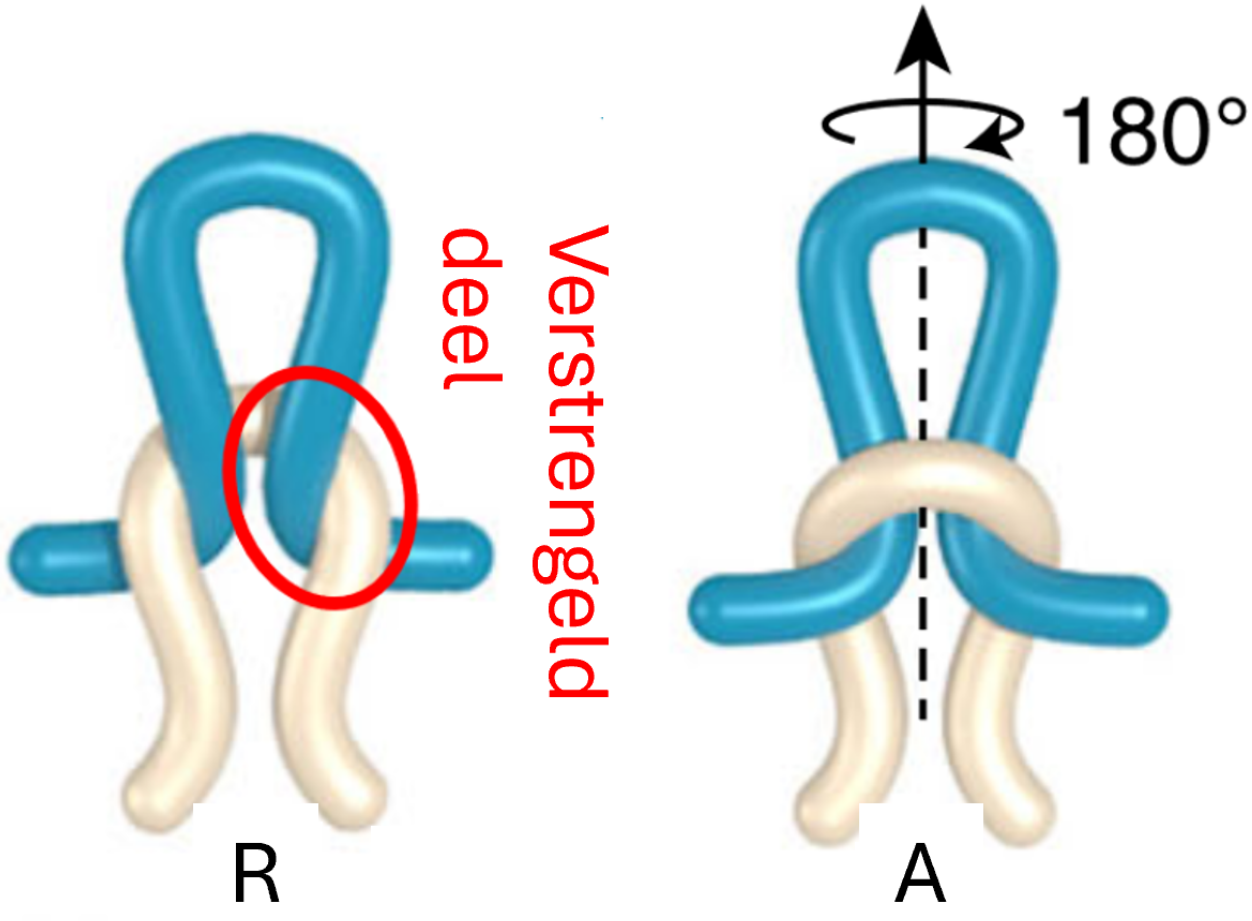
De natuurkunde van het breien ontrafeld

Breien: misschien heb je het op school geleerd, misschien ken je het van je oma, of misschien doe het je wel zelf. Breien verandert een ééndimensionale draad in een tweedimensionale stof, waar vervolgens kleding van gemaakt kan worden. De eigenschappen van de gebreide stof worden niet alleen bepaald door de soort draad waarmee gebreid wordt, maar ook door de manier waarop je breit. Dat is precies waar het onderzoek Elisabetta Matsumo aan het Georgia Institute of Technology over gaat.

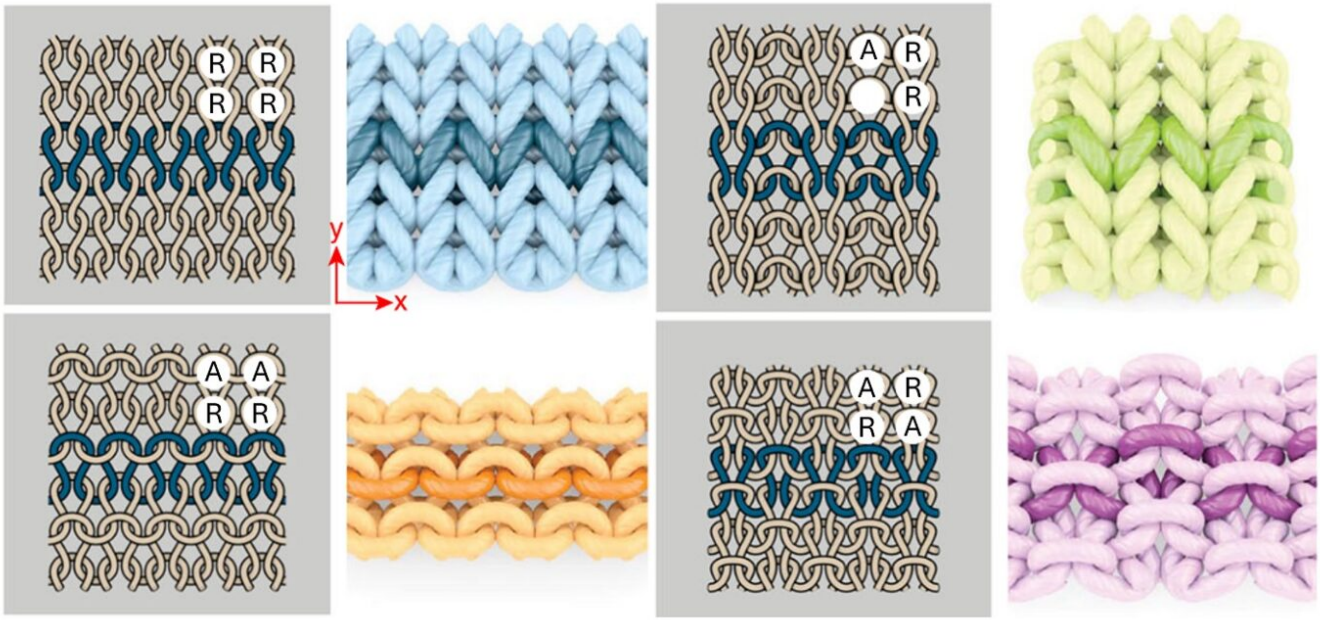


Afbeelding 1. Recht en averecht. Tekening van een losse rechte en averechte steek. Figuur uit: Singal, K., Dimitriyev, M.S., Gonzalez, S.E. et al. Programming mechanics in knitted

materials, stitch by stitch. Nat Commun 15, 2622 (2024).

Een gebreide stof bestaat in feite uit een heleboel lusjes die door lusjes getrokken zijn. Eén zo'n lusje noemt men een steek. In de eenvoudigste vorm zijn er twee breisteken: de rechte steek en de averechte steek. Bij de rechte steek haal je een lus door de voorkant van een lus in de vorige rij, en bij de averechte steek haal je de lus door de achterkant. De averechte steek is dus simpelweg de rechte steek, maar dan 180° gedraaid, zoals te zien is in afbeelding 1. Ondanks dat minimale verschil maakt het wel degelijk uit in welke volgorde de steken elkaar afwisselen.

Een patroon waarin rechte en averechte steken elkaar afwisselen wordt, verwarrend genoeg, ook een steek genoemd. In de eenvoudigste vorm gebruik je alleen rechte steken. Dit heet de *ribbelsteek,* en het is de steek waarmee de meeste mensen beginnen. Je kan bijvoorbeeld ook om-en-om een rij recht en een rij averecht breien (*tricotsteek*), of om-en-om een kolom recht en averecht breien (*boordsteek*), of zelfs in een schaakbordpatroon de steken met elkaar afwisselen (*mos- of zaadsteek*). Al deze steken zijn te zien in afbeelding 2.



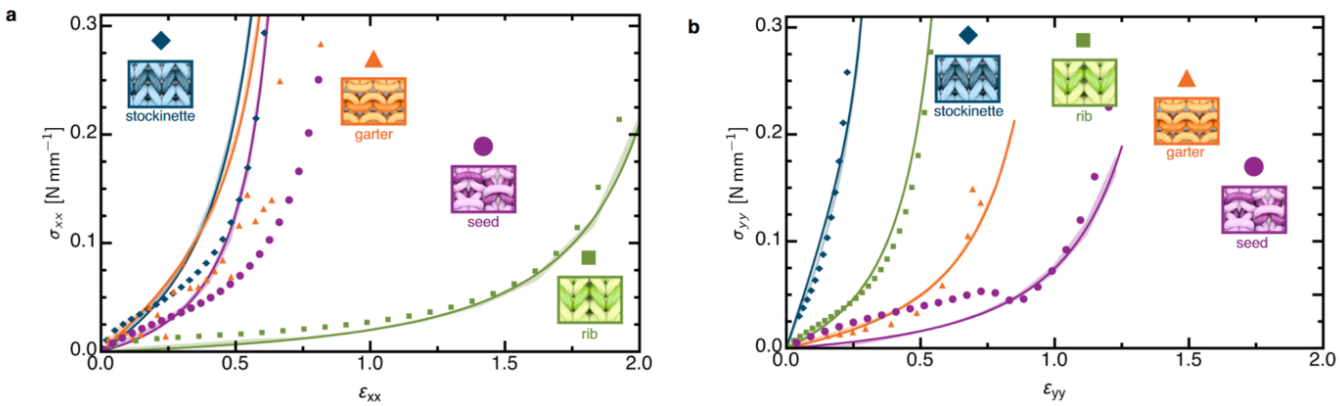
Afbeelding 2. Verschillende steken. De ribbelsteek (links boven), boordsteek (rechts boven), tricotsteek (links onder) en de mossteek (rechts onder). Figuur uit: Singal, K., Dimitriyev, M.S., Gonzalez, S.E. et al. Programming mechanics in knitted materials, stitch by stitch. Nat Commun 15, 2622 (2024).

De verschillende steken geven niet alleen een ander uiterlijk, maar ook een andere structuur

aan de stof, en dat heeft een sterke invloed op hoe rekbaar de stof is. Dit komt doordat de steken bestaan uit verstrengelde delen, die bepalend zijn voor hoe (on)flexibel de stof is, en vrije delen, die de stof wat extra rekbaarheid geven. Het veranderen van de volgorde waarin de steken worden gebruikt, verandert de geometrie (en topologie) van de vrije en verstrengelde delen van de draad.

De onderzoeksgroep van dr. Elisabetta Matsumoto heeft de vier hierboven beschreven steken met behulp van een breimachine gebreid, zodat ze zo consistent mogelijk te reproduceren zijn. Daarna hebben de onderzoekers met een speciale rekmachine getest hoe de stoffen oprekken in de horizontale en verticale richting. De resultaten zijn te zien als de markeringen in afbeelding 3. (De doorgetrokken lijnen zijn de resultaten van berekeningen). In de grafieken staat op de horizontale as de uitrekking van de stof en op de verticale as de hoeveelheid kracht die het kost om de stof nog een millimeter verder uit te rekken.

Wat als eerste opvalt, is dat het bij alle steken in het begin relatief weinig kracht kost om de stof op te rekken. Nadat een stof ver genoeg is gerekt, kost het rekken snel veel meer kracht. Dit is te zien aan de steiler wordende lijn in de grafiek. Dat het rekken in eerste instantie niet veel kracht kost, komt doordat de vrije delen van de wol zich kunnen verplaatsen om de verlenging van de stof op te vangen. Als de stof zo ver is gerekt dat dit niet meer kan, moeten de draden zelf gaan rekken, en dat kost aanzienlijk meer kracht.



Afbeelding 3. Rekbaarheid van de verschillende steken. De icoontjes geven voor de ribbel- (blauw), tricot- (oranje), boord- (groen), en mossteek (paars) aan hoeveel kracht het kost de stof een millimeter uit te rekken, als functie van hoe ver de stof al gerekt is; in de eerste grafiek voor de horizontale richting en in de tweede voor de veritcale richting. De lijnen zijn resultaten van een berekening.

Figuur uit: Singal, K., Dimitriyev, M.S., Gonzalez, S.E. et al. Programming mechanics in knitted materials, stitch by stitch. Nat Commun 15, 2622 (2024).

Er zijn ook duidelijke verschillen tussen de verschillende steken. De ribbelsteek (blauw) is het minst rekbaar in beide richtingen en het gevolg van het oprekken is in beide richtingen vergelijkbaar. De tricotsteek (oranje) is veel rekbaarder in de verticale dan in de horizontale richting, en de boordsteek (groen) is juist andersom: veel rekbaarder in de horizontale dan in de verticale richting. Tot slot is de mossteek (paars) slechts iets minder rekbaar in de horizontale dan in de verticale richting.

Er zit een patroon in deze resultaten: alle stoffen zijn rekbaarder in de richting waarin de rechte en averechte steken elkaar afwisselen. Waarom dit zo is, wordt duidelijk wanneer je kijkt naar hoe de draad loopt bij de overgang tussen steken (afbeelding 4). Tussen een averechte en een rechte steek loopt een diagonale lijn die vlakker gekanteld kan worden om de stof wat te verlengen zonder dat de draad zelf hoeft te rekken. Tussen twee rechte of averechte steken lopen een soort vlakke bruggetjes van draad, die niet verder gekanteld kunnen worden en slechts een kleine verlenging bieden. Hierdoor moet de draad zelf al rekken bij een kleinere verlenging van de stof.

Mensen ontwerpen al tientallen jaren stoffen met specifieke eigenschappen, dus je kan je afvragen waarom het nog de moeite waard is de eigenschappen van breisteken te onderzoeken. Toch blijkt dat wel degelijk het geval. Het ontwerpen van stoffen met specifieke eigenschappen wordt meestal gedaan met polyester, eventueel gemixt met andere vezels. Zodra vezels eenmaal gemixt zijn, zijn ze niet makkelijk meer te recyclen, en kledingafval van polyester kleding brengt plastics in het klimaat. Met het oog op het klimaat zou het dus fijn zijn als we stoffen van natuurlijke vezels net zo doelgericht zouden kunnen ontwerpen als synthetische kleding, door de juiste steek te kiezen. Het onderzoek is dan ook nog lang niet afgelopen. Naast een uitgebreidere kijk op de onderliggende wiskunde, wordt er ook gekeken naar het ontwerpen van geoptimaliseerde stoffen met behulp van machine learning, en naar de mogelijkheid om de opgedane kennis te gebruiken voor het ontwerpen van draagbare medische apparatuur. Voorlopig is er dus nog genoeg te ontdekken in de eeuwenoude wereld van het breien.

Gebaseerd op publicatie: *Singal, K., Dimitriyev, M.S., Gonzalez, S.E. et al. Programming*

*mechanics in knitted materials, stitch by stitch. Nat Commun **15**, 2622 (2024).*