

► aan getrokken wordt.

Materiaalkundige Martin van Hecke van het FOM-instituut Amolf is een van de weinige Nederlandse wetenschappers die zich actief op de gereedschapskist hebben gestort die origami de wetenschap lijkt te bieden. Persoonlijk, bekent hij, komt hij met papier niet veel verder dan het even traditionele als afgezaagde kraanvogeltje. Maar in zijn 3D-printers in het lab en computersimulaties speelt het vouwen van vlakken wel degelijk een hoofdrol.

Voor hem op tafel ligt het werkpaard van zijn huidige onderzoek: de zogeheten miura ori of miura fold, vernoemd naar de Japanse uitvinder en ruimtevaart-ingenieur Koryo Miura. Het ziet eruit als een te vaak gevouwen vel papier, maar het bijzondere is dat het zich met lichte druk over een diagonaal helemaal invouwt tot een compact pakketje papier. Omgekeerd wordt het weer gemakkelijk een vlak zodra er lichtjes aan twee uiteinden wordt getrokken.

Ingenieur Miura vond de ingenieuze vouwconstructie in 1985 uit om aan elkaar gekoppelde zonnepanelen voor het Japanse ruimtevaartprogramma zo compact mogelijk mee de ruimte in te voeren en daar moeiteloos uit te vrouwen. De truc is vooral dat het platte vlak niet keurig haaks wordt opgevouwen, maar onder een kleine extra hoek. Zo ontstaan spanningen in het vlak, die verdwijnen zodra op sommige punten een lage piramide omhoog komt en op andere punten juist een dal ontstaat.

Het pakketje weet zo waar het heen moet, maar reageert bijvoorbeeld ook op het omklappen van een plaatselijke verhoging in een dal. In principe is het allemaal voorspelbaar, maar heel eenvoudig is dat zeker niet. 'Ik merk dat het vaak goed is om je handen te gebruiken. Het komt voor dat je wat zit te pielen met

een flexibele 3D-geprinte vlakke structuur en opeens een mogelijkheid ontdekt, een manier van oprollen, een twist die je theoretisch niet snel zou onderkennen of bedenken.'

Het subtiele samenspel van ruggen en kloven, heuvels en dalen van de miura ori is wetenschappelijk gezien een lusthof, zegt Van Hecke en hij wijst naar de glooiingen in het papier, dat hij overigens niet zelf heeft gevouwen maar een goede Amerikaanse vriend. Daarmee onderhoudt het als het ware de bijzonder opvouwbaarheid, die tegenwoordig bijvoorbeeld ook goede diensten bewijst aan makers van uiterst compacte stadsplattegronden van onder meer Berlijn en Tokio.

HET SUBTIELE SAMENSPEL VAN RUGGEN EN KLOVEN, HEUVELS EN DALEN VAN DE MIURA ORI IS WETENSCHAPPELIJK GEZIEN EEN LUSTHOF

Het is dat geheugen voor vorm die materiaalwetenschappers als Van Hecke het meest intrigeert. 'Het betekent dat de geometrie van een materiaal voorkeuren kan hebben voor bepaalde vormen. En omgekeerd kun je proberen te voorspellen welke vormen je in een materiaal als het ware kunt programmeren.' Hij laat op zijn beeldscherm een holle struc-

tuur zien, opgebouwd uit gekoppelde driehoeken, die op commando omknikt bij verticale druk, precies waar het gewenst is. Zonder scharnier.

Van Hecke was vorige maand gastheer van een internationale conferentie over zogeheten designer-materials. Dat zijn sponzachtige ruimtelijke materialen, vaak uit de 3D-printer, waarvan de inwendige verbanden bepalen hoe ze zich als geheel gedragen. Sommige zetten uit onder druk, andere krimpen als er aan getrokken wordt. Heel anders dan de natuur het doet, deze zogeheten metamaterialen. En wie weet nog ergens toepasbaar ook. 'Vooralsnog is het allemaal heel exploratief, verkennend. We laten ons drijven door wat we tegenkomen. Maar iedereen voelt dat hier echt wat te halen is', zegt de Amsterdamse onderzoeker enthousiast. ●

OBESE KWEKVISSEN KRIJGEN ZWEMTRAINING

Vis moet zwemmen, is het adagium van visfysioloog Arjan Palstra, maar kweekvissen doen dat te weinig. Dus dwingt hij ze in zijn lab in Yerseke. Ze knappen ervan op en – belangrijk voor de kwekers – ze groeien harder.

Door **Marlies ter Voorde**

Foto's **Linelle Deunk**

Dapper zwemt een groep jonge palingen tegen de stroom in. Door moeten ze, door... Het zoete water van voorheen is inmiddels zout geworden, het licht van de herfst reeds gedooft – alles wijst erop dat ze de oceaan al bereikt hebben. Door nu, door naar de Sargassozee, waar het grote paaifeest kan beginnen...

Dat is althans het effect waar visfysioloog Arjan Palstra op hoopt. De alen worden bedot. Al zwemmen ze als een bezetene, in werkelijkheid komen ze niet van hun plek. Ze bevinden zich in een zwemgoot van onderzoeksinstituut Imares in Yerseke, waar de lichtsterkte, de stroomsnelheid, het zoutgehalte, en de temperatuur van het water nauwkeurig afgesteld kunnen worden.

'**Palingen planten zich** in gevangenschap niet voort', zegt Palstra, terwijl hij het verduisteringsgordijn rond de zwemgoot weer goed hangt. De palingkwekerijen zijn afhankelijk van de jonge glasaaltjes die elk jaar vanuit de Sargassozee, 6.000 kilometer verderop, hierheen komen zwemmen. Alleen in Japan slaagt



Arjan
Palstra

KWEEKCIJFERS

- Ongeveer **de helft** van de vis die in Nederland wordt gegeten is kweekvis.
- Het meeste daarvan wordt **geïmporteerd**, vooral uit Azië.
- In Nederland bestaat ruim **10 procent** van de visproductie uit kweekvis. Wereldwijd is dit meer dan 40 procent.
- In 2013 werd in Nederland gekweekt: 3.100 ton meervalachtigen, 2.885 ton paling, 150 ton snoekbaars, 120 ton steur, 100 ton tarbot, 70 ton forel, 60 ton yellowtail kingfish en 50 ton tilapia.

bron: Nederlandse Vereniging van Viskwekers (NeVeVi)

men er in de voortplanting in gevangenschap te laten plaatsvinden, door de alen met hormonen in te spuiten. Palstra zoekt nu uit of het nabootsen van de palingtrek in zijn zwemgoot een gunstig effect heeft op de reproductie van de vissen.

Het is slechts een van de experimenten die de visfysioloog in Yerseke uitvoert. Het laboratorium is in feite een trainingshal, Palstra de zwemcoach op zoek naar het optimale trainingsschema voor zijn pupillen. 'Vis moet zwemmen', is zijn adagium – en in viskwekerijen gebeurt dat doorgaans onvoldoende.

'Veel gekweekte vissen zijn obees', zegt Palstra. Als je deze vissen forceert te gaan zwemmen, door het water te laten stromen, knappen ze vaak zienderogen op. Ze vertonen minder agressief gedrag en zijn beter bestand tegen

GETRAINDE VISSEN VERSCHILLEN VEEL MINDER IN GROOTTE. DAT SCHELT DE KWEKER EEN HOOP UITSORTEERWERK

ziekten. En, misschien nog wel belangrijker voor de kwekers, vissen die zwemmen groeien harder. Door de zwemtraining neemt de spiermassa toe. Dat bleek uit Palstra's experimenten met de geelvinmakreel (*yellowtail kingfish*) die veel in sushi wordt gebruikt: het gewicht van de yellowtails die zwemtraining kregen was binnen 18 dagen 46 procent hoger dan dat van de vissen die met rust werden gelaten, terwijl de hoeveelheid voer voor beide groepen gelijk was. 'Bovendien verschillen getrainde vissen onderling veel minder in grootte', zegt Palstra, 'en dat scheelt de kweker een hoop uitsorteerwerk.'

Hoeveel training optimaal is, hangt af van het beoogde resultaat. Wil je de vis zo veel mogelijk laten lijken op zijn neefje dat in de natuur rond zwemt? Voor de kweker hoeft dat niet per se de beste optie te zijn, vertelt Palstra. Wat consumenten willen kan bovendien door de tijd heen variëren. In Japan zweert de oude generatie bij wilde zalm, terwijl de jongeren tegenwoordig steeds vaker om de wat vettere, gekweekte forel vragen. Ook welke vis gezon- ►

► der is voor de consument moet nog uitgezocht worden. In het vet van vissen zitten immers de alom geprezen omegavetzuren. 'Maar bij de obese exemplaren heeft dat vet zich vooral opgehoopt rond de organen', zegt Palstra, 'en die worden voor de consumptie verwijderd.' Daarnaast hangt de optimale training samen met het soort vis. Zalmen die in de natuur grote afstanden afleggen zullen gebaat zijn bij een duurtraining, snoekbaarzen en karpers, die alleen af en toe snelheid moeten maken, zou je ook een sprinttraining aan kunnen bieden.

In een grote buis in het lab ligt intussen een eenzame paling wat te niksen. Gisteren was er een training - niet voor de vis maar voor buitenlandse studenten - en moest hij aan de bak, terwijl de studenten zijn stofwisseling in de gaten hielden door het zuurstofgehalte in het water te monitoren. Maar de studenten zijn weg, en hij is achtergebleven in zijn buis, net als de zalm in de buis naast hem overigens.

De buizen zijn perfect om de vissen niet als groep maar als individu te bestuderen, zegt Palstra. De onderlinge verschillen kunnen groot zijn, en dat is waarschijnlijk deels genetisch bepaald. Dat bleek bijvoorbeeld uit testen van een onderzoeksgroep uit Noorwegen, die een groep zalmen steeds sneller liet zwemmen en bijhield welke vis op welk moment uitviel. De zwakste exemplaren kregen vervolgens een intensieve training, waardoor de meesten uiteindelijk goed met de gemiddelde groep mee konden komen. Voor sommige zwakkelingen had de training echter geen enkel effect. 'Terwijl zelfs de inspanningsfysioloog van FC Barcelona zich nog met de trainingsprotocollen bemoeit heeft', weet Palstra.

Niet alle trainingen worden afgesteld op de behoefte van de kwekers. Ook natuurbeheerders tonen inmiddels belangstelling. 'Hier en daar probeert men vissen als steur en zalm te herintroduceren door gekweekte exemplaren uit te zetten', zegt Palstra. 'Maar de kweekvissen zijn toch een beetje de losers, die reddend het vaak helemaal niet in de natuur. Ook daar proberen we iets aan te doen, door met beter getrainde vissen te komen.'

Terwijl Palstra terugloopt naar zijn kantoor begint de temperatuur in de zwemgoot van de palingen te dalen; de Sargassozee is weer een dag dichterbij gekomen. ●



Illustratie Berto Ramirez



Ionica Smeets

beantwoordt zomerse vragen

Het potje van de groep

Het lijkt zo lekker handig om bij een groepsreis allemaal evenveel geld in een grote pot te stoppen en daaruit de gezamenlijke uitgaven te betalen. Maar dan gaat iemand een keer niet mee op een uitje of betaalt een ander even snel een lunch uit eigen zak... Dus hoe verdeel je de kosten op een groepsreis? Want er volgen al snel rekentoestanden zoals in het klassieke raadsel over de ontbrekende dollar.

In dat raadsel nemen drie vrienden samen een hotelkamer van 30 dollar. Ze betalen elk 10 dollar aan de receptionist. Die bedenkt even later dat hij een foutje heeft gemaakt en dat de kamer slechts 25 dollar kost. De eerlijke receptionist stuurt een piccolo naar de hotelkamer om de gasten 5 dollar terug te geven. In de lift bedenkt de piccolo dat dit maar een onhandig bedrag is voor drie vrienden, dat kunnen ze niet mooi verdelen. Hij geeft zichzelf een fooi van 2 dollar en geeft de gasten elk 1 dollar terug. Nu hebben de vrienden elk 9 dollar betaald, dat is samen 27 dollar. Met de 2 dollar van de piccolo erbij is dat in totaal 29 dollar, terwijl ze aan het begin toch echt 30 dollar betaalden. Waar is die ene dollar gebleven?

In dit raadsel zit een knoepert van een denkfout, en dit soort fouten sluipen ook snel in verhitte discussies zodra iemand het gevoel heeft dat hij te veel betaalt. Ik schreef een jaar lang over geldzaken voor Volkskrant Magazine en kreeg opvallend veel mail van lezers die vonden dat ze op de een of andere manier financieel benadeeld waren. Na een paar maanden besefte ik dat het hierbij veel meer om gevoel dan om ratio gaat. Een volkomen eerlijk systeem

kan voor scheve gezichten zorgen. En andersom kan een oneerlijke manier van geld verdelen juist iedereen gelukkig maken. Dus zoek vooral naar een systeem dat voor iedereen goed voelt.

Zelf vind ik het prettig om bij vrienden zo min mogelijk met geld bezig te zijn. Bij de grote uitgaven betalen we om en om en verder ben ik liever een paar euro kwijt dan een vriend. Maar voor groepen die alles graag zo secuur mogelijk onderling verrekenen, bestaat er een elegant

stelsel. Maak een grote tabel met in de bovenste regel de namen van de deelnemers. Daarna krijgt elke uitgave zijn eigen regel.

Zelf vind ik het prettig om bij vrienden zo min mogelijk met geld bezig te zijn

Voor elke keer dat iemand iets betaalt voor anderen, zet hij bij zichzelf het bedrag dat hij nog krijgt met een plus en bij de anderen hun bedrag met een minteken. Dus als ik 20 euro uitgeef aan museumtickets voor mij en drie vrienden, dan zet ik bij mezelf +15 (die vijf euro voor mezelf hoeft ik niet op te schrijven) en bij mijn drie vrienden elk -5.

Aan het eind van de vakantie tel je per persoon de bedragen op om te zien hoeveel iedereen heeft betaald en wat er uiteindelijk nog verrekenend moet worden. Dit systeem werkt ook goed als je vanuit een grote groep met wisselende kleine clubjes dingen gaat doen. Je moet alleen wel zin hebben in een potje straf boekhouden terwijl je op vakantie bent.