



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Kleurrijk en veelzijdig

Bouwman, E.

Citation

Bouwman, E. (2011). *Kleurrijk en veelzijdig*. Leiden: Universiteit Leiden. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/19631>

Version: Not Applicable (or Unknown)
License: [Leiden University Non-exclusive license](#)
Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/19631>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Prof.dr. Elisabeth Bouwman

Kleurrijk en veelzijdig



Universiteit Leiden

Kleurrijk en veelzijdig

Oratie uitgesproken door

Prof.dr. Elisabeth Bouwman

bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de

Anorganische Chemie

aan de Universiteit Leiden

op vrijdag 20 mei 2011



Universiteit Leiden

Meneer de Rector Magnificus, zeer gewaardeerde toehoorders,

Inleiding

Vandaag aan mij de eer om u in deze openbare les te vertellen over mijn onderzoek en mijn drijfveren, een ware uitdaging. In de colleges die ik geef aan bachelorstudenten van de opleiding Molecular Science & Technology, of aan de masterstudenten van de opleiding Chemistry maak ik gebruik van powerpoint-presentaties. Het is gemakkelijk, snel en flitsend, met mooie bewegende plaatjes die de collegestof goed onderbouwen. Het gevaar van powerpoint is echter dat je de studenten overlaadt met informatie; het gaat snel, je zapt zo door de slides heen. Om de snelheid uit het college te halen, en om complexe zaken beter te kunnen uitleggen is het ouderwetse schoolbord in combinatie met een krijtje onmisbaar.

In deze openbare les gebruik ik powerpoint noch krijt. Ik heb slechts de beschikking over mijn stem en ik zal proberen om mijn betoog te illustreren met beeldspraak. Voordeel hiervan is dat het hopelijk niet te snel zal gaan en ik zal daarbij mijn best doen om niet te veel vakjargon te gebruiken. Het gevaar bestaat dat u in slaap valt, hetgeen ik moet zien te vermijden.

Ik zal u vandaag vertellen over mijn vakgebied, de anorganische chemie, en in het bijzonder over coördinatiechemie en homogene katalyse. Traditioneel is de scheikunde opgedeeld in de disciplines biochemie, organische chemie, fysische chemie en anorganische chemie. Veel chemici denken dat anorganische chemie voornamelijk de vastestofchemie betreft en gaat over roosters en zouten. Anorganische chemie lijkt in Nederland een ondergeschoven kindje; wat ik onder anorganische chemie versta is in veel universiteiten bij de organische chemie ingedeeld. Er is zelfs sprake van geweest dat de Universiteit Leiden geen anorganische chemie nodig zou hebben. Wat is dan anorganische scheikunde? Anorganische scheikunde betreft de kennis en kunde van metalen en metaalverbindingen in al hun complexiteit. Anorganische chemie is uiteraard de mooiste van de disciplines, anders zou ik hier vandaag niet staan. Anorganische chemie is kleurrijk en veelzijdig.

Chemie en toepassingen van overgangsmetalen is het college dat ik verzorg voor tweedejaarsstudenten Molecular Science & Technology. Ik vind het daarbij leuk en belangrijk om de verplichte collegestof af te wisselen met intermezzo's, waarin ik kan uitleggen waar de collegestof toegepast kan worden, wat het nut is van de collegestof in wetenschappelijk onderzoek en in de maatschappij. Dit is wat ik ook in deze openbare les zal trachten te doen.

Laat ik beginnen met kleurrijk, dat is zeker voor de jonge studenten van de basisschool, maar ook voor de oudere bachelor en masterstudenten toch het meest aantrekkelijke aspect van de anorganische chemie. U kent ongetwijfeld allen de uitdrukking kobaltblauw. U heeft wellicht sieraden met robijnrode, saffierblauwe, of jadegroene stenen. U kent de kleurrijke schilderijen van Vermeer of van Gogh, die - zo is gebleken - door de jaren heen helaas langzaam van kleur veranderen. Veel van deze kleuren worden veroorzaakt door metalen. Prachtige oplossingen, met alle kleuren van de regenboog, kunnen gemaakt worden met metaalverbindingen.

Eén beeld zegt meer dan 100 woorden. Een scheikundecollege is niet compleet zonder demonstratie. Een van mijn favoriete demonstratieproefjes begint met een lichtgroene oplossing van nikkeliolen in water. De nikkeliolen vormen een binding met watermoleculen; water bindt met een elektronenpaar van het zuurstofatoom aan het nikkeliolen. Voeg nu een beetje ammonia toe aan de waterige oplossing en de nikkeliolen verschieten van kleur van groen naar lichtblauw. Zo kunnen we ook andere stoffen dan ammonia toevoegen, waardoor een paarse, gele, oranje of intens rode kleur kan ontstaan. Hoe kan dit? Dit is een onderwerp waar ik een paar colleges aan kan wijden, maar ik zal niet proberen om deze kennis nu hier over te brengen. Het volstaat hier om te zeggen dat het ammonia of de andere stoffen waar ik zojuist over sprak de eigenschappen van het nikkeliolen veranderen.

De verbindingen zoals ammonia die aan metalen kunnen binden noemen we liganden. Liganden zijn moleculen, vaak

zuurstof, stikstof, zwavel of fosforatomen bevattend, die met een elektronenpaar aan metalen kunnen binden. De stof die ontstaat, noemen we een metaalcomplex of een metaalverbinding. We kunnen van het experiment met de nikkelionen in water met ammonia een aantal dingen leren. Allereerst: de liganden kunnen wel binden aan het metaalion, maar zitten niet echt vast. Het ligand water laat gemakkelijk los, het laat zich verdringen door het ligand ammonia. Verder leren we hieruit ook dat het metaalion een voorkeur kan hebben voor een bepaald ligand; in een grote plas van water vormt het nikkelion bij voorkeur een verbinding met het kleine beetje ammonia dat aanwezig is. Tenslotte hebben we gezien dat het ligand de eigenschappen van het metaalion verandert: gebonden aan water is het nikkel groen, terwijl binding met ammonia het nikkelion blauw maakt.

Door de liganden te variëren kunnen we van één metaal ontelbaar verschillende metaalverbindingen maken, die allen verschillende kleuren en verschillende eigenschappen hebben. De metaalverbindingen kunnen afhankelijk van de gebruikte liganden magnetisch zijn of juist niet, elektriciteit geleiden of niet, heel erg stabiel zijn of juist heel erg reactief. Niet alleen kleurrijk maar ook heel erg veelzijdig.

Niet alleen veranderen de liganden de eigenschappen van het metaalion, maar het metaalion verandert ook de eigenschappen en de reactiviteit van de liganden. Als voorbeeld kan ik carbenen noemen; deze bijzondere koolstofverbindingen zijn als vrij ligand heel moeilijk te hanteren omdat ze zo vreselijk onstabiel zijn. Gebonden aan een metaalion veranderen carbenen echter in heel stabiele liganden; de gevormde metaalverbindingen kun je veelal gewoon aan de lucht hanteren of zelfs met water wassen. Een tegengesteld voorbeeld is koolmonoxide: dit giftige gas is heel erg stabiel, maar gebonden aan een metaalion kan het koolmonoxide geactiveerd worden en reageren met andere liganden op hetzelfde metaalion, en zo nieuwe producten vormen. Deze wisselwerking tussen liganden en metaalionen vormt de basis voor het onderzoek in de coördinatiechemie en homogene katalyse die ik nu met enkele voorbeelden zal toelichten.

Onderzoek toen en nu

Mijn opleiding tot coördinatiechemicus heb ik ontvangen van Jan Reedijk, wereldwijd waarschijnlijk één van de meest bekende en meest invloedrijke chemici in dit vakgebied. Een belangrijk onderzoeksgebied in de coördinatiechemie betreft de biomimetica, waarin ik tijdens mijn promotieonderzoek mijn wetenschappelijke carrière ben begonnen. Het woord biomimetica stamt uit de Engelse taal, het werkwoord ‘to mimic’ betekent nabootsen of na-apen; de term biomimetica betekent dus zoiets als “nabootsen van de natuur”.

De natuur is veelzijdig en complex en is vol met coördinatiechemie. Belangrijke functies in al het leven worden uitgevoerd door eiwitten, ook wel enzymen genoemd. Enzymen in ons lichaam zorgen voor de omzetting van allerlei verbindingen, voor afbraak en opname van voedingsstoffen, voor de afbraak van alcohol na een avondje stappen. De meeste van deze enzymen hebben voor deze activiteiten een metaalion nodig. Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren; de verschillende aminozuren hebben functionele groepen en deze kunnen zuurstof, stikstof of zwavelatomen bevatten. Ik heb u zojuist verteld, dat dit elementen zijn die als ligand kunnen binden aan een metaalion. Eiwitten zijn dus heel complexe en geavanceerde liganden!

Om een beter begrip te krijgen van de werking van een enzym, en van de invloed van de specifieke binding van aminozuren op de reactiviteit van het metaalion in een enzym, worden in het vakgebied biomimetica zogenaamde modellen gemaakt van een enzym. Er wordt eerst gekeken naar welke specifieke aminozuren het metaalion binden. Wat voor soort liganden zijn het? Stikstof, zuurstof of zwavel? Daarna worden nieuwe kleinere liganden gesynthetiseerd waarin juist die groepen ingebouwd zijn. Tenslotte worden metaalverbindingen met deze nieuwe liganden gemaakt en worden de eigenschappen en de reactiviteit van deze metaalverbindingen vergeleken met die van het enzym dat we proberen na te bootsen. In mijn promotieonderzoek heb ik getracht modellen te maken voor een zogenaamd ‘blauw-koperewit’; de naam zegt het al, dit is een koperbevattend eiwit

met een unieke blauwe kleur. Dat het niet eenvoudig is gebleken om deze blauw-kopereiwitten na te bootsen moge blijken uit de kleur die ik gekozen heb voor de kaft van mijn proefschrift. Weliswaar kleurrijk, maar niet de juiste kleur: donkergroen.

Verf die u gebruikt om een deur of raamkozijn te schilderen bestaat voornamelijk uit pigment - die de kleur bepaalt - een bindmiddel en oplosmiddel. Het drogen van verf is niet simpel de verdamping van het oplosmiddel. Dit zou namelijk betekenen dat de verf na drogen weer eenvoudig te verwijderen zou zijn met terpentine of water. Na het verdampen van het oplosmiddel moeten de moleculen van het bindmiddel echter aan elkaar geknoopt worden. Het bindmiddel van de zogenaamde alkydverf - de oplosmiddel-gedragen verf die u bij een willekeurige bouwmarkt kunt kopen - heeft als belangrijke component vetzuurketens, bijvoorbeeld afkomstig uit zonnebloemolie of lijnzaadolie. Deze vetzuurketens vormen de reactieve groepen die bij droging een dicht netwerk vormen. In de verf zit ook een kobaltverbinding die noodzakelijk is voor de droging van de verf. Deze zogenaamde verfdroger zorgt ervoor dat de verf snel met zuurstof reageert en binnen drie uur droog is; zonder deze verfdroger is de droging van verf heel erg langzaam. Het probleem waar de verfindustrie enkele jaren geleden mee werd geconfronteerd, is dat de gebruikte kobaltverbinding mogelijk giftig is. De verfindustrie zou deze kobaltverbinding dus graag willen vervangen door iets wat minder giftig is, maar wat?

Lipoxygenases zijn enzymen die één van de metalen mangaan of ijzer bevatten en die onverzadigde vetzuren oxideren naar peroxides. Het mag vreemd klinken, maar tussen de werking van lipoxygenases en de droging van verf is een analogie te maken. Op basis van deze analogie - na-ape van de natuur - hebben wij onderzoek gedaan naar verschillende mangaan- en ijzerverbindingen als mogelijke alternatieven voor de verfdroger. Het is namelijk bekend dat deze metalen veel minder giftig zijn dan kobalt. Na een lange zoektocht hebben we een prima verfdroger gevonden in een heel simpele en goedkope

mangaanverbinding; tests met echte verfmengsels toonden aan dat deze nieuwe droger zelfs beter zou werken dan de huidige kobaltdroger. Toch wordt de verbinding nog niet toegepast in de verf. Nu vraagt u zich natuurlijk af waarom niet. De huidige toegepaste kobaltverbinding is blauw - prachtig kobaltblauw - en toegevoegd aan witte verf geeft dit een optisch-witeffect, waardoor de witte verf nog witter lijkt. De gevonden mangaanverbinding is geelbruin, wat erin resulteert dat witte verf een grauwe kleur krijgt. Kleurrijk, helaas.

Ik heb u zojuist verteld over metaalverbindingen en de uitdagingen die de biomimetica ons biedt. Ik ga u nu vertellen over de toepassingen van metaalverbindingen in een ander deelgebied van de anorganische chemie, namelijk de homogene katalyse.

Veel van de materialen om ons heen, die we dagelijks gebruiken zonder er bij stil te staan, worden gemaakt via oude syntheseroutes, die veelal ontwikkeld zijn in 40-er jaren van de vorige eeuw. Om verschillende moleculen met elkaar te laten reageren, moeten ze eerst geactiveerd worden; er worden functionele groepen aan gezet die reactief zijn. Deze functionele groepen komen niet in het uiteindelijke product terecht, maar door de verhoogde reactiviteit kan wel het gewenste product gevormd worden. Een groot nadeel van deze methode is: door het noodzakelijk gebruik van de functionele groepen ontstaan ook bijproducten. Zo wordt in de huidige productie van de grondstof voor nylon per kilo product 4 tot 5 kilo van het zout ammoniumsulfaat geproduceerd. In de productie van veel medicijnen wordt wel tot 50 of 100 kilo bijproduct per kilo medicijn gemaakt. Een deel van het onderzoek in onze groep richt zich op het ontwerpen van nieuwe reacties om materialen die we nu op grote schaal gebruiken, bijvoorbeeld de grondstof voor nylon, te maken via schonere syntheseroutes zonder dat we daarbij activerende groepen nodig hebben, dus zonder dat we die ongewenste bijproducten maken.

De schone syntheseroutes die we proberen te ontwikkelen maken gebruik van metaalverbindingen als katalysatoren, in een

onderzoeksgebied dat we homogene katalyse noemen. Mijn scholing in de homogene katalyse heb ik te danken aan Eite Drent, in 1996 als buitengewoon hoogleraar benoemd aan de universiteit Leiden door het Leids Universiteits Fonds. Dat de homogene katalyse een belangrijk onderzoeksgebied is moge blijken uit de Nobelprijzen in de scheikunde die in de laatste 10 jaar op dit gebied zijn uitgereikt, in 2001, 2005 en 2010. Wat is katalyse en wat zijn katalysatoren? Wikipedia zegt hierover: “Een katalysator is een stof die de snelheid van een bepaalde chemische reactie beïnvloedt zonder zelf verbruikt te worden”. Iedereen heeft wel van de autouitlaatkatalysator gehoord. Zoals de naam al weergeeft zit deze katalysator in de uitlaat van benzineauto's; de taak van deze katalysator is om schadelijke uitlaatgassen om te zetten naar onschadelijke gassen zoals stikstof. Hoe werkt dit?

Een metaaloppervlak of een metaalion kan allerlei moleculen binden. Ik heb zojuist verteld dat we deze moleculen liganden noemen en dat ze de eigenschappen en de reactiviteit van het metaalion veranderen. Het metaalion kan ook de reactiviteit van het gebonden molecuul veranderen en daardoor reacties mogelijk maken die anders niet mogelijk zijn. Een voorbeeld om dit uit te leggen. Etheen is bij kamertemperatuur een gasvormige verbinding dat bij hoge druk tot 200 bar samengeperst kan worden in een cilinder, zonder dat er iets met het etheen gebeurt. Neem nu datzelfde etheengas en breng het in een reactievat waar een heel klein beetje van een specifieke titaniumverbinding aanwezig is. Deze titaniumverbinding rijgt alle etheenmoleculen razendsnel aan elkaar tot hele lange ketens: zo wordt polyetheen oftewel plastic gemaakt. De titaniumverbinding die dit kan doen noemen we de katalysator. Het titaniumion bindt de etheenmoleculen en brengt ze zodanig bij elkaar dat ze een reactie aangaan. Ook voor deze vinding is in 1963 al een Nobelprijs uitgereikt.

Ik geef u drie voorbeelden van producten die op heel grote schaal - tonnen per jaar - gemaakt worden via klassieke syntheseroutes. Butanon is een oplosmiddel, het lijkt wat op aceton,

nagellakremover. Dit butanon wordt gemaakt met behulp van grote hoeveelheden zwavelzuur, dat niet in het uiteindelijke product terecht komt. Epoxyharsen worden toegepast in lakken en lijmen, bijvoorbeeld botenlak en parketlijm. Chloorgas is een van de reagentia die nodig zijn om deze epoxyharsen te maken. U weet wellicht dat er grote bezwaren bestaan tegen het vervoer en gebruik van chloor. Ook het chloor komt niet in het uiteindelijke product terecht, maar wel in de bijproducten. Tenslotte een groep van verbindingen die we isocyanaten noemen, dit zijn reactieve verbindingen die worden toegepast in bijvoorbeeld PUR-schuim, de schuimlaag van een sofa of in een wetsuit. Isocyanaten worden gemaakt met het uiterst giftige fosgeen, een verbinding die meer dan 50 maal giftiger is dan koolmonoxide en dat in de eerste wereldoorlog werd gebruikt als gifgas. Kunt u zich een wereld voorstellen zonder de parketlijm, botenlak, of PUR-schuim voor de klussen in en rondom uw huis, een wereld zonder de fijne zachte sofa waarop u 's avonds tot rust komt? Waarschijnlijk niet, of u moet een uiterst Spartaanse levenswijze hebben. Toch zou u, als het u gevraagd werd, graag willen dat het gebruik van chloorgas of fosgeen verboden zou worden.

Daarom is onderzoek naar alternatieve syntheseroutes voor de genoemde en andere belangrijke grondstoffen voor onze welvaartsmaatschappij zo uitermate belangrijk. Kunnen we de verbindingen butanon, epoxyhars of isocyanaten maken zonder gebruik te maken van giftig chloorgas of fosgeen, en zonder grote hoeveelheden bijproducten te produceren? Homogene katalyse kan ingezet worden om nieuwe reacties te ontwikkelen. Voor deze kunde en kunst is kennis nodig van coördinatiechemie, van de reactiviteit van metaalverbindingen. In theorie levert de reactie van één molecuul butadiëen met één molecuul water precies het gewenste butanon op, zonder dat daarvoor grote hoeveelheden zwavelzuur nodig zijn. Papier is geduldig, deze reactie verloopt niet zomaar, is het wel mogelijk? Al bij het begin van het project was bekend dat dit inderdaad mogelijk is, en wel met behulp van een bepaald type rutheniumverbinding als katalysator. Wat we in de vier jaar van het project geleerd

hebben is, hoe de verschillende liganden in de rutheniumverbinding de snelheid en efficiëntie beïnvloeden van de reactie waarbij butanon gevormd wordt. Het leuke is dat we hierdoor nog meer leren over de reactie zelf en over de eigenschappen van de rutheniumverbinding. Heel verrassend was dat we tijdens deze speurtocht onverwachte reactiviteit ontdekten, die weer aanleiding gaf tot een nieuw project. Door een kleine verandering van de reactieomstandigheden stuiten we namelijk plotseling op een andere, nieuwe reactiviteit. Veelzijdige katalysatoren! Deze onverwachte reactiviteit bood uitzicht op een mogelijk nieuwe synthesemethode voor de epoxyharsen, waardoor het gebruik van chloorgas mogelijk overbodig zou worden. We hebben deze onverwachte reactiviteit in een nieuw project bestudeerd en we hebben op de resultaten uit dit nieuwe onderzoek vijf octrooien kunnen aanvragen. Een bedrijf in de Rijnmond onderzoekt nu of ze één van onze vindingen kunnen toepassen in hun productielijn; als dat lukt, is er minder chloorgas nodig en wordt hun proces veel milieuvriendelijker.

Waar gaan we naar toe?

Ik heb u in grote lijnen uitgelegd wat de basisprincipes zijn in ons onderzoek: de binding tussen metaalionen en liganden, en de daaruit voortvloeiende wisselwerking van activeren en geactiveerd worden. Nu wordt het tijd dat ik u ga vertellen hoe we dit in toekomstige projecten kunnen gaan toepassen.

Een belangrijke inspiratiebron is en blijft de natuur. De natuur kan met metaalbevattende enzymen zulke prachtige dingen doen, dat we als chemici daar alleen maar jaloers op kunnen zijn. Dat geeft ons enorme uitdagingen: wat de natuur kan, kunnen wij dat ook? Bomen en planten maken zuurstof en suikers uit water en kooldioxide, en doen dit met gebruik van alleen maar zonlicht. Wonderbaarlijk! De activering van water of kooldioxide is voor ons chemici bijzonder moeilijk en dit lukt ons alleen door gebruik te maken van veel energie - en meestal geen zonne-energie. Wat wij goed kunnen is het omgekeerde: koolstofdioxide en water maken door bomen te verbranden. Serendipiteit is het doen van een vinding waar je niet naar op

zoek was. Het zijn de onverwachte vindingen waarvoor men een open oog moet hebben, zodat ze niet terzijde worden geschoven als ongewenst. Een geelgekleurde oplossing van koper(I)-ionen werd groen toen de oplossing per ongeluk aan de lucht werd blootgesteld. Dit was niet onverwacht; het is heel normaal dat koper(I) aan de lucht oxideert door reactie met zuurstof. Analyse van de groene verbinding wees echter uit dat er iets bijzonders was gebeurd. Wij hadden een koperverbinding ontdekt die spontaan CO₂ opneemt uit de lucht en daar oxalaat van maakt. We hebben zelfs aangetoond dat de koperverbinding herhaaldelijk kan worden geactiveerd om CO₂ op te nemen, als een soort oplaadbare batterij, een heel opmerkelijk resultaat. Naar aanleiding van de publicatie in *Science* heb ik meerdere e-mails ontvangen van bedrijven die onze koperverbinding al in hun schoorsteen willen inbouwen. De reactie is echter nog lang niet op grote schaal toepasbaar; het is nog maar de vraag of dat ooit gaat gebeuren. Meer onderzoek moet worden gedaan naar het mechanisme van de reactie, meer onderzoek is nodig om de efficiëntie van het systeem te kunnen verbeteren.

Er zijn bacteriën die waterstofgas kunnen maken of juist kunnen gebruiken als brandstof. Deze bacteriën hebben enzymen - hydrogenases genoemd - die nikkel- en ijzerionen bevatten om het werk uit te voeren. Ook hierin vinden we grote uitdagingen. Kunnen we de activiteit van hydrogenases benaderen met simpele nikkelverbindingen? Deze vraag is relevant voor de ontwikkeling van de door velen gewenste waterstofeconomie. Het schaarse metaal platina is op dit moment nog noodzakelijk voor de goede werking van de brandstofcel in de waterstofauto. Kunnen we nikkelverbindingen maken die efficiënt en goedkoop waterstofgas kunnen produceren? Kunnen we nikkelverbindingen maken die het platina kunnen vervangen in de brandstofcel? Ook dit zijn enkele van de onderzoeksvragen waar ik me in de toekomst op wil richten.

Een recent thema en grote uitdaging in katalyseonderzoek betreft het gebruik van biomassa als grondstof voor alledaagse

producten. De meeste van onze dagelijkse producten worden gemaakt uit olie; helaas is, zoals u allen weet, de olievoorraad niet onuitputtelijk. Onze olievoorraad is ontstaan uit biomassa, na miljoenen jaren onder de grond te zijn omgezet. De uitdaging die wij nu moeten aangaan is: kunnen we afvalhout, of de stengels en bladeren van maïs rechtstreeks gebruiken om bijvoorbeeld nylon te maken? Het lijkt een wild idee. In theorie is het mogelijk om levulinezuur, dat gewonnen kan worden uit biomassa, in een paar katalytische reacties om te zetten naar de gewenste grondstof voor nylon, waarbij als enig bijproduct water ontstaat. Kunnen we dit ook in het echt, in het laboratorium? Deze vraag kan ik bevestigend beantwoorden. Het levulinezuur kan met hoge efficiëntie worden omgezet in pentaenamides. We zijn nu bezig met de ontwikkeling van een katalytisch systeem, die deze pentaenamides in één stap kan omzetten naar caprolactam, de gewenste grondstof voor nylon. Dit gaat nog niet met erg goede selectiviteit - om niet te zeggen met lage selectiviteit - maar de eerste resultaten zijn heel bemoedigend. Om de effecten van de verschillende reactiecondities op de katalysator beter te kunnen bestuderen hebben we de gewenste reactie in een aantal deelreacties opgesplitst. Begrip van wat er in de deelstappen gebeurt, en kennis van de mogelijkheden en beperkingen van de metaalverbindingen die we als katalysator voor de reactie gebruiken, moeten ons inzicht geven in wat er nodig is om de efficiëntie van de reactie te verbeteren. Er is nog heel veel onderzoek nodig voordat we groene nylon kunnen maken uit biomassa.

Veel van het onderzoek in de homogene katalyse dat in diverse laboratoria wordt uitgevoerd richt zich op verbeteringen van bekende reactiviteit van verschillende metaalverbindingen. Men werkt aan de ontwikkeling van een nieuw ligand waardoor de katalysator een bekende reactie net een beetje sneller, of net een beetje selectiever kan uitvoeren. Heel veel inspanningen worden verricht in het ontwerp en synthese van nieuwe chirale liganden, voor verdere verbetering van de enantiomere overmaat in chirale katalyse. Ander onderzoek betreft kleine verbeteringen van bestaande industriële productieroutes, waar-

bij stapje voor stapje vooruitgang wordt gemaakt. Natuurlijk is dit belangrijk, alle kleine beetjes helpen en kunnen op de grote schaal van de processen in de chemische industrie leiden tot de productie van veel minder bijproducten. Aan de andere kant kunnen echte doorbraken alleen bereikt worden als een proces op een totaal andere wijze benaderd wordt. Hiervoor moeten we bijvoorbeeld kijken naar een totaal andere grondstof voor een bestaand product, zoals het zojuist genoemde levulinezuur voor caprolactam.

De grote uitdaging is echter om nieuwe reactiviteit af te dwingen bij de metaalkatalysatoren, reactiviteit die kan leiden tot nieuwe reacties, reacties die men tot nu toe niet voor mogelijk houdt. Neem de activering van een aldehyde op een metaal-hydride: de normale reactiviteit is dat de hydride bindt met het koolstofatoom, het zuurstofatoom bindt aan het metaal. Wat voor mooie reacties kunnen we doen als we door een juiste keuze van de liganden de omgekeerde reactiviteit kunnen afdwingen.

Tenslotte is er nog het onderzoeksgebied van de anorganische materialen, hierover heb ik nog helemaal niets verteld. De synthese van metaalverbindingen die dankzij een juiste keuze of ontwerp van de liganden bijzondere magnetische eigenschappen hebben; europiumverbindingen met prachtige rode luminescentie, die mogelijk toegepast kunnen worden in LED-verlichting. Hoe deze kleurrijke en veelzijdige verbindingen gemaakt kunnen worden, hoe hun eigenschappen tot stand komen en mogelijk toegepast kunnen worden, vertel ik in een volgend college.

Helaas is het zo dat onderzoek in Nederland steeds vaker moet passen in 'hokjes' en thema's. Het LIC wil zich profileren in de twee onderzoeksthema's "Chemische biologie" en "Duurzaamheid". Het moge duidelijk zijn dat veel van de door mij toegelichte projecten probleemloos passen in het thema duurzaamheid. Ik hoop echter van harte dat er ook in de toekomst in Nederland en in het LIC ruimte blijft voor uitdagend, fundamenteel of creatief onderzoek dat niet in een hokje past.

Financiële situatie

Na jaren van bezuinigingen en reorganisaties bij de universiteiten heeft Nederland wéér een regering die bezuinigen doorvoert in het onderwijs. Een groot deel van de bezuinigingen van de afgelopen jaren bij het Leids Instituut voor Chemisch onderzoek kon worden opgevangen met het zogenoemde ‘natuurlijke verloop’; posities van personeel, dat met pensioen is gegaan of een andere baan heeft gevonden, zijn niet meer opgevuld. In de lang vervlogen ‘rijke’ tijden was de opbouw van het personeelbestand piramidevormig, er was relatief veel personeel voor onderhoud en reparatie van apparatuur en voor allerhande technische en administratieve ondersteuning. In de diverse bezuinigingsronden zijn er flinke stukken gehakt uit de basis van de piramide; de omvang van de ondersteunende diensten is in de loop der jaren sterk afgenomen. Wellicht dat we vroeger verwend waren, maar we moeten nu ervoor oppassen dat we de piramide niet op zijn punt gaan zetten, die opstelling is namelijk niet stabiel, maar topzwaar.

Duurbetaalde wetenschappers, postdocs en promovendi die apparatuur draaiend moeten houden en steeds meer administratief werk moeten doen; dit gaat ten koste van creativiteit en wetenschap. Bovendien raakt kennis en kostbare tijd ook verloren, de volgende promovendus of postdoc moet zelf maar weer uitzoeken hoe het apparaat werkt of onderhouden moet worden. Natuurlijk is het belangrijk dat veelbelovende jonge wetenschappers, tenure-trackers, kansen krijgen om een academische carrière op te bouwen, maar het is niet reëel om de piramide alleen aan de top te verzwaren. Het is daarnaast belangrijk dat ook in tijden van bezuinigingen er een goede basis blijft, dat niet nagelaten wordt om jonge mensen aan te stellen als technisch ondersteunend personeel, zodat de wetenschappers hun creativiteit en energie volledig kunnen richten op de wetenschapsbeoefening.

Onderwijs

De universiteit Leiden profileert zich als researchuniversiteit, met de ambitie om toenemende aandacht te schenken aan

de maatschappelijke rol van de universiteit om bij te dragen aan het vergroten van het aantal hoger opgeleiden. Het vorige instellingsplan van de universiteit had als thema ‘Kiezen voor talent’, en was gericht op selectie aan de poort, op het verwerven van de beste studenten. Sinds dat rapport is de concurrentie om de student binnen te halen toegenomen en is het marktaandeel van de universiteit Leiden afgenomen. Het huidige instellingsplan draagt dan ook de titel ‘Inspiratie en groei’. De universiteit wil nieuwe, brede opleidingen starten waarvan verwacht wordt dat deze tot hogere instroom zullen leiden, en de doelstelling is dat het gemiddelde aantal studenten per opleiding fors toeneemt.

De Leidse onderwijsinstellingen - beter bekend als LOI - maken reclame met de slagzin “Nederland wordt steeds slimmer”. Is dat waar? Gaat de gemiddelde intelligentie van de Nederlandse jeugd omhoog, is het reëel om instroom van méér goede studenten te verwachten?

Vorige maand werd bekend dat de kwaliteit van een aantal opleidingen van hogescholen als onvoldoende wordt aangemerkt. In reactie op dit bericht verscheen een ingezonden brief in de Volkskrant van een oud-docent van een HBO-instelling. Zijn analyse was dat de oorzaak van de slecht scorende opleidingen in belangrijke mate gezocht moet worden in de druk van de politiek om hoge rendementcijfers te halen; een groter deel van de instromende studenten moet sneller een diploma kunnen halen. Tentamens worden minder moeilijk, scripties worden minder streng beoordeeld. Het betreft hier HBO-opleidingen, maar ook het wetenschappelijk onderwijs moet uit deze berichtgeving lering trekken.

Ik ben trots op onze bacheloropleiding Molecular Science & Technology, een opleiding die in het eerste jaar relatief breed is en voor veel studenten aantrekkelijk is, een opleiding waarin de student zich gaandeweg meer en meer specialiseert. Ik ben ook trots op onze masteropleiding Chemistry, waarin we studenten opleiden als onderzoeker, of de o zo noodzakelijke goede en inspirerende scheikundedocenten. We hebben tenslotte ook in

de toekomst experts nodig, mensen die niet alleen ‘van alles wat’ weten, of een klok hebben horen luiden, maar mensen met kennis van zaken. Om trots te kunnen blijven op onze opleidingen moeten we ervoor zorgen dat het rendementsmonster ons niet te grazen neemt, moeten we er zorg voor dragen dat onze kwaliteitseisen onverminderd hoog blijven. In dit licht bezien kan de Universiteit Leiden wellicht toch beter kiezen voor talent.

Chemie en maatschappij

“Wat vindt u van het beeld dat de samenleving heeft van de chemie?” was een vraag die ik laatst kreeg voorgelegd. Het beeld dat de samenleving heeft van chemie wordt grotendeels bepaald door de negatieve berichten, zoals de brand bij Chemie-Pack eerder dit jaar. Het beeld dat de samenleving heeft van de chemie wordt ook bepaald door gebrek aan kennis; veel mensen realiseren zich niet dat de witte rook die uit een fabrieksschoorsteen komt voornamelijk onschuldig waterdamp is. Hier ligt een schone en redelijk eenvoudige taak voor ons allemaal: vertel het de kinderen! Een aantal jaren geleden is een start gemaakt met de organisatie van bezoeken van basisschoolklassen aan het Leids Instituut voor Chemisch onderzoek. De scholieren krijgen een minicollege en mogen zelf ook enkele simpele experimenten uitvoeren, in een organisatie die nu bekend staat als het Junior Science Lab. Dit is een zeer succesvol initiatief gebleken, dankzij de enthousiaste leiding van Ludo Juurlink en de ondersteuning door Tineke de Ruiter en vele studentassistenten. In het afgelopen jaar zijn er ongeveer 60 bezoeken geweest van basisschoolklassen, en hebben we dus zo’n 1500 scholieren bereikt.

Als het mijn beurt is om in het Junior Science Lab het minicollege te verzorgen - en dit voelt beslist niet als een plicht, maar veel meer als ontspanning - leg ik aan scholieren in de leeftijd van 10 tot 12 jaar uit wat scheikunde is. Ik laat daarbij uiteraard mijn favoriete demonstratieproefje zien: een groene oplossing die blauw wordt, of paars, of rood. Ik vertel de scholieren dat scheikunde leuk is, omdat het net zoiets is als

spelen met K’nex en geheimschrift. Net zoals zij met K’nex kleurrijke bouwwerken kunnen maken, kunnen wij met onze scheikundebouwsteentjes nieuwe medicijnen maken of nieuwe materialen voor een flatscreen-TV of mobiele telefoon. Ik vertel de scholieren ook dat ze allemaal kleine wandelende fabriekjes zijn. De boterham die ze ’s morgens gegeten hebben wordt in hun lichaam met zuurstof verbrand om energie te leveren, zoals hout in een kachel warmte en energie geeft. Dat daarbij water als bijproduct ontstaat, kunnen ze vooral in de winter goed zien als er witte rook uit hun mond komt, witte rook zoals die van de fabrieksschoorsteen. De kinderen zijn razend enthousiast over het geleerde en uiteraard ook over de proefjes die ze mogen doen. We kunnen slechts hopen dat het enthousiasme en het kleine beetje kennis dat ze hebben opgedaan beklijft, zodat er een nieuwe generatie opgroeit met meer begrip voor de schoonheid en de universele aanwezigheid van scheikunde in alles om ons heen.

Dankwoord

Aan het eind van mijn lezing gekomen wordt het tijd om enkele mensen te bedanken.

De basis voor mijn wetenschappelijk werk in de coördinatiechemie is gelegd door mijn promotor Jan Reedijk; daarnaast heb ik uitermate veel geleerd over de diverse aspecten van homogene katalyse van Eite Drent. Beste Jan, bedankt voor je steun van de afgelopen jaren en het in mij gestelde vertrouwen. Beste Eite, bedankt voor de inzet van je tomeloze energie en enthousiasme bij alle werkbesprekingen, dankzij jouw contacten bij Shell kunnen we nog heel lang plezier beleven van een kast vol met prachtige fosforliganden, voor de ontwikkeling van nog meer veelzijdige katalysatoren.

Na mijn promotie heb ik het wetenschappelijk vuur en enthousiasme van Herman van Bekkum in Delft en George Christou in Bloomington mogen ervaren.

De onmisbare samenwerkingen voor een coördinatiechemicus zijn die met de kristallografen. RAG de Graaff heeft mij de

basiskennis van kristallografie bijgebracht en geholpen bij het zelf oplossen van diverse kristalstructuren - destijds nog niet met 'black box' softwarepakketten zoals SHELX. Later zijn veel datasets van kristallen verzameld en bewerkt door Ton Spek, Huub Kooijman en Martin Lutz in Utrecht en René de Gelder in Nijmegen. In de projecten rondom homogene katalyse heb ik waardevolle contacten opgedaan met vele mensen uit de chemische industrie, waaronder DSM, Shell, BASF en Momentive - voorheen Resolution of Hexion. Waardevolle contacten heb ik opgedaan binnen de onderzoeksscholen HRSMC en NIOK. Guido Mul wil ik bedanken voor de samenwerking op het gebied van oxidatiekatalyse en bij de opzet van een nieuw uitdagend project, waarin we de bladeren van de bomen gaan nabootsen.

Samen met mijn collega's Sylvestre Bonnet en Wen Tian Fu wil ik met onze groep nog vele jaren kleurrijk en veelzijdig anorganisch onderzoek uitvoeren. Oud-collega Jaap Haasnoot wil ik vooral bedanken voor zijn adviezen en meningen op het gebied van onderwijs.

Alle postdoc's, aio's, studenten en gastmedewerkers, hebben de voormalige en de huidige groep gemaakt tot een gezellige en productieve groep. **Zij** hebben het werk uitgevoerd, **zij** stonden met een open oog klaar voor onverwachte ontdekkingen, **zij** zullen het toekomstige werk gaan doen.

Yvonne Snellenberg is al meer dan 25 jaar de spil van de groep. John van Dijk, Gé van Albada en Jos van Brussel zorgen er voor dat alles logistiek op rolletjes blijft lopen.

De studenten van de opleiding MST, LST en Chemistry: jullie vormen het bestaansrecht van het Leids instituut voor Chemisch onderzoek. Ik hoop nog vele lichten studenten van MST en Chemistry te mogen vertellen over kleurrijke metaalverbindingen en veelzijdige katalysatoren.

Ik wil het college van bestuur, de faculteit Wiskunde en Natuurwetenschappen en uiteraard Jaap Brouwer bedanken voor het in mij gestelde vertrouwen. Van het LIC wil ik vooral de

collega's van BIOSYN bedanken voor hun suggesties en hulp bij lastige ligandsyntheses.

Tenslotte: Willem, mijn co-promotor en levenspartner, Wampie en Jannetje, mijn kinderen, mijn hardloop- en wandelmaatjes. Ik hoop nog vaak met jullie te kunnen discussiëren over alle mogelijke en onmogelijke vragen en onderwerpen die na een maaltijd over de keukentafel komen.

“Hoogleraar worden doe je voor je moeder” is een uitspraak van de historicus professor Wesseling, in februari 2008 opgetekend in de universiteitskrant Mare. Helaas kunnen mijn ouders dit moment niet meer meemaken. Ook mijn oudste broer Jan, die een zeer belangrijke rol heeft gespeeld bij mijn keuze om scheikunde te gaan studeren, mocht deze dag niet meemaken. Des te groter is mijn dankbaarheid aan de familieleden die hier wel aanwezig zijn en mijn verhaal geduldig hebben aangehoord.

Ik heb gezegd.

PROF.DR. ELISABETH BOUWMAN



1991 KNAW-fellow bij de groep anorganische chemie
LIC
1996 universitair docent anorganische chemie
2000 universitair hoofddocent anorganische chemie
2010 hoogleraar anorganische chemie

Anorganische scheikunde betreft de kennis en kunde van metalen en metaalverbindingen in al hun complexiteit. Liganden zijn moleculen die met een elektronenpaar aan metalen kunnen binden. De stof die ontstaat, noemen we een metaalcomplex of een metaalverbinding. Door de liganden te variëren kunnen we van één metaal ontelbaar verschillende metaalverbindingen maken, die allen verschillende kleuren en verschillende eigenschappen hebben. De metaalverbindingen kunnen afhankelijk van de gebruikte liganden magnetisch zijn of juist niet, elektriciteit geleiden of niet, heel erg stabiel zijn of juist heel erg reactief. Niet alleen veranderen de liganden de eigenschappen van het metaalion, maar het metaalion verandert ook de eigenschappen en de reactiviteit van de liganden. Deze wisselwerking tussen liganden en metaalionen vormt de basis voor het onderzoek in de coördinatiechemie en homogene katalyse.
<http://mcbim.lic.leidenuniv.nl/>



Universiteit Leiden