

Macro-meso-micro is echt vernieuwend in de scheikunde

In een vorig artikel werd Huib van Drooge geïnterviewd over de macro-microproblematiek. Huib vond dat docenten in de les duidelijk moeten maken op welk niveau bepaalde tekst betrekking heeft, het macro- of het microniveau. Als leerlingen vanuit het microniveau (wetenschappelijke) verklaringen kunnen geven van eigenschappen en verschijnselen op macroniveau dan moeten docenten over boeken beschikken die leerlingen daarop voorbereiden.

Marijn Meijer, gepromoveerd op onderzoek naar macro-microdenken in scheikunde, geeft in een interview zijn visie op de macro-microproblematiek.

■ Jan de Gruijter / Fontys Lerarenopleiding Tilburg



Foto: Richard Procee

Wat verstaan we onder micro en macro?
“Het eenvoudigste antwoord is dat micro de wereld is van deeltjes, dus atomen, moleculen en ionen, en macro de wereld die we rondom ons zien. Dus denkend aan stoffen is macro de wereld van de eigenschappen. Als scheikundigen een eigenschap willen verklaren, denken ze snel heen en weer tussen het macro- en het microniveau. Docenten doen dat ook vaak. Voor leerlingen is zo'n verklaring lang niet altijd te volgen. Als docenten steeds zouden vertellen op welk niveau of schaal zij bezig zijn is het verhaal voor leerlingen duidelijker.”

Dit artikel is het 32^e 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 (Flsme, Utrecht), Martin Vos (De Nieuwste School, Tilburg) en Jan de Gruijter (Fontys Lerarenopleiding Tilburg) laten zien hoe docenten met scheikundemodules omgaan.

Micro-macro is een belangrijk onderdeel van het nieuwe scheikundeprogramma. Zijn de vragen in het pilotexamen scheikunde anders dan in de 'gewone' examens?
“De vragen zijn nauwelijks nieuw. Heel vaak blijft het bij redeneren op microniveau. Ook vraag 4 van het pilot vwo-eindexamen 2010 (zie kader), die

gaat over een structuur met waterstofbruggen, blijft op één niveau: het microniveau. Door andere groepen in het molecuul in te voeren veranderen interacties tussen de moleculen. Hierdoor veranderen eigenschappen van de stof. Zoveel weten we inmiddels van het microniveau en daardoor is de chemie zoveel spannender geworden. De chemicus wordt steeds meer een architect van moleculaire systemen.”

Welke vraag is wel relevant voor de macro-microproblematiek?

“Vraag 5 (zie kader) is echt heen-en-weerdenken. Je moet de zelfherstellende werking op microniveau goed door hebben en begrijpen wat voor consequenties dat heeft voor de eigenschappen van de verf; macroniveau. Andere vragen (bijvoorbeeld vraag 4) zijn ook interessant, maar die blijven vaak op één niveau.”

Hebben leerlingen moeite met vragen over macro-micro?

“Leerlingen hebben er geen moeite mee als het goed wordt uitgelegd. De docent moet aangeven op welk niveau hij bezig is. De leerling moet naar een kleinere schaal om van de structuur datgene te gebruiken wat invloed heeft op de eigenschap van het materiaal op een hoger niveau. Een probleem is wel dat er meestal veel tekst nodig is voordat er een vraag gesteld kan worden. Neem de supersterke vezel kevlar. Er is veel uitleg nodig voordat duidelijk is dat kevlar zo sterk is.”

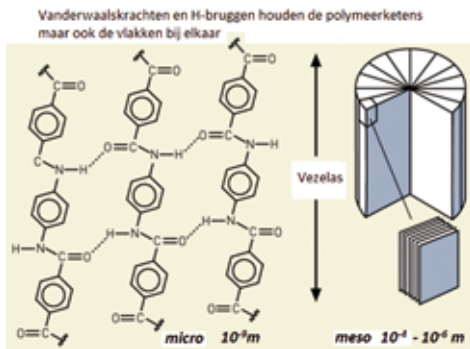
Hieronder is een gedeelte van het supramoleculaire polymeer schematisch weergegeven.

Aan elk uiteinde van een molecuul van stof B bevindt zich een Ujy groep. De Ujy groepen van twee verschillende moleculen van stof B zijn met elkaar verbonden via vier waterstofbruggen. Op de uitwerkbijlage bij dit examen is een Ujy groep in structuurformule weergegeven.

4. Teken op de uitwerkbijlage een tweede Ujy groep en geef met vier stippe lijntjes aan hoe beide Ujy groepen door middel van waterstofbruggen aan elkaar zijn gebonden. Houd er rekening mee dat met de O atomen van C=O bindingen ook waterstofbruggen kunnen worden gevormd.

Door het aantal repeterende eenheden, het gedeelte $\text{C}=\text{C}_2\text{H}_4-\text{C}=\text{O}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{O}$, in moleculen van stof B relatief laag te houden, krijgt het supramoleculaire polymeer bijzondere eigenschappen. Een van die eigenschappen is dat krassen in verf waarin dit polymeer is verwerkt, gemakkelijk kunnen worden verholpen. De beschadigde verflaag wordt met een föhn verwarmd tot ongeveer 140 °C. Bij 140 °C worden de H-bruggen tussen de Ujy groepen verbroken en wordt de verf weer vloeibaar. Bij afkoelen tot kamertemperatuur wordt het oppervlak weer glad. Dit wordt het 'zelfherstellend vermogen' van de verf genoemd.

5. Leg met behulp van begrippen op microniveau uit waarom het zelfherstellend vermogen wel optreedt als het aantal repeterende eenheden in de moleculen van stof B laag is en niet als dit aantal te hoog is.



Figuur 1. De structuur op micro- en meso-niveau van kevlar bepaalt dat de kunststof zo sterk is.

“Kevlar is een zo goed als zuivere stof. Waarom heeft kevlar als eigenschap zo’n grote elasticiteitsmodulus, oftewel waarom is kevlar zo sterk? Dat komt door de structuur: alle polymeermoleculen liggen in de lengterichting. Daardoor is er zo veel vanderwaalsinteractie en H-brugvorming en die verklaren de sterkte van de vezel. Uitgaande van het niveau van het polymeermolecuul waarvan de atomen zo geordend zijn dat de structuur lineair is, zoomen we uit naar meerdere moleculen die allemaal in de lengterichting zijn geordend en vervolgens naar de manier waarop de vezel tot stand komt (mesoniveau).”

Wat vinden leerlingen echt lastig?

“Leerlingen hebben moeite met schaling. Elk niveau is gekoppeld aan een schaal, en bepaalde afmeting. Ze moeten leren op welk schaal bepaalde tekst slaat, dat betekent eerst de tekst goed lezen. Verder om welke eigenschappen gaat het en welke structuur heeft daarmee te maken? De oorzaak van een eigenschap is een structuur op een lager niveau. Heen-en-weerdenken is lastig en de causale relatie leggen valt niet mee. Ook het rijzen van brood is een goed voorbeeld. Dat brood rijst vanwege CO_2 -productie is mogelijk doordat de wandjes van de gasholtes elastisch zijn en niet permeabel zijn voor CO_2 . De elasticiteit wordt veroorzaakt doordat het wandje bestaat uit een netwerk van knooppunten van zetmeelkorrels en lange glutenketens. De glutenketens zijn verstrengeld en hier en daar verbonden met zwavelbruggen waardoor de glutenketens langs elkaar kunnen bewegen. Vaak vind je verklaringen niet op micro- maar op mesoniveau. Denk aan het rijzen van brood, composieten, metalen, kunststoffen, et cetera. Kennis

van een vak als materiaalkunde is voor de huidige scheikundedocent een absolute voorwaarde.”

Verwacht je dat docenten er voldoende op zijn voorbereid om deze examenvragen in de klas te behandelen?

“Nee, tenzij ze kennis hebben van een vak als materiaalkunde. Maar dan ben je er nog niet. Je moet leerlingen veel voorbeelden geven, denk aan kevlar, strijken, polymeren. Docenten moeten zoveel van de macro-microproblematiek weten dat ze leerlingen kunnen helpen bij het oefenen, leren, voorbeelden bestuderen en proefjes doen. En helpen bij het leren nadenken over de relatie tussen structuur en eigenschappen, dus tussen micro-, meso- en macroniveau! En uiteindelijk hebben ze zoveel kennis van de micro- en mesostructuur gekregen dat ze ook eigenschappen kunnen voorspellen.”

En waar zouden docenten de meeste moeite mee hebben?

“Misschien wel denkpatronen analyseren en herkennen. De meeste scheikundedocenten zijn zich niet bewust van macro-microdenken: het gaat vanzelf.

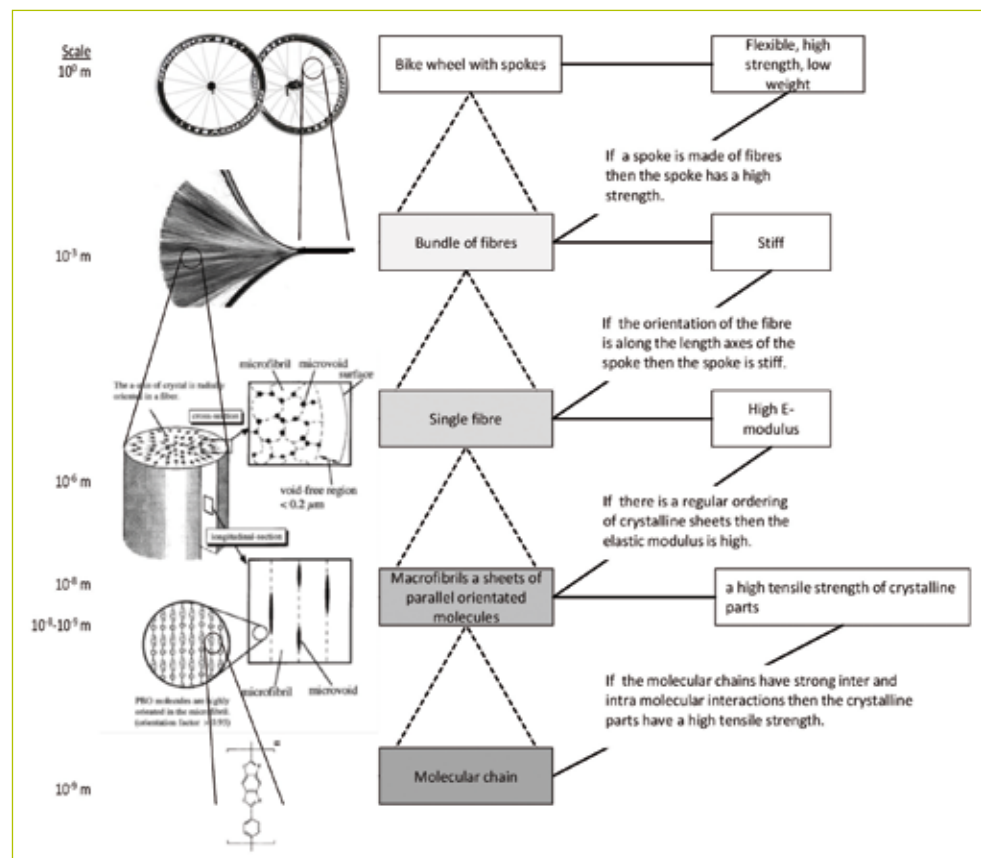
De manier van denken waar ik het hierover heb is ook nog vanuit een ander perspectief waarbij systeemdenken en emergentie belangrijke begrippen zijn. Het beste leren ze dat in een netwerk met andere docenten, denk aan de bèta-steunpunten.

De eigenschap van het materiaal is het startpunt om te zoeken via een structuur-eigenschapsrelatie naar een structuur op het meso- of het microniveau. En dan moet je ook weten naar welk materiaal je kijkt, want als het gaat om de sterkte van een tafel hoef je niet naar de lak te kijken. De oorzaak van een bepaalde eigenschap zoek je in het materiaal zelf.”

Welke suggestie zou je aan docenten scheikunde willen geven om het heen- en-weerdenken in de klas goed te gebruiken?

“Het zou goed zijn als docenten scholing volgen over structuur-eigenschapsrelaties met duidelijk uitgewerkte voorbeelden. En dan is het nuttig via een bètasteunpunt in groepen van docenten, met elkaar opgaven te ontwerpen, bijvoorbeeld de buigzaamheid van een lcd-scherm verklaren. Of waarom werkt bij het aanraken van het scherm je iPad?”

Figuur 2. Macro-meso-micro van een spaak van een fietswiel.



De laatste iPad is superdun, dus moet de accu nog dunner zijn. Hoe hebben ze dat gerealiseerd? Toch kan de accu urenlang stroom leveren. Hoe zit dat? We kunnen steeds meer materialen met door consumenten gewenste eigenschappen fabriceren.

De talloze innovaties zie ik echt als vakvernieuwing, maar er is steeds sprake van dezelfde denkpatronen. Het is een uitdaging daar wat van te maken. Het is toch heerlijk ook weer wat aan je vak te doen. En je krijgt fraaie verhalen die je aan je leerlingen kunt vertellen en voorbeelden waarmee je leerlingen enthousiast kunt maken en kunt laten oefenen.”

Heb je suggesties voor wat er in de schoolboeken moet veranderen om leerlingen goed voor te bereiden op deze examenvragen?

“Een uitleg van soorten structuren en van eigenschappen is nodig. In boeken moeten veel voorbeelden opgenomen worden van het redeneren om tot een verklaring van eigenschappen van stoffen en materialen te komen. Daardoor wordt de vernieuwing van het schoolvak scheikunde realiteit. Didactici kunnen auteurs daarin bijstaan.”

Geef eens een voorbeeld waarin de relatie eigenschap en structuur heel duidelijk naar voren komt.

“De spaak van een fietswiel is een

prachtig voorbeeld van de relatie tussen eigenschap en structuur, steeds op een kleinere schaal (zie figuur 2).”

“Rechts staan de eigenschappen van de spaak. We beginnen rechtsboven met de eigenschap dat de spaak flexibel is, sterk en licht van gewicht. We gaan daarbij terug naar een structuur op de schaal 10^{-3} m om op dit niveau de eigenschap te verklaren. De spaak bestaat uit een bundeling van vezels. Dat de spaak stijf is (eigenschap), komt doordat de vezels in de lengteas van de spaak liggen (structuur op schaal 10^{-4} m). Ook nu gaan we weer terug naar een lager niveau om op grond van de structuur op dat niveau een verklaring van de eigenschap te vinden. Dat de spaak een hoge elasticiteitsmodulus heeft, komt doordat de polymeermoleculen in vlakken zijn geordend – we spreken dan van macrofibrillen (schaal 10^{-8} – 10^{-9} m). Dat de spaak een hoge treksterkte heeft, ligt aan de parallelle ordening van de polymeerketens waardoor een grote vanderwaalsinteractie optreedt (schaal 10^{-9} m).

Steeds moet je voor de verklaring van de eigenschap een stap lager in de structuur op het meso- en later het microniveau.”

Slot

Het aantal voorbeelden van Marijn is onuitputtelijk. We staan als docenten en

vakdidactici voor een prachtige uitdagende taak. Het nieuwe scheikundeprogramma geeft ons de kans de macro-microproblematiek gedegen aan de orde te stellen. Er is namelijk veel kennis van de structuur op microniveau nodig om eigenschappen op een hoger niveau te kunnen voorspellen. De zelfherstellende werking van verf bijvoorbeeld was nooit ontdekt als we de structuur op microniveau van polymeren niet heel precies kenden. Daardoor kwamen wetenschappers op het idee een polymeer een zodanige viscositeit te geven dat een kras in de verflaag bij hogere temperatuur volloopt en de beschadiging wordt hersteld. Als docenten de macro-microproblematiek terdege aan de orde stellen, komt de chemie in de research en de industrie tot haar recht. Zo geven wij leerlingen een innovatief beeld van chemie.

Literatuur

Meijer, M. (2011). *Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry. An explorative design-based study*. PhD-diss. Utrecht University, Utrecht.

Aalsvoort, J. van der (2013). Micro-macro in de Nieuwe Scheikunde. *NVOX* 38(10), 485-487.

Kleintje wetenschap

Superkritisch witwassen

Superkritisch CO₂ ontdoet bankbiljetten effectief van vuil zonder dat de veiligheidskenmerken meekomen. Dat is duurzamer en goedkoper dan verse biljetten drukken, beloven Amerikaanse onderzoekers in *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Hun recept komt neer op een à drie uur sudderen bij 60 °C en 140 tot 450 bar. Het lukt zowel met papieren als met kunststof biljetten en zelfs met bundeltjes van honderd

stuks waar de banderol nog omheen zit. Soms wordt zo'n bundel er bijna 4% lichter door. De biljetten knappen er zichtbaar van op, maar belangrijker is dat ze minder vaak worden geweigerd door automaten en sorteermachines. Dat heeft ook de Nederlandsche Bank met 'seminal work' aangetoond. De vervuiling bestaat voornamelijk uit talg afkomstig van vette vingers. Die bevat verbindingen die bij contact met

vochtige lucht oxideren en geel kleuren. Weigert een sorteermachine een bankbiljet, dan ligt dat in 60 à 80% van de gevallen aan de kleur.

■ *Bron C2W Life Sciences 7 februari 2014; zie ook Nabil M. Lawandy, Super-critical Fluid Cleaning of Banknotes, Ind. Eng. Chem. Research Ind. Eng. Chem. Res., 2014, 53 (2), pp 530–540, December 6, 2013 (Article) DOI: 10.1021/ie403307y*