

●
● Macro-meso-microdenken
● in de lerarenopleiding

Voor docenten scheikunde en hun opleiders

SLO • nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling



Macro-meso-microdenken in de lerarenopleiding

Voor docenten scheikunde en hun opleiders

Oktober 2016

slo

Science
LinX



Stichting C3
actie $\leftrightarrow$ reactie



rijksuniversiteit
 groningen

faculteit wiskunde en
 natuurwetenschappen

nationaal
expertisecentrum
leerplan-
ontwikkeling

Verantwoording



2016 SLO (nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling), Enschede

Mits de bron wordt vermeld, is het toegestaan zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave te kopiëren en/of verspreiden en om afgeleid materiaal te maken dat op deze uitgave is gebaseerd, tenzij een andere bron vermeld is.

Auteurs: Marijn Meijer (C3) en Ria Dolfing (RUG, Undergraduate School of Science)
Met medewerking van Herman Schalk en Emiel de Kleijn

Informatie

SLO

Afdeling: tweede fase

Postbus 2041, 7500 CA Enschede

Telefoon (053) 4840 661

Internet: www.slo.nl

E-mail: tweedefase@slo.nl

AN: 3.7509.697

Inhoud

1.	Inleiding	5
2.	Achtergrond	7
2.1	Waarom macro-meso-microdenken	7
2.2	Wat is macro-meso-microdenken?	8
2.3	Hoe gaat macro-meso-microdenken?	10
3.	Macro-meso-microdenken in de klas	17
3.1	Macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties in de klas	17
3.2	Het ontwerpen van (les)materiaal en opgaven	17
3.3	Didactische aspecten bij ontwerpen en implementeren van lesmateriaal	25
3.4	Voorbeelden van lesmateriaal	26
4.	In de lerarenopleiding	27
4.1	Het macro-meso-microdenken in het nieuwe en voorgaande curriculum	27
4.2	Het integreren van het macro-meso-microdenken in de leraenopleiding	27
4.3	Didactische aspecten in de lerarenopleiding	28
	Referenties en bronnen	31
	Bijlage 1 Macro-meso-microdenken in het scheikundeonderwijs in het kort	33
	Format Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties	34
	Voorbeeld Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties van Dyneema®	35
	Voorbeeld Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties van roomijs	36
	Voorbeeld Conceptueel schema van structuur-eigenschapsrelaties van aardewerk	37
	Bijlage 2 Werkbladen voor leraren in opleiding	39
	Macro-meso-microdenken & metaforen en modellen	
	Macro-meso-microdenken & argumenteren	
	Macro-meso-microdenken & begripsvorming	
	Macro-meso-microdenken & schalen	
	Macro-meso-microdenken & emergentie	
	Macro-meso-microdenken & transfer	

1. Inleiding

Macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties is een manier van denken die een verklaring biedt voor eigenschappen van materialen. Deze manier van denken wordt vaak impliciet gedoceerd in het onderwijs, ongeacht het niveau. In het nieuwe examenprogramma voor havo en vwo vanaf 2015 is deze manier van denken expliciet gemaakt. Deze publicatie is bedoeld om lerarenopleiders te ondersteunen bij het incorporeren van deze veelal nieuwe manier van denken in hun opleiding. In een notendop wordt verteld wat deze manier van denken inhoudt, waarna de didactische aspecten ervan worden toegelicht.

De kern van deze publicatie bestaat uit drie delen, de hoofdstukken 2, 3 en 4. Hoofdstuk 2 bevat de achtergrond van macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties en is bedoeld voor lerarenopleiders en leraren in opleiding. Hoofdstuk 3 bevat de didactische aspecten die noodzakelijk zijn om macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties te implementeren in de klas. Daarbij kan gedacht worden aan het maken en toetsen van opgaven, lesmateriaal, geschikte contexten en voorbeeld lesmateriaal. In het laatste hoofdstuk worden werkvormen aangeboden waarmee het macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties kan worden verbonden met diverse aspecten van de lerarenopleiding.

Hoofdstuk 2 en 3 zijn geschikt voor de leraren in opleiding. Hoofdstuk 4 is dat niet, dat is bedoeld voor de lerarenopleider. Het bevat wel opdrachten voor de leraren in opleiding.

Om meer te weten over de achtergrond van deze manier van denken zijn er op diverse plekken literatuurverwijzingen opgenomen.

2. Achtergrond

2.1 Waarom macro-meso-microdenken

Binnen het domein van de chemie is het een kernactiviteit om in een redenering te schakelen van met het blote oog waarneembare eigenschappen van stoffen en materialen op macroniveau en het deeltjesmodel op moleculair en/of atomair niveau. Chemici gebruiken het macro-microdenken veelal impliciet wanneer ze eigenschappen van stoffen en materialen willen verklaren, voorspellen of verbeteren. Daarbij construeren chemici (sub)microscopische modellen om de eigenschappen te beschrijven. Met macroscopisch of macroniveau worden de direct waarneembare eigenschappen bedoeld zoals kleur, geur, geleiding van warmte en elektriciteit, massa of smaak. Het submicroscopisch niveau of microniveau refereert aan de modellen met daarin structuren op moleculaire of atomaire schaal. Dit zijn deeltjes die we niet met het blote oog kunnen waarnemen.

Wetenschappers en technologen proberen causale relaties te leggen tussen de waargenomen eigenschappen op macroniveau en het gedrag en structuren van deeltjes op microniveau. Zo zijn er duidelijke relaties tussen het kookpunt van een stof en het gedrag van en bindingen tussen de deeltjes waaruit het materiaal is opgebouwd. Hierbij wordt direct geredeneerd tussen macroniveau en microniveau.

In recent wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen worden modellen gehanteerd bestaande uit structuren op andere schalen dan submicroscopische schaal of microniveau. Denk daarbij aan structuren als micellen, cellen, kristallen, vezels met dimensies tussen de 10^{-4} m en 10^{-8} m. Structuren op een dergelijke schaal noemen we mesoniveaus, omdat ze een schaal hebben tussen macro- en microniveau.

Leerproblemen van leerlingen in het vak scheikunde

Leerproblemen van leerlingen binnen het vak scheikunde hebben veelal betrekking op twee aspecten:

- a) Het relateren van macroscopische eigenschappen aan modellen die (sub)microscopische structuren en eigenschappen beschrijven.
- b) Leerlingen ervaren de (sub)microscopische modellen niet als relevant voor hun leefwereld.

In dit hoofdstuk gaan we in op het eerste aspect (a). Aspect (b) komt aanbod in hoofdstuk 2 van deze publicatie. De leerproblemen van leerlingen met betrekking tot het relateren van macroscopische eigenschappen aan microscopische structuren en eigenschappen kunnen verklaard worden door:

1. de grote stap die er gemaakt moet worden tussen de schaal waarop eigenschappen worden waargenomen (meters, centimeters) en de nanometer schaal waarop structuren en eigenschappen worden beschreven of gerepresenteerd door middel van modellen en beeldtechnieken als elektronenmicroscopie.
2. de verschillen in intuïtieve noties van leerlingen over eigenschappen van stoffen en het gebruik van (deeltjes)modellen in de wetenschap.

In de traditionele schoolscheikunde spelen vaak maar twee niveaus een rol: macro en micro. Tussen beide niveaus is een grote stap in schaal met een factor 10^9 ofwel 1.000.000.000. De stap van het niveau van macroscopische eigenschappen naar submicroscopische modellen en representaties is erg groot. Leerlingen die niet getraind zijn om deze modellen te interpreteren,

zijn vaak niet in staat om de relaties te leggen tussen eigenschappen op macroniveau en structuren op microniveau. Deze leerproblemen worden geïllustreerd door de volgende herkenbare voorbeelden:

- *Watermoleculen zijn blauw.* Leerlingen passen de eigenschappen die een stof of materiaal heeft met een schaal 1-100 m (macroniveau) toe op deeltjes als moleculen of atomen. Het is de interactie tussen watermoleculen en bepaalde golflengtes die gereflecteerd worden waardoor de stof water een blauwe kleur krijgt. Dus de stof water heeft een blauwe kleur en niet de watermoleculen zelf.
- *Een rubbermolecuul is elastisch.* De elastische eigenschap van (de stof) rubber is een gevolg van de interactie tussen veel lange moleculen die tot een bepaalde mate langs elkaar kunnen bewegen. De eigenschap 'elastisch zijn' komt als het ware als vanzelf voort uit deze interactie. Het geheel van interacterende ketens is dus meer dan de ketens zelf. Het elastisch zijn is een emergente eigenschap. Emergentie is geen onderdeel in het traditionele scheikundecurriculum.
- *Deeltjes vertonen dezelfde eigenschappen als biljartballen.* Deze uitspraak komt voort uit het gebruik van het botsende deeltjes model dat bruikbaar is om bepaalde eigenschappen zoals reactiesnelheid en druk van ideale gassen te verklaren. In andere situaties is de interactie tussen de deeltjes juist veel belangrijker (waterstofbruggen, kwantummechanica). Dan is deze uitspraak niet geldig. Het probleem is dat het niet altijd duidelijk is wanneer bepaalde modellen wel of niet gebruikt kunnen worden om eigenschappen te verklaren.

Het gebruik van het macro-meso-microdenken in het onderwijs kan leerlingen helpen om op een betekenisvolle manier relaties te leggen tussen eigenschappen van stoffen en materialen op macroniveau en modellen op micro- en mesoniveau. Daarbij wordt voorkomen om in één grote stap van macro- naar microniveau te gaan door eigenschappen te verklaren van materialen waarin structuren te onderscheiden zijn op mesoniveau tussen macro en micro in. Verder worden de gewenste intuïtieve noties van leerlingen opgeroepen om eigenschappen van materialen te verklaren. Dit wordt uitgelegd in de volgende paragraaf.

2.2 Wat is macro-meso-microdenken?

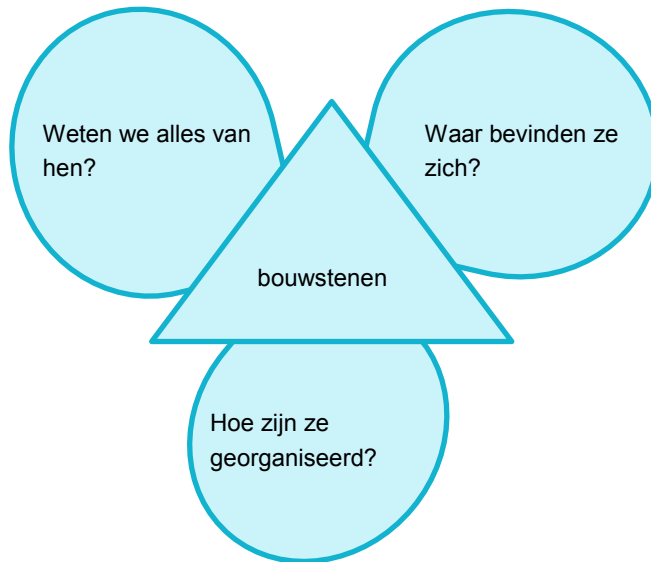
Uitgangspunt in het macro-meso-microdenken is dat een structuur van een stof of materiaal bestaat uit substructuren die met elkaar interacteren. Denk bijvoorbeeld aan de stabiliserende werking van vetten en eiwitten rond een luchtbel in geklopte slagroom. De specifieke interactie tussen vetten en eiwitten zorgt ervoor dat de slagroom zijn vorm behoudt (gedurende enige tijd). Voordat in een notendop wordt uitgelegd wat met macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties wordt bedoeld, wordt er eerst een perspectief geschetst op materiaaleigenschappen en hun (chemische) oorzaak.

Materialen en hun eigenschappen

Materialen zijn opgebouwd uit kleinere structuurelementen (= substructuren) of structuren, die op hun beurt weer opgebouwd zijn uit kleinere structuren. Voorbeelden van dergelijke structuren zijn: kristallen, luchtbellen, colloïden, netwerken van polymeren, filamenten, holtes en poriën. Dit sluit aan bij het in het scheikundecurriculum veel gebruikte perspectief dat materialen of stoffen bestaan uit bouwstenen. Met bouwstenen denken chemici in eerste instantie aan atomen en moleculen. Echter wanneer we materialen bestuderen vinden we vaak bouwstenen of (sub)structuren op mesoniveaus tussen macro- en microniveau. Deze substructuren zijn bijvoorbeeld vezels, kristallen en korrels.

Bij het bestuderen van de bouwstenen of substructuren zijn vragen relevant als '*Weten we genoeg van de bouwstenen om een eigenschap van het materiaal te verklaren?*' of '*Hoe interacteren de bouwstenen met elkaar en met de omgeving?*' Bij het macro-meso-microdenken worden er twee vragen toegevoegd: '*Op welk niveau en welke schaal bevinden zich de*

relevante substructuren om een eigenschap van het materiaal te verklaren?’ en ‘Hoe zijn ze gepositioneerd en georganiseerd ten opzichte van elkaar?’. Daarbij kan de vraag nog worden gesteld ‘Met welke technieken worden deze substructuren zichtbaar gemaakt?’. Dit is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Een andere manier van kijken die noodzakelijk is voor het macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties.

Om de eigenschappen van een materiaal te verklaren moeten we weten uit welke bouwstenen het bestaat, wat de eigenschappen zijn van deze bouwstenen en hoe deze eigenschappen bijdragen aan de eigenschappen van het materiaal als geheel. R&D-medewerkers, die nieuwe materialen ontwikkelen, zoals roomijs, supersterke vezels, vleesvervangers, dekkende coatings of harde materialen, zijn voortdurend met deze drie vragen bezig. Zij manipuleren of vervangen bepaalde bouwstenen of structuren in een materiaal om de eigenschappen te verbeteren. Dit doen ze veelal intuïtief.

Wanneer we in het dagelijks leven een verklaring zoeken voor bepaald gedrag of een bepaalde eigenschap van een voorwerp gebruiken we het macro-meso-microdenken ook vaak intuïtief. Bijvoorbeeld wanneer een apparaat stuk is, ga je uitzoeken welk onderdeel van het apparaat gerepareerd of vervangen moet worden. Bij dat uitzoeken spelen intuïtieve noties een rol. Er is een verschil tussen intuïtieve noties die gebruikt worden om fenomenen in onze zichtbare wereld te verklaren, en de wetenschappelijke modellen die gebruikt worden in de chemie. Intuïtieve noties van mensen worden grotendeels beïnvloed door hun percepties van het gedrag van concrete, zichtbare en voelbare materialen. Zij interpreteren materialen als continu en statisch, terwijl wetenschappelijke modellen materialen juist beschrijven als discontinu en dynamisch. Materialen bestaan immers uit continu bewegende deeltjes die interacteren of uit conglomeraten van deeltjes die onderling interactie hebben.

Bij het verklaren van eigenschappen met behulp van macro-meso-microdenken spelen twee intuïtieve noties van leerlingen een rol, namelijk:

- De bouwstenen hebben dezelfde eigenschappen als het geheel.
- Het geheel heeft een andere eigenschap dan die van de bouwstenen (het geheel is meer dan de som van de delen).

Een voorbeeld waarbij de **eerste notie** opgaat, is de zoete eigenschap van suiker. Zowel een enkel suikermolecuul als de stof suiker, die een stapeling is van deze moleculen, smaken zoet.

Een ander voorbeeld is de aantrekkende en afstotende krachten van een magneet. Zowel de gehele magneet als elk stukje van de magneet heeft deze eigenschap.

In de scheikunde willen we echter vooral de **tweede notie** oproepen bij leerlingen. De deeltjes waaruit een stof of materiaal is opgebouwd hebben immers een andere eigenschap dan de stof of het materiaal als geheel. De eigenschap van een stof of materiaal is te verklaren door de substructuren en de interacties daartussen op een kleinere schaal te beschrijven.

Bijvoorbeeld, de hoge elasticiteitsmodulus van Kevlarvezels is te verklaren door de hoge mate van kristalliniteit door de gehele vezel. Die kristalliniteit wordt veroorzaakt door de regelmatige ordening van lange polymeerketens. Een ander voorbeeld is dat de hoge gevoeligheid van een kunst huid mede mogelijk wordt gemaakt doordat bij het indrukken nano-koolstofbuisjes elektrisch contact maken.

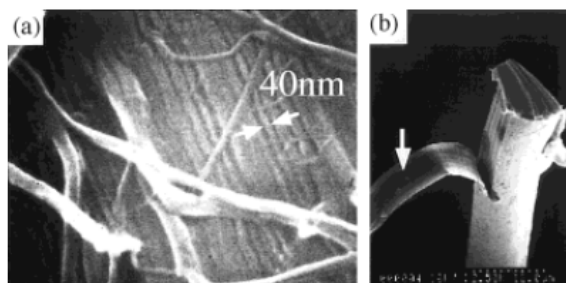
Om deze manier van denken te kunnen gebruiken in het onderwijs moeten we het expliciet maken voor leerlingen. Wanneer we het macro-meso-microdenken expliciet maken in het scheikundeonderwijs, worden leerlingen zich bewust van deze manier van denken. Vervolgens kunnen ze het herkennen wanneer ze scheikundige problemen oplossen en kunnen ze het bewust toepassen in situaties waarin het niet voor de hand ligt.

2.3 Hoe gaat macro-meso-microdenken?

Macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties is een manier van denken waarbij eigenschappen van een materiaal beschreven en verklaard worden in termen van datgene waaruit het materiaal opgebouwd is en de causale relaties tussen die structuren en eigenschappen. Om het macro-meso-microdenken expliciet te maken gebruiken we een conceptueel schema. In dit schema staan drie begrippen centraal: structuur, eigenschap en structuur-eigenschap relatie. Deze begrippen worden eerst uitgelegd.

Structuur

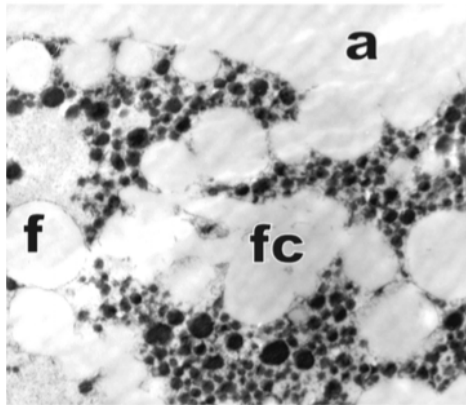
Het begrip 'structuur' kan gedefinieerd worden als een verdeling van bouwstenen in de ruimte in een systeem. Fysieke bouwstenen van een dergelijk systeem vormen regio's, die verbonden zijn door een gesloten oppervlak. De bouwstenen binnen het systeem hebben dan een andere eigenschap dan het systeem als geheel. Deze bouwstenen kunnen bestaan uit atomen of moleculen, die vervolgens vezels, kristallen, netwerken of membranen vormen. Voorbeelden van dergelijke structuren staan weergegeven in de figuren 2, 3 en 4. Structuren zijn dynamische systemen, omdat ze veranderd kunnen worden door processen. Structuren worden ook gerelateerd aan specifieke combinaties van eigenschappen, waarin bijvoorbeeld temperatuur en druk belangrijke variabelen zijn.



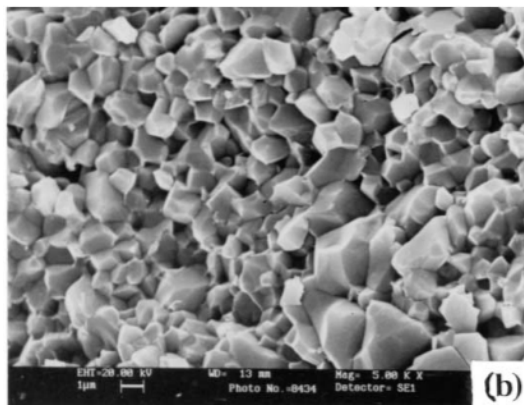
Figuur 2. Foto's m.b.v. een Scanning Elektronenmicroscop van een gebroken PBO-vezel.

(a) Vergrote weergave van een oppervlak regio [zie pijl bij (b)] van de vezel.

Bron: Kitagawa, Murase & Yabuki (1998)



Figuur 3. Een voorbeeld van grensvlakken als structuur in roomijs. f = fatglobule, fc = fatcluster, a = airbubble. Bron: Goff (2002).



Figuur 4. Kristallijne structuren op een breukvlak in gesinterd Al_2O_3 . Bron: Sathiyakumar & Gnanam (2002).

Structuren bestaan uit substructuren op verschillende niveaus op verschillende schaal. Belangrijke aspecten bij het identificeren en onderscheiden van structuren en substructuren in een materiaal zijn (1) het niveau en schaal waarop deze (sub)structuren zich bevinden, (2) of de (sub)structuren waarneembaar zijn met of zonder hulpmiddelen of dat we modellen gebruiken om deze te beschrijven en (3) de taal en terminologie waarmee we de (sub)structuren beschrijven.

Eigenschap

Het begrip 'eigenschap' kan gedefinieerd worden als een meetbare, natuurkundige of scheikundige karakteristiek van een materiaal. Voorbeelden van eigenschappen zijn kookpunt, smeltpunt, viscositeit, hardheid, elasticiteit en dichtheid. Elke bruikbare karakteristiek van het systeem kan gezien worden als een eigenschap, bijvoorbeeld lading, mate van elektronegativiteit, oplosbaarheid, verbrandingsenergie, ontvlambaarheid en chemische reactiviteit. Belangrijke aspecten bij het beschrijven van eigenschappen zijn (1) of de betreffende eigenschap zichtbaar, voelbaar dan wel meetbaar is en (2) met welke taal en terminologie de eigenschappen beschreven kunnen worden.

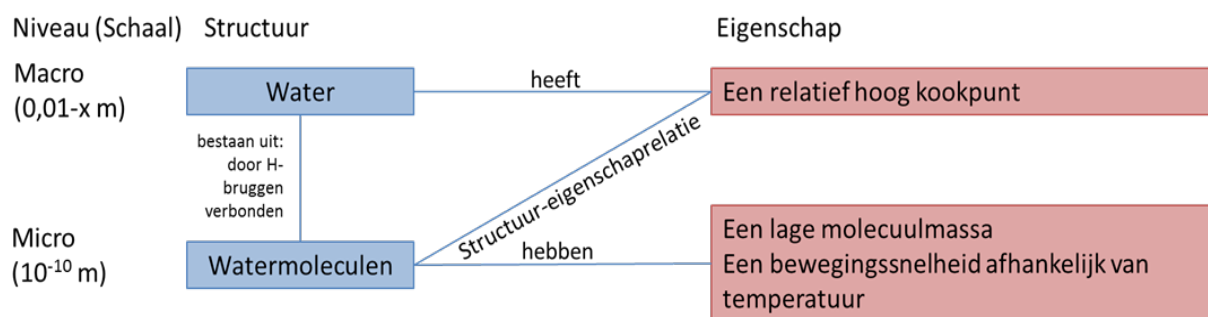
Structuur-eigenschap relatie

Over het algemeen worden structuur-eigenschap relaties beschreven door het relateren van een specifieke structuur aan een specifieke eigenschap. De structuur-eigenschap relaties worden dan ook uitgedrukt als causale relaties tussen de (sub)structuren en eigenschappen. Materiaalkundigen en ingenieurs hebben als doel om structuur-eigenschap relaties of causale verbanden tussen (sub)structuren en eigenschappen te ontdekken. Dus een structuur-

eigenschap relatie moet bij voorkeur eenduidig en logisch geformuleerd zijn in wetenschappelijke termen. Dat kan door structuur-eigenschap relaties uit te drukken in termen van 'Als ... dan ...'-zinnen. Voorbeelden hiervan worden gegeven in de volgende paragraaf. Structuur-eigenschap relaties kunnen worden gebruikt als argument bij het verklaren en voorspellen van eigenschappen.

Conceptueel schema

Een conceptueel schema is een blokkenschema waarin de structuren, eigenschappen en structuur-eigenschap relaties worden weergegeven die nodig zijn om een bepaalde eigenschap te beschrijven en te verklaren. In dit schema wordt weergegeven hoe een structuur van een materiaal is opgebouwd uit substructuren (figuur 5). Daarbij worden de substructuren op macro-, meso- en microniveau onderscheiden. Op elk niveau worden de eigenschappen genoemd van de substructuren, die bijdragen aan de verklaring van de betreffende eigenschap van het materiaal als geheel. De schuine lijn in het conceptueel schema geeft een structuur-eigenschap relatie weer in de betreffende stof of het betreffende materiaal.



Figuur 5. Het conceptuele schema van het kookpunt van water

Bij de introductie van het deeltjesmodel gebruiken we vaak voorbeelden waarbij de eigenschappen van stoffen op macroniveau worden verklaard door het beschrijven van de interacterende substructuren direct op atomair of moleculair niveau (microniveau). In figuur 5 wordt een conceptueel schema gegeven van een veel gebruikt voorbeeld over het kookpunt van water. Hierin worden de twee niveaus weergegeven die relevant zijn bij het verklaren van het relatief hoge kookpunt van water. De structuur 'water' bestaat uit de substructuren 'watermoleculen'. De interactie tussen de watermoleculen wordt gevormd door de H-bruggen. Daarnaast hebben de watermoleculen andere eigenschappen als de structuur 'water' in zijn geheel, namelijk dat ze een lage molecuulmassa hebben en dat ze bewegen, waarbij de bewegingssnelheid afhankelijk is van de temperatuur. In het geval van het schema in figuur 5 kunnen we de volgende structuur-eigenschap relatie formuleren:

Als de structuur van een stof bestaat uit door waterstofbruggen verbonden [interactie] moleculen [structuur],
dan heeft de stof een relatief hoog kookpunt [eigenschap].

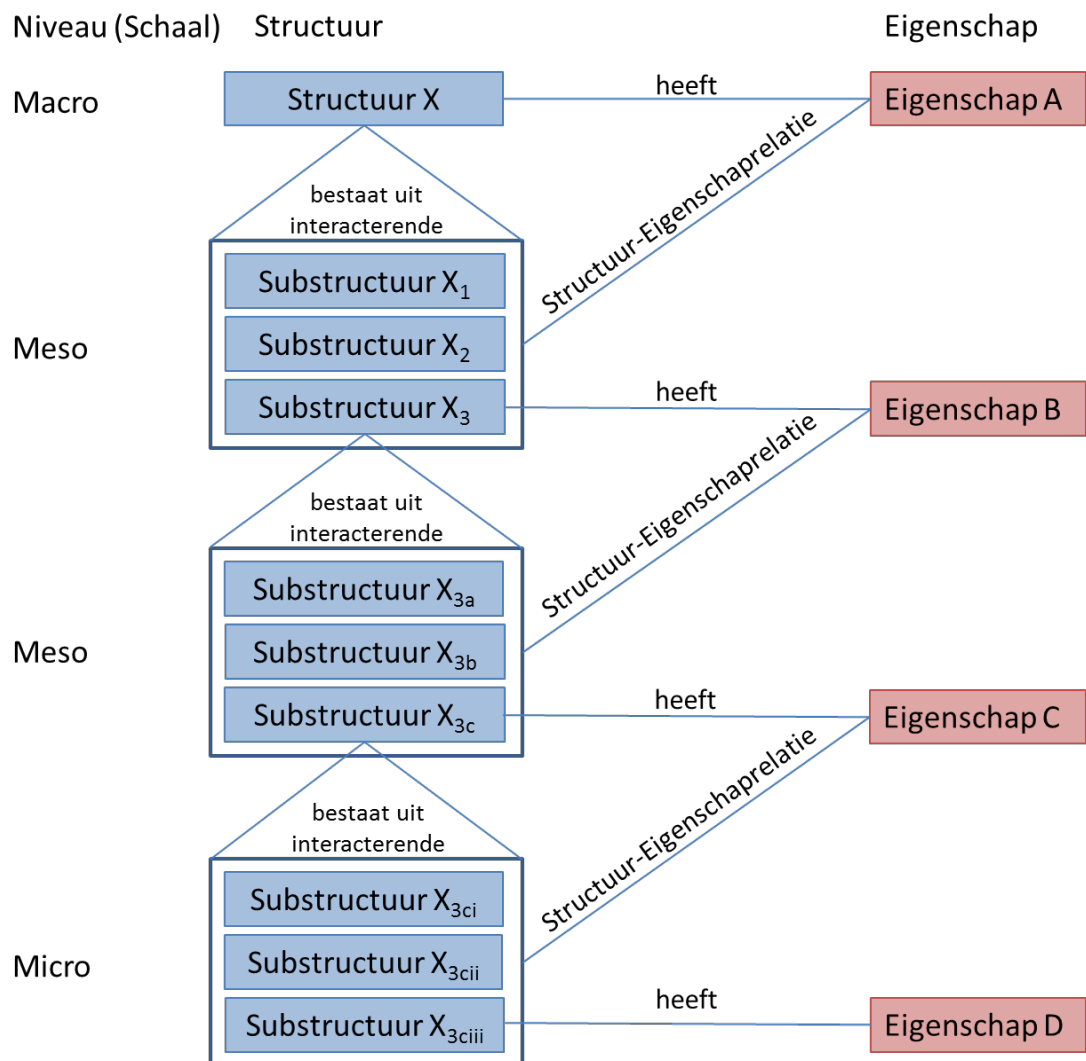
In de structuur van veel materialen zijn substructuren te onderscheiden op mesoniveaus tussen macro- en microniveau. Dit is al het geval in materialen die bestaan uit macromoleculen of polymeren. Bijvoorbeeld een eiwitcomplex als hemoglobine, bestaat in eerste instantie uit eiwitketens die verbonden zijn aan een heemgroep. Een eiwitketen bestaat vervolgens uit een reeks aan elkaar gekoppelde aminozuren, die op een bepaalde manier gevouwen zijn. De aminozuursequentie bepaalt o.a. hoe het eiwit gevouwen wordt, en dit bepaalt vervolgens de functie of eigenschap van het eiwitcomplex.

Het is afhankelijk van de betreffende eigenschap welke interacterende substructuren bijdragen aan deze eigenschap. Twee voorbeelden ter illustratie:

(1) Brooddeeg is in staat om te rijzen omdat de wandjes rond de gasholtes elastisch zijn. Deze elasticiteit wordt veroorzaakt door een glutennetwerk. Doordat gluten (polymeren met vertakkingen) beperkt in staat zijn om langs elkaar te bewegen, kun je het netwerk uitrekken.

(2) In het geval van de eigenschappen van slagroom zoals stabiliteit en luchtigheid, zoom je eerst in op de substructuren: luchtbellen omgeven door een emulsie. Wanneer je de eigenschap 'stabiliteit' wil verklaren, is het van belang in te zoomen op de emulsie. Echter wanneer je de luchtigheid van de slagroom wil bestuderen, zijn de grootte en de hoeveelheid van de luchtbellen in het schuim van belang.

In figuur 6 wordt een algemeen format gegeven van een conceptueel schema waarin vier niveaus worden onderscheiden en drie structuur-eigenschap relaties worden beschreven.



Figuur 6. Een algemeen format van een conceptueel schema. Bron: Dolfig (2013).

Op basis van het schema in figuur 6 kunnen de volgende structuur-eigenschap relaties geformuleerd worden:

Als de structuur van materiaal X bestaat uit de interacterende substructuren X_1 , X_2 en X_3 , dan heeft het materiaal eigenschap A.

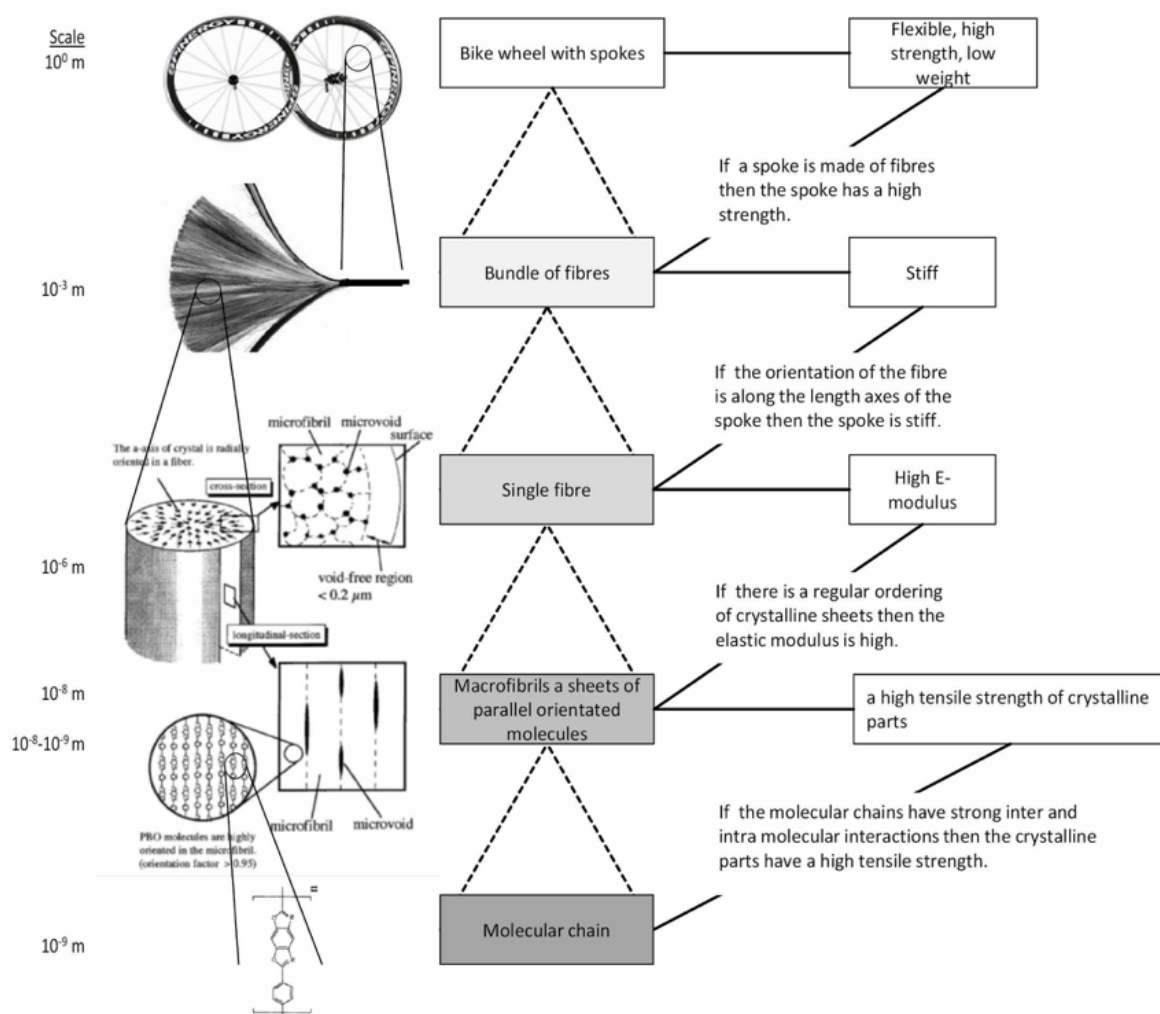
Als de substructuur van materiaal X_3 bestaat uit de interacterende substructuren X_{3a} , X_{3b} en X_{3c} , dan heeft materiaal X_3 eigenschap B.

Als de substructuur van materiaal X_{3c} bestaat uit de interacterende substructuren X_{3ci} , X_{3cij} en X_{3ciii} ,
dan heeft materiaal X_{3c} eigenschap C.

Voor elke eigenschap van een materiaal is het mogelijk dit schema in te vullen en de daarbij horende structuur-eigenschap relaties te geven. Dit is echter niet eenvoudig. Het is vaak een hele puzzel om de substructuren op de verschillende niveaus te onderscheiden, de eigenschappen te benoemen en de structuur-eigenschap relaties te formuleren. Besef dat een eigenschap wordt veroorzaakt door de interactie die plaatsvindt tussen twee of meer substructuren op een kleinere schaal. Het is vanzelfsprekend dat elke (sub)structuur meerdere eigenschappen heeft, maar die hoeven niet altijd relevant te zijn om de betreffende eigenschap A van structuur X te verklaren.

Als voorbeeld van een conceptueel schema wordt in figuur 7 de verklaring beschreven van de hoge sterkte en stijfheid van een fietswiel. Er is een grote spanning nodig om het materiaal waarvan het wiel is gemaakt te deformeren. Figuur 7 bevat de (sub)structuren, de eigenschappen op verschillende schalen van de spaken in het wiel en het materiaal waaruit het gemaakt is: poly-p-phenylenebenzo-bisoxazole (PBO). Een spaak bestaat uit bundels van vezels. Deze vezels bestaan uit microfibrillen, die weer bestaan uit in de lengte georiënteerde moleculaire ketens (weergegeven door steeds uitzoomende stippellijnen). Van elk van deze (sub)structuren wordt de eigenschap gegeven in het conceptueel schema, waarbij de eigenschap van een onderliggende substructuur anders is die van de structuur als geheel. De hoge sterkte wordt veroorzaakt door de bundels van vezels. Echter, dit is niet de enige oorzaak voor deze eigenschap. De bundel is namelijk stijf. De vezels van PBO hebben een zeer hoge E-modulus, hoger dan roestvrijstaal en polyetheen. De hoge E-modulus wordt veroorzaakt door een regelmatige ordening van rond de lengteas georiënteerde macrofibrillen. Deze macrofibrillen zijn in hoge mate kristallijn en hebben daardoor een hoge treksterkte. De hoge treksterkte wordt veroorzaakt door de hoge input van energie die nodig is om de covalente bindingen en stabiliteit van aromatische ringen te verbreken.

Van veel gebruikte structuren, namelijk korrelige structuren, vezelige structuren en grensvlakken, worden vergelijkbare voorbeelden gegeven in bijlage 1.



Figuur 7. Conceptueel schema van de sterkte van een spaak in een fietswiel. Bron: Meijer (2011).

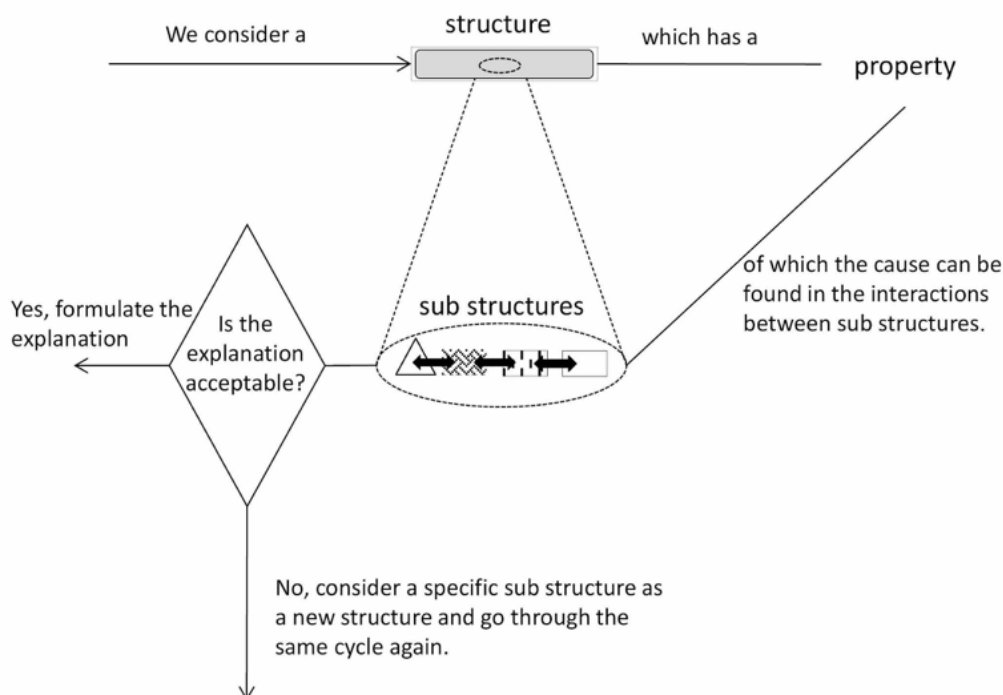
Het conceptueel schema als didactisch model

Een conceptueel schema van de structuur-eigenschap relaties kan gebruikt worden om de denkstappen bij het verklaren van de eigenschappen van een materiaal expliciet te maken en om vakinhoud te ordenen. Een conceptueel schema kan op verschillende manieren als basis dienen voor het vormgeven van lessen en het ontwerpen van lesmateriaal. Afhankelijk van het leerdoel van de betreffende les, kan de focus bijvoorbeeld liggen op 'het macro-meso-microdenken' zelf, waarbij leerlingen een conceptueel schema van een bepaald materiaal moeten kunnen maken als hulpmiddel om de manier van denken eerst zichtbaar te maken en vervolgens zich eigen te maken. Of het schema kan impliciet gebruikt worden bij het analyseren en beschrijven van de structuur-eigenschap relaties van een specifiek materiaal of stof, als een manier om het denken te structureren. Het conceptueel schema is dus een didactisch model om meer inzicht te geven in het denkproces bij het verklaren, voorspellen of verbeteren van eigenschappen.

Een beslisschema voor macro-meso-microdenken

Veelal wordt het macro-meso-microdenken geïmplementeerd door middel van context-gebaseerde modules waarin leerlingen gevraagd wordt een probleem op te lossen in productontwikkeling. Daarbij gaat het om het creëren van een structuur met een gewenste eigenschap (het ontwerpen van een materiaal). Het gaat erom dat een leerling in staat is om op

basis van een bepaalde structuur in te schatten of de desbetreffende eigenschap kan ontstaan uit de interacties tussen de bouwstenen waaruit de structuur is opgebouwd. Bij het oplossen van een probleem door middel van het ontwerpen van materiaal, wordt eerst een verklaring gezocht voor de betreffende eigenschap. Bij het bestuderen van de substructuren op een bepaald niveau van het betreffende materiaal, maakt een leerling steeds de afweging 'is de verklaring voor de betreffende eigenschap acceptabel'. Is het antwoord 'ja', dan is de verklaring gevonden en kan die opgesteld worden in termen van 'Als..., dan...'-zinnen. Is het antwoord 'nee' dan zal verder ingezoomd moeten worden op een van de substructuren om een acceptabele verklaring te vinden. Dit is weergegeven in figuur 8.



Figuur 8. Afweging bij het bestuderen van een materiaal. Bron: Meijer (2011).

Ten slotte, het aantal (sub)structuren dat aanwezig is in het materiaal en nodig is om tot een sluitende verklaring van een eigenschap of ontwerp van een materiaal met de gewenste eigenschap te komen, is variabel. Dat aantal is afhankelijk van de gewenste eigenschap en het materiaal. Een bruine kleur van een broodkorst vergt maar een of twee niveaus: moleculair niveau en plek van moleculen op de buitenkant van het deeg, terwijl er voor de verklaring van de stijfheid van een spaak in een fietswiel vijf nodig zijn (zie figuur 7).

Kortom, er is geen standaardroute op te stellen voor het ontwerpen van materialen en het verklaren van eigenschappen met behulp van macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties. Per situatie, per probleem kan er wel een soort hulpmiddel voor de docent opgesteld worden. Een conceptueel schema kan een hulpmiddel zijn. Het opstellen van een conceptueel schema kan wel een doel van een les/activiteit zijn, maar is nooit een leerdoel. Het leerdoel is het toepassen van de gewenste manier van denken in een 'chemische' context. Het conceptueel schema heeft alleen tot doel om (1) de vakinhoud, concepten en relaties te ordenen en (2) de stappen in de redenering te visualiseren.

In hoofdstuk 3 van deze publicatie zullen didactische aspecten rondom het implementeren van macro-meso-microdenken in de klas verder worden beschreven.

Bij de bronnen zijn verwijzingen te vinden naar de geciteerde en andere relevante literatuur.

3. Macro-meso-microdenken in de klas

3.1 Macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties in de klas

Zoals in hoofdstuk 2 van deze publicatie al is geschreven, wordt het macro-meso-microdenken veelal geïmplementeerd in de klas door middel van contextgebaseerd onderwijs waarin leerlingen gevraagd wordt een probleem op te lossen in productontwikkeling. Daarbij gaat het om het ontwerpen van een structuur met een gewenste eigenschap. Bij het ontwikkelen van lessen(series) formuleer je leerdoelen voor leerlingen, kies je een geschikte context, bepaal je hoe de leerdoelen getoetst worden en ontwikkel je vervolgens activiteiten voor de leerlingen om de leerdoelen te kunnen halen. Deze onderwerpen worden in dit hoofdstuk uitgelegd met betrekking tot het implementeren van macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties in de klas.

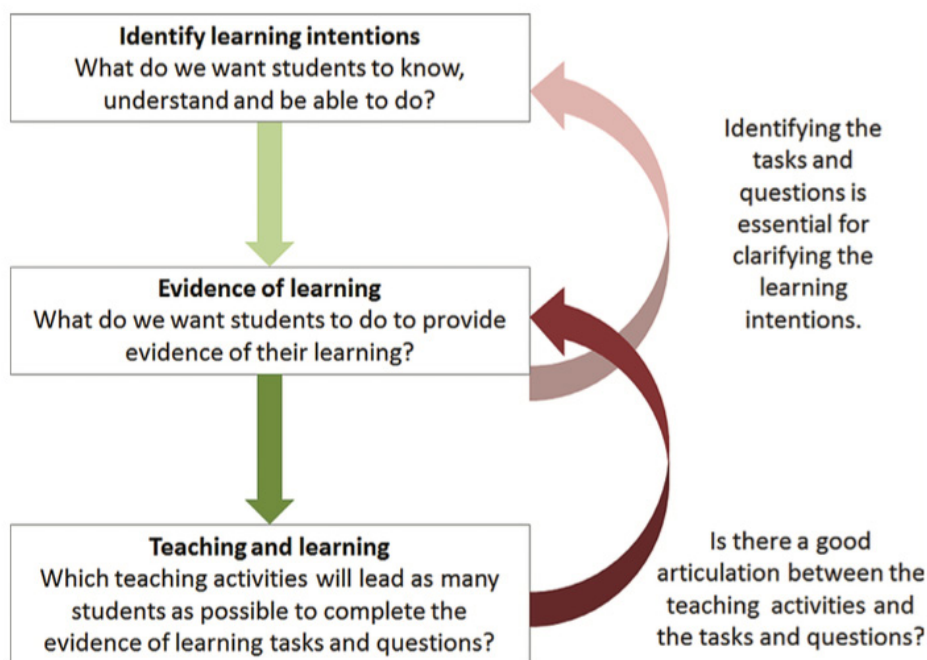
3.2 Het ontwerpen van (les)materiaal en opgaven

Het curriculum is te beschouwen als een systeem van curriculumrepresentaties (Van den Akker, 1999), zie tabel 1.

Tabel 1. *Curriculumrepresentaties op basis van Van den Akker (1999).*

Typologie van curriculum representaties		
Bedoeld curriculum	Ideaal	Visionair, filosofie ten grondslag aan het curriculum
	Formeel/beschreven	De doelen zoals ze staan beschreven in de syllabus
Geïmplementeerd curriculum	Ontvangen	Het curriculum zoals dat ontvangen wordt door de gebruikers (docenten)
	Operationeel	Het actueel uitgevoerde onderwijsleerproces
Bereikt curriculum	Ervaren	De leerervaringen vanuit leerlingperspectief
	Geleerd	De leeruitkomsten van de leerlingen

Door middel van het ontwerpen en het implementeren van lesmateriaal probeer je een zo goed mogelijke vertaalslag te maken van het bedoelde curriculum naar het geïmplementeerde curriculum. Vervolgens toets je of de doelen ook echt zijn bereikt en of leerlingen dat ook zo ervaren. In feite probeer je representaties van het formele, operationele en ervaren curriculum zo dicht mogelijk bij elkaar te brengen. Daarbij is het van belang dat bij het ontwerpen van lesmateriaal de leerdoelen, leerlingactiviteiten en de toetsvorm in lijn zijn met elkaar. Om dit te bereiken is *backward design* een geschikte methode (figuur 9).



Figuur 9. De drie stadia in het proces van *backward design* gebaseerd op Wiggins & McTighe (2005).

Stel voor deze methode eerst de volgende vragen in de gegeven volgorde:

1. Wat moeten leerlingen leren?
 - a. Wat is het leerdoel: wat moeten ze weten, doen, kunnen?
2. Hoe toets je dat?
 - a. Wat wil je zien van je leerlingen?
 - b. Welke antwoorden wil je krijgen?
 - c. Welk niveau van redeneren verwacht je?
 - d. Hoe beoordeel je de antwoorden? met punten, cijfers of anders ...?
3. Vanuit welke context ga je iets vragen aan de leerlingen?
4. Welke activiteiten moeten de leerlingen ondernemen om tot de gewenste antwoorden te komen?
5. Welke denkstappen moet de leerling zetten om tot een antwoord te komen?
6. Welke relevante informatie heeft de leerling nodig om tot een antwoord te komen?

Deze vragen komen aan bod met betrekking tot het implementeren van het macro-meso-microdenken in de klas. Allereerst formuleer je mogelijke leerdoelen voor leerlingen, kies je een geschikte context en beschrijf je hoe de leerdoelen getoetst kunnen worden.

Leerdoelen voor leerlingen

Het eigen maken van deze manier van denken betekent dat de leerlingen binnen bepaalde contexten in staat zijn om:

- structuren en eigenschappen van verschillende typen materialen te herkennen en te beschrijven;
- causale relaties tussen structuren en eigenschappen te benoemen en deze relaties te formuleren in termen van 'Als ..., dan...'-zinnen;
- met behulp van de geformuleerde structuur-eigenschap relaties verklaringen op te stellen voor bepaalde eigenschappen van een materiaal en suggesties te doen om deze te veranderen naar de gewenste eigenschap om het probleem in productontwikkeling op te lossen.

Het kiezen van onderwerp en contextvraag

Elk voorwerp is gemaakt van materiaal waarvan de eigenschappen verklaard kunnen worden. Elk product of voorwerp kan daarom gebruikt worden als onderwerp voor een context om te gebruiken in de klas. Om een context te vinden kun je dicht bij het traditionele curriculum blijven. Enkele voorbeelden van contextvragen, waarin leerlingen gevraagd worden om eigenschappen van materialen te verklaren zijn:

- Waarom zijn de eigenschappen van Dyneema en een boterhamzakje verschillend, terwijl ze opgebouwd zijn uit dezelfde bouwsteen, namelijk polyetheen?
- Waarom kun je een ballon opblazen?
- Hoe maak je een zeepbel die heel lang blijft bestaan?

Ook kun je actuele onderwerpen gebruiken. Onderstaande vragen passen bijvoorbeeld bij onderwerpen die in 2015 voorbijkwamen in het nieuws en andere media:

- Hoe maak je een Valyriaans zwaard dat gebruikt wordt in de tv-serie Game of Thrones?
- Hoe maak je een vleesvervanger, zoals de 'biefstuk' die een onderzoeksgroep van Wageningen Universiteit heeft ontwikkeld?
- Hoe maak je een slijtvaste autoband door o.a. Dyneema te gebruiken?
- Hoe maak je scheurvaste kleding voor wielrenners? (ook Dyneema)
- Hoe maak je een vangrail van gras? Kan dat ook van papier? (De eerste vangrail op basis van natuurlijke vezels is medio 2015 getest!)

Materialen kunnen op basis van de structuren waaruit ze bestaan en de daarbij horende eigenschappen in categorieën worden ingedeeld. Veel voorkomende categorieën van materialen zijn materialen opgebouwd uit vezelstructuren, grensvlakstructuren en bolletjesstructuren. In tabel 2 staan voorbeelden van materialen per categorie.

Tabel 2. Drie typen structuren met voorbeelden van materialen

Categorie	Voorbeeld
Vezelstructuren	- Silly putty en maizena (gestructureerde vloeistoffen) - Glare (vliegtuigvleugel) - Vleesvervangers - Kunststoffen, supersterke vezels zoals Dyneema - Stoffen in kleding (wol, katoen, polyester) - Papier, karton - Bamboe
Grensvlakstructuren	- Mayonaise - Roomijs - Slagroom - Olie in fosfolipiden/celwanden - Dendrimeren, ingekapselde medicijnen - Verf
Bolletjesstructuren	- Keramiek - Beton - Colloïden - Bolletjes in kleding die onder druk huidverzorgingsproducten afgeven

Bij bijbehorende vragen, respectievelijk voor de vezel-, grensvlak-achtige en bolletjesstructuren, die door leerlingen opgelost kunnen worden, zijn bijvoorbeeld de volgende.

- Waarom wordt een kogel gestopt door een kogelvrij vest?
- Waarom wordt slagroom stijf als je het klopt?
- Waarom breekt een kopje als het op de grond valt?

Bij deze voorbeelden is er een direct, eenduidig antwoord te geven, dat alleen geldig is voor de gegeven situaties. Er zijn structuur-eigenschap relaties tussen verschillende macro-, meso- of microniveaus nodig om een volledige verklaring te geven. Wanneer leerlingen materialen bestuderen uit eenzelfde categorie, zullen ze vergelijkbare structuur-eigenschap relaties tegenkomen. Bijvoorbeeld, wanneer ze de eigenschappen van mayonaise kunnen verklaren, is het een kleine stap om ook de eigenschappen van slagroom te verklaren. Op basis van deze en mogelijk meer categorieën, kan een systematische keuze gemaakt worden voor materialen die in contexten in de klas gebruikt kunnen worden.

Verklarings- en ontwerp vragen

Binnen een context kunnen verschillende typen vragen gesteld worden die leerlingen kunnen beantwoorden met behulp van macro-meso-microdenken. Allereerst kun je leerlingen vragen een bepaalde eigenschap te **verklaren**. Leerlingen zullen dan het materiaal analyseren met als doel erachter te komen waarom een bepaald materiaal een bepaalde eigenschap heeft.

Voorbeelden van hulpvragen die je gedurende het leerproces aan leerlingen kunt stellen, zijn:

- Welke (sub)structuren in een materiaal veroorzaken de bepaalde eigenschap van een materiaal?
- Op welke niveaus bevinden zich deze (sub)structuren en welke afmeting hebben deze (sub)structuren?
- Wat zijn die interacties tussen de (sub)structuren waardoor het geheel een bepaalde eigenschap heeft?

Daarnaast kun je leerlingen vragen een materiaal met bepaalde eigenschappen te **ontwerpen**. In dat geval zullen leerlingen ook de structuur en eigenschappen van een materiaal analyseren, maar met als doel om vervolgens te weten welke (sub)structuur zij moeten veranderen om een gewenste eigenschap te krijgen. Voorbeelden van hulpvragen die je als docent aan de leerlingen kunt vragen, zijn:

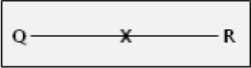
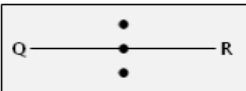
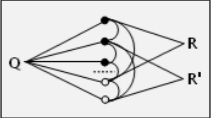
- Welke eigenschap van een materiaal wil je proberen te synthetiseren?
- Welke (sub)structuur moet je daarvoor aanpassen?
- Hoe verander je die structuur?
- Kun je een analoge structuur bedenken die, in een andere situatie, dezelfde eigenschap voortbrengt?
- Heeft het materiaal na verandering van de structuur de gewenste eigenschap?

Beoordelen van de leerlingen

Het macro-meso-microdenken kun je niet direct toetsen, dit gebeurt immers in het hoofd van de leerlingen. Op basis van het handelen van de leerling bij het beantwoorden van de contextvraag beoordeel je of leerlingen de leerdoelen met betrekking tot het macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties hebben gehaald. Het niveau van beheersing of gewenst niveau wordt uitgedrukt in zogenaamde handelingswerkwoorden. Deze zijn in te delen naar verschillende niveaus. In tabel 3 is een voorbeeld gegeven van een dergelijke indeling volgens de *SOLO-taxonomie*, deze is vergelijkbaar met de *taxonomie van Bloom*. Bloom is echter meer cognitief van aard.

De SOLO-taxonomie is handig om te gebruiken bij het ontwikkelen van een rubric. Deze rubric bestaat uit drie kolommen die van de handelingen van leerlingen beschrijven wanneer ze minder dan verwacht (N), als verwacht (V) of beter dan verwacht zijn (B). Per criterium kan aangegeven worden hoe dit op het betreffende moment wordt beoordeeld.

Tabel 3. Niveaus van beheersing volgens de SOLO-taxonomie. Bron: Braband & Dahl (2008).

Niveau		Beschrijving	Voorbeeld handelings- werkwoorden	Voorbeeld beschrijving van een leerdoel
Geen leren	Solo 1 Pre- structureel	 Er is geen notie van begrip waar te nemen.		
	Solo 2 Uni- structureel	 Er is een suggestie van een begrip, van een idee of feit. Er wordt één brok informatie begrepen.	Definiëren Identificeren Tellen Benoemen Voordragen Eenvoudige instructies volgen	Je bent in staat om structuren en eigenschappen te benoemen.
	Solo 3 Multi- structureel	 Er wordt gebruikgemaakt van meerdere brokken informatie, die echter stuk voor stuk apart worden behandeld. Er vindt geen integratie van informatie plaats.	Combineren Classificeren Structureren Beschrijven Opsommen Uitvoeren van een algoritme Toepassen van een methode/werkwijze	Je bent in staat om structuren en eigenschappen te ordenen naar schaal, te beschrijven en weer te geven in een conceptueel schema.
Dieper leren	Solo 4 Relationeel	 Er vindt integratie plaats van minstens twee stukken informatie, om een antwoord te formuleren op een vraag. Procedurele en declaratieve kennis kunnen in de gegeven situatie toegepast worden.	Analyseren Vergelijken Contrasteren Integreren Relateren Oorzaken uitleggen Toepassen van een theorie (in het domein)	Je bent in staat om op basis van een conceptueel schema een verklaring te formuleren over de oorzaak van een eigenschap.
	Solo 5 Uitgebreid abstract	 Hierbij wordt voorbij de gegeven informatie gedacht door een algemene regel of bewijs te formuleren die of dat in meerdere situaties gebruikt kan worden (bewijs van transfer). Opgedane kennis kan functioneel (binnen de geldende condities) toegepast worden in een andere situatie.	Formuleren van een theorie, hypothese Generaliseren Voorspellen Beoordelen Reflecteren Theorie gebruiken in een andere situatie.	Je bent in staat om te kiezen welke structuren aangepast kunnen worden om een eigenschap van een materiaal te verbeteren.

Tabel 4. Rubric macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties.

Competentie → Niveau ↓	Macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties					
	Leerdoel	Handelings- werkwoorden	Gedragscriteria	N	V	B
Beginner (Solo 2)	Je bent in staat om structuren en eigenschappen te benoemen.	Definiëren Identificeren Benoemen Tellen Voordragen Eenvoudige instructies volgen	- Je kunt met behulp van de gegeven informatie benoemen wat de begrippen structuur en eigenschap betekenen. - Je bent in staat om van een gegeven materiaal de aanwezige structuren en eigenschappen te identificeren. - Je kunt benoemen waarom het relevant is om meer te weten over datgene waaruit het materiaal is opgebouwd om een verklaring voor een eigenschap op te stellen.			
Gevorderde (Solo 3)	Je bent in staat om structuren en eigenschappen te ordenen naar schaal te beschrijven en te structuren in een conceptueel schema.	Combineren Classificeren Structureren Beschrijven Opsommen Uitvoeren van een algoritme Toepassen van een methode/werkwijze	- Je bent in staat om structuren en eigenschappen te koppelen aan de juiste schaal waarop ze voorkomen. - Je bent in staat om een conceptueel schema te construeren waarin schaal, structuren en eigenschappen geordend zijn weergegeven. - Je bent in staat om in het conceptuele schema gegeven structuur-eigenschap relaties weer te geven.			
Examen- kandidaat (Solo 4 en 5)	Je bent in staat om op basis van een conceptueel schema inclusief structuur eigenschapsrelaties een verklaring te formuleren over de oorzaak van een eigenschap. Je bent in staat om keuzes te maken welke structuren aangepast kunnen worden om een eigenschap van een materiaal te verbeteren.	Analyseren Vergelijken Contrasteren Integreren Relateren Oorzaken uitleggen Toepassen van een theorie (in het domein)	- Je bent in staat om op basis van een zelf geconstrueerd conceptueel schema en gegeven informatie een of meer structuur-eigenschap relaties te formuleren. - Je analyseert het probleem en vertaalt dat zelfstandig in een conceptueel schema waarin structuren en eigenschap en relaties daartussen op een ordelijke manier zijn weergegeven. - Je onderzoekt verschillende alternatieve verklaringen voor een eigenschap en vergelijkt deze met elkaar. - Je kunt op basis van concrete resultaten overtuigen van de beste aanpassing van een structuur om een gewenste eigenschap te verkrijgen.			

Het gebruik van de rubric in de lessituatie

De rubric kan gebruikt worden als beoordelingsinstrument, maar ook als instrument om ontwikkeling van leerlingen zichtbaar te maken en om feedback te geven. Met behulp van de rubric kun je leerlingen laten zien in hoeverre ze de gewenste leerdoelen gehaald hebben en wat ze nog kunnen bereiken. De rubric kan gebruikt worden bij zowel open, praktische of ontwerp opdrachten als bij een toets. Dit wordt uitgelegd aan de hand van voorbeelden.

Toepassen van de rubric bij een open opdracht

Een voorbeeld van een verklaringsvraag voor een open opdracht voor een groepje leerlingen uit 5 vwo zou de volgende kunnen zijn.

Nomex, een brandwerend materiaal van Dupont, wordt ook gebruikt als wandbekleding in concertzalen vanwege de positieve invloed op de akoestiek van die zaal. Verklaar de brandwerende eigenschap van Nomex. Gebruik in die verklaring de in Nomex aanwezige structuren en maak gebruik van relevante structuur-eigenschap relaties. Een conceptueel schema maakt onderdeel uit van je verklaring.

In tabel 5 is een mogelijke rubric bij deze opdracht weergegeven. Om een voldoende (cijfer 6) te halen moet bij de eerste twee criteria ten minste een V worden gescoord en moet voor de laatste twee criteria maximaal maar één N worden gescoord. Voor elk item beter dan V wordt het cijfer met een punt verhoogd met een 10 als maximum.

Tabel 5. Rubric over het voorbeeld Nomex.

Wat?	Criterium	Niet als verwacht	Verwacht	Beter dan verwacht
Je bent in staat om structuren en eigenschappen te ordenen, naar schaal te beschrijven en te structuren in een conceptueel schema.	Je bent in staat om een conceptueel schema te construeren waarin schaal, structuren en eigenschappen geordend zijn weergegeven.			
	Je bent in staat om in het conceptueel schema gegeven structuur-eigenschap relaties weer te geven.			
	Je analyseert het probleem en vertaalt dat zelfstandig in een conceptueel schema waarin structuren en eigenschap en relaties daartussen op een ordelijke manier zijn weergegeven.			
	Je bent in staat om op basis van een zelf geconstrueerd conceptueel schema en gegeven informatie een of meer structuur-eigenschap relaties te formuleren.			

Toepassen van een rubric bij een toets

Hieronder staat een voorbeeld van een toetsopgave waarbij de rubric wordt gebruikt.

Een stuiterbal is gemaakt van polybutadieen dat ge vulcaniseerd is. De stuiterbal komt minstens tot 90% van de loslaathoogte bij de eerste stuiter. Een stuiterbal kent dus een hoge mate van veerkracht. Een stuiterbal wordt gemaakt van 100 g polybutadieen waaraan 5,25 gram zwavel is toegevoegd tijdens de vulcanisatie. Bij deze verhouding wordt de geconsumeerde energie bij de stuiter nauwelijks omgezet in warmte, maar wel in vervorming van het materiaal dat daardoor in staat is om weer terug te keren naar zijn oorspronkelijke vorm. Daardoor stuitert de stuiterbal zo hoog terug.

1. Laat door berekening zien dat niet alle dubbele bindingen door middel van zwavelbruggen met elkaar verbonden zijn. Tip: zwavelbruggen bestaan altijd uit 2 zwavelatomen.
2. Verklaar waarom een stuiterbal een zeer hoge veerkracht heeft.
3. Verklaar waarom de stuiterbal, losgelaten van de 23^e verdieping van een Australisch hotel, in staat was om bij de tweede stuiter, een geparkeerde auto totaal te vernietigen.

In tabel 6 is een mogelijke rubric bij deze opgave weergegeven.

Tabel 6. Rubric over het voorbeeld van de stuiterbal van polybutadieen

Wat?	Criterium	Niet als verwacht	Verwacht	Beter dan verwacht
Vraag 2 Je bent in staat om structuren en eigenschappen te ordenen naar schaal te beschrijven en te structuren in een conceptueel schema.	Je bent in staat om een conceptueel schema te construeren waarin schaal, structuren en eigenschappen geordend zijn weergegeven.			
	Je bent in staat om in het conceptuele schema gegeven structuur-eigenschap relaties weer te geven.			
Vraag 3 Je bent in staat om op basis van een conceptueel schema inclusief structuur-eigenschap relaties een verklaring te formuleren over de oorzaak van een eigenschap.	Je analyseert het probleem en vertaalt dat zelfstandig in een conceptueel schema waarin structuren en eigenschap en relaties daartussen op een ordelijke manier zijn weergegeven.			
	Je onderzoekt verschillende alternatieve verklaringen voor een eigenschap en vergelijkt deze met elkaar.			

3.3 Didactische aspecten bij ontwerpen en implementeren van lesmateriaal

Bij het ontwerpen en implementeren van lesmateriaal is het belangrijk om aandacht te besteden aan een aantal aspecten, dat betrekking heeft op het door leerlingen verwerven van het macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties. Hier beschrijven we een aantal belangrijke aspecten, er zullen echter meer aspecten zijn.

Het eerste aspect is het feit dat het gaat om een manier van denken en niet om het reproduceren van feiten. Het gaat er dus niet om dat leerlingen kunnen reproduceren welke structuren nu in een materiaal zitten. Leerlingen moeten juist een causale relatie leggen tussen een structuur op een bepaalde schaal en een eigenschap op een hogere schaal. Daarbij maken ze gebruik van *systeemdenken*. Het macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties is eigenlijk een domein-specifieke invulling van het systeemdenken. Oftewel, we passen systeemdenken toe in het domein van de scheikunde en scheikundige technologie. Bij het leggen van causale relaties maak je gebruik van het idee dat een systeem is opgebouwd uit kleinere subsystemen, die op hun beurt weer opgebouwd zijn uit nog kleinere subsystemen. Een (sub)systeem wordt in dit verband ook wel een structuur genoemd. Er bestaat een causale relatie tussen de subsystemen (de onderlinge ordening, regelmaat van subsystemen) en de eigenschappen van een systeem.

Een voorbeeld van een dergelijke causale relatie is een file. Alle auto's in een file zijn te beschouwen als een subsysteem van het systeem file. Alle auto's willen naar voren, maar door de onderlinge interacties (stoppen, remmen, optrekken, aansluiten van achteren) beweegt de file als geheel naar achteren met een snelheid van 17 km/uur.

Het tweede aspect is dat je gebruikmaakt van de *intuïtieve denkbeelden van leerlingen over de oorzaak van een eigenschap*. Daarmee wordt bedoeld dat als men gaat zoeken naar de oorzaak van een eigenschap men vanzelf gaat zoeken in het betreffende materiaal. Besteed daarnaast aandacht aan de intuïtieve denkbeelden van leerlingen met betrekking tot de concepten '**structuur**' en '**eigenschap**'. Met structuur wordt bedoeld: een ordening, een constructie, regelmaat. Met eigenschap wordt bedoeld: een kenmerk van een materiaal dat zich onderscheidt van andere materialen.

Het derde aspect is dat sommige eigenschappen *emergent* zijn. Dat wil zeggen dat ze voortkomen uit interacties tussen de subsystemen. De eigenschappen van de verschillende subsystemen zijn anders dan de eigenschappen van het gehele systeem: 'het geheel is meer dan de som van de delen'. Kortom het is belangrijk om aandacht te besteden aan het begrip *emergentie*.

Het vierde aspect betreft *het schalen van (sub)structuren*. Het maken van een ordening van (sub)structuren is noodzakelijk om goede causale relaties te formuleren. (Sub)structuren zijn altijd te koppelen aan een bepaalde afmeting of schaal. Het schalen van (sub)structuren van groot naar klein is een van de eerste activiteiten die leerlingen moeten uitvoeren bij het toepassen van het macro-meso-microdenken.

Het vijfde aspect is dat leerlingen de beschikking moeten hebben over *geschikte en voldoende informatie* over de bouw van een materiaal (welke structuren zijn er te herkennen en op welke schaal), voordat een leerling een ordening van structuren kan maken van een grote naar kleine schaal. De geformuleerde opdracht of taak bepaalt welke informatie nodig is. Gaat het om het opstellen van een verklaring van de sterkte van porselein, dan is informatie over zouten en de ionbinding niet nodig om een goede verklaring te formuleren. Om de elasticiteit te verklaren van een glutennetwerk in brood is informatie over de volgorde van de aminozuren in eiwitten niet nodig. Daarbij is het goed te beseffen dat het productieproces van een materiaal mede de

eigenschappen van een materiaal bepaalt. Structuren veranderen namelijk ten gevolge van verandering in temperatuur, druk of door een mechanische bewerking (walsen, spuiten, duwen). Informatie over het productieproces kan dus nuttig zijn om een bepaalde eigenschap te kunnen verklaren. Om de manier van denken te introduceren bij leerlingen, kun je heel goed beginnen met het opstellen van een verklaring van een eigenschap van een zuivere stof. Vervolgens kun je het macro-meso-microdenken toepassen bij het verklaren van eigenschappen van complexere structuren zoals ijs, slagroom, kaas of brood.

Het zesde aspect heeft betrekking op *het gebruik van modellen en metaforen*. Omdat structuren op een kleine schaal ($<10^{-4}$ m) niet meer zichtbaar zijn voor het menselijke oog, heet dat: leerlingen kunnen mentaal handelen met modellen. Modellen zijn dan ook wetenschappelijke representaties van de werkelijkheid. Daarbij worden woorden en concepten uit de macrowereld gebruikt als metaforen voor (sub)structuren, interacties daartussen en eigenschappen, die zich op kleine schaal (μm , nm) bevinden. Metaforen zijn ook modellen. Metaforen kunnen de wereld om ons heen beschrijven en begrijpelijk maken. In het dagelijkse spraakgebruik wordt veel gebruikgemaakt van metaforen. Begrippen zoals snaar, golf en ballon worden gebruikt, wanneer het gaat om (sub)structuren in materialen. Dit zijn begrippen die juist een betekenis hebben die verband houdt met het macroniveau. Metaforen kunnen heel goed gebruikt worden om abstracte begrippen te verduidelijken, maar je moet altijd aandacht besteden aan de geldigheid: wat zijn verschillen en overeenkomsten met de werkelijkheid? Wanneer is een metafoor wel of niet bruikbaar?

3.4 Voorbeelden van lesmateriaal

Door middel van het implementeren van contextgebaseerd onderwijs kunnen deze aspecten op een geïntegreerde manier aan bod komen in de klas. Natuurlijk is het ook mogelijk om een of meerdere aspecten apart te behandelen in de klas. Er is al veel lesmateriaal beschikbaar waar deze aspecten in verwerkt zijn. Hieronder zijn voorbeelden van modules gegeven. Deze modules en ander lesmateriaal zijn ook te vinden op het docentenforum van mijnscheikunde.nl.

- Een klevend netwerk
 - http://www.fisme.science.uu.nl/toepassingen/00757/documents/klevend_netwerk_1_eerling_antwoord.pdf
 - www.fisme.science.uu.nl/toepassingen/00757/documents/docenten_toa_handleiding.pdf
- Onbreekbare bekertjes
 - www.ecent.nl/servlet/supportBinaryFiles?referenceId=6&supportId=2597
- Superslurpers
 - www.fi.uu.nl/materialen/download.php?bes=10_supe0827.pdf
- Biodiesel
 - www.wageningenur.nl/nl/Onderwijs-Opleidingen/Docenten-vwo/Vakken/Scheikunde/Bioplastics.htm

4. In de lerarenopleiding

4.1 Het macro-meso-microdenken in het nieuwe en voorgaande curriculum

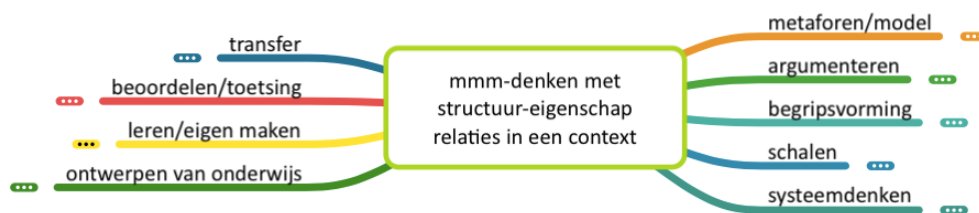
Hoe kan het macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties in het scheikunde curriculum in voortgezet onderwijs een plaats krijgen op een voor leerlingen relevante manier? Dat vereist een duidelijk beeld van hoe het macro-micro-denken in het conventionele vo-curriculum scheikunde wordt gebruikt en wat de overeenkomsten en verschillen zijn met betrekking tot het gebruik van het macro-meso-microdenken in het nieuwe curriculum, dat wat hoort bij de examenprogramma's havo en vwo vanaf 2013. In het voorgaande vo-curriculum scheikunde gebruiken leerlingen het macro-micro-denken vooral wanneer ze met behulp van het deeltjesmodel eigenschappen verklaren van stoffen en materialen. Met deeltjes wordt dan bedoeld: atomen, moleculen en ionen, die zich op microniveau (10^{-10} m) bevinden. In het nieuwe curriculum gebruiken leerlingen het macro-meso-microdenken bij het oplossen van problemen die via een context worden aangeboden. Daarbij verklaren ze nog steeds eigenschappen van stoffen en materialen, deze benadering verschilt echter op enkele punten.

Een verschil is dat leerlingen, om tot een acceptabele verklaring te komen, niet altijd hoeven in te zoomen in de structuur van een stof of materiaal tot op microniveau. De verklaring van een eigenschap kan liggen op een mesoniveau met een schaal tussen macro- en microniveau (bijvoorbeeld 10^{-3} , 10^{-6} of 10^{-8} m). Daarnaast leidt het aanbieden van een probleem via een context ertoe dat de rol van de docent en de pedagogische en didactische 'tools' die gebruikt worden in de klas, anders kunnen zijn dan in het conventionele vo-curriculum. Het gaat er immers om dat leerlingen een manier van denken op een relevante manier kunnen toepassen in een scheikundecontext. In feite geeft deze manier van denken een bepaald perspectief dat vergelijkbaar is met hoe wetenschappers kijken naar materialen en hun 'maakbare' eigenschappen. Daarnaast geeft het ook een richtlijn en een reden voor het handelen bij het oplossen van een probleem. Om toekomstige docenten hierop voor te bereiden heeft implicaties voor de lerarenopleiding.

4.2 Het integreren van het macro-meso-microdenken in de leraenopleiding

Het macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties kan op diverse plekken geïntegreerd worden in de opleiding van eerste- en tweedegraads scheikundeleraren. In figuur 10 staan diverse aspecten van de praktijk van docenten waaraan aandacht besteed wordt in de opleiding. Macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties raakt aan al deze aspecten, die ook voorkomen in andere vakken. Systeemdenken is het meest herkenbaar in het biologie curriculum. Redeneren en argumenteren komen bij alle vakken voor, ook in niet bètavakken.

Deze aspecten worden in de volgende paragraaf apart toegelicht.



Figuur 10. Diverse aspecten uit de lerarenopleiding waarmee macro-meso-microdenken met structuur-eigenschap relaties kan worden verbonden.

4.3 Didactische aspecten in de lerarenopleiding

Hieronder wordt elk aspect uit de rechterkant van figuur 10 apart toegelicht. In de bijlagen staat voor elk van deze aspecten een werkblad voor de studenten.

De toelichting gaat over de vraag waar dit aspect voorkomt in de opleiding.

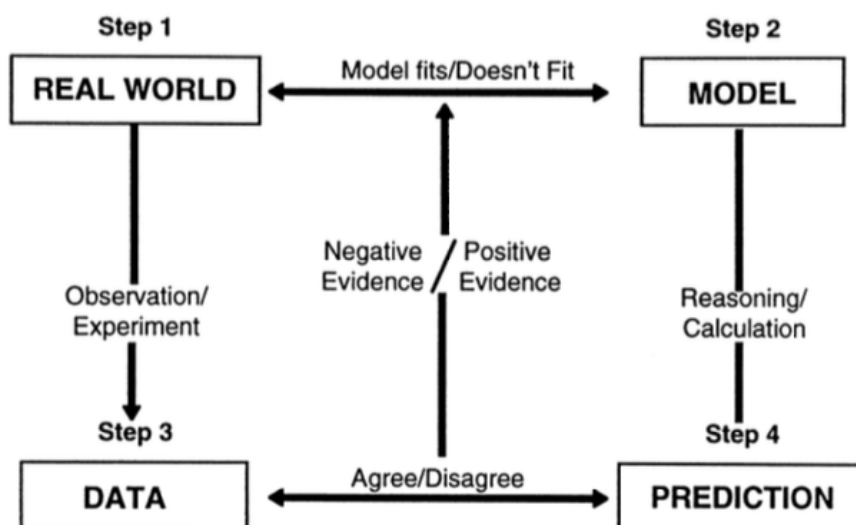
In de werkbladen zijn leerdoelen geformuleerd m.b.t. het beheersen van macro-meso-microdenken. Deze leerdoelen zijn identiek aan de exameneisen voor vwo (syllabus centraal examen 2016). In deze publicatie wordt ervan uitgegaan dat dit het minimale beheersingsniveau is dat verwacht mag worden van een leraar in opleiding.

Metaforen en modellen

Modellen komen voor bij alle bètavakken in o.a. schematische voorstellingen of tekeningen op het bord, in representaties of in schoolboeken. Ook bijvoorbeeld beelden gemaakt door middel van 'scanning electron microscopy' zijn door de mens geïnterpreteerde voorstellingen (via de door de mens geschreven software die metingen omzet in beeld). Daarnaast komen modellen voor bij het formuleren van verklaringen en het gebruik van argumenten en/of theorieën.

Argumenteren

Het opstellen van causale relaties en het toepassen van theoretische verklaringen in nieuwe situaties zijn perfecte gelegenheden om ook kritisch naar de gebruikte argumentatie te kijken. Daarnaast vormen practica bruikbare gelegenheden om op basis van observaties en data een goed beargumenteerde conclusie of goed beargumenteerde conclusies te formuleren (zie figuur 11).



Figuur 11. Schematische weergave van de interactie tussen redeneren, theorie en argument in de ontwikkeling van wetenschappelijke ideeën. Bron: Giere (2001).

Begripsvorming

Bij begripsvorming verleent je betekenis aan abstracte begrippen. Een term als 'structuur' of 'eigenschap' is abstract als je daar geen betekenis aan kunt geven. Betekenis geven gaat op basis van de waargenomen patronen, de verbanden die gelegd worden tussen datgene dat nieuw is en dat wat gekend is. Daarnaast kan een begrip in situatie 1 een andere betekenis hebben dan in situatie 2. Ook kunnen personen een andere betekenis geven aan een begrip door een verschil in interpretatie van de situatie. Water is voor een chemicus zowel een materiaal of stof (massawoord) als een naam voor een bepaalde molecuulstructuur (telbaar zelfstandig naamwoord) en voor een procestechnoloog is water een koelmiddel.

De kern van begripsvorming is dat leerlingen een nieuwe betekenis ontwikkelen en deze koppelen aan wat ze al weten over het begrip. Het is dus zaak om leerlingen de gelegenheid te bieden om te ontdekken wat ze al weten en dat uit te bouwen met nieuwe associaties. Op deze manier krijgt het begrip een uitgebreidere betekenis. Hierdoor wordt een (in eerste instantie) abstract begrip concreet voor de leerling. In feite kunnen bij elk begrip als 'stof', 'materiaal', 'chemische reactie', 'duurzaamheid', enzovoort dergelijke oefeningen ingezet worden met als doel om de betekenis en de verschillende interpretaties expliciet te maken.

Schalen

Het schalen van structuren is van belang bij het systeemdenken in de biologie (van ecosysteem via organisme via cel naar molecuul) en bij astronomie of nanotechnologie bij natuurkunde. Mensen kunnen moeilijk afstanden en groottes schatten, zeker als het over iets heel kleins of iets groots gaat. Alleen van groottes in de buurt van de menselijke maat kunnen we een goede schatting geven. Leerlingen kunnen zich dan ook moeilijk voorstellen hoe klein een molecuul is of een structuur met een afmeting van 1 μm .

Emergentie

Een voorbeeld van een emergent proces is de diffusie van een kleurstof in water. Alle betrokken moleculen veroorzaken niet zelf de beweging en verdeling van de kleurstof door het water. Het geheel van bewegingen, de botsingen tussen alle componenten kleurstof en water, veroorzaken een globaal patroon dat getypeerd wordt als beweging. Een emergente eigenschap van een materiaal ontstaat uit de verzameling van verschillende structuren van het materiaal en de interacties daartussen. Een boom heeft bijvoorbeeld andere eigenschappen dan een bos. Emergente processen komen ook voor bij natuurkunde en biologie in relatie tot systeemdenken. Voorbeelden van emergente eigenschappen in de natuurkunde zijn vloeibaarheid, kookpunt, viscositeit en kleur. Een voorbeeld uit de biologie is voortplanting: (de meeste) dieren kunnen zich alleen binnen een populatie voortplanten.

Transfer

Opgedane kennis, ervaringen en denkwijzen kun je niet zomaar een-twee-drie gebruiken en toepassen in een andere situatie of taak. Begrippen kunnen zomaar een andere betekenis krijgen (brood bakken is voor een onderzoeker die een broodverbeteraar ontwikkelt, iets anders dan voor een echte bakker). De leerling moet de gelegenheid krijgen om bij elke nieuwe situatie of taak na te gaan wat hij/zij al weet voordat hij/zij de overeenkomsten en verschillen kan benoemen met andere situaties of taken. Maar er moet nog meer gebeuren. Transfer is een van de 'grote problemen' in het onderwijs en dus in de didactiek. Het komt dus bij veel vakken en onderwerpen binnen een vak terug.

Werkbladen

De werkbladen voor de studenten staan in bijlage 2.

Referenties en bronnen

Algemeen

Kennisbasis vakdidactiek scheikunde:

<http://www.ecent.nl/artikel/2090/Kennisbasis+scheikunde+vakdidactiek/view.do>

Boersma, K., Bulte, A., Krüger, J., Pieters, M., & Seller, F. (2011). *Samenhang in het natuurwetenschappelijk onderwijs voor havo en vwo*. Utrecht: Stichting Innovatie van Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie (IOBT).

Dolfing, R. (2013). *Teachers' professional development in context-based chemistry education*. Utrecht: University of Utrecht.

Curriculum Ontwerp

Van den Akker, J. (1999). *Design approach and tools in education and training*. Dordrecht (NL): Kluwer Academic Publishers.

Wiggins, G. P., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design*. Alexandria (USA): Ascd.

Braband, C., & Dahl, D. (2008). Constructive alignment and the SOLO taxonomy: a comparative study of university competences in computer science vs. Mathematics. Koli Calling '07 *Proceedings of the Seventh Baltic Sea Conference on Computing Education Research* 88, p. 3-17.

Macro-Microdenken

Gilbert J.K., & Treagust D.F. (2009). *Multiple representations in chemical education, series: Model and modeling in chemical education*. Dordrecht: Springer.

Meijer, M. R. (2011). *Macro-meso-micro thinking with structure-property relations for chemistry education*. Utrecht (NL): Utrecht University.

Systeemdenken

Chi, M.T.H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.

Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3-19.

Voorbeelden van stof-eigenschapsrelaties

Goff, H.D. (2002). Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products, *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 7, 432-437.

Kitagawa, T., Murase, H., & Yabuki K. (1998). Morphological Study on Poly-p-phenylenebenzobisoxazole (PBO) Fiber. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics* 36, 39-48.

Sathiyakumar M., & Gnanam, F.D. (2002). Influence of MnO and TiO₂ additives on density, microstructure and mechanical properties of Al₂O₃. *Ceramics International* 28, 195-200.

Metaforen en modellen

Gentner, D., & Wolff, P. (2000). Metaphor and knowledge change. In E. Diettrich & A. Markam (Eds.), *Cognitive Dynamics: Conceptual change in human and machines* (p. 295-342). Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Justi, R., Gilbert, J.K., & Ferreira, P.F.M. (2009). The application of a 'model of modelling' to illustrate the importance of meta visualization in respect of the three types of representation. In J.K. Gilbert & D.F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education*. Series: Model and modeling in chemical education, vol. 4 (p.285-307). Dordrecht (NL): Springer.

Argumenteren

Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.

Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. London: Cambridge University press.

Giere, R.N. (2001). A New Framework for Teaching Scientific Reasoning. *Argumentation*, 15, 21-33.

Begripsvorming

Pinker, S. (2008). *The stuff of thought; language as a window into human nature*. London: Penguin Books.

Schalen

Tretter, T.R., Jones, M.G., & Minogue, J. (2006). Accuracy of Scale Conceptions in Science: Mental Manoeuvrings across Many Orders of Spatial Magnitude. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(10), 1061-1085.

Jones, M.G., & Taylor, A.R. (2009). Developing a sense of scale: Looking backward. *Journal of Research in Science Teaching* 46, 460-475.

Emergentie

Chi, M.T.H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences* 14(2), 161-199.

Bijlage 1 Macro-meso-microdenken in het scheikundeonderwijs in het kort

Typering

Waarom?

Leerproblemen van leerlingen binnen het vak scheikunde hebben veelal betrekking op twee aspecten:

- a) Het relateren van macroscopische eigenschappen aan modellen die submicroscopische structuren en eigenschappen beschrijven.
- b) Leerlingen ervaren de (sub)microscopische modellen niet als relevant voor hun leefwereld.

Chemici gebruiken het macro-meso-microdenken veelal impliciet wanneer ze eigenschappen van stoffen en materialen willen verklaren of verbeteren. Het gebruik van het macro-meso-microdenken in het onderwijs kan leerlingen helpen om op een betekenisvolle manier relaties te leggen tussen eigenschappen van stoffen en materialen op macroniveau en modellen op micro- en mesoniveau. Om deze manier van denken te kunnen gebruiken in het onderwijs moeten we het expliciet maken voor leerlingen.

Wat?

Uitgangspunt in het macro-meso-microdenken is dat een structuur van een stof of materiaal bestaat uit substructuren, die met elkaar interacteren. Daarbij spelen twee intuïtieve noties een rol, namelijk:

1. De substructuren hebben dezelfde eigenschappen als het geheel.
2. Het geheel heeft een andere eigenschap dan die van de substructuren (het geheel is meer dan de som van de delen).

Een voorbeeld waarbij de eerste notie opgaat, is de zoete eigenschap van suiker. Zowel een enkel suikermolecuul als de stof suiker, wat een stapeling is van deze moleculen, smaakt zoet.

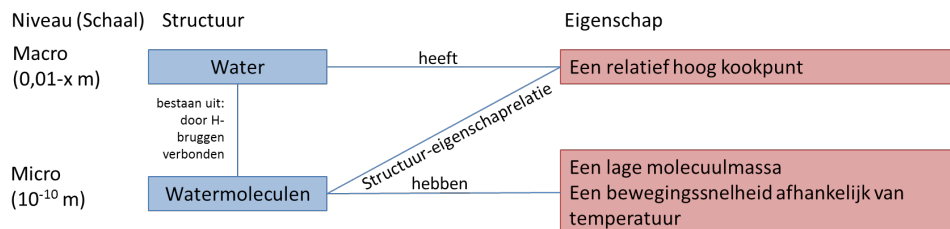
Een ander voorbeeld is de aantrekkende en afstotende krachten van een magneet. Zowel de gehele magneet als elk stukje van de magneet heeft deze eigenschap.

Echter in de scheikunde willen we vooral de tweede notie oproepen bij leerlingen. Immers de deeltjes waaruit een stof of materiaal is opgebouwd hebben een andere eigenschap dan de stof of het materiaal als geheel. De eigenschap van een stof of materiaal is te verklaren door de substructuren en de interacties daartussen op een kleinere schaal te beschrijven.

Hoe?

Om het macro-meso-microdenken expliciet te maken gebruiken we een conceptueel schema. Een conceptueel schema geeft in een blokkenschema weer hoe een structuur van een materiaal is opgebouwd uit substructuren. Daarbij worden de substructuren op macro-, meso- en microniveau onderscheiden. Op elk niveau worden de eigenschappen genoemd van de substructuren, die bijdragen aan de verklaring van de betreffende eigenschap van het materiaal als geheel. De schuine lijn in het conceptueel schema geeft een structuur-eigenschap relatie weer in de betreffende stof of het betreffende materiaal. Om leerlingen een notie te geven van de grootte van de (sub)structuren en de schaal waarop ze worden afgebeeld wordt op elk niveau tussen haakjes de schaal vermeld.

Bij de introductie van het deeltjesmodel gebruiken we vaak voorbeelden waarbij de eigenschappen van stoffen op macroniveau worden verklaard door het beschrijven van de interacterende substructuren direct op atomair of moleculair niveau (microniveau). Figuur 1 is een conceptueel schema van een veel gebruikt voorbeeld.



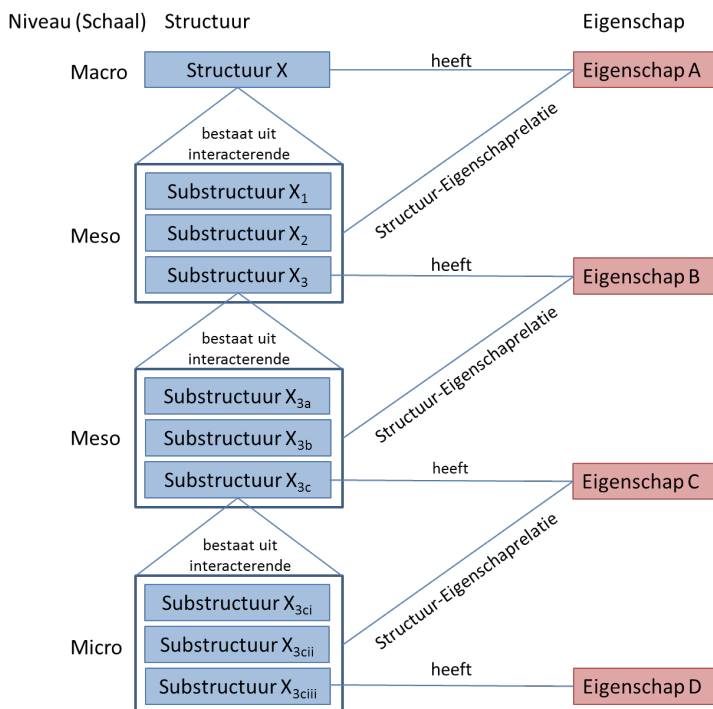
Figuur 1.

Een structuur-eigenschap relatie kun je beschrijven in termen van 'Als ... dan ...'-zinnen. In het geval van figuur 1, kun je de volgende relatie formuleren:

Als de structuur van een stof bestaat uit door H-bruggen verbonden moleculen [structuur], dan heeft de stof een relatief hoog kookpunt [eigenschap].

In de structuur van veel materialen zijn substructuren te onderscheiden tussen macro- en microniveau. Daarnaast is het afhankelijk van de betreffende eigenschap welke interacterende substructuren bijdragen aan deze eigenschap. In figuur 2 wordt een algemeen format gegeven van een conceptueel schema waarin vier niveaus worden onderscheiden en drie structuur-eigenschap relaties worden beschreven.

Format Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties



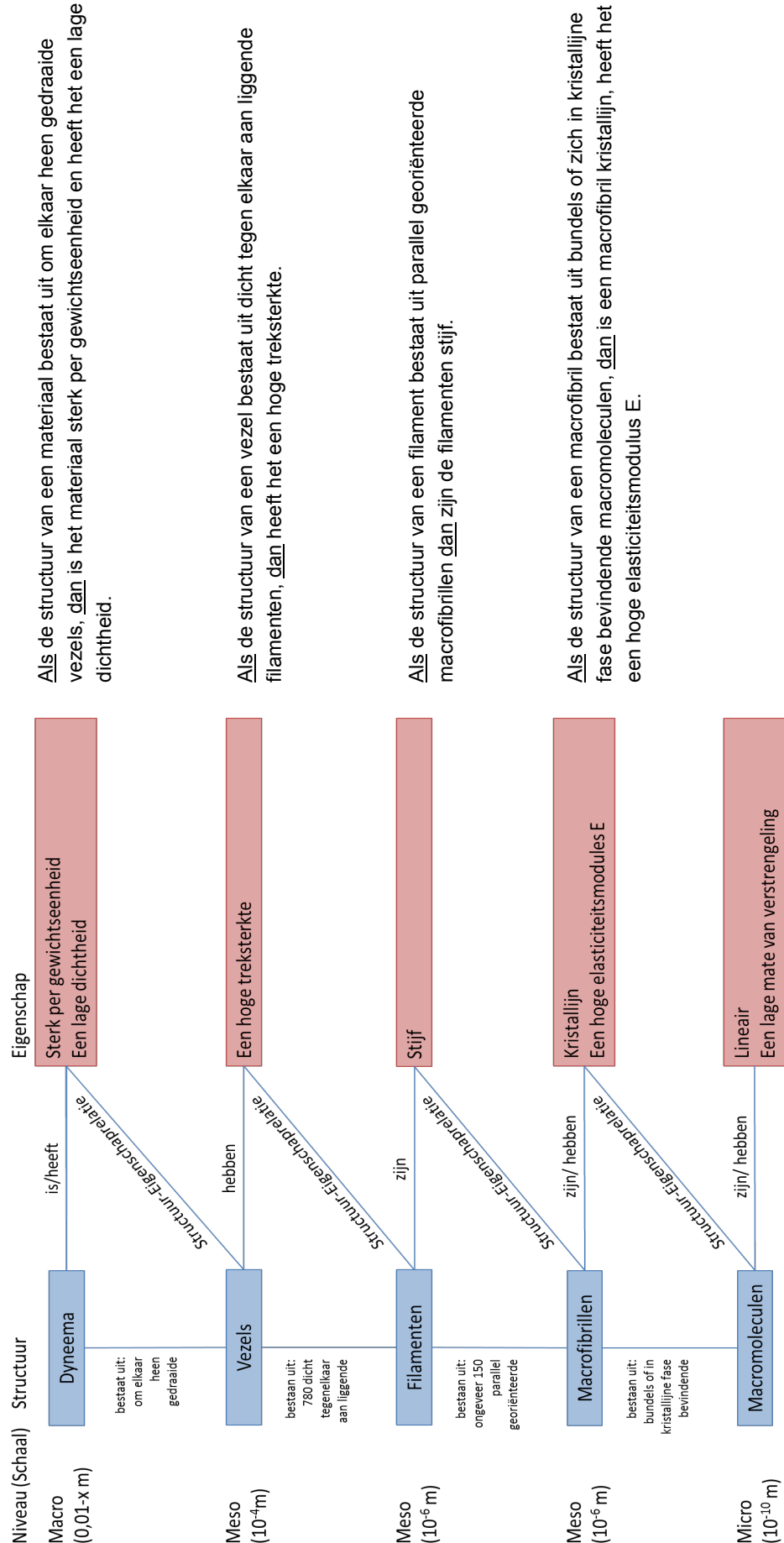
Als de structuur van materiaal X bestaat uit de interacterende substructuren X_1 , X_2 en X_3 , dan heeft het materiaal eigenschap A.

Als de substructuur van materiaal X_3 bestaat uit de interacterende substructuren X_{3a} , X_{3b} en X_{3c} , dan heeft materiaal X_3 eigenschap B.

Als de substructuur van materiaal X_{3c} bestaat uit de interacterende substructuren X_{3ci} , X_{3cii} en X_{3ciii} , dan heeft materiaal X_{3c} eigenschap C.

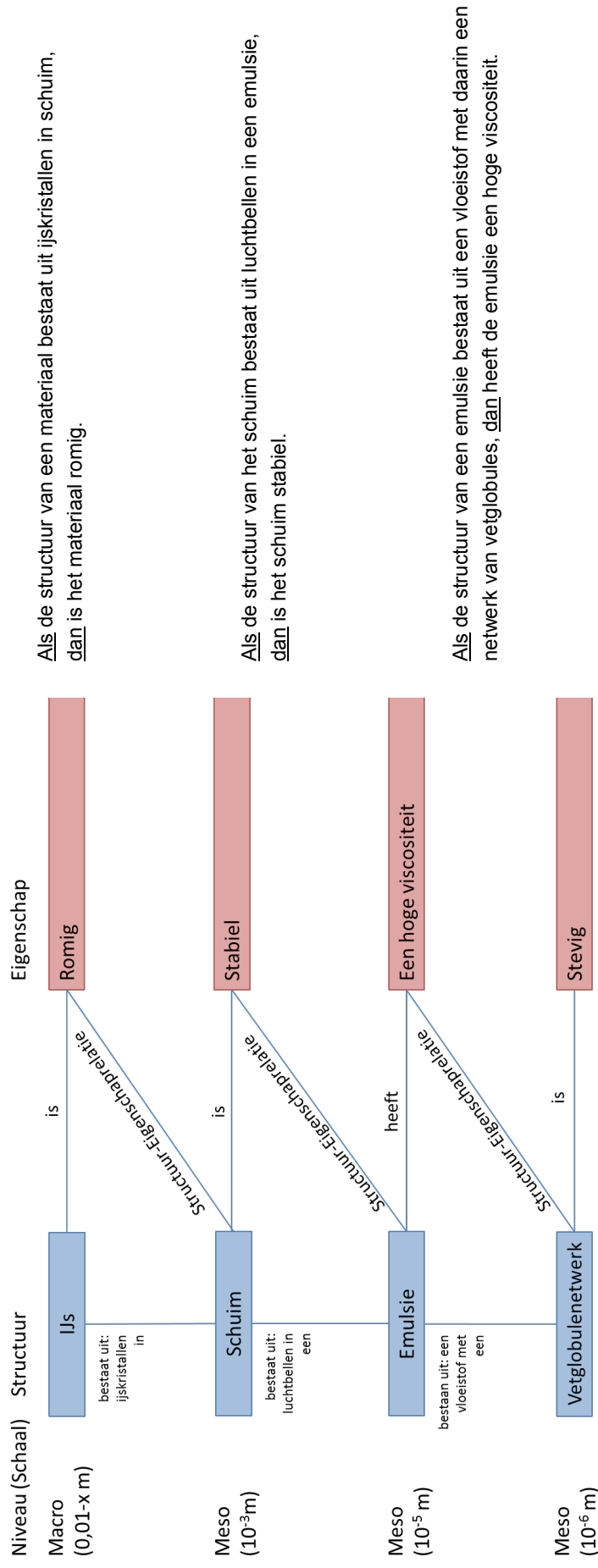
Figuur 2. Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties.

Voorbeeld Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties van Dyneema®



Bron:
Berger, L., Kausch, H.H., & Plummer, C.J.G. (2003). Structure and deformation mechanisms in UHMWPE-fibres. Polymer 44, 5877-5884.

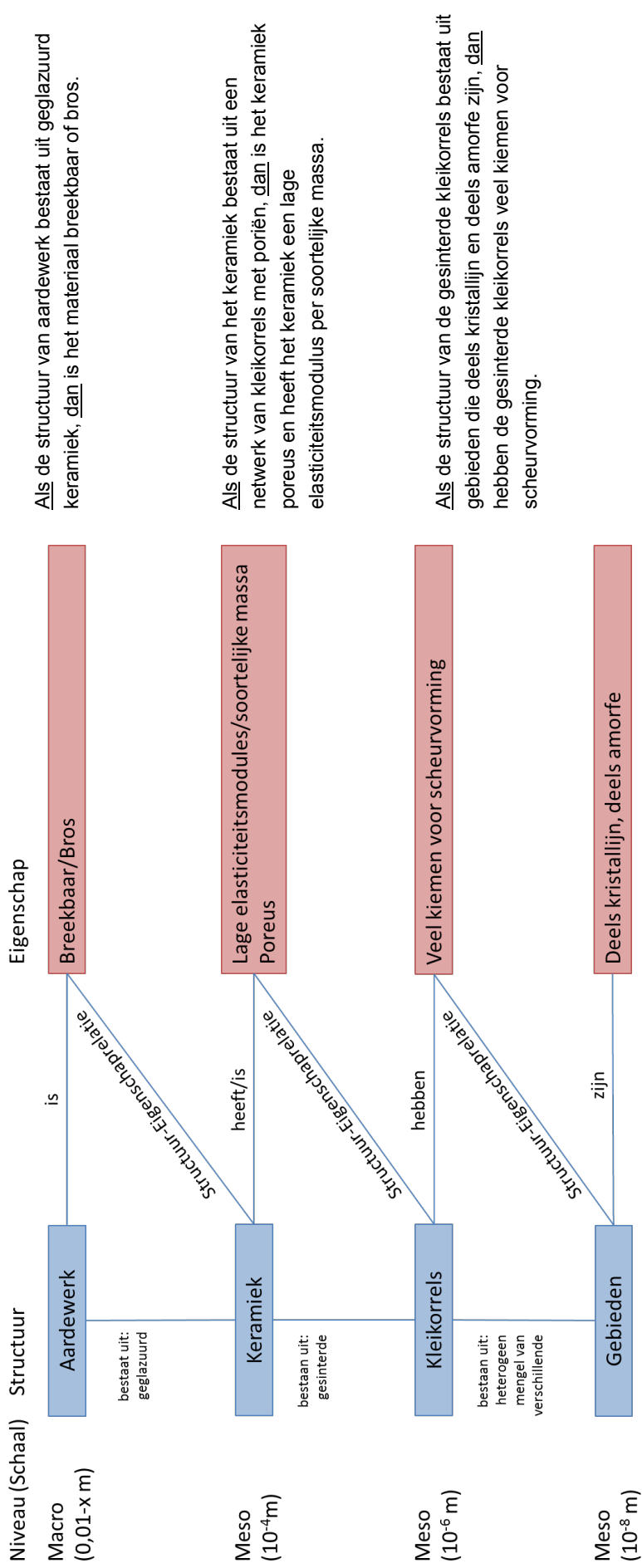
Voorbeeld Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties van roomijs



Bron:

Goff, H.D. (2002). Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 7, 432-437.

Voorbeeld Conceptueel schema van structuur-eigenschap relaties van aardewerk



Bron:

Andreeva, N.A., & Ordan'yan, S.S. (2002). Technological implications in increasing the strength of porcelain. *Refractories and Industrial Ceramics*, 43(11-12), 325-328.
Braganca, S.R., & Bergmann, C.P. (2003). A view of white wares mechanical strength and microstructure. *Ceramics International*, 29, 801-806.

Bijlage 2 Werkbladen voor leraren in opleiding

Op de volgende bladzijden zijn werkbladen afgedrukt die als opdrachten in de lerarenopleiding scheikunde gebruikt kunnen worden.

Achtereenvolgens treft u aan:

- Macro-meso-microdenken & metaforen en modellen
- Macro-meso-microdenken & argumenteren
- Macro-meso-microdenken & begripsvorming
- Macro-meso-microdenken & schalen
- Macro-meso-microdenken & emergentie
- Macro-meso-microdenken & transfer

Elk werkblad begint met een conceptmap van het betreffende aspect en is verder opgebouwd aan de hand van de volgende vragen:

- Wat heeft dit aspect met mmm-denken te maken?
- Wat is het didactische probleem?
- Wat is het leerdoel?
- Hoe zorg je er als docent voor dat leerlingen de leerdoelen halen?
- Wat kan de rol van de docent zijn?

Aan het eind van elk werkblad wordt relevante literatuur genoemd.

MACRO-MESO-MICRODENKEN & METAFOREN EN MODELLEN



Wat hebben metaforen en modellen met mmm-denken te maken?

Vaak gebruiken we metaforen om abstracte entiteiten (voorwerpen, zaken) te beschrijven. Daarom zijn metaforen belangrijk in de wetenschap en dus ook in het scheikundeonderwijs. Het gebruik van metaforen als illustratie of verduidelijking van een wetenschappelijk model op meso- of microniveau kan een rol spelen bij het door leerlingen verwerven van begrip van wetenschappelijke verklaringen, maar het kan ook averechts werken.

Wat is het didactisch probleem?

Modellen of metaforen kunnen bij leerlingen een heel andere betekenis oproepen dan bedoeld. Het schip van de woestijn lijkt in de verste verte niet op een kameel. Een planetenstelsel (zelf al niet voor te stellen) is wel iets anders dan het schillenmodel waar mee we atomen proberen te beschrijven. Tussen metaforen en de wetenschappelijke modellen zijn overeenkomsten en verschillen in de betekenis en geldigheid. Metaforen als 'verduidelijking van modellen' kunnen dus een heel eigen leven gaan leiden, omdat de overeenkomsten en verschillen niet helder zijn voor de leerling.

Wat is het leerdoel?

De leerling kan in contexten een probleem analyseren, een adequaat model selecteren en modeluitkomsten genereren en interpreteren. De leerling maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Concreet betekent dat bijvoorbeeld bij een natuurwetenschappelijk probleem dat leerlingen een model kunnen selecteren dat geschikt is om het probleem te bestuderen. Ook zijn ze in staat om met dat model toetsbare verwachtingen te formuleren over het gedrag van systemen en om een model te kunnen evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens.

Hoe zorg je er als docent voor dat leerlingen de leerdoelen halen?

Bespreek de functie van modellen: waarom en wanneer zijn ze goed om te gebruiken en hoe ontwikkel je modellen op basis van hypothesen, data-analyses en theorieën. Onderzoek of bepaalde experimenten wel of niet verklaarbaar zijn met modellen. Begin eenvoudig, een lineair verband door een punten(wolk) in een grafiek is ook al een model. In welke mate is deze lijn extrapoleerbaar? Hoe nauwkeurig dekt deze lijn de data?

Bespreek een ander, complexer model zoals VESPR en probeer deze met behulp van metaforen (ballonnen, knuppels) te verhelderen.

Ontdek samen welke metaforen wel of niet voldoen en waarom.

Wat kan de rol van de docent zijn?

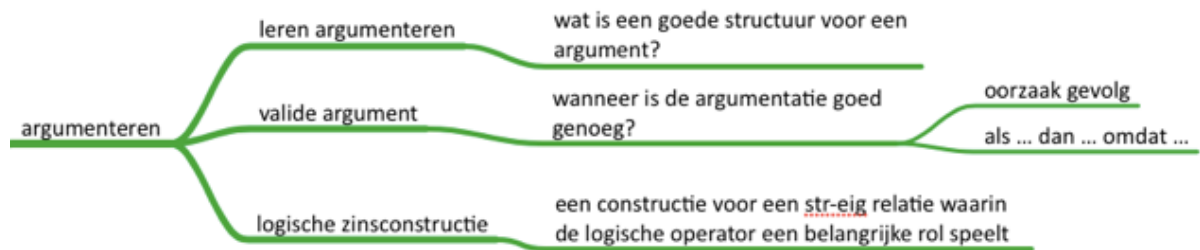
De docent kan verschillende rollen aannemen, bijvoorbeeld:

- Een faciliterende rol waarin je werkvormen aanreikt. Je kunt bijvoorbeeld verschillen en overeenkomsten bespreken met je leerlingen en aangeven wat de geldigheid is van het model.
- De rol als vragensteller of kritische vriend. In dat geval laat je leerlingen door vragen te stellen ontdekken wanneer een model wel of niet geschikt is om eigenschappen te verklaren. Er komen dan vragen naar voren als: is dit model in deze situatie wel geldig of bruikbaar?
- De rol als expert die kennis heeft over de rol van modellen, hoe wetenschap werkt, waarom we modellen gebruiken en wat de functie is van een model.

Literatuur

Gentner, D., & Wolff, P. (2000). Metaphor and knowledge change. In: E. Diettrich, & A. Markamn (Eds.). *Cognitive Dynamics: conceptual change in human and machines* (p.295-342). Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

MACRO-MESO-MICRODENKEN & ARGUMENTEREN



Wat heeft argumenteren met mmm-denken te maken?

Om causale relaties te leggen en te beschrijven tussen een structuur van een materiaal op een bepaald niveau en een eigenschap op een hoger niveau worden argumenten gebruikt. Een aantal causale relaties vormen samen een verklaring of voorspelling voor een eigenschap van het materiaal. Een causale relatie is valide als deze met behulp van waarnemingen, data-analyses of geaccepteerde theorieën en modellen beargumenteerd kan worden. Voor leerlingen is het lastig om valide redeneringen op te bouwen.

Wat is het didactisch probleem?

Het formuleren van een valide argumentatie, bestaande uit een vermoedelijke (causale) relatie tussen feiten en de claim gebaseerd op chemische theorieën of eerder aangetoonde verbanden, is lastig voor leerlingen.

Wat is het leerdoel?

De leerling kan een beargumenteerde verklaring of voorspelling geven in een situatie waarin natuurwetenschappelijke kennis een belangrijke rol speelt, dan wel een beargumenteerde verklaring of voorspelling opstellen bij vraagstukken van natuurwetenschappelijke aard; een onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten; feiten met bronnen verantwoorden; de betrouwbaarheid van informatie beoordelen en de waarde daarvan vaststellen voor de beantwoording van het betreffende vraagstuk.

Hoe zorg je er als docent voor dat leerlingen de leerdoelen halen?

Bedenk opdrachten waarin het formuleren van argumenten centraal staat, waarbij op basis van data en theorieën een claim wordt geformuleerd. Denk daarbij aan een logische constructie (en..., of... / als..., dan...). Controleer in de groep de validiteit en geldigheid (mag de onderliggende theorie wel gebruikt worden? Is er een eenduidig oorzakelijk verband? Zijn er meerdere factoren die een invloed hebben? Vraag om een toelichting, waarom vinden ze dit? Hoe weten ze dat het klopt? Een mogelijke vorm van een argument gebaseerd op Toulmin (1958) is: omdat (*data*) ..., aangezien dat (*wetmatigheid*) ..., op grond van (*theorie*) ..., daarom (*claim*). SLO heeft Toulmin gebruikt voor een eenvoudig schema (SPA+) dat leerlingen kunnen gebruiken om redeneringen op te zetten en te formuleren (SLO, 2016).

Argumenten zijn sociaal gesitueerd waardoor er niet alleen aandacht moet worden besteed aan de cognitieve juistheid (Toulmin, 1958), maar ook aan het begrijpen van argumenten en de sociale vaardigheden die leerlingen nodig hebben om dergelijke argumenten te formuleren in groepsverband.

Wat kan de rol van de docent zijn?

Je kunt als docent verschillende rollen aannemen, bijvoorbeeld:

- Een faciliterende rol waarin de docent werkvormen aanreikt. Je kunt bijvoorbeeld leerlingen een conceptueel schema laten uitpluizen of een stukje literatuur. Laat ze

de verbanden benoemen en ontrafelen in de elementen: onderbouwing (wetmatigheid), theorie, claim en data (Toulmin, 1958), laat ze kijken naar de constructie (taaltechnisch). Als docent moet je de leerlingen helpen met het construeren. Je mag ook laten zien hoe wetenschappers zijn gekomen tot bepaalde argumenten en theorieën.

- De rol als vragensteller of kritische vriend. In dat geval kun je vragen stellen als: Waarom denk je dat dit verband er is? Waarop baseer je dat? In welke mate geldt dit verband ook voor ... Is het verband ook aantoonbaar in andere situatie? Waarom denk je dat? Hoe kun je dit onderbouwen? Waarom ben je het wel of niet eens met hem/haar?
- De rol als expert die kennis heeft over: causale relaties die een rol spelen in het wetenschappelijke (denk)proces. Je kunt verschillen aanreiken tussen de diverse (incomplete) vormen van argumenten zoals probleemstellingen, hypotheses, bevindingen en conclusies.

Literatuur

Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education* 84, 287-312.

SLO (2016). *Systematische Probleem Aanpak Plus (in voorbereiding)*, verkrijgbaar via h.schalk@slo.nl.

Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. London: Cambridge University Press.

Giere, R.N. (2001). A New Framework for Teaching Scientific Reasoning. *Argumentation* 15, 21-33.

MACRO-MESO-MICRODENKEN & BEGRIPSVORMING



Wat heeft begripsvorming met mmm-denken te maken?

Bij begripsvorming verleen je betekenis aan abstracte begrippen. Een term als 'structuur' of 'eigenschap' is abstract als je daar geen betekenis aan kunt geven. Betekenis geven gaat op basis van de waargenomen patronen, de verbanden die gelegd worden tussen datgene wat nieuw is en wat gekend is. Daarnaast kan een begrip in situatie 1 een andere betekenis hebben dan in situatie 2. Ook kunnen personen een andere betekenis geven aan een begrip door een verschil in interpretatie van de situatie. Een term als koudwatervrees krijgt in de winter bij een Finse sauna een andere betekenis dan bij een eerste sollicitatiegesprek. Water is voor een chemicus zowel een materiaal of stof (massawoord) als een naam voor een bepaalde molecuulstructuur (telbaar zelfstandig naamwoord) en voor een procestechnoloog is water een koelmiddel. Het eigen waardesysteem van ervaringen en noties van de betreffende persoon bepaalt dus hoe naar een begrip wordt gekeken en welke betekenis eraan wordt gegeven ('een bruggetje maken' is voor een docent anders dan voor een aannemer). Het perspectief waarmee je naar een situatie kijkt, bepaalt hoe het verklaringsraamwerk wordt opgesteld ('oh, dan zal het wel zo in elkaar zitten ...'). Daarbij komt dat in onze taal namen van materialen als water en ijzer (welke als een geheel worden gezien = massawoord), niet impliceren dat het ook uit deeltjes bestaat. Een massawoord als ijzer, grind of water houdt dus niet gelijk een meervoud in, omdat een meervoud wordt opgevat als een reeks entiteiten die onderscheidbaar en telbaar zijn. Het is dus vreemd voor leerlingen om te spreken over 'dit molecuul reageert met water'. Voor een chemicus is dit normaal taalgebruik.

Wat is het didactische probleem?

Begripsvorming en betekenis verlenen aan nieuwe abstracte begrippen is persoons- en situatieafhankelijk en wordt bepaald door persoonlijke ervaringen en noties. De gebruikte taal kan het systeemdenken en het begrip voor het idee dat een geheel bestaat uit delen, verhinderen.

Wat is het leerdoel?

Leerlingen zijn in staat om bepaalde essentiële termen zoals 'structuur' en 'eigenschap' van een betekenis te voorzien en deze begrippen vervolgens op de gewenste wijze en in de gewenste situatie te gebruiken.

Hoe zorg je er docent voor dat leerlingen de leerdoelen halen?

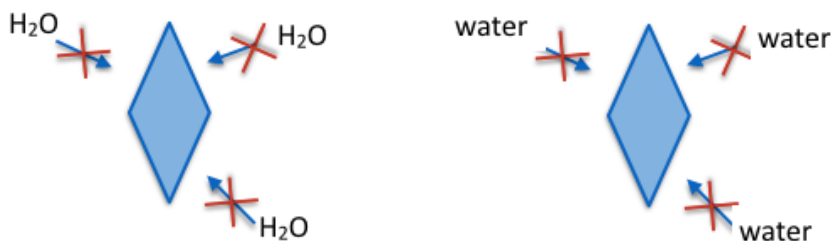
Vraag aan de leerlingen wat hun idee is over de betekenis van een begrip. Waarom denken ze dat? Hoe komen ze aan deze betekenis (zonder een oordeel te geven)? Probeer op basis van hun notie van het begrip d.m.v. associaties naar een wetenschappelijk correcte betekenis van dat begrip te komen. Andere tools kunnen zijn 'concept mapping' en visualiseren van de betekenis van begrippen in bijvoorbeeld mind maps.

De kern van begripsvorming is dat leerlingen een nieuwe betekenis ontwikkelen en deze koppelen aan datgene dat ze al weten over het begrip. Bied dus de gelegenheid aan leerlingen om te ontdekken wat ze al weten, kies daar een belangrijk facet uit en bouw dat uit met nieuwe associaties. Op deze manier krijgt het begrip een uitgebreidere betekenis. Hierdoor wordt een (in eerste instantie) abstract begrip concreet voor de leerling.

Wat kan de rol van de docent zijn?

De docent kan verschillende rollen aannemen, bijvoorbeeld:

- Een faciliterende rol waarin de docent werkvormen aanreikt. Je kunt leerlingen een aantal foto's geven uit een fotodatabase zoals Flickr.com, waarbij fotografen hun afbeelding voorzien hebben van trefwoorden zoals 'structuur' en 'eigenschap'. Stel vervolgens de vraag: waarom hebben die mensen juist die foto's voorzien van dat trefwoord? Je kunt daarbij de volgende vragen stellen: Waar denk je aan bij het woord 'woord'? Kun je 'woord' omschrijven? Hoe denkt je buurman over 'woord'? Waarom denkt hij/zij dat?
- De rol als vragensteller of kritische vriend. Je kunt bijvoorbeeld de volgende vragen stellen: Wat is het verschil tussen begrippen als 'ballen' en 'water', 'ijzer' en 'ijzeratomen'? Waarom zijn de begrippen water en ijzer zo verwarrend voor leerlingen? En niet voor chemici?
- De rol van expert die kennis heeft over: het taalgebruik van chemici, het beschrijven van gebeurtenissen op micro- en mesoniveau, de betekenis van bepaalde begrippen. Belangrijk is om onderscheid te maken of een begrip behoort tot de massawoorden (water, ijzer) of opgevat kan worden als een meervoud, dus in principe telbaar is (kristallen, deeltjes, vezels, helices, bèta-sheets). In het voorbeeld van het maken van roomijs, kun je een voorbeeld tekenen van water dat eigenlijk niet naar een ijskristal mag diffunderen om te verhinderen dat het ijskristal kan groeien (zie figuur). Wat zou een goede notatie zijn als het hier gaat om een ijskristal met een afmeting van max. 0,1 mm? Welke notatie is dan beter en waarom?

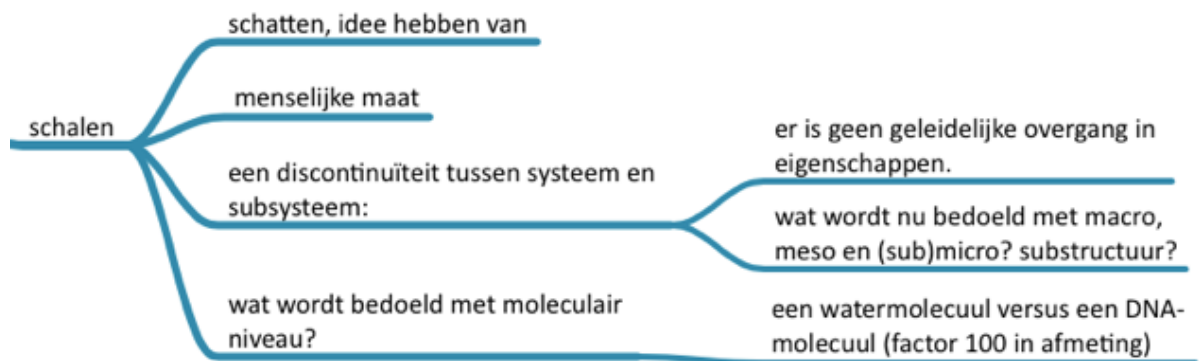


Twee verschillende representaties van het niet kunnen groeien van een ijskristal.

Literatuur

Pinker, S. (2008). *The stuff of thought; language as a window into human nature*. London: Penguin Books.

MACRO-MESO-MICRODENKEN & SCHALEN



Waarom is dit aspect belangrijk?

Mensen kunnen moeilijk afstanden en groottes schatten, zeker als het over iets heel kleins of iets groots gaat. Alleen van groottes in de buurt van de menselijke maat kunnen we een goede schatting geven. Leerlingen kunnen zich dan ook moeilijk voorstellen hoe klein een molecuul is of een structuur met een afmeting van 1 μm .

Wat is het didactisch probleem?

De verhouding in groottes tussen structuren en kleinere (sub)structuren schatten is lastig voor leerlingen zodra er geen koppeling te maken is met de menselijke maat. Daarbij blijkt dat het steeds 10 keer in- of uitzoomen niet een continuproces is. Het 'hoppen' naar een andere schaal door in of uit te zoomen is discontinu: bouwstenen waaruit een structuur opgebouwd is, hebben een andere eigenschap dan het geheel. De grotere of kleinere structuur is niet zichtbaar. Dat maakt het inzicht in de onderlinge verbanden tussen structuren op verschillende schalen lastig.

Wat is het leerdoel? Wat wordt er van leerlingen verwacht?

Leerlingen zijn in staat afmetingen van en verhoudingen tussen structuren op verschillende schalen te schatten en structuren met bijbehorende afmetingen te ordenen.

Hoe zorg je er docent voor dat leerlingen de leerdoelen halen?

Experts maken een mentale sprong naar de betreffende schaal. Ze gaan op zoek naar referentiepunten waarvan ze weten wat de afmetingen zijn. Experts weten ook welke structuren nog net zichtbaar zijn met een bepaalde techniek. Ze koppelen dus dergelijke structuren aan de afmetingen van voor hen bekende objecten. Het ontbreekt leerlingen aan referentiepunten en aan kennis over objecten die een soortgelijke afmeting hebben (bijvoorbeeld dikte van een haar, een afmeting van een cel of bacterie). Schaling kan een manier zijn om dergelijke referentiepunten bij leerlingen zichtbaar te maken. Ze categoriseren feitelijk de structuren op schaal en ontwikkelen daardoor referentiepunten. Je kunt leerlingen op verschillende manieren ondersteunen in het schalen van objecten:

- Door het aanreiken van afbeeldingen van (vergelijkbare) structuren op macro-, meso- en microniveau met de juiste afmeting. Laat de leerlingen hierover praten en het aangereikte koppelen aan datgene wat ze al weten over afmetingen.
- Laat ze afbeeldingen ordenen naar grootte en koppel deze aan afmetingen waarvan ze de grootte wel kunnen schatten of herkennen (een haar, een vezel, microscoopafbeeldingen) waarin structuren van 0,1 mm zichtbaar zijn.

- Praat met hen over de verhoudingen tussen objecten (hoeveel keer groter of kleiner)? Begin met een mm, gebruik linialen en leer ze eerst afmetingen van voorwerpen te schatten. Daarna kun je hetzelfde doen op een 10 keer kleinere schaal, 100 keer kleinere schaal, enzovoort.
- Door het aanduiden van de betreffende schaal als machten van 10, geeft een goed beeld van het niveau waarop (sub)structuren zich bevinden, maar de leerling moet eerst een idee hebben hoe groot iets is ten opzichte van een ander object anders zegt hen een afmeting als ' 10^{-5} m' of ' 10^{-7} m' nog niets.

Wat kan de rol van de docent zijn?

De docent kan verschillende rollen aannemen, bijvoorbeeld:

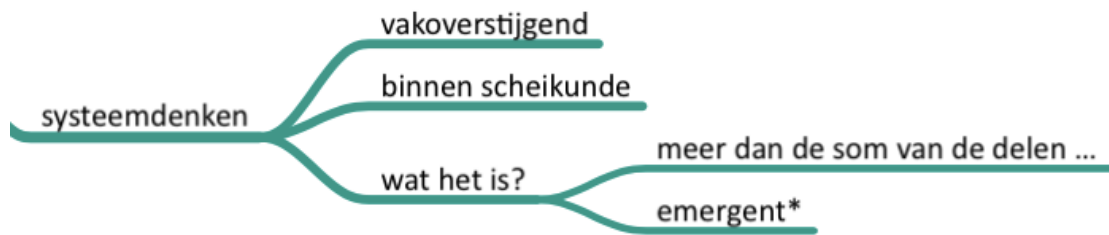
- Een faciliterende rol waarin de docent werkvormen aanreikt. Laat de leerlingen de structuren ordenen van groot naar klein of omgekeerd. Geef voorbeelden, laat zelf ordenen en in dialoog bespreken. Koppel deze voor zover mogelijk aan de menselijke maat. Rijk zo veel mogelijk voorbeelden aan die de leerling zich wel kan voorstellen.
- De rol als vragensteller of kritische vriend. Je kunt vragen stellen als: Waaruit is dit materiaal opgebouwd? Zijn deze objecten nu moleculen of zijn het andere structuren? Hoe groot denk je dat deze structuur is? Waarom denk je dat? Waaraan kun je dit koppelen (leg een verband tussen een eerder object met een bepaalde afmeting)? Hoeveel keer is dit kleiner of groter?
- De rol als expert die kennis heeft over: de grootte van veel voorkomende structuren (bolletjes, vezels, grensvlakken en moleculen).

Literatuur

Tretter, T.R., Jones, M.G., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching* 43, 282-319.

Jones, M.G., & Taylor, A.R. (2009). Developing a sense of scale: Looking backward. *Journal of Research in Science Teaching* 46, 460-475.

MACRO-MESO-MICRODENKEN & EMERGENTIE



Wat heeft emergentie te maken met mmm-denken?

Emergente processen verschillen van directe processen. Directe processen hebben een duidelijk causaal karakter. Bijvoorbeeld het samentrekken van de hartkamer zorgt ervoor dat het bloed een richting uitstroomt. Een voorbeeld van een emergent proces is de diffusie van een kleurstof in water. Alle betrokken moleculen veroorzaken niet zelf de beweging en verdeling van de kleurstof door het water. Het geheel van bewegingen, de botsingen tussen alle componenten kleurstof en water, veroorzaken een globaal patroon dat getypeerd wordt als beweging. Een emergente eigenschap van een materiaal ontstaat uit de verzameling van verschillende structuren van het materiaal en de interacties daartussen. Een boom heeft bijvoorbeeld andere eigenschappen dan een bos.

Wat is het didactische probleem?

Bij emergente processen kan het gedrag van een geheel anders zijn dan dat van de delen. Veel emergente mechanismen worden echter gezien als directe processen. Emergente eigenschappen zijn veel beter te beschrijven als een mechanisme dan als concrete entiteiten met een bepaalde eigenschap.

Wat is het leerdoel? Wat wordt van leerlingen verwacht?

Leerlingen zijn in staat om een onderscheid te maken tussen directe (causale) processen en emergente processen. Leerlingen kunnen interacties tussen structuren benoemen en herkennen. Leerlingen zijn in staat om eigenschappen te relateren aan een interactie tussen structuren op een kleinere schaal.

Hoe zorg je er docent voor dat leerlingen de leerdoelen halen?

Ten eerste, leerlingen moeten onderscheid kunnen maken tussen de gehele structuur en de substructuren van een materiaal. Ze krijgen dan inzicht in de structuur en de onderlinge ordening van de substructuren. Een tweede stap is het identificeren van de interacties tussen de substructuren. Leerlingen moeten dus begrip ontwikkelen over welke interacties tussen de substructuren kunnen ontstaan. Het gaat erom dat leerlingen begrijpen welke substructuren interacteren en hoe de interacties elkaar beïnvloeden. Ten derde moeten ze begrijpen dat een eigenschap van het geheel niet verklaard kan worden door het bestuderen van een enkele substructuur, maar dat die eigenschap voortkomt uit de organisatie van en de interacties tussen de substructuren.

Wat kan de rol van de docent zijn?

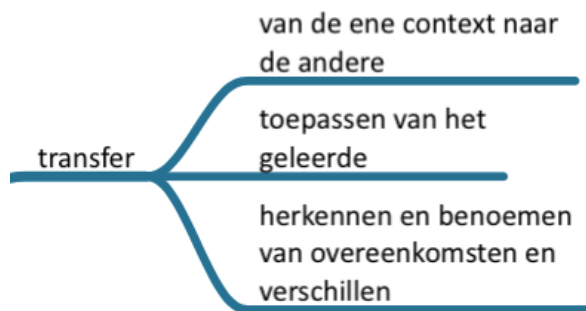
De docent kan verschillende rollen aannemen, bijvoorbeeld:

- Een faciliterende rol waarin de docent werkvormen aanreikt. In dat geval kun je de leerling ondersteunen en faciliteren in het maken van een verdeling van de structuur (geheel) en substructuren (onderdelen ervan). Help leerlingen ordenen door vragen te stellen als: Wat zit waar? Wat is nu uit wat opgebouwd? Zitten deze structuren pal naast elkaar of zit er nog iets tussen? Welke veranderingen kunnen onderdelen ondergaan onder invloed van naburige onderdelen? Waardoor kunnen deze interacties ontstaan, waardoor worden ze veroorzaakt? Wat gebeurt er met de structuur als de omgeving verandert? Bijvoorbeeld: vezels die parallel georiënteerd zijn kunnen door druk uiteengedrukt worden, tenzij ze aan elkaar zitten of op hun plek worden gehouden, ze kunnen breken tenzij er iets is wat dat verhindert. Ontstaan er dus veranderingen ten gevolge van de interactie ...?
- De rol als vragensteller of kritische vriend. In dat geval kun je vragen stellen als: Wat is de structuur? Waaruit is het opgebouwd? Welk onderscheid kun je maken tussen de substructuren? Wat zijn de eigenschappen van de structuur? Wat zijn eigenschappen van de afzonderlijke substructuren? Wat kun je met een substructuur doen? Deze substructuur en de gehele structuur lijken op ... (relatie leggen met macroscopische objecten die soortgelijke eigenschappen hebben)? Welke interacties kunnen er tussen de onderdelen bestaan? Waardoor worden die veroorzaakt? Wat zijn mogelijke effecten van die interacties?
- De rol als expert die kennis heeft over: het verschil tussen directe en emergente eigenschappen, voorbeelden van beide types kunnen benoemen en herkennen.

Literatuur

Chi, M.T.H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.

MACRO-MESO-MICRODENKEN & TRANSFER



Wat heeft transfer met mmm-denken te maken?

Opgedane kennis, ervaringen en denkwijzen kun je niet zomaar een-twee-drie gebruiken en toepassen in een andere situatie of taak. Begrippen kunnen zomaar een andere betekenis krijgen (brood bakken is voor een onderzoeker die een broodverbeteraar ontwikkelt, iets anders dan voor een echte bakker). De leerling moet de gelegenheid krijgen om bij elke nieuwe situatie of taak na te gaan wat hij/zij al weet voordat hij/zij de overeenkomsten en verschillen kan benoemen met andere situaties of taken. Maar moet er nog meer gebeuren ...?

Wat is het didactisch probleem?

De betekenis van begrippen wordt bepaald door de situatie of context. Oppervlakkige herkenning van overeenkomsten en verschillen tussen situaties gaat over het algemeen wel, maar de diepere overeenkomsten of verschillen in betekenissen of manier van denken (bijvoorbeeld de oorzaak van de stabiliteit van slagroom en roomijs) in verschillende situaties herkennen is veel lastiger. Een bijkomend probleem kan zijn dat een concept in de ene situatie een net andere betekenis heeft dan in de andere. Bijvoorbeeld: vetten in roomijs zijn net anders dan vetten in een celmembraan. Betekenis van concepten moeten dus aangepast worden als ze in een nieuwe situatie gebruikt worden. Dat geldt min of meer ook voor structuren en substructuren van een materiaal. De manier van denken om eigenschappen van de structuren te verklaren is in beide gevallen wel hetzelfde.

Wat is het leerdoel?

Leerlingen zijn in staat om het macro-meso-microdenken toe te passen in verschillende situaties. Ze kunnen daarbij overeenkomsten en verschillen aangeven tussen deze situaties, de (sub)structuren en eigenschappen, de structuur-eigenschap relaties en de schaal.

Hoe zorg je er als docent voor dat leerlingen de leerdoelen halen?

Geef de leerlingen de tijd om verschillen en overeenkomsten aan te geven tussen beide situaties. Ze kijken daarbij terug naar de vorige situatie en geven aan wat er anders is in de nieuwe situatie. Laat ze onderzoeken wat hetzelfde is en wat aangepast moet worden. In feite moet je leerlingen goed voorbereiden en ondersteunen bij het interpreteren van de nieuwe situatie door ze terug te laten kijken, vooruit te laten kijken en de verschillen en overeenkomsten te laten benoemen in de manier van denken bij het oplossen van problemen in vergelijkbare situaties en in de verschillende

betekenissen van concepten. Je biedt als docent een brede, maar niet volledige oriëntatiefase op de nieuwe situatie.

Wat kan de rol van de docent zijn?

De docent kan verschillende rollen aannemen, bijvoorbeeld:

- Een faciliterende rol waarin de docent werkvormen aanreikt. Laat de leerling beschrijven wat ze al weten en hebben geleerd in de oude situatie (qua concepten, manier van denken, structuren en substructuren, structuur-eigenschap relaties en oplossingsmethodes). Laat de leerling ontdekken wat ze in de nieuwe situatie wel en niet kunnen gebruiken. Je kunt vragen stellen als: Wat is de kern in beide situaties? Wat zijn de verschillen en overeenkomsten? Hoe moeten we ons denkproces aanpassen zodat het wel past op de nieuwe situatie?
- De rol als vragensteller of kritische vriend. Je kunt kritische vragen stellen als: Hoe heb je de vorige situatie opgelost: wat werd er gevraagd? Hoe ben je tot een oplossing gekomen? Wat was die oplossing? Wat heb je gedaan? Wat is nu het vraagstuk? Wat weet je niet en wat weet je wel? Omschrijf wat je wel weet en wat niet? Is dit wel hetzelfde of toch niet? Wat is het verschil en waarin komt het wel overeen? Waarom denk je dat? Wat kun je gebruiken uit de oude situatie om de nieuwe te gaan oplossen? Hoe ga je het oplossen? Waarom denk je dat?
- De rol als expert die kennis heeft over: (leer)activiteiten, een manier van handelen of denken, concepten, overeenkomsten en verschillen tussen twee situaties.

SLO heeft als nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling een publieke taakstelling in de driehoek beleid, praktijk en wetenschap. SLO heeft een onafhankelijke, niet-commerciële positie als landelijke kennisinstelling en is dienstbaar aan vele partijen in beleid en praktijk.

Het werk van SLO kenmerkt zich door een wisselwerking tussen diverse niveaus van leerplanontwikkeling (stelsel, school, klas, leerling). SLO streeft naar (zowel longitudinale als horizontale) inhoudelijke samenhang in het onderwijs en richt zich daarbij op de sectoren primair onderwijs, speciaal onderwijs en voortgezet onderwijs. De activiteiten van SLO bestrijken in principe alle vakgebieden.

Piet Heinstraat 12
7511 JE Enschede

Postbus 2041
7500 CA Enschede

T 053 484 08 40
E info@slo.nl
www.slo.nl

 [company/slo](https://www.linkedin.com/company/slo)

 [SLO_nl](https://twitter.com/SLO_nl)

slo