

Over de fysische chemie : onderwijs, onderzoek en overheid

Tuinier, R.

Gepubliceerd: 03/06/2016

Document Version

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the author's version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Intreerede
prof.dr.ir. Remco Tuinier
3 juni 2016

/ Faculteit Scheikundige Technologie

TU e Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

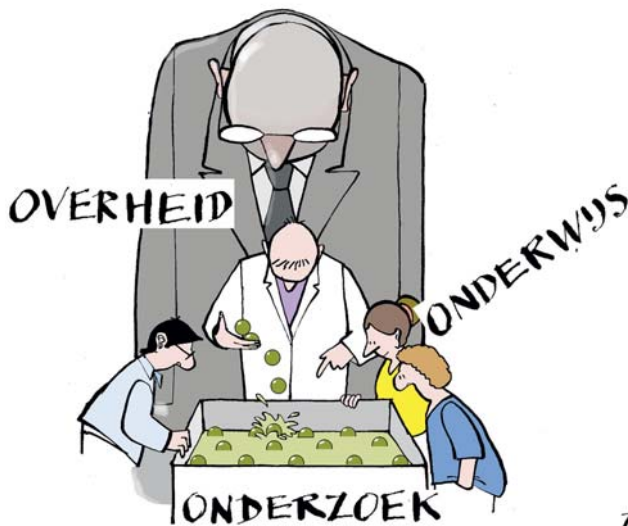
Over de Fysische Chemie: Onderwijs, Onderzoek en Overheid

Where innovation starts

Intreerede prof.dr.ir. Remco Tuinier

Over de Fysische Chemie: Onderwijs, Onderzoek en Overheid

**Uitgesproken op 3 juni 2016
aan de Technische Universiteit Eindhoven**



Met dank aan:

- Jan Zandstra (Zandstra cartoons), voor de inspirerende cartoons en nuttige suggesties
- dr.ir. Chris G.J. Bisperink, dr. Catarina Esteves, Emma C. Giakoumatos en dr. Mark Vis voor het kritisch lezen van vroegere versies
- Pleunie Smits voor de ondersteuning bij organisatie van de intreedere en mini-symposium
- De ICMS animatiestudio voor het maken van de depletie-animatie en DES-illustratie vertoond tijdens de oratie

Inleiding

“Langzaam sterft de aarde.” Zo opende Koningin Beatrix een kersttoespraak eind jaren 80 van de vorige eeuw. Het was de periode waarin ik ging studeren in Wageningen. Ik kwam terecht in een omgeving waar met stemverheffing werd gesproken over het milieu. In Wageningen werd het mij duidelijk dat de fossiele brandstoffen, evolutionair opgebouwd in miljoenen jaren, er door ons in korte tijd doorheen worden gejaagd. En dat we toekomstige generaties opzadelen met een energieprobleem. De uitspraak van het staatshoofd over het sterven van de aarde was, zeker in de jaren 80, gewaagd: onheilsprofeten waren toen niet populair. Klopt de uitspraak dat de aarde sterft eigenlijk wel? De gezondheid van de aarde wordt nogal eens gekoppeld aan de concentratie koolstofdioxide of CO_2 in de lucht, die steeds meer aan het toenemen is¹. De concentratie aan CO_2 in de lucht is duizenden jaren lang ongeveer 3 (massa)promille geweest. Sinds de industriële revolutie is deze eerst voorzichtig gaan stijgen, maar de laatste decennia stijgt de concentratie op snelle wijze naar 4 promille en dat is zorgelijk. Het voornaamste probleem is dat dit leidt tot opwarming van de aarde met dramatische gevolgen.

Vooraf vanaf de jaren 90 kwam het molecuul CO_2 negatief in het nieuws. In het NOS-journaal werd in die jaren regelmatig gesproken over “het giftige CO_2 ”. Dat was ten onrechte. De zuurstof die we inademen is voor ons brandstof die omgezet wordt in o.a. CO_2 ; ons lichaam zit er dus vol mee. Over het giftige CO_2 stelden van Kooten en De Bie in hun tv-programma ‘Keek op de Week’ ons gerust: dit CO_2 kon gewoon ontsnappen via het gat in de ozonlaag.

Wat is nu precies de oorzaak van de hogere CO_2 -concentratie? De thermodynamica heeft een aantal hoofdwetten waarvan Einstein zei dat dit de enige natuurwetten waren die hij volledig vertrouwde. De eerste hoofdwet zegt dat energie behouden is. Dat betekent dat er geen energieprobleem is, want er is behoud van energie. Echter, elke keer dat energie wordt omgezet in een andere vorm, is er steeds minder energie beschikbaar om arbeid mee te verrichten en wordt steeds meer

¹ D. Lüthi, M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J.-M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, J. Jouzel, H. Fischer, K. Kawamura, T.F. Stocker, High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present, *Nature* **453** (2008) 379–382.

energie omgezet in warmte². Bij energie-omzettingen waarbij fossiele brandstoffen worden gebruikt, komt CO₂ vrij en wordt potentiële chemische energie omgezet in vooral warmte en wat kinetische energie. Samenvattend: de CO₂-concentratie is een goede energie-degradatiemeter. En om antwoord te geven op de eerder gestelde vraag: ja, de aarde is stervende, want de energie-degradatiemeter loopt flink op.

De chemie heeft lang in een kwaad daglicht gestaan als het gaat om haar milieu-belasting. Bij CO₂-uitstoot en verbruik van fossiele brandstoffen werd vooral gekeken naar grote chemische concerns. Ik geloof echter, samen met veel van mijn collega's, dat de chemie en chemische technologie juist veel duurzame oplossingen bieden voor de wijze waarop we omgaan met energie en het gebruik van materialen. Als de mens besluit tot een grote verandering in het gebruik van bepaalde stoffen, vertoont de natuur een enorm herstellend vermogen. Zo is het gat in de ozonlaag aan het herstellen, doordat CFK's³, die bijvoorbeeld veel werden gebruikt als drijfgas in spuitbussen, zijn vervangen door nieuwe, milieuvriendelijkere producten. Evenwichten kunnen dus verschoven worden. Vanuit de fysische chemie wil ik u later in deze oratie enige voorbeelden van ons onderzoek geven, die uiteindelijk kunnen helpen de wereld duurzamer te maken. Met een duurzamer product of proces bedoel ik dat het milieu minder wordt belast.

In deze intreerede ga ik u uitleggen wat de fysische chemie voor discipline is, welke plannen en gedachten ik heb met betrekking tot onderwijs en onderzoek, wat ik zie als de rol van de universiteit en welke taak ik zie weggelegd voor de overheid in het Nederlandse onderzoeks- en onderwijslandschap. Maar voor we aan de fysische chemie beginnen, is het goed om eerst wat te zeggen over wetenschap en in het bijzonder over de bètawetenschap.

² J. Lyklema, "Econatuurkunde oftewel de entropie van het gazon", Landbouwniversiteit Wageningen, 27 november 1995.

³ CFK's = chloorfluorkoolwaterstoffen.

Wetenschap

Sinds het ontstaan van de mens is deze vooral bezig geweest met overleven. Vanaf het moment dat mensen met hun relatief snelle inzichten in oorzaak en gevolg steeds beter voor zichzelf konden zorgen (denk aan de innovatie landbouw), ontstond er ruimte voor nadenken over de natuur. Alles wat men niet begreep, en dat was nogal wat, werd vaak als bovenaards beschouwd. De meeste natuurverschijnselen hadden iets magisch. Met magie bedoel ik iets wat niet begrepen is. Zo kwam de mens tot vragen als: Wie zorgt voor het weer? Is de aarde plat? Waarom is de lucht blauw? Wat veroorzaakt bliksem? De mens ontdekte geleidelijk aan dat er voor veel verschijnselen een natuurlijke oorzaak is. Dat wil zeggen, dat de mens natuurwetten kan opstellen die de natuur beschrijven. Zo bleek de blauwe lucht geen wonder te zijn, maar het resultaat van moleculen in de lucht die licht verstrooien. Vanuit de natuurkunde werd aangetoond dat blauwe lichtgolven een veel hogere verstrooiingsintensiteit hebben dan bijvoorbeeld groene en rode lichtgolven en dat daarom overdag de blauwe kleur van de lucht domineert. Tenzij er wolken zijn. En wie voor het weer zorgt? Dat blijft het mysterie van De Bilt.

Zo ging de magie van allerlei natuurverschijnselen over naar inzicht in natuurlijke mechanismen⁴. Uiteraard waren én zijn er nog steeds verschijnselen die we niet begrijpen. Daarover kun je je verwonderen, maar het zijn geen wonderen: het is niet nodig om magische krachten te veronderstellen. Begrip is beter dan magie. Het is mogelijk om begrip op te bouwen als je wetenschappelijk te werk gaat. Begrip is beter dan magie, maar niet automatisch net zo populair. De paranormaalbeurs trekt nog steeds grote groepen mensen, terwijl wetenschap vaak als saai wordt gezien, ook al is er een voorzichtige kentering. Zo doet de redactie van DWDD⁵ haar best om wetenschap in het dagelijkse populaire programma af en toe te belichten.

⁴ V. Icke, "Dat kan ik me niet voorstellen", Uitgeverij Contact, 2012.

⁵ De Wereld Draait Door, en dan vooral de spin-off DWDD University.

Het is moeilijk precies te definiëren wat onderzoek doen is. Maar voor mij betekent onderzoek doen een poging wagen om begrip te verbeteren. Daar zijn veel misvattingen over. Dat is al zo bij studenten. Er zijn studenten die voor hun vakken negens halen, maar onderzoek doen moeilijk vinden en er zijn ook studenten die pas echt in positieve zin gaan opvallen als ze beginnen aan een onderzoeksproject. Bij iets leren, gebruik je deels toch andere talenten dan bij onderzoek doen.

Het is goed om aan te geven wat onderzoek doen *niet* is, want daar zijn in de maatschappij nogal eens misverstanden over. Onderzoeken is niet opzoeken. De iPad-generatie denkt dat internet “alles weet” en dus is onderzoeken een opzoek-manifestatie. Een andere misvatting is dat een onderzoeker vooral nieuwsgierig is. Dat valt vaak tegen. De onderzoeker is vaak vooral geïnteresseerd in het eigen vakgebied. Het resultaat van onderzoek is niet een mening. Iemand mag van mening zijn dat energie uit niets ontstaat. Mijn vriendelijke reactie zou zijn: het klinkt leuk, maar het klopt niet. Het is strijdig met de eerste hoofdwet van de thermodynamica en die staat als een huis.

Hoe kom je ertoe een bepaald onderzoek te doen? De onderzoeker begint met een probleemstelling. Elk goed onderzoek begint met een vraag. Vaak blijkt de gestelde vraag niet de juiste vraag te zijn. Wat drijft het onderzoek? Een onderzoeker kijkt naar iets en zegt: Hé, waarom werkt dat zo? Waarom is de hemel 's nachts zwart? Waarom is een oplossing niet transparant? Waarom is een dispersie van kleine gouddeeltjes rood? Daarop volgt dan vaak een eerste hypothese; een voorstelling die aangeeft hoe het in elkaar zit.

Goed onderzoek levert iets op wat ons iets wezenlijk nieuws leert. Dat klinkt leuk, maar in de praktijk is het vooral complex. Meestal is de route niet eenvoudig en heel veel pogingen om verder te komen slagen niet. Ik zie een universiteit dan ook als een lerende organisatie, immers bij wetenschappelijk onderzoek gaat het regelmatig mis. Voor de studenten is dat even wennen. Eerst moeten ze hun vakken halen door zo weinig mogelijk fouten te maken en bij het onderzoek doen, komen ze ineens in een situatie waarbij in het verleden behaalde resultaten geen garantie zijn voor de toekomst en waarbij falen heel normaal is en óók bijdraagt aan kennis (zie figuur 1).



Figuur 1

Falen is de norm.

Wanneer een studie ogenschijnlijk zinnige resultaten heeft opgeleverd, is kritiek vervolgens essentieel. Wetenschappers hebben de neiging om die kritische houding bij alles in te zetten. Geleerden discussiëren graag met elkaar. De waarneming is uiteindelijk altijd leidend. Klopt de waarneming met de hypothese of niet? Zijn de argumenten gebaseerd op juiste waarneming en correcte statistiek? Klopt het niet, dan is de theorie incorrect. Is het goed, dan mag je blijven.

De fysische scheikunde

Wat voor vakgebied is de fysische scheikunde of de fysische chemie? Binnen de fysische chemie worden op een moleculair of mesoscopisch niveau, met behulp van natuurwetten en concepten uit de fysica, dynamische en evenwichts-eigenschappen van materialen onderzocht. Het is een discipline die zich op het grensvlak bevindt van de natuur- en scheikunde. Bij het onderzoek binnen de fysische chemie combineert men typisch theorie, waarmee een voorspelling wordt gedaan van gedrag van materialen, en experiment. Een fysisch chemicus moet in staat zijn om eenvoudige eigenschappen van moleculen te kunnen voorspellen. Kwantificering is daarbij essentieel.

Vorig jaar is hier op de TU/e binnen de faculteit Scheikundige Technologie het Laboratorium voor Fysische Chemie opgericht, waaraan ik samen met Catarina Esteves en Ilja Voets de wetenschappelijke leiding mag geven. In onze groep houden we ons zowel bezig met moleculaire als met mesoscopische eigenschappen van vloeistoffen en oppervlakken. Hoe groot zijn dan die structuren waarin we geïnteresseerd zijn zoals colloïden en polymeren in oplossingen? Via de ‘Machten van Tien’ van Kees Boeke uit Bilthoven⁶ kan snel enig inzicht worden gegeven in groottes van moleculen of afmetingen in het heelal ten opzichte van de lengteschalen waarmee we vertrouwd zijn zoals de meter^{7,8}. Indien we stappen nemen waarbij deze meter bij elke stap 10 maal kleiner wordt, dan hebben we in het gebied vanaf stap 6 (10^{-6} m; 1 mm) tot stap 9 (10^{-9} m; 1 nm) te maken met het domein van de bouwstenen van de zachte gecondenseerde materie: structuren met een afmeting tussen de, zeg, 1 micrometer en 1 nanometer behoren daartoe. En vooral in die structuren, zoals colloïdale deeltjes, polymeren en surfactanten in vloeistoffen en op oppervlakken, hebben we interesse in onze Fysische Chemie-groep.

⁶ Wij in het heelal, een heelal in ons – Kees Boeke; J.M. Meulenhoff, Amsterdam / J. Muusses, Purmerend, 1959.

⁷ P.C. van der Kruit, “Oorsprong: Over mens en heelal, wetenschap en religie, samenhang en toeval, de weg en de herberg”, Tiende J.H. van Oosbreelezing, Eburon, Delft 2008, ISBN 97 89059 7226 51.

⁸ A Question of Scale: Quarks to Quasars by Bruce Bryson, www.wordwizz.com/pwrsof10.htm, 2005.

Een colloïdale⁹ dispersie is een verdeling van deeltjes (de disperse fase) in een medium (de continue fase). De deeltjes kunnen een vaste stof zijn, ze kunnen vloeistofdruppels zijn of gasbelletjes en dit geldt ook voor het medium. Voorbeelden van colloïdale systemen zijn melk, verf en slagroom. Een polymeer in een vloeistof kunt u zich voorstellen als een kralenketting van aan elkaar geregen moleculen. Surfactanten zijn moleculen die typisch uit twee verschillende delen bestaan. Met een deel dat zich prettig voelt in de oplossing, maar een ander deel juist niet. Daardoor organiseren deze moleculen zich op dusdanige wijze dat zelfgeassocieerde structuren ontstaan, bijvoorbeeld micellen. Gewenste structuren ontstaan door de compositie van de moleculen slim te kiezen. In die structuren kun je bijvoorbeeld in water onoplosbare componenten inpakken om ze toch in water te dispergeren. Systemen zoals voedselproducten, inkt of verf zijn vaak dispersies van colloïden, polymeren en/of surfactants. De uitdaging is om een relatie te leggen tussen de uiteindelijke functionaliteit van dispersies, zoals structuur en stabiliteit, en de chemische samenstelling van de colloïden, polymeren en/of surfactants. We zijn niet de eersten die daar aan werken, integendeel.

De Russische chemicus Lomonosov (1711-1765) wordt soms gezien als grondlegger van de fysische chemie. Vooral aan het eind van de negentiende eeuw ontwikkelde de fysische chemie zich snel dankzij een aantal fameuze onderzoekers, zoals de Baltisch-Duitse Ostwald, de Zweed Arrhenius en de Rotterdammer Van 't Hoff. De laatste drie ontvingen iets meer dan een eeuw geleden de Nobelprijs voor de scheikunde. Na Van 't Hoff maakten diverse Nederlandse fysisch-chemische onderzoekers in de twintigste eeuw internationaal naam. Bij Philips in Eindhoven werkten Verwey en Overbeek aan de stabiliteit van geladen colloïdale deeltjes in zoutoplossingen, waarmee kwantitatief inzicht werd verkregen in de stabiliteit van dispersies¹⁰. Zij lieten zien dat er Van der Waals-attractie is tussen de colloïdale deeltjes maar dat aggregatie door ladingsafstoting tussen de deeltjes voorkomen kan worden. De dracht van de afstoting neemt echter af indien de zoutconcentratie hoger wordt, zodat bij het toevoegen van een zekere hoeveelheid zout de deeltjes gaan aggregeren. Voor toepassingen is dit van groot belang. Laat ik een voorbeeld noemen dat in elk geval de Hollanders en werktuigbouwkundigen zal aanspreken.

⁹ De term colloïd komt van het oud-Griekse woord κόλλα (kolla) en betekent lijm.

¹⁰ E.J.W. Verwey, J. Th. Overbeek, *Theory of the stability of lyophobic colloids*, Elsevier, Amsterdam, 1948.

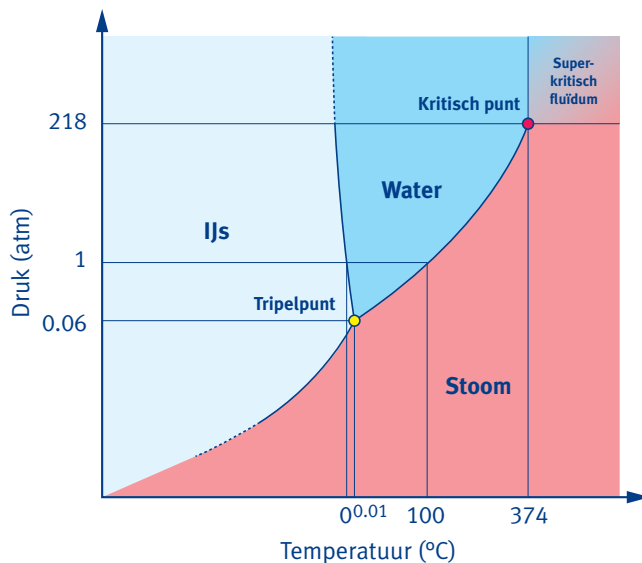
In de negentiende eeuw ontstonden er steeds meer problemen met betrekking tot de bereikbaarheid van de snel groeiende Rotterdamse haven. De toegankelijkheid naar zee moest verbeterd worden, want de gebruikte routes gaven vaak problemen door verzanding. De ingenieur Pieter Caland ontwierp het plan voor de Nieuwe Waterweg dat ongeveer 150 jaar geleden¹¹ werd gestart. Tijdens de uitvoering van dit visionaire project ontstonden er echter forse problemen. Door de Nieuwe Waterweg kwam zoutarm rivierwater met daarin kleideeltjes in contact met zeewater met een zeer hoge zoutconcentratie. De kleideeltjes aggregeren eerst in zout water en vervolgens sedimenteren ze, waardoor de vaargeul continu aan het dichtslibben was. Dus moest er veel meer gebaggerd worden dan gepland. En zoals bij zoveel van onze grote nationale infrastructurele projecten, was er veel kritiek (zie figuur 2), want zowel het budget als de benodigde tijd werden fors overschreden. De kosten waren uiteindelijk een waardevolle investering door de flinke groei van de Rotterdamse haven. Maar als de fysische chemie van colloïdale dispersies en de inzichten van Verwey en Overbeek al eerder ontwikkeld waren, had Caland dit probleem kunnen voorzien en maatregelen kunnen treffen.



Figuur 2
Caland lijkt te falen.

¹¹ De Nieuwe Waterweg is aangelegd in de periode 1866-1872.

Zojuist noemde ik de stabiliteit van een colloïdale dispersie. Met stabiliteit bedoel ik hier de toestand van evenwicht. Een systeem – en dat kan van alles zijn: een colloïdale dispersie, een moleculaire oplossing of de lucht die we inademen – is stabiel zolang externe factoren geen faseovergangen introduceren. Zodra het systeem een fasegrens, de scheidslijn met een andere fase, overschrijdt, treedt een faseovergang op. Zo ervaren we soms dat de waterdamp in de lucht condenseert tot water in de vloeistoffase. Men noemt dit ook wel regen. Over het fasegedrag van moleculaire systemen is veel bekend. Deze kennis is behulpzaam bij het begrijpen van het fasegedrag van colloïdale systemen.



Figuur 3

Fasediagram van H_2O . Karakteristieke punten van water: kritische temperatuur $T_c = 374^\circ C$, kritische druk $P_c = 218 \text{ atm}$, tripel temperatuur $T_t = 273 \text{ K}$, tripel druk $P_t = 0.06 \text{ atm}$.

Laten we daarom eerst eens kijken naar het fasediagram van water, zie figuur 3. In dit diagram kunnen we vier gebieden onderscheiden: water in vaste vorm (ijs), water in vloeibare vorm, water in de gasfase (stoom) en water in fluïde vorm, waarbij er geen onderscheid meer is tussen vloeistof en gas bij veranderen van druk of temperatuur.

In de tweede helft van de negentiende eeuw werd door Johannes Diderik Van der Waals en Heike Kamerlingh Onnes¹² aan de Universiteit Leiden, met behulp van een gecombineerd theoretisch en experimenteel onderzoeksprogramma, de gas-vloeistof faseovergang van atomaire en moleculaire systemen onderzocht. De experimenten van Kamerlingh Onnes¹³ bij zeer lage temperatuur, nabij -273° Celsius (het absolute nulpunt), toonden voor het eerst aan dat ook het edelgas helium vloeibaar kon worden. Van der Waals stelde een universele toestandsvergelijking op waarbij hij aannam dat de atomen of moleculen in een gas bolletjes zijn (denk aan biljartballen) die niet kunnen overlappen. Bij een lagere temperatuur gaan de deeltjes elkaar steeds sterker aantrekken (honing op de biljartballen¹⁴). De door Van der Waals opgestelde toestandsvergelijking is in staat de gas-vloeistof faseovergang van vele atomaire en moleculaire systemen heel aardig te beschrijven. Dit maakte Van der Waals en zijn vergelijking wereldberoemd. In Nederland verschenen ze zelfs samen op een postzegel.

Het werk van Van der Waals laat in essentie zien dat fasescheiding in atomaire en moleculaire systemen afhangt van afstoting ten gevolge van het uitgesloten volume tussen de deeltjes en van attractie. Het is zelfs zo dat de combinatie van de Van der Waals-toestandsvergelijking voor een fluïdum, samen met de toestandsvergelijking van een vaste stof voor harde bolletjes het mogelijk maakt gas-vast- en vloeistof-vast faseovergangen te voorspellen. Het werk van Van der Waals en Kamerlingh Onnes was gebaseerd op een moleculair beeld van materie en was zijn tijd ver vooruit. Want ik heb nog niet gemeld dat er in de negentiende eeuw nog geen consensus was over het bestaan van atomen. Het debat daarover liep door tot het begin van de vorige eeuw.

De discussie over het al dan niet bestaan van atomen en moleculen werd uiteindelijk op overtuigende wijze afgerond door de resultaten van eenvoudige, maar briljante experimenten van de Fransman Jean Perrin, waarvoor hij in 1926 de Nobelprijs ontving. Hij gebruikte harsdeeltjes van ongeveer $1\ \mu\text{m}$, colloïdale deeltjes aan de bovenzijde van het colloïdale domein, disperseerde deze in water en bestudeerde ze met behulp van een lichtmicroscop. Perrin demonstreerde dat de harsdeeltjes willekeurige Brownse-bewegingen vertoonden en hij liet zien dat deze thermische beweging kon worden beschreven met de theorieën van

¹² J. Levelt Sengers, *How fluids unmix: discoveries by the School of Van der Waals and Kamerlingh Onnes*, KNAW, Amsterdam, 2002.

¹³ D. van Delft, *Heike Kamerlingh Onnes. Een biografie. De man van het absolute nulpunt*. Bert Bakker, Amsterdam, 2005.

¹⁴ De vergelijking met biljartballen komt van Prof. C.G. de Kruijf (1943-2016).

Von Smoluchowski en Einstein die zij opstelden voor de Brownse-beweging van atomen¹⁵.

Perrin kon met behulp van zijn experimenten de constante van Avogadro bepalen. Daarnaast toonde hij aan dat het concentratieprofiel van de hars- of resindeeltjes in het zwaartekrachtveld kan worden beschreven met behulp van de barometrische hoogteverdeling van Boltzmann. Kortom, theorieën die ontwikkeld waren om het fysische gedrag van atomen en moleculen te beschrijven werden voor het eerst experimenteel ondersteund door de waarnemingen van Perrin aan de harsdeeltjes. Het theoretische werk van Einstein aan Brownse-beweging en de metingen van Perrin bewezen definitief dat moleculen werkelijk bestaan en niet alleen maar nuttige werkhypothesen zijn.

We kunnen hier het volgende van leren: atomen en moleculen bestaan en er is een analogie tussen het gedrag van colloïdale deeltjes en atomen/moleculen. Geldt dit ook voor het fasegedrag? Ja. Voor atomaire systemen is bekend dat ze bij heel hoge temperatuur, waar attracties geen rol spelen en de deeltjes dus puur harde deeltjes zijn (biljartballen) met uitgesloten volume interacties, slechts een fluïde-vast faseovergang laten zien. Voor edelgassen treedt deze faseovergang bij hoge temperatuur op wanneer ongeveer 50% van het volume ingenomen wordt door de atomen. Dit gebeurt ook in een dispersie van colloïdale harde bollen¹⁶. Op mijn fascinatie voor fasegedrag kom ik spoedig terug en ga ik u aangeven hoe we daar in onze groep verder mee gaan. Op een universiteit gaat goed onderzoek hand in hand met goed onderwijs en daarom wil ik eerst wat zeggen over onderwijs.

¹⁵ J. Perrin, *'Die Atome'*, Steinkopff, 1914.

¹⁶ P.N. Pusey, W. van Megen, Phase behaviour of concentrated suspensions of nearly hard colloidal spheres, *Nature* **320** (1986), 340-342.

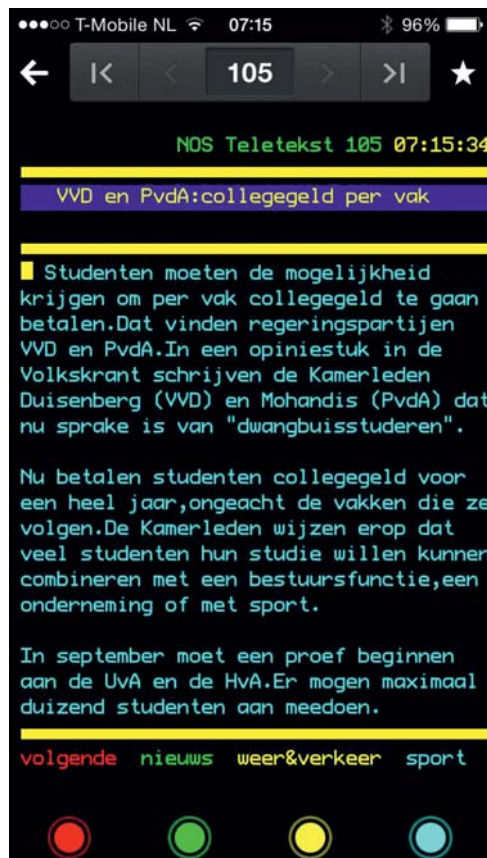
Onderwijs

Welke rol heeft de fysische chemie in het onderwijs voor chemisch ingenieurs en chemici? De fysische chemie is een basisdiscipline die essentieel is voor elke chemicus of chemisch technoloog. Een chemicus die bijvoorbeeld een bepaalde stof wil synthetiseren, moet kennis hebben van het fase-diagram van het mengsel. Hoe beïnvloedt het mengen van de reactanten de stabiliteit? Kan een bedachte reactie überhaupt verlopen? Op zulke vragen kan met een solide fysisch-chemische basis een antwoord worden gegeven. Een chemisch technoloog wil bijvoorbeeld graag een proces, zoals een chemische reactie in een vloeistof of een mengproces van vaste stoffen, efficiënt laten verlopen en hij optimaliseert dit door allerlei parameters te variëren zoals druk, temperatuur en compositie. Dit heeft echter gevolgen voor de fysische eigenschappen van de vloeistof of vaste stof, zoals de viscositeit, de diffusie, de fase-stabiliteit of de hechting aan een oppervlak. Een fysisch-chemische basis helpt om daarin inzichten te verwerven. Naast de relevantie voor onderwijs aan chemici en chemisch technologen denk ik dat fysisch-chemische vakken interessant zijn voor studenten Natuurkunde, Werktuigbouwkunde en Biomedische Technologie. Ik geloof overigens dat we als chemici veel van de experts in genoemde disciplines kunnen leren en andersom.

Onderwijs geven, het opleiden van mensen, vind ik heel boeiend. Bovendien leer je er zelf veel van en het geeft ideeën voor onderzoek. Een klein deel van de studenten doet uiteindelijk een afstudeerproject in onze Fysische Chemie-groep wat een impuls geeft aan het onderzoek. Het is nuttig om onze manier van interactie met studenten en de middelen die we daarvoor gebruiken te ontwikkelen. Inzetten van sociale media kan zinnig zijn, want de studenten kunnen elkaar veel leren; ik heb daar goede ervaring mee in Utrecht en ga dat ook hier in Eindhoven starten via een discussiegroep op bijvoorbeeld Facebook. De studenten zoeken dan ook interactie met elkaar en met de docenten op.

Een punt van zorg is de huidige kijk op de universiteit als productie-unit en het toegenomen rendementsdenken. Overal in de samenleving moet alles worden uitgedrukt in gewichten en getallen, terwijl waarde toch in veel meer zit. Het rendementsdenken zie ik ook sterk terug bij de houding van sommige studenten. In de eindfase van mijn eerste collegereeks hier op de TU/e vroeg een student:

“Welke vragen gaat u stellen bij het tentamen?” Het duurde even tot de vraag echt tot mij doordrong. Gelukkig was er een andere student die de situatie relativeerde door een aanvullende vraag: “En kunt u er ook meteen de antwoorden bij geven?” Ik vroeg deze student later naar de motivatie van deze vraag en de student antwoordde: “Ik wil het tentamen graag halen.” Dat klinkt goed, maar het klopt niet. Waarom klopt het voor mij niet?



Figuur 4

Teletekst meldt voorstel regeringscoalitie over collegegeld per vak.

De universiteit is geen supermarkt waar de klant leuke dingen kan uitkiezen voor het menu van de dag. Wetenschappelijke stafleden op een universiteit zijn geen vakkenvullers¹⁷ die vooral de klant blij willen maken. Op een universiteit heeft de klant niet altijd gelijk. Ik ben dan ook een fel tegenstander van het invoeren van collegegeld per vak, zie figuur 4. Dit soort voorstellen markeren de toegenomen vermarkting van de universiteit. Wilt u er ook zegeltjes bij? Zullen we korting aanbieden op een vervolgvak? Niet tevreden geld terug?

De overheid stimuleert deze houding, want die financiert per afgestudeerde. De overheid zou geld per studerende moeten geven, daarmee stimuleer je een hoog niveau. De universiteit moet je geen straf opleggen als het niveau hoog is. Nu hebben we te maken met een glijdende schaal¹⁸.

Door de houding van sommige studenten als klant, dringt de vraag zich op of er niet teveel studenten aan de universiteit studeren. Het lijkt erop dat er een groep studenten is die alleen maar kennis opgelepeld willen krijgen om zo snel mogelijk een bul te halen. Ik pleit dan ook voor selectie aan de poort. Is het erg dat we dan minder academici gaan opleiden? Nee, want wat hebt u liever: een wereld met veel matige academici of met een beperkt aantal zeer goede academici?

Hoe kijk ik naar de universiteit? Ik vergelijk de universiteit graag met een atletiekclub waar mensen proberen hun intellectuele kracht, flexibiliteit en fitheid te verbeteren. Wetenschappelijke stafleden zijn mensen die jaren van hun leven hebben geïnvesteerd om kennis te vergaren, pogingen hebben gedaan de kennis toe te passen en geleerd hebben om hun kennis op anderen over te dragen.

Ik zie de studenten en promovendi als atleten in opleiding: net als een atletiekcoach moedig ik de atleten aan flink te trainen en geen oefeningen over te slaan om in goede conditie te komen. Als een trainer probeer ik mensen te stimuleren sterker te worden, de geestelijke spieren te strekken en verder te komen dan wat ze bereikt hebben in het verleden. Studenten moeten iets opofferen om af te studeren of te promoveren. Soms gaat het gepaard met frictie, pijn, inzet. De pijn van het studeren duurt kort en kan later veel genoeg opleveren. Van sommige leeftijdgenoten weet ik dat de pijn van het niet gestudeerd hebben veel langer kan duren.

¹⁷ Dit is zeker niet negatief bedoeld richting vakkenvullers: ik ben blij dat ze er zijn! Zie ook: R. Bregman en J. Frederik, "Waarom vuilnismannen meer verdienen dan bankiers", Lemniscaat, 2015.

¹⁸ G.J. Flear "Ketens en Grenzen", Afscheidsrede, Wageningen UR (2007).

De supermarktvisie heeft denk ik ook te maken met de positie van de leraar in het algemeen. De leraar verdient weinig respect en ondanks de inspanningen van sommige media wordt ook de wetenschapper vaak nog gezien als stakker die in het duister tast. Ik denk dat docenten zich niet marktgericht maar kennisgericht moeten opstellen en ik roep de wetenschappelijke staf van universiteiten dan ook op om de onafhankelijkheid van de universiteit meer te benadrukken.

Over de houding van sommige studenten heb ik wat kritische opmerkingen gemaakt. Gelukkig zijn er ook veel studenten die zeer gemotiveerd en leergierig zijn en blij zijn als je aandacht aan ze besteedt; juist voor deze categorie moeten we het niveau hoog houden en hen motiveren. Opleiden van goede studenten doen we niet alleen voor de maatschappij maar natuurlijk ook om te zorgen voor goede promovendi en medewerkers voor het onderzoek in onze faculteit en in onze onderzoeksgroep. En dat brengt mij op onderzoek.

Onderzoek

Voorafgaand aan deze rede was er een symposium over de stand van zaken en de toekomst van de fysische chemie met sprekers die hebben verteld over onderzoeksthema's die mij fascineren. De sprekers wil ik hierbij dan ook danken voor hun bijdrage aan deze mooie dag.

Wat zijn de onderzoeksthema's in de nieuwe Fysische Chemie-groep? Binnen onze groep richten we ons op het fysisch gedrag van colloïden en polymeren gedispergeerd in oplosmiddelen en het functionaliseren van oppervlakken.

Binnen het thema colloïden en/of polymeren aan oppervlakken, dat geleid wordt door Catarina Esteves, wordt onderzocht hoe oppervlakken gemodificeerd kunnen worden om ze zo een bepaalde functie te geven. We ontwikkelen in de groep methoden om oppervlakken waterafstotend te maken of juist heel compatibel met water, of om oppervlakken te maken waaraan bacteriën en eiwitten liever niet hechten¹⁹. Zo heeft dr. Esteves met haar collega's in de afgelopen jaren een coating ontwikkelt die zichzelf weer opvult na een kleine beschadiging door op listige wijze met behulp van polymeerchemie semi-mobiele ketens in te bouwen²⁰. Dit biedt perspectieven voor allerlei toepassingen. Zo zouden auto's zichzelf in de toekomst wellicht langdurig schoon kunnen houden, kunnen contactlenzen langer meegaan en kan het zo zijn dat vette vingerafdrukken op een mobiele telefoon verleden tijd worden. Ook is Catarina Esteves bezig met het ontwikkelen van oppervlakken die water kunnen opnemen of juist afstaan; dit zou een oplossing kunnen bieden voor gebieden in de wereld waar droogte vaak een probleem is.

Een ander thema waar we aan werken, is zelforganisatie van colloïden en polymeren in oplossing. Ilja Voets leidt een sterke eigen onderzoekslijn in dat gebied

¹⁹ C.M.C. Carcouët, A.C.C. Esteves, M.R.M.M. Hendrix, R.A.T.M. van Benthem, G. de With, *Adv. Funct. Mater.* (2014).

²⁰ A.C.C. Esteves, Y. Luo, M.W.P. van de Put, C.M.C. Carcouët, G. de With, *Adv. Funct. Mater.* **24** (2014) 986-992.

waarbij ze onder andere werkt aan supramoleculaire colloïden²¹. Tevens werkt zij aan antivries polymeren. Dit zijn polymeren die de groei van ijskristallen onderdrukken. Een uitermate interessante ontwikkeling die er wellicht toe leidt dat we onze bevroren autoruiten niet meer hoeven te krabben in de toekomst. Dr. Voets onderzoekt met haar team de werking van de verschillende antivriespolymeren en daarover valt nog veel te ontdekken. Zelf ben ik in aanraking gekomen met het thema zelforganisatie toen ik werkzaam was bij DSM. Toen kwam ik erachter hoe relevant²² de vorming van colloïdale deeltjes via zelf-assemblage van polymeren is voor het inpakken van ingrediënten, zoals medicijnen of vitamines. Daarnaast leerde ik bij DSM dat de binderdeeltjes in verf meestal bestaan uit zelf-georganiseerde polymeren²³. In het maken van deze polymeren is veel kennis bij de business-groep Coating Resins van DSM. Met behulp van fysisch-chemische expertise kunnen we bijdragen aan de link tussen de chemie en de fysische eigenschappen van de binderdeeltjes in verf.

Een aspect dat mij, naast het wetenschappelijke, zeer inspireerde bij DSM is de interesse om verf 'groener' te maken. Ongeveer de helft van alle verf die fabrikanten jaarlijks produceren, is gemaakt op waterbasis. Wat we binnenshuis op de muren smeren is tegenwoordig bijna altijd verf op waterbasis. Verf gebaseerd op organische oplosmiddelen als aceton en ethylacetaat beslaat de andere helft en wordt vaak buiten gebruikt.

Die laatste groep is relatief belastend voor het milieu en voor de schilder. In organische oplosmiddelen zitten vluchtige organische stoffen: koolwaterstoffen die snel verdampen. De organische oplosmiddelen dragen bij aan de vorming van smog en aan opwarming van de aarde. De hoeveelheid vluchtige organische stoffen in verf wordt steeds meer aan banden gelegd in Europa. De zorgen voor

²¹ M.A.J. Gillissen, T. Terashima, E.W. Meijer, A.R.A. Palmans, I.K. Voets, *Macromolecules* **46** (2013) 4120-4125; P.J.M. Stals, M.A.J. Gillissen, T.F.E. Paffen, T.A. de Greef, E.W. Meijer, A.R.A. Palmans, I.K. Voets, *Macromolecules* **47** (2014), 2947-2954.

²² Patenten: WO 2013171196 A1, Antifungal compositions, J.G.J.L. Lebouille, G.M.H. Meesters, P. van Hee, R. Tuinier; US 2011/0223206A1, Micelle composition and process for the preparation thereof, J.G.J.L. Lebouille, T. Kockelkoren, L.F.W. Vleugels, R. Tuinier; EU WO2013179206 A1, Iron coacervate for beverages, F. Li, L. Bremer, R. Tuinier.

²³ J.G.J.L. Lebouille, L.F.W. Vleugels, A. Dias, F.A.M. Leermakers, M.A. Cohen Stuart, R. Tuinier, *Eur. Phys. J. E* **36** (2013) 107; C. Gonzato, M. Semsarilar, E. R. Jones, F. Li, G.J.P. Krooshof, P. Wyman, O.O. Mykhaylyk, R. Tuinier, S. P. Armes, *J. Am. Chem. Soc.* **136** (2014) 11100-11106; F. Li, J. de Bont, M. Schellekens, R. Peters, A. Overbeek, F.A.M. Leermakers, R. Tuinier, *Macromolecules* **48** (2015) 1194-1203; F. Li, R. Tuinier, I. van Casteren, R. Tennebroek, A. Overbeek, F.A.M. Leermakers, *Macromol. Theory Sim.* **25** (2016) 16-27.

het milieu en de steeds strengere regelgeving stimuleert verffabrikanten om meer verf op waterbasis te maken.

De samenstelling van verf is complex. In watergedragen verf zitten anorganische pigmenten, surfactanten en polymeren, de bouwstenen voor bindmiddeldeeltes. De polymeren assembleren in water tot bolvormige objecten van slechts tientallen nanometers groot. De bolletjes zorgen er vervolgens voor dat je de verf goed kan smeren en dat er een dekkende coating overblijft op het moment dat het oplosmiddel, water in dit geval, verdampt.

Helaas blijkt verf op waterbasis doorgaans slechter te presteren dan de klassieke verf. In onze groep willen we bijdragen aan inzichten die helpen bij het realiseren van hoogwaardige, watergedragen verf. Verf wordt hoogwaardig genoemd wanneer het zijn functionaliteit, zoals bescherming, verfraaiing, kleur en glans, net zo lang behoudt als klassieke verf, gebaseerd op organische oplosmiddelen. Met Ilja Voets en Bert Meijer werk ik samen op dit thema met oud-DSMcollega's Ronald Tennebroek, Ilse van Casteren, Gerard Krooshof en Henk Janssen van SyMo-Chem. Twee promovendi en twee postdocs werken voltijds aan dit thema, zodat we inzichten kunnen gaan verwerven om hoogwaardigere 'groene' verf te maken.

Het type bindmiddel is een essentiële parameter met betrekking tot de kwaliteit van de verf. We gaan uitzoeken hoe de eigenschappen van bindmiddeldeeltes nu precies samenhangen met de chemie en hoe stabiel mengsels van pigmenten en andere componenten in verf met deze deeltes zijn. Dat levert ons inzicht in hoe de kwaliteit van de uiteindelijke coating samenhangt met de samenstelling van de verf. Dit alles met als uiteindelijk doel om het gebruik van vluchtige organische oplosmiddelen, die ook bijdragen aan opwarming van de aarde, terug te dringen en de gezondheid van schilders te beschermen.

Wij gaan proberen de chemie van die bindmiddeldeeltes te sturen en kijken of er een verband kan worden gevonden tussen de structuur van binderdeeltes en de eigenschappen van verf. Op basis van de chemische samenstelling van de polymeren gaan we de assemblage van één polymeer voorspellen. Als we dat kunnen beschrijven met algemene parameters, bijvoorbeeld hoe de morfologie afhangt van concentratie en zuurgraad, dan kunnen we ook voorspellen welke verandering de eigenschappen van een verf of coating verbetert. Met behulp van numerieke berekeningen kunnen we voorspellen wat het gevolg is van een bepaalde wijziging in de compositie van een polymeer. Dat polymeer kunnen we dan gaan maken en

de voorspelling toetsen. Deze methode werkt sneller dan alle mogelijke polymeren synthetiseren en experimenteel in het lab te testen (zie figuur 5). De gecombineerde aanpak van theorie en experiment raakt aan een fundamentele interesse van mij; antwoorden vinden op de vraag: hoe hangt de compositie van complexe polymeren samen met de structuren die ze vormen in oplossing en hoe kun je dat sturen? Daarbij is de combinatie van experimenteel werk, synthese en karakterisatie en theoretische kennis essentieel. En dat is allemaal beschikbaar in onze groep.



Figuur 5

Combinatie van theorie en experiment is efficiënt.

Dan het derde thema in onze groep, mijn oude liefde: fasegedrag van complexe mengsels. Al halverwege mijn promotieonderzoek²⁴, maar vooral sinds mijn tijd in Utrecht vanaf 1999, heb ik me gespecialiseerd in de depletie-interactie en het resulterende fasegedrag in mengsels van verschillende colloïden en/of polymeren of oppervlakte-actieve stoffen^{25,26}. Hierbij kunt u denken aan verf of aan de binnenkant van een levende cel of aan levensmiddelen als yoghurt of sladdressing. De fasestabiliteit van deze mengsels, met daarin colloïdale deeltjes en polymeren,

²⁴ R. Tuinier, 'An exocellular polysaccharide and its interactions with proteins', proefschrift Universiteit Wageningen, 1999.

²⁵ C.G. de Kruijff, R. Tuinier, *Food Hydrocolloids* **15** (2001) 555-563.

²⁶ R. Tuinier, J. Rieger, C.G. de Kruijff, *Adv. Colloid Interface Sci.* **103** (2003) 1-31.

houden mij bezig. De stabiliteit wordt bepaald door de concentratie en wisselwerkingen tussen de colloïdale deeltjes.

In complexe mengsels spelen uitgesloten volume-interacties, ofwel entropische krachten, een grote rol. In mengsels van verschillende deeltjes kunnen uitgesloten volume-interacties leiden tot een attractie tussen de deeltjes. Deze attractie wordt ook wel depletie-interactie²⁷ genoemd. In de jaren 50 van de vorige eeuw ontwikkelden de Japanners Asakura en Oosawa de eerste theorie²⁸ voor de depletie-interactie.

Het depletie-effect in een colloïd-polymeermengsel is geïllustreerd in figuur 6; schematische plaatjes van twee colloïdale bollen in een omgeving met polymeren. De depletiezones geven de gebieden aan waar de polymeren niet kunnen komen. Wanneer de depletiezones overlappen kunnen de polymeerkluwens niet meer tussen de bollen komen. De depletiezones beperken de bewegingsvrijheid van de polymeren.

De polymeren kunnen hun bewegingsvrijheid echter vergroten door de bollen naar elkaar toe te duwen. De polymeren induceren aldus een attractieve wisselwerking tussen de bollen. Het gaat hier om 'attractie door repulsie'²⁹, dus om een *indirecte* attractieve wisselwerking.

Deze attractieve wisselwerking wordt sterker als de concentratie van de polymeren toeneemt. Dit concept werkt net zo goed of zelfs beter, wanneer de polymeren worden vervangen door zeepmicellen, colloïdale staafjes, colloïdale plaatjes of kleine colloïdale bollen. Als de depletie-attractie voldoende sterk wordt, leidt dit tot een fasescheiding in een systeem met veel deeltjes. Over dit onderwerp, de depletie-interactie en de resulterende fasescheiding, heb ik met Henk Lekkerkerker enkele jaren geleden een boek geschreven³⁰. In het kader van de vermarkting zou ik u eigenlijk moeten attenderen op de scherpe prijs van dit boek.

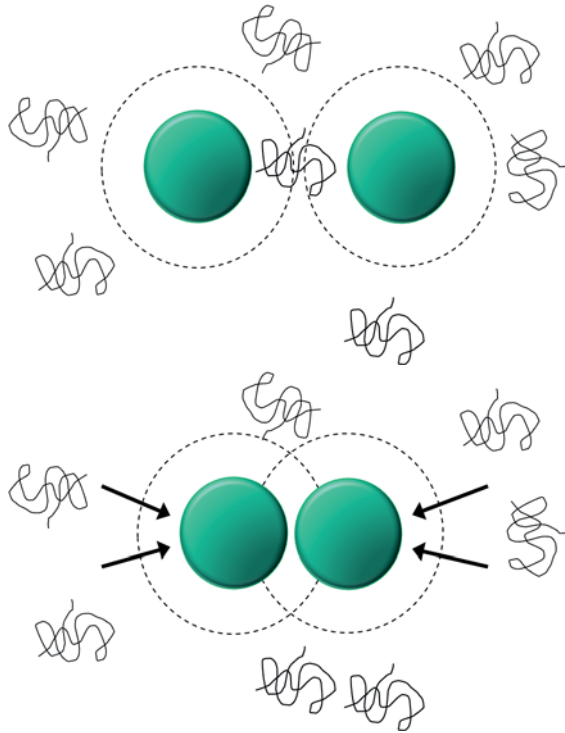
Colloïd-polymeermengsels vertonen zeer interessant fase- en ontmengingsgedrag³⁰. Soms geleert het mengsel, soms treedt vloeistof-vloeistof-ontmenging

²⁷ Depletie komt van "plere" (Latijn voor vullen). Depletie is dan "ontvuld" = leeggemaakt. De term "depletie" is waarschijnlijk voor het eerst gebruikt door de colloïdchemicus D.H. Napper.

²⁸ S. Asakura, F. Oosawa, *J. Chem. Phys.* **22** (1954) 1255.

²⁹ De uitdrukking "attractie door repulsie" komt van Prof.dr. A. Vrij.

³⁰ H.N.W. Lekkerkerker en R. Tuinier, "*Colloids and the Depletion Interaction*", Springer, Dordrecht, 2011. <http://www.springer.com/materials/book/978-94-007-1222-5>

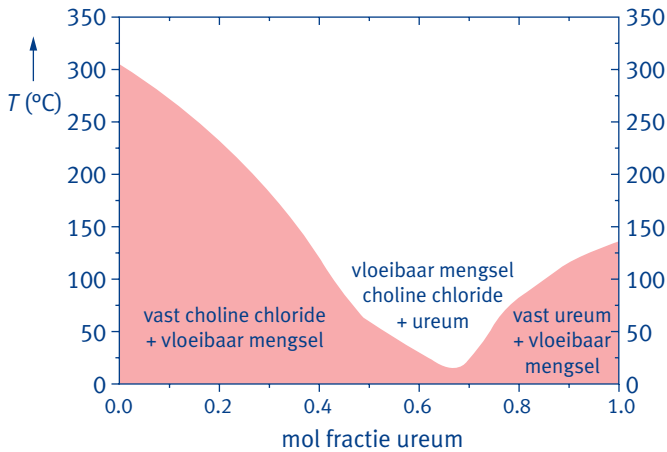


Figuur 6

Boven: twee colloïdale bollen met depletiezones (gearceerd) in een polymeer-oplossing. De kluwens beelden polymeerketens uit. Het centrum van een polymeerketen kan niet vlakbij een boloppervlak komen. Onder: Bij overlap van de depletiezones duwen de polymeren de bollen naar elkaar toe. In deze situatie kan een polymeerketen niet meer penetreren naar het gebied tussen de bollen. De richting van de effectieve krachten op de bollen is aangegeven door middel van de pijlen.

op en er zijn condities waarbij colloïdale kristallijne-fasen ontstaan. In sommige gevallen ontstaan er drie verschillende fasen, gescheiden door scherpe grensvlakken. In modelstudies waarin men dit fasegedrag experimenteel onderzoekt, worden de resultaten vaak verkregen met behulp van tamelijk geïdealiseerde systemen in organische oplosmiddelen. De polymeren zijn monodisperse, ongeladen homopolymeren en de colloïdale deeltjes zijn quasi-harde bollen. In de praktijk zijn de systemen minder ideaal. Het eerste waar men tegenaan loopt, is dat de polymeren en colloïdale deeltjes vaak geladen zijn. Verder zijn industriële systemen polydispers en zijn er vaak meerdere componenten.

De bestaande theorie wil ik in stappen gaan uitbreiden naar complexere systemen met lading en interacties die in de praktijk relevant zijn. En ik wil de fasescheiding gaan inzetten voor duurzamere scheidingen van componenten. Door vloeistoffen te mengen waarin componenten zitten die ontmenging veroorzaken, kun je deeltjes die verschillen in grootte en/of vorm concentreren. Zo kun je colloïdale deeltjes uit de oplossing halen via depletie-aantrekkingskrachten. Dus in feite is dit entropische scheidingstechnologie.



Figuur 7

Fasediagram van mengsels van choline chloride en ureum.

Dit soort scheidingen, chemische reacties en processen zouden we het liefst doen in waterige systemen. Er zijn echter allerlei componenten die niet wateroplosbaar zijn, zoals cellulose, een belangrijk bestanddeel van bomen en planten. Zoals gezegd zal het gebruik van organische oplosmiddelen in de toekomst worden geminimaliseerd om de CO₂-uitstoot terug te dringen en het milieu minder te belasten. Gelukkig is er 10 jaar geleden door de Engelse onderzoeksgroep van Abbott³¹ een nieuw type vloeistof ontdekt dat veelbelovende eigenschappen bezit en dat ook als 'groen' kan worden gezien. Het gaat om eutectische vloeistoffen die bestaan uit typisch 2 componenten die bij kamertemperatuur beide een vaste stof zijn maar bij mengen een vloeistof vormen. Een voorbeeld van een fasediagram met daarin een eutectische vloeistof staat in figuur 7 voor mengsels van choline chloride en ureum. Deze componenten zijn bio-gebaseerd; choline chloride is een essentiële voedingsstof voor veel dieren en ureum wordt onder andere gebruikt

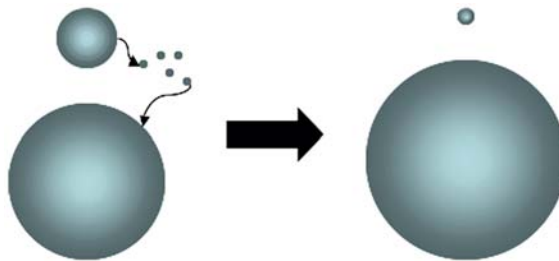
³¹ A.P. Abbott, G. Capper, D.L. Davies, R.K. Rasheed and V. Tambyrajah, *Chem. Commun.* (2003) 70–71.

als meststof. De zuivere stoffen zijn zelf een vaste stof bij kamertemperatuur; choline chloride smelt bij 302°C en ureum bij 134°C. Gemengd vormen ze bij kamertemperatuur echter een vloeistof die niet vluchtig is. Er wordt gesuggereerd dat dit komt door de waterstofbruggen die de stoffen met elkaar kunnen vormen in de vloeistofoestand, maar de mengentropie van een binair mengsel speelt, denk ik, ook een belangrijke rol. Oud-collega Maaike Kroon attendeerde me op dit werk. Zij deed onderzoek de TU/e naar screening en verschillende eigenschappen van deze mengsels³² op en na mijn start werkten we samen om te kijken hoe polymeren en colloïden zich gedragen in deze eutectische oplosmiddelen. Deze kennis wil ik gebruiken om stoffen op te lossen die niet oplossen in water. De kennis van fasegedrag wil ik vervolgens gebruiken om polymeren en colloïden te concentreren via fasescheidingen. In feite treedt dan spontane extractie op. Zo zouden we dan mogelijk allerlei biomassa kunnen oplossen en vervolgens scheiden wat normaal niet lukt of moeizaam gaat met water. Binnen een EU-project met de Europese papierindustrie kijken we wat de potentie is van dit soort oplosmiddelen om het maken van papier minder milieubelastend te maken. Verder wil ik exploreren of deze eutectische vloeistoffen mogelijkheden bieden voor het synthetiseren van colloïden en/of polymeren.

³² F.M. Casal, A. van den Bruinhorst, M.C. Kroon. *Angewandte Chemie* **52** (2013) 3074-3085.

Overheid en universiteit

Na ruim dertien jaar grotendeels weg te zijn geweest uit de Nederlandse academie merk ik dat het Nederlandse onderzoekslandschap ingrijpend is veranderd. Spoedig zit ik er zo diep in dat het daarom goed is om juist nu enige observaties met u te delen. Allereerst is er een proces gaande dat in de sociologie het 'Matthew-effect' wordt genoemd. Dat proces wil ik illustreren via een bekend fysisch-chemisch proces: de Ostwald-rijping³³, genoemd naar Wilhelm Ostwald die samen met Van 't Hoff en Arrhenius een van de grondleggers van de fysische chemie was. We beschouwen een olie-in-water-emulsie met daarin een grote en een kleine oliedruppel, zie figuur 8. De olie lost een klein beetje op in de waterfase. Door de sterke kromming is de Laplace-druk in een kleine druppel groter, waardoor opgeloste stof via de continue vloeistoffase naar de grotere druppel (lagere druk) gaat. De grote druppels groeien dan dus ten koste van de kleine. Uiteindelijk verdwijnen de kleintjes en overleven alleen de grote.



Figuur 8

Schematische voorstelling van Ostwald rijping.

Tussen dit proces en diverse verschijnselen in de maatschappij is een analogie, zo ook in de academische wereld. Als we de gang van zaken bij de verdeling van NWO-subsidies beschouwen, dan kan worden gesteld dat het aantal promotieplekken in de vrije competitie sterk gereduceerd is ten opzichte van twintig jaar geleden. Die promotieplekken zijn opgeofferd aan nieuwe programma's als BIG, Spinoza, zwaartekracht en NWO-groot, met subsidies van vele miljoenen, soms

³³ W. Ostwald, *Zeitschrift für Physikalische Chemie* **22** (1897) 289-330.

tientallen miljoenen euro's. Een van de grote nadelen is dat subsidies steeds meer in handen komen van een (steeds) kleine(re) groep, zie figuur 9.

Het leidt tot afgedwongen coalitievorming in plaats van spontane samenwerking op basis van echte interesse. Bij zwaartekrachtsubsidies lijkt het erop dat het aantal ERC- en Spinoza-winnaars in coalities worden geteld. Zo wordt het spel nu eenmaal gespeeld, is de reactie die er komt als er een kritische vraag wordt gesteld. De subsidies per project dreigen alleen maar groter te worden. Het doet mij sterk denken aan de Staatsloterij met elk jaar een nog belachelijkere hoofdprijs van tientallen miljoenen euro's, terwijl je heel veel mensen blij kunt maken met bijvoorbeeld 50.000 euro. In mijn DSM-tijd zei ik weleens: als ik moet kiezen, praat ik liever met iemand met een droom en een visie dan met iemand met alleen budgetten. Ik ben meer voor klein maar fijn, het kleine verfijnen en daar af en toe iets nieuws uit laten ontstaan. Zo werkten de hele groten als Newton, Huygens en Feynman ook.

Nog een paar feiten over NWO-subsidies. De competitie is enorm en de slaagkans is laag: bij veel NWO-subsidies is de kans op succes kleiner dan 10%. De huidige staatssecretaris voor (of tegen; dat is onduidelijk) cultuur Sander Dekker stelt: "Alles draait om de top, het begint met het schrijven van steeds meer



Figuur 9

Huidige wijze van geld verdelen door NWO.

aanvragen”³⁴. De lage scoringskans betekent echter dat veel stafleden heel veel tijd kwijt zijn aan het schrijven van voorstellen die niet worden gehonoreerd. Tijd, die ze naar mijn mening bijvoorbeeld beter kunnen besteden aan onderzoek, onderwijs en interactie met de maatschappij inclusief het bedrijfsleven. Het is echter essentieel voor de meeste universitaire onderzoeksgroepen om dit soort subsidies binnen te halen, dus worden ze gedwongen dit (meestal) zinloze werk in toenemende mate te doen.

Een ander nadeel is dat vernieuwing beperkt blijft door dit systeem. Je hebt immers pas succes bij een aanvraag als de aanvraag gebaseerd is op succes uit het verleden. Het werk is dus niet meer baanbrekend nieuw. Is het leuk voor de succesvollen? ³⁵ Nee, want voor de groep met succes wordt de druk steeds groter dit maar te blijven doen. En je moet heel veel beloven om succes te hebben en zo bouwen de luchtkastelen zich op. En ”luchtkastelen hebben hoge onderhoudskosten”³⁶. Ik citeer uit mijn vorige oratie³⁷: “Wetenschappelijk onderzoek is een georganiseerde zoektocht. Het traject van wetenschappelijk onderzoek is een kronkelpad door een bergachtig kennislandschap, langs hoge pieken en gevaarlijke afgronden.” We kunnen dus eigenlijk niks beloven, want onderzoek doen, is onvoorspelbaar. Als het voorspelbaar zou zijn, hoef je het niet meer te doen.

De gedwongen samenwerking tussen de NWO-succesvollen leidt tot kartelvorming: want dát wordt beloond. Dit heeft tot gevolg dat er op een steeds beperktere wijze naar disciplines gekeken worden. Want alleen de succesvollen blijven succesvol. Om dit te illustreren de onvermijdelijke vergelijking met voetbal: daar zou de nationale competitie door het Matthew-effect slechts nog bestaan uit Ajax, Feyenoord en PSV. De rest van de clubs gaan failliet en al het amateurvoetbal wordt opgeheven, want we willen alleen maar de top.

Je merkt de overwaardering voor het binnenhalen van subsidies ook als er op een universiteit een bijzondere gebeurtenis wordt aangekondigd. Ik denk bij een bijzondere mededeling op een universiteit aan een grote wetenschappelijke doorbraak, maar meestal gaat het dan om nieuws over een subsidie. Het lijkt er dus op dat subsidies de nieuwe heilige graal zijn geworden. Ze lijken belangrijker dan wetenschap of wetenschappelijke resultaten, die overigens ook steeds meer handelswaar worden: hoe meer, hoe beter en hoe hoger de impact/factoren des te

³⁵ De vraag is wel: wat is succes eigenlijk? Zie B. Haring: “*Voor een echt succesvol leven*”, Singel, 2011.

³⁶ Stelling van P.J.J. Jansens, proefschrift “Fractional suspension crystallization of organic compounds”, TU Delft, 1994.

³⁷ R. Tuinier, “*Kolloïden, Kennis, Kunde en Kassa*”, oratie Universiteit Utrecht, 18 februari 2014.

tevreder de bestuurders. En dat terwijl echt nieuwe dingen vaak in gewone tijdschriften komen en het vaak lang duurt voordat deze nieuwe inzichten geciteerd worden.

Natuurlijk ben ik blij als mijn collega's bij onze faculteit nieuwe subsidies binnenhalen; velen zijn er goed in en dat is voor een deel gebaseerd op kwaliteit en het zorgt ervoor dat we blijven bestaan en dat ik hier mag beginnen. Maar als we niet oppassen, leidt het proces dat gaande is tot een moreel faillissement van de wetenschap. De overheid kan dit soort processen echter sturen. Om een antwoord te geven, dringt de kernvraag zich op: Wat is de rol van de universiteit? De universiteit staat voor vooruitgang. Vooruitgang is menselijke ontplooiingskansen vergroten en begint met het opleiden van mensen. Als ik vraag aan de leiders van de industriële R&D wat ze nodig hebben van de universiteit, dan hoor ik: goed opgeleide mensen die kritisch denken. Ik zie de universiteit als het centrum voor onafhankelijk denken. De universiteit is essentieel voor de veiligheid en vooruitgang van een samenleving. De universiteit zou een gemeenschap van denkers moeten zijn en geen gemeenschap van overlevers die vooral subsidies binnenhalen en jagen op tijdschriften met hoge impact. De intrinsieke rol van de universiteit zou niet ondergeschikt moeten worden gemaakt aan andere belangen. De overheid dient de universitaire autonomie dan ook te beschermen voor de waan van de dag en wekelijkse peilingen. De universiteit kan bijdragen aan vooruitgang maar de toenemende afhankelijkheid zet dit onder druk.

Voor goed onderzoek doen en goed onderwijs verzorgen, zijn geduld en tijd van groot belang. En dat staat onder druk. Onderzoeksvoorstellen staan vol mooie beloften, maar onderzoek doen is een grillig pad, tenzij het niet echt nieuw is. Elke belofte is in feite grootspraak. Ik pleit dan ook voor een heel nieuwe manier van onderzoeksgelden verdelen in Nederland. We willen niet dat onze goede onderzoekers de meeste tijd besteden aan het schrijven van voorstellen die niet worden gehonoreerd.

Samenvattend kom ik tot een advies waarvan ik weet dat er veel onuitgesproken steun voor is. Ik pleit voor het opheffen van NWO. Men gaat toch reorganiseren. Laten we het dan goed aanpakken. Geld dat vrijkomt, gaat direct naar de universiteit. Dan geef je als overheid aan dat de universiteiten onafhankelijk zijn. Ze kunnen zelf heel goed sturen. U schrikt misschien, maar u hebt een mooi extra gespreksonderwerp bij de receptie zo. Misschien zegt u: competitie is goed. Het binnenhalen van EU-subsidies is ook zeer competitief en daarin gaan we het volgens mijn voorstel nog beter doen, want daar is dan meer tijd voor.

Waar moet het toekomstige onderzoek op de universiteit over gaan? Op 12 december 2015 bereikten bijna 200 landen een nieuw vergaand klimaatakkoord. Nederland doet enthousiast over dit akkoord maar is qua gebruik van fossiele brandstoffen in Europa zo'n beetje het stoutste jongetje van de klas. Het Stern-rapport³⁸ laat zien dat klimaatschade de komende decennia 20% van het BNP gaat kosten. Als er niets gebeurt, zal de aarde in het jaar 2100 gemiddeld 4 graden warmer zijn. De commissie Veerman heeft geadviseerd dat Nederland vanaf 2020 jaarlijks 1 miljard euro moet gaan investeren in dijkversterking. Door de milieubelasting of energiedegradatie gaan we dus miljarden uitgeven aan de gevolgen. Dat is symptoombestrijding. Wij proberen de oorzaak aan te pakken en oplossingen te vinden om het milieu minder te belasten. Daarom moeten we alle inspanningen gaan stoppen in onderzoek dat leidt tot processen en producten die minder milieubelastend zijn met minder uitstoot van CO₂, minder gebruik van vluchtige organische oplosmiddelen en fossiele brandstoffen. Dit deel wil ik dan ook afsluiten met het citeren van het laatste deel van de kersttoespraak van Koningin Beatrix waarmee ik deze rede startte. “De aarde is onze voedingsbodem, zij draagt ons. Hier leven wij, hier leven wij van, hier leven wij mee. Dat leven is voor ieder van ons tijdelijk. Wij zijn hier maar een beperkt aantal jaren en we hebben daarom de plicht ons tehuis in ten minste zo goede staat achter te laten, als waarin we het aantreffen. De kwaliteit van het leven zelf gaat uit boven de belangen die in onze eigen tijdelijke levens tellen. Die belangen kunnen groot zijn en soms, buiten proporties, ons het zicht ontnemen op wat wezenlijk is voor het voortbestaan van de mensheid. Waar dat gebeurt, is het hoog tijd voor bezinning en verandering van levenskoers.”

Genoeg uitdagingen voor de toekomst dus en duidelijke bèta-hoofdthema's voor de universiteiten, wanneer politiek Den Haag mijn advies volgt om NWO-geld terug te geven aan de universiteit.

³⁸ N. Stern (2006). “Stern Review on The Economics of Climate Change (pre-publication edition). Executive Summary”, <http://www.webcitation.org/5nCeyEYJr>, HM Treasury, London. Archived from the original on 31 January 2010.

Tot slot

Ik ben blij dat onze nieuwe groep de fysische chemie in Nederland een nieuwe impuls mag geven aan een lijn die voorkomt uit een lange traditie met namen als Van 't Hoff, Bakhuis Roozenboom, Cohen, Kruyt, Overbeek, Lyklema, Stein, Vrij, Lekkerkerker, de Kruif, Fler en Cohen Stuart. Met de laatste vijf in deze rij heb ik direct mogen samenwerken. Mede dankzij het vertrouwen van mijn leermeesters ben ik wie ik ben, maar ook dankzij mijn familie en vrienden.

Mijn vader mis ik, net als bij mijn eerste oratie, nog steeds, maar ik ben hem dankbaar voor wat hij me heeft gegeven. Mijn moeder is er gelukkig nog wel. Door de rust die mijn moeder thuis creëerde, ontdekte ik als tiener hoe leuk het is om bètasommetjes te maken en ik dank je daarvoor.

Lieve Luuk, Tim en Mieke. Jullie hadden het fijn in Sittard maar zijn voor mij mee naar Eindhoven gekomen en ik ben jullie daar heel dankbaar voor. Nog blijer ben ik met jullie dagelijkse gezelligheid, vrolijkheid, scherpste en warmte, vooral als ik eens een keer thuiskom na een teleurstellende tussentoets of een afgewezen artikel.

Het College van Bestuur, het faculteitsbestuur Scheikundige Technologie en mijn andere collega's wil ik bedanken voor de kans die ik krijg op de TU/e. Het is fijn om te werken op de TU/e, bij Scheikunde en het stimulerende ICMS en ik voel me welkom op deze voor mij nieuwe universiteit. Ik ben zeker ook dankbaar met de Fysische Chemie-groep waarvan ik de kern mag vormen met Catarina Esteves, Ilja Voets, Marco Hendrix, Ton Staring en last but not least Pleunie Smits. Als ik had geweten hoe prettig het met jullie samenwerken is, was ik eerder gekomen. Ik ben content met de getalenteerde postdocs en promovendi die we hebben mogen aannemen. Ik geloof in co-creatie, dat staat haaks op de ingezette lijn naar individualisatie in de wetenschap. De grote doorbraken zullen gaan komen van spontane en zeker ook interdisciplinaire samenwerking.

Ik heb gezegd.

Curriculum vitae

Prof.dr.ir. Remco Tuinier is op 1 maart 2015 benoemd tot hoogleraar Fysische Chemie aan de faculteit Scheikundige Technologie van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e).

Remco Tuinier (1971) studeerde Levensmiddelentechnologie aan de Universiteit Wageningen en promoveerde op fysisch-chemische eigenschappen van polysacchariden en eiwitten bij NIZO Food Research en de Universiteit Wageningen in 1999. Hiervoor ontving hij de International Food Ingredient Award in Parijs. Vervolgens werkte hij aan de Universiteit Utrecht als postdoc aan theorie voor depletie-interactie tussen colloïdale deeltjes ten gevolge van niet-adsorberende polymeren.

Van 2001 tot 2008 was hij onderzoeker bij het Forschungszentrum Jülich in Duitsland. In 2008 ging hij werken bij DSM in Geleen, eerst als senior scientist en later als principal scientist Colloids & Interfaces. Vanaf 2010 combineerde hij zijn werk bij DSM met een deeltijdfunctie bij het Van 't Hoff laboratorium aan de Universiteit Utrecht, vanaf 2013 als bijzonder hoogleraar. In 2011 verscheen het boek 'Colloids and the Depletion Interaction' (Springer) dat hij schreef met Henk N.W. Lekkerkerker.

Vanaf 1 maart 2015 is hij hoogleraar Fysische Chemie aan de TU/e waar hij leiding geeft aan het nieuwe Laboratorium voor Fysische Chemie.

Colofon

Productie

Communicatie Expertise
Centrum TU/e

Fotografie cover

Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp

Grefo Prepress,
Eindhoven

Druk

Drukkerij Snep, Eindhoven

ISBN 978-90-386-4096-9
NUR 910

Digitale versie:
www.tue.nl/bib/

Bezoekadres

De Rondon 70
5612 AP Eindhoven

Postadres

Postbus 513
5600 MB Eindhoven

Tel. (040) 247 91 11
www.tue.nl/plattegrond