



Met chemie kun je de wereld verbeteren, stelt hoogleraar **Bert Weckhuysen**. Zijn eerste stap? De ware essentie van chemische reacties doorgronden.

Tekst: Jim Jansen en George van Hal
Beeld: Bob Bronshoff

et professionele leven van chemicus en Spinoza-premie-winnaar Bert Weckhuysen speelt zich af op de vierkante nanometer, maar dat zegt niets over zijn ambities. Met onder-

zoek op de allerkleinste schaal hoopt Weckhuysen de wereld namelijk op veel grotere schaal te verbeteren. Dat begint bij de chemische industrie, die van aardolie plastics maakt en de brandstof produceert waarop onze auto's rijden. Zonder kunnen we niet, maar de aardolievoorraad raakt op en bij de verwerking ervan ontstaat afval – een bekend probleem waarvoor onderzoekers al jaren een oplossing zoeken.

Eén van de mensen die jaagt op een groot idee dat dergelijke problemen oplost, is Weckhuysen. Aan de Universiteit Utrecht sleutelt hij aan nieuwe katalysatoren, hulpstoffen die je in zekere zin kunt beschouwen als de smeerolie van de chemische industrie. Zonder katalysatoren zijn de reacties waaruit brandstoffen en plastics ontstaan onmogelijk, maar hoe ze precies doen wat ze doen, is nog onvoldoende bekend.

Daarom duikt Weckhuysen dieper onder de motorkap van de katalytische reacties die de industrie gebruikt. Hij bekijkt hoe op de allerkleinste schaal moleculen en atomen botsen, scheuren, breken en hercombineren tot nieuwe stoffen. Met die kennis hoopt hij processen in de chemische industrie efficiënter te maken, met minder afval. Sterker nog, met behulp van fundamenteel begrip hoopt hij zelfs radicaal nieuwe processen te kunnen ontsluiten – processen die ons definitief van onze aardolieverslaving kunnen verlossen.

Uw ideeën kunnen de samenleving duurzamer maken. Mogen we stellen dat dat uw droom is?

‘Deels, maar ik wil me niet laten leiden door de laatste trends of de nieuwste hypes. Duurzaamheid is een modewoord, maar je kan toch niet ontkennen dat het de wens is van iedereen om zo efficiënt mogelijk om te gaan met onze natuurlijke grondstoffen en milieu? Mijn droom ligt daarom een stap eerder, op een fundamenteeler niveau. Ik wil begrijpen hoe een katalysator écht werkt. Ik wil weten hoe een molecuul landt op het oppervlak van een katalysator en wat er vervolgens mee gebeurt. Dat doen we op dit moment met krachtige microscopen waarmee je heel nauwkeurige foto's kunt maken. Maar ik wil nog een stap verder gaan, wil ook het tijdsdomein verkennen. Ik wil niet alleen foto's maken van een katalytische reactie, maar ook een filmpje kunnen maken van het hele proces. En dat op nanometerschaal, het niveau van de atomen en moleculen.’

Wat is daarvoor nodig?

‘De foto's die we momenteel nemen zijn al heel nauwkeurig, maar we schieten ze met tussenpozen van op z'n best een milliseconde. Dat is op zich al wel snel, maar in vergelijking met de snelheid waarop chemische reacties plaatsvinden, is dat nog altijd niet snel genoeg. Je mist belangrijke momenten. Stel dat je met je ogen knippert en intussen pakt iemand een pen van je bureau. Dan zie je eerst een bureau met pen en daarna een tje zonder, maar de hand heb je gemist. Net zo missen we nu soms hoe een molecuul landt of opbreekt in zijn atomen. Wil je dat allemaal volgen, dan moet je razendsnel foto's schieten, alsof je een fotocamera hebt met een enorm korte sluitertijd. Nu komen vrije-elektronenlasers beschikbaar, die ultrasnelle X-stralen uitzenden met tussenpozen van 10^{-15} seconde. Dat zit in het juiste tijdsdomein. Dat domein wordt momenteel onder ideale labomstandigheden al wel verkend, maar nog niet, zoals we eigenlijk willen, onder dezelfde omstandigheden die in de industrie gelden, bij hoge temperaturen en hoge druk. Dat noemen we dan *in situ*.’

CV

Bert Weckhuysen

Geboren 27 juli 1968 te Aarschot (België).

- **1987 - 1991** Katholieke Universiteit Leuven (Ingenieur voor de scheikunde en landbouwindustrieën)
- **1991 - 1995** Promotie Katholieke Universiteit Leuven op onderzoek naar heterogene katalyse
- **1995 - 1997** Postdoc Lehigh University & Texas A&M University Amerika
- **1997 - 2000** Onderzoeker bij het Fonds Wetenschappelijk Onderzoek - Vlaanderen
- **2000 - heden** Hoogleraar anorganische chemie en katalyse aan de Universiteit Utrecht
- **2012** International Catalysis Award
- **2012** Europese ERC Advanced Grant
- **2013** Spinozapremie



Houtsnippers, stressballen, golfballen: Weckhuysen gebruikt van alles om zijn verhaal te illustreren.

Op de middelbare school leren we naar reacties kijken als een soort boekhouden. We schrijven bijvoorbeeld $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ wanneer we willen beschrijven hoe water (H_2O) ontstaat uit waterstof (H_2) en zuurstof (O_2). Daarbij zorgen we dat alles voor en na de pijl met elkaar in balans is. Wat voegt uw filmpje toe aan die manier van reacties analyseren?

‘Pas wanneer je dat filmpje hebt, weet je wat er exact gebeurt. In het voorbeeld dat je noemt, is dat het verschil tussen alleen de begin- en eindsituatie kennen, of ook weten wat er echt gebeurt in die pijl. Gaan die waterstofatomen tegelijk met beide zuurstofatomen aan de haal, of pakt één waterstofatoom eerst één zuurstofatoom zodat je OH krijgt en combineert dat vervolgens met een waterstofatoom tot H_2O ?

Voor iets relatief eenvoudig als de vorming van water weten we dat misschien ook wel zonder zo'n filmpje te schieten, maar voor complexere katalytische processen waar een lang molecuul omgezet wordt,

weten we dat vaak niet. Wat kun je nu precies op het oppervlak van een katalysator maken? Wat is de meest waarschijnlijke volgende reactiestap? We krijgen op deze manier veel meer kennis over hoe die katalysator er precies uitziet en even belangrijk wat zijn precieze rol is in de chemische reactie die hij bevordert. Daardoor kunnen we hem nog veel beter maken, helemaal perfect afstemmen op de reactie. We kunnen katalysatoren op die manier effectiever maken, zorgen dat ze selectiever reageren met alleen de stoffen waarmee je wilt dat ze reageren. En we ontdekken ook nog eens hoe we ze praktisch kunnen maken, hoe ze eruit moeten zien. Op die manier kunnen we ervoor zorgen dat tal van chemische reacties met die katalysatoren beter en efficiënter worden.’

Hoe werkt dat? Zelfs als je precies weet wat de moleculen en atomen in een reactie zouden moeten doen, heb je toch nog geen kleine handjes waarmee je ze

‘We kunnen tal van chemische reacties beter en efficiënter maken’ ↩



In situ spectroscopie

Weckhuysen is een van de grondleggers van de 'in situ spectroscopie' van katalysatoren. Met in situ spectroscopie is het mogelijk om met licht de werking van een katalysator 'in actie' in beeld te brengen, dus in een omgeving en onder omstandigheden vergelijkbaar met het industriële proces. Deze experimentele aanpak is essentieel gebleken omdat de omgeving en reactieomstandigheden een grote invloed hebben op de werking van katalysatoren.

Vijf voor twaalf

'Een professioneel fotograaf is eigenlijk net een wetenschapper,' zegt Bert Weckhuysen. 'Hij ziet dingen die voor iemand anders onzichtbaar zijn.' Na een gesprek van meer dan anderhalf uur loopt Weckhuysen met stevige pas op de eerste verdieping van het David de Wiedgebouw op de Utrechtse Uithof. Totdat de fotograaf de professor een halt toeroept en hij moet poseren onder een immense klok. 'Ik wacht even een paar minuten,' meldt de fotograaf, 'anders staan de wijzers precies op vijf voor twaalf.'

'Dat had ik helemaal niet door,' zegt Weckhuysen later. 'En dat is ook precies wat ik probeer te doen met mijn onderzoek. Dingen die voor anderen onzichtbaar blijven, zichtbaar maken.'

allemaal gewoon even de juiste kant op kunt sturen?

'Op een katalysator zitten bepaalde plekken, de actieve plaatsen genoemd, waarop de reacties zich afspelen, maar de structuur en vorm van de katalysator zorgen er ook voor dat bepaalde kanalen ontstaan waardoor de moleculen naar die plekken kunnen. Om te kunnen reageren moeten moleculen eerst door deze kanalen heen. Die kanalen zijn van nature vaak een wirwar, een soort doolhof. Door beter te snappen hoe moleculen door deze kanalen heen bewegen en hoe ze reacties ondergaan op de actieve plaats, kun je een katalysator zo ontwerpen dat die kanalen meer gaan lijken op snelwegen met richtingaanwijzers. Daarmee geef je toch in zekere zin handjes aan de katalysator waarmee je de moleculen naar de juiste plek leidt. Even belangrijk is dat je er dan voor zorgt dat de actieve plaatsen in de katalysator beter hun werk doen, door ze actiever en selectiever te maken, bijvoorbeeld.'

Gaat het er daarbij ook nog om wat er met de katalysator zelf gebeurt? In principe is de begin- en eindtoestand van een katalysator in een reactie toch altijd hetzelfde?

'Dat klopt, zo zou het volgens het boekje moeten gaan. Toch is er één dikke maar: zo'n actieve plaats op een katalysator heeft een maximaal aantal keer dat 'ie aan een reactie deel kan nemen voordat de katalysator stuk gaat. We willen daarom ook nog eens heel stabiele katalysatoren ontwerpen, die extreem lang mee kunnen gaan. We willen katalysatoren maken die het bij wijze van spreken tot in het oneindige kunnen blijven doen. Dat is niet alleen in de industrie belangrijk, maar ook in het menselijk lichaam. De enzymen die in ons lichaam zitten, zijn ook katalysatoren. Wanneer daarmee iets misgaat, ontstaan vaak ziektes.'

Veel jongeren die op de middelbare school hun profiel moeten kiezen, vinden

scheikunde saai en ingewikkeld. Zou meer aandacht voor dit soort aspecten van het vakgebied kunnen helpen?

'Dat denk ik wel. Scheikunde heeft namelijk enorm veel te bieden. Kijk naar de ontwikkelingen van de afgelopen eeuw en zie wat we allemaal aan de chemie te danken hebben. Denk maar aan het maken van brandstoffen, medicijnen en materialen, die we gebruiken in telefoons, computers en kleding. Daarnaast staan we voor een aantal zeer spannende mondiale problemen die mede door ons vakgebied kunnen worden opgelost op het gebied van klimaat, energie en milieu. Een katalysator kan moleculen knippen en op een andere manier weer aan elkaar plakken. Daarmee kunnen we de samenleving beter maken.'

Hoe pakken we dat aan?

'We beginnen bij klassieke grondstoffen zoals aardolie en aardgas. Bij de industriële processen die die stoffen omzetten in bijvoorbeeld plastics of benzine kunnen we nog heel wat verbeterlagen behalen. Bovendien gebruiken we voorlopig nog wel even fossiele brandstoffen. Energietransities gaan immers traag; de geschiedenis leert ons dat die vaak vijftig jaar duren.

De volgende stap is om al bestaande alternatieve productieprocessen van plastics of brandstoffen efficiënter te maken. Een goed voorbeeld is lignine, zeg maar de lijm van een plant. Die stof is na cellulose het belangrijkste biopolymeer. Twintig tot dertig procent van een boom bestaat bijvoorbeeld uit lignine. Het handige van die stof is dat het molecuul een aromatische ring bevat, een chemische verbinding die essentieel is bij de productie van plastics. Daarom kun je van lignine net als van aardolie plastics maken. Maar dat proces is nog niet zo efficiënt dat het de concurrentie met productie uit aardolie aan zou kunnen.

Nog veel interessanter is CO₂. Met die stof kun je op termijn mogelijk zelfs de energieproductie van planten nabootsen, zodat je helemaal geen biomassa meer nodig hebt om brandstof te produceren. Met behulp van de juiste katalysatoren kun je nu al uit CO₂ methanol maken – een mogelijke brandstof. En CO₂ is overal in de atmosfeer

'We willen katalysatoren maken die tot in het oneindige kunnen blijven werken' ↗



Weckhuysen wil grip krijgen op de koolstofcyclus van de aarde. 'Daarbij speelt chemie een zeer belangrijke rol.'

aanwezig! Op dit moment kunnen we die reactie doen door eerst elektrolyse te doen, waarbij je water omzet in zuurstof en waterstof. Dat is dus de omgekeerde reactie, die we daarstraks besproken hebben. Daarna kun je de gewonnen waterstof met CO_2 laten reageren en ontstaat methanol. Maar het kan ook directer, door fotosynthese uit planten na te bootsen. Die laten CO_2 namelijk direct met water reageren. Op dit moment gaat dat nog lastig. CO_2 in de lucht is ook sterk verdund, het zit niet in hele hoge concentraties om ons heen. We zouden dan ook geen adem meer kunnen halen. Daarom moet je eigenlijk een soort CO_2 -stofzuiger hebben die de stof kan opzuigen en concentreren. Dat is moeilijk en kost energie. Bovendien is het rendement van de chemische reactie nog heel laag, waardoor die nu nog geen concurrent is van aardolie. Maar met de juiste katalysator wordt dit hopelijk wel mogelijk.

Is dat uw einddoel? Die reacties met duurzamere grondstoffen efficiënter maken?

'Niet alleen. Die efficiëntieslag is heel belangrijk om hier en nu te ontwikkelen, en is ook nog belangrijk voor morgen. Het is echter het laaghangende fruit. Hoewel je dat fruit zeker niet moet laten hangen, vind ik het toch wat minder interessant. Veel interessanter is het om zelf een ingenieus ontwerp te maken voor een geheel nieuwe katalysator. Eentje die betrokken kan zijn bij radicaal nieuwe chemische reacties. Dat is de grote belofte voor de toekomst, dat telt ook over twintig jaar. Dat is onze lange-termijnvisie.'

Er is veel vertrouwen in uw aanpak. In 2013 ontving u nog de Spinozapremie, de hoogste wetenschappelijke onderscheiding in Nederland. Hoe ging dat eigenlijk in z'n werk?

'Het moment dat Jos Engelen, de voorzitter van het NWO me belde, staat me nog helder voor de geest. Hij bevond zich in de trein op

de grens tussen Nederland en België en daar is een stukje niemandsland waar je telefoon geen of slechte ontvangst heeft. Op het moment dat hij wilde mededelen dat ik de prijs gewonnen had, werd de verbinding verbroken. Tien minuten lang vroeg ik me af waarvoor hij toch belde, omdat ik niet wist dat ik genomineerd was. Daarnaast was ik verbaasd en blij, omdat het een enorme eer is. Wat volgde was een waar mediacircus, dat even leuk is, maar op een gegeven moment ook weer klaar is. De aandacht hoort erbij, maar ik wilde weer terug naar de wetenschap en dat is ook gebeurd. 2015 zie ik als een oogstjaar met nieuwe, mooie publicaties.'

U won ook nog de subsidie van Zwaartekracht, waarmee NWO de beste onderzoekers van Nederland wil stimuleren. Aan zowel Zwaartekracht als de Spinozapremie is geld verbonden. Hoe besteedt u dat?

'Als je de subsidie van Zwaartekracht bij de Spinozapremie optelt dan kom je gauw tot een bedrag van meer dan tien miljoen euro. Met zo'n groot bedrag wil ik me vooral focussen op de lange termijn door te investeren in een totale manier van naar katalysatoren te kijken. Als ik praat over de toekomst in mijn vakgebied heb ik het niet over morgen of volgend jaar. De vraag is hoe de samenleving er in 2050 uitziet. Wat kan ik met m'n onderzoeksgroep bijdragen met katalyse aan uitdagingen zoals duurzaamheid en energievoorziening? Dat zijn taaie en langdurige processen.'

Ik denk dat we hier in Europa dezelfde rechten hebben als mensen in ontwikkelingslanden. En andersom. Als we allemaal een auto willen hebben en een groot deel van de wereldbevolking maakt ook gebruik van een airconditioner, hoe gaan we dat doen? Hoe gaan we onze energiehuishouding organiseren? Kan dat lokaal of globaal? We kunnen het grootschalig aanpakken maar aan kleinschaligheid hangen ook voordelen.

De vraag is hoe we grip kunnen krijgen op de koolstofcyclus van de aarde. Bij het antwoord op die vraag speelt chemie een zeer belangrijke rol! ■