

Toeval en Toedracht

Over gebeurtenissen in de Fysische Chemie

Prof. dr. Martien A. Cohen Stuart

Rede bij het afscheid als hoogleraar in Fysische Chemie en Kolloïdkunde
aan Wageningen University op 25 april 2013



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN UR

Toeval en Toedracht

Over gebeurtenissen in de Fysische Chemie

Prof. dr. Martien A. Cohen Stuart

Rede bij het afscheid als hoogleraar in Fysische Chemie en Kolloïdkunde
aan Wageningen University op 25 april 2013



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN **UR**

ISBN 978-94-6173-615-4

Toeval en Toedracht

Over gebeurtenissen in de Fysische Chemie

Mijnheer de rector, familie en vrienden, collega's, dames en heren,

Het willen weten 'hoe het zo gekomen is' zit ons mensen in het bloed. Inzicht in de toedracht, in oorzaak en gevolg, geeft ons macht over onze omgeving, of althans het idee dat we die macht hebben. Zodra in het publieke domein iets mis is, is de roep om onderzoek dan ook niet van de lucht. Dit moet haarfijn uitgezocht! De onderste steen moet boven komen! We zullen koste wat het kost de toedracht weten, opdat we ons kunnen wapenen tegen herhaling. Als we de oorzaken beheersen, zo is de onuitgesproken gedachte, dan beheersen we ook de gevolgen. Wetenschap houdt zich heel nadrukkelijk bezig met kwesties van oorzaak en gevolg, en met name de natuurwetenschappen met hun ijzeren 'wetten' geven ons de illusie dat in beginsel alles onderworpen is aan voorspelbaarheid en beheersbare oorzaak. Laplace zei het al: "Geef mij de positie en snelheid van alle deeltjes in het Heelal, en ik bereken u de toekomst". Metafysica werd resoluut de deur gewezen: "Je n'ai pas besoin de cette hypothèse" [1]. Voorspelbaarheid lijkt dus het product te zijn van wetenschappelijk werk. Juist van wetenschap verwacht men harde en eenduidige uitspraken. Dat kan tot bizarre toestanden leiden.

Zo werden jongstleden oktober zes Italiaanse seismologen tot zes jaar detentie veroordeeld wegens doodslag, omdat de commissie waarvan zij deel uitmaakten de bevolking van Aquila in 2009 onvoldoende angst had aangejaagd voor de aardbeving die misschien zou komen, en die zes dagen later inderdaad kwam [2].



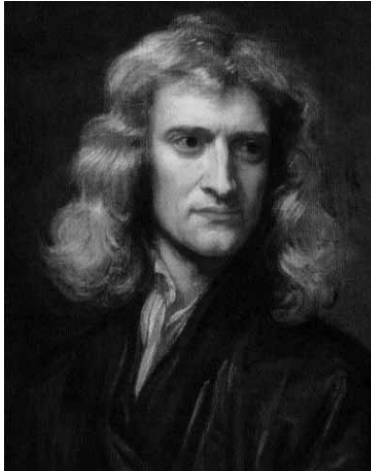
Figuur 1 L'Aquila 2009

Ik wil hier niet op de juridische finesses van de casus ingaan; het gaat mij er om dat wetenschappers werden ingeschakeld vanwege een behoefte aan een voorspelling – weliswaar uitgedrukt in termen van “de kans dat” – in het kader van publieke onrust over aardbevingen in het gebied rond Aquila. De aanklager stelde dat de verdachten zich hadden schuldig gemaakt aan “an incomplete, inept, unsuitable and criminally mistaken analysis which gave the residents of L’Aquila a false sense of security”. Geen enkele aardbeving is echter vandaag de dag strict voorspelbaar, noch het moment van optreden, noch de magnitude. In 2005 werd het voorspellen van aardbevingen door *Science* nog als een van de grote wetenschappelijke uitdagingen benoemd [3]. Als er al iets over aardbevingen in een gegeven gebied te zeggen valt is het dat grote aantallen ervan voldoen aan een bepaalde statistiek. De beste remedie is uiteraard om algemene voorzorgsmaatregelen te treffen waardoor schade vermeden wordt of beperkt blijft, zoals beving-bestendig bouwen. Vluchten om een beving te ontlopen kan alleen als je weet wanneer de beving komt, en dat is dus niet met zekerheid te zeggen. Wat had men moeten doen? Evacuatie adviseren voor drie dagen, tien dagen, een half jaar? Een achteraf overbodige evacuatie wordt vast ook niet in dank afgenomen, zie de commotie in eigen land over meteorologische waarschuwingen. Dit zijn zo wat typische dilemma’s wanneer we te maken hebben met *toeval*.

Toeval ligt vaak aan de wortel van veel ingrijpende gebeurtenissen in ons leven. Wanneer het toeval ons toelacht, omdat we in de prijzen vallen, dan hoor je geen klachten. Maar als het zich tegen ons keert, in de vorm van ziekte of ongeluk, dan “had het voorkomen moeten worden” en is er behoefte aan een zondebok. Het klinkt u wellicht als paradoxaal in de oren, maar toeval speelt tevens een centrale rol in de natuur- en scheikunde. We zijn opgevoed met de inzichten van Galilei en Newton over kracht en beweging, en in de wetten die zij formuleerden is toeval niet aan de orde.

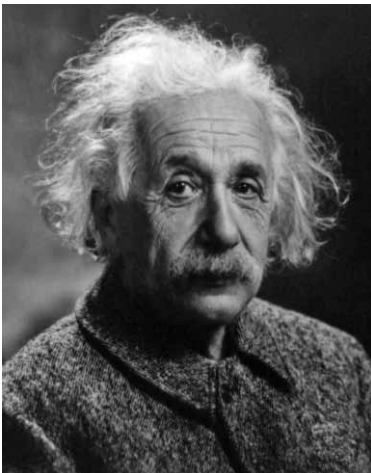


Figuur 2 Galileo Galilei



Figuur 3 Isaac Newton

De posities en snelheden van lichamen onderworpen aan nauwkeurig bekende krachten veranderen op volstrekt voorspelbare wijze. Dit heeft gedurende twee eeuwen de illusie levend gehouden dat ook de allerkleinste deeltjes zich aan de strikte volspelbaarheid zouden houden. Maar het is toch een illusie gebleken die de mensheid met de komst van de kwantum mechanica definitief werd ontnomen [4]. Einstein heeft zich daar maar moeilijk bij kunnen neerleggen: hij gunde het toeval geen plaats zo dicht bij de fundamenteen: "Der Herr Gott würfelt nicht".



Figuur 4 Albert Einstein

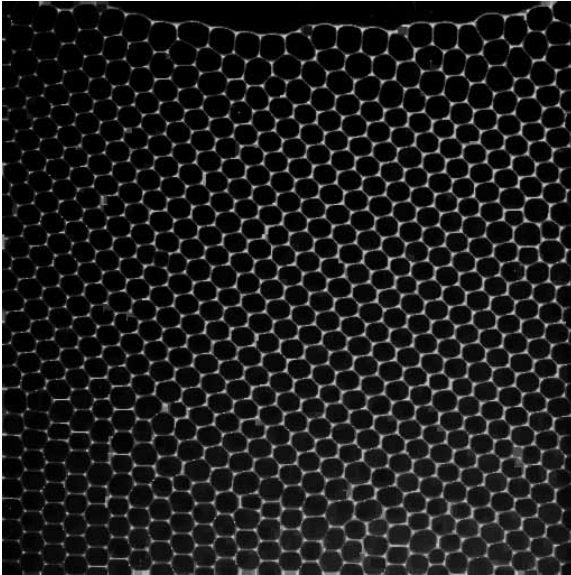
Daar komt nog een tweede onzekerheid bij. Wanneer twee biljartballen elkaar naderen en botsen zijn de Newtonse wetten nog wel een extreem goede benadering. Echter, waar die wetten ons in vrijlaten is het kiezen van een beginsituatie. Zoals de biljarters onder u zullen weten, maakt het nogal wat uit hoe de ballen elkaar treffen: een volle botsing heeft een totaal ander resultaat dan een schampschot. Voor twee ballen is op grond van de Newtonse mechanica exact uit te rekenen wat er gaat gebeuren. Het aantal keuzemogelijkheden aan de start is namelijk beperkt. Met drie ballen loopt het aantal keuzemogelijkheden echter al zodanig uit de hand dat de geniale wiskundige Henri Poincaré dat als een buitengewoon lastig vraagstuk zag. Later bleek dat de oplossing kan worden uitgedrukt in een reeks waarvan men helaas zo'n $10^{8,000,000}$ termen moet meenemen [5].



Figuur 5 Henri Poincaré

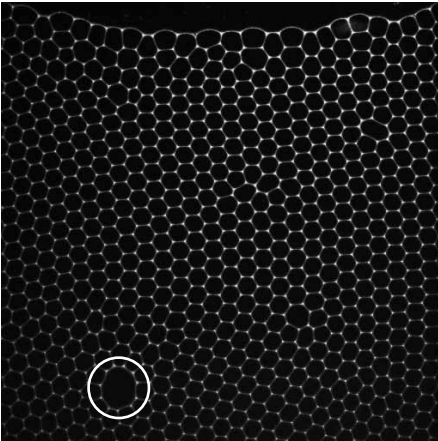
Wie met meer ballen wil goochelen is aangewezen op simulaties. Dan blijkt al gauw dat twee simulaties die niet exact vanuit dezelfde beginsituaties vertrekken nimmer identiek zijn, hoe klein het initiële verschil ook is. Op microniveau regeert dus een combinatie van toeval (hoe het begon) en toedracht (hoe het zich ontwikkelde), en het is volstrekt onmogelijk om de component 'toeval' te elimineren.

Gelukkig hoeft dat ook niet altijd. Wanneer we uitzoomen, en individuele deeltjes niet meer kunnen of willen onderscheiden, worden de microscopische verschillen vanzelf onzichtbaar; alle microscopische toestanden lijken gemiddeld op elkaar. Op macroniveau regeert dus de statistiek. In mijn vakgebied, de kolloïdkunde, houden we ons bezig met zowel micro- als macroniveau. We kijken nu eens naar enkele deeltjes – met alle onvoorspelbaarheid van dien – en dan weer naar het grotere geheel. Oorzaak en gevolg op microniveau krijgt dan een nieuw gezicht op macroniveau door toedoen van de statistiek. Ik geef daarvan een voorbeeld.



Figuur 6 Microscopfoto van een geconcentreerde olie-in-water emulsie. Zwarte vlakjes zijn (zeshoekig vervormde) oliedruppels, witte lijntjes zijn de waterfilms die de oliedruppels scheiden. Vergroting ca. 20 maal

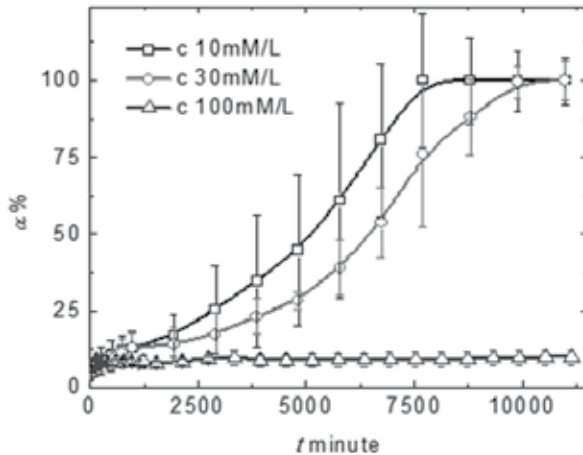
U ziet op deze dia een geconcentreerde emulsie. De zwarte zeshoeken zijn oliedruppels die omgeven zijn door water; de witte lijntjes zijn dunne waterfilms die de druppels van elkaar scheiden. De oliedruppels die aanvankelijk bolvormig waren zijn zo dicht op elkaar geperst dat ze zeshoekig worden en zo de honingraatstructuur vormen die u hier ziet. Door de hoge druk worden de waterfilms zo dun dat ze kunnen breken; wanneer een filmpje breekt en twee oliedruppels samenvloeien noemt men dat coalescentie. Omdat we wilden zien hoe het coalescentieproces verloopt maakten wij beelden van deze samengeperste emulsies, en inderdaad breekt op een zeker moment een van de films die hier afgebeeld is. Als ik u echter zou vragen aan te wijzen welk van deze vele filmpjes het is, dan is dat niet mogelijk. Ze zijn immers allemaal nagenoeg identiek. Op de volgende dia ziet u welk filmpje door het lot was aangewezen om als eerste te breken.



Figuur 7 Dezelfde emulsie van afb. 6 nadat een vloeistoffilmpje is gebroken.

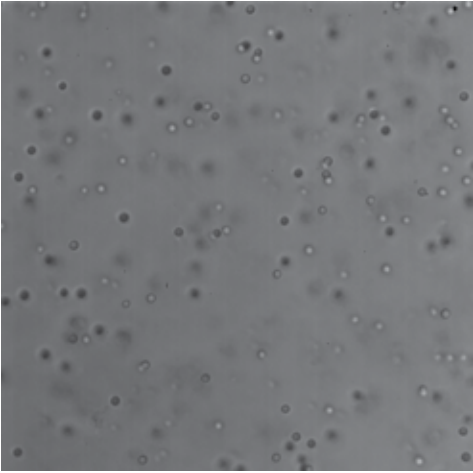
De witte cirkel geeft aan waar de coalescentie heeft plaatsgevonden

Zijn nu ook de volgende filmbreuken toevallig? Nee, dat blijkt niet zo te zijn. Als er eenmaal een eerste film is gebroken dan is daar een druppel ontstaan die groter is dan de anderen. Het blijkt nu dat verdere coalescentie bij voorkeur daarmee gebeurt, met andere woorden, de grotere druppel groeit aan doordat de oorspronkelijke druppels daarmee coalesceren. Er is lijkt dus een correlatie te zijn tussen verschil in grootte van de druppels ter weerszijden van een waterfilm en de kans dat hij breekt. Dat films tussen ongelijke druppels gemakkelijker breken komt waarschijnlijk doordat deze films iets bol gaan staan, en daarbij oprekken en dunner worden. Op macroniveau hoeven we echter niet precies te weten welke filmpjes nu eerst breken en welke later; als we uitzoomen en naar miljoenen druppels kijken kunnen we de hoeveelheid gecoalesceerde druppels in de tijd volgen; het gaat dan om het gemiddelde aantal coalescenties per tijdseenheid, een statistische grootheid. U ziet op de volgende dia hoe de mate van coalescentie zich in de tijd volgens een regelmatige curve ontwikkelt, en die curve blijkt ook in termen van oorzaak en gevolg te beschrijven [6].



Figuur 8 Tijdsverloop van het percentage samengevloeiende oliedruppels. Blauw: zeer stabiele emulsie, geen filmbreuk; rood, zwart: instabiele emulsie, snellere coalescentie

Metingen op het microscopische niveau zijn vaak behept met grillige variaties, of fluctuaties, in het signaal, net als bijvoorbeeld beurskoersen. Dat maakt ze echter niet onbruikbaar, integendeel. Juist de analyse van de fluctuaties levert vaak waardevolle informatie op. Een mooi en recent voorbeeld daarvan is microreologie [7]. Reologie is de studie van de consistentie van materialen, hoe ze vervormen, vloeien en terugveren wanneer er kracht op wordt uitgeoefend. Voor een gewoon, macroscopisch, reologie-experiment is een soort roertoestel nodig, en al gauw een vingerhoed van het te bestuderen materiaal. Bij microreologie ga je anders te werk: er worden kleine testdeeltjes ter grootte van een duizendste millimeter in het materiaal gebracht. Elk van de testdeeltjes voert een wanordelijke beweging uit en roert daarmee als het ware lokaal in een monster van heel klein volume. Met een snelle en gevoelige camera worden de verplaatsingen zeer nauwkeurig, tot op een honderdduizendste deel van een millimeter, in de tijd gevolgd.



Figuur 9 Testdeeltjes waarvan de spontane thermische beweging gebruikt wordt om eigenschappen van het omringende medium te bepalen

Hier ziet u een filmfragment van ongeveer 20 seconden met enkele tientallen bewegende deeltjes. Uit de verplaatsingen van de deeltjes kunnen in principe twee eigenschappen van het medium worden afgeleid, nl. de stroperigheid of viscositeit, en de elasticiteit. Vergelijkt men deze grootheden zoals 'locaal' gevoeld door testdeeltjes met die zoals gemeten in een standaard reologie-experiment dan komen dezelfde trends naar voren, maar ook zijn er vaak verschillen in absolute grootte, met name in de waarde voor de elasticiteit. Waardoor dit komt is nog onduidelijk; we hopen hier in de nabije toekomst meer klaarheid in te brengen.

Ik hoop dat ik u inmiddels voldoende overtuigd heb van het feit dat toeval en toedracht de centrale elementen zijn waarmee ook in de fysische chemie het verleden wordt gereconstrueerd. Dat geldt evenzeer voor de processen in de materie waar ik onderzoek naar deed, als voor processen in de sociale werkelijkheid waarin zich het wetenschapsbedrijf voltrekt, zoals, bijvoorbeeld, een loopbaan. Ik wil dan ook vanuit dit perspectief terugblikken op enkele gebeurtenissen en ervaringen van de afgelopen pakweg 17 jaar waarin ik leerstoelhouder Fysische chemie en Kolloïdkunde was aan deze universiteit.

Dat brengt me allereerst bij mijn eigen loopbaan. Het gegeven dat ik thuis als nieuwsgierige dromer en boekenwurm wel eens 'verstrooide professor' werd genoemd was misschien een aanwijzing dat ik hier zou uitkomen, maar toch een die voorbijgaat aan de aard van het moderne wetenschapsbedrijf waarin ook zakelijkheid en esprit d'équipe heel belangrijk zijn.

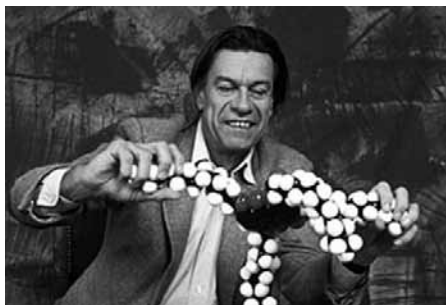


Figuur 10 De auteur op 7-jarige leeftijd

Het feit dat er een promotieplaats beschikbaar was in Wageningen toen ik besloten had mijn Alma Mater Groningen te verlaten was zeker wel een beslissende omstandigheid. Ik had tot dan toe geen idee dat Wageningen iets te bieden had op het gebied van fysische chemie; het voortreffelijke wetenschappelijk klimaat in de groep van Lyklema en Bijsterbosch was voor mij dan ook een ontdekking van jewelste. Ik heb me er altijd bijzonder thuis gevoeld.

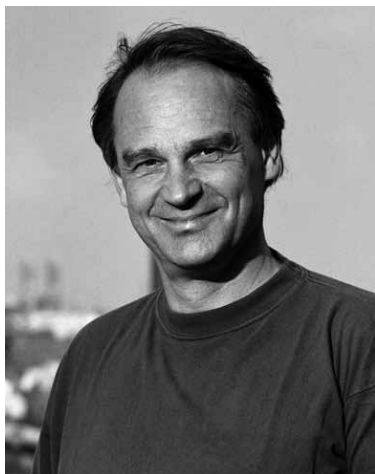
Een tweede gelukkig toeval was een positie voor een wetenschappelijk medewerker die beschikbaar kwam juist toen ik mijn promotie afrondde. Er waren voor die positie twee gegadigden: Jan Scheutjens, die in dezelfde periode aan een proefschrift werkte en waarmee ik veel samen deed, en mijn persoon. Jan en ik bedachten toen dat we eigenlijk allebei heel content zouden zijn met een halve aanstelling; we solliciteerden als duo en losten daarmee *en passant* het dilemma van de sollicitatiecommissie op; zo begon mijn loopbaan aan deze universiteit.

Een derde toeval was een brief die in 1984 rondging op het lab, en waarin een plaats voor een jaar werd aangeboden aan het befaamde College de France te Parijs, in de afdeling Matière Condensée van de fysicus Pierre Gilles de Gennes die in 1991 de Nobelprijs voor natuurkunde zou krijgen.

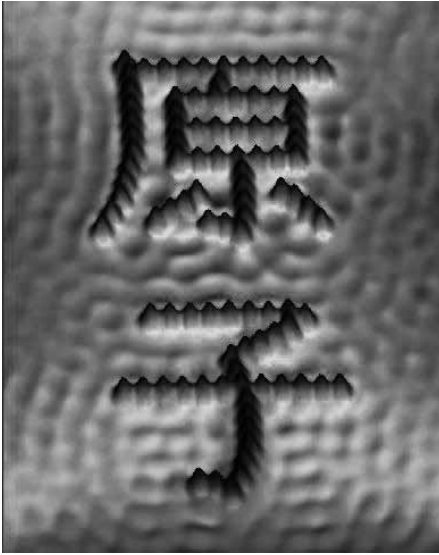


Figuur 11 Pierre-Gilles de Gennes (1932-2007)

Ik kende De Gennes van een serie colleges over polymeren [8] die hij gaf in Leiden en waar ik in mijn promotietijd samen met Jan Scheutjens heen placht te gaan. Dat leek me dus een fantastische kans en ik reageerde met succes op het aanbod. Zomer 1985 vertrokken we met ons jonge gezin naar Parijs voor een jaar vol wederwaardigheden, waarin ik een voor mij nieuwe en verhelderende fysische kijk op chemische vraagstukken leerde kennen; ik heb daar heel veel profijt van gehad. Ik zag daar ook de kracht van nieuw natuurkundig gereedschap zoals de laser, waarmee je zoveel beter kolloïden en grensvlakken kon bestuderen. Het was het jaar waarin Binnig en Rohrer de Nobelprijs kregen voor de ontwikkeling van de tunneling microscoop, en waarin het optisch pincet werd uitgevonden. Kort na mijn terugkeer deden dynamische lichtverstrooiing en reflectometrie – dit laatste ook al dankzij toeval – hun intrede in het lab, en tot op de dag van vandaag zijn dat belangrijke werkpaarden in het onderzoek gebleven.



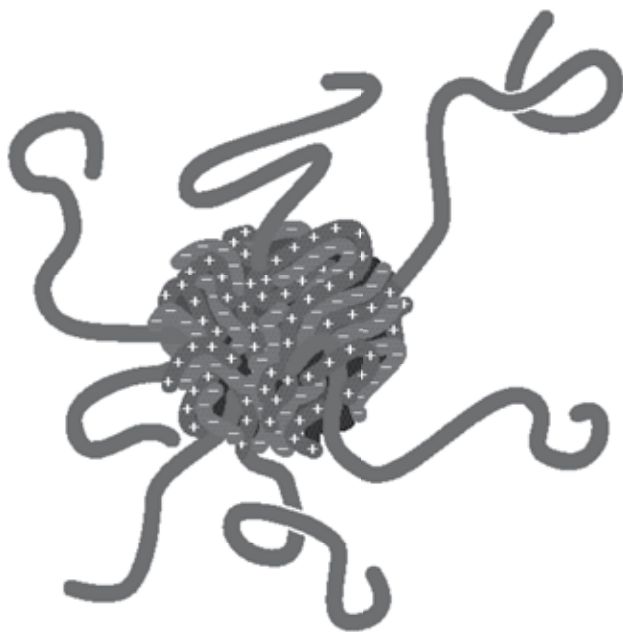
Figuur 12 Gerd Binnig en Heinrich Rohrer



Figuur 13 Een beeld uit de tunneling microscoop: kanji voor 'atoom', geschreven in enkele koperatomen vastgezet op ijzer

Een wetenschappelijke onderzoeksgroep is ook een microsysteem. Welke onderwerpen daar bestudeerd worden, wat er uit komt, en hoe dat tot verdere ontwikkelingen leidt is al evenzeer een samenspel van toeval en toedracht. De onderwerpen die mij sinds de jaren negentig hebben beziggehouden illustreren dat heel duidelijk. Mijn wetenschappelijke loopbaan was begonnen in de grensvlakchemie, meer in het bijzonder rond het onderwerp adsorptie van macromoleculen. Dat onderwerp was met succes in de groep opgebouwd door mijn leermeesters Lyklema en FLeer, en met name Jan Scheutjens had daar veel aan bijgedragen. Tal van vragen waren reeds opgelost en we hadden een zekere naam in dit veld. Ik had zelf de nodige energie gestoken in experimentele methoden om gemakkelijk en precies adsorptie te meten en processen te volgen [9]. Op een dag (daar heb je het toeval) werd ik benaderd door een chemicus uit de verfindustrie die mij vroeg of ik een Belgische promovendus, die op kosten van het bedrijf een aantal nieuwe polymeren had gemaakt, wilde helpen om de adsorptie van deze producten te karakteriseren. Deze man bleek even ijverig als eigenwijs. Een van de producten die hij had gemaakt vertoonde nogal rare kuren, en ik vroeg hem wat hij had gemaakt. Het bleek dat dit polymeer bestond uit een deel dat negatief geladen kon zijn, en een deel dat positief kon opladen, afhankelijk van de zuurgraad van de oplossing. Ik realiseerde me dat dit polymeer, vanwege attractie tussen negatieve en positieve lading, in water mogelijk slecht zou oplossen, en een postdoc ging dat vervolgens ook na. Ik rapporteerde erover tijdens een congres in Frankrijk en suggereerde aan het eind van mijn lezing dat je uit combina-

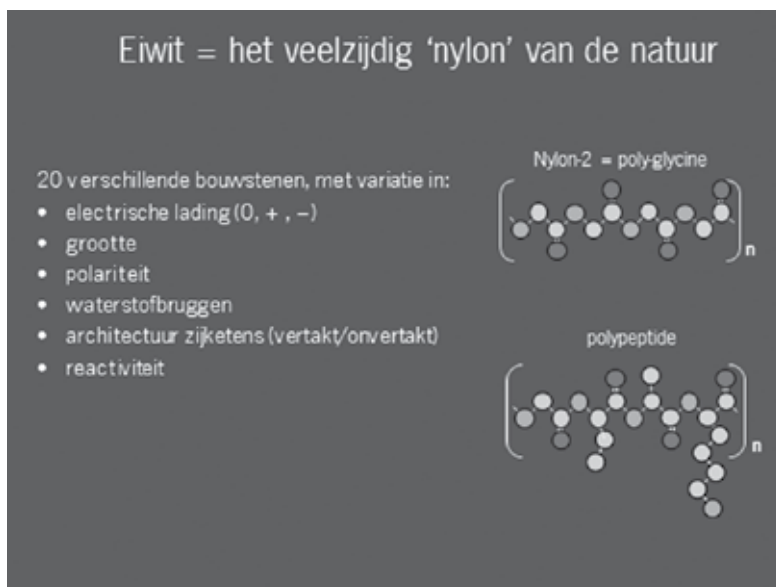
ties van negatieve en positieve polymeren mogelijk een heel scala aan nieuwe kolloïden kon maken. Tijdens de koffiepauze werd ik onmiddellijk aangeschoten door een onderzoeker van het chemiebedrijf Rhodia die aanbood om onderzoek in die richting te financieren. Zo kwam een heel nieuw onderwerp - complex coacervaten - in ons laboratorium tot bloei dat zeven doctorstitels - waarvan twee met lof - opleverde, en een hele serie publicaties. Toen de richting en de mogelijkheden me duidelijk waren geworden was het niet moeilijk systematisch tot uitbreiding te komen, maar zonder het bezoek van de eigenwijze Belg was dit wellicht niet gebeurd. Niet alleen ongelukken zitten dus - zoals de volkswijsheid wil - in een klein hoekje!



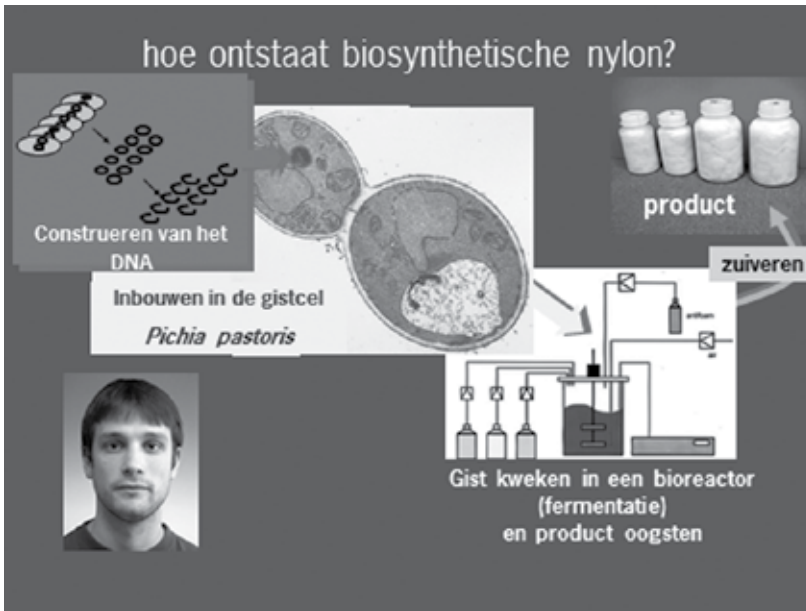
Figuur 14. Artist impression van een zg complexcoacervaatmicel, een nanodeelje gevormd uit tegengesteld geladen macromoleculen

Een tweede recente onderzoekslijn begon met een gesprek in Zurich waar ik in 2003 een kort sabbatsverlof doorbracht aan de ETH. Een van de collega's daar had aan de wieg gestaan van de succesvolle ultrasterke Dyneema polymeervezel die DSM op de markt bracht en brengt. Ik wilde graag weten hoe het spinproces waarmee die vezel gemaakt wordt in zijn werk gaat, en of je iets dergelijks ook met andere polymeren zou kunnen doen. Ik concludeerde uit ons gesprek dat het misschien zou kunnen met een mengsel van nauwkeurig ontworpen positieve en negatieve polymeren, en vervolgens ontmoette ik Frits de Wolf die aan een van de WUR instituten werkt. Hij

zei dat hij zulke polymeren wellicht langs biotechnologische weg zou kunnen maken en schreef heel doortastend een voorstel dat we samen indienden bij het Dutch Polymer Institute DPI. Ik had eigenlijk nauwelijks een idee hoe die bioproductie in elkaar stak en zag het project vooral als iets dat Frits graag wou doen maar dat niet erg paste in ons lab. Tot mijn verrassing wees DPI ons het project toe en Frits vond een kundige en enthousiaste biotechnoloog, Aernout Martens, die eraan begon. Na een jaar knutselen met DNA en gistcellen kwamen de eerste resultaten; het bleek dat Aernout een eiwit had gemaakt dat zich spontaan vouwde tot een nieuwe secundaire structuur en aaneenreeg tot heel fijne fibrillen met tal van verrassende eigenschappen [10]. Hij onderwees mijn lab in de beginselen van de gentechnologie en ik zag ineens de talloze mogelijkheden voor nieuwe materialen die dit bood. Plannen werden geschreven en financiering kwam in royale hoeveelheden uit Eindhoven, Den Haag en Brussel, zodat nu zo'n 15 onderzoekers hier hun handen aan vol hebben. Twee proefschriften zijn verschenen, er volgen er nog vele.

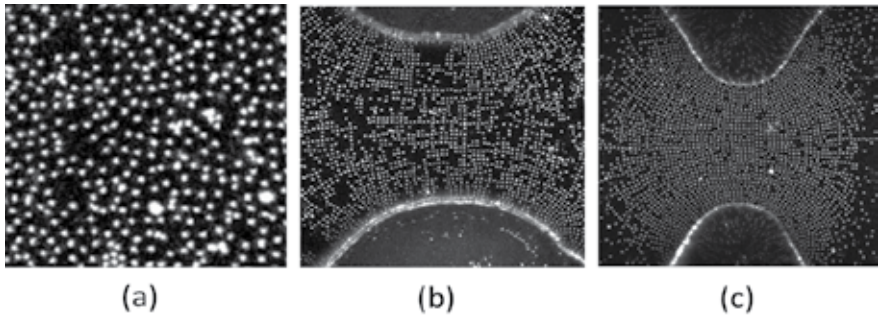


Figuur 15 Door de variatie in bouwstenen is met eiwitten (polypeptiden) ongelofelijk veel mogelijk



Figuur 16 Volkomen nieuwe polymeren laten zich eenvoudig ontwerpen en produceren via gentechnologie

Als ik iets van deze gebeurtenissen geleerd heb is het wel dat je in de wetenschap ruimte moet geven aan toeval, en open moet staan voor kansen die onvoorziene gebeurtenissen in zich bergen. Naast systematisch en analytisch denken zijn nieuwsgierigheid, serendipiteit en associatief denken belangrijke drijvende krachten in grensverleggend onderzoek. Projecten die iets origineels opleveren hebben dan ook vaak een grillig verloop, en dat kan naar de buitenwereld de indruk wekken dat er maar wat aangerommeld wordt. De bestuurlijke fixatie op planmatigheid ziet echter het vruchtbare van onverwachtheid over het hoofd. Je moet een oorspronkelijk plan durven loslaten wanneer zich een toevallige en interessante vondst aandient. Een van onze promovendi was bezig om de beweging van bolletjes gevangen in een olie-water grensvlak te bestuderen, toen hij opmerkte dat de deeltjes de neiging hadden zich te ordenen op een patroon van vierkantjes. Normaal zie je honingraatpatronen bestaande uit zeshoeken, dus hij verbaasde zich en liet het zien tijdens een van de wekelijkse werkbesprekingen. Dat maakte onmiddellijk discussie los, en hij besteedde het jaar daarna aan het zorgvuldige observeren en analyseren van de patronen. Het resultaat lag ver buiten zijn oorspronkelijke opdracht en werkplan maar was een nieuw en grondig inzicht in het effect van kromming op capillaire krachten [11].



Figuur 17 Ordening van deeltjes door kromming van het grensolak waarin ze liggen. Vlnr: (a) plat vlak: wanordelijke structuur; (b) en (c): zadelvormig vlak met rechthoekige ordening

Toevallige vondsten kunnen de wetenschap dus vooruit helpen en hebben dat vaak gedaan. Ze zijn echter slechts het begin, niet het eindresultaat, van een studie, en het verkopen van een toevallig resultaat als vrucht van een studie kan misleidend zijn. Zo werd in 2003 in het bekende blad *Science* een artikel gepubliceerd waarin melding werd gemaakt van een nieuwe route om goed gedefinieerde clusters van kolloïdale deeltjes met bijzondere vormen te maken [12]. Deze deeltjes zouden zich lenen voor de bestudering van de kwestie van optimale pakking. Het artikel vertoonde ook foto's van diverse van zulke deeltjes. Het bestaan van deze deeltjes is dus niet aan twijfel onderhevig, het is waar dat ze gemaakt waren, maar dat is slechts een deel van de waarheid. Verreweg het grootste deel van de deeltjes – meer dan 99% – eindigt in een onbruikbare klont. De kans op – bijvoorbeeld – een uit precies vier bolletjes samengesteld regelmatig viervlak (tetraëder) is weliswaar eindig maar buitengewoon klein, en men moet goed zoeken om te midden van miljarden misbaksels een enkele treffer vinden. Een toevalstreffer dus. Het gaat mij dan tamelijk ver om dit als een wetenschappelijke vondst van formaat aan te prijzen, door het zo te verpakken dat het gros van de wetenschappelijke wereld er wel in zal tuinen. Ik wens de promovendi die pogen het experiment te reproduceren succes. Een en ander geeft maar weer eens aan dat het oppassen geblazen is wanneer nieuwswaarde dominant wordt in het wetenschappelijk bedrijf, en wanneer wetenschappelijke reputaties vooral worden gemeten in deze termen. Ik hoop dus maar dat onze rector zijn kwaliteitsbeleid niet teveel zal overlaten aan *Nature* en *Science*. Hij is gewaarschuwd. Waar het lot van een microsysteem bepaald wordt door dit soort toevalligheden, zijn op het macroniveau van een heel vakgebied duidelijke trends aanwijsbaar. Het vakgebied waarin ik begon heette 'kolloïdchemie' en was onmiskenbaar een deel van de chemie; het werd voornamelijk beoefend door mensen met een opleiding in de chemie. Het creëren en manipuleren van kolloïdale objecten – deeltjes, macromoleculen – stond centraal en er was veel aandacht voor de rol van toevoegingen

en chemische samenstelling. De natuurkunde was zeker ook belangrijk: elektrische velden, stroming en vervorming, en moleculaire statistiek kregen aandacht en complementeerden de chemische benadering. De rol van de natuurkunde is in het vak echter zichtbaar toegenomen en ook de participatie van natuurkundigen is nu veel groter. Natuurkundigen hebben erop gewezen dat het vak getypeerd wordt door collectief gedrag van complexe veel-deeltjessystemen met dusdanig zwakke onderlinge wisselwerkingen dat thermische beweging significant is. Daarmee kwam een nieuwe term in zwang, n.l. 'zachte materie' als nadere aanduiding binnen de typisch natuurkundige categorie 'gecondenseerde materie'; ik mocht daar vorig jaar op deze plaats al over spreken. Er werd zelfs een tijdschrift gelanceerd dat als naam draagt: 'Soft Matter', en we hebben landelijke ontmoetingen onder de naam Dutch Soft Matter Days. Het adagium voor een succesvolle aanpak is nu in mijn ogen: de eigenschappen en verschijnselen van zachte materie met fysisch gereedschap analyseren, en er met chemisch gereedschap in ingrijpen. Ook onze groep, met zijn mix van chemische en fysische expertise, is duidelijk als Soft Matter groep te kwalificeren. De inbreng van de fysica heeft het vakgebied een stevige duw in nieuwe richtingen gegeven; een voorbeeld daarvan zijn technieken als verstrooiing van neutronen en röntgenstraling die volkomen nieuwe waarnemingen mogelijk maakten. Het ziet er naar uit dat met name het fysisch gereedschap, zowel voor meten en waarnemen als voor theoretisch modelleren, verder zal groeien. Een mooi voorbeeld is de nieuwe vrije-elektronen laser ZFEL, een bron voor zachte röntgenstraling, die men in Groningen wil bouwen. Opmerkelijk is ook de opmars van optische technieken naar hoge resolutie voorbij de klassieke diffractielimiet [13], en ook is er nog lang geen eind aan de benutbare mogelijkheden van kernspins in Soft Matter [14]. Vaak zijn het de nieuwe instrumenten die dingen onthullen die verborgen waren, en die een nieuw inzicht in verschijnselen tot stand brengen.

Uit mijn opmerkingen over de rol van toeval en serendipiteit zou men kunnen concluderen dat ik invloed van bedrijven op de voortgang van onderzoek ongewenst zou vinden. Bedrijven moeten zich immers een helder doel stellen en daaraan planmatig vasthouden om een commercieel resultaat te behalen. Dat impliceert geen ruimte voor avonturen. Ik wil hier echter een nuance aanbrenge. Toen ik in 1975 naar Wageningen kwam lag de Mei-revolte van 1968 nog vers in het geheugen en stond de autonomie van de universiteiten op een fors voetstuk. Dat had twee oorzaken. Enerzijds werden universitaire onderzoekers toen voor het overgrote deel betaald uit rechtstreeks aan de universiteiten toegekend budget, voor een kleiner deel uit NWO. Door bedrijven gefinancierd onderzoek gebeurde op *ad hoc* basis en was voor de ontwikkeling van het vakgebied niet onmisbaar. Zeker aan de algemene universiteiten werd alom de opvatting aangehangen dat bedrijven niet te veel invloed moesten hebben op de ontwikkeling van de wetenschap, zij streefden

immers commerciële belangen na die op gespannen voet konden staan met het publieke belang. Uitbuiting en milieubedrijf waren de schuld van de private sector en daar liet een gewetensvol wetenschapper zich niet mee in. Anderzijds hadden bedrijven vaak flinke wetenschappelijke ambities en dito budgetten, en corporate labs konden niet zelden bogen op excellent onderzoek dat zich met dat van de beste universiteiten kon meten. Publiek-private samenwerking was derhalve ook voor bedrijven geen noodzaak. Ruim 30 jaar later zie ik een heel ander beeld. Universiteiten hebben zo goed als geen eigen onderzoeksgeld meer. Wageningen financiert misschien 5% van de onderzoeksprojecten zelf, de rest is extern gefinancierd. Om de academie en de bedrijven dichter bij elkaar te brengen werden eind jaren negentig publiek-private samenwerkingsorganisaties opgericht om kennisontwikkeling ten behoeve van belangrijke economische activiteiten te stimuleren. Zo ontstonden de zogeheten 'topinstituten' of TTI's zoals het Wageningen Center of Food Science WCFS, nu TIFN geheten, en het Dutch Polymer Institute DPI, respectievelijk rond de thema's levensmiddelen en kunststoffen. Inmiddels is 15 jaar ervaring opgedaan met de werkwijze van deze instituten; in beide hebben wij als onderzoekers geparticipeerd en ik raakte betrokken bij de leiding van DPI.

Ik kijk er daardoor nu toch anders tegenaan. De nogal strikte scheiding tussen academie en bedrijf, vaak samenvallend gedacht met die tussen 'fundamenteel' en 'toegepast' onderzoek is eigenlijk kunstmatig en onvruchtbaar. Intellectuele uitdagingen zijn aan beide zijden van de scheidslijn te vinden, en om de grote vragen waar de wereld voor staat aan te kunnen zijn bedrijven nodig. De TTI's hebben Nederland een unieke positie verschaft, met een uitstraling tot ver over de landsgrenzen. In sommige onderzoeksvelden, zoals bijvoorbeeld 'polyolefinen (polytheen, polypropeen)' speelt DPI een zodanig leidende rol wereldwijd, dat alle grote bedrijven in dit veld aangesloten zijn. DPI groeit nog steeds, ondanks problemen in het kielzog van de financiële crisis, en als de overheid haar bescheiden inspanning blijft leveren kan deze innovatiemotor wetenschap en technologie nog belangrijke diensten bewijzen. Interessant is daarbij de constatering dat onderzoek aan onderwerpen die relevant zijn voor bedrijven best zeer oorspronkelijk en van hoge kwaliteit kan zijn. De scheidslijn tussen onderzoek van excellente en van matige kwaliteit valt dus niet vanzelf samen met die tussen door nieuwsgierigheid gedreven en toegepast onderzoek.

Er is wel een ander probleem. De gezonde ontwikkeling van het universitair onderzoek kan niet zonder een stabiel perspectief voor de lange termijn. Vernieuwend onderzoek en belangrijke doorbraken vereisen het nemen van risico en hebben niet zelden een incubatietijd van minstens 5 jaar. Men kan van de industrie niet verwachten dat daar de verantwoordelijkheid voor de vitaliteit van het wetenschappelijk bestel op de lange termijn wordt genomen. Dat is een overheidstaak. De onzekere

factor hier is onze zwabberende rijksoverheid, die, onder frequent wisselende kabinetten en rondobberend op een instabiele kiezersgunst, ondanks lippendienst aan de Lissabon agenda te weinig commitment toont aan de wetenschap. Toch is het universitair chemisch onderzoek van Nederlandse bodem nog steeds het best geciteerde ter wereld. De vraag is echter hoe lang dat nog het geval blijft; het belang ervan voor een deel van ons bedrijfsleven is mijns inziens cruciaal.

Ik moet overigens zeggen dat in Wageningen wel goed gewerkt is aan een stabiel perspectief. Ik heb vanaf eind 1996 de leerstoelgroep Fysische Chemie en Kolloïdkunde mogen leiden. Dat was zeker in het begin niet gemakkelijk; er werd toen ineens een nieuw financieel systeem ingevoerd, 'integraal management' gedoopt, waarbij alle inkomsten en uitgaven op leerstoelniveau worden afgerekend, en ik werd daar verantwoordelijk voor zonder echt de bijbehorende bevoegdheden of instrumenten te hebben om te kunnen sturen. We zaten ineens diep in de rode cijfers en men voorspelde onze ondergang. Het herstel door natuurlijk verloop en stijgende inkomsten kostte veel inspanning en duurde zo'n 10 jaar. Ik zie nu dat er vruchten van geplukt worden, mede omdat de universiteit hierin koersvast is geweest. Bovendien bleef de sfeer in de groep uitstekend en zo slaagden we erin met de nodige creativiteit naar een gezonde bedrijfsvoering te groeien, zonder concessies te hoeven doen aan de kwaliteit van onderwijs en onderzoek.

Over de afgelopen bijna 17 jaar heb ik van allerlei personen steun gehad. In de eerste plaats gaat mijn dank uit naar alle medewerkers van de leerstoelgroep. Zonder uitzondering hebben jullie enthousiast mee gedacht en mee uitvoering gegeven aan de vernieuwing van het vakgebied, en de plannen en ideeën die ik ontvouwde kregen steeds loyale steun. Stuk voor stuk zijn jullie gedreven en succesvolle vakmensen, maar niemand ging op zijn strepen staan of hield er een dubbele agenda op na. Iedereen erkende de meerwaarde van het werken als team, en nam daar verantwoordelijkheid voor. Ik hoop dat deze werkwijze, die voor mij in niet geringe mate het werkplezier heeft bepaald, ook voor de mensen die nu op een tenure track positie zitten meerwaarde zal blijken te hebben. Ruimte voor groei, solidariteit, en de bereidheid om te delen zijn wat mij betreft kernwaarden om hierin te slagen. De woorden die Maarten Koornneef hier twee weken geleden sprak over samenwerking zijn mij wat dat betreft uit het hart gegrepen. Een goed lab kan voorts niet zonder een paar kundige, flexibele en klantgerichte technici. Zij zorgen ervoor dat de apparatuur die vaak delicaat en complex is het blijft doen en wordt aangepast aan de behoeften in onderzoek en onderwijs.

Het aansturen van de omvangrijke groep kon ik delen met een zeer betrokken managementsteam. Hooggeleerde collega Frans Leermakers, je bent me tot grote steun geweest door je bereidheid wanneer dat nodig was taken van me over te nemen en door je onafhankelijke kijk op het reilen en zeilen van de groep. Arie de Keizer, jouw ervaring met, en inzicht in financiële overzichten en je betrokken en integere werkwijze zijn cruciaal geweest voor het vinden van de juiste koers. Je deed dat naast je taken als onderzoeker en docent, en je hebt daarbij altijd het belang van de groep op de eerste plaats gezet. Niet alleen schiep je helderheid in het financiële beheer, ook waarschuwde je op tijd voor risico, en zo heb je me voor menige misstap behoed. Bovendien heb je Anita ter Haar overgehaald om bij ons te komen, dat was een gouden greep waarmee lange-termijn stabiliteit in de bedrijfsvoering werd gebracht. Ook Anita ben ik dank verschuldigd. Je was en bent even eerlijk en direct als loyaal, en je hebt er een belangrijk aandeel in gehad dat de financiële zorgen nu tot het verleden behoren. Dan is er Josie Zeevat, die in een oogopslag ziet of iemand goed in zijn vel zit; haar bijdrage aan het welbevinden van de mensen, dat de basis is voor goed functioneren, was en is onschatbaar. Ik heb voorts in de loop der jaren met tal van collega's te maken gehad, in onderzoek, bestuur of onderwijs. Het is mij hier niet mogelijk iedereen met name te noemen, maar ik dank allen voor de ondervonden blijken van sympathie en collegialiteit.

Ik ga nu nieuwe vergezichten tegemoet, met meer tijd en aandacht voor belangstellingen die de laatste jaren noodzakelijkerwijs op een laag pitje hebben gestaan, maar vooral ook voor mijn dierbaren, in het bijzonder mijn echtgenote Marina.

Tot slot: men zegt wel dat een goed organisator iemand is die niets aan het toeval overlaat. Het volledig uitbannen van het onverwachte laat echter te weinig ruimte voor de dynamiek van het toeval, en is daarom niet alleen vruchteloos maar ook onvruchtbaar [15]. Ik wens het laboratorium voor fysische chemie en kolloïdkunde en mijn opvolger professor Jasper van Gucht daarom nog een gezonde wetenschappelijke dynamiek die van onverwachte waarnemingen naar inzicht leidt, ofwel van toeval naar toedracht!

Ik heb gezegd.

Literatuur

1. Dit zou Laplace tegen Napoleon gezege hebben: C.B. Boyer, 'A History of Mathematics', Wiley NY (1968).
2. <http://www.nature.com/news/italian-court-finds-seismologists-guilty-of-manslaughter-1.11640>
3. *Science* 309 (2005).
4. Albert Messiah, 'Quantum Mechanics' Vol I., North Holland Publ. Co. Amsterdam (1961)
5. J. Barrow-Green, 'Poincaré and the Three Body Problem', Am. Math. Soc., Rhode Island, USA (1996)
6. H.Feng, J. Sprakel, D. Ershov, Th. Krebs, M.A. Cohen Stuart, J. van der Gucht, *Soft Matter* (2013) DOI: 10.1039/c2sm27285g
7. T.G. Mason, *Rheol. Acta* **39** (2000) 371-8
8. P.G. de Gennes, 'Scaling Concepts in Polymer Physics', Cornell Univ. Press, Ithaca, NY (1979)
9. J.C. Dijt, M.A. Cohen Stuart, G.J. Fleer, *Adv. Colloid Interface Sci.* **50** (1994) 79-101.
10. A.A. Martens, G. Portale, M.W.T. Werten, R.J. de Vries, G. Eggink, M.A. Cohen Stuart, F.A. de Wolf, *Macromolecules* **42** (2009) 1002-1009.
11. D. Ershov, J. Sprakel, J. Appel, M.A. Cohen Stuart, J. van der Gucht, *Proc. Nat. Acad. Sci.* (2013) under review
12. V.N.Manoharan, M.T.Elsesser, D.J.Pine, *Science* **301** 483-7 (2003)
13. V. Westphal, S.O. Rizzoli, M.A. Lauterbach, D. Kamin, R. Jahn, S.W. Hell, *Science* 320 (2008) 246-9 (STED); M. Bates, G.T. Dempsey, X. Zhuang, *Science* 317 (2007) 1749-53 (PALM)

14. J. Wang, A.H. Velders, E. Gianolio, S. Aime, F.J. Vergeldt, H. van As, Y. Yan, M. Drechsler, A. de Keizer, M.A. Cohen Stuart, J. van der Gucht, *Chem. Comm.* (2013) accepted.
15. R. Dijkgraaf, 'Tien regels voor succes'. Regel 7: Geef toeval een kans. Zorg voor een beetje creatieve chaos in je leven. Blader in het boek dat naast het boek staat dat je zocht, lees het volgende artikel in een tijdschrift, ga eens naar een lezing over een onderwerp waar je niets over wilt weten (...). *NRC Handelsblad* zaterdag 30 mei 2009.



Prof. dr. Martien A. Cohen Stuart

'Wij zien de natuurwetenschappen nog vaak als deterministisch, zonder ruimte voor toeval. Op het kleinste schaalniveau speelt toeval echter een belangrijke rol. Voorspellen van een gebeurtenis wordt dan een hachelijke zaak. Voor het wetenschappelijk bedrijf geldt dat ook: op het niveau van de individuele loopbaan of van de enkele onderzoeksgroep is toeval zeer bepalend, op het niveau van een heel vakgebied zijn er trends en patronen.'