartvijnisvis wordt maximaal 72 centimeter lang en leeft op 5 tot 770 meter diepte in de wateren rond Antarctica.



■ Het bloed van ijsvissen (in het rechterbuisje) is kleurloos of witachtig; de dieren hebben geen rode bloedcellen. Het zit wel vol met antivries-eiwitten die de groei van ijs afremmen.



dat kan: "Bij lage temperaturen zijn zowel het zeewater als alle lichaamsvloeistoffen verzadigd met zuurstof. Hemoglobine is dan niet langer nodig voor het transport van zuurstof naar de weefsels." Het rode transportwagentje werkt namelijk het best als er op de ene plek veel en op de ander plek weinig zuurstof is. Dan neemt hemoglobine gemakkelijk zuurstof op bij de kieuwen, om het weer los te laten bij de weefsels (diffusie). Maar in een omgeving die verzadigd is met zuurstof werkt hemoglobine niet meer efficiënt, en zo ging het bij de ijsvis uiteindelijk verloren. Tegelijkertijd verdween de rode bloedcel waarvan hemoglobine het hoofdbestanddeel vormt. Ondanks de hoge zuurstofconcentraties is het zonder rode bloedcellen wel lastiger om voldoende zuurstof aan te voeren voor de verbranding. Bovendien heeft de ijsvis extra veel energie nodig in dat ijskoude water. Daarom zijn de dieren nog verder geëvolueerd: ze hebben twee keer zoveel bloed, een groter hart en bredere bloedvaten dan vissen van vergelijkbare grootte. En binnenin de cellen hebben ze ook nog eens meer mitochondriën (energiefabriekjes). De hoge concentraties zuurstof in het leefgebied van de ijsvissen hebben wel een nadeel: de zuurstof kan een extra elektron opnemen, waarna er zuurstofradicalen ontstaan. Die kunnen schade toebrengen aan weefsels en worden in verband gebracht met het ontstaan van kanker. Maar de ijsvis is daarvoor voor-

reid: hij heeft extra kopieën van genen die coderen voor beschermende eiwitten. Dit zijn bijvoorbeeld eiwitten die het extra elektron weer afnemen van het radicaal, de radicalen opruimen of een beschadigd stukje DNA repareren.

Verlaagd vriespunt

Maar er is nog een overtreffende trap. Scharl vertelt wat misschien wel het grootste vernuft is in het genoom van de ijsvis: "Vergeleken met andere soorten heeft hij een ontzettend groot aantal genen voor de productie van antivries-eiwitten". Deze eiwitten omhullen ijskristallen, waardoor nieuwe watermoleculen zich niet meer kunnen binden aan nieuwe kristallen. De ijsvis heeft dus wel degelijk ijs in zijn bloed, maar het antivries remt de groei ervan. Daarbij hebben de larven van de ijsvis nóg een strategie om niet te bevriezen: de glashuid, het beschermende vliesje om een embryo, bevat AnnotoZPs. Dat zijn eiwitten die het vriespunt van water met ongeveer een halve graad verlagen. Verderop in het genoom ontdekten de onderzoekers ook nog mogelijke aanpassingen aan de extreem lange

▲ De larven van de ijsvis hebben eiwitten die het vriespunt van water verlagen. Deze eiwitten beschermen tegen bevriezing. Het DNA van de dieren zit vol met informatie om te voorkomen dat ze een ijsklomp worden.

zomerdagen en winternachten in het poolgebied. Want hoe regel je in zulke omstandigheden je biologische klok? De ijsvis heeft daar in ieder geval geen 'normaal' dag- en nachtritme voor nodig, denken de onderzoekers. Zijn genoom blijkt namelijk nauwelijks genen voor een dag- en nachtritme te bevatten; veel minder dan andere vissen. Verbazingwekkend allemaal, maar toch heeft de ijsvis nóg meer konijnen in zijn hoge hoed. Nadat in het afgekoelde Zuidpoolgebied veel vissoorten uitstierden, nam de concurrentie voor de ijsvis af. Het was niet langer nodig om alleen op de bodem te leven, maar vrij rondzwemmen was lastig, want ijsvissen hadden geen zwemblaas. Daarop ontwikkelde de vis lichte botten door minder kalk op te slaan in zijn graten. Dit proces lijkt op botontkalking, bij mensen een behoorlijk lastige aandoening. Al die trucjes van de ijsvis zijn enorm interessant voor medische onderzoekers. Scharl: "Deze vissen hebben zich onder natuurlijke omstandigheden zo ontwikkeld dat het net lijkt of ze een menselijke ziekte hebben. Hoe gaat de ijsvis bijvoorbeeld om met ernstige botontkalking? De genen die we nu

gevonden hebben, gaan we verder onderzoeken." Hetzelfde geldt voor de verdwenen rode bloedcellen. Voor mensen zou dat een dodelijke vorm van bloedarmoede betekenen, maar voor de ijsvis is het geen centje pijn. Als de onderliggende mechanismes duidelijk worden, komt die kennis misschien van pas bij de behandeling van deze ziektes bij mensen.

Goed gejat

Ook het natuurlijk antivries nemen wetenschappers onder de loep. Materiaalwetenschapper Ilja Voets van de TU Eindhoven onderzoekt bijvoorbeeld tot in detail hoe antivries-eiwitten uit onder andere ijsvissen voorkomen dat ijskristallen uitgroeien. Haar doel is om antivries te ontwikkelen voor allerlei producten en materialen, zoals vliegtuigvleugels, windturbinebladen, autoruiten en zelfs beton. Dat laatste is poreus en kan scheuren als het opgenomen water befrist. "We maken nu een kunststof met eigenschappen van antivries-eiwitten die voorkomt dat het beton befrist. De natuurlijke eiwitten zijn hiervoor niet geschikt, want we willen een product dat je in grote hoeveelheden kunt maken. We gebruiken daarom kennis over de precieze werking van de eiwitten." Zo weet Voets inmiddels dat die natuurlijke eiwitten een soort plakstrip hebben waar ijskristallen zich aan hechten. Alle andere plekken van het eiwit trekken juist geen ijs aan. "We proberen dat zo goed mogelijk na te

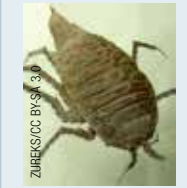
▲ De kieuwen van de ijsvis zijn melk-wit, een teken van bloedarmoede. De botten zijn extreem licht door botontkalking, maar ook daar heeft de ijsvis geen last van. Kunnen we met deze kennis ooit broze botten voorkomen?

booten." Dit antivries voor beton werkt al zo goed dat het klaar is voor de markt. Voets werkt ook samen met artsen die proberen om donororganen in bevroren toestand langer goed te houden, zonder dat de organen schade oplopen. Antivries-eiwitten lijken daarbij te kunnen helpen, maar een goede methode uitdokteren is een ingewikkelde klus. "We denken dat elk celtype een andere oplossing nodig heeft om de cellen langer goed te houden. Voor een heel orgaan moeten we misschien wel allerlei oplossingen combineren. Dit is echt onderzoek van de lange adem - misschien wel decennia, maar ik verwacht hier veel van."

De ijsvis geeft in de toekomst hopelijk nog meer geheimen prijs. Kunnen we straks bij iedereen broze botten voorkomen? En houden we donororganen eeuwig goed? Of hoeven we nooit meer bevroren autoruiten te krabben? Eén ding is zeker: we apen de natuur maar wat graag na. Sommige experimentele ijsjesmakers weten zelfs wel raad met antivries-eiwitten. Wacht - wat? Antivries in consumptie-ijs!? Zeker, want zachter ijs zonder kristallen vinden we nu eenmaal lekkerder. ■

Drie bizarre poolzeedieren

Reuzenpissebed
1 Is een gewone pissebed amper 2 centimeter lang, een reuzenpissebed (*Glyptonotus antarcticus*) in de poolzee kan wel vijf keer zo groot worden. Hij heeft twee paar ogen: één paar op de rug en één paar op de buik. Die laatste zijn handig als hij ondersteboven zwemt.



Reuzeninktvis
2 In de blockbuster *Pirates of the Caribbean* vallen ze schepen aan, maar ook in het echt zijn reuzeninktvisvissen geen lieverdjes. *Architeuthis sp.*, die in uitzonderlijke gevallen 15 tot 18 meter groot kan worden, eet vis en krabben - en soms een soortgenoot.



Zakpijp
3 In hun uppie zijn zakpijpen (*Salpidae*) onopvallende drillpuddinkjes, maar in kolonies zijn ze niet te missen: dan vormen ze tot 5 meter lange slierten of spiralen. Verwar deze dieren overigens niet met kwallen, want ze hebben zelfs een voorloper van een ruggengraat. Daarmee zijn zakpijpen veel nauwer verwant aan de mens.



Pauline van Schayck is bioloog en wetenschapsjournalist. Voor dit artikel raadpleegde zij onder meer: Bo-Mi Kim e.a.: *Antarctic blackfin icefish genome reveals adaptations to extreme environments*, Nature Ecology and Evolution (25 februari 2019).

■ Ga voor links met meer informatie naar www.kijkmagazine.nl/artikel/ijsvis