

Programmeerbare metamaterialen

De meeste natuurlijke materialen om ons heen hebben vaste eigenschappen. Metaal is bijvoorbeeld erg stijf, hout is buigzaam en rubber kan meerdere malen zijn eigen lengte uitrekken zonder te breken. Maar zou het niet interessant zijn als we een materiaal zouden kunnen maken dat zijn eigenschappen drastisch kan veranderen, van bijvoorbeeld zacht naar stijf of van kleur verschietend? In dit artikel laten we zien hoe we op basis van origami nieuwe materiaalconcepten maken die door aanpassing van hun microstructuur hun eigenschappen kunnen veranderen en op deze manier ‘geprogrammeerd’ kunnen worden om het door ons gewenste gedrag te laten zien. Johannes T.B. Overvelde

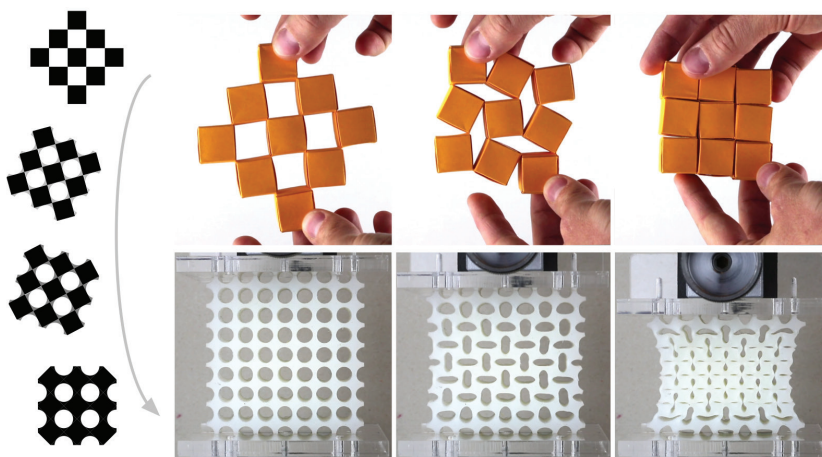
243

Over het algemeen wordt het gedrag van materialen voornamelijk gekenmerkt door hun moleculaire samenstelling. Er zijn echter ook materialen die hun eigenschappen niet alleen danken aan hun moleculaire samenstelling, maar ook aan hun specifieke microstructuur. Bamboe is zo'n materiaal. Net zoals hout of katoen is bamboe voornamelijk opgebouwd uit cellulose, maar er is een groot verschil. De microstructuur van het materiaal is compleet anders vormgegeven. Bamboe heeft een hiërarchische structuur en is opgebouwd uit cellulosevezels (3 nm) die zijn ingebed in prismatische holle cellen van verschillende diktes (300 nm). Een radiale dichtheidgradiënt van deze cellen (20 μm) die zijn geplaatst in een honingraatachtig patroon (100 μm) zorgt voor een extra hoge buigstijfheid [1]. De truc zit hem dus in het ontwerp van de microstructuur, niet alleen de moleculaire samenstelling. Op eenzelfde manier proberen wetenschappers de microstructuur van materialen vorm te geven om materialen met nieuwe eigenschappen te ontwerpen die niet voorkomen in de natuur. Der-

gelijke materialen noemen we ook wel metamaterialen.

Maar hoe kom je tot een ontwerp voor zo'n metamateriaal met nieuwe eigenschappen? Origamikunstenaars vormen een inspiratie voor nieuwe ontwerpen. Al eeuwenlang worden er binnen de origamiwereld interessante structuren gecreëerd. Neem bijvoorbeeld de modulaire origamitechniek Knotology, bedacht door Heinz Strobl. In deze techniek worden papieren strookjes in elkaar geweven om tot driedimensionale structuren

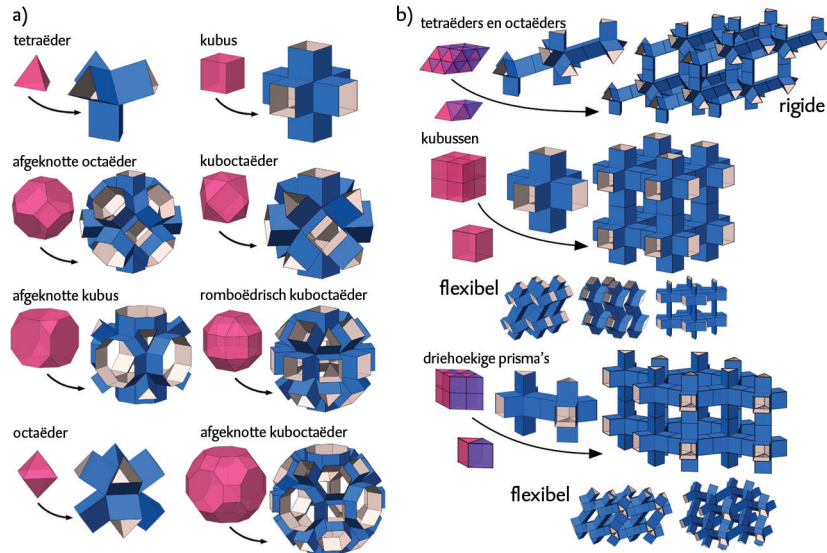
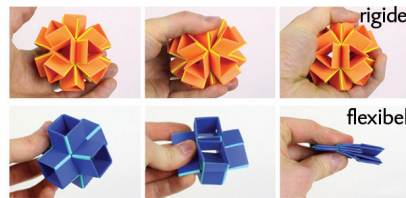
te komen. Een specifiek ontwerp dat met deze techniek kan worden gemaakt is de *wobbling wall*, een mechanisme bestaande uit negen kubussen die scharnierend met elkaar zijn verbonden (figuur 1). Op basis van dit origamiontwerp kunnen we een metamateriaal uit rubber maken door de vierkante gaten te vervangen met ronde gaten. Als we nu het materiaal samendrukken zoals weergegeven in figuur 1, dan ondergaat de structuur bij een kritieke belasting een instabiliteit, waardoor de symmetrie gebro-



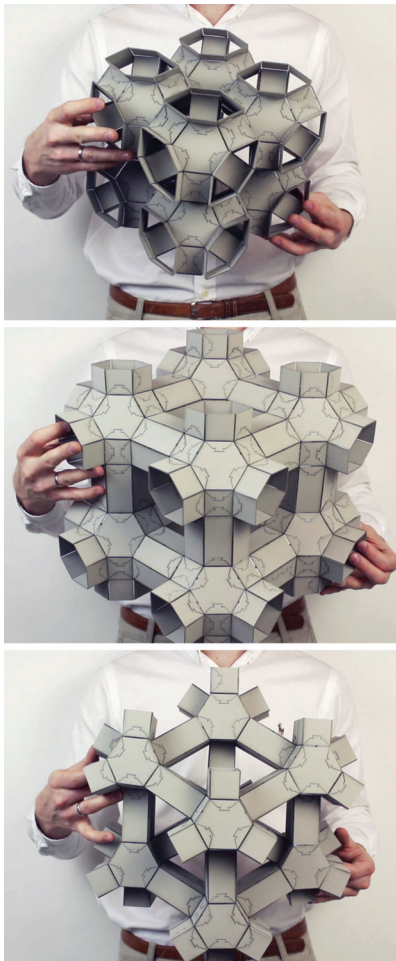
Figuur 1 Nieuw metamateriaal geïnspireerd op een modulaire origamitechniek [2].



Figuur 2 Rigide en flexibele structuren gemaakt op basis van de Snapology-origamitechniek [3].



Figuur 3 Sjablonen voor het maken van a) de Snapologymodellen en b) de metamaterialen [4].



Figuur 4 Prototype van programmeerbaar metamateriaal [4].

ken wordt en wat leidt tot gaten in een patroon van horizontale en verticale ellipsen. De instabiliteit zorgt er daarnaast voor dat de buitenste randen naar binnen gaan buigen, zodat het totale oppervlak van de structuur (inclusief de gaten) kleiner wordt. Dit materiaalgedrag noemen we ook wel een negatieve Poissonfactor, en is tot dusver niet geobserveerd bij natuurlijke materialen. Belangrijk is dat we door de instabiliteit plotseling het gedrag van het materiaal aanpassen, van een positieve naar een negatieve Poissonfactor [2]. Door de belasting te variëren kunnen we dus de materiaaleigenschappen programmeren. Op deze manier kunnen we nog veel meer metamaterialen bouwen. Neem bijvoorbeeld een vergelijkbare techniek genaamd Snapology, waarin ook papieren strips worden samengevoegd om tot een driedimensionale structuur te komen. Sommige van deze structuren zijn flexibel, terwijl andere ontzettend stijf zijn (figuur 2). Deze vormen zijn gebaseerd op wiskundige veelvlakken zoals een kubus (figuur 3a) en kunnen daarom uitstekend worden gebruikt als bouwstenen voor de microstructuur van een nieuw metamateriaal. Een manier om dat te doen is door de veelvlakken met el-

kaar te verbinden in een ruimtevullende tessellatie. Deze tessellaties kunnen we dan als sjablonen gebruiken om een nieuwe metamaterialen te maken (figuur 3b).

Afhankelijk van de gebruikte veelvlakken en het sjabloon, vinden we dat sommige van deze metamaterialen rigide zijn, terwijl andere van vorm kunnen veranderen (figuur 3b). Net zoals de papieren modellen gemaakt met Snapology. De vormverandering kunnen we niet alleen aantonen door het doen van computersimulaties, maar ook door het doen van experimenten, zoals te zien is in figuur 4. Hier is een metamateriaal gemaakt van karton en dubbelzijdig tape. De microstructuur van deze materialen kan dus worden geprogrammeerd, ditmaal niet geïnitieerd door een instabiliteit, maar door het inbouwen van anisotropie. Aangezien de eigenschappen van deze materialen voortvloeien uit deze microstructuur veranderen ook de materiaaleigenschappen met de microstructuur.

Deze voorbeelden van metamaterialen zijn gemaakt op een schaal van centimeters, maar op dezelfde manier kun je ook metamaterialen maken op een schaal van meters. Daarmee zou je bijvoorbeeld een verplaatsbaar overdekt stadion kunnen maken of een gevel van een gebouw, die 's nachts een dichte muur vormt en overdag een reeks ramen heeft. Omgekeerd zou je ook een materiaal op een schaal van millimeters of micrometers kunnen maken (net zoals bamboe) voor bijvoorbeeld opvouwbare stents die vernauwing van een bloedvat kunnen tegengaan. Of zelfs op nanoschaal voor een materiaal dat licht of warmte op verschillende manieren kan geleiden. De volgende keer dat je origami ziet zie je wellicht niet alleen een manier om papier te vouwen, maar ook een compleet nieuw materiaal!

Referenties

- 1 U.G.K. Wegst et al., *Bioinspired Structural Materials*. *Nature Materials* (2014).
- 2 J.T.B. Overvelde, S. Shan en K. Bertoldi, *Compaction Through Buckling in 2D Periodic, Soft and Porous Structures: Effect of Pore Shape*. *Advanced Materials* (2012).
- 3 J.T.B. Overvelde et al., *A three-dimensional actuated origami-inspired transformable metamaterial with multiple degrees of freedom*. *Nature Communications* (2016).
- 4 J.T.B. Overvelde et al., *Rational Design of Reconfigurable Prismatic Architected Materials*, *Nature* (2017).

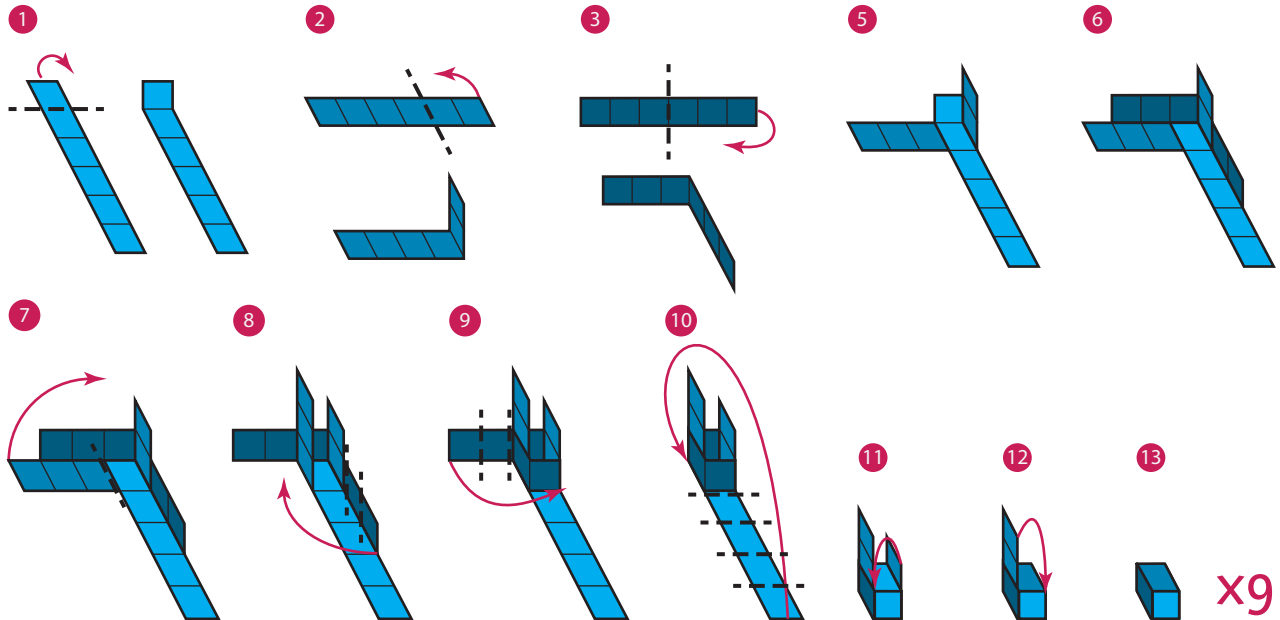
Maak zelf uw wobbling wall

Met de voorgevouwen en -gesneden stroken die u op de middenpagina vindt, kunt u zelf een wobbling wall (zie het artikel hiervoor op pagina 243) van 9 kubussen maken. De kubussen zijn onderling verbonden met stroken papier op zo'n manier dat de wand kan bewegen.

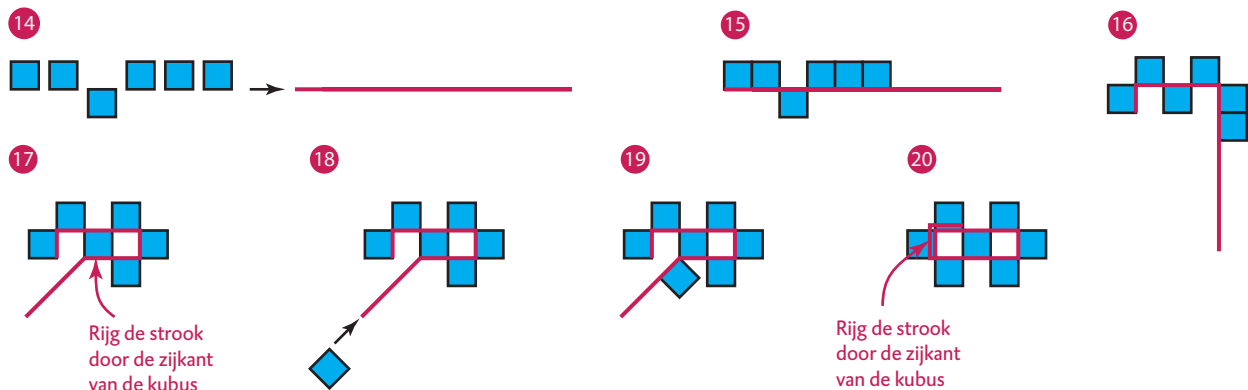
Elke kubus bestaat uit 3 stroken van 6 vierkanten. Voor de wand zijn verder 2 stroken van 7 vierkanten en 1 strook van 10 vierkanten nodig.

Scheur voorzichtig de stroken papier los langs de snijlijnen.

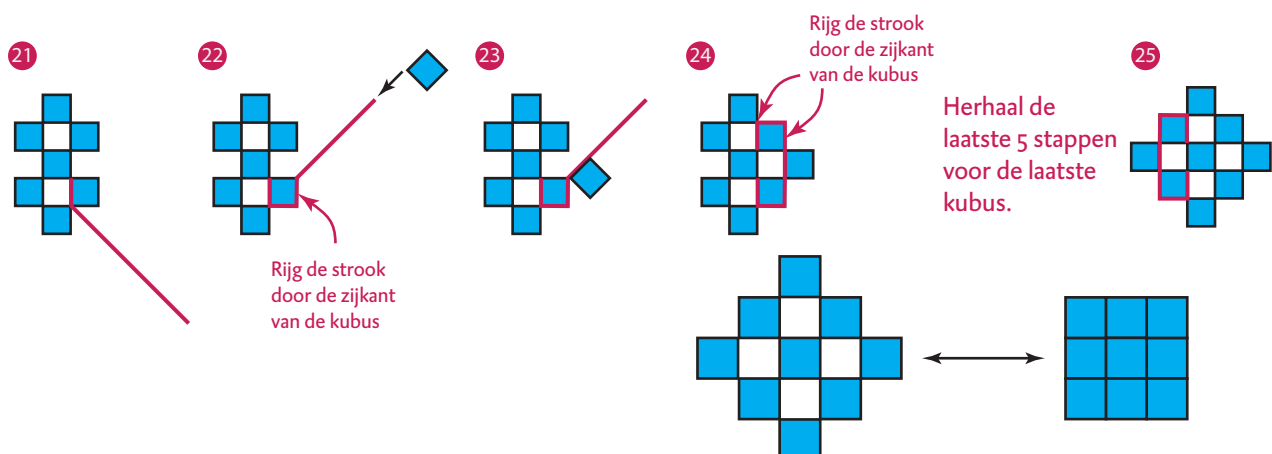
Vouw eerst negen kubussen volgens de uitleg hieronder, zie stappen 1 t/m 13. Voor de duidelijkheid zijn de stroken afgebeeld in verschillende tinten blauw. De stippellijnen geven aan waar gevouwen moet worden.



Gebruik nu de strook met een lengte van 10 vierkanten (voor het contrast aangegeven met een roze kleur) en rijg daaraan 7 kubussen zoals aangegeven in de stappen 14 t/m 20.



Gebruik nu een strook met een lengte van 7 vierkanten om de volgende kubus vast te maken, zie stappen 21 t/m 24.



Tip: mocht u er met deze uitleg niet uit komen, zoek dan op YouTube naar uitlegfilmpjes over de wobbling wall.