

Nutslezing 2022

Nanotechnologie, het nut van klein bouwen

Prof. Dr. Ben Feringa

Ben Feringa promoveerde in 1978 aan de Rijksuniversiteit Groningen op het onderzoek naar asymmetrische oxidaties van fenolen met de dissertatie 'Asymmetric oxidation of phenols. Atropisomerism and optical activity' onder leiding van Hans Wijnberg, waarna hij enkele jaren bij Shell werkte. In 1988 werd hij benoemd tot hoogleraar organische chemie aan de Rijksuniversiteit Groningen waar hij ook voorzitter is van de basiseenheid Synthetisch organische chemie. Daarnaast werd hij in 2003 benoemd tot Jacobus van't Hoff Distinguished Professor of Molecular Science. In 2004 ontving hij de Spinozapremie en in 2006 werd hij benoemd tot lid van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Van 2008 tot 2013 was hij Akademiehogleraar. In 2008 werd Feringa geridderd in de Orde van de Nederlandse Leeuw. Op 23 november 2016 werd Feringa door de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, Jet Bussemaker, bevorderd tot Commandeur in de Orde van de Nederlandse Leeuw. Hij is vicepresident van het bestuur van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) en voorzitter van het bestuur van de afdeling Natuurkunde. Ook werd hij verkozen tot buitenlands erelid van de Amerikaanse Akademie van Kunsten en Wetenschappen.

Feringa's onderzoeksgebieden behelzen stereochemie, organic synthesis, asymmetric catalysis, moleculaire switches en motoren, zelf-assemblage, moleculaire nanosystemen and photopharmacology. Feringa's onderzoek is bekroond met talloze prijzen, waaronder de Körber European Science Award (2003), de Spinoza Prijs (2004), de Prelog gold medal (2005), de Norrish Award van de ACS (2007), de Paracelsus medaille (2008), de Chirality medaille (2009), de RSC Organic Stereochemistry Award (2011), de Humboldt award (2012), de Nagoya gold medal (2013), de ACS Cope Scholar Award (2015), de Chemistry for the Future Solvay Prize (2015), de August-Wilhelm-von-Hoffman Medal (2016), de Tetrahedron Prize (2017) en de European Chemistry Gold Medal (2018). In 2016 won hij de Nobelprijs voor de Scheikunde. Hij deelt de prijs met Jean-Pierre Sauvage en Sir J. Fraser Stoddart voor hun onderzoek naar moleculaire nanomachines.

Meer informatie: <http://www.benferinga.com/>

Op 28 maart 2022 hield Ben Feringa de jaarlijkse Nutslezing in Arminius, Rotterdam.

Nutslezing 2022

Nanotechnologie, het nut van klein bouwen

Prof. Dr. Ben Feringa

Het was dankzij een goede scheikundeleraar op de middelbare school dat Ben Feringa, boerenzoon uit Drenthe, voor chemie koos. Inmiddels is hij een veelvuldig gelauwerd hoogleraar in Groningen. Feringa vertelt over de wetenschap, zijn avontuur in een onbekende wereld. Hoe hij samen met zijn promovendi onderzoek doet en de moleculaire nanomotor ontwikkelde, waarvoor hij samen met twee collega's de Nobelprijs voor Chemie ontving. Ook laat hij zien welke toepassingen deze ontdekking mogelijk gaat krijgen, en meer in het algemeen wat wetenschap voor onze toekomst betekent. Feringa vertelt met een aanstekelijk enthousiasme, dat voortkomt uit de passie voor wetenschap die hij met zijn promovendi deelt.

‘Wetenschappers kijken graag voorbij de horizon, voorbij de grenzen. Op zoek naar een regenboog die we misschien nooit zullen vinden. Soms zijn we aan het zoeken, en doen we onverwachte ontdekkingen. Ontdekkingen die de wereld veranderen. Er dreigt een kloof te ontstaan tussen wat wetenschappers doen en wat de samenleving denkt dat wetenschappers moeten doen. Maar met die kloof valt het wel mee. De wetenschap staat niet zover van de samenleving af als sommigen denken. Ik werk bijvoorbeeld mijn hele carrière al samen met de industrie. Het punt is dat wij wetenschappers niet altijd in staat zijn duidelijk te maken waarom wetenschap zo belangrijk is. Waarvoor hebben we nu die moleculaire motoren nodig? Dezelfde vraag werd gesteld aan de Wright Brothers, toen ze het eerste vliegtuig bouwden, aan het begin van de vorige eeuw. Waarom moeten we vliegen? Als God wilde dat wij konden vliegen, had hij ons wel vleugels gegeven, was de gedachte. Nu vliegen we met een Boeing de oceaan over. Een vliegtuig dat 3,5 miljoen onderdelen bevat, waar 400 mensen in kunnen en dat een snelheid van 10.000 kilometer per uur heeft. Gebouwd door wetenschappers. Vogels vormden de inspiratie, maar de vliegtuigtechniek is volledig anders.’

Op zoek naar een regenboog die we misschien nooit zullen vinden

Smartphone

‘Waarom hebben we fundamenteel onderzoek nodig, en waarom moeten we voorbij onze grenzen kijken? Neem de smartphone. Bijna iedereen heeft er tegenwoordig een. Jongeren kunnen zich geen wereld zonder smartphones voorstellen. Toch bestaan ze pas 14 jaar. Daar is enorm veel onderzoek voor nodig geweest. In de veertiger, begin vijftiger jaren van de vorige eeuw werd de eerste transistor gebouwd door natuurkundigen. En de eerste liquid displays voor televisies en computers. Lithiumbatterijen zijn ontdekt in de tachtiger jaren. Het heeft vijftig jaar geduurd voordat de smartphone er was, en niemand had een idee dat die smartphone er zou komen. En dat we elektrische auto’s kunnen bouwen. Dat zijn ontdekkingen die de wereld ingrijpend hebben veranderd. In 2013, het jaar dat ik mijn eerste smartphone kocht, werden er kunstbenen ontwikkeld, op macroschaal. Op microschaal, een miljoenste van een meter, waren er hersenimplantaten om beter te kunnen zien. En op nanoschaal, de schaal van een miljardste meter, was er DNA geïsoleerd van een uitgestorven kikker in de hoop die weer tot leven te kunnen wekken. Het jaar van de Bijbelse profetie: de manken gingen weer lopen, de blinden gingen weer zien en de doden stonden op uit hun graf. Evolutie of revolutie?’

Avontuur

‘Wetenschap is een avontuur in een onbekende wereld. We hebben ideeën en plannen, maar verdwalend in de tuin van de wetenschap komen we de mooiste bloemen tegen. De meest bijzondere vragen, waarover we nog niet hebben nagedacht geven vaak bijzondere doorbraken. Dat avontuur in de onbekende wereld geeft nieuwe inzichten, voorbij de grenzen. Bij toeval stuiten we soms op bijzondere ontdekkingen, serendipiteit noemen we dat, en dat verandert de wereld’.

Verdwalend komen we de mooiste bloemen tegen

Docenten

‘Ik ben opgegroeid in een gezin van tien kinderen op een boerderij in Zuidoost Drenthe, 800 meter van de Duitse grens. Als kinderen gingen wij graag de grens over, naar de wildernis in Duitsland. Ik verslond boeken over ontdekkingsreizigers en stelde veel vragen. Hoe komt het dat de lucht blauw is, hoe komt een klaproos in het koren? Daarover discussieerde ik met mijn vader. Op de middelbare school maakte de scheikundeleraar ons enthousiast door allerlei proefjes te doen. Hij vertelde waarom de moleculaire wereld belangrijk is. Veel mensen hebben één goede docent die indruk op hen heeft gemaakt. Later op de universiteit van Groningen was professor Hans Wijnberg uit de Verenigde Staten een docent die geweldig uitdaagde. Ik maakte mijn eerste molecuul, want dat is wat ik doe, en hij zei: *Nobody in this world ever made this molecule, not even in America*’. Wat was ik trots. Onderschat nooit hoe belangrijk leerkrachten zijn. Docenten openen ramen en vormen onze toekomst met ons jong talent. En dat hebben we hard nodig.’

Onderschat nooit hoe belangrijk leerkrachten zijn

Elementen

‘In de kunst van het kleine bouwen werken wij aan chemische synthese, we maken moleculen. Het zijn bouwstenen voor gereedschappen, displays van laptops of medicijnen tegen ziekten als kanker. We werken met jonge onderzoekers, die we opleiden. Veel van hen gaan uiteindelijk naar de industrie. Wij hebben een universele taal: de taal van de moleculen en van de elementen. Het periodiek systeem, dat u misschien nog wel kent van de middelbare school. Ik kan prima met een Chinese collega werken, al verstaan wij elkaars taal niet. Wij wetenschappers hebben geen grenzen en werken samen met mensen uit de hele wereld. En we hebben een passie voor ontdekking. Het periodiek systeem omvat alle elementen, van het menselijk lichaam en alles om ons heen. De Rus Mendeleev heeft dit beschreven in 1869. Met atomen bouwen wij moleculen. In de molecuulformule van het menselijk lichaam zie je voor het grootste deel waterstof en zuurstof. Want de mens bestaat voor zestig procent uit water. In een smartphone zitten minder verschillende atomen dan in het menselijk lichaam. Basisch-chemisch is het menselijk lichaam dus complexer. Maar kijken we naar de chemie van de smartphone, dan zien we dat daar bijna twee keer zoveel elementen in zitten dan in het menselijk lichaam. Dat geldt ook voor elektrische auto’s, smartphones en computers. Sommige elementen die nodig zijn voor geavanceerde elektronica zijn schaars, dat geldt onder andere voor lithium.’

Wetenschappers hebben geen grenzen

Perspectief

‘Scheikunde is een creatieve wetenschap. We maken materialen en moleculen. Daarvoor hebben we duurzame processen en producten nodig. Klimaatverandering is maar één van de problemen die we moeten oplossen. Veel materialen komen uit de petrochemie. Hoe gaan we nieuwe materialen ontdekken, en de chemische industrie veranderen? Daar is nog veel onderzoek voor nodig, veel *trial and error*. Maar met nieuwe inzichten krijgen we mogelijk nieuwe, betere ontwerpen. Dat biedt perspectief voor de maatschappij van de toekomst.’

Motoren

‘We zijn heel goed in het bouwen van kleine moleculen, zoals ethyleen voor boterhamzakjes. We produceren 160 miljoen ton plastic per jaar. We kunnen ook heel ingewikkelde moleculen maken, zoals vitamine B12, dat wel de Mount Everest van de chemie wordt genoemd. Vitamine B12 is minstens zo belangrijk voor ons als plastic, om gezond te blijven. We kunnen allerlei materialen maken voor onze moderne maatschappij: kleurstoffen, componenten voor auto’s, zeep, kleding, etc. maar we zijn niet goed in iets maken wat beweegt. Ons lichaam heeft allerlei bewegende systemen. Rotatiemotoren, nanomotoren in het lichaam, zorgen ervoor dat alle stoffen worden getransporteerd, zoals de eiwitten waaruit een mens is opgebouwd. Dit zijn eigenlijk robots in het lichaam. Ook bacteriën hebben motoren waarmee ze zich al ronddraaiend voortbewegen door het lichaam. Het mooiste voorbeeld van zo’n motor is de optische schakelaar in het oog. Die moleculaire schakelaar heet retina, netvlies. Er bevindt zich een nanowereld in het menselijk lichaam.’

Ook bacteriën hebben motoren

Miljardste meter

‘Nanotechnologie begon in de jaren vijftig van de vorige eeuw met Richard Feynman, die zei: *‘There is plenty of room at the bottom’*. Computers worden steeds krachtiger en de onderdelen worden steeds kleiner. ASML maakt nu chips tot tien miljardste meter. We waren gewend *top down* te werken. Maar in de natuur, en ook in het menselijk lichaam, wordt alles *bottom up* opgebouwd. Feynman bedoelt: begin onderaan, bouw met moleculen, zoals dat ook in de natuur gebeurt, in plaats van *top down*. Vijftig jaar later zijn we dat gaan doen. Een nanometer is een miljardste meter. De doorsnee van een hoofdhaar is 80.000 nanometer, 80.000 keer zo groot als de schaal waarop wij bouwen. *Size matters*, want zand bijvoorbeeld voelt lekker zacht aan als je erop gaat zitten, maar kiezels, die van hetzelfde materiaal zijn, niet. Het heeft te maken met deeltjesgrootte. Nanodeeltjes zorgen onder meer voor mooie contrasten in hoge definitie kleurenschermen. Dat zijn harde nanodeeltjes, terwijl wij werken met zachte nanodeeltjes. Om die deeltjes te kunnen zien zijn microscopen ontwikkeld die atomen en moleculen op een oppervlak kunnen aftasten. Het zijn eigenlijk geen microscopen maar nanoscopen. Op een doorsnee van een haar kun je twee miljoen letters schrijven, dat is het formaat waarover we het hebben.’

Schakelaar

‘Voordat ik het over de moleculaire motor ga hebben eerst iets over schakelaars. Iedereen kent de eenvoudige schakelaar, zoals in een lichtknopje: aan of uit. De mooiste schakelaar in de natuur is die in het oog. Die gaat van een meer gebogen stand naar meer lineaire stand, afhankelijk van het licht. En het gaat ook weer terug, heen en weer. Daar zitten miljoenen schakelaars achter. Toen ik bij de universiteit ging werken wilde ik uitzoeken of we met moleculaire opslag konden werken. We hebben kunstmatige systemen gebouwd, gebaseerd op hetzelfde principe als in het oog. We schakelen met licht, blauw en rood, tussen twee standen, 0 en 1. In een stukje plastic schrijven we nullen en enen. Dat is moleculaire informatieopslag. Pas je dat op een compact disc toe, dan krijgt die een opslagcapaciteit van 240 jaar continu muziek. Zes generaties lang hoef je de CD niet te verwisselen, zoveel informatie gaat erop. Helaas, zover is het nog niet, want op nanoschaal kunnen we nog moeilijk onderscheid maken tussen een 0 en 1 als ze vlakbij elkaar liggen. Dat probleem hebben we nog niet opgelost. Maar dit is de belofte van nanotechnologie.’

Een cd met 240 jaar continu muziek

Therapeutisch

‘Hoe kun je ingrijpen op biologische functies, op celniveau? Het is een belangrijk onderzoeksgebied sinds een jaar of tien. We werken samen met celbiologen, farmaceuten en de medische faculteit aan slimme geneesmiddelen. Om een medicijn optimaal te laten zijn willen we de werking aan- en uit kunnen zetten met licht, via nanotechniek. Dat geeft een hoge precisie in therapeutische behandeling. Je zet het medicijn precies aan waar het nodig is. Dan pak je ook bacteriële resistentie aan, dat is een groot probleem in deze wereld, groter dan Covid 19. Voor kankermedicijnen kan deze methode bijwerkingen verminderen. Met name heel kleine tumoren zijn lastig te behandelen. We zijn nog niet zo ver dat dit werkt, maar dit is de toekomst. Een vraag waar we nog mee worstelen is: hoe krijg je licht in het lichaam? Je wilt geen schadelijke stralen. Een promovendus heeft een schakelaar ontwikkeld die werkt op infrarood licht. Een kunstenaar raakte erdoor geïnspireerd en heeft er een tentoonstelling aan gewijd.’

Bacteriële resistentie is een groter probleem dan covid 19

Evenwicht

‘Dan kom ik op de moleculaire motor. Iedereen kent de motor, van een auto bijvoorbeeld. Het menselijk lichaam zit vol met motoren, zodat wij kunnen bewegen en uit evenwicht zijn. Niet ín evenwicht. Je moet in balans zijn en in harmonie, maar je wordt voortdurend uit evenwicht geduwd door al die motoren, daardoor leven wij. De mooiste motoren zijn de motoren in het lichaam. Er zijn er miljarden van. Ze zijn nanometers groot en draaien rond. Zo produceren ze elke dag de helft van het lichaamsgewicht aan brandstof. Daarvoor hoef je niet elke dag de helft van je lichaamsgewicht aan voedsel te nemen. Het lichaam recyclet dat via allerlei systemen, elke vierentwintig uur. In de natuur gaat dat dus heel goed; wij moeten nog leren hoe we dat met plastic moeten doen. Want dat is een van de grote problemen in onze maatschappij.’

Beweging

‘Hoe kun je iets rond laten draaien? En daarbij controle krijgen over links en rechts, met de klok mee of tegen de klok in? Je moet kiezen, anders kom je niet vooruit. Symmetrie is het kenmerk van schoonheid. Maar in het lichaam is alles asymmetrisch. Asymmetrie wordt de handtekening van leven genoemd. De DNA helix is een rechtshandige schroef in je lichaam waarin al je erfelijke eigenschappen zitten. Het wordt wel de Mona Lisa van de moderne wetenschap genoemd. We moesten iets bouwen dat één kant op draait. Veel mensen worstelen met links en rechts. Wie ooit met de rechervoet in de linker klomp is gestapt, weet voor altijd het verschil tussen links en rechts. Zo heb ik het vroeger in Drenthe geleerd. Nu hebben we een motortje gebouwd van één nanometer. De eerste moleculaire motor, de kleinste ter wereld. Hij draait rond, aangedreven door licht, rechtsom of linksom. Tegenwoordig kunnen we moleculen zien via röntgenopnames en MRI-scans. We bouwen nanodeeltjes die kunnen zwemmen, zonder dat je er iets aan hoeft te doen. Ze worden voortbewogen door suiker, via een chemische reactie, en dus niet met licht. Na vijf jaar onderzoek was het mogelijk om de beweging van nanomotoren, die we al langer hadden, zichtbaar te maken. Dat was het belangrijkste Eureka-moment in mijn hele carrière.’

Dynamisch

‘We zijn een nanowindmolenpark gaan bouwen. De molens, twee miljardste meter groot, draaien allemaal dezelfde kant op als ze zonlicht krijgen. Als je in staat bent een oppervlakte te maken dat dynamisch is in plaats van statisch, krijg je allerlei nieuwe mogelijkheden. Dan kun je zelfreinigende oppervlaktes maken, zoals ramen en zonnepanelen. Ik voorspel dat je over dertig jaar je auto niet meer hoeft te wassen, die reinigt dan zichzelf. De coating van de toekomst beweegt. Zo kunnen ook krassen zich zelfstandig repareren, net als een snee in een vinger vanzelf dicht gaat. Slimme materialen die zichzelf herstellen, dat is de toekomst. Misschien niet direct, en misschien niet met mijn machientjes, maar als het principe eenmaal bekend is, dan komt het vanzelf. Net als de Boeing 747 na de uitvinding van de Wright Brothers.’

De coating van de toekomst beweegt

Nano-ootjes

‘Toen ik in 2004 de Spinozaprijs kreeg hebben mijn studenten en ik een nano-ootje gebouwd, een fourwheeldrive, twee miljardste meter groot. De vraag was of we een rotatie konden omzetten naar een beweging, een translatie. Dat is gelukt. Het nano-ootje beweegt anders dan een machine, het wandelt als het ware over het oppervlak, meer zoals dingen in het menselijk lichaam bewegen. In je cellen worden voortdurend snelwegen aangelegd om stoffen aan en af te voeren, en daarna afgebroken, en opnieuw aangelegd, miljarden keren. Dit is de wereld op nanoschaal. In 1835 bouwde Sibrandus Stratingh de eerste elektrische auto, in Groningen. Daarmee heeft hij over de Grote Markt gereden. Op macroschaal is de Tesla de nieuwe auto. En op nanoschaal zijn het onze ootjes. Onze fabriek doet het niet gek, want in een buisje met wat eruit ziet als wit poeder zit een miljard keer een miljard aan nano-ootjes, allemaal identiek.’

Injecteren

‘De vraag rijst of we de nanomachines ook in het menselijk lichaam kunnen toepassen. We hebben een koolstofnanobuisje gebouwd, en daar twee enzymen, eiwitten, opgezet. Die zetten suiker om. Suiker is de brandstof. Dat zit al in je lichaam, dus dat kun je als brandstof gebruiken. En dan kan het nanobuisje zichzelf voortstuwen door water. We kunnen nog weinig sturing geven, het is nog primitief, maar het werkt. Krijg je dan de

Fantastic Voyage, waarin een nano-onderzeeër door je bloedvat wordt gestuurd, op zoek naar een cel? Zover is het nog niet, maar wie weet, over vijftig jaar. Ik durf wel te voorspellen dat dokters in de toekomst nano-robotjes zullen injecteren in een bloedvat, om een defect te zoeken en het repareren, of om een geneesmiddel precies op de juiste plek af te leveren. *Science of science fiction?* Ik ben maar een onderzoeker, maar ik weet wel: *The best way to predict the future is to invent it.* En daar zijn we mee bezig.’

The best way to predict the future is to invent it

Coatings

‘Ik sluit af met een paar algemene punten. Hoe gaan we onze CO₂-uitstoot verkleinen, materialen recyclen, tien miljard mensen voeden, en vliegen zonder kerosine? Ik ben positief over de toekomst, mits we deze problemen met alle disciplines aanpakken. En dat kan. Ik geef u een concreet voorbeeld. Recent hebben onze promovendi samen met Akzo Nobel een coating ontwikkeld op basis van plantenafval, cellulose uit houtafval. Nu worden coatings gemaakt uit olie: acrylaat. Iedereen kent wel acrylaatverf, dat veel wordt geproduceerd. Wij hebben het houtafval met zonlicht en zuurstof omgezet in een acrylaatvervanger. Uit testen blijkt dat die coatings net zo goed zijn als acrylaat-coatings. En het enige afval is water. Wat we nodig hebben is niet meer dan plantenresten, zonlicht, zuurstof en een beetje alcohol. Het kan dus wel degelijk. Ik ben erg trots dat mijn studenten dit voor elkaar hebben gekregen. Het moet nog verder ontwikkeld worden, het zal nog wel een jaar of tien duren voordat deze uitvinding als product verkrijgbaar is.’

Het enige afval is water

Passie

‘*Sharing a passion* is het allerbelangrijkste. We werken samen met jonge mensen en leiden hen op. Niet voor vandaag, maar voor de toekomst. We proberen ontdekkingen te doen en voorbij onze horizon te denken. Dit zijn de mensen die over tien jaar innovaties zullen doorvoeren: *inventing the future*. Het is een team enthousiaste jonge mensen, gepassioneerde onderzoekers, mannen en vrouwen van over de hele wereld.’

Nobelprijs

‘Een paar jaar voordat ik het telefoontje kreeg over de Nobelprijs hadden de Simpsons daar al een voorspelling over gedaan. Ik hoorde dat ik, als Nederlandse wetenschapper, op prime time in de VS genomineerd was voor de Nobelprijs voor chemie door de Simpsons. Dat vond ik al heel mooi. Op een Nobelprijs zat ik niet te wachten, ik was gewoon met mijn vak bezig. Maar een paar jaar later mocht ik de prijs in ontvangst nemen uit handen van de Zweedse koning. Er was een diner voor 1200 gasten, iedereen in gala, ik daalde de trap af naast een van de Zweedse prinsessen die op naaldhakken liep, langs herauten, het werd live uitgezonden, doodeng vond ik het. Maar het was een absoluut fantastische avond. Een sprookje. Mijn collega Sir Fraser Stoddart kreeg daarna bij zijn universiteit in Amerika twee speciale parkeerplaatsen in de garage, met een bordje met zijn naam erop. In Groningen wilden ze voor mij ook iets doen, maar ik kom altijd met de fiets. Nu heb ik ook een eigen parkeerplaats voor mijn fiets, met een bordje erbij: ‘Rijwielplaats gereserveerd voor Nobelprijswinnaars’. Dat staat er niet voor niets, want mocht er nog een Nobelprijswinnaar komen, dan hoeven ze geen nieuw bordje te kopen.’

Genomineerd door de Simpsons

Toekomst

‘Ik sluit af met een citaat van de door mij bewonderde Leonardo Da Vinci, van vijfhonderd jaar geleden: *‘Where Nature finishes producing his own species, man begins, with the help of Nature, to create an infinity of species’*. De jonge mensen wil ik nog meegeven: *imagine the unimaginable*. Ik hoop dat ik een tipje van de sluier heb opgelicht van wat ons in de toekomst mogelijk te wachten staat.’