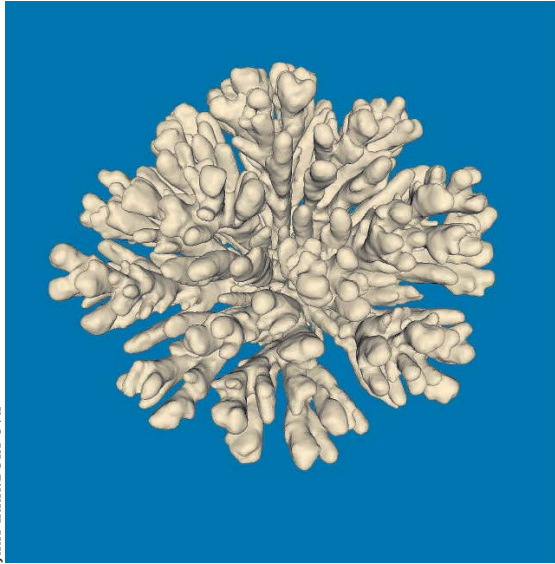


De witte dood



UNIVERSITY OF QUEENSLAND



Computersimulaties van koraalgroei lijken als twee druppels water op de groei van echte koralen. Nu de modellen realistisch zijn hopen biologen te achterhalen wat de oorzaak is van koraalsterfte. **Sander Voormolen**

BIJNA GEEN KORAAIRIF ter wereld ontsnapt aan een fenomeen dat bekend staat als *coral bleaching*, oftewel koraalbleken. De koralen verliezen plots hun kleur doordat zij hun algen uitstoten en het onderliggende witte kalkskelet zich fel aftekenen. Als dit lang duurt, sterven ook de poliepenkolonies rondom het skelet en is het koraal dood. Vooral omdat het wereldwijd optreedt, maken biologen zich grote zorgen over deze oprukkende 'witte dood'.

Welk mechanisme het verbleken van de koralen precies veroorzaakt is echter niet bekend, al is de verhoogde temperatuur van het zeewater verdachte nummer één. In de afgelopen honderd jaar steeg de gemiddelde temperatuur van het zeewater op aarde met één graad. Dat lijkt marginaal, maar koralen zijn daar erg gevoelig voor. Tropische koralen gedijen goed in zeewater met een temperatuur van tussen de 25 en 29 graden Celsius. Ze blijken wel bestand tegen kortstondige, kleine temperatuurwisselingen, maar als ze langdurig zijn blootgesteld aan een verhoogde omgevingstemperatuur, treedt er verbleking van het koraal op. Laboratoriumexperimenten hebben laten zien dat de kritieke grens voor verbleking ongeveer ligt bij een verhoging naar een constante wa-

tertemperatuur van 32 graden Celsius. Maar in het laboratorium zijn nog veel meer mogelijke oorzaken voor koraalsterfte gevonden, variërend van snelle temperatuurwisselingen (extreem warm en extreem koud), hoge intensiteit UV-straling, langdurige duisternis, vervuiling met zware metalen tot en met infecties door uiteenlopende ziekteverwekkende micro-organismen. Maar in welke mate die factoren in de natuur een rol spelen en via welke mechanismen zij de verbleking van koralen in gang zetten blijft nog onduidelijk.

GELIJKENIS Informatici van de Universiteit van Amsterdam en koraalbiologen van het koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) op Texel proberen via computermodellen greep te krijgen op hoe koralen precies groeien. Ze hopen op die manier ook te achterhalen wat de bottleneck is bij koraalbleken. Het onderzoek verloopt voorspoedig; twee weken geleden publiceerden de onderzoekers een artikel waarin CT-scans (driedimensionale röntgenbeelden) van twee echte koraalcolonies uit Curaçao werden vergeleken met driedimensionale computermodellen (*Proceedings of the Royal Society B*, 22 jan). De gelijkenis is treffend. "Zelfs er-

varen koraalbiologen zijn niet in staat uit te maken welke van de plaatjes het echte koraal laat zien en welke het computermodel", zegt de Amsterdamse bioloog en informaticus Jaap Kaandorp, eerste auteur van het artikel. "Toch is het model géént op slechts één simpele wiskundige regel."

De onderzoekers modelleerden de groei van het koraal *Madracis mirabilis*, een tropisch steenkoraal uit de Cariben met een typische struikachtige vorm. Daarbij streefden zij ernaar de wiskundige formules zo simpel mogelijk te houden. Maar dat het zo simpel zo blijken te zijn, had ook Kaandorp niet verwacht. In de natuur is het uiterlijk van dit koraal zeer wispelturig, variërend van compacte vormen in snelstromend ondiep water tot dunvertakte vormen in diep water waar de stroming minder sterk is. Door in de computer de parameters iets aan te passen, komt Kaandorp op precies dezelfde vormen uit.

"De werkelijkheid is hier verbijsterend goed nagebootst", beaamt Rolf Bak, koraalonderzoeker van het NIOZ, die met Kaandorp samenwerkt. "Dat betekent dat de eenvoudige parameters die Kaan-

- **Bovenaanzicht van een gesimuleerd koraal (links).**
- **Gebleekt koraal nabij Heron Island, een eiland in het Great Barrier Reef nabij Australië (midden).**
- **Bovenaanzicht van een CT-scan van het koraal *Madracis mirabilis* (rechts).**

dorp in zijn model stopt heel relevant zijn voor de groei van deze koraalsoort." Wat zijn dan die eenvoudige parameters? De groei van *Madracis*-koralen blijkt gelimiteerd door de diffusie van in het zeewater opgelost waterstofcarbo-

naat (HCO_3^-), een ion dat het product is van opgeloste koolzuurgas (CO_2). Daardoor ontstaat spontaan de vertakte vorm van het koraal. Uit de fysica is bekend dat gradiënten van een groeibepende factor aanleiding kunnen zijn voor het ontstaan van vertakkende patronen in abiotische groeiprocessen, zo schrijven Kaandorp c.s., en dat blijkt nu ook op te gaan bij het koraal.

Via een isotopenanalyse (de verhouding tussen ^{13}C en ^{12}C , en tevens die tussen ^{18}O en ^{16}O) van het calciumcarbonaat in het koraalskelet konden de onderzoekers

aantonen dat *M. mirabilis* zijn voedingsstoffen voornamelijk betreft uit de fotosynthese die de symbiotische algen in het koraal verzorgen. Aangezien de fotosynthesereactie het opgeloste koolzuurgas nodig heeft als koolstofbron, kan de snelheid van de diffusie van het waterstofcarbonaat uiteindelijk ook de snelheid van van de fotosynthese gaan bepalen. De beschikbaarheid van opgelost koolzuurgas kan zo de limiterende stap worden in de groei van het koraal. Daarmee is de vertakte structuur van *Madracis mirabilis* dus verklaard.

SYMMETRIE "De groeivorm van deze koralen is nauwelijks genetisch vastgelegd, maar wordt zuiver bepaald door de waterstroming, de aanvoer van voedingsstoffen en de lichtintensiteit", zegt Kaandorp. "Een paar jaar terug was de overheersende mening van koraal-deskundigen nog dat de vorm van koralen genetisch vast moet liggen. Maar nu blijkt dat achter die vormenrijdom een relatief simpele fysica schuilgaat. Uiteraard heeft de genetica wel enige invloed, al was het alleen maar omdat sommige genen de chemische reacties beïnvloeden die bij de groeilimitatie betrokken zijn. Overigens bestaat er bij andere typen koralen, zoals de hertschoonkoralen uit het Indopacifische gebied, wel een behoorlijke genetische regulatie van de groeivorm. Maar in het geval van *M. mirabilis* lijkt de vorm van de kolonie voornamelijk door de omgeving bepaald."

Aangemoedigd door het succes van zijn model is Kaandorp intussen begonnen het verder te verfijnen door ook de che-

mische reacties erin te verwerken die de beschikbaarheid van waterstofcarbonaat in de buurt van het koraal bepalen. Daar ligt mogelijk ook de sleutel tot het verklaren van het koraalbleken, zegt Kaandorp. "Deze chemische reacties zijn evenwichtsreacties die gevoelig zijn voor de omgevingstemperatuur. Een hogere temperatuur kan de reactiesnelheden beïnvloeden waardoor het evenwicht verschuift en de fotosynthese in de problemen raakt. De theorie is dat de koraalcolonie bij hoge temperaturen niet meer in staat is voldoende stoffen met zijn omgeving uit te wisselen."

Volgens koraalonderzoeker Bak heeft *coral bleaching* zeker meer dan één oorzaak: "Dat de temperatuur daarbij een hoofdrol speelt, acht ik helemaal bewezen. Dat is onder koraalbiologen ook algemeen geaccepteerd en het is ook mijn eigen ervaring. Ik maak al vanaf begin jaren zeventig foto's van de koraalbodem bij Curaçao en Bonaire en sindsdien zie ik het bleken van de koralen steeds meer toenemen. Het houdt gelijke tred met de opwarming van het zeewater. Er is een temperatuurstijging en een verhoogde concentratie CO_2 in de atmosfeer. Sommige soorten koralen blijken gevoelig voor bleken dan andere. Ik hoop dat de modellen aanwijzingen opleveren waarom dat zo is."

Kaandorp noemt het "een gelukkig toeval" dat zijn onderzoeksgroep het zeer eenvoudige systeem van *Madracis mirabilis* heeft gekozen als studie-object. "Vooraf hadden we geen enkel vermoeden dat de morfogenese van dit koraal zo simpel zou zijn. Dit heeft ons op het juiste spoor gezet."