

Materialen - maar net even anders

Actieve materie kan interne energie gebruiken om van vorm en functionaliteit te veranderen wanneer er externe krachten op worden uitgeoefend. De studie van actieve materialen is een dynamisch, modern onderzoeksgebied. Een team van natuurkundigen is onlangs tot opvallende conclusies gekomen over deze bijzondere vorm van materie.



Afbeelding 1. De bouwstenen. De bouwstenen van de nieuwe materialen zijn staafjes die met elkaar verbonden zijn door kleine motoren die het materiaal actief maken. De interacties zijn niet-reciprook: wanneer er van de ene kant tegen gedruwd wordt, reageert het systeem anders dan wanneer er van de andere kant tegen gedruwd wordt. Afbeelding door de auteurs.

Actieve materie in het lab

Als we aan materialen denken, denken we meestal aan stoffen zoals metaal, beton, glas of rubber. Wat deze voorbeelden gemeen hebben, is dat ze *inactief* zijn: wanneer ze worden beïnvloed door duwen, trekken of schuiven, kunnen ze wel bewegen of vervormen, maar alleen door gebruik te maken van de energie die van buitenaf wordt geleverd door de krachten die worden uitgeoefend.

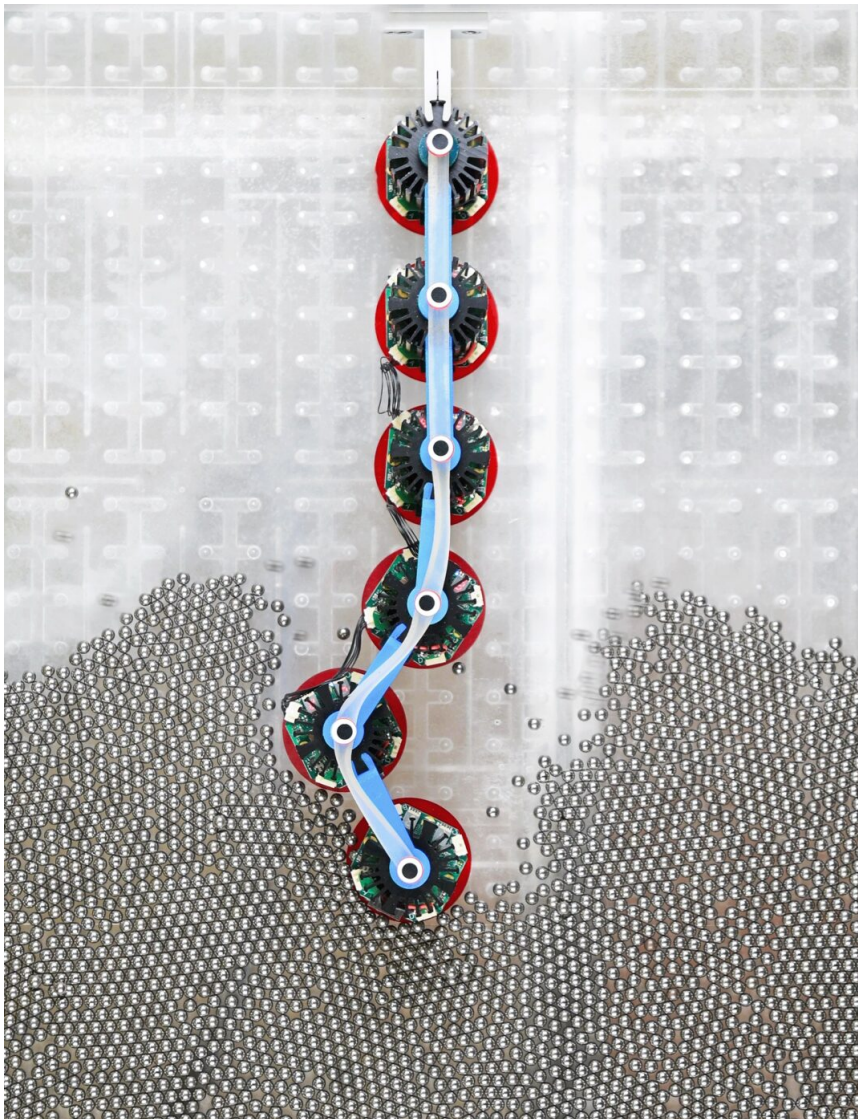
Er bestaat ook een andere interessante klasse van materialen: *actieve* materie. Actieve

materie heeft zelf energie en kan die gebruiken om te reageren op externe krachten – soms op nogal onverwachte manier. Actieve materie komt veel voor in de biologie: denk aan een zwerm vogels die zich als één geheel gedraagt en reageert op externe prikkels zoals wind, veranderingen in het terrein of de aanwezigheid van voedsel of een natuurlijke rustplaats.

Voorbeelden komen echter niet alleen uit de biologie: actieve materie kan ook in het laboratorium worden gemaakt. De afgelopen jaren is een internationaal team van natuurkundigen aan de universiteiten van Amsterdam, Cambridge (VK) en New South Wales (Sydney, Australië) expert geworden in het gebruik van eenvoudige ingrediënten zoals kleine motoren, staafjes en elastiekjes om actieve materialen te maken met allerlei verrassende – en bovendien: *nuttige* – eigenschappen. Twee artikelen van het team zijn recent geaccepteerd voor publicatie.

Knikken en klikken

Neem een stukje karton en klem het rechtop tussen twee vingers. Het karton zal spontaan zijn stevigheid verliezen en naar de ene of de andere kant *knikken*. Probeer nu met je andere hand de ontstane kromming naar binnen te duwen. Het karton zal eerst weerstand bieden, maar dan plotseling naar de andere kant *klikken*. Het stukje karton is een inactieve vorm van materie: wanneer er externe druk op wordt uitgeoefend, zal het slechts één keer zo knikken en klikken.



Afbeelding 2. Knikken en klikken. Een keten van staafjes, verbonden door motoren, kan knikken en vervolgens periodiek klikken. Hierdoor kunnen deze ketens kruipen, lopen en zelfs graven. Afbeelding door de auteurs; een vergelijkbare afbeelding werd door het tijdschrift gebruikt voor het omslag.

Zoals de onderzoekers nu hebben aangetoond, veranderen het knikken en klikken drastisch wanneer materialen actief worden. Om een actief materiaal te construeren dat kan knikken en klikken, verbonden de natuurkundigen een reeks staafjes tot een keten, met kleine motoren bevestigd aan de uiteinden waar twee van deze staven bij elkaar komen. Het doel van de motoren was om de interacties binnen de ketting niet-reciprook te maken: wanneer staaf A beweegt, reageert staaf B anders (door bijvoorbeeld over een andere hoek te roteren)

dan staaf A reageert wanneer staaf B beweegt.

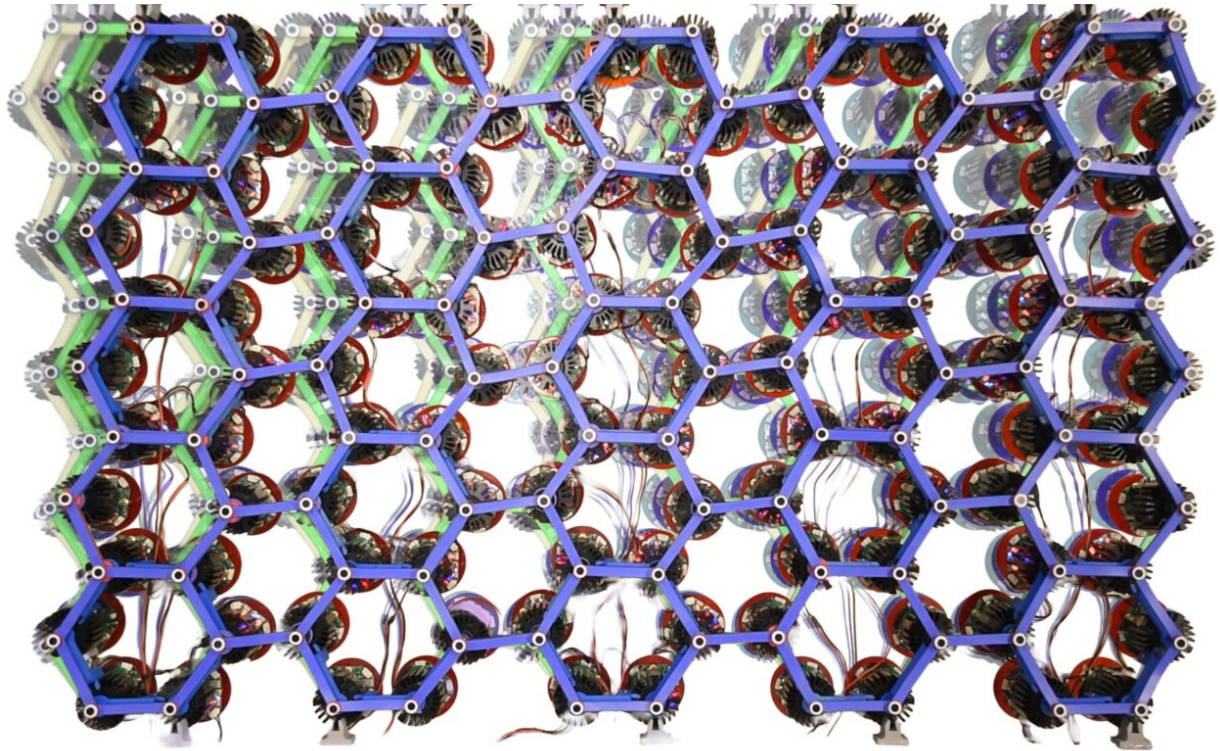
Het verrassende resultaat was dat de op deze manier geconstrueerde kettingen nog steeds knikken en klikten wanneer er externe krachten op werden uitgeoefend, maar ditmaal niet met slechts één knik en klik: het proces kon zich herhalen en er konden oscillaties optreden. Technisch gezien gebeurde er het volgende: het zogeheten kritieke punt waar het systeem knikte, werd nu een *exceptioneel kritisch punt*. In leekentaal betekent dit dat de kettingen nu konden gaan kruipen, lopen en zelfs graven.

Het artikel over de resultaten, met Sami Al-Izzi van de University of New South Wales en Yao Du van de Universiteit van Amsterdam als gezamenlijke eerste auteurs, is onlangs gepubliceerd in de Proceedings of the National Academy of Sciences. Een afbeelding van een van de knikkende ketens werd gebruikt als omslagillustratie voor het tijdschrift. Het onderzoek toont een nieuwe manier om materialen te realiseren die autonoom kunnen functioneren en meerdere functies hebben – bijvoorbeeld voor gebruik in flexibele, ‘zachte’ robots. De actieve materialen kunnen de basis vormen voor slimmere robotlichamen die zonder centrale besturing kunnen functioneren.

Soms is meer minder

Van het bouwen van een brug tot het samenstellen van nanomechanische apparaten: ingenieurs maken voor hun constructies gebruik van allerlei mechanische principes. Eén daarvan is het principe van Le Chatelier, dat grofweg stelt dat wat op kleine schaal gebeurt, ook op grote schaal gebeurt. Het verstevigen van de losse onderdelen van een constructie zal bijvoorbeeld ook de constructie als geheel verstevigen.

In recent onderzoek heeft het team van natuurkundigen aangetoond dat het principe van Le Chatelier niet altijd opgaat voor actieve materie. Wanneer de bouwstenen van een actief materiaal *meer* activiteit vertonen, kan de structuur als geheel juist *minder* actief worden. De auteurs hebben dit aangetoond door soortgelijke motoren en staafjes met elkaar te verbinden, ditmaal niet in een keten maar in een tweedimensionale roosterachtige structuur. In hun experimenten maten ze hoe de elasticiteit van deze structuur als geheel afhing van de eigenschappen van de afzonderlijke bouwstenen.



Afbeelding 3. Een tweedimensionaal metamateriaal. Wanneer de staafjes en motoren in een tweedimensionaal rooster worden geplaatst, gedraagt de structuur zich op grote schaal anders dan op kleine schaal. Hier bereikt een vervorming, wanneer er van linksboven op de structuur wordt gedrukt, de rechterkant niet. Afbeelding door de auteurs.

De cruciale factor die het gedrag op grote schaal bepaalt, bleek de *percolatie* van de actieve microscopische componenten door het materiaal te zijn. Vergelijk dit met de percolatie van water door koffie: bij het zetten van koffie mag het poeder niet te dicht zijn, anders kan het water er niet helemaal doorheen dringen. Op dezelfde manier zullen elastische reacties niet altijd doordringen wanneer er een hoge dichtheid is van minder actieve componenten in een materiaal, zelfs als alle andere componenten extreem actief zijn.

Een artikel over dit onderzoek, met Jack Binysh van de onderzoeksgroep van Corentin Coulais aan de Universiteit van Amsterdam als eerste auteur, is onlangs geaccepteerd voor publicatie in het tijdschrift *Physical Review X*. Binysh en zijn collega's verwachten dat de ontdekte schending van het principe van Le Chatelier van fundamenteel belang zal zijn voor onderzoekers die werken met actieve microstructuren zoals biofysische gels, epitheliale monolagen en neuromorfe netwerken. Het werk kan van breed belang zijn binnen de natuurkunde, de wetenschap van zachte materie, de werktuigbouwkunde, de levenswetenschappen en de robotica.

Publicaties

[*Non-reciprocal buckling makes active filaments polyfunctional*](#), Sami C. Al-Izzi, Yao Du, Jonas Veenstra, Richard G. Morris, Anton Souslov, Andreas Carlson, Corentin Coulais en Jack Binysh. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* (2026) 123 (11) e2531723123.

[*More is less in unpercolated active solids*](#), Jack Binysh, Guido Baardink, Jonas Veenstra, Corentin Coulais en Anton Souslov. *Phys. Rev. X* **16** (2026), 021012.