

Quantummechanische gekko's

De gekko is een hagedissensoort die voorkomt in alle warme streken van de wereld. Gekko's zijn leuke bestjes die er vriendelijk uitzien. Bovendien hebben ze een eigenschap die ze extreem bijzonder maakt: gekko's kunnen, in tegenstelling tot andere soorten hagedissen, aan elk soort oppervlak kleven, of het nu glad of ruw is. Zelfs spinnen kunnen niet over zo veel verschillende soorten oppervlaktes lopen. De gekko is dus de echte Spider-Man van de natuur.

Gekko's zijn hiertoe in staat omdat ze gebruik maken van moleculaire krachten om overal aan te kunnen kleven. Dit biologische mechanisme heeft mensen geïnspireerd om bestaande uitvindingen te verbeteren of nieuwe ontwerpen te maken. Het is een voorbeeld van *biomimicry* - het thema van de serie waarvan dit het tweede artikel is.



Afbeelding 1. Een gekko klimt op een glazen oppervlak. Afbeelding gemaakt door Oleksandr Kuzmin.

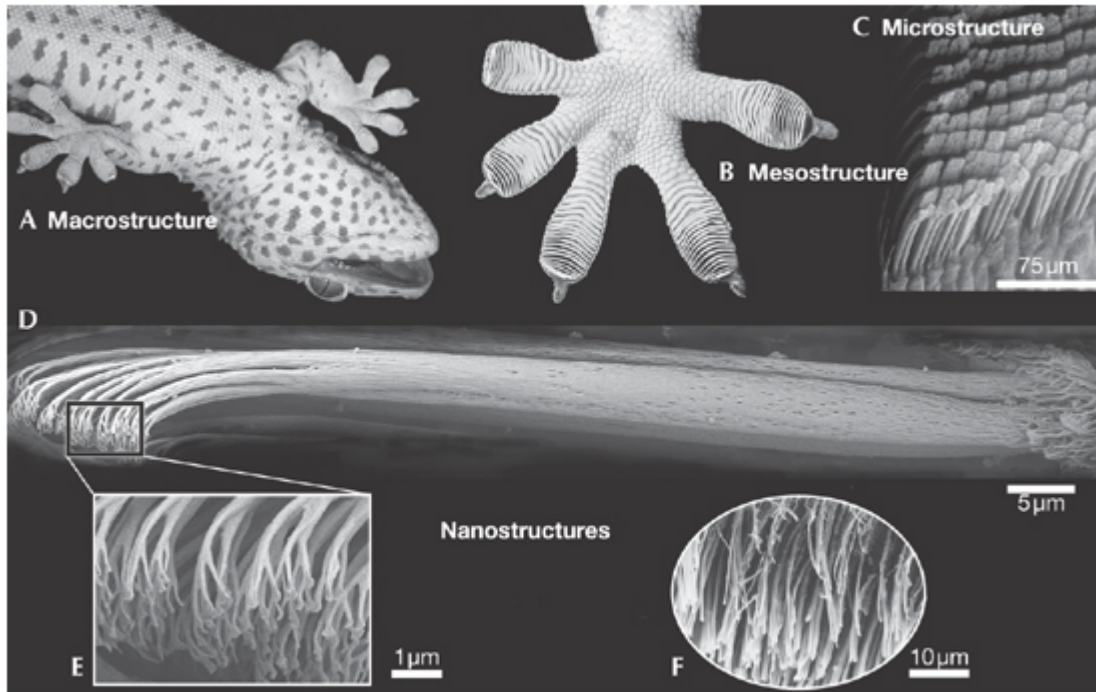
De gekko is een hagedissensoort die voorkomt in alle warme streken van de wereld. Gekko's zijn leuke bestjes die er vriendelijk uitzien. Bovendien hebben ze een eigenschap die ze extreem bijzonder maakt: gekko's kunnen, in tegenstelling tot andere soorten hagedissen, aan elk soort oppervlak kleven, of het nu glad of ruw is. Zelfs spinnen kunnen niet over zo veel verschillende soorten oppervlaktes lopen. De gekko is dus de echte Spider-Man van de natuur. Gekko's zijn hiertoe in staat omdat ze gebruik maken van moleculaire krachten om overal aan te kunnen kleven. Dit biologische mechanisme heeft mensen geïnspireerd om bestaande uitvindingen te verbeteren of nieuwe ontwerpen te maken. Het is een voorbeeld van *biomimicry* - het thema van de serie waarvan dit het tweede artikel is.

Gekko's maken gebruik van *vanderwaalskrachten* om over alle mogelijke oppervlaktes te kunnen lopen. Vanderwaalskrachten zijn zwakke elektromagnetische krachten tussen moleculen die werken op de quantschaal. Deze krachten ontstaan omdat in een molecuul of atoom de lading niet altijd gelijk is verdeeld. Hierdoor krijgt een atoom of molecuul een

enigszins positieve en negatieve kant. Deze oneven ladingsverdeling ontstaat omdat de elektronenwolk – het gebied rondom de atoomkern waar elektronen zitten – vervormd wordt, waardoor er meer elektronen aan één kant van het molecuul of atoom zitten. Dit verschuiven van de ladingsverdeling noemt men *polarisatie* en is een quantummechanisch effect. De negatieve lading trekt nu de positieve lading van een ander deeltje in de omgeving aan, en andersom. De grootte van de vanderwaalskracht die zo ontstaat hangt af van hoe *polariseerbaar* een molecuul is – hoe makkelijk de elektronenwolk vervormd kan worden. Grote moleculen en atomen zijn eenvoudig polariseerbaar omdat ze veel elektronen hebben, waarvan een groot gedeelte ver van de kern. De vanderwaalskracht tussen dit soort deeltjes is dus groter dan de kracht tussen kleinere deeltjes. Vanderwaalskrachten zijn anders dan covalente bindingen – de chemische bindingen tussen atomen – en anders dan de elektrostatische kracht tussen ionen. Vanderwaalskrachten zijn altijd aanwezig, ook bij netto ongeladen deeltjes, en ze zijn afhankelijk van de afstand tussen de deeltjes. Hoe kleiner de afstand tussen de moleculen, des te groter de vanderwaalskracht. Dit is ook de reden dat van heel grote moleculen, zoals eiwitten, de vorm van belang is voor de grootte van de vanderwaalskracht. Moleculen met een regelmatige vorm passen nauw in elkaar, waardoor de afstand ertussen relatief kleiner is en de vanderwaalskracht dus groot.

Dat de wonderlijke plakkracht van gekko's veroorzaakt wordt door de quantummechanische effecten werd gepostuleerd in de jaren 70, maar het is pas in het begin van de 21^e eeuw bewezen. Met een elektronenmicroscop hebben onderzoekers ontdekt dat de poten van gekko's bedekt zijn met een speciaal soort haartjes, *setae* genaamd – zie afbeelding 2B en 2C. Het uiteinde van elke seta bestaat uit honderden vezeltjes, de *spatulae* [1,2] – zie afbeelding 2D en 2E. De *setae* zelf zijn ongeveer $20 \text{ } (\mu\text{m})$ dik en de *spatulae* zijn zelfs minder dan $1 \text{ } (\mu\text{m})$ dik. Om je een idee te geven van hoe klein dit is: een mensenhaar heeft een dikte van 70 tot $120 \text{ } (\mu\text{m})$. Tussen elke seta en het oppervlak waar de gekko op loopt, vormen zich vanderwaalskrachten, omdat elke spatula heel dicht bij het oppervlak kan komen. Er zijn berekeningen gedaan die aangeven dat de vanderwaalskracht van een enkele spatula ongeveer $0,4 \text{ } (\mu\text{N})$ is. Om wat perspectief te geven: $1 \text{ } (\text{N})$ is grofweg de kracht die nodig is om een appel een meter op te tillen. Een kracht van $0,4 \text{ } (\mu\text{N})$ is dus heel weinig, maar de poten van een gekko bevatten samen ongeveer 1 miljard spatulae. Samen creëren die zo een kracht die groot genoeg is om de gekko aan een oppervlak te laten kleven [2]. De hoeveelheid spatulae in de poten van de gekko zorgt er zelfs voor dat het

contactoppervlak tussen die poten en het oppervlak waarover de gekko loopt, zodanig groot is dat de relatief zwakke vanderwaalskracht genoeg is om het diertje ondersteboven te laten hangen aan je plafond.

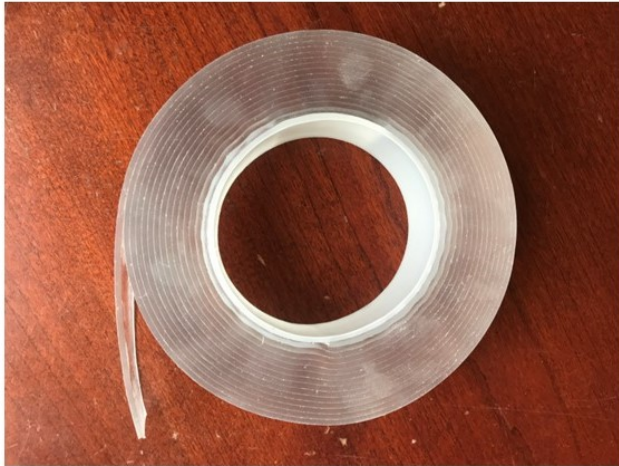


Afbeelding 2. De nanostructuur van gekkopoten. (A) Een gekko loopt over een glazen plaat. (Afbeelding gemaakt door M. Moffett.) (B) Close-up van de poot van een gekko waarbij de mesostructuur van alle setae samen te zien is. (Afbeelding gemaakt door M. Moffett.) (C) Afbeelding van de poot van een gekko gemaakt met een elektronenmicroscop. Hierin is een verzameling setae te zien. (D) Afbeelding van een enkele seta gemaakt met een elektronenmicroscop. (Afbeelding gemaakt door S. Gorb en K. Autumn.) (E) Het uiteinde van elke seta bestaat uit nog kleinere vezeltjes genaamd spatulae. (F) Synthetische spatulae gemaakt van polymeren aan de Universiteit van California, Berkeley, in het laboratorium van Ronald Fearing. Gehele afbeelding afkomstig uit '[Naturally better](#)' van Andrea Rinaldi.

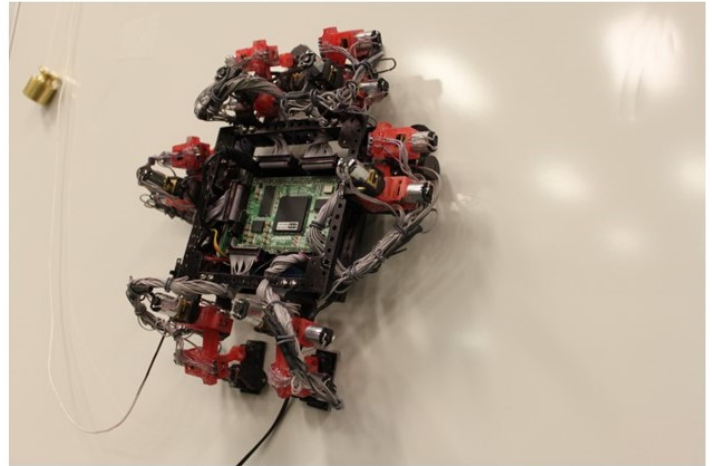
Om het hierboven beschreven mechanisme optimaal te laten werken, moet de gekko wel wat trucjes gebruiken. Vanderwaalskrachten werken namelijk alleen over heel kleine afstanden, dus de setae moeten heel nauw contact maken met het oppervlak. Om dit te bereiken, drukt een gekko zijn poten hard tegen het oppervlak waarover hij loopt en positioneert hij zich

zodanig dat de hoek tussen de setae en het oppervlak onder een kritische waarde van 30 graden ligt [2]. Hiermee bereikt de gekko het grootst mogelijke contactoppervlak en dit zorgt voor de grootst mogelijke plakkracht. Maar gekko's kunnen niet alleen goed plakken aan alle soorten oppervlakken, ze kunnen er ook snel over rennen. Ze kunnen dus ook heel snel hun voeten weer los maken. Dat is misschien wel het meest bijzondere aan deze diertjes, want meestal laat iets dat goed plakt juist heel moeilijk los. Om zichzelf bij elke stap weer los te kunnen maken, beweegt de gekko zijn poot zodanig dat de hoek tussen de setae en het oppervlak juist bóven de kritische waarde van 30 graden komt. Dit zorgt ervoor dat de vanderwaalskrachten worden verbroken, waardoor de poten weer loskomen van het oppervlak [3]. De poten van gekko's werken dus als een soort 'droge lijm' die op elk oppervlak werkt en ook constant hergebruikt kan worden.

Als mensen kunnen we ons door de gekko laten inspireren om onze eigen technologie te verbeteren of nieuwe technologie te maken. Dat is wat de *biomimicry* doet: inspiratie nemen uit de natuur om menselijke toepassingen uit te vinden of te verbeteren. Het quantummechanische plakmechanisme van de gekko heeft dan ook veel uitvindingen geïnspireerd. Tegenwoordig bestaat er bijvoorbeeld 'gekkotape', een speciaal soort plakband gemaakt van nanotubes van koolstof die zogenaamd als synthetische setae werken – zie afbeelding 3a. In een [vorig artikel](#) hebben we een korte uitleg gegeven over hoe dit plakband precies werkt. Het nabootsen van de gekko bleek daar niet perfect: het contactoppervlak tussen de tape en het oppervlak waarop je die plakt is inderdaad groot – net als bij de gekkopoten – maar de synthetische setae spelen daar nauwelijks een rol in. Er bestaan tegenwoordig ook 'gekkorobots' die aan elk soort oppervlak kunnen kleven. Zulke robots kunnen gebruikt worden voor het wassen van de ramen van wolkenkrabbers, het inspecteren van tanks en pijpleidingen en voor onderhoud van ruimteschepen in de ruimte – zie afbeelding 3b. Een andere uitvinding gebaseerd op gekko's is de NanoForceGripper. Dit is een grijper die kwetsbare producten met gladde oppervlakken, zoals beeldschermen, kan vasthouden en weer loslaten. Deze grijpers worden veel gebruikt tijdens de productie van tv's, mobiele telefoons en andere elektronische apparaten.



(a)



(b)

Afbeelding 3. Uitvindingen die gebruik maken van biomimicry. (a) Gekko-plakband.

Afbeelding gemaakt door [Peter Chen](#). (b) Een robot die net als gekko's gebruikt maakt van vanderwaalskrachten om aan elk soort oppervlak te kunnen kleven. Afbeelding van [Simon Fraser](#), University School of Engineering Science/MENRVA.

De natuur kan dus onze eigen technologie en ontwerpen verbeteren en ons inspiratie geven voor nieuwe ontwikkelingen. Naast op de gekko geïnspireerde uitvindingen zijn er vele andere voorbeelden van biomimicry, zoals robots die als vogels vliegen of supersterke stoffen die lijken op spinrag. Om biomimicry te kunnen toepassen is het natuurlijk essentieel om een diepgaand en multidisciplinair begrip te hebben van de werking van biologische systemen. De lessen die we uit de natuur leren, kunnen we vaak in ons eigen voordeel gebruiken.

Wil je meer weten over biomimicry? Houd dan deze [serie](#) dan in de gaten. Hier vertellen we je alles over uitvindingen en ontwerpen die zijn gebaseerd op biologische concepten.

Referenties

[1] Ruibal, Rodolfo, and Valerie Ernst. "The structure of the digital setae of lizards." *Journal of Morphology* 117.3 (1965): 271-293.

[2] Autumn, Kellar, et al. "Adhesive force of a single gecko foot-hair." *Nature* 405.6787 (2000): 681-685.

[3] Tian, Yu, et al. "Adhesion and friction in gecko toe attachment and detachment."
Proceedings of the National Academy of Sciences 103.51 (2006): 19320-19325.