

# Context materiaaldesign: van eigenschappen van

“De artikelen reik ik hierbij uit, de opdracht luidt: Verklaar de veerkracht en de sterkte van spindraad. Jullie hebben hiervoor dit uur. Sterkte”, zegt de docent. De leerlingen in ieder groepje bekijken de artikelen die in het Engels zijn afgedrukt. Gaat dat lukken? Kunnen de leerlingen in zo’n korte tijd op basis van gegevens over de meso- en microstructuur de genoemde eigenschappen van spindraad verklaren? En hoe redeneren ze, want hoe duidelijker dat wordt geëxpliciteerd des te gemakkelijker kunnen ze een nieuw probleem aanpakken.



**C**hemici zijn steeds geïnteresseerd in nieuwe materialen. Materialen met bijzondere eigenschappen, bijvoorbeeld polymeren die tot textiel verwerkt kunnen worden. Denk aan nylon, de eerste synthetische vezel die gemaakt werd. Hierbij dient de natuur vaak als voorbeeld. Voor nylon waren dat eiwitten. Spindraad is ook een voorbeeld uit de natuur. Spindraad is uitgaande van de dikte sterker dan welk ander materiaal ook. Chemici stellen daarom de vraag: Kan spindraad nagemaakt worden? Die vraag heeft geleid tot onderzoek naar de structuur van spindraad. Wie weet is men binnenkort in staat zo’n sterke vezel na te maken. Laten we spindraad nader bekijken. Wat zijn die draden dun! Toch zijn ze sterk genoeg om een insect te vangen. Ja, zelfs een bromvlieg kan in een web verward raken en niet meer

loskomen, hoewel zijn poten veel dikker zijn dan de draden van de spin. Wat maakt zo’n draad zo sterk? Voor de verklaring van zulke waarnemingen op macroschaal (millimeters) is een kleinere schaal nodig, bijvoorbeeld de microschaal (nanometers). Om eigenschappen zoals de sterkte te kunnen verklaren, denken chemici heen-en-weer tussen structuren en eigenschappen op verschillende schalen zonder die schalen expliciet te benoemen. Voor leerlingen is deze manier van redeneren nieuw. Voor hen is het van belang om dit heen-en-weer denken expliciet te kunnen volgen. Daarom dienen docenten hun switchen tussen de schalen en de verbanden tussen eigenschappen en structuren aan te geven. In de syllabus is het verklaren van eigenschappen nadrukkelijk opgenomen. Pilotexamens laten zien dat er ook vragen over gesteld worden. Het meest opmerkelijke is wel, dat die vragen over contexten gaan, die de examenkandidaten misschien nog nooit in de les zijn tegengekomen. Ze moeten hun redeneren laten zien. Daar moeten de leerlingen in de les op worden voorbereid.

## Spindraad

De spin produceert verschillende soorten draad. Een spinrag is complexer dan we op het eerste gezicht denken. We gaan de verschillende soorten spindraad niet allemaal bespreken,

Dit artikel is het 33<sup>e</sup> in een serie getiteld ‘Contexten in ...’. In deze artikelen willen de initiatiefnemers Joke van der Aalsvoort (Huygens College, Heerhugowaard), Lisette van Rens (VU, Amsterdam), Albert Pilot (UU, Flsme, Utrecht), Martin Vos (De Nieuwste School, Tilburg) en Jan de Gruijter (Fontys Lerarenopleiding Tilburg) laten zien wat vernieuwing van bètaonderwijs inhoudt, welke visies daaraan ten grondslag liggen, welke contexten gekozen zijn en welke rollen docenten, toa’s en leerlingen daarin vervullen.

# het verklaren spindraad



Figuur 1. Welke eigenschappen van spindraad zijn te verklaren?  
Foto: Jaap de Boer

want in dit artikel gaat het om de opdracht aan leerlingen om twee eigenschappen van spindraad te verklaren. Namelijk waarom zijn de draden zo veerkrachtig en waarom zijn ze zo sterk? Prachtig om leerlingen met zo'n opdracht aan het werk te zetten. Een en al verwondering hoe de spin in staat is zo'n prachtig web te produceren. En dat er door recent wetenschappelijk onderzoek zoveel kennis is waarmee we de veerkracht en de sterkte kunnen verklaren.

## Veerkracht en sterkte

De radiale draden van een spinnenweb zijn glad (figuur 2b). De spindraad is opgebouwd uit kleine kokertjes, fibrillen genoemd (figuur 2c). Een fibril bestaat uit regelmatig herhaalde gedeeltes (figuur 2d) die bestaan uit kristallijne  $\beta$ -sheets en spiraalvormige  $\alpha$ -helices (figuur 2e). Wanneer er een kracht op het spinnenweb wordt uitgeoefend, worden de  $\alpha$ -helices uit elkaar getrokken, waarbij de H-bruggen tijdelijk worden opgeheven en daarna veren ze weer terug in de oorspronkelijke stand (figuur 2g en h). Hiermee is de grote *veerkracht* verklaard. De  $\beta$ -sheets en de  $\alpha$ -helices bestaan uit lange polypeptideketens van duizenden aminozuren lang. Deze zijn op hun beurt opgebouwd uit korte sequenties van 10-50

aminozuren, vooral glycine en alanine. De  $\beta$ -sheets zijn de sterke gedeeltes in de spindraad. De peptideketens zijn zo regelmatig gerangschikt dat de  $\beta$ -sheets kristallijn zijn. Dat een spindraad *sterker* is dan de sterkte van de chemische bindingen in polypeptideketens doet verwachten, komt vanwege het kristallijne gedeelte van de spindraad (de  $\beta$ -sheets). De verschillende lagen zijn zo dicht op elkaar gestapeld dat vanderwaalskrachten een extra bijdrage leveren aan de sterkte.

## De manier van redeneren

Voor de verklaring van de *veerkracht* van spindraad op macroschaal gaan we na welke structuur op welke schaal we nodig hebben. De gladde spindraad, en gaande naar een schaal kleiner, de opbouw van de draad door de fibrillen geven nog geen afdoende verklaring (figuur 2c). De structuur van een fibril (figuur 2d) kan niet voor de verklaring van de veerkracht zorgen, maar de opbouw van een gedeelte van een fibril (figuur 2e) wel. De kristallijne  $\beta$ -sheets en de  $\alpha$ -helices samen zijn verantwoordelijk voor de veerkracht. In figuur 2g en h is dat duidelijk te zien. De  $\alpha$ -helices kunnen ontvouwen waarbij tijdelijk de H-bruggen worden verbroken; daardoor rekt de spindraad uit. De  $\beta$ -sheets zijn de stabiele factor, die veranderen niet.

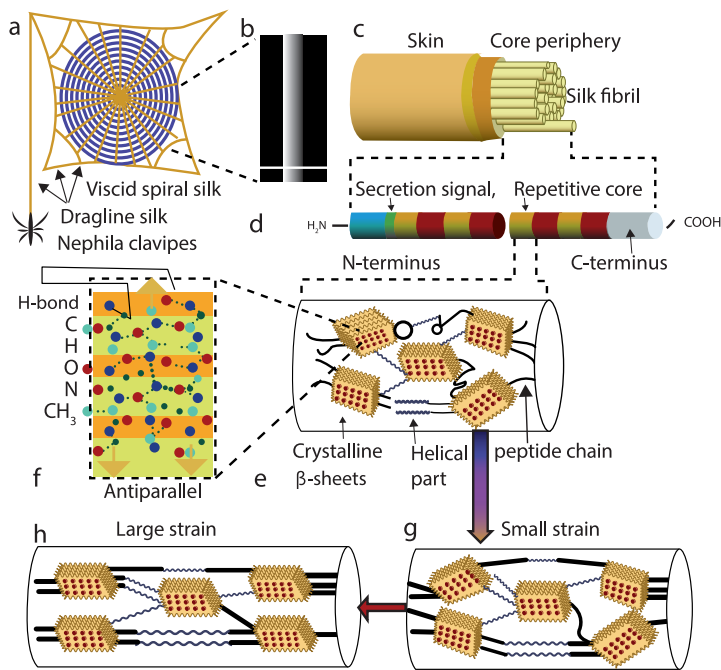
Als het insect eenmaal gevangen is, herstelt het web zich weer en keren de spiraalvormige delen in de oorspronkelijke vorm terug (figuur 2e).

De sterkte van de spindraad kan op verschillende schalen verklaard worden. Allereerst de manier waarop de spindraad uit fibrillen is opgebouwd (figuur 2c). De fibrillen zijn dicht op elkaar gepakt en worden bij elkaar gehouden door vanderwaalskrachten. Dieper in de structuur komen we op mesoschaal de kristallijne  $\beta$ -sheets en de  $\alpha$ -helices tegen (figuur 2e). De kristallijne  $\beta$ -sheets zijn sterk omdat ze uit vlakken zijn opgebouwd die dicht op elkaar liggen waardoor de vanderwaalskrachten optimaal zijn. Maar ook de  $\alpha$ -helices dragen bij aan de sterkte vanwege de polypeptidestructuur en de H-bruggen daarbinnen.

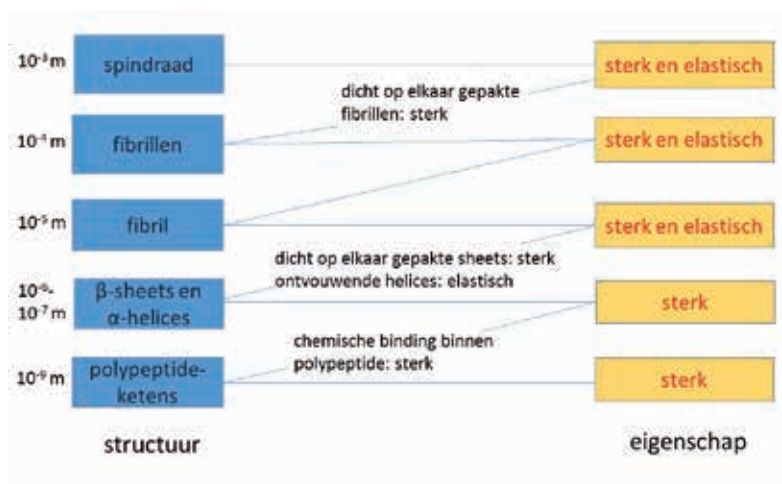
## De opdracht voor leerlingen

U hoeft uw leerlingen aan het begin van de les weinig uit te leggen over spindraad. Met algemene voorkennis over verschillende bindingstypen komen ze een heel eind. Geef de leerlingen een korte introductie over de eigenschappen van spindraad om aan te geven hoe bijzonder dit is. Reik ze verder twee artikelen<sup>1,2</sup> uit die te maken hebben met de





Figuur 2. Spindraad op meso- (e, h en g) en microschaal (f en d).]



Figuur 3. Voor een verklaring van de eigenschap zoeken we naar een structuur op een kleinere schaal].

veerkracht en de sterkte van de spindraad en vraag ze in groepjes met behulp van de artikelen een verklaring van de veerkracht en de sterkte van spindraad te geven. We hebben dezelfde opdracht aan een groep van 25 docenten gegeven en zij kwamen er met een beetje hulp in twintig minuten uit, dus dat lukt leerlingen vast en zeker binnen een lesuur. Hierbij is het van belang om de aandacht van de leerlingen direct op de illustraties, voorzien van vertaalde bijschriften, te richten. De manier van redeneren is essentieel, omdat die voor veel structuur-eigenschap relaties identiek is. In pilotexamens blijken zulke vragen niet zozeer moeilijk te zijn, maar het begrijpen van de context en van de structuur op de juiste schaal waarmee een eigenschap te verklaren is, vinden leerlingen moeilijk. Regelmatig oefenen van structuur-eigenschap relaties in verschillende contexten helpt.

## Opmerkingen en reacties van docenten en leerlingen

Opmerkelijk is dat de 25 docenten die aan de werkgroep in Nijmegen meededen, zich in het begin afvroegen of ze de opdracht wel tot een goed einde konden brengen. Maar al tijdens het doornemen van de artikelen, kwamen sommigen al met redeneringen. Ze bespraken die met elkaar en vroegen zich af, of die redeneringen hout snijden. De docenten waren al spoedig enthousiast bezig om de eigenschappen te verklaren. We hadden te weinig tijd om de manier van redeneren te expliciteren. Dat is jammer, want als docenten dat proces doormaken dan kunnen ze leerlingen beter voorbereiden op het redeneren over structuur-eigenschap relaties.

## Reacties van leerlingen van De Nieuwste School

Ook leerlingen 5-vwo op De Nieuwste School gingen enthousiast met deze opdracht aan de slag. Opvallend was dat leerlingen niet direct naar het meso- of microniveau gingen om de eigenschappen te verklaren. In hun manier van redeneren gingen ze op zoek naar beelden die ze hadden bij veerkracht. Logischerwijs dachten ze aan veertjes, die ze direct associeerden met de α-helices. Vervolgens was de link snel gelegd naar de structuur van een verende mat.

Leerlingen waren positief over de opdracht. Ze waren enthousiast dat ze als vanzelfsprekend kennis uit biologie en natuurkunde konden gebruiken. Door op zoek te gaan naar verklaringen, kregen plotseling allerlei losse feitjes betekenis. En bovenal, leerlingen hadden zichzelf ook al eens vragen over spinnendraden gesteld. Ze wilden verder meteen uitzoeken waarom spinnendraad plakt, terwijl de spin niet blijft plakken.

## Tot slot

Wat is belangrijk bij macro-micro-redeneren? Vier punten:

- Maak onderscheid tussen structuren aan de ene kant en eigenschappen aan de andere kant.
- Maak expliciet op welke schaal je redenering van toepassing is: macro, meso of micro.
- Geef aan dat bij het verklaren van eigenschappen een structuur bij een lagere schaal nodig is.
- Geef leerlingen meerdere oefeningen in het redeneren welke structuur bij een bepaalde eigenschap hoort, want dan zal blijken dat de manier van redeneren vaak identiek is.

Hoewel leerlingen na afloop van de opdracht meer over spindraad weten, is het in eerste instantie van belang dat zij leren redeneren over structuur-eigenschap relaties.

Voor vragen kunt u mailen naar [martinvos@denieuwsteschool.nl](mailto:martinvos@denieuwsteschool.nl)

## LITERATUUR

1. <http://nextbigfuture.com/2012/03/iowa-state-engineer-discovers-spider.html>
2. <http://harunyahya.fr/fr/Livres/4878/le-miracle-de-laraignee/chapter/9556>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Spider\\_silk](http://en.wikipedia.org/wiki/Spider_silk)