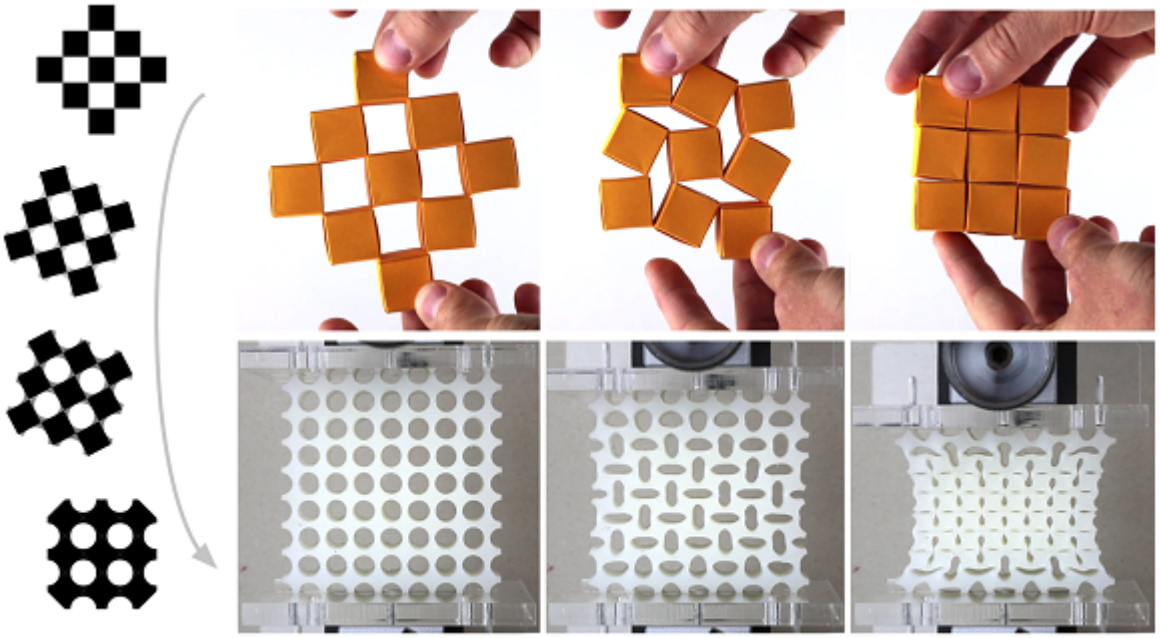
Programmeerbare metamaterialen

De meeste natuurlijke materialen om ons heen hebben vaste eigenschappen. Metaal is bijvoorbeeld erg stijf, hout is buigzaam en rubber kan tot 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 laat ik 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.



Afbeelding 1. Een metamateriaal.Nieuw metamateriaal geïnspireerd op een modulaire origamitechniek.

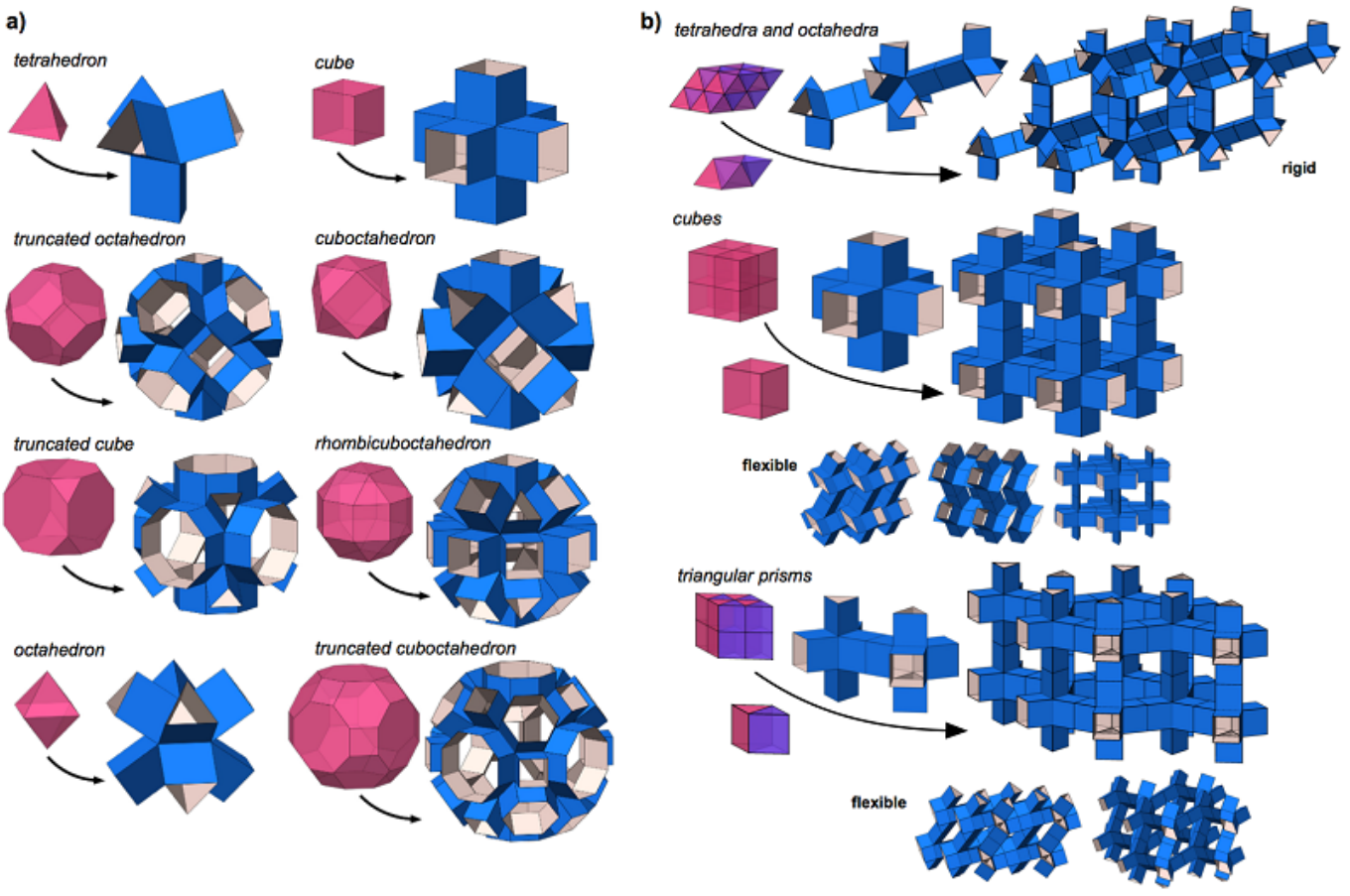
Over het algemeen wordt het gedrag van materialen voornamelijk gekenmerkt door hun moleculaire samenstelling. Er zijn echter ook materialen die hun eigenschappen niet alleen danken aan hun moleculaire samenstelling, maar ook aan hun specifieke microstructuur.

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. Naast microvezels die dezelfde kant op gericht zijn, bevat bamboe ook gaten ter grootte van de dikte van een menselijk haar. (Zie bijvoorbeeld de afbeeldingen op deze website.) Door het patroon dat deze gaten vormen, is bamboe licht en toch sterk; de belangrijkste reden waarom het zo hoog kan groeien. De truc zit hem dus in het ontwerp van de microstructuur, niet alleen de moleculaire samenstelling. Op eenzelfde manier proberen wetenschappers te spelen met de microstructuur om materialen met nieuwe eigenschappen te ontwerpen die niet voorkomen in de natuur. Dergelijke materialen noemen we ook wel *metamaterialen*.

Maar hoe bedenk je een ontwerp voor zo'n metamateriaal met nieuwe eigenschappen? Origami-kunstenaars vormen een inspiratie voor nieuwe ontwerpen. Al eeuwenlang worden er binnen de origami-wereld interessante structuren gecreëerd. Neem bijvoorbeeld de modulaire origami-techniek *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 (afbeelding 1). Op basis van dit origami-ontwerp kunnen we een metamateriaal uit rubber maken door de vierkante gaten te vervangen door ronde gaten. Als we nu het materiaal samendrukken zoals weergegeven in afbeelding 1, dan zien we dat de gaten dichtgaan in een patroon van horizontale en verticale ellipsen [1]. Daarnaast buigen de buitenste randen naar binnen en wordt het totale oppervlak van de structuur (inclusief de gaten) kleiner. Dit materiaalgedrag noemen we ook wel een *negatieve poisson-factor*, en is tot dusver niet geobserveerd bij natuurlijke materialen. Het materiaal dat er het dichtst bij in de buurt komt is kurk, dat een poisson-factor van vrijwel nul heeft. Kurk zet daarom bijna niet uit wanneer het wordt samengedrukt of uitgerekt – heel handig als je een kurk in een wijnfles moet duwen, of juist eruit wilt halen.

Afbeelding 2. Rigide en flexibele structuren.Rigide en flexibele structuren gemaakt op basis van de *Snapology* origamitechniek [2].

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 (afbeelding 2). Deze vormen zijn gebaseerd op wiskundige veelvlakken zoals een kubus (afbeelding 3a) en kunnen daarom uitstekend worden gebruikt als bouwstenen voor de microstructuur van een nieuw metamateriaal [2,3]. Een manier om dat te doen is door de veelvlakken met elkaar te verbinden in een ruimtevullende tesselatie (of *betegeling*). Deze betegeling kunnen we dan als sjabloon gebruiken om een nieuw metamateriaal te maken (afbeelding 3b).



Afbeelding 3. Bouwsjablonen.Sjablonen voor het maken van a) de Snapology modellen en b) de metamaterialen [3].

Afhankelijk van de gebruikte veelvlakken en het sjabloon, vinden we dat sommige van deze metamaterialen rigide zijn, terwijl andere van vorm kunnen veranderen (afbeelding 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 het onderstaande filmpje van structuren gemaakt van karton en dubbelzijdig tape. De microstructuur van deze materialen kan dus worden geprogrammeerd, en aangezien de eigenschappen van deze materialen voortvloeien uit deze microstructuur veranderen ook de materiaaleigenschappen.

Deze voorbeelden van metamaterialen zijn gemaakt op een schaal van centimeters, maar op dezelfde manier kun je ook een metamateriaal 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!

Bas Overvelde is onderzoeker aan het AMOLF, waar hij de 'Soft Robotic Matter Group' leidt. Meer over zijn onderzoek kun je lezen op www.overvelde.com.

---

[1] Overvelde, J.T.B., Shan, S., Bertoldi, K., (2012). Compaction Through Buckling in 2D Periodic, Soft and Porous Structures: Effect of Pore Shape. *Advanced Materials*.

[2] Overvelde, J. T. B., de Jong, T. A., Shevchenko, Y., Becerra, S. A., Whitesides, G. M., Weaver, J., Hoberman, C., Bertoldi, K., (2016). A three-dimensional actuated origami-inspired transformable metamaterial with multiple degrees of freedom. *Nature Communications*.

[3] Overvelde, J.T.B., Weaver, J., Hoberman, C., Bertoldi, K., (2017). Rational Design of Reconfigurable Prismatic Architected Materials. *Nature*.