

# Chemische Feitelijkheden

#367  
Editie 92  
september  
2020

Stephan van Duin



## Biomimetica

De natuur na-apen en overtreffen

Onze leefwereld is zo gewoon voor ons, dat we hem niet meer zien voor wat hij is: rechte lijnen, harde materialen en grote oppervlakken tekenen alles; van huizen tot auto's. Maar in de natuur is alles anders. Er is geen rechte lijn te vinden, er zijn geen wielen, maar poten, en overal bizarre materialen die fantastische dingen kunnen. Biomimetica is de wetenschap die probeert de

natuur zo goed mogelijk te imiteren, of zelfs verbeteren, en er toepassingen voor wil verzinnen. Het mooie van biomimetica is dat die niet is gebonden aan de beperkingen in de natuur. Hoe gaat biomimetica in zijn werk? Welke dieren zijn de grootste inspiratiebronnen? En hoe ingewikkeld is het om een trucje na te doen dat een dier met het grootste gemak uitvoert?

# De natuur na-apen en overtreffen

Mensen zijn ingenieus, met hun beton en staal, comfortabele huizen en snelle auto's. Maar de natuur kan er ook wat van: gekko's lopen ondersteboven over glas, lotusbladeren worden nooit vies en zeekatten veranderen razendsnel van kleur. Hoe kun je het beste van die werelden combineren? Welkom in de biomimetica.

**D**e natuur zit vol prachtige en ongelooflijk ingenieuze oplossingen. Biomimetica is de wetenschap die probeert die creativiteit toe te passen op menselijke vraagstukken. Nu bestaat de term 'biomimetica' pas sinds 1997 (zie kader Biomimetica of bioinspiratie?), maar al tientallen jaren daarvoor waren er onderzoekers die principes uit de natuur succesvol tot een product wisten te maken. Toch zijn er tot nu toe maar een handvol écht groot geworden. Wat maakt het zo lastig om de natuur na te maken?

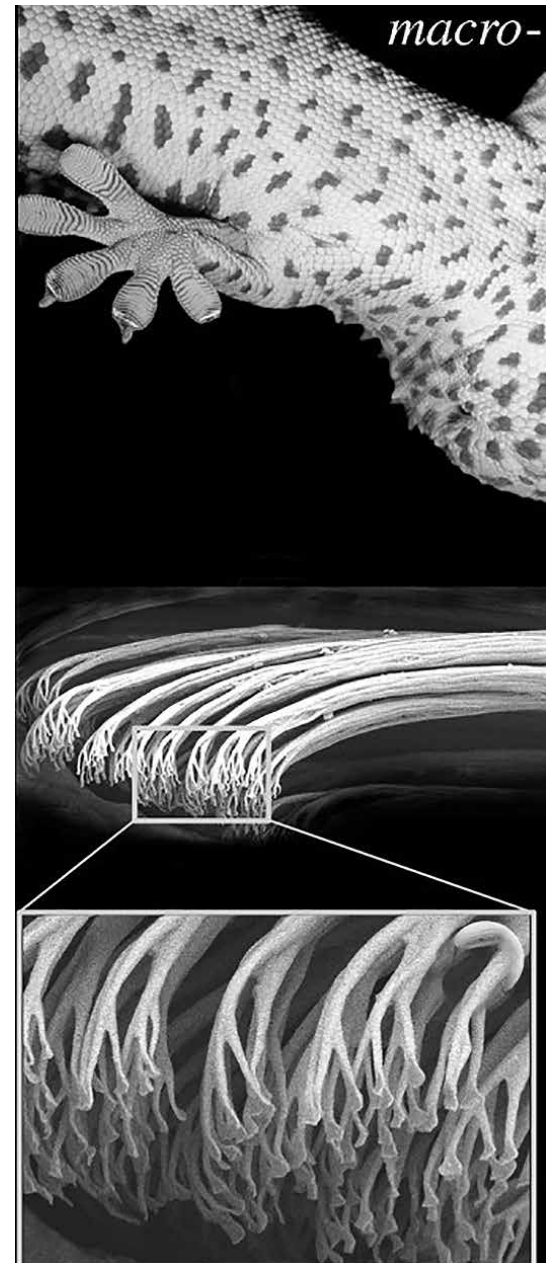
Waar je als na-apende mens tegenaan loopt, is dat om iets te kunnen namaken, je eerst moet begrijpen hoe en waarom het werkt. De natuur heeft dat probleem niet; die doet slechts waarvoor hij is geprogrammeerd, en dat al miljoenen jaren.

Natuurlijke selectie en de omgeving zorgen ervoor dat de genetische variaties tot uiting komen. De planten en dieren die de meest fantastische en inspirerende oplossingen hebben doormaakt, zijn zich er zelf niet van bewust. Om daar als mens wél een vinger achter te krijgen, vergt fascinatie,

een creatieve blik en vaak ook andere technologie.

## Illustere voetjes

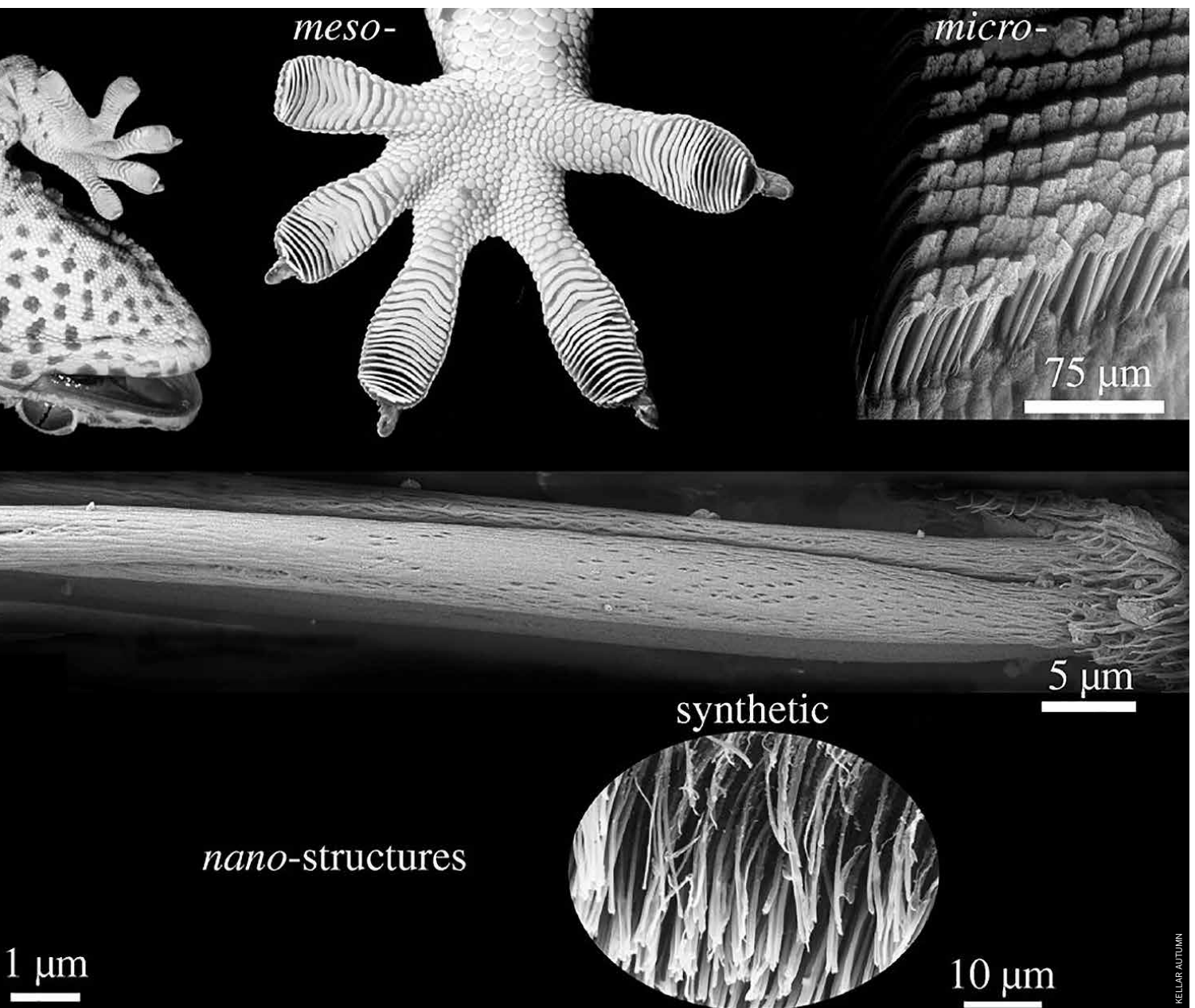
In Zuidoost-Azië zijn het graag geziene gasten in huis: *tokehs*. Tokelhs zijn de grootste soort onder de gekko's, een groep hagedissen die ook veel als huisdieren worden gehouden. Maar de tokehs – en een paar andere soorten gekko's – kunnen iets



bijzonders. Ze mogen graag in huizen komen vanwege hun dieet van insecten die minder welkom zijn, maar bij het jagen daarop lijkt het alsof het niet uitmaakt wat onder en boven is: ze rennen net zo makkelijk op muren en het plafond als op de

### ► Biomimetica of bioinspiratie?

Het woord biomimetica (Engels: *biomimicry*) is een samenstelling van bio = natuur en mimetia = nadoen. Het is pas een begrip sinds 1997, toen Janine Benyus een boek schreef met die titel. Het idee van de natuur kopiëren is al wel veel ouder. Ook Leonardo da Vinci keek goed naar de natuur voor een deel van zijn ontwerpen. In onze eigen tijd zijn de lotusbladeren een goed voorbeeld van succesvolle biomimetica avant la lettre, maar het oervoorbeeld is klittenband. Een Zwitserse uitvinder, George de Mestral, bedacht het nadat hij ergens in de jaren veertig van de vorige eeuw zijn hond uitliet. Hij vond zijn huisdier terug met allemaal plantenzaden in zijn vacht geklit, en dacht na over hoe dat kon gebeuren. Na jaren van onderzoeken en testen werd dat het inmiddels zo doorgewone klittenband. Overigens is de term biomimetica niet onomstreden. Sommige onderzoekers houden *bioinspiratie* aan, omdat het niet gaat om het exact namaken van de natuur, maar om het ontwikkelen van een superieure versie. Zij zien de natuur als inspiratiebron, maar de mens als perfectionist. Klittenband is ook een voorbeeld van die perfectionering.



Op deze afbeelding zie je een gekkopoot, steeds verder ingezoomd. Linksboven zie je een macrofoto, met daarnaast een iets meer ingezoomd beeld (meso). Je begint de rimpels op het pootje te zien. Zoom je nog verder in (rechtsboven), dan kom je in de microwereld, en zie je dat die rimpels uit haartjes (setae) bestaan. In het midden zie je de setae verder vergroot en linksonder zie je de harige uiteindes van de setae, de spatulae, die enkele nanometers dik zijn. Rechtsonder zie je een synthetische variant, iets groter dan de natuurlijke uitsteekseltjes.

grond. Zelfs op glas maakt het dier zich snel uit de voeten. Dat is een specialiteit die niet lang onopgemerkt bleef en er zijn dan ook al ruim een eeuw wetenschappers die proberen te verklaren hoe dat kan. Die vroege wetenschappers konden slechts met het blote oog de poten van de tokehs bekijken. Die bevatten lamellen, die, zonder microscoop, de indruk wekken dat ze misschien als zuignappen functioneren, of via de capillaire werking van water. Maar pas met de komst van de elektronenmicroscopie kreeg de wetenschap door hoe het écht zit. Als je inzoomt op een gekkovoet dan zie je eerst de lamellen. Vervolgens blijkt dat die lamellen bestaan uit dicht op elkaar geplante rijen ‘haartjes’ – setae genoemd – wel 500.000 per voet. Zoom nog verder in en je ziet dat die setae aan het einde vertakt zijn

en dat elk vertakt uiteinde een spatelachtige vorm heeft. Zo’n spateltje is iets meer dan 100 nm breed en een tokeh heeft er al gauw meer dan een miljard van. Als een gekko loopt, vergroten alle haartjes en spatels het contactoppervlak enorm. Dat is genoeg om een verbinding aan te gaan met de ondergrond op basis van Vanderwaalskrachten. De Vanderwaalskracht is een aantrekkingskracht tussen moleculen die over maximaal 2 nm werkt. Dat is een heel kleine afstand en de meeste spatels van een gekkopoot halen dat ook niet. Maar de tokeh heeft zo veel overcapaciteit dat als alle spateltjes contact zouden maken, een mens van 120 kg aan de pootjes van het dier zou kunnen blijven hangen. In het dagelijks leven van de gekko werkt dit dus prima, al is het een kracht die het

dier heeft moeten leren gebruiken. Vanderwaalskrachten zijn immers permanent en doen het op elk oppervlak, ook onder water. Wat gekko’s tijdens het lopen dan ook doen, is hun tenen opkrullen om ze los te pellen van de ondergrond, anders zouden ze simpelweg vastzitten (anekdotisch bewijs stelt dat een dode gekko dan ook een heel lange tijd aan een raam geplakt kan zitten).

### Op gelijke voet?

Maar nu we weten hoe de pootjes in elkaar zitten, is de volgende vraag of wij ze kunnen namaken, bijvoorbeeld om een tape te maken die niet plakt, maar wel kleeft en herbruikbaar is. Het is nu twintig jaar na de publicatie van het artikel waarin de werking van de spateltjes werd uitgelegd

en er zijn wel een paar versies van ‘gekko-tape’ op de markt, maar echt werken doen ze (nog) niet.

Nobelprijswinnaar Andre Geim is waarschijnlijk het dichtst bij een echte kopie gekomen. Door op nanoschaal een mal te maken, kon hij een stukje tape persen van 1 cm<sup>2</sup> met pilaartjes die enigszins op de setae van de gekko leken. Het leverde een iconische foto op van een spidermanpop die aan een plafond hangt, maar verder bleek het onpraktisch. Hoewel de tape niet kleeft wordt die wel vies – hij hecht aan alles, dus ook vuil. Het is een probleem dat in allerlei vormen de kop opsteekt bij elke poging om de natuur op die schaal na te

maken: de natuur produceert wat hij nodig heeft, wanneer het nodig is en precies op de plek waar het nodig is. De haartjes van de gekko groeien door en houden zichzelf schoon, maar wij moeten een productieproces ontwikkelen dat iets in een keer goed maakt, of het kan bedekken met een laag die je erop sprayt. Dat blijkt heel lastig.

### Schoonheid van de lotus

Een voorbeeld van een biomimetica-ontwerp dat zichzelf wél heeft bewezen in de dagelijkse praktijk, is dat van de lotus. De lotus is een waterplant die soms wordt verward met de waterlelie, maar

die op in ieder geval één kenmerk verschilt: de bladeren van de lotus worden niet vies.

Degene die ontdekte waarom was er in eerste instantie niet naar op zoek. Botanist Wilhelm Barthlott werkte in Duitsland aan de evolutie van planten. Voor de komst van moleculaire technieken deed je dat op basis van anatomie, en Barthlott bestudeerde zodoende veel pollen. Ook Barthlotts werk transformeerde door de komst van de *scanning*-elektronenmicroscopie in de jaren zestig van de vorige eeuw en hij maakte veel opnames van de vaak fascinerende oppervlakken van plantendelen. Nadat hij veel planten had bestudeerd, ging hem een



PHILIPPE BOURJON  
De koffervis.

De vorm van de Bionic van Mercedes is gebaseerd op die van de koffervis, die vorm zou de auto energiezuinig en wendbaar moeten maken, maar dat pakte anders uit.

patroon opvallen: de planten met de ruwste oppervlakken waren ook de planten die op de microscopische beelden het minste vuil op zich hadden.

### Als een spijkerbed

De verklaring voor de mindere vervuiling heeft te maken met de oppervlaktespanning van water. Als een druppel water op een normaal, hydrofiel oppervlak valt, dan is de hoek van het water met het oppervlak klein, zo'n 30°. De druppel spreidt zich uit en hecht zich aan het oppervlak. Bij een hydrofoob oppervlak is die hoek groter dan 90°, zodat de druppel grotendeels rond blijft en zo min mogelijk hecht.

Maar wat er bij de lotus gebeurt, kun je het best vergelijken met een spijkerbed. Het is mogelijk – en zelfs niet eens pijnlijk – om als mens op een spijkerbed te liggen, omdat je lichaamsgewicht over zo veel spijkers wordt verdeeld dat er niet een door de huid dringt. Dit doet de lotus eigenlijk ook met waterdruppels. Hij heeft een oppervlak met kleine bobbeltjes, waardoor die druppels vrijwel bolvormig blijven en zich helemaal niet aan het oppervlak hechten – de contacthoek is meer dan 150°. Water rolt daardoor over het bladoppervlak als kwik over een keukentafel.

Zoals vaker in de biomimetica realiseerde

Barthlott zich, als botanist, niet meteen dat zijn ontdekking ook belangrijk zou kunnen zijn buiten de taxonomie van planten. Toen hij eenmaal met zijn ontdekking de boer opging, was het niet de waterafstotendheid die de aandacht trok, maar de zelfreinigende capaciteit die het met zich meebrengt. Door de kleine bobbeltjes heeft vuil meer affiniteit met de rollende waterdruppels dan met het oppervlak, en zo blijft een lotusblad schoon. Dit is een van de redenen waarom de lotus in Azië zo'n mythische status heeft: het blad komt helemaal schoon uit de modder; een inspirerende les voor mensen in moeilijke situaties.

Het kostte tijd en moeite om chemiecon-

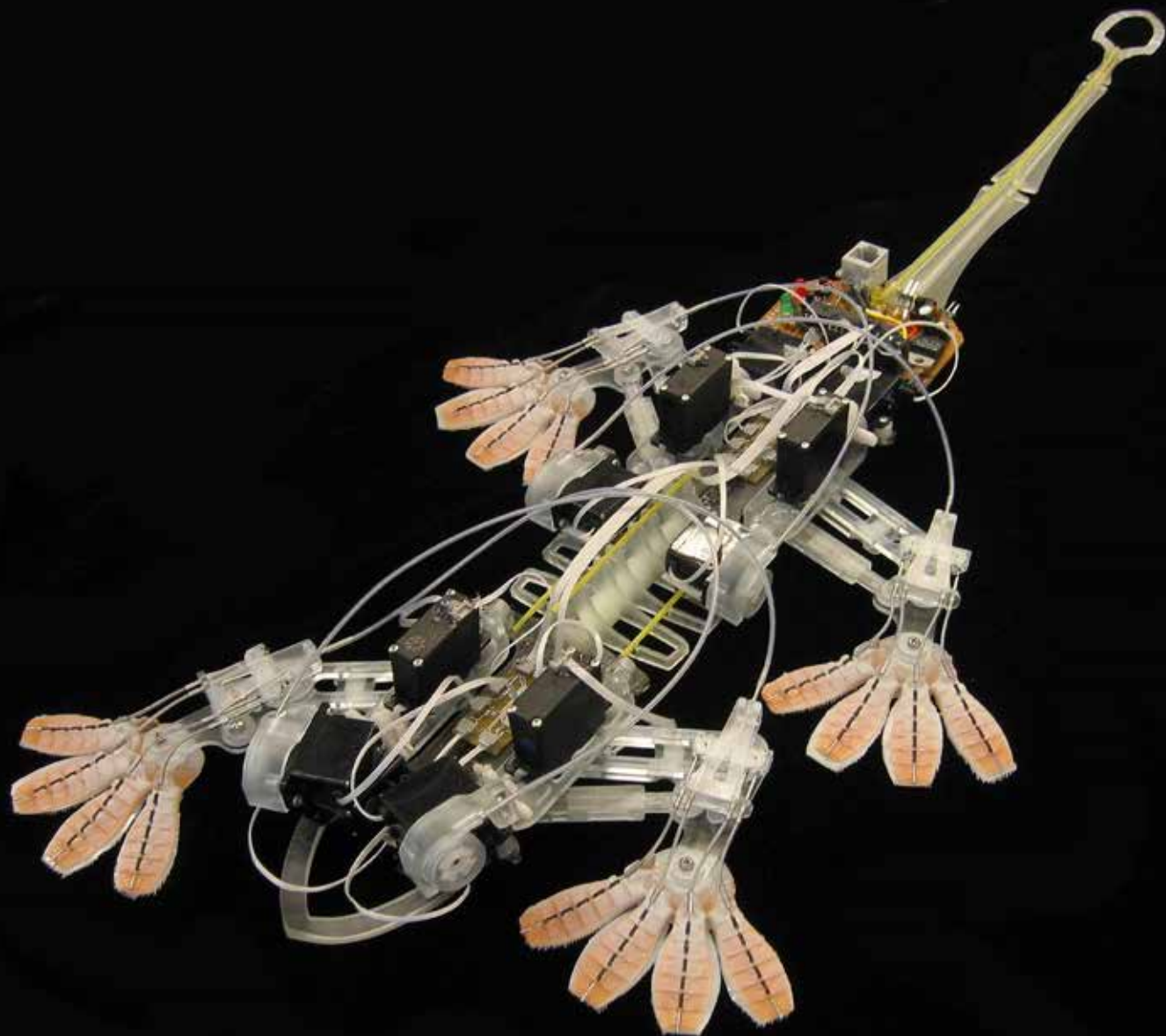


### ► Denken als een mens

De meeste biomimetica gaat over materialen of voortbeweging. Maar er is een heel ander soort ontwikkeling gaande die je eveneens biomimetica kunt noemen, en dat is de *deep learning* die de kunstmatige intelligentie toepast.

Kunstmatige intelligentie (of AI, artificiële intelligentie) was lange tijd eigenlijk niet zo heel intelligent: alle kennis die een AI-systeem had moest je er van tevoren in stoppen. Maar met *deep learning* kan een systeem zélf leren. *Deep learning* werkt met een soort kunstmatige neuronen, die na een training zelf 'principes' leren. Stel dat je een miljoen foto's in een AI-systeem stopt, waarvan de helft een poes bevat, en dat je het systeem de informatie geeft welke foto's een poes laten zien. De neuronen van het systeem gaan dan patronen zoeken en herkennen die te maken hebben met het beeld van 'poes'. Hoe meer beelden het ziet, hoe verfijnder het 'begrip' dat de AI heeft van een poes. Op een gegeven moment is dat idee zo goed, dat het systeem ook poezen kan herkennen op foto's die niet gelabeld zijn, of zelfs poezen herkennen tussen honden of andere dieren.

Eigenlijk doen we dit met kleine kinderen ook. We houden een object, bijvoorbeeld een appel, voor de neus van de kleine, en zeggen er 'appel' bij. Dit herhalen we keer op keer, tot we het niet meer hoeven te zeggen: het kindje weet nu hoe appels eruitzien – en dus ook de appels die het nooit gezien heeft. En dat terwijl elke appel net iets anders is.



MARK R. CUTKOSKY/STANFORD UNIVERSITY & SANGBAE KIM/MIT

Sangbae Kim, tegenwoordig *assistant professor* aan MIT, ontwierp tijdens zijn promotieonderzoek deze robot, geïnspireerd door de gekkopootjes. Hij voorzag zijn robot op dezelfde wijze van pootjes met setae en spatula, maar dan van dikkere haartjes van siliconerubber. Daardoor kan zijn 'StickyBot' alleen plakken op heel gladde oppervlaktes zoals glas.

cerns geïnteresseerd te krijgen, maar sinds 1992 is er een merknaam: Lotus-Effect. En in 1999 was er de eerste verf die gebouwen zelfreinigend maakt, vijftienving jaar na de eerste ontdekking van Barthlott. Die lange periode is tekenend voor meer chemische biomimetica, omdat het na-aanproces vaak zo ingewikkeld is. Dat geeft wellicht nog hoop voor de gekkopoot,

die pas twintig jaar geleden goed beschreven is.

### Vormen werken sneller

Chemie dicteert hoe organismes op nanoschaal met hun omgeving omgaan, maar de meeste planten en dieren worden juist meer gevormd door de fysica. Zeker dieren vormen zich naar de omgeving of

'het medium' waar ze zich dagelijks doorheen moeten bewegen. Een vis zwemt door een vrij dichte vloeistof, maar ook van een vogel kun je zeggen dat hij door een vloeïend medium beweegt – het is alleen veel ijler. Nu zijn er duizenden soorten vissen en vogels, en die zien er allemaal anders uit, dus welk dier neem je dan als voorbeeld? Dat hangt uiteindelijk af van het doel dat

je voor ogen hebt. Een vliegtuig dat eindeloos moet kunnen vliegen op een klein beetje brandstof gaat er anders uitzien dan een vliegtuig dat zo wendbaar mogelijk moet zijn of zo veel mogelijk mee moet kunnen nemen – en daarvoor staan dus andere dieren of delen van dieren model.

### Op zoek naar een oplossing

Waar de werking achter het lotusblad en de gekkovoet op zichzelf staande ontdekkingen waren waarvoor onderzoekers op zoek moesten gaan naar een toepassing, zijn er andersom ook veel bestaande vragen in de techniek die een oplossing nodig hebben, en de natuur biedt dan inspiratie. Maar omdat de vertaalslag van vraag naar natuur vaak wat sneller te maken is, en onze bestaande technologie per definitie meer geschikt is voor de productie ervan, zijn de innovaties in die hoek talrijker. Een kleine greep: de Japanse hogesnelheidstrein Shinkansen heeft een voorkant die afgekeken werd van de snavel van een ijsvogel; steeds meer windturbines produceren minder herrie dankzij ribbels die zijn afgekeken van de vinnen van bultrugwalvissen; en de kleine opstaande *winglets* op vliegtuigvleugels die het toestel zuiniger maken zijn geïnspireerd door de 'vingers' aan de uiteindes van condorvleugels.

Maar het gaat niet altijd even goed.

Mercedes presenteerde in 2005 een prototype genaamd de Bionic, die ruim was van binnen en toch de naam had sterk aerodynamisch te zijn. Het ontwerpteam van de auto had zich laten inspireren door de koffervis, een min of meer vierkante koraalrifbewoner. Het leek erop dat de vis het onmogelijke had gepresteerd: een aerodynamische vorm om energiezuinig vooruit te komen gecombineerd met enorme wendbaarheid. Maar latere studies lieten zien dat de vis juist een beperkte stroomlijn heeft – wat de baksteenvorm eigenlijk al doet vermoeden – en dat de extreme wendbaarheid vooral goed werkt in combinatie met de vinnen die het dier wel heeft, en de auto niet.

### Robot als proof of principle

Biomimetica kent een raakvlak waar de interesse in de natuur en de vertaalslag naar de praktijk samen komen, en dat is in de robotica. Robots kunnen namelijk helpen om de biologische principes helder te krijgen, terwijl je tegelijkertijd werkt aan een technische variant die vragen kan stellen bij wat

dieren doen. Het mooie van biomimetica is namelijk dat die niet is gebonden aan de beperkingen in de natuur. Hoe ingenieus dieren of planten ook in elkaar zitten, ze zijn altijd beperkt door miljoenen jaren aan evolutie in een bepaalde richting, gedictieerd door een specifieke omgeving. Een plant kan niet zomaar gaan wandelen, omdat dat simpelweg niet in de genetische mogelijkheden zit.

Bij het ontwerpen van robots zijn veel interessante vragen te stellen. Wat is een voet? Is dat het onderste deel van een been? Of is een voet alles waar je op kunt staan? Het laatste geeft veel meer mogelijkheden. Onderzoek aan kakkerlakken laat zien dat bij die diertjes het idee 'voet' flexibel is. Als ze door kleine kiertjes moeten kruipen, dan gebruiken ze andere delen van hun poten om zich te kunnen voortbewegen. Maar een kakkerlak is nog steeds gebonden aan de vorm van zijn poten, terwijl een robot misschien wel de vorm van de poten zelf kan aanpassen aan de omgeving: dan weer een stuk op twee lange poten omdat het sneller gaat, dan een stuk op zes korte poten als hij moet bukken, en waarom niet doen als een rups als er een breed gat overbrugd moet worden? Zolang je het kunt maken, is het een mogelijkheid.

### Van gekko naar...?

Ook de bescheiden gekko speelt hier nog steeds een rol in. Sinds het dier beroemd werd als inspiratiebron in de biomimetica zijn er veel onderzoekers en bedrijven die proberen er een slaatje uit te slaan. Het leverde onder meer de StickyBot op, een robot met op echte gekkopoten gelijkende voeten, en met synthetisch gemaakte setae aan de onderzijde. De robot doet zelfs het tenenkrullen na om een stap te kunnen zetten. Hoewel het na een paar jaar stil werd rond de StickyBot, staan er steeds meer nieuwe initiatieven op die steeds minder op de hagedis lijken. Eigenlijk is dat ook precies waar biomimetica voor staat. Misschien maakt het ook niet uit of een robot over glas kan lopen door zuignappen of middels Vanderwaalskrachten. Het gaat er uiteindelijk om dat er een toepassing komt die nuttig is voor, en werkbaar in, onze wereld. En als die er komt omdat iemand ergens een gekko heeft zien lopen, maar met gebruik van compleet andere principes, dan is dat nog steeds biomimetica. ●

### ► Een nieuwe inspiratiebron?

Hoewel de gekko lange tijd gold als hét (dierlijke) gezicht van de biomimetica, is er een nieuwe rijzende ster: de sepia of zeekat (zie foto). En dat is misschien niet heel vreemd; met hun acht armen en twee tentakels, van kleur verschillende huid, vreemde ogen en snavel zien ze er heel anders uit dan wij, en dat biedt mogelijkheden. De snavel bijvoorbeeld, is een van de hardste materialen die er in de natuur te vinden is. Maar een sepia heeft geen skelet, en dat kan voor problemen zorgen – alsof je een scherp mes zonder heft in je hand moet houden om te snijden: je snijdt dan wel hetgeen je wilt snijden, maar ook jezelf. Wat de sepia hierop heeft gevonden, is een ingenieus verloop van dichtheid van het materiaal, zodat de snavel van een keihard puntje vloeiend overgaat in het zachte weefsel van de rest van het lichaam. Zo'n verloop is elegant, maar we kunnen dat voorlopig nog niet goed genoeg namaken. Het zou een interessante optie kunnen zijn voor protheses.



Sepia's kunnen zich als geen ander camoufleren door de kleur en zelfs textuur van hun omgeving over te nemen, en doen dat veel sneller en beter dan bijvoorbeeld een kameleon.

Het Amerikaanse leger heeft interesse om een dynamische camouflage te ontwikkelen op basis van die huid, maar ook daar blijkt onze technologie nog achter te lopen op wat de natuur kan. Tot slot heeft de sepia een lange vin die rondom het dier loopt. Die vin maakt heel nauwkeurige en veelzijdige voortbeweging mogelijk, die ook nog energiezuinig is omdat zij weinig turbulente veroorzaakt. Zo'n aandrijving zou ideaal kunnen zijn voor onderzeeboten, die op dit moment nog goed traceerbaar zijn door de turbulentie die ze met hun schroef maken.



Het Amerikaanse robotica-bedrijf Boston Dynamics, in 1992 een spin-off van MIT, ontwikkelt 'levensechte' robots. Niet levensecht in de zin van androïde, maar in de zin van beweging, herkenning van de fysieke omgeving en daarop reageren en anticiperen. De robots zijn nadrukkelijk geïnspireerd op de natuur en bewegen veelal als mensen en dieren. Met name de robots Atlas (mensachtig), BigDog (een vierbenige lastdrager), Cheetah (rent als een jachtluipaard met 46 km/h) en Spot (een kleinere hondachtige) spreken tot de verbeelding: online filmpjes waarin de robots aan allerlei uitdagingen en 'pesterijen' worden blootgesteld, zijn fascinerend en miljoenen keren bekeken. In een recent filmpje trekken twintig Spots een grote truck voort, precies als een span honden een slee over sneeuw zouden trekken. Toepassing in een rampgebied of gevaarlijke omgeving ligt voor de hand, maar dat heeft ondanks vele tests, met name door het Amerikaanse leger, nog niet geleid tot brede toepassing. Wel is Spot sinds 2019 de eerste commercieel beschikbare robot van het bedrijf. [www.youtube.com/watch?v=NR32ULxbjYc](http://www.youtube.com/watch?v=NR32ULxbjYc)

## Voor op school

- 1 Leg kort in je eigen woorden uit wat biomimetica is.
- 2 Ken je zelf een vorm van biomimetica die niet in de tekst is genoemd?
- 3 Gekko's kleven door Vanderwaalskrachten aan oppervlakken, zonder dat ze er een verbinding mee aangaan; de binding is niet-covalent. Noem nog twee andere niet-covalente bindingen en daarnaast een covalente binding.
- 4 Wat is het verschil tussen hydrofiel en hydrofoob?
- 5 Waarom blijven de bladeren van een lotus zo schoon?
- 6 Waardoor flopte de Bionic van Mercedes?
- 7 Welke rol speelt de robotica in de biomimetica? Bedenk een robot die op een fenomeen uit de natuur is gebaseerd en die niet in de tekst is genoemd.
- 8 Sommigen zijn het niet eens met de term biomimetica en zeggen liever bioinspiratie. Welke term vind jij beter passen? Leg je antwoord uit.
- 9 Wat is de connectie tussen kunstmatige intelligentie en biomimetica?

## Meer weten?

- Amina Kahn, *Adapt*
- Peter Forbes, *The Gecko's Foot*
- Jay Harman, *The Shark's Paintbrush*
- Janine Benyus, *Biomimicry*
- Autumn, K., Liang, Y., Hsieh, S. et al. Adhesive force of a single gecko foot-hair. *Nature* 405, 681–685 (2000). <https://doi.org/10.1038/35015073>
- Kellar Autumn, Metin Sitti, Yiching A. Liang, Anne M. Peattie, Wendy R. Hansen, Simon Sponberg, Thomas W. Kenny, Ronald Fearing, Jacob N. Israelachvili, Robert J. Full. Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae, *PNAS* Sep 2002, 99 (19) 12252-12256; DOI: 10.1073/pnas.192252799

## Editie

### Biomimetica

editie 92 | nummer 367 | september 2020

[www.chemischefeitelijkheden.nl](http://www.chemischefeitelijkheden.nl)

**Coverbeeld:** Een gekkovoet, de gekko was door zijn spectaculaire 'kleefkracht' lange tijd de posterboy van de biomimetica. (Covercredit: Shutterstock/Mr.-B-king)

## Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

### KNCV

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

#### Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), drs. Franny Scholte (eindredacteur),  
Stephan van Duin (tekst), Daniël Linzel MSc (vragen en correctie)

#### Vormgeving & Opmaak

Content Innovators

#### Uitgever

Rik Stuivenberg, Vakbladen.com  
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag

#### Abonnementen

088-2266 680

[abonnementen@vakbladen.com](mailto:abonnementen@vakbladen.com)

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd, tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale onlinearchief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

#### Tarieven (2020)

Voor particulieren: onlinetoegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 100\*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.

Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 280\*.

Losse nummers kosten € 9,95\* per stuk en zijn te bestellen bij Mijntijdschrift.com.

\*Bij betaling per factuur wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.