

Spinrag: een web aan mogelijkheden

Spinnen - het zijn vrij controversiële dieren. Sommige mensen vinden ze geweldig, maar velen vinden spinnen juist eng of vervelend. We verwensen spinnen vooral in de herfst, als hun webben laag over de fietspaden hangen en we erin terechtkomen. Ook al lopen we er soms letterlijk recht tegenaan, veel mensen beseffen zich niet hoe bijzonder dat spinnenweb, en het spinrag waar het van gemaakt is, zijn.



Afbeelding 1: Een spinnenweb in de natuur. Foto: [Flash Dantz](#).

Content warning: In dit artikel staan foto's van spinnen.

Spinrag, ook wel spinnenzijde genoemd, is het sterkste biologische materiaal op aarde. Het is bijvoorbeeld vele male sterker dan Kevlar, een kunstvezel waar kogelvrije vesten van

gemaakt zijn. Daarnaast is spinrag ook superelastisch, terwijl de meeste sterke materialen juist stug zijn – denk maar aan ijzer of staal. De vele bijzondere en veelzijdige eigenschappen van dit materiaal en de mogelijke toepassingen ervan, maken het heel populair in de wereld van de [biomimicry](#).

Dit is misschien niet de eerste keer dat je hoort dat spinrag ‘heel erg sterk is’, maar hoe sterk is dat dan? Nikola Kojic, van het Massachusetts Institute of Technology (MIT), geeft het volgende voorbeeld. Stel dat je een opgeschaalde versie van een rond spinnenweb hebt, met een diameter van 100 m en draden spinnenzijde van 1 cm dik. De afstand tussen de concentrische cirkels van het spinnenweb is 4 cm en de spaken hebben ook een paar centimeter afstand tot elkaar. Het theoretische web zou in staat zijn om een Boeing 747 met een spanwijdte van 60 meter en een snelheid van 900 km/h te vangen, zonder enige schade aan het web! Mensen hebben geen materiaal kunnen ontwerpen dat zo sterk is. Zelfs Kevlar, het sterkste door mensen gemaakte materiaal, is vijf keer minder sterk dan spinrag. Deze eigenschap maakt spinnenzijde een van de meest bestudeerde biologische materialen met ontzettend veel mogelijke toepassingen. Voor alle toepassingen zouden we ofwel natuurlijk, ofwel kunstmatig spinrag kunnen gebruiken. Later in dit artikel gaan we hier verder op in.

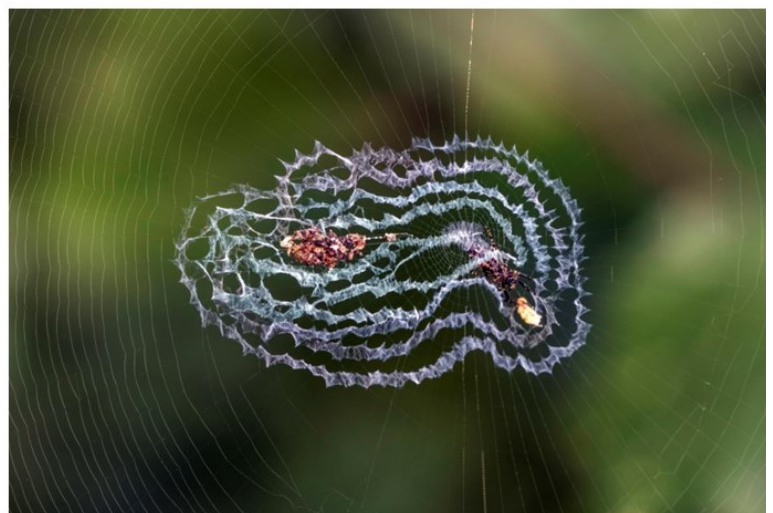
De meest voor de hand liggende toepassing van spinnenzijde is het maken van nog betere en sterkere kogelwerende vesten. Het kan ook gebruikt worden om veiligheidsgordels, touwen, netten of zelfs autobumpers te maken. Spinrag is niet alleen supersterk, het is ook goed bestand tegen hoge en lage temperaturen [1]. Daardoor zouden we het zelfs kunnen gebruiken om onze infrastructuur te verbeteren, bijvoorbeeld door de hangkabels van bruggen ermee te maken.

Een andere bijzondere eigenschap van spinrag, is dat het tegelijkertijd taai en stijf is. *Taaiheid* geeft aan hoe veel energie een materiaal kan absorberen voordat het breekt. *Stijfheid* daarentegen geeft aan wat de mate is waarin een materiaal zich verzet tegen elastische vervorming – het is het tegenovergestelde van flexibiliteit. Taaiheid en stijfheid sluiten elkaar in materialen vaak uit. Glas is bijvoorbeeld heel stijf, maar niet taai. Het is dus heel bijzonder dat spinrag beide eigenschappen bezit. Onderzoekers aan de Norwegian University of Science and Technology hebben zich laten inspireren door de chemische eigenschappen van spinnenzijde om een nieuw materiaal te creëren dat ook taai en stijf tegelijkertijd is [2].

De menselijke fascinatie met spinrag is niet iets recents. De oude Grieken en Romeinen waren bekend met dit materiaal en gebruikten het al. Zij ontdekten dat spinrag geen ontstekingen of allergische reacties veroorzaakt bij mensen en gebruikten het daarom als verband voor wonden. Tegenwoordig kunnen we het gebruiken als hecht draad en heeft het mogelijke toepassingen voor het helen van verschillende soorten weefsels [3]. Dit zijn niet de enige geneeskundige toepassingen van spinnenzijde. Het kan namelijk ook gebruikt worden om kunstspieren te maken. Hoe werkt dat? Als spinrag nat wordt gemaakt, zwelt het op en wordt het langer; als het opdroogt, krimpt het weer. Dit mechanisme lijkt heel erg op de ontspanning en contractie van spieren. Net zoals spieren, zijn spinnendraden in staat om vele malen samen te trekken en uit te rekken zonder vermoeidheid te vertonen. Daarnaast hebben kunstmatige spieren twee grote voordelen. Ten eerste hebben spinnendraad-spieren geen van buitenaf aangevoerde energie nodig om te functioneren, in tegenstelling tot onze eigen spieren. Ten tweede kunnen deze kunstmatige spieren 50 keer zo veel arbeid leveren als een menselijke spier met een vergelijkbare massa [4,5]. Kunstmatige spinnenzijde-spieren werken dus beter dan onze eigen spieren.



(a)



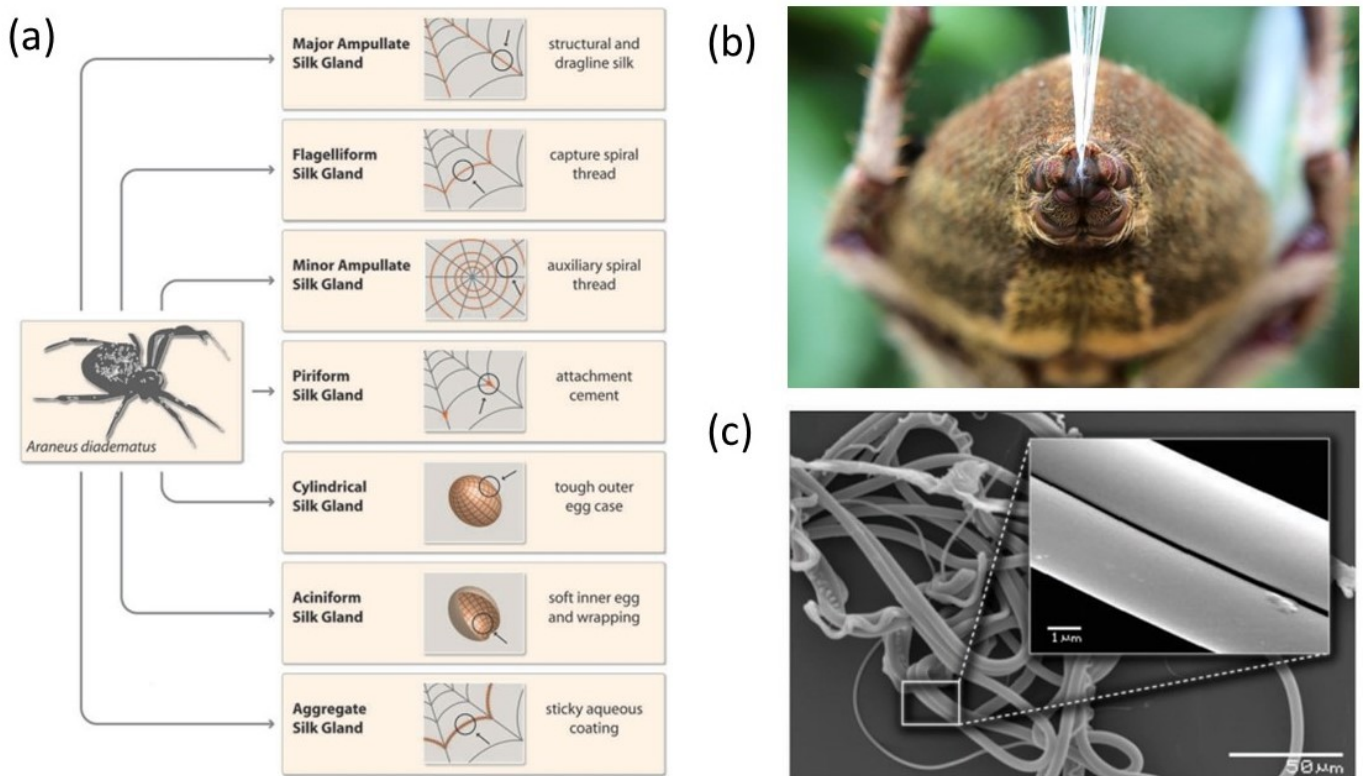
(b)

Afbeelding 2: Webdecoratie van verschillende soorten spinnen. De webdecoratie is te herkennen aan het dikkere, meer zichtbare spinrag waar het van gemaakt is. (a) Webdecoratie van *Argiope aetherea*, een wielwebspin. Deze spin maakt zijn webdecoratie in de vorm van een X. Foto: [Summerdrought](#). (b) Ovale en spiraalvormige webdecoratie van

Cyclosa spirifera, een andere wielwebspin. Foto: [Charles J. Sharp](#).

Niet alleen spinrag zelf, maar ook de structuur van een spinnenweb kan ons inspireren om onze technologie te verbeteren. Misschien is het je wel eens opgevallen dat sommige spinnenwebben er in het midden anders uitzien dan aan de buitenkant – zie afbeelding 2. Dit komt doordat bepaalde soorten spinnen in het midden van hun web een *stabilimentum*, ook wel bekend als webdecoratie, aanbrengen. Webdecoraties zijn structuren van spinnenzijde in de vorm van een X of spiraal. Oorspronkelijk dachten wetenschappers dat deze structuren bedoeld waren om het web te stabiliseren – vandaar ook de naam. Deze theorieën bleken incorrect, en wat de exacte functie van de webdecoratie is, is nog altijd onbekend, maar dit onderdeel van het spinnenweb heeft wél een bijzondere eigenschap. De webdecoratie reflecteert namelijk UV-licht. Licht van deze golflengte is goed zichtbaar voor vogels, waardoor die heel duidelijk de plek kunnen zien waar het spinnenweb hangt [6]. Hierdoor kunnen ze het web goed ontwijken of worden ze zelfs afgeschrikt waardoor de spin niet wordt opgegeten. De eigenschap van webdecoratie dat het UV-licht reflecteert, heeft het bedrijf Ornilux geïnspireerd om glas te maken dat eveneens goed zichtbaar is voor vogels. Zij voorzien glas van een UV-coating, waardoor vogels niet tegen ramen botsen en er minder ongelukken zijn.

De gevarieerde toepassingen van spinrag zijn de reden dat onderzoekers al langere tijd proberen om een synthetische versie ervan te maken, maar dat blijkt extreem ingewikkeld. Dat komt doordat spinnenzijde een heel complex materiaal is. Ten eerste bestaat het uit verschillende eiwitten met een complexe structuur. Daarnaast is spinrag niet een enkele eiwitdraad, maar bestaat het uit meerdere, in elkaar gewikkelde eiwitdraadjes – zie afbeelding 3c. Een spin heeft klieren in het achterlijf, spintepels genaamd, die verschillende eiwitdraden produceren – zie afbeelding 3b. De verschillende draadjes die uit de tepels komen, worden gecombineerd tot een spinnendraad. Om het nog ingewikkelder te maken: de precieze combinatie van eiwitdraadjes is bepalend voor het soort spinnenzijde dat je krijgt. Verschillende combinaties leiden tot draden met verschillende eigenschappen – zie afbeelding 3a. Een spin kan zeer kleverige en elastische draden maken waarmee het beestje makkelijk prooien kan vangen, of niet-kleverige draden waar de spin zelf overheen kan lopen. Het namaken van zo'n ingewikkelde structuur blijkt vooralsnog nagenoeg onmogelijk voor mensen [7].



Afbeelding 3: Spinnenzijde. (a) Schematische weergave van de verschillende soorten spinrag die een vrouwelijke wielwebspin, zoals *Araneus diadematus*, kan maken. De verschillende klieren die zijde produceren worden hier ook benoemd. Er zijn vijf verschillende soorten zijde die de spin gebruikt om haar web te maken en daarnaast nog twee soorten zijde die gebruikt worden voor het maken van eieren. Afbeelding afkomstig uit "[The elaborate structure of spider silk: structure and function of a natural high performance fiber](#)". (b) Spintepels van *Hortophora transmarina*, een wielwebspin-soort die in Australië voorkomt. Foto: [Jason7825](#). (c) Elektronenmicroscopie-afbeelding van spinrag afkomstig van *Araneus diadematus*. De verschillende soorten draden zijn duidelijk herkenbaar. Ingezoomd is het soort zijde te zien dat spinnen gebruiken om de spaken van hun webben te maken. Dit soort zijde gebruiken ze ook om zelf aan te hangen. In (a) wordt dit 'structural and dragline silk' genoemd. Bron afbeelding: als voor (a).

Een andere mogelijkheid is om spinrag niet na te maken, maar natuurlijke spinnenzijde te gebruiken. Dit brengt echter andere problemen met zich mee. Spinnen fokken is extreem lastig en duur. Een spin produceert per dag maar heel weinig spinnenzijde, waardoor je veel spinnen nodig zou hebben om genoeg te kunnen produceren. Het houden van grote aantallen spinnen is echter heel lastig, want spinnen zijn kannibalen, dus het is niet mogelijk om meerdere spinnen bij elkaar in dezelfde ruimte te houden. Om een spinnenzijde-kwekerij te

hebben, is daarom veel ruimte en tijd nodig. Dat maakt het niet aantrekkelijk als onderneming. We moeten dus andere manieren vinden om spinnenzijde te produceren. Het Duitse bedrijf AMSilk kwam hiervoor met een ingenieuze oplossing. Zij gebruiken genetisch gemodificeerde *E. coli*-bacteriën die spinnenzijde produceren. Onderzoekers van dit bedrijf zijn ook bezig met het uitvogelen hoe een spin eiwitten kan omzetten in spinnendraad. Het blijkt dat de eiwitten door een nauw kanaal in de klieren aan de achterzijde van de spin worden geduwd, waardoor ze uiteindelijk de juiste structuur krijgen en een draad kunnen vormen. Tijdens dit proces verandert de chemische samenstelling van de eiwitten om ervoor te zorgen dat het eiwitdraad de gewenste eigenschappen krijgt. Als het onderzoekers lukt om deze stappen na te bootsen in het laboratorium, dan is het in de toekomst misschien mogelijk om 'biologisch staal' te maken.

Het is duidelijk dat spinrag bijna eindeloze toepassingen heeft binnen en buiten de biologie. Van biologisch staal tot kunstmatige spieren, spinrag is een daadwerkelijke goudmijn aan inspiratie voor menselijke toepassingen en uitvindingen. Biomimicry op z'n best!

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.

Bronnen:

[1] Yang, Yong, et al. "Toughness of spider silk at high and low temperatures." *Advanced Materials* 17.1 (2005): 84-88.

[2] Zhuo, Yizhi, et al. "Simultaneously toughening and stiffening elastomers with octuple hydrogen bonding." *Advanced Materials* 33.23 (2021): 2008523.

[3] Salehi, Sahar, Kim Koeck, and Thomas Scheibel. "Spider silk for tissue engineering applications." *Molecules* 25.3 (2020): 737.

[4] Blackledge, Todd A., et al. "How super is supercontraction? Persistent versus cyclic responses to humidity in spider dragline silk." *Journal of Experimental Biology* 212.13 (2009): 1981-1989.

[5] Agnarsson, Ingi, et al. "Spider silk as a novel high performance biomimetic muscle driven by humidity." *Journal of Experimental Biology* 212.13 (2009): 1990-1994.

[6] Blackledge, Todd A., and John W. Wenzel. "The evolution of cryptic spider silk: a behavioral test." *Behavioral Ecology* 11.2 (2000): 142-145.

[7] Poelman, Ylva. *De natuur als uitvinder: Miljarden jaren aan innovatie gratis beschikbaar*. Overamstel Uitgevers, 2015.