

De kracht van de katalysator : de magie van het onderzoek

Citation for published version (APA):

Lintsen, H. W., Helvoort, van, A. A. F. J., & Veen, van, J. A. R. (2014). *De kracht van de katalysator : de magie van het onderzoek*. Stichting Historie der Techniek.

Document status and date:

Published: 01/01/2014

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of Record (includes final page, issue and volume numbers)

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

De kracht van de katalysator

De magie
van het onderzoek



Harry Lintsen, Ton van Helvoort
en Rob van Veen

De kracht
van de katalysator

De magie
van het onderzoek

‘Geef mij de reactie en het gewenste product. Ik zal de daarbij behorende katalysator leveren’, zo luidt de ambitie van vele katalyse-onderzoekers.

De kracht
van de katalysator

De magie
van het onderzoek

Harry Lintsen, Ton van Helvoort en Rob van Veen

Stichting Historie der Techniek
Eindhoven 2014

Inhoudsopgave

- 5 Voorwoord
- 7 Proloog: over kracht en magie

- 17 De katalysator: Hysomer
- 25 Het onderzoek: een technisch labyrint

- 31 De katalysator: nikkel
- 41 Het onderzoek: industry based science

- 47 De katalysator: Hycon
- 55 Het onderzoek: laboratorium versus praktijk

- 63 De katalysator: van chemisch naar biologisch
- 73 Het onderzoek: industrie, overheid en universiteit

- 84 Epiloog: kanttekeningen bij het Innovatiecontract Chemie

- 90 Literatuur en bronnen bij de vier casussen
- 95 Literatuur bij de andere hoofdstukken
- 98 Over de auteurs
- 99 Dankwoord

Voorwoord

Nederland heeft een uitstekende, internationale reputatie op het gebied van katalyse. Ons land wil die reputatie in stand houden. Onlangs besloot NWO zo'n 32 miljoen euro te investeren in een consortium van vooraanstaande katalyse onderzoekers aan Nederlandse universiteiten. Zo'n bedrag maakt duidelijk, dat er veel publiek geld omgaat in het katalyse-onderzoek. De onderzoekers zien zich dan ook regelmatig geconfronteerd met de vraag waartoe dat geld dient. Het kan toch niet alleen voor de reputatie van het vakgebied zijn. Deze monografie wil een bijdrage leveren aan dat debat.

De bijdrage bestaat allereerst uit een viertal historische casussen, waarin gedetailleerd verslag wordt gedaan van innovaties met een hoofdrol voor de katalysator. Deze casussen werpen een unieke blik op het industriële onderzoek. Het komt niet vaak voor dat historici de kans krijgen om in de keuken van het industrieel researchlaboratorium te kijken. De diepte studies zijn aanleiding geweest voor levendige discussies tussen de auteurs. Daaraan heb ik ook met veel plezier mogen deelnemen. De discussies hebben hun weerslag gevonden in een serie beschouwingen over het industrieel en universitair onderzoek. Welke rol speelt het industrieel researchlaboratorium in innovatieprocessen? Wat is de verhouding tussen research en development? Welke bijdrage levert het universitair onderzoek aan innovaties? Hoe is de relatie tussen het universitair en het industrieel onderzoek?

De hoofdstukken met afwisselend casussen en beschouwingen geven een idee van de kracht van een katalysator en de magie van het onderzoek. Ik wens de lezer veel leesplezier.

Prof. Dr. Rutger van Santen

Emeritus hoogleraar Technische Universiteit Eindhoven

voormalig wetenschappelijk directeur

National Research School Combination Catalysis (NRSC)

De Nederlandse chemie is bezig om zich op een nieuw tijdperk voor te bereiden en heeft daarvoor een geheel nieuwe generatie katalysatoren nodig.

Proloog

Over kracht en magie

Deze monografie heeft twee verhaallijnen. De eerste gaat over de katalysator. Een katalysator is een wonderlijk fenomeen. Hij lijkt passief, maar zijn aanwezigheid is onontbeerlijk. Hij kost relatief weinig, maar zijn economische waarde is enorm. Hij komt in de algemene geschiedschrijving niet voor, maar vervult een sleutelrol in het industrialisatieproces. Hij trekt nauwelijks publieke aandacht. Zijn rol in de toekomst is echter essentieel.

De tweede verhaallijn gaat over onderzoek, over experimenten, instrumenten, theorieën, modellen en proeffabrieken. Onderzoek is altijd omringd met hoge verwachtingen en ambities. Het moet oplossingen aanreiken voor maatschappelijke vraagstukken. Het dient onze welvaart op lange termijn veilig te stellen. Onderzoek zou essentieel zijn voor innovatief ondernemerschap en een hoeksteen zijn van de kenniseconomie. Alleen door te investeren in onderzoek kan een land als Nederland overleven in een globaliserende economie.

De twee verhaallijnen hebben een relatie tot elkaar. Het verhaal over de katalysator gaat over de geschiedenis van het vakgebied katalyse en over de wijze, waarop in dit vakgebied in Nederland onderzoek wordt gedaan. Zij dient als uitgangspunt voor het andere verhaal. Dat verhaal gaat over wat onderzoek inhoudt en over de wijze, waarop dat onderzoek bijdraagt aan innovaties. Het vertelt de geschiedenis van de omvangrijke kennisinfrastructuur, die inmiddels in Nederland is opgebouwd, bestaande uit industriële laboratoria, universiteiten, onderzoeksinstituten zoals TNO, organen voor het coördineren van onderzoek, et cetera.

Onderzoek kan niet aan onderzoekers worden overgelaten, zo luidt de opvatting van politici, managers en beleidsmakers. Daarvoor is onderzoek te belangrijk en de roep om innovaties te luid. Vandaar dat de kennisinfrastructuur bevolkt wordt door tal van coördinatiecommissies, programmadirecteuren, regieorganen, projectleiders en andersoortige managers en instellingen. Vandaar ook, dat voortdurend beleid wordt ontwikkeld met als uitgangspunt, dat onderzoek en innovatie gestuurd kunnen worden. Hiermee komen we aan een belangrijk vraagstuk van deze monografie, namelijk in hoeverre zijn onderzoeks- en innovatieprocessen te sturen?

Maar eerst terug naar de katalysator.

Over de kracht van de katalysator

Het publiek associeert het fenomeen ‘katalysator’ vooral met de autokatalysator. Deze zet de schadelijke stoffen in de uitlaatgassen om in onschadelijke. Dergelijke

chemische reacties kunnen zonder katalysator alleen maar plaatsvinden onder hoge drukken en hoge temperaturen, en zouden daarom onmogelijk in de uitlaat van de auto kunnen gebeuren. Platina, een van de werkzame componenten van de katalysator, zorgt ervoor dat de omzettingen gebeuren onder normale omstandigheden. Het bijzondere is, dat het platina nauwelijks wordt verbruikt. Het proces kan 'eindeloos' voortduren.

In dat laatste schuilt de kracht van de katalysator. Hij neemt schijnbaar onveranderd aan de chemische reacties deel. Toch valt de reactie terug, wanneer hij ontbreekt. Zonder katalysator, geen dynamiek. Die kracht heeft ook het publiek aangesproken. De katalysator als chemische stof mag dan een weinig bekend fenomeen zijn, in het taalgebruik is het begrip ingeburgerd. Als een nieuwe trend zich openbaart, een stemming omslaat of een groep plotseling actief wordt, dan verwijst men graag naar een katalysator als aanjager. Dat kan van alles zijn: de economische omstandigheden, het mooie weer of een aansprekende persoonlijkheid. De positieve associaties met een katalysator worden graag gebruikt. De consultant beveelt zich aan als katalysator. Een organisatie belooft een katalyserende invloed te hebben. Een training wil een katalyserende uitwerking hebben. In de figuurlijke betekenis staat het begrip katalysator voor een factor, die op een wat mysterieuze wijze een proces op gang brengt.

De kracht van de katalysator uit zich ook op een andere manier. Er zijn doorgaans slechts kleine hoeveelheden van het materiaal nodig om veelvoud van zijn eigen gewicht aan chemische stoffen om te zetten. Zo is slechts 300 gram nikkelkatalysator nodig om 1.000 kg plantaardige olie te 'harden', zodat er margarine van gemaakt kan worden. Daarmee is een katalysator ook een effectieve, economische *multiplier*. De katalysatorindustrie heeft wereldwijd zo'n omzet van 15 miljard dollar. De goederen en producten, die met katalysatoren voortgebracht worden, zijn zo'n 15.000 miljard waard. De *Organisation for Economic Cooperation and Development OECD* schatte aan het eind van de 20ste eeuw, dat zeker 30 à 40% van alles wat men op de aardbol produceert, gerealiseerd wordt met gebruikmaking van katalysatoren. Katalytische processen spelen een rol bij een breed scala aan goederen en producten: benzine, kunstmest, kunststoffen, kunstvezels, bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen, brood, bier, margarine, et cetera, et cetera. Ieder product en proces vraagt om een specifieke katalysator. Er bestaan duizenden verschillende katalysatoren, ieder met zijn eigen karakteristieken en mogelijkheden.

Wie denkt, dat we na decennia van onderzoek over voldoende soorten katalysatoren beschikken, heeft het mis. Ieder tijdperk vraagt om zijn eigen katalysatoren. Zo wordt het huidige tijdperk in belangrijke mate gedomineerd door

— Groene chemie en slimme materialen vereisen een nieuwe generatie katalysatoren.

de chemie van de aardolie en het aardgas. Daarbij hoort een eigen verzameling katalysatoren. De toekomst zal er echter heel anders uitzien. De Nederlandse chemie is reeds bezig om zich op een nieuw tijdperk voor bereiden en heeft daarvoor een geheel nieuwe generatie katalysatoren nodig. Een voorbeeld is de productie van zogenaamde polymelkzuur uit maïs met als katalysator een organische tinverbinding. Dit melkzuur is een grondstof voor lichaamsvriendelijke toepassingen in de geneeskunde zoals chirurgisch, biologisch afbreekbaar hecht draad. Er kunnen ook andersoortige biologisch afbreekbare plastics mee gemaakt worden onder andere voor verpakking van voedingswaren.

Over de magie van onderzoek

New Earth and New Chemistry vormen het motto van het chemisch onderzoek van dit moment. De samenleving staat voor nieuwe uitdagingen, zo staat te lezen in het *Innovatiecontract Chemie*, dat de chemische sector met de Nederlandse overheid en burgers wil afsluiten: 'mobiliteit, wonen, veiligheid, schoon water, gezondheid en welzijn, voeding en chemie ...' op al deze terreinen liggen uitdagingen, niet alleen in Nederland, maar in de gehele wereld. Dan hebben we het over duurzaamheid over de gehele keten van grondstof tot gebruik van het product. Of over thema's zoals het efficiënt omgaan met energie, een hoog gebruiksgemak, het gebruik van processen, die voortkomen uit de natuur, en de veiligheid van materialen en processen (waaronder genetische modificatie of genetische manipulatie zoals het in de volksmond ook wel wordt genoemd).

De Nederlandse chemie wil naar antwoorden zoeken op de grote maatschappelijke vraagstukken. Zij heeft daarvoor een uitstekende uitgangspositie, aldus het document. De chemische sector is gevarieerd in termen van bedrijven, commerciële activiteiten en internationale samenwerking. Zij heeft een uitstekende, internationale positie met mondiale spelers. Universiteiten en andere onderzoeksinstituten brengen veel nuttige kennis voort. De sector beschikt ook over een innovatief midden- en kleinbedrijf. Het is dan ook niet vreemd dat de overheid de chemie tot een van tien topsectoren in Nederland heeft aangemerkt. Op deze sectoren moet het beleid zich richten, omdat ons land in de toekomst daarmee zijn geld gaat verdienen.

Het *Innovatiecontract Chemie* formuleert in dat verband twee centrale ambities voor de lange termijn. Allereerst moet Nederland wereldwijd bekend staan als hét land van de groene chemie. Dat wil zeggen, dat tegen 2050 de productie van voeding, energie en kunststoffen hoofdzakelijk gebaseerd moet zijn op biomassa. De chemie heeft dan 'schone en duurzame productieprocessen ontwikkeld, die op een duurzame manier biomassa omzetten in een heel scala aan bestaande en nieuwe producten.' Op de tweede plaats moet Nederland tegen het midden van de eeuw een topositie hebben verworven als producent van slimme (bio-)kunststoffen.

Het onderzoek van bedrijven, universiteiten, TNO en de Grote Technologische Instituten moet daarop afgestemd worden. Een van de zwaartepunten is het katalyse-onderzoek. Groene chemie en slimme materialen vereisen een nieuwe generatie katalysatoren. De omzetting van biomassa zoals planten, algen en slachtafval in een proces van bioraffinage tot suikers, vezels, eiwitten en synthetisch gas moet gebeuren met katalysatoren, die nog lang niet beschikbaar zijn. Daarna moeten er producten als biobrandstoffen, biokunststoffen of medicijnen van gemaakt worden met weer andere katalysatoren.

Het idee achter het innovatiecontract van de topsector chemie is dat dit proces gestuurd kan worden. De sector stelt een kennis- en innovatie-agenda op: welk onderzoek en welke innovaties zijn er nodig in de komende decennia? Zij maakt een plan van aanpak: wat zijn de knelpunten? welke activiteiten zijn er nodig en welke instrumenten staan ter beschikking? hoe dienen onderzoek en innovatie georganiseerd en gestuurd te worden? op welke wijze moet er worden samengewerkt? Dan is er de kwestie van het geld en de partijen: welke investeringen zijn vereist en wie doet er mee?

De vraag is echter: In hoeverre zijn onderzoek en innovatie te sturen? Het contract heeft het over nieuwsgierigheidsgedreven, fundamenteel onderzoek. Op de inhoud ervan zullen beleidsmakers weinig greep hebben. Maar strookt dat met het beginsel van sturing? Er is sprake van vraagsturing op basis van economische en maatschappelijke behoeften. Wie stelt echter die behoeften vast en wie stuurt. De sector is complex. Zij bestaat uit tientallen onderzoeksinstellingen en honderden bedrijven, waaronder een groot deel tot het midden- en kleinbedrijf behoort. Kan vanuit een dergelijke archipel aan instituties onderzoek en innovatie aangestuurd worden tot ieders tevredenheid? Er is sprake van een eigen verantwoordelijkheid van onderzoekers en ondernemers. Samen zitten ze 'aan het stuur' met behulp van een overheid, die mobiliseert, motiveert en organiseert. Hoe werkt dat? Onderzoek en innovatie liggen in elkaars verlengde. Dat vereist volgens het contract stroomlijning, vereenvoudiging van procedures en voortbouwen op de beste praktijken. Ligt dat zo eenvoudig?

Deze monografie zal het antwoord op deze vragen deels schuldig blijven. Wel zal zij kanttekeningen plaatsen bij onderzoek- en innovatiepraktijken en op basis daarvan grenzen aangeven aan het sturingsidee. Daarvoor zullen een aantal innovaties in detail worden geanalyseerd. Zij hebben alle betrekking op de ontwikkeling van nieuwe katalysatoren.

Wij gaan ons bezighouden met de ontwikkeling van twee nieuwe katalysatoren bij Shell. Lange tijd produceerde de multinational, zoals alle andere oliemaatschappijen, benzine met loodverbindingen totdat er vanaf de jaren zestig bezwaren rezen over de milieu- en gezondheidsrisico's. Toen sloeg de onderneming het succesvolle pad in van de loodvrije benzine met een hoofdrol voor

een nieuwe katalysator. Hoe vond Shell dat pad? In dezelfde periode kampte het bedrijf nog met een ander probleem. De olieraffinage leverde een laagwaardig en milieuschadelijk residu op. Wat moest daarmee gebeuren? Hoe was het om te zetten in waardevolle producten? Twee andere onderzoeken in dit boek spelen zich af bij Unilever. Het eerste onderzoek betreft de nikkelkatalysator bij Unilever, welke de onderneming tot in de jaren tachtig inzette om margarine te produceren. Daarna ging Unilever over op biokatalytische processen. Ook die omslag zullen wij volgen.

Het is duidelijk dat de casussen niet representatief zijn voor de katalyse. De katalyse is een omvangrijk onderzoeksgebied met een rijkdom aan thema's. Daaraan doet deze monografie geen recht met drie casussen uit de heterogene katalyse en een casus uit de biokatalyse. Een derde gebied, de homogene katalyse, komt zelfs geheel niet aan bod. Voeding en chemie krijgen als economische sectoren met de casussen enige aandacht. De farmacie, eveneens een belangrijke sector voor katalyse, blijft geheel buiten beeld. Ook de variëteit in institutionele context is gering. De focus ligt op de multinationals met uitgebreide onderzoeksfaciliteiten. Het innovierend midden- en kleinbedrijf komt slechts zijdelings ter sprake. Toch valt uit de geschiedenis van de vier casussen veel te leren over de wijze waarop onderzoeks- en innovatieprocessen verlopen.

We keren weer terug naar de katalysator, en wel met een historische schets.

Wat eraan vooraf ging

'Geef mij de reactie en het gewenste product. Ik zal de daarbij behorende katalysator leveren', zo luidt de ambitie van vele katalyse onderzoekers. Zover is het nog lang niet. Katalytische materialen en processen kunnen niet vanachter een bureau ontworpen worden. Het vinden van de juiste katalysator heeft nog vele elementen van *trial and error* of beter van *trial and failure*. Onderzoekers kunnen niet op voorhand bepalen welke materialen een goede katalysator opleveren voor een reactie. Na twee eeuwen onderzoek is de katalyse nog steeds een wonderlijk fenomeen, dat in vele opzichten nog niet doorgrond is.

De geschiedenis van het vakgebied katalyse begint bij het inzicht dat een katalytisch proces een generiek verschijnsel is en als zodanig te benoemen (Roberts 2000a). Die eer valt toe aan de Zweedse wetenschapper Jöns Jakob Berzelius. Hij formuleerde in 1835 als eerste, dat 'verschillende stoffen op andere

- Het vinden van de juiste katalysator heeft nog vele elementen van *trial and error* of beter van *trial and failure*.

stoffen een actie uitoefenen zeer verschillend van chemische affiniteit. Zij ontleden stoffen in verschillende elementen en brengen recombinaties van dezelfde elementen tot stand terwijl zij zelf onveranderd blijven.' Berzelius veronderstelde het bestaan van een nieuwe kracht, die hij een 'katalytische kracht' noemde. Overigens hadden sommigen moeite met zo'n nieuw concept. De bekende, Duitse chemicus Justus von Liebig vond dat de introductie van een nieuw woord niets verklaarde en zelfs een rem zou kunnen vormen voor toekomstig onderzoek. Het zette onderzoekers mogelijk op een verkeerd spoor. Was het verschijnsel niet met bestaande theorieën te verklaren? Diverse onderzoekers hadden het merkwaardige verschijnsel reeds waargenomen en pogen te karakteriseren nog vóór er in het algemeen over katalyse werd gesproken.

In Nederland vonden de ideeën van Berzelius weinig weerklank. Wetenschappelijke genootschappen en verenigingen behoorden tot de plaatsen, waar de vooruitgang in wetenschap en technologie besproken werden (Snelders 1993). Een belangrijke vereniging was bijvoorbeeld de Maatschappij ter bevordering van Nijverheid (1797), die hoogleraren, ondernemers, waterbouwkundigen, handelslieden en overheidsambtenaren onder haar leden telde. In het tijdschrift, dat zij vanaf 1832 uitgaf, kwam in de 19de eeuw de term katalyse of katalysator niet voor. Een uitzondering was de prijsvraag, die de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen te Haarlem in het midden van de 19de eeuw uitschreef over het thema katalyse. Het bekroonde essay kwam overigens niet van een Nederlander, maar van een Engelsman.¹

Dat betekende overigens niet dat er binnen de verenigingen en genootschappen geen aandacht bestond voor processen die naderhand zijn aangeduid als katalytisch, zoals de zwavelzuurfabricage of de kaasbereiding. Die was er wel degelijk voor de specifieke procédés, maar niet voor het generieke fenomeen van de katalyse. Op de Nederlandse universiteiten, de andere plaats voor wetenschapsbeoefening, was de situatie waarschijnlijk niet anders.

Katalyse was geen vakspecialisme. Toch begon zich in het buitenland langzaam maar zeker een samenhangend kennisdomein af te tekenen (Adams 2009; Armor 2011). Een drietal belangrijke karakteristieken van een katalysator werd in de loop van de 19de en aan het begin van de 20ste eeuw gedefinieerd: de activiteit, de selectiviteit en de stabiliteit. De activiteit had te maken met de snelheid van de chemische reactie, die een katalysator mogelijk maakte. De selectiviteit sloeg op de mate, waarin de katalysator de voortbrenging van specifieke, gewenste stoffen beïnvloedde. En de stabiliteit had betrekking op de kwetsbaarheid van een katalysator. De werking van een katalysator kon om allerlei redenen afnemen.

¹ T.L. Phipson, 'La Force Catalytique ou Études sur les Phénomènes de Contact', *Natuurkundige Verhandelingen*, Tweede Verzameling, Veertiende Deel, 1e stuk (1858), 1-34. Zie ook: W.H. Brock, 'The case of the poisonous socks', in: *Tales from Chemistry* (The Royal Society of Chemistry, 2011), 279-281

De experimenten lieten verschillen in activiteit, selectiviteit en stabiliteit zien tussen diverse stoffen en onder uiteenlopende condities. De moeizame weg van conceptualisering en theorievorming kon beginnen.

Lange tijd had de theorievorming geen of nauwelijks invloed op de katalytische processen in nijverheid en industrie (Roberts 2000b). Zo onderging de voedselproductie met zijn katalytische processen in de 19de eeuw een revolutie zonder dat inzichten uit de katalyse van belang waren. Hetzelfde was het geval met de omwenteling in de chemische industrie, waarin met name zwavelzuur een sleutelrol vervulde en katalytische processen de zwavelzuurfabricage op industriële schaal mogelijk maakten. Dit vond proefondervindelijk plaats zonder hulp van theoretische kennis.

Een uitzondering vormde de verbetering van het 'contactproces' voor de zwavelzuurfabricage door het Duitse chemieconcern BASF in de jaren tachtig van de 19de eeuw. ['Kontakt' is het Duitse synoniem voor Katalyse.] De innovatie was gebaseerd op het onderzoek van de chemicus Clemens Winkler, hoogleraar aan de Freiburger Bergakademie en voorheen werkzaam in de industrie. Bij BASF was het dr. Rudolf Knietsch, die het proces tot technische uitvoering wist te brengen (Lunge 1903). Het was de voorbode van een nieuwe tijdperk in de katalyse met Duitsland als pionier.

Wilhelm Ostwald aan de universiteiten van Riga en Leipzig was de eerste onderzoeker die een duidelijk onderscheid maakte tussen heterogene, homogene en biokatalyse. In het geval van heterogene katalyse verkeren de reagerende stoffen en de katalysator in een verschillende fysische fase. In de zwavelzuurfabricage, bijvoorbeeld, worden zwaveldioxide en lucht als gassen over een metaal als vaste katalysator geleid. Bij homogene katalyse zijn katalysator en reactanten in dezelfde vloeibare of gasvormige fase. Voorts is er nog sprake van biokatalyse. Levende organismen zitten vol met dergelijke enzymatische processen. Zij maken gebruik van enzymen als katalysatoren. Deze staan op de grens van heterogene en homogene katalyse. Zij spelen een rol bij de spijsvertering, de energielevering, de weefselopbouw en de afbraak van schadelijke stoffen. De meeste enzymen zijn complexe eiwitstructuren en doorgaans in hoge mate specifiek. Van oudsher worden zij door de mens ingezet bij de bereiding van voedsel, zoals bijvoorbeeld het bakkersgist bij de bereiding van brood.

Vanaf 1900 spelen zich rond het fenomeen katalyse drie kenmerkende ontwikkelingen af (Adams 2009). Allereerst zien wij in het buitenland regelmatig doorbraken in de katalyse door academisch getrainde, industriële chemici. Zij maakten daarbij gebruik van het onderzoek van hun collega's aan academische instituten. De Franse hoogleraar Paul Sabatier slaagde er aan het einde van de 19de eeuw in om met een katalysator een onverzadigde koolwaterstofketen te hydrogeneren en om te zetten in een verzadigde keten. De Duitse chemicus en industriële onder-

zoeker Normann gebruikte dit katalytisch principe om plantaardige oliën te harden voor de productie van margarine (zie het hoofdstuk 'De katalysator: nikkel').

Voor zijn katalytisch onderzoek kreeg Sabatier de Nobelprijs. Het onderzoek van Sabatier stond ook aan de oorsprong van het Fischer-Tropsch proces uit 1925. Daarmee kon onder normale druk motorbrandstof uit zogeheten 'synthesegas' worden geproduceerd. ['Synthesegas' werd gewonnen uit kolen.] Franz Fischer en Hans Tropsch waren beiden onderzoekers aan het Kaiser-Wilhelm Institut für Kohlenforschung. Een ander, beroemd voorbeeld is het Haber-Bosch proces. Het was gebaseerd op het werk van Fritz Haber, hoogleraar in Karlsruhe, die aantoonde dat gasvormig stikstof met een katalysator te binden was aan waterstof tot ammoniak. De opschaling tot een industrieel en commercieel proces geschiedde onder leiding van Carl Bosch, directeur bij BASF. Het grootschalig gebruik van ammoniak voor de productie van kunstmest en explosieven werd daarmee mogelijk. Haber en Bosch ontvingen beiden voor hun werk de Nobelprijs.

Een tweede kenmerk voor deze periode is de invloed van industriële en maatschappelijke belangen op het katalytisch onderzoek. De synthese van ammoniak was niet voor niets een mijlpaal in de geschiedenis. Tot die tijd vormden natuurlijke meststoffen een *bottle neck* in de landbouwproductie. Dierlijke mest, stadsafval, chilisalpeter (natriumnitraat) en guano (uitwerpselen van vogels) moesten het land vruchtbaar houden. Na die tijd werd ammoniak de basis voor de productie van kunstmest. Meststoffen met name chilisalpeter, werden ook gebruikt voor de buskruitfabricage. Ammoniak bleek een uitstekende vervanger. Dat het Haber-Boschproces in Duitsland werd uitgevonden, was niet zo verwonderlijk. Het vond plaats aan de vooravond van de Eerste Wereldoorlog. Duitsland dreigde afgesneden te worden van de toevoer van (natrium)salpeter, dat alleen in Chili voorkwam. Met het nieuwe proces was het land onafhankelijk van het buitenland. Tijdens de oorlog werd daar voor het eerst op grote schaal ammoniak geproduceerd.

Katalyse was vanaf de jaren twintig ook essentieel voor de ontwikkeling van de olie-industrie. Olie kon tot diesel en benzine geraffineerd worden met behulp van de isomerisatie van paraffine (1932), het katalytisch kraken (1936), de Naphta omzetting (1950) en andere katalytische processen. De auto creëerde de massale vraag naar de motorbrandstoffen. Olieraffinage leverde ook bulkproducten zoals ethyleen, polyetheen en propyleen. Zij zouden de grondstoffen vormen voor een verscheidenheid aan kunststoffen.

Ontluikende professionalisering is het derde kenmerk van de katalyse voor de Tweede Wereldoorlog. Duitsland was voorloper met de inzet van chemici in de industrie. Chemische bedrijven zoals BASF, Hoechst en Bayer waren in de tweede helft van de 19de eeuw de eerste geweest met het aantrekken van grote aantallen chemici, de oprichting van onderzoekslaboratoria en het onderhouden van universitaire contacten. Andere landen zouden volgen met name de chemische industrie in Amerika. Systematisch onderzoek naar katalytische processen werd

– De contouren van een nieuw vakspecialisme werden voor de Tweede Wereldoorlog zichtbaar.

daarmee gangbaar. Dat betekende overigens niet, dat het katalyse-onderzoek was geïnstitutionaliseerd. Er bestonden nog geen katalysegroepen en er waren nog geen leerstoelen in de katalyse. Zij was nog niet als een afzonderlijke activiteit georganiseerd. Katalyse was onderdeel van het onderzoek naar chemische producten, processen en installaties.

UOP (Universal Oil Products Company) uit Amerika was een van de eerste organisaties met een onderzoeksgroep voor katalyse. De onderneming, opgericht in 1919, hield zich bezig met onderzoek en ontwikkeling. Zij werd in 1931 opgekocht door een aantal grote oliemaatschappijen waaronder Shell en Standard Oil of California, en was te beschouwen als een onderzoeksconsortium. In de jaren dertig trok zij excellente chemici voor het onderzoek naar katalyse aan zoals de Rus Ipatieff en de reeds genoemde Duitser Tropsch.

De contouren van een nieuw vakspecialisme werden voor de Tweede Wereldoorlog zichtbaar. Katalyse ontwikkelde zich tot een kennisgebied met eigen wetenschappelijke thema's, technologische problemen, theoretische beschouwingen en een zekere gemeenschappelijke taal (Van Santen 2011, 4-19). Bepaald soort onderzoek werd als katalytisch onderzoek benoemd. Er ontstonden onderzoeksgroepen speciaal voor dit vakspecialisme. De basis voor leerstoelen, vakverenigingen, vaktijdschriften en opleidingen was daarmee gelegd.

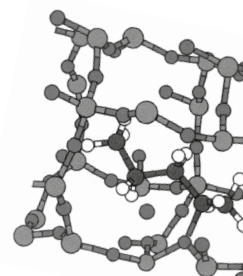
In Nederland vond voor de Tweede Wereldoorlog het onderzoek naar katalyse aan de universiteiten in de coulissen van de chemie plaats (Snelders 1997). Met name twee hoogleraren - Jacob Boëseken en Hein Israël Waterman - investeerden een deel van hun tijd in het onderzoek naar katalysatoren en katalytische processen. Zij werkten aan de Technische Hogeschool Delft (nu: universiteit). Boëseken had belangstelling voor katalytische reacties van het Friedel-Crafts-type, die onder andere bij de productie van kleurstoffen een rol speelden. In de jaren tien en twintig begeleidde hij een vijftal proefschriften, die 'een bijdrage tot de kennis der katalyse ...' beoogden. Waterman was in de jaren dertig en veertig vooral bezig met katalytische processen voor de olie-industrie. Zijn onderzoek verschoof in de loop van de jaren van het raffinageproces naar het vinden en verbeteren van katalysatoren.

Boëseken was adviseur bij de firma Jürgens, een van de voorlopers van Unilever. Het bedrijf had in 1916 een test- en onderzoekslaboratorium opgericht bij zijn margarinefabrieken in Zwijndrecht. Daar zal zeker onderzoek zijn verricht naar katalytische processen, omdat die in de margarinefabricage vanwege de zogenaamde vetharding van plantaardige oliën cruciaal waren (zie het hoofdstuk

‘De katalysator: nikkel’). Waterman was kind aan huis bij de Bataafse Petroleum Maatschappij (lees Shell). Dat bedrijf had reeds in 1909 besloten tot een onderzoekslaboratorium verbonden aan zijn raffinaderijen. Het was een van de eerste onderzoekslaboratoria in de Nederlandse industrie, die die naam waardig was. Uit de twee genoemde industriële laboratoria blijkt, dat naast de universiteiten nog een andere infrastructuur voor onderzoek was ontstaan (Hutter 1986; Davids e.a. 2014). Ons land telde honderden niet-universitaire laboratoria. Deze konden grofweg in een tweetal categorieën ingedeeld worden: (1) de test-, keurings- en controlelaboratoria bij de overheid, in het bedrijfsleven en de gezondheidszorg, en (2) de onderzoekslaboratoria in de industrie, de landbouw en bij de overheid. Industriële laboratoria, waar men onderzoek naar katalytische processen kon verwachten, waren naast die van Unilever en Shell ook bijvoorbeeld die van de Gist- en Spiritusfabriek in Delft, de Stikstofbindingsindustrie ‘Nederland’ in Dordrecht, de Staatsmijnen in Geleen en de AKU in Utrecht. Afzonderlijke onderzoeksgroepen voor katalyse kenden de laboratoria vòòr 1940 echter nog niet. Die groepen werden opgericht na de Tweede Wereldoorlog.

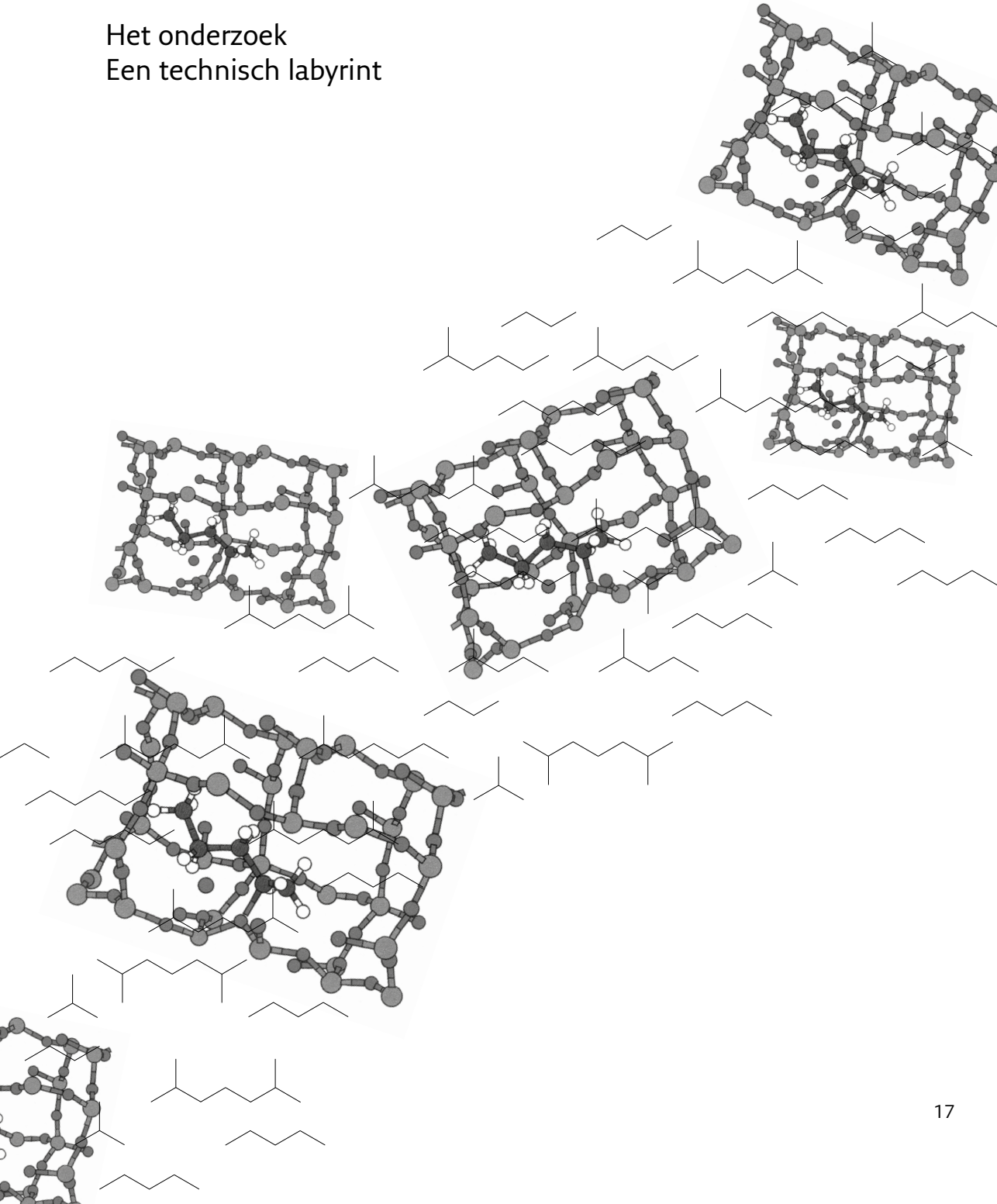
De situatie was na de Tweede Wereldoorlog wat betreft de katalyse in Nederland goed te overzien en zou dat tot in de jaren zeventig blijven (Scholten 1994 en 2004). Onderzoek naar katalytische processen werd op tal van plaatsen in Nederland gedaan onder andere in de voedingsmiddelen-, farmaceutische en chemische industrie. Echter, onderzoek naar het generieke verschijnsel ‘katalyse’ in een onderzoeksgroep beperkte zich tot een aantal plaatsen. Aan de universiteiten was het vakgebied ‘katalyse’ in opbouw. Leerstoelen voor katalyse werden op verschillende universiteiten gevestigd, maar de vorming van de onderzoeksgroepen zou nog jaren in beslag nemen. In de industrie hadden zich reeds bij enkele bedrijven met name bij de multinationals aparte onderzoeksgroepen voor katalyse gevormd. Na 1980 kwam de onderzoeksinfrastructuur er aanzienlijk complexer uit te zien. Dan is er sprake van onderzoek binnen bedrijven, op universiteiten en andere onderzoeksinstituten, en zijn er toponderzoeksscholen, IOP’s (Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma’s), et cetera.

Vier casussen uit de katalyse vormen het uitgangspunt voor onze verdere beschouwingen. Zij spelen zich af bij twee multinationals (Shell en Unilever) in de tweede helft van de 20ste eeuw. De leidende vragen zijn: wat voor type onderzoek werd er binnen de verschillende laboratoria gedaan? Hoe droegen de verschillende typen onderzoek bij aan innovaties? In hoeverre waren onderzoeks- en innovatieprocessen te sturen? We beginnen bij Shell met als innovatie het Hysomerproces, een katalytisch proces voor loodvrije benzine.



De katalysator
Hysomer

Het onderzoek
Een technisch labrynt



De katalysator

Hysomer²

‘Stop een tijger in je tank’: met die slogan voerde Esso campagne in Nederland in de jaren zestig. Het land had een enorme reislust ontwikkeld. De behoefte om gemotoriseerd van het leven te genieten was overweldigend. Dat uitte zich niet zozeer in de aanschaf van de auto. Deze was voor het grote publiek in een tijd van naoorlogse zuinigheid nog te duur. Het was de bromfiets die massaal werd aangeschaft. Het hoogtepunt van de golf lag in 1969, toen Nederland bijna twee miljoen Solexen, Puchs, Mobyettes en andere bromfietsen registreerde. Hier lag een enorm potentieel aan toekomstig autogebruik. Dat werd in de decennia daarna aangeboord mede door de verdubbeling van het inkomen, de vijfdaagse werkweek en de uitbouw van de vrije tijd.

De tijger bleek ook een onaangename kant te hebben. Nederland had in tegenstelling tot Amerika daarvan nog geen kennis genomen. In de jaren veertig deed zich in dat land voor de eerste keer een mysterieus soort verschijnsel voor: een bruinachtige, irriterende en wazige mist. Vooral Los Angeles had er onder te lijden; meestal tussen mei en oktober als het erg warm was en het zonlicht het meest intens. De smog, zoals men de troebele lucht noemde, kon dan soms enkele weken aanhouden. De auto werd al snel aangewezen als de grote boosdoener. Een kast vol rapporten - resultaat van jarenlang onderzoek - kwam uiteindelijk tot de conclusie, dat het massale autoverkeer op grote schaal stikstofdioxide, zwaveldioxide

en roetdeeltjes uitstootte. Deze veroorzaakten de luchtverontreiniging.

Maar er was meer aan de hand. Ook het lood in de benzine kwam als verdachte in de beklaagdenbank terecht. Niet voor de smog, maar wel voor de aantasting van het milieu en de volksgezondheid. Een symposium gesponsord door de Amerikaanse gezondheidsorganisatie besprak in 1965 de gevolgen van de loodverontreiniging. Loodvergiftiging was inmiddels een bekende ziekte. Een te hoog gehalte aan lood in het lichaam kon onherstelbare schade aan het zenuwstelsel toebrengen. De vraag was echter of een lage dosis lood in het milieu schadelijk was. Een deel van de wetenschappers ontkenden dat. Anderen wezen er echter op, dat ophoping van lood op en in planten een gevaar opleverden voor de gezondheid. Een van de studies liet een alarmerend beeld zien. De loodconcentratie in de lucht van Los Angeles was meer dan vijftig keer zo hoog als in afgelegen gebieden. Lood werd een hot issue.

De autoindustrie en de oliemaatschappijen zaten met de berichtgeving van de gelode benzine in hun maag en zouden jarenlang publiekelijk het gevaar ontkennen. Tegelijkertijd wisten zij, dat zij zich moesten voorbereiden op de mogelijkheid dat het lood in de ban zou worden gedaan. In de laboratoria van Shell was loodvrije benzine in de jaren zestig een van de onderzoeksthema's. Het Amerikaans lab - niet zo verwonderlijk -

² Literatuur en bronnen bij dit hoofdstuk staan achter in het boek.

had daarin het voortouw genomen. Het was echter het Nederlandse lab, dat met succes een nieuw proces ontwikkelde, het Hysomer-proces, met een cruciale rol voor een nieuwe katalysator. Over deze geschiedenis gaat dit hoofdstuk.

De 'Emeryville Research Center of Shell Development Company', zoals het Amerikaanse lab voluit heette, was lange tijd de belangrijkste onderzoeksfaciliteit van Shell in Amerika. Het was gelegen in Californië op een terrein van ongeveer 11 hectare, waar op het hoogtepunt zo'n 90 gebouwen stonden en 1500 mensen werkten. Het laboratorium werd na 1966 langzaam ontmanteld, mede vanwege - zo ging het gerucht - de revolutionaire cultuur die er heerste. Het lab sloot in 1972 zijn deuren. Het onderzoek verhuisde naar Houston [Westhollow], waar ook een raffinaderij van Shell stond [Deer Park]. Veel onderzoekers van 'Emeryville' waren progressief, geloofden niet in economische groei en waren, bijvoorbeeld, lid van de Sierra Club, een van de oudste en invloedrijkste milieuorganisaties in Amerika. Het lab had in de researchwereld een uitstekend naam. Er werkte excellente onderzoekers. Het beschikte over uitstekende faciliteiten en geavanceerd instrumentarium. Diverse onderzoekers hadden tijdens de oorlog meegewerkt aan het Manhattan Project of waren in dienst geweest van Universal Oil Products, een vermaarde firma in de olie industrie. Daar hadden zij geleerd om pionierend én doelgericht, exploratief én praktisch te zijn. Ook die houding behoorde tot de cultuur van 'Emeryville'. Een deel van het onderzoek ging over de milieueffecten van uitlaatgassen.

Een van de prangende vragen was of lood met name de loodverbinding tetra-ethyl-lood ofwel TEL niet uit benzine was te weren.

TEL was een 'geschenk van God', zo zagen automobiefabrikanten en oliemaatschappijen de ontdekking van deze loodverbinding in 1921. Automotoren hadden tot die tijd te maken met het zogenaamde 'kloppen' ofwel 'pingelen'. Het was het gevolg van een onregelmatige verbranding in de cilinder. Wanneer de samendrukking van het brandstof-lucht mengsel te hoog werd, begon een deel van het mengsel spontaan te ontploffen. Dat was te horen als een harde klap of een hinderlijke 'ping'. Niet alleen de automobilist had er last van. Het beperkte de fabrikanten ook bij het opvoeren van het autovermogen en het ontwikkelen van een efficiëntere motor. General Motors testte in zes jaar 33.000 verschillende stoffen voordat zij stuitte op TEL. Als er een kleine hoeveelheid TEL aan de brandstof werd toegevoegd, bleek het ergerlijke 'kloppen' te veranderen in een zacht snorren van de motor. Spoedig daarna ging men spreken van de klopvastheid van de benzine, dat zich liet uitdrukken in het zogenaamde octaangetal. Hoe hoger het octaangetal, hoe klopvaster de benzine. TEL zorgde voor een hoog octaangetal.

Door de consternatie rond TEL was in de jaren zestig het zoeken naar een nieuw 'geschenk van God' begonnen. Een hoger octaangehalte kan onder andere verkregen worden door de korte alkanen in de benzine om te vormen. Benzine is een verzameling van enige tientallen koolwaterstoffen van verschillende typen. Een van de typen is het alkaan. Deze bestaat uit een reeks van koolstofatomen,

– 'Stop een tijger in je tank'

die allemaal 'verzadigd' zijn met waterstof. Belangrijk voor deze geschiedenis zijn de alkanen met 5 of 6 koolstofatomen, C₅/C₆, de korte alkanen. Doorgaans bestaan zij uit een rechte keten van koolstofatomen. Deze veroorzaken een laag octaangetal en dus een inferieure kwaliteit benzine. TEL zorgt voor de upgradering van de benzine. Een andere mogelijkheid is om rechte ketens om te vormen tot vertakte ketens. Dat proces heet isomeriseren. Met het isomeriseren van de korte alkanen schiet het octaangetal direct omhoog.

Bij de omvorming van rechte naar vertakte ketens moet de natuur een handje worden geholpen. Het isomerisatieproces verloopt moeizaam. Het gaat echter een stuk vlotter als de juiste katalysator wordt gebruikt. Deze stimuleert de isomerisatie. De korte alkanen vervormen. De katalysator behoudt zijn oorspronkelijke vorm. De kunst is om de juiste katalysator te vinden.

De chemicus en natuurliefhebber Benesi van het Amerikaanse Shell lab in Emeryville dacht de katalysator gevonden te hebben. Zijn specialisme was het onderzoek van stoffen op hun katalytische werking en het maken en karakteriseren van nieuwe katalysatoren. Rond 1960 was hij gefascineerd geraakt door zeolieten. Zeolieten waren prachtige materialen, die als mineraal in de natuur gevonden werden, maar ook in de fabriek gesynthetiseerd konden worden. Benesi bestudeerde de regelmatige structuur van zeolieten, die uit een soort stelsel van gangen en liftschachten bestond zoals bij een flatgebouw. Door microscopisch kleine openingen konden bepaalde (niet te 'dikke') moleculen in het inwendige doordringen. En aan de wanden van de gangen en schachten konden katalytische processen plaatsvinden. Dat was

echter alleen mogelijk, als de wanden waren bewerkt. Het zeoliet, dat als een zout te beschouwen is, moest daarvoor in zijn zure vorm worden gebracht.

Zeolieten bestonden er in vele soorten. Een speurtocht bracht Benesi bij een materiaal, dat als katalysator voor de omzetting van koolwaterstoffen goede perspectieven bood. Dat bleek mordeniet te zijn. Eenmaal op dat spoor terecht gekomen, dacht hij beet te hebben. Verdere experimenten, geïnspireerd door literatuurgegevens, lieten zien dat mordeniet eenvoudig in een zure vorm te krijgen was door het te behandelen met een ammoniumzout en het te verhitten. Het leverde het zogenaamde H-mordeniet op. In een reeks van proeven werd het materiaal verder geclassificeerd en gekarakteriseerd. Er bleek nog een hydrogeneerfunctie op de H-mordeniet aangebracht te moeten worden om een stabiele reactie te krijgen. Daarvoor werd platina ingezet. Een dusdanig geprepareerd Pt/H-mordeniet gaf bemoedigende resultaten bij de isomerisatie van korte alkanen. Althans dat was het geval bij een 'model' voeding, een mengsel speciaal geprepareerd voor laboratorium experimenten. Benesi had toen al jaren van onderzoek achter de rug. Maar toen kwam het moment, dat beslist moest worden over opschaling en commercialisering. Daarvoor was een experiment nodig met een 'reële' voeding.

De nieuwe katalysator werd in 1966 voor het eerst getest op een voeding, zoals die uit de raffinaderij kwam. Benesi koos voor een commerciële C₅/C₆ fractie uit de raffinaderij van Wilmington. De resultaten waren tegen alle verwachtingen in ronduit problematisch. Weliswaar was de activiteit goed - hoewel niet buitengewoon hoog - maar de selectiviteit beroerd. Er vormde zich nogal wat vluchtig propaan, waardoor de opbrengst aan vertakte,

korte alkanen achterbleef bij de verwachtingen. Bovendien werd de katalysator in de loop van de tijd minder actief. Er bleef vermoedelijk 'coke' – een koolstofachtig residu – achter op de katalysator.

Jaren onderzoek had Benesi achter de rug. Iets bruikbaar had het niet opgeleverd. Interne rapporten en enkele wetenschappelijke publicaties. Meer niet. Maar het oplossen van een opdoemend probleem zat er niet in. Het avontuur leek een roemloos einde tegemoet te gaan.

Kouwenhoven was een jong chemicus uit Leiden. Shell had hem met open armen ontvangen. Na de oorlog was er een schreeuwend gebrek aan academici. Nog voordat hij gepromoveerd was, had Shell hem in 1959 al in dienst genomen. En na zijn promotie mocht hij op kosten van Shell een *sabbatical* doorbrengen aan de University College in London. Het was een fantastische tijd geweest, hoewel het onderzoek weinig te maken had met zijn latere werk.

In 1961 begon Kouwenhoven op het KSLA, het Koninklijk Shell Laboratorium Amsterdam. Hij was terecht gekomen bij de sectie Katalyse van de afdeling Oil Research en had een grote vrijheid zijn onderzoeksthema's te kiezen. Deels hield hij daarbij rekening met verzoeken uit 'Den Haag', waar het 'Centraal Kantoor' van Shell zich bevond. Zijn onderzoek naar de ontzweveling van rookgassen was zo'n 'Haags' thema. Deels koos hij zijn thema's puur uit eigen interesse. Dat was bijvoorbeeld zijn onderzoek naar zeolieten. Het onderzoek deed

hij met zo'n zeven laboranten. Hij stelde het onderzoekprogramma op, las de literatuur, bedacht de experimenten, stelde de prioriteiten en schreef de rapporten en publicaties. De laboranten voerden de proeven en de testen uit. Het ging om specialistisch werk, dat mede bepalend was voor het succes van het onderzoek. Hun rol was zo belangrijk, dat Shell een eigen laborantenopleiding kende.

Ook Kouwenhoven experimenteerde met Pt/H-mordeniet. Veel was nog onbekend. Mordeniet was een nieuw materiaal. Dat was ook het aantrekkelijke eraan. Het was goedkoop en makkelijk te verkrijgen. Welke structuur had het materiaal precies? Hoe werkte het katalytisch proces? Hoe kon de plaatsing van metaal op en in het mordeniet gecontroleerd geschieden? Wat leverden analyses op met een Mettler thermobalans, met een BET apparaat of met een ander, nieuw instrument. Die vragen dreven hem. Het debat over lood en gelode benzine speelde geen enkele rol.

Het onderzoek bestond vooral uit karakteriseren en variëren van de bereidingswijze. Allerlei variabelen moesten systematisch onderzocht worden. Het ging erom alle facetten van het Pt/H-mordeniet systeem in beeld te krijgen. Mordeniet was in diverse soorten en maten te verkrijgen en kon op verschillende manieren gesynthetiseerd worden, waardoor porositeit en andere karakteristieken verschilden. Het kon op verschillende manieren tot een zuur materiaal omgevormd worden. Er konden verschillende metalen op aangebracht worden, op verschillende wijzen en in verschillende concentraties. Ook werkte zo'n

– Een van de prangende vragen was of lood niet uit benzine was te weren.

katalysator anders bij verschillende drukken en temperaturen. Hij kon op verschillende wijzen geactiveerd worden. Et cetera, et cetera. Al die factoren bepaalden de activiteit, de selectiviteit en de stabiliteit van de katalysator.

Veel van het onderzoek had een routinematig karakter en werd systematisch georganiseerd. Het inventieve van het onderzoek zat hem meer in het bedenken van de chemische proefjes dan in het vinden van nieuwe analysemethoden. Het mordeniet onderzoek bestond veelal uit een serie standaardproeven zoals röntgenonderzoek (geen zeoliet onderzoek zonder röntgenonderzoek), thermische analyse (onder andere gewichtsverlies en bijkomende warmte effecten) en de adsorptie van stikstof bij lage temperatuur (in verband met het meten van porositeit).

Kouwenhoven experimenteerde dus met de katalysatorbereiding. Gebruikelijk was om het mordeniet te behandelen óf met een ammonium zout óf met een zuur (bijvoorbeeld zoutzuur). Benesi had dat gedaan. Kouwenhoven deed dat ook, máár hij behandelde het mordeniet ook met ammoniumnitraat én met een zuur in opeenvolgende experimenten. Als chemicus zou men verwachten, dat zo'n dubbele behandeling weinig uitmaakte. Ieder van de behandelingen had namelijk tot doel om het mordeniet in de 'waterstofvorm' te krijgen. Het resultaat was verrassend. De selectiviteit nam toe. Het wonderlijke verschijnsel werd genoteerd en verdween in de labjournaals. Dat gebeurde in 1966.

In dat jaar werkte dr. Charley Brewer uit Emeryville als *exchange scientist* in Amsterdam [in ruil zat er een Amsterdammer in Emeryville – dit om de communicatie tussen de labs goed te houden]. Een vlotte Amerikaan, een stuk ouder dan Kouwenhoven, met veel onder-

zoekservaring en met een goed gevoel voor belangrijke thema's. Hij was het hoofd van de afdeling, waar Benesi werkte. Hij raakte in gesprek met Kouwenhoven, kreeg verslag van zijn onderzoek, óók dat naar mordeniet, én zag de resultaten van de laatste experimenten. Brewer begreep direct, dat zich hiermee een nieuw perspectief voor de katalysator aandiende. Het was nu zaak om aan te tonen, dat Pt/H-mordeniet volgens de nieuwe bereidingswijze niet alleen met een 'model' voeding, maar ook met een 'reële' voeding goed werkte. Dat bleek verrassend goed uit te pakken. De katalysator behield zijn hoge activiteit, selectiviteit en stabiliteit.

De gebeurtenissen volgden elkaar nu snel op. Dat kwam mede door Brewer, die overtuigd was van de goede perspectieven van de nieuwe katalysator. Dat was echter niet iedereen bij Shell. Er lagen meer ijzers in het vuur. In dezelfde onderzoeksgroep als die van Kouwenhoven werd al jaren gewerkt aan een vloeibare katalysator ($\text{AlCl}_3/\text{SbCl}_3/\text{HCl}$). Ook dat proces leek perspectiefvol en stond aan het begin van een opschalingstraject. Verder kon Shell ook licenties nemen op beproefde processen, die door British Petroleum en Universal Oil Products ontwikkeld waren. De processen leverden loodvrije benzine met een iets hoger octaangehalte dan de benzine die Pt/Mordeniet kon leveren. Dat was hun voordeel. Daar stond tegenover, dat de kosten vermoedelijk hoger waren en de katalysatoren kwetsbaarder voor verontreinigingen. Bovendien kan bij die processen het agressieve zoutzuur vrijkomen, hetgeen speciale maatregelen vereisten tegen corrosie in de installaties.

Een indringend gesprek met het Manufacturing Department bleek echter voldoende om 'Den Haag' te overtuigen van het belang van verdere investeringen in het vervolgtraject.

Er waren wel weinig 'kampioenen' voor, maar het commercialisatietraject werd ingezet. Daartoe behoorde allereerst het verdere onderzoek van Kouwenhoven om te komen tot een goede receptuur voor de bereiding en de toepassing van de katalysator. Die kosten waren te overzien.

Het succesvolle experiment met de 'reële' voeding had Kouwenhoven gedaan met een voorbehandelde C_5/C_6 fractie van Koewit olie. Het commercialisatietraject was in feite een opschalingsproces van het laboratorium naar de raffinaderij, waarbij het de vraag was of bij alle tussenstappen de lichten op groen bleven staan. Op de raffinaderij hadden de oliefracties de gebruikelijke verontreinigingen. Was de katalysator daar tegen bestand en in welke mate? Zo kon de voeding 1% benzeen bevatten, een sterk gif voor ander type katalysatoren. Op de Pt/H-mordeniet bleek het geen invloed te hebben. Een belangrijk thema was het verlies aan activiteit van een katalysator. Met andere woorden, hoe lang ging een katalysator mee? Kon hij na een behandeling weer gebruikt worden of moest hij worden weggegooid? Kouwenhoven vond dat de katalysator maandenlang werkzaam was. Wanneer de katalysator de-activeerde door de verontreiniging met 'coke', dan was volledig herstel mogelijk met een eenvoudige behandeling. Dat was van groot belang voor de commerciële levensvatbaarheid van het proces. Een ander aspect was het optimaal plaatsen van de platina op het mordeniet. Het ging om een duur metaal. Met zo min mogelijk platina,

moest een zo'n hoog mogelijke efficiëntie bereikt worden. Ook daarvoor ontwikkelde Kouwenhoven een bepaalde bereidingswijze. En zo waren er nog een serie onderzoeken die gedaan moesten worden. Aan het einde kon Kouwenhoven een nauwkeurige beschrijving geven van de bereiding en het gebruik van de katalysator. De vereiste receptuur voor de toepassing was beschikbaar.

De daarop volgende stappen waren aanzienlijk kostbaarder. Het proces moest opgeschaald worden, d.w.z. uitgetest op *pilot plant* schaal. Dat gebeurde in een andere afdeling. Kouwenhoven kon slechts beschikken over *microflow* en *benchscale* units. Pilot-plant tests zijn langdurig, omdat zeker gesteld moet worden dat de katalysator doet wat er van hem verwacht wordt, robuust is (tegen een stootje kan) en lang leeft. Bovendien was de katalysatorfabricage uitbesteed aan Union Carbide, en dat betekende extra testwerk. Eerst op microflow schaal, maar uiteindelijk ook weer in de pilot plant.

Het opschalingsproces liep in eerste instantie redelijk voorspoedig. Dus ging men installaties ontwerpen en kosten-baten analyses maken. Ook een kostbare zaak. En er werd gezocht naar een geschikte raffinaderij om het proces voor de eerste keer toe te passen. Het werd de raffinaderij van La Spezia in Italië. In 1968 werd begonnen met de bouw. In mei 1970 kwam het proces, dat Hysomer ging heten - een samentrekking van Hydro Isomerisation - voor het eerst opgang.

Op het laatste moment werd het ineens

- In mei 1970 kwam het proces, dat Hysomer ging heten - een samentrekking van Hydro Isomerisation - voor het eerst opgang.

onzeker of het Hysomerproces wel een succes zou worden. Een paar weken voordat de Hysomer fabriek (400 ton/dag) met veel vlagvertoon geopend zou worden, bleek uit het testen van de commerciële en al in La Spezia geladen katalysator dat de selectiviteit ervan ver beneden de verwachting was en tot een verlies zou leiden. Niemand begreep er iets van. Totdat Tiong Sie zich met de zaak ging bemoeien. Hij realiseerde zich dat water vaak een effect heeft op de katalysator performance.

Wat bleek nu? De bij Union Carbide in de USA volgens de specificaties van Shell vervaardigde katalysator was geleverd in zo droog mogelijke toestand ['bone-dry']. Dit was op verzoek van Shell ['we gaan niet betalen voor vervoer van water' - transportkosten gingen per kilo]. Deze katalysator deed het prima in de microflow unit, maar helemaal niet in de benchscale unit, en de resultaten in de pilot plant waren zeer variabel. Welnu, voordat een katalysator in de microflow wordt geladen, wordt hij gemalen & gezeefd. Daardoor neemt hij water op uit de lucht, en dus gaat hij 'vochtig' de reactor in. In een benchscale daarentegen wordt de katalysator zo snel mogelijk vanuit de verpakking in de reactor geladen. In dit geval was die dus kurkdroog. In de afdeling waar de pilot plant stond was het de gewoonte dat de supervisor de afgewogen hoeveelheid katalysator in een raamkozijn zette. Laadde de operator de katalysator nog dezelfde dag, dan was hij redelijk droog. Laadde hij hem echter pas de volgende dag, dan was hij 'vochtig'. En aangezien een te droge katalysator het niet deed, en een bevochtigde wel, verklaarden deze verschillende handelwijzen de verschillen in verkregen resultaten. En de oplossing was dus om de in La Spezia geladen katalysator nog even wat vocht te laten opnemen! 'Maar goed', zei Tiong, 'als de bisschop

die de unit kwam inzegenen zijn wijwaterkwast flink zou hebben laten zwaaien, dan was er sowieso geen probleem geweest...'. De bevochtiging van de katalysator werd niettemin opgenomen in het protocol.

'De eerste commerciële unit gebruikmakend van het nieuwe gas-fase isomerisatie proces voor C_5/C_6 paraffines [korte alkanen] ontwikkeld door de Shell Groep werd in mei 1970 in La Spezia succesvol op stroom gebracht', zo stond er te lezen in een rapport voor ingewijden. 'Sindsdien is het proces buitengewoon glad en eenvoudig verlopen. Toezicht en mankracht waren alleen marginaal nodig. Dit komt in belangrijke mate door de eenvoud van de unit, die gebruik maakt van een extreem robuuste katalysator. Na 4500 processuren ... waren de activiteit en selectiviteit van de katalysator nog steeds hetzelfde als de verse katalysator en iets beter dan de eerdere *pilot plant* resultaten.'

Hysomer was direct een groot succes. In technisch opzicht (het functioneerde boven verwachting) en in commercieel opzicht (er werd goed aan verdiend). Het merkwaardige is echter, dat daarop een windstilte volgde. Hysomer werd bijgezet op de plank van vele Shell vindingen. Pas na vijf jaar werd er een tweede fabriek gebouwd. En pas in de jaren tachtig begon de toepassing van het proces aan te trekken. Toen brak het ook echt door. Vanwaar dat eigenaardige verloop? Daarvoor moeten we terug naar algemenere beschouwingen over onderzoek en innovatie.

Het onderzoek

Een technisch labrynt

Het economisch en maatschappelijk effect van onderzoek wordt vooral zichtbaar via nieuwe producten, efficiëntere productieprocessen, verbeterde gezondheidszorg, schonere motoren, et cetera. Onderzoek wordt gezien als het middel om innovaties tot stand te brengen. In ruimere zin hebben investeringen in onderzoek tot doel om economische profijt te realiseren, economische groei te stimuleren of welzijn te bevorderen. Onderzoek biedt zicht op nieuwe markten, aldus de directeuren van industriële laboratoria, op nieuwe industriële bedrijvigheid, aldus de programmamakers van Economische Zaken of op een oplossing voor maatschappelijke vraagstukken, aldus de beleidsmakers op de ministeries. Managers en beleidsmakers verwijzen voortdurend naar de perspectiefvolle routes, die met onderzoek zijn in te zetten. Door strategisch beleid, doelbewuste maatregelen, formele regelgeving en gerichte investeringen kunnen die routes bewandeld worden. Lukt het echter om greep te krijgen op innovatieprocessen? Zijn innovaties te sturen?

Daar lijkt het wel op. De toepassing van Hysomer ondersteunt deze gedachte. Wetgeving lag ten grondslag aan deze innovatie. De route was duidelijk. Luchtverontreiniging door uitlaatgassen van auto's werd na de Tweede Wereldoorlog in toenemende mate als een ernstig probleem ervaren. Californië liep daarbij voorop vanwege de lokale omstandigheden (Krier en Ursin 1977). De media en milieugroeperingen stelden voor de eerste keer dit vraagstuk op indringende wijze aan de orde. De Amerikaanse staat kondigde strenge wetgeving af en dwong daarmee de automobiel- en olieindustrie te reageren. Dat gold onder andere voor de loodverbindingen in de uitlaatgassen. Loodvrije benzine was hetgeen in de laboratoria van de olieindustrie uitgevonden moest worden. Shell slaagde daarin met het Hysomerproces. Nadat strenge wetgeving in navolging van Amerika in een groot aantal landen tot stand was gekomen, begon het Hysomerproces aan zijn opmars en werd het daarmee een van de succesvolle innovaties van Shell.³

Wet- en regelgeving behoren tot het erkend instrumentarium om innovaties te sturen. Zij stellen randvoorwaarden op voor technische ontwikkeling, stimuleren bepaalde technische paden en blokkeren andere paden. Toch ligt de situatie complexer. Wanneer we bijvoorbeeld het Hysomer meer in detail analyseren, dan blijft

³ In 1980 was de wereldwijde capaciteit van raffinaderijen met het Hysomerproces 2 miljoen ton per jaar. In 1990 stond er een capaciteit van 10 miljoen ton.

er van deze innovatie als voorspelbare uitkomst van wetgeving weinig meer over.

Allereerst ging wetgeving niet aan het onderzoek naar loodvrije benzine en naar een nieuwe katalysator vooraf. De Clean Air Act, waarin voor de eerste keer normen voor uitlaatgassen (overigens nog niet voor lood) werden opgesteld, was van 1963. Het Shell laboratorium in Emeryville had toen reeds de problematiek van de luchtverontreiniging onder andere die van lood opgepakt. De onderzoekers legden een grote mate van gevoeligheid voor de tijdsgeest aan de dag. Nog sterker, een aantal behoorde tot de alternatieve bewegingen in Californië in die tijd en creëerde mede een klimaat voor overheidsingrijpen in de milieuproblematiek.

Ook liepen de Amerikaanse onderzoekers op het Shell-beleid vooruit. In het jaarverslag van 1963 wordt door de Raad van Bestuur voorzichtig geanticipeerd op de milieuproblematiek: 'Wanneer aardgas en aardolie efficiënt worden verbrand, zijn het in principe schone brandstoffen... De technische staf van Shell helpt klanten de best mogelijke prestatie uit hun apparatuur te krijgen en luchtverontreiniging door brandstoffen uit aardolie aldus tot een minimum te reduceren.' Het ontwikkelen van specifieke milieutechnieken, zoals alternatieve brandstoffen was in het officiële beleid nog niet aan de orde, wel op de werkvloer van het Amerikaanse lab.

Onderzoekers zijn geen geïsoleerde actoren, die slechts reageren op officieel beleid en wetgeving. Zij zijn mensen van vlees en bloed, gevoelig voor de publieke opinie, betrokken bij maatschappelijke vraagstukken en actief als burgers in maatschappelijke verbanden. Het is niet verwonderlijk, dat zij vaak signalen opvangen nog voordat overheid en onderneming tot formele maatregelen overgegaan.

Een andere reden, waarom Hysomer niet de uitkomst is van sturing, hangt samen met de factor toeval of onvoorspelbaarheid in onderzoek. Ondanks systematisch onderzoek slaagde de Amerikaan Benesi er niet in de vereiste katalysator te vinden voor loodvrije benzine. De Nederlander Kouwenhoven kreeg de sleutel tot succes in handen, hoewel hij zich hiervan niet bewust was.

Toch werd in dit geval het toeval 'een handje geholpen'. Cruciaal was de tussenkomst van de Amerikaan Brewer, die als mediator het belang van het onderzoek van Kouwenhoven herkende. Shell had met andere woorden een infrastructuur gecreëerd voor kennisuitwisseling om onderzoeksprocessen te beïnvloeden. Dat wilde niet zeggen, dat succes bij voorbaat verzekerd was. In het volgende hoofdstuk zullen we zien, dat ondanks de systematische speurtocht naar nieuwe katalysatoren voor de bereiding van margarine, doorbraken uitbleven. Toeval in onderzoek blijft een factor van betekenis.

Er is nog een reden, waarom de uitkomst van onderzoek onvoorspelbaar is en sturing daarom problematisch. Tijdens de speurtocht naar oplossingen dienen zich alternatieven aan. Shell had wat betreft het zoeken naar een geschikte kataly-

- Zoveel is duidelijk: een innovatieproces is geen rechtlijnig proces. Dat blijkt ook uit nog twee andere aspecten rond Hysomer en loodvrije benzine.

sator voor loodvrije benzine meer ijzers in het vuur, zoals het verder ontwikkelen van een vloeibare katalysator ($\text{AlCl}_3/\text{SbCl}_3/\text{HCl}$) van het eigen lab of het nemen van licenties op processen van andere oliemaatschappijen. Stevige onderhandelingen waren nodig binnen Shell met name met de Manufacturing Department om 'Den Haag' te overtuigen van verdere investeringen in Hysomer.

Opmerkelijk was verder, dat Shell reeds een loodvrije benzine op de Amerikaanse markt had gebracht met name geschikt voor auto's met een lage compressieverhouding (Sluyterman 2010). General Motors had de compressieverhouding van de motor in alle auto modellen van 1971 teruggebracht, zodat zij konden rijden op loodvrije benzine met een octaangehalte van 91 (terwijl 100 de standaard was). Ook Ford en Chrysler introduceerden dergelijke modellen. Autorijders werd op deze wijze de mogelijkheid geboden hun betrokkenheid bij het milieu te tonen. Een succes bleek dat echter niet. De verkoop van dit soort benzine was nooit meer dan 3 tot 5% van de benzine-omzet van Shell in Amerika. De prestaties van de auto's daalden door de lagere compressieverhouding en het benzineverbruik steeg. Dat was niet wat de autorijder wilde. Nu was het dus de klant, die een spaak in het wiel stak.

Zoveel is duidelijk: een innovatieproces is geen rechtlijnig proces. Dat blijkt ook uit nog twee aspecten rond Hysomer en loodvrije benzine. In tegenstelling tot wat men zou verwachten, was loodvrije benzine in eerste instantie **niet** het antwoord op wetgeving voor loodverbindingen in brandstoffen, maar op de invoering van de autokatalysator (Nriagu 1990). De autokatalysator zorgde voor afbraak van koolmonoxide en andere verontreinigende uitlaatgassen, waarvoor vanaf de jaren zestig normen bestonden. Loodverbindingen deden de werking van de autokatalysator echter teniet. Auto's met autokatalysatoren vereisten dus andere typen benzine. In tweede instantie zou aparte wetgeving rond loodverbindingen een markt voor loodvrije benzine creëren. In Europa geschiedde dat in de jaren tachtig en negentig. Dat was aanzienlijk later dan in andere landen zoals Amerika en Japan.

Dat brengt ons bij een ander aspect. Het Hysomerproces werd voort het eerst toegepast in Europese raffinaderij en wel in La Spezia in Italië. Waarom juist daar, terwijl raffinaderijen in Amerika en Japan meer voor de hand lagen. La Spezia gebruikte echter in haar raffinaderij grote hoeveelheden Koeweit-olie. De samenstelling van die olie was het meest gunstig voor toepassing van het Hysomerproces.

Bovendien stond er een stilliggende unit, die omgebouwd kon worden. Er was echter ook een financieel argument. Het soortelijk gewicht van loodvrije benzine is minder (circa 10%) en het soortelijk volume groter dan gewone benzine. In Italië betaalde de automobilist op basis van volume. De belastingafdracht aan de staat geschiedde echter op basis van gewicht. Dat betekende dat de klant hetzelfde betaalde voor een liter loodvrije benzine, maar de belastingafdracht minder was. Het Hysomerproces leverde Shell extra inkomsten op. De milieuproblematiek - oorspronkelijk de drijfveer achter het onderzoek en de innovatie - speelde bij deze afwegingen geen rol van betekenis.

De algemene conclusie van Hysomer is, dat het proces één van de opties was om de problematiek van de gelode benzine op te lossen, maar dat haar succesvolle toepassing onmogelijk voorzien of voorspeld kon worden. Het enige, dat in dit geval voorspeld kon worden, was dat er voor de gelode benzine zeer waarschijnlijk een oplossing zou komen, neen, moest komen. Welke oplossingen dat zouden worden, was niet te voorzien. Het verschil tussen de algemene voorspelling ('er komt een oplossing') en het voorspellen van een specifieke oplossing is essentieel voor beleid. We komen hierop terug in het laatste hoofdstuk.

Een metafoor voor een innovatieproces is een zoektocht in een socio-technisch labrynt (Lintsen en Schippers 2006). Zij drukt fraai de onvoorspelbaarheid en onzekerheid uit van de specifieke uitkomst van het innovatieproces. Het begint al met de vraag, waar de ingang is van het labrynt. Start de route aan de vraagzijde (de maatschappelijke behoefte, het maatschappelijke vraagstuk, de 'markt') of aan de aanbodzijde (een ontdekking, een nieuwe theorie, de 'wetenschap'). Ofwel is er sprake van *market pull* of *technology push* of van beide. Indien de ingang ligt aan de aanbodzijde, dan is er in feite nog geen sprake van een innovatieproces. Immers, een innovatie veronderstelt een vraag, een toepassing, een markt. Deze moeten dan nog gecreëerd worden. Ook als de ingang ligt aan de vraagzijde ligt, hoeft er geen sprake te zijn van een innovatieproces. Immers een innovatieproces veronderstelt een technische dimensie en dat vereist een vertaling van de maatschappelijke behoefte in technische en wetenschappelijke termen, althans voor onderdelen ervan.

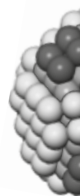
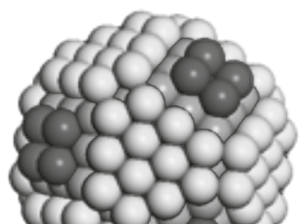
Beide processen (het vinden van de 'markt' of het vinden van de 'technologie') zijn ook onderdeel van de zoektocht in het socio-technisch labrynt. De zoektocht

- Het enige, dat in dit geval voorspeld kon worden, was dat er voor de gelode benzine zeer waarschijnlijk een oplossing zou komen, neen, moest komen.

bestaat uit het experimenteren met onzekere opties, het opdoen van nieuwe inzichten, het bewandelen van onzekere paden en het terugtreden uit doodlopende stegen. Perspectievolle paden worden opgespoord. Strijd en debat ontstaan over de selectie van de opties, de inschattingen van de vereiste investeringen, de technische haalbaarheid en de commerciële kansen. Processen worden opgeschaald en vervolgonderzoekingen uitgezet. De markt wordt verkend en de concurrentie gevolgd. Technische oplossingen en maatschappelijke behoeften worden op elkaar afgestemd. De zoektocht in het socio-technisch labrynt vindt niet alleen in de onderneming plaats, maar wordt in belangrijke mate ook georganiseerd in netwerken met ondernemingen, maatschappelijke organisaties en kennisinstellingen.

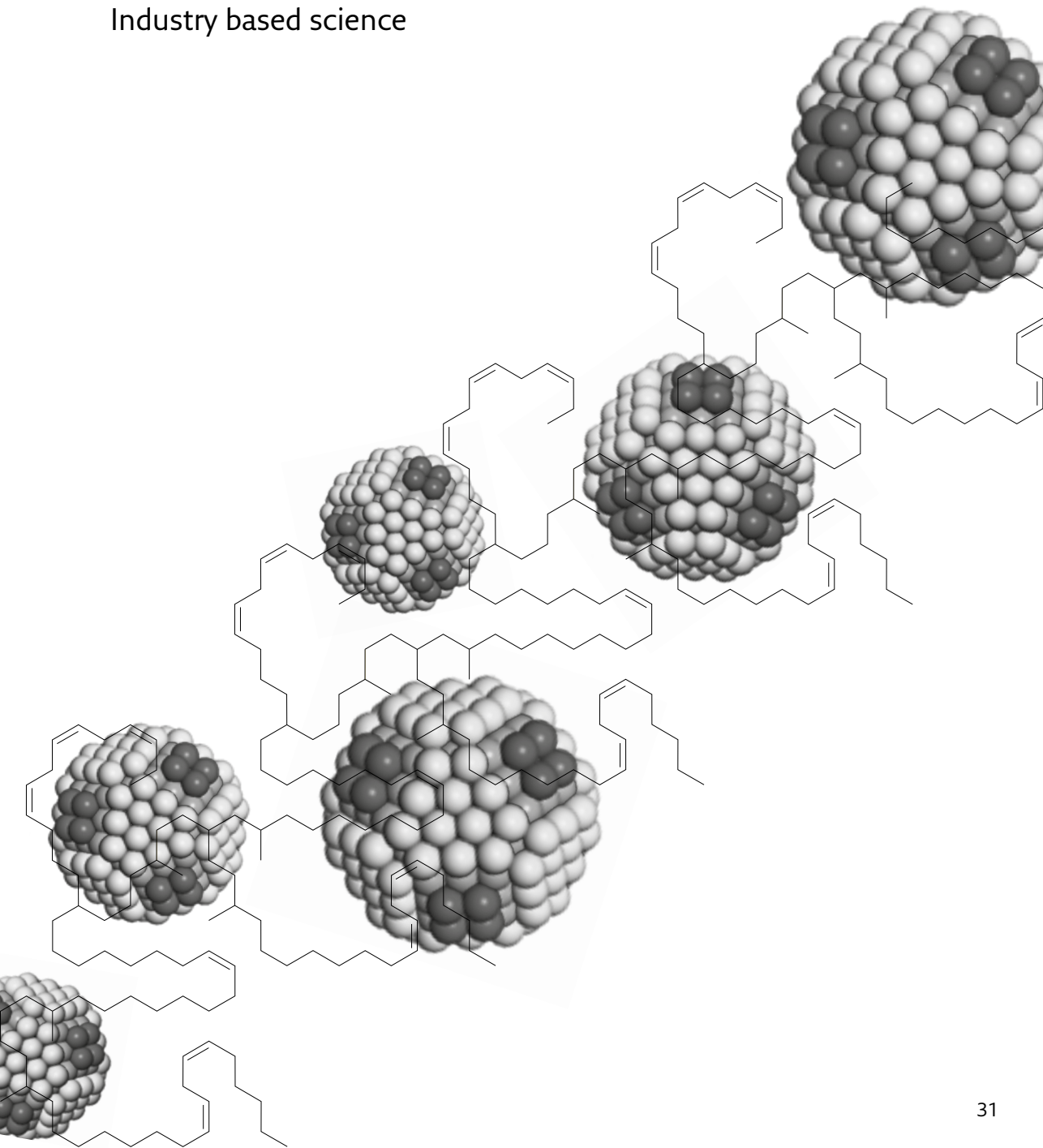
Een andere, veelgebruikte metafoor voor het innovatieproces stamt uit de evolutietheorie. Men spreekt dan van een zoektocht als een proces van variatie en selectie (Bijker, Pinch and Hughes 1987). Er is bij innovaties altijd sprake van een variëteit aan alternatieve technische (en niet-technische) oplossingen. Er vindt selectie plaats door actoren, ieder met hun eigen belangen, doelstellingen en keuzecriteria. De selectie-omgeving kent verder ook factoren, zoals het klimaat, de economische situatie en de politieke verhoudingen, die het selectieproces beïnvloeden, sommige opties stimuleren en andere tegenwerken. Nadat keuzes zijn gemaakt, begint een bepaald innovatiepad dominant te worden. In die fase neemt de keuzeruimte af, zijn er nog slechts 'cosmetische' verschillen tussen technische alternatieven en voltrekken de veranderingen zich 'incrementeel', d.w.z. stapje voor stapje. Radicale alternatieven liggen minder voor de hand omdat het pad als oogklep fungeert. Daartegenover staat dat op het pad een sterke expertise wordt opgebouwd. Men spreekt van padafhankelijkheid.

Het is in deze monografie niet de bedoeling om de dynamiek van het socio-technisch labrynt in alle opzichten te onderzoeken. We concentreren ons op de dynamiek in het onderzoek en de daarmee verbonden instituties met name de industriële en universitaire laboratoria. In het volgende hoofdstuk staat het onderzoeksprogramma naar de nikkelkatalysator van het Unilever laboratorium in Vlaardingena centraal. Dat onderzoek is de aanleiding voor een beschouwing over de vraag: wat is 'fundamenteel onderzoek'?



De katalysator Nikkel

Het onderzoek
Industry based science



De katalysator Nikkel⁴

Nr. 141 029. Dit nummer kreeg in Duitsland in 1902 een octrooi van Wilhelm Normann. Het zou een revolutie in de voeding teweegbrengen. Het octrooi beschreef een experiment, waarbij waterstof met grote kracht door een mengsel van vloeibare plantaardige olie en wat nikkelkatalysator werd geleid. Het resultaat was een vaste, vetachtige substantie. De vetharding, zoals het proces genoemd zou worden, was geboren. Zij vond toepassing bij de bereiding van zeep, maar vooral van margarine.

De uitdrukking 'op droog brood staan' geeft aan dat enkel en alleen brood een armzalig voedingsmiddel is. Brood krijgt extra smaak en voedingswaarde door een snee te bedekken met een vetachtig smeersel. Welgestelde burgers deden dat van oudsher met roomboter. De minder gefortuneerden moesten het echter doen met rundvet, reuzel, spek, stroop of met boter van dubieuze kwaliteit. In de tweede helft van de 19de eeuw was er een nieuw product bijgekomen, de kunstboter ofwel de margarine. De Fransman Mège-Mouriès bedacht in 1869 dat melkroom - de basis van boter - wellicht kon worden vervangen door een ander vet, bijvoorbeeld rundvet. Hij isoleerde uit rundvet een vetfractie die hij oleo-margarine noemde en daarmee wist hij een kunstboter - margarine - te vervaardigen. Lange tijd was margarine een mengsel van melk, water en bewerkt rundvet uit slachtafval en nog wat plantaardige kleurstof. Het leek op boter. Het had dezelfde

kleur en dezelfde smeerbaarheid. Het was ook goedkoper, maar kon qua smaak niet tippen aan de echte boter.

Toch steeg de margarineconsumptie aan het eind van de 19e eeuw snel, hetgeen een tekort aan rundvet veroorzaakte. Allerlei varianten en kwaliteiten verschenen op de markt. In de betere soorten was melk of boter bijgemengd, in de mindere soorten plantaardige oliën zoals sesamololie, grondnotenolie en katoenzaadolie, die niet duur waren en neutraal van smaak. De basis voor de productie bleef echter het bewerkte rundvet. Dat vet was bij tijd en wijle de achilleshiel van de margarine-industrie, omdat het aanbod en de prijs ervan kon fluctueren. De fabrikanten hadden geen uitwijkmogelijkheid naar een andere grondstof. In dat probleem voorzag het octrooi van Wilhelm Normann.

Plantaardige oliën zijn bij kamertemperatuur een vloeibaar vet en dienden tot de komst van het octrooi uitsluitend voor bijmenging. Het 'harden' verhoogde het smeltpunt van de olie, zodat een vast vet ontstond. Dat betekende een aanzienlijke uitbreiding van de grondstoffen voor margarine. Later bleek zelfs vetharding van visolie en walvistraan ook mogelijk. Fabrikanten kregen daarmee nog meer speelruimte op de grondstoffenmarkt.

Een vet bestaat hoofdzakelijk uit zogenaamde triglycerides, opgebouwd uit drie vetzuurgroepen verbonden aan een glycerolmolecuul.

⁴ Literatuur en bronnen bij dit hoofdstuk staan achter in het boek.

Om die vetzuurgroepen (bijvoorbeeld oliezuur, linolzuur en linoleenzuur) gaat het. Zij bestaan uit lange ketens van koolstofatomen, waaraan op de meeste koolstof twee waterstofatomen hangen. Op enkele plaatsen is dat niet het geval. Daar ontbreekt een waterstofatoom en gaat het koolstofatoom met het naastliggende koolstofatoom een extra, zogeheten onverzadigde, verbinding aan. Er kunnen op een of twee of zelfs meerdere plaatsen dubbele bindingen tussen koolstofatomen voorkomen. Dan is er sprake van onverzadigde vetzuren, die als triglycerides slecht stapelen, een laag smeltpunt hebben en daardoor bij kamertemperatuur vloeibaar zijn. Om een olie om te zetten in een vet is het de kunst om de dubbele bindingen open te breken en er twee waterstofatomen op koolstofatomen voor in de plaats te zetten. De vetzuren raken dan verzadigd, de stapeling van de triglycerides gaat dan beter en het smeltpunt wordt hoger. De opname van waterstof (*Hydrogenium* in het latijn) wordt hydrogenering genoemd en heeft vetharding tot gevolg. Hydrogenering verloopt onder normale omstandigheden uiterst langzaam. De nikkelkatalysator doet het proces versnellen.

Normann was chemicus en leidde op 31-jarige leeftijd het laboratorium van de *Maschinenfett und Ölfabrik Leprince & Siveke*, die door zijn oom was opgericht. Hij was op het idee van de vetharding gekomen door een artikel van de franse chemicus Paul Sabatier.

Deze ontdekte dat hydrogenering van een simpele koolwaterstofketen met een dubbele binding (bijvoorbeeld etheen) mogelijk was met nikkel als katalysator. Normann beseftte direct, dat er goed aan te verdienen viel als het proces ook werkte voor het harden van plantaardige oliën. Na zijn eerste, succesvolle experimenten had hij echter nog zo'n tien jaar nodig om zijn vinding verder uit te werken en op te schalen tot een industrieel proces. In 1910 stond er zowel een vethardingsinstallatie in Duitsland als een in Engeland en een in de Verenigde Staten.

Nu de vetharding industrieel kon worden toegepast, traden er andere problemen op. In Duitsland vond het nieuwe product aanvankelijk nauwelijks afzet. De margarine- en zeepindustrie zouden de belangrijkste afnemers moeten zijn, maar die vertrouwden het product niet. *Leprince & Siveke* gebruikte de eerste productie daarom maar als machinevet in de eigen fabriek. De meeste energie moest Normann echter steken in de verdediging van zijn octrooien. Die werden op alle fronten aangevallen. Uitvinders kwamen met alternatieve katalysatoren gebaseerd op bijvoorbeeld 'nikkelsuboxide', nikkeloxide en nikkelcarbonaat. Normann trachtte tevergeefs aan te tonen, dat de werking terug te voeren was tot het door hem geöctrooieerde principe. Een ander punt was de drager van het nikkel als katalysator. Bij de commerciële toepassing was dat kiezelguhr. Nikkel-op-kiezelguhr als

- Het octrooi beschreef een experiment, waarbij waterstof met grote kracht door een mengsel van vloeibare plantaardige olie en wat nikkelkatalysator werd geleid.

principe had Normann niet geoctrooieerd. Guhr als dragermateriaal was ook niet meer te octrooieren omdat dat al in 1878 was gebeurd. In Engeland verloor Normann zijn octrooistrijd, terwijl in Duitsland en in andere landen de situatie lange tijd onduidelijk bleef.

Voorafgaand aan de Tweede Wereldoorlog maakten oliehardingsfabrieken onderdeel uit van enorme fabriekscomplexen. De olieharding gebeurde in hardingsketels en was op zichzelf een eenvoudig proces. Daaromheen stonden imposante installaties voor onder andere de winning van olie uit zaden, vruchten en vissen, het zuiveren en reukloos maken van de olie, de bereiding van waterstof en de bereiding van de nikkelkatalysator.

In Nederland stonden in Zwijndrecht twee complexen: een voor de fabricage van zeep in Van den Bergh's 'Vereenigde Zeepfabrieken' en een voor de bereiding van margarine in Jurgens' Olie- en Veekoekenfabrieken. Van den Bergh en Jurgens waren van oorsprong boterhandelaren, maar hadden zich op de margarinefabricage gestort en waren sinds de 19de eeuw de grootste, Nederlandse producenten. In 1927 fuseerden beide ondernemingen tot de Margarine Unie, gevolgd door een fusie in 1929 met buitenlandse partners tot Unilever. Unilever was een internationale onderneming met onder meer plantages, handelsondernemingen, walvisvaarders, oliefabrieken, raffinaderijen, hardingsfabrieken, zeepfabrieken en margarinefabrieken. Als uitvloeisel van de fusies werden beide complexen in Zwijndrecht samengevoegd tot 'Vereenigde Oliefabrieken Zwijndrecht'.

Normanns uitvinding had een triomftocht gemaakt door Europa en de Verenigde Staten. Voor de Tweede Wereldoorlog stonden daar overal hardingsfabrieken. Het verhaal van de nikkelkatalysator lijkt daarmee ten einde te lopen. Dat ligt echter anders. Na de oorlog begon de katalysator aan een nieuw hoofdstuk.

Diverse onderzoeksteams gingen zich over het fenomeen buigen. De onderzoekers, die wij hier zullen volgen, werkten op het Unilever Research & Development Vlaardingen. Gedurende zo'n drie decennia waren zij bezig met de vetharding. Maar wat viel er voor Unilever nog te onderzoeken? Het principe was bekend en de toepassing had zich succesvol voltrokken. Waar waren er nog winsten te behalen?

Een belangrijke drijfveer was een economische. Waren katalysatoren goedkoper te produceren? Kon het proces efficiënter met minder katalysatorverbruik? Of kon het efficiënter bijvoorbeeld door de vetharding als een continue proces uit te voeren zoals in de petrochemische industrie gebruikelijk was? Vetharding vond nog steeds batch-gewijs plaats. Men vulde de hardingsketels met plantaardige olie, voegde de katalysator toe en leidde de waterstof er doorheen. Na de harding lag de productie stil. De katalysator werd uit het vet afgefilterd en hergebruikt; de geharde olie werd opgevangen en doorgeleid naar de volgende stap in de margarinefabricage. Een continue proces zou zeker een stuk efficiënter zijn.

Belangrijk voor het katalyse-onderzoek was verder, dat Unilever margarine maakte op

- Een belangrijke drijfveer was een economische. Waren katalysatoren goedkoper te produceren?

basis van wisselende grondstoffen afhankelijk van de prijzen op de wereldmarkt. De kwaliteit en smaak van de margarine moest echter hetzelfde blijven. Op welke wijze diende het katalysatorgebruik aangepast te worden om deze variaties in grondstoffen te realiseren? Naast economie waren er nog twee belangrijke drijfveren, namelijk de consument en de gezondheid. Unilever wilde regelmatig met nieuwe margarineproducten komen en de smaak en kwaliteit van haar margarines verbeteren. Kwaliteit omvatte vele facetten.

Een belangrijk facet hield verband met gezondheidsvraagstukken. Voor de oorlog hoefde Unilever zich alleen druk te maken over de smaak van de margarine, na de oorlog was gedetailleerde kennis noodzakelijk over het verband tussen vetzuren en hart- en vaatziekten. Was geharde olie wel goed voor de gezondheid? In de Verenigde Staten was indertijd daarover gerede twijfel gerezen.

Lange tijd werden vetten beschouwd als louter calorierijke energieleveranciers. Uit onderzoek in de jaren dertig was daarnaast gebleken, dat bepaalde bestanddelen van de vetten onmisbaar waren voor het lichaam. De mens kon specifieke vetzuren niet zelf aanmaken (synthetiseren). Linolzuur was z'n vetzuur en werd dan ook een 'essentieel vetzuur' genoemd. Daarnaast waren er aanwijzingen gekomen, dat geharde vetten de groei van organismen zouden kunnen vertragen. Een mogelijke oorzaak was de omzetting van de dubbele bindingen in de koolstofketens naar enkelvoudige verbindingen ofwel de omzetting van onverzadigde in verzadigde vetzuren. Na de oorlog doemde nog een ander thema op. De nikkelkatalysator bleek ook de ruimtelijke structuur van de waterstofatomen van de resterende dubbele bindingen te beïnvloeden. Natuurlijke oliën hadden de zoge-

naamde cis-structuur en onvolledig geharde vetten - waar een onverzadigde binding intact was gebleven - voor een deel de trans-structuur. Unilever moest op de gezondheidsaspecten uitermate alert zijn, want de concurrentie - speciaal de zuivelindustrie - gebruikte iedere gelegenheid om de margarine een slecht imago te bezorgen als zijnde 'onnatuurlijk' en bijgevolg 'ongezond'.

Unilever kende in Nederland voor de oorlog reeds enkele laboratoria. Die waren echter vooral bestemd voor de kwaliteitscontrole. Soms vond er ook onderzoek en ontwikkeling plaats, maar zekere niet op grote schaal. Direct na de oorlog begon Unilever met een breed opgezette onderzoeksgroep, die aanvankelijk onderdak vond in Zwijndrecht, maar daar al snel uit zijn jasje groeide. In 1954 opende de multinational een gloednieuw laboratorium in Vlaardingen. De research-directie was van mening dat research het best gedijde wanneer zij op afstand stond van productie, dus van de business. In dit geval werd dat letterlijk opgevat en bouwde Unilever het nieuwe lab in Vlaardingen op afstand van de margarinefabrieken. In de jaren daarna groeide het uit tot een omvangrijk complex met meerdere vleugels en een proeffabriek. In dat gloednieuwe gebouw ging ook een jonge generatie chemici aan de slag. En wat van groot belang was, die jonge generatie kreeg de beschikking over een nieuwe generatie instrumenten. Het kan niet anders zijn, dan dat in Vlaardingen een jeugdig enthousiasme aanwezig was en een opgewonden stemming over de onderzoeksmogelijkheden.

Op het gebied van het onderzoek naar nikkelkatalysatoren zetten in de jaren vijftig en zestig twee jonge chemici de toon: Jacques Coenen en Hans Linsen. Beiden studeerden

scheikundige technologie aan de Technische Hogeschool Delft (nu: Technische Universiteit), beiden deden een promotie-onderzoek naar de nikkelkatalysator aan deze universiteit en beiden deden daar onderzoek, terwijl zij in dienst waren van Unilever. Coenen was 35 jaar bij zijn promotie in 1958 en Linsen 34 jaar toen hij in 1964 promoveerde. Coenen was drie decennia leider van de katalysegroep, die aan het einde van de jaren zestig uit zo'n tien academici bestond. Voorts werd hij buitengewoon hoogleraar aan de Katholieke Universiteit Nijmegen. Linsen zou één van de drie sectieleiders worden en zijn carrière in 1974 elders binnen Unilever voortzetten.

In zijn promotie-onderzoek introduceerde onderzoeksleider Coenen diverse nieuwe, instrumentele technieken, die later in de katalyse groep tot de standaard gingen behoren. Hij paste onder andere röntgendiffractie toe. Dat was een al langer bestaande techniek uit het begin van de 20ste eeuw, waarmee de ruimtelijke structuur van een kristallijn materiaal zoals de nikkelkatalysator bepaald kon worden. Dergelijke structuurbepalingen deed hij ook met een instrument dat in de jaren veertig erg modern was: de elektronenmicroscop. Recent was ook de zogenaamde BET-methode uit de V.S. overgewaaid, een acroniem voor de Amerikaanse uitvinders Brunauer, Emmett en Teller. Het ging hier om de fysische adsorptie, waarmee Coenen het totale katalysatoroppervlak van nikkel op (meestal) kiezelguhr, bepaalde. Voor de *chemische* adsorptie, waarmee het oppervlak van katalytisch actief nikkel werd bepaald, ontwikkelde Coenen een eigen methode.

Coenen gebruikte in zijn experimenten zuivere sesamololie, dat hoofdzakelijk bestond uit triglycerides van linolzuur en oliezuur, en

nauwelijks zwavelverbindingen bevatte. Tegelijkertijd experimenteerde hij met walvisolie, een zwavelhoudende spijsolie, om de invloed te onderzoeken van zwavelverbindingen (die in natuurlijke oliën regelmatig voorkwamen) op het 'vergiftigen' van de nikkelkatalysator en daarmee op het verstoren van de vetharding.

Linsen experimenteerde eveneens met sesamololie als een modelsubstraat. Ook hij deed adsorptie-metingen onder andere met de BET-techniek. Terwijl Coenen vooral geïnteresseerd was in het nikkelmetaal, ging het Linsen vooral om de textuur van de nikkelkatalysator. Het kiezelguhr, dat als drager van het nikkel diende, was opgebouwd uit poriën van verschillende afmetingen. In die poriën vond de katalytische reactie van vetzuur met waterstof op het nikkel plaats. Door de nikkelkatalysator op uiteenlopende wijzen te bereiden kon de verdeling van de poriënwijdtes gevarieerd worden. In zijn promotie-onderzoek beschreef hij dat die verschillen van grote invloed waren op de activiteit en de specificiteit van het katalytisch proces. Een katalysator met poriën kleiner dan 25 Ångstrom (10^{-10} meter) leverde een slechte prestatie, terwijl die met grotere poriën actiever én selectiever was. De geavanceerde instrumenten werden dus gebruikt voor het optimaliseren van de oliehardingsprocessen.

Selectiviteit was een belangrijk aspect van de vetharding geworden. De vetzuursamenstelling van de margarine hing hiervan mede af en de uiteenlopende typen vetzuren waren onderdeel van een debat over de volksgezondheid geworden. Linolzuur was gewenst in de margarine, maar men vermoedde, bijvoorbeeld, dat verzadigd stearinezuur en onverzadigde transvetzuren minder of niet gewenst waren. Om het verloop van de vetzuursamenstelling

tijdens het hardingsproces te volgen deed de katalysegroep in Vlaardingen zijn eerste experimenten met sesamolie als prototype. Voortbouwend op de onderzoeken van Coenen en Linsen, konden de onderzoekers in 1960 vaststellen, dat het percentage linolzuur gedurende het hardingsproces daalde en het percentage oliezuur steeg om vervolgens ook af te nemen en omgezet te worden in stearinezuur. Uiteindelijk zou de geharde sesamolie bijna volledig komen te bestaan uit verzadigd stearinezuur. Uit het onderzoek bleek ook dat transvetzuren werden gevormd uit dubbele koolstof-koolstofbanden, die zich eerder in de cis-vorm bevonden. Alle transvetzuur verdween wanneer de olie volledig was gehard en geen dubbele banden meer bevat.

Coenen en Linsen experimenteerden niet voor niks met zuivere sesamolie. Het onderzoek naar de vetharding kende een complicatie. Oliën en geharde vetten waren ingewikkelde mengsels. Zij bestonden uit een groot aantal verschillende triglycerides met een bonte verscheidenheid aan vetzuren, terwijl de structuur van de geharde producten door de bonte mengeling van reacties nog ingewikkelder was wanneer de hydrogenering voortijdig werd gestopt. Hoe moest de onderzoeker op deze mengelmoes greep krijgen?

Een moeilijkheid was ook, dat de onderzoeker bij vetharding te maken had met drie fasen: de vaste nikkelkatalysator, de vloeibare oliën en het gasvormige waterstof. Hoe voltrok het katalytisch proces zich in een dergelijk gecompliceerd driefasensysteem? Met sesamolie vereenvoudigden de onderzoekers het onderzoek naar de vetharding.

Om de complexe structuur van de natuurlijke oliën in de verschillende stadia van de harding vast te stellen zette Vlaardingen in op nieuw instrumentarium. Met infrarood-

spectroscopie, ontwikkeld in de jaren veertig, was het mogelijk om transvetten op te sporen. De gaschromatograaf uit dezelfde periode was een fantastisch instrument om de verschillende triglycerides van olie en vet te identificeren. Een speciale chromatograaf uit 1962 maakte het mogelijk om de triglycerides te scheiden op basis van dubbele bindingen die zich in een onderscheiden ruimtelijke structuur bevonden: de genoemde cis- en transstructuren. Met al deze instrumenten lukte het om meer greep te krijgen op de mengelmoes, waaruit de oliën en vetten bestonden, resulterend in een redelijk goed gedefinieerd eindproduct.

Met deze experimenten kwam een geheel veld van onderzoek open te liggen. Onderzoekers bestudeerden de vetharding van natuurlijke oliën onder verschillende condities en bepaalden de veranderende vetzuursamenstelling tijdens het proces. Variabelen in de experimenten waren onder meer het type nikkelkatalysator, de roersnelheid en de temperatuur van de olie tijdens het hardingsproces. De katalyse groep deed niet het organisch en biochemisch onderzoek naar gewenste, minder gewenste en ongewenste vetzuren - dat werd door andere afdelingen gedaan - maar kon voor de oliën een gewenste selectiviteit koppelen aan de juiste type katalysator en het hardingsprocédé.

Dat het gezondheidsvraagstuk een belangrijk aspect van het katalyse-onderzoek was, bleek ook uit de inspanningen van Unilever Research om een geheel nieuwe katalysator te vinden. Koper in plaats van nikkel als katalytisch metaal leek goede perspectieven te bieden. De katalysator bevorderde de harding van het ongewenste linoleenzuur ten faveure van het gewenste linolzuur. Naast dit gewenste eindproduct kwam er nog een tweede voordeel bij.

Linoleenzuur was de oorzaak van een nare geur, die ontstond bij de vetharding met de nikkelkatalysator. Helaas was een katalysator op basis van koper aanzienlijk duurder dan een nikkelkatalysator. Wellicht belangrijker was het punt dat de toepassing van koper tot ongewenste oxidatieprocessen kon leiden. De directeur van de fabrieken in Zwijndrecht wilde onder geen beding koper in zijn productieprocessen.

Hoewel de katalysegroep ambieerde om daadwerkelijk aan de basis te staan van innovaties, was dat nog niet eenvoudig, zoals uit het onderzoek naar de koperkatalysator bleek. Ook een ander thema, waaraan jarenlang was gewerkt, leidde slechts tot een gedeeltelijke innovatie. Dit was het onderzoek om de vetharding te transformeren van een batchgewijs proces in een continuproces. Binnen de petrochemie waren nagenoeg alle batchgewijze processen voor de Tweede Wereldoorlog vervangen door continue processen. Dat had tot een enorme efficiency-winst geleid. Was eenzelfde ommekeer mogelijk bij de industriële verwerking van eetbare oliën? In de petrochemie was de belangrijkste bottle-neck geweest het behoud van de kwaliteit van de katalysator. Dat bleek ook het geval te zijn voor de nikkelkatalysator in de vetharding. Deze was erg gevoelig voor verontreinigingen en moest regelmatig worden opgewerkt. Binnen de petrochemie was men erin geslaagd een dergelijk regeneratie op continue wijze uit te voeren. 'Vlaardingen' lukte het niet echt om een acceptabel ontwerp te ontwikkelen.

Een ander onderzoeksthema was het zoeken naar een beter dragermateriaal voor nikkel. Guhr was het gangbare materiaal. Als natuurproduct vertoonde dat grote variaties in de structuur hetgeen onzekerheid meebracht

over de prestaties van de katalysator. Met alternatieve materialen, zoals silica-waterglass, was een betere beheersing van de poriënstructuur mogelijk. Guhr bleef echter lange tijd toch om diverse redenen superieur.

Er waren zeker ook successen onder andere bij het bereiden van de nikkelkatalysator. Dat terrein was in de jaren vijftig en zestig verwaarloosd, maar kreeg in de jaren daarna veel aandacht. Aan het begin van de jaren tachtig bereikten onderzoekers een doorbraak in de *fine-tuning* van het bereiden van de drager en het neerslaan van de nikkel, de zogenaamde Flash-precipitatie. Het proces resulteerde in nikkelkatalysatoren met een sterke activiteit, een prima selectiviteit en een goede filterbaarheid. De nieuwe werkwijze bood ook de mogelijkheid om alternatieve dragermaterialen zoals alumina te gebruiken. Dat leverde op termijn een succesvolle serie nieuwe katalysatoren op. In de jaren tachtig werden deze innovatieve methoden voor katalysatorbereiding bovendien als *continu* proces uitgevoerd. Het succes leidde tot het commercieel verkopen van katalysatoren door de divisie Chemicals van Unilever.

Inmiddels was de vetharding met metaalkatalysatoren via hydrogenering (d.w.z. door het toevoegen van waterstof) langzaam naar de achtergrond gedrongen. De werkwijze oogde nogal chemisch industrieel en die bedrijfstak stond vanaf de jaren 1970 in een slecht daglicht. De voedingsindustrie zocht naar milieuvriendelijker methoden. Vethydrogenering werd meer en meer vervangen door omestering.

Bij omestering worden de vetzuren herverdeeld over de triglycerides in de olie. De vetzuurketens van de triglycerides worden tijdens het proces 'losgeknipt' van de glycerol-

moleculen en hechten zich vervolgens in een andere verdeling weer aan de glycerolmoleculen. Hierdoor veranderen de fysische en functionele eigenschappen van de olie. Zo kunnen stevigheid en smeltgedrag verbeterd worden door verplaatsen van vetzuur, terwijl de *overall vetzuursamenstelling* hetzelfde blijft. Evenals bij hydrogenering vereist omestering een katalysator, maar wel van een geheel ander type.

Omestering nam in belang toe, omdat zij zeer geschikt was om palmolie vaster te maken en dat type olie werd steeds belangrijker op de wereldmarkt. Met omestering werd een goede kwaliteit margarine bereikt. Ook had omestering een beter imago: het komt 'natuurlijker' over. Dat was met name het geval als de omestering plaatsvond met een enzym als katalysator. Enzymen spelen als katalysatoren in levende organismen een rol bij de spijsvertering en andere lichaamsprocessen.

Vetharding door hydrogenering verdween uiteindelijk bij de productie van margarine bij Unilever. Ook stootte Unilever de bereiding van de nikkelkatalysator af. Een onderzoeksprogramma in Vlaardingen van enkele decennia liep daarmee in de jaren tachtig ten einde. Wat had dat programma opgebracht?

Was het rendement van het hardingsproces verbeterd, bijvoorbeeld in termen van katalysatorverbruik? Dat is inderdaad het geval, maar het resultaat lijkt minder indrukwekkend dan in de petrochemische industrie. In 1950 werd op een ton olie 0,4 à 0,5 kg nikkelkatalysator verbruikt. Dat was in 1980 0,3 à 0,4 kg.

De belangrijkste winst was echter geboekt in de periode vòòr de oprichting van Vlaardingen. Het verbruik had rond 1920 op zo'n 0,8 à 0,9 kg nikkelkatalysator per ton olie gelegen.

De opbrengst van het onderzoek in Vlaardingen was in essentie het ontwikkelen van kennis en het bijdragen aan kleine verbeteringen (ofwel aan incrementele innovaties). Het katalyse-onderzoek voor vetharding en later omestering was ingebed in een infrastructuur van nieuwe meetinstrumenten en apparaten waarmee katalysatoren geanalyseerd en geoptimaliseerd konden worden. Die kennis droeg bij aan de kerncompetentie van Unilever, namelijk het maken van een goede kwaliteit margarine op een economisch verantwoorde wijze. Unilever kocht op een steeds veranderende grondstoffenmarkt zo goedkoop mogelijk de grondstoffen voor de margarine in. Het bedrijf moest echter tevens eenzelfde kwaliteit margarine garanderen. Daarin lag de kracht van het bedrijf. Na de oorlog waren sojabonen en koolzaden nieuwe en snel opkomende grondstoffen. Dat vereiste iedere keer aanpassingen van het fabricageproces, waaronder de vetharding en daarvoor was onderzoek nodig.

Aanpassingen konden ook om andere redenen nodig zijn, bijvoorbeeld door de toename van het gebruik van koelkasten na het midden van de jaren vijftig. Margarine moest smeerbaar blijven als het koud werd bewaard. Door het manipuleren van specifieke omstandigheden als temperatuur, waterstofdruk en concentraties van voor de vetharding benodigde katalysator, kon Unilever margarines maken met uiteenlopende fysische en chemische

– Vlaardingen stond bekend als de 'universiteit' van Unilever.

eigenschappen: verschillende verhoudingen van onverzadigde en verzadigde vetzuren, een hoger of lager smeltpunt, meer of minder smeerbaar, et cetera. 'Selectieve harding' was dan ook een belangrijk expertiseveld.

Kwaliteitsverbetering van de margarine was een oogmerk van het onderzoek. Zo hadden de geharde producten aanvankelijk nogal eens penetrante hardingsgeuren, die met de bekende raffinagetechnieken niet waren weg te werken. De katalyse groep in Vlaardingen kreeg greep op dit probleem. Unilever kwam ook regelmatig met nieuwe margarineproducten, zoals 'Becel' in de jaren zestig, een dieetmargarine. De katalyse groep hielp bij het opstellen van de specificaties en de protocollen van het fabricageproces.

Voeding in relatie tot gezondheid was een uiterst belangrijk thema voor Unilever. Als voedingsmiddelenconcern moest zij in dit verband een solide imago hebben. Dat bracht met zich mee dat Unilever Research nog een ander doel diende. Zij moest bijdragen aan de betrouwbare wetenschappelijke reputatie van Unilever. Het onderzoek diende als hoogwaardig bekend te staan. De onderzoekers moesten aan de hoogste internationale eisen voldoen. Zij moesten publiceren in de beste wetenschappelijke tijdschriften en uitgenodigd worden als *key note speakers* op vooraanstaande conferenties. De wetenschappelijke kwaliteiten van het katalyse-onderzoek en de katalyse groep bleken voor Unilever even belangrijk te zijn als het optimaliseren van een katalysator.

Vlaardingen stond bekend als de 'universiteit' van Unilever. Dat hield in de jaren vijftig en zestig een positieve kwalificatie in. Er werd met bewondering gesproken over de knappe koppen die het laboratorium bevolkten. De

toekomst van Unilever lag in hun handen. Naast toegepast onderzoek deden zij fundamenteel onderzoek, dat de basis vormde voor innovaties op lange termijn en voor de continuïteit van de onderneming. In de jaren zeventig begon het tij te keren en kreeg de kwalificatie 'universiteit' ook een negatieve klank. 'Vlaardingen' was duur. Wat leverde dat dure onderzoek eigenlijk op? Sindsdien is de waarde van het zogenaamde fundamenteel onderzoek binnen de (chemische) industrie ter discussie blijven staan. Opmerkelijk genoeg niet alleen binnen de industrie, maar zelfs ook aan de universiteiten en publieke onderzoeksinstituten. In hoeverre moet een onderneming of een samenleving in fundamenteel onderzoek investeren? Welke functies vervult het fundamenteel onderzoek? Wat mag men verwachten, of eisen, aan opbrengsten op lange termijn en, niet in de laatste plaats, op de korte termijn?

Het probleem is, dat er allerlei mythes bestaan over fundamenteel onderzoek. Een invloedrijke mythe is afkomstig van de Amerikaan Vannevar Bush. Diens opvatting over fundamenteel onderzoek vond na de Tweede Wereldoorlog een snelle verspreiding in de Westerse wereld, waaronder Nederland, en zou tot op de dag van vandaag de discussie blijven beïnvloeden. We zullen in het volgende hoofdstuk de opvattingen van Bush becommentariëren en gebruiken daarbij ons onderzoek naar katalyse.

Het onderzoek

Industry based science

‘Wetenschappelijke vooruitgang is essentieel. Vooruitgang in de strijd tegen de ziekte hangt af van een stroom van nieuwe wetenschappelijke kennis. Nieuwe producten, nieuwe industrieën en meer banen vereisen continue ontwikkeling van kennis van de wetten van de natuur, en de toepassing van die kennis voor praktische doeleinden. Ook onze verdediging tegen agressie vraagt om nieuwe kennis, zodat we nieuwe en verbeterde wapens kunnen ontwikkelen. Deze onontbeerlijke, nieuwe kennis kan uitsluitend worden verkregen door middel van fundamenteel wetenschappelijk onderzoek’, met deze woorden opende Vannevar Bush zijn beroemde rapport *Science The Endless Frontier*, dat hij in 1944 in opdracht schreef van de Amerikaanse president, Franklin D. Roosevelt.

Bush, van oorsprong een werktuigbouwkundig ingenieur, was een zwaar-gewicht in Washington. Hij was directeur van het *Office of Scientific Research and Development*, het bureau dat het militaire onderzoek coördineerde, waaronder ook de ontwikkeling van de atoombom, het Manhattan Project. Het rapport zou tot ver buiten de Verenigde Staten invloed hebben. Alleen al de titel was magistraal gekozen. Het was een verwijzing naar de grote trek naar het Westen, het oprukken van de Amerikaanse pioniers in de 19de eeuw, de verovering van het continent. Uiteindelijk waren de Amerikanen gestuit op natuurlijke grenzen en hadden zij daarbinnen hun samenleving opgebouwd. Nu was er een nieuwe uitdaging voor de Amerikanen, maar dat zou een uitdaging zijn, die géén grenzen kende: de wetenschap.

In het rapport vinden wij de mythe van het fundamenteel onderzoek in volle glorie terug. Zij was in Amerika reeds verbeeld bij de wereldtentoonstelling in Chicago in 1933. Centraal in het complex stond de ‘Hall of Science’ en de slogan van de tentoonstelling luidde ‘Science finds. Industry applies. Man conforms.’ Dit lineaire denken leek in de Tweede Wereldoorlog bevestigd te zijn met de ontwikkeling van de atoombom, de radar en andere, geavanceerde militaire technologie.

In Nederland raakte het rapport van Bush spoedig bekend. Directeur van het Natuurkundig Laboratorium (Nat.Lab.) van Philips, Gilles Holst, verwees er in zijn *key-note speech* op een congres over onderzoek in industrie en landbouw in 1947 uitdrukkelijk naar (Homburg 2003). Multinationals zoals BPM (tegenwoordig Shell), DSM en Unilever breidden hun onderzoeksinspanningen in snel tempo uit (tabel 1). Ook overheidskringen omarmden de visie van Bush. De Nederlandse regering besloot direct na de oorlog - ondanks de schaarste - fondsen vrij te maken voor onderzoek (Lintsen en Velzing 2012). Een nieuwe organisatie, de

Nederlandse Organisatie voor *Zuiver*-Wetenschappelijk Onderzoek (ZWO, tegenwoordig NWO) werd in 1950 opgericht [cursivering-auteurs]. In het algemeen stegen de investeringen in onderwijs, onderzoek en ontwikkeling van circa 3% van het Bruto Binnenlands Product in 1950 naar meer dan 8% in 1975.

Tabel 1: De personele omvang van de zes grootste industriële researchlaboratoria, 1950-1970

Laboratorium	1950	1955	1960	1970
Koninklijke Shell Laboratorium Amsterdam (KSLA)	1640	1800	2173	2000
Philips NatLab	900	1250	1600	2200
AKU (inclusief proeffabriek)	530	925	1075	1500
Centraal Laboratorium DSM	420	630	780	1200
Unilever Research Zwijndrecht/ Vlaardingen/Duiven	50	175	500	1350

Bron: E. Homburg, *Speuren op de tast. Een historische kijk op industriële en universitaire research* (Intreerede Maastricht 2003) 40

Onderzoek op de universiteiten, onderzoeksinstituten en industriële laboratoria werd al langer verricht (zie het hoofdstuk ‘Wat eraan vooraf ging’). Wat was nieuw in de visie van Bush? Bush legde de nadruk op een speciaal type onderzoek, namelijk het ‘fundamenteel onderzoek’. Dit type onderzoek zou de uiteindelijke bron van welvaart en macht worden. Een land, dat het fundamenteel onderzoek zou verwaarlozen, zou hopeloos achter te komen liggen, de economische concurrentieslag missen en geen militaire rol van betekenis spelen. Wat waren de kenmerken van het fundamenteel onderzoek? Bush noemde er drie.

Allereerst was er een cruciale rol weggelegd voor de universiteiten en academische onderzoeksinstituten. Zij waren de leveranciers van wetenschappelijk talent en fundamentele kennis. Op de tweede plaats ging het om de vrijheid van de onderzoeker. De onderzoekers moesten geheel vrij worden gelaten in de keuze van hun onderzoeksthema’s. Zij moesten zich optimaal kunnen ontplooiën en waren op deze wijze optimaal gemotiveerd. Dat was de beste garantie voor hoogstaand onderzoek. Op de derde plaats stond in fundamenteel onderzoek de waarheidsvinding centraal. De focus moest niet de toepassing of het profijt zijn, maar het zoeken naar de fundamentele wetmatigheden in de natuur.

Het geloof in het fundamenteel onderzoek en de wetenschappelijke vooruitgang was zelden zo extreem geformuleerd als door Bush. Tot op de dag van vandaag speelt een dergelijke articulering een rol in de discussies over het wetenschaps- en technologiebeleid. In hoeverre is de rol van universiteiten en onderzoeksinstituten cruciaal? Moeten zij een vrijplaats zijn voor fundamenteel onderzoek of zich engageren met economie en maatschappij? Moeten onderzoekers vrij worden gelaten of zich onderwerpen aan toepassing en nut? In welke mate moet geïnvesteerd worden in waarheidsvinding of in toegepast onderzoek? Aan het einde van deze monografie komen wij op deze kwesties terug. Hier is de vraag: Wat leert ons de ontwikkeling van de katalyse over de verschillende kenmerken van fundamenteel onderzoek?

Allereerst de vraag: vervulden universiteiten en onderzoeksinstituten in de ontwikkeling van katalyse een belangrijke rol? Die vraag lijkt positief beantwoord te kunnen worden. In de historische schets aan het begin van het boek passeerde een reeks academische onderzoekers de revue: de Franse hoogleraar, Sabatier, die aan het einde van de 19de eeuw met een katalysator onverzadigde in verzadigde koolwaterstof omzette; de Duitse onderzoekers Franz Fischer en Hans Tropsch, die met een katalytisch proces benzine via synthesesgas uit steenkool wonnen, en de Duitse hoogleraar Fritz Haber, die met een katalysator ammoniak won. Hun academisch onderzoek leidde voor de Tweede Wereldoorlog tot belangrijke innovaties.

Ook lijkt een positieve rol te zijn weggelegd voor de Nederlandse universiteiten in de katalyse na 1945. Coenen en Linsen, die beiden het katalytisch onderzoek bij Unilever vorm gaven, waren beiden opgeleid en gepromoveerd aan de Technische Hogeschool Delft. In beide gevallen was de hoogleraar katalyse, J.H. de Boer, hun promotor. Kouwenhoven, die met zijn onderzoek bij Shell een doorbraak forceerde in het zoeken naar loodvrije benzine, was in Leiden gepromoveerd bij prof. Van Arkel. Van Arkel had samen met De Boer een belangrijke, theoretische bijdrage geleverd aan het - voor de katalyse - relevante vakgebied van de fysische en anorganische chemie.

Bij nadere beschouwing ligt de situatie echter anders. Het was niet de universiteit, maar de industrie, die de impuls gaf tot de opkomst van de katalyse in Nederland. Typierend voor De Boer was, dat hij de eerste hoogleraar in Nederland in de katalyse was (Scholten 2004). Tot zijn benoeming in 1946 vond er nauwelijks katalytisch onderzoek aan de universiteiten plaats. Typierend was

– Moeten onderzoekers vrij worden gelaten of zich onderwerpen aan toepassing en nut?

ook de sterke, industriële oriëntatie van De Boer. Hij had jarenlang gewerkt op het Nat.Lab. van Philips. In Delft had hij als hoogleraar slechts een deeltijdaanstelling. Hij was daarnaast onder andere adviseur voor de research bij DSM en Unilever. De onderzoekers bij De Boer werden gefinancierd door de industrie of stonden op de loonlijst van bedrijven zoals Unilever. Op deze wijze slaagde hij erin om een grote en productieve onderzoeksgroep op te bouwen. Iets soortgelijks gold ook Van Arkel. Deze was eveneens afkomstig van het Nat.Lab., onderhield nauwe contacten met de industrie en verzamelde een enthousiaste groep leerlingen om zich heen.

Het zwaartepunt van het katalytisch onderzoek in Nederland lag in de eerste decennia na de Tweede Wereldoorlog in de industrie. Het waren met name Shell, Unilever en DSM die de katalyse met onderzoeksgroepen van de grond tilden. Het was ook het bedrijfsleven, die de mensen en de financiën leverden voor de opbouw van het vakgebied aan de universiteiten. De constatering van Bush, dat universiteiten en academische onderzoeksinstituten een voortrekkers rol speelden of zouden moeten spelen, ging in ieder geval niet op voor de katalyse in Nederland tot circa 1970. Trouwens ook niet voor chemische disciplines zoals vaste-stofchemie, procestechnologie en polymeertechnologie (Homburg en Palm 2004; Davids e.a. 2014). De universiteiten bezaten nauwelijks kennis op deze gebieden, terwijl de behoefte aan kennis van de snel uitdijende, chemische industrie enorm was. Zelfs op gebieden, waarin academisch Nederland van oudsher sterk was, bijvoorbeeld de fysisch-organische chemie, kreeg krachtige impulsen vanuit de industrie. De kennisstroom ging lange tijd in hoofdzaak van de industrie naar de universiteit en niet andersom. Men sprak graag over de chemische industrie als een *science based industry*. Er was in deze periode eerder sprake van een *industry based science*.

Hoe stond het met het tweede kenmerk van fundamenteel onderzoek? Voor Bush was de vrijheid van onderzoek een basisprincipe van het wetenschapsbeleid. Onderzoekers moesten onbelemmerd studie kunnen doen naar de natuur. Zij moesten zich louter laten leiden door hun nieuwsgierigheid, hun interesses en hun verbeelding. Genoten katalytisch onderzoekers veel vrijheid? Dat was ongetwijfeld het geval. Onderzoekers aan universiteiten, academische onderzoeksinstituten en industriële researchlaboratoria hadden een grote mate van autonomie. Zij organiseerden hun onderzoeksprogramma naar eigen inzichten, maakten hun eigen planning en richtten hun dagelijkse activiteiten zelf in. In het katalytisch onderzoek was dat niet anders. Er waren wel enkele nuanceringen.

In de industrie kon de autonomie van de onderzoekers variëren. Zo werd op het Koninklijk Shell Laboratorium Amsterdam (KSLA) op twee afdelingen katalyse-onderzoek gedaan, namelijk bij General Research en bij Oil Research. De onderzoekers bij General Research waren relatief vrij in het kiezen van hun

onderzoeksthema's, terwijl die bij Oil Research veel van hun thema's kregen aangereikt vanuit het 'Centraal Kantoor' in 'Den Haag'. Bij General Research was een sterke 'academische' cultuur aanwezig. De oriëntatie op de wetenschappelijke gemeenschap was gewenst. Het publiceren in wetenschappelijke tijdschriften werd gestimuleerd, evenals het bezoeken van congressen en het organiseren van colloquia. Dat was bij Oil research veel minder het geval.

In het algemeen stemden op industriële laboratoria programma- en projectleiders het onderzoek op subtiële wijze af op de doelstellingen van de onderneming (Davids, Lintsen, Van Rooij, 2014). De onderzoekers maakten doorgaans deel uit van twee soorten netwerken, die van het wetenschappelijk onderzoek én die van de onderneming met zijn ontwikkelingslaboratoria, ingenieursbureaus en fabrieken. Zij lieten zich leiden door nieuwsgierigheid en de wetenschappelijke uitdagingen, tegelijkertijd waren zij zich bewust van de praktische relevantie van hun onderzoek en lieten zich inspireren door mogelijk nut.

Wat had het 'academisch' karakter voor gevolgen voor het derde kenmerk van het fundamenteel onderzoek? Leidde de vrijheid van onderzoek tot een zuivere speurtocht naar het onbekende zonder afgeleid te worden door mogelijke toepassingen? Voor Bush was de kern van de grenzeloze wetenschap de gerichtheid op het vinden van de waarheid, het ontrafelen van de geheime van de natuur, het opsporen van de natuurlijke wetmatigheden. Niet de toepassing en het nut moesten het motief van de onderzoeker zijn, maar de nieuwsgierigheid en de waarheidsvinding. De wetenschap zou op deze wijze de onbeperkte mogelijkheden scheppen voor technologie, economie en maatschappij. Stond de waarheidsvinding in het katalytisch onderzoek centraal?

In algemene zin was dat niet te ontkennen. Coenen, Linsen en de andere onderzoekers doken vol enthousiasme op de nieuwe analysemethoden in het katalyse-onderzoek die zich in de naoorlogse periode aandienden. Zij produceerden een vloedgolf aan nieuwe kennis, getuige de wetenschappelijke publicaties en rapporten. Fundamentele wetmatigheden zoals in de fysica leverden het katalyse-onderzoek niet op. De essentie was het ontwikkelen van analysemethodes en instrumentarium om daarmee katalysatoren en katalytische processen te karakteriseren. Toch voldeed het onderzoek niet aan het ideaalbeeld van Bush. De onderzoekers werden niet alleen gedreven door nieuwsgierigheid of waarheidsvinding. Het was slechts een kant van dezelfde medaille. Zij waren zich evenzeer bewust van de economische en maatschappelijke uitdaging. Coenen en Linsen kenden wel degelijk de economische en gezondheidsproblematiek van de vetharding en de margarine.

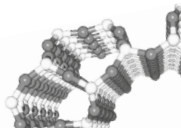
De fundamentele benadering en de waarheidsvinding sloten een praktische oriëntatie en een gerichtheid op economisch profijt en maatschappelijk nut niet uit. Zij waren veelal de twee zijden van dezelfde medaille en voor onderzoekers

innerlijk goed met elkaar te verenigen. Holst omschreef het in zijn lezing uit 1947 als volgt: 'Het heeft vaak zin een onderzoek zo fundamenteel mogelijk op te zetten en niet te direct op het doel af te stevenen. Hiermee vergroot men de kans om een nieuwe of betere weg te vinden. De directe weg is meestal door anderen ook al betreden en heeft hen klaarblijkelijk niet het gewenste resultaat opgeleverd. Hoe beter men de verschijnselen op de achtergrond beheerst, des te groter de kans om de beste oplossing te vinden' (Homburg 2003).

Dit was een andere interpretatie van fundamenteel onderzoek dan die van Bush. Holst stelde hier het toepassings- en doelgericht onderzoek tegenover het breder funderend onderzoek binnen een toepassingscontext. Dergelijk onderzoek zullen we in deze monografie benoemen als het *missie-gericht onderzoek*. De omschrijving van Holst sloot dicht aan bij de praktijk van het katalytisch onderzoek. Niet alleen het katalytisch onderzoek bij Unilever en Shell was deels als missie-gericht onderzoek te beschouwen. Hetzelfde gold ook voor de onderzoekingen van Sabatier, Haber, Fischer en Tropsch. Deze onderzoekers waren zich zeer bewust van de praktische relevantie van hun onderzoek en lieten zich door mogelijk nut inspireren. Het *fundamenteel onderzoek*, zoals door Bush bedoeld, speelde in de katalyse en waarschijnlijk in grote delen van de chemie een bescheiden rol. Zijn opvatting dat alles draaide om vrijheid van onderzoek en waarheidsvinding bleek voor dit vakgebied een misvatting te zijn.

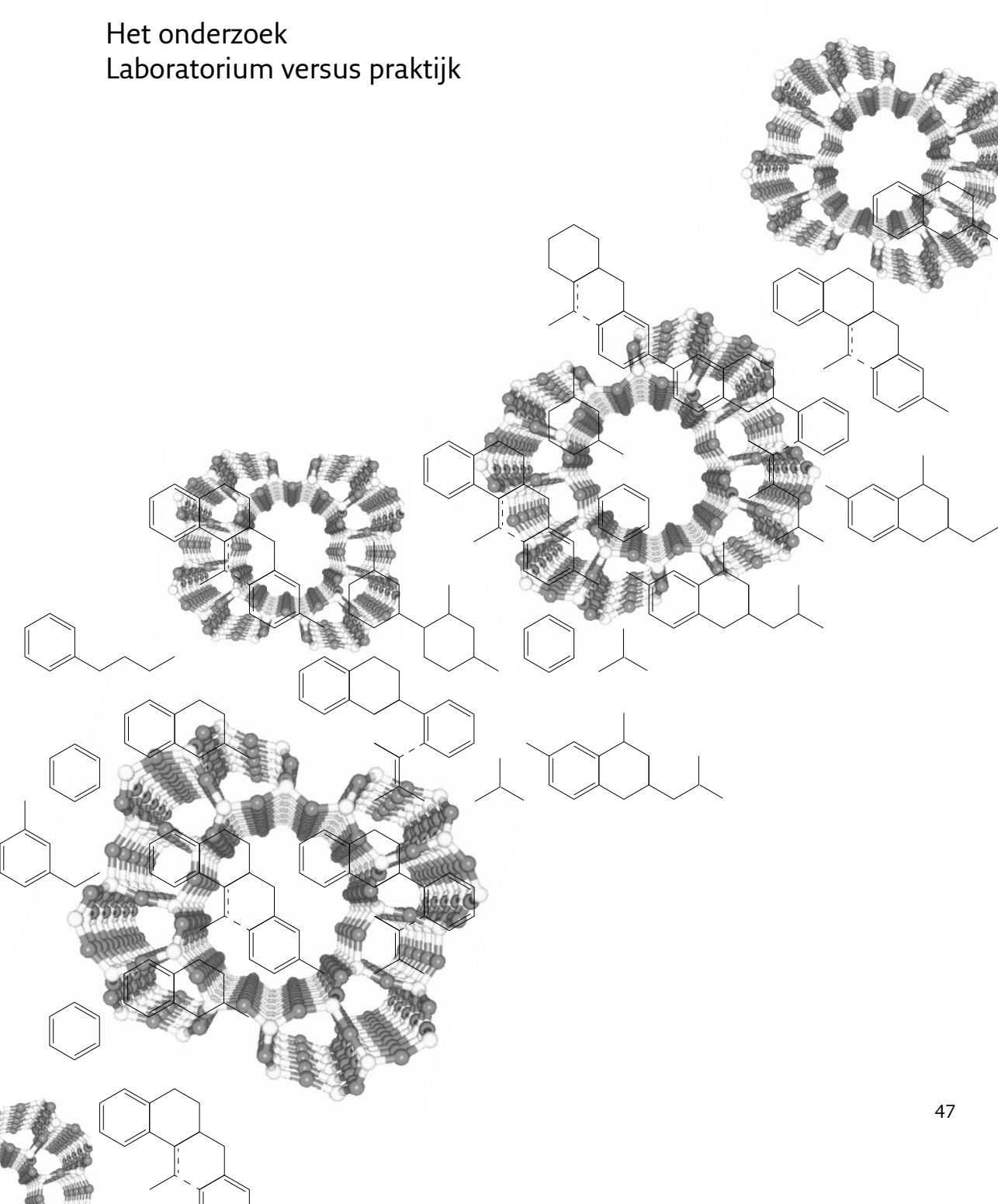
Ieder researchlaboratorium of het nu gesitueerd was in een bedrijf of op een universiteit kreeg te maken met de vraag naar het economisch of maatschappelijk nut van zijn onderzoek. Dat gold ook voor het katalyse-onderzoek. Het moest bijdragen aan 'oplossingen' om in termen van Holst te spreken. Maar hoe gebeurde dat? Hoe liet laboratoriumkennis binnen een bedrijf zich vertalen naar de praktijk? Dat was geen eenvoudige zaak. Dergelijke vragen werden voor een universiteit eveneens actueel, indien zij bij missie-gericht onderzoek was betrokken. Het missie-gericht katalyse-onderzoek zou zich na 1970 grotendeels verplaatsen van de industrie naar de universiteit. Kennis stroomde nu van de universiteit naar de industrie. In de volgende hoofdstukken zullen wij zien met welke problemen bedrijf en universiteit geconfronteerd werden bij het ten nutte maken van de resultaten van katalyse-onderzoek.

- Het missie-gericht katalyse-onderzoek zou zich na 1970 grotendeels verplaatsen van de industrie naar de universiteit.



De katalysator Hycon

Het onderzoek Laboratorium versus praktijk



De katalysator Hycon⁵

In 1988 opende toenmalig minister-president Ruud Lubbers de Hycon installatie in Pernis. Het ging om een grote installatie, die per dag 4000 ton 'zware' olie - het zogenaamde vacuüm *residu* - kon verwerken. De reactor werkte onder een druk van 150 tot 200 bar en op een temperatuur van 400 °C. De kosten hadden zo'n \$500 miljoen (\$813 miljoen prijspeil 2010) bedragen. In feite had Lubbers mede aan de wieg gestaan van deze omvangrijke investering van Shell. Onder zijn aanvoering hadden zes jaar eerder werkgevers, werknemers en de regering het beroemde 'Herenakkoord' van Wassenaar afgesloten. De economie stond er in die jaren beroerd voor. De drie partijen spraken af om de lonen te matigen en de arbeidstijd te verkorten. Shell verplichtte zich bovendien om substantieel te gaan investeren in Nederland. Met de feestelijke opening van Hycon was Shell zijn belofte nagekomen.

Het vervolg was minder feestelijk. De eerste testen, die moesten verifiëren of de installatie volgens plan werkte, brachten allerlei problemen aan het licht. Maar dat kan gebeuren. Er was nog de hoop, dat al werkende de specialisten het proces onder controle zouden krijgen. Op zeker moment werd zelfs gerapporteerd, dat '... na enkele aanvangsproblemen alle belangrijke apparatuur nu prima werkte.' Men ontkwam echter niet aan de harde werkelijkheid. Er waren voortdurend drukvalproblemen (verstoppingen). In bepaalde reactorzones

stagneerde de stroming. Met soms lokaal sterk oplopende temperaturen (door de sterke exotherme reacties). Het Hycon-project was in zwaar weer terecht gekomen. De installatie werd twee jaar stil gelegd. Eerst moesten de problemen worden opgelost.

Had Shell onder druk van de politieke en economische omstandigheden te haastig gehandeld door een geheel nieuwe technologie te ontwikkelen? Dat er grote risico's waren genomen, stond wel vast. Maar moest dat op het conto van de situatie in de politiek en economie geschreven worden? Het project was grondig voorbereid. Er was zo'n tien jaar aan gewerkt en er kon gebruik worden gemaakt van 25 jaar onderzoekservaring op aanverwante terreinen. Een inventarisatie van de rapportage over het verrichte *residu*-conversie onderzoek leverde '... an encyclopaedia type summary report' op, waarin alleen al de lijst van zo'n 400 rapporten 33 pagina's besloegen. Zelfs de onderzoekers in het veld hadden enige moeite om in deze omvangrijke hoeveelheid literatuur de relevante gegevens en ideeën te vinden. Hoe zat dat dan met de risico's? Waren die wel goed in beeld gebracht?

Innoveren is altijd al een risicovol traject, maar de risico's zijn verschillend van aard. Consumentenvoorkeuren kunnen verkeerd ingeschat worden. De marktintroductie kan verkeerd *getimed* zijn. De kosten van de innovatie kunnen uit de hand te lopen. De innovatie past niet in de organisatiecultuur, etc. Dat is

⁵ Literatuur en bronnen bij dit hoofdstuk staan achter in het boek.

hier allemaal niet het geval. De risico's van het Hycon-project hebben alles te maken met de opschaling van een chemisch proces van laboratorium naar raffinaderij. Een dergelijke innovatie komt tot stand in geheel verschillende werelden, ieder met zijn eigen werkelijkheid, werkwijzen en waarheden en ieder met zijn eigen perspectief op een innovatie. Hoe sluiten de werelden van laboratoria, technische afdelingen en raffinaderijen in het innovatieproces op elkaar aan? De geschiedenis van Hycon geeft een interessant beeld van onderzoek, ontwerp en bouw. De wetenschappers en de ingenieurs konden de valse start van Hycon niet voorkomen. Uiteindelijk wisten zij zich te rehabiliteren.

Had het Hysomerproces betrekking op de lichtste fractie verkregen uit de destillatie van ruwe olie (zie 'De katalysator: Hysomer'), Hycon richtte zich op de zwaarste fractie. Aan het einde van het destillatieproces van ruwe olie blijft een fractie over, (*atmosferisch*) *residu* geheten. Het bevat de zwaarste moleculen in de olie, die een kookpunt hoger dan 370 °C hebben. Als restproduct werd het vooral gebruikt voor de vervaardiging van stookolie, smeeroliën en bitumen onder andere bestemd voor de asfaltering van wegen.

Rond die 'zware' olie, het *residu*, ontstonden echter problemen. De vraag naar stookolie liep terug. Belangrijker was dat het *residu* veel zwavel en ook zware metalen bevatte, en dat stuitte op weerstand in de samenleving. Zware metalen en zwavelverbrandingsproducten waren een gevaar voor de volksgezondheid en voor het milieu. Wetgeving legde in toenemende mate de uitstoot aan banden. Wat moest Shell aanvangen met een *residu*, dat onaantrekkelijk werd? De meest aantrekkelijke optie was om het zwavel en de metalen eruit

te halen en de rest om te zetten in verkoopbare producten. Daarom werd Hycon ontwikkeld.

Hycon staat voor HYdrogen-CONversion en wel van het *vacuüm residu*. Twee keuzes liggen eraan ten grondslag:

1. Het omzetten van *residu* naar motorbrandstoffen gaat gepaard met een verhoging van de atomaire H/C verhouding. Dat zou men kunnen bewerkstelligen door koolstofverwijdering of door waterstofadditie. Het eerste wordt al sinds de jaren dertig van de vorige eeuw gedaan (delayed coking). Waterstofadditie heeft als voordeel dat er geen olie in vaste stof (coke) wordt omgezet. Het minimaliseert ook de productie van gas, dat een lagere waarde heeft. Het is de Shell-filosofie om vloeistofopbrengst te maximaliseren en voor hogere productwaarden te gaan.

2. Men kan ervoor kiezen het *atmosferisch residu* óf het *vacuüm residu* om te zetten. Dit laatste ontstaat uit het eerste door een vacuümdestillatie. Het lichtere product, vacuümgasolie, kan zo de raffinaderij in. Het *vacuüm residu* bevat moleculen met een kookpunt van zo'n 520 °C of hoger, heel veel zwavel en zware metalen (Ni, V). Beide wegen van *residu*-conversie hebben hun eigen merites. Maar uiteindelijk is ervoor gekozen om een proces te ontwikkelen dat het vacuüm *residu* omzet.

Hycon is een proces met meerdere verschillende stappen. Het verwijdert eerst de metalen (hydrodemetallisatie: HDM) en vervolgens het zwavel uit het *residu* door het in combinatie met waterstof onder hoge druk en temperatuur over een aantal katalysatoren te leiden. Verder 'kraakt' het een gedeelte van de olie in lichtere en beter verkoopbare producten. Indertijd was er een alternatief hydroconversieproces op de markt. Maar daar zaten nadelen aan. De wetenschappers en ingenieurs van Shell ontwikkelden liefst hun eigen proces.

Ze vertrouwden op de ruime ervaring van Shell met het ontzwavelen en kraken van olie. De uitdaging zat hem echter in het ontwikkelen van een installatie, die in één procesgang metalen kon verwijderen, ontzwavelen en kraken.

Ontzwaveling was voor de olie-industrie na de tweede wereldoorlog een steeds belangrijker thema geworden. De ontginning van nieuwe olievelden had olie opgeleverd met een steeds hoger zwavelgehalte. Tegelijkertijd moest het zwavelgehalte in de eindproducten steeds lager zijn. Niet alleen vanwege de luchtverontreiniging, maar ook vanwege de corrosieve eigenschappen van zwavelverbindingen. Verbrandingsprocessen met zwavel leveren bijproducten op, die zorgen voor roest en verwerking. Het verwijderen van zwavel door hydrogeneren (dat wil zeggen door toevoeging van waterstof) lag voor de hand omdat waterstof op grote schaal en goedkoop beschikbaar was. Dat was weer een gevolg van het breed implementeren van reforming: een proces dat een lichte koolwaterstoffractie omzette in zeer gewenste benzinecomponenten, plus waterstof, als een soort bonus.

Shell's trickle-ontzwavelingsproces werd in 1953 bekend gemaakt. De olie liep in een reactor als een vloeistoffilm over een vast 'bed' van katalysatordeeltjes naar beneden, in aanwezigheid van een waterstofstroom. Deze en andere vormen van ontzwavelen waren spoedig overal in de raffinageprocessen aanwezig. Behalve bij het *residu*, maar dat zou een kwestie van tijd zijn.

Reeds in 1955 toonde men in het Shell lab in Amsterdam aan dat het *residu* van Koeweit-olie in principe met het trickle-proces ontzwaveld kon worden. Toch was dat proces geen optie. De activiteit van de katalysatoren

bleek te snel af te nemen, waardoor operatie op grote schaal niet mogelijk zou zijn. Het onderzoek bleef een aantal jaren rusten, totdat het Amerikaanse Gulf beweerde een meer stabiele katalysator te hebben gevonden. Het betrof een Ni-Co-Mo/Al₂O₃ katalysator, dat wil zeggen een katalysator samengesteld uit nikkel, kobalt en molybdeen (die tezamen de actieve fase vormen) met aluminiumoxide (ook wel aluinaarde of alumina genoemd) als drager. Dit type katalysator kon, zo leverde het onderzoek bij Shell op, 3 à 4 maanden werkzaam zijn en het residu van de Koeweit olie voor 60% ontzwavelen. Dat was op zichzelf nog geen geweldige prestatie, maar luchtverontreiniging dreigde een groot maatschappelijk vraagstuk te worden.

Het onderzoek werd derhalve in de jaren zestig geïntensiveerd. Het laboratorium in Amsterdam probeerde diverse soorten aluminiumoxide als drager uit, variërend in dichtheid en poriënstructuur. Verschillende katalysatoren en verschillende methoden om de katalysator op de drager aan te brengen werden onderzocht. Daarbij diende het molecuul thiofeen, een organische verbinding bestaande uit een ring van vier koolstofatomen en een zwavelatoom, als modelvoeding. Dat was een gebruikelijke procedure op het laboratorium. Modeltests zijn een stuk sneller dan die met complex samengestelde oliefracties. Het betekende wel, dat deze niet zonder meer toepasbaar waren in de praktijk. Het is meer een soort eerste 'screening'. Stabiliteit (deactiveringssnelheid), uiterst belangrijk in de praktijk, bleef bijvoorbeeld geheel buiten beeld. Alle betrokkenen waren zich daarvan bewust.

Uit ander onderzoek was bovendien gebleken, waarom katalysatoren in contact met het *residu* snel in activiteit afnamen. Zware moleculen met gecondenseerde aromaringen

vormden het zogenaamde 'coke', dat het oppervlak van de katalysator afdekte en de toegang tot de actieve fase sterk bemoeilijkte. Verder sloegen de metalen in het *residu* als sulfides in de poriën neer, waarbij vooral vanadium de toegang snel kon blokkeren. Metalen moesten dus op voorhand uit het *residu* verwijderd worden niet alleen vanwege het milieu, maar ook om een efficiënt ontzwarelingsproces mogelijk te maken.

Hoe verwerkte Shell het *residu* nog voordat van Hycon sprake was? De verwerking tot stookolie, smeerolie en bitumen was de standaardoplossing, zoals wij zagen. De noodzaak om daarin verandering te brengen diende zich allereerst aan in een raffinaderij van Venezuela, omdat die raffinaderij voor de Amerikaanse markt (Gulf Coast; New York) werkte en de eisen daar in de jaren zestig reeds streng werden. Het *residu* van de Venezolaanse olie bevatte zo veel metalen en zo veel 'coke'-vormende species, dat een gebruikelijke ontzwareling niet mogelijk was. Een aanpak was om na vacuümdestillatie van het *residu*, de vacuüm gasolie diep te ontzwaren. Die kon dan weer bij het vacuüm *residu* gestopt worden zodat het zwavelgehalte van het mengsel onder de stookolienorm bleef. Ideaal was deze oplossing niet, verre van. En op termijn zou zij zeker niet voldoen.

Het probleem was dus dat er zoveel metalen (Ni en V) in zo'n Venezolaans *vacuüm residu* zaten. De HDM katalysatoren konden maar een korte tijd werkzaam zijn omdat hun poriën volledig gevuld raakten met Ni/V

sulfides. Voor het verwijderen van metalen had Shell naast specifieke katalysatoren ook een nieuwe reactor ontwikkeld, de zogenaamde bunker-flow reactor. Dit was een bewegend bedreactor, waarbij zowel de voeding (het te demetalliseren *residu*) als de katalysator van boven naar beneden door de reactor bewogen. Hierbij bewoog de voeding veel sneller dan het katalysatorbed (maar beiden in propstroom). De katalysatordeeltjes werden boven in de reactor toegevoerd en onderin ontladen. En dit, terwijl de reactor gewoon, onder zeer hoge druk, bleef doordraaien. De voortdurende verversing van de katalysator zorgde ervoor dat de metaalopslagcapaciteit ten volle benut werd en dat de gemiddelde activiteit in de reactor hoog was. Na de verwijdering van de metalen kon in de volgende processtap de ontzwareling geschieden.

Op labschaal voldeed dit concept goed. Vervolgens werd in Zweden een demonstratie unit (400 t/d) neergezet om de onvermijdelijke constructie- en operationele problemen in kaart te brengen. In 1973 ging de demonstratie unit in bedrijf. Ervaringen met deze unit waren zeer positief, maar voedingen met echt hoge metaalgehalten werden er niet in getest.

In Japan, dat eveneens strenge eisen stelde aan de luchtverontreiniging, gebruikte de Seibu raffinaderij Koeweit olie. Deze bevatte relatief geringe hoeveelheden metalen. Voor deze raffinaderij bouwde Shell in 1976 een grote fabriek voor de ontzwareling van *atmosferisch residu*. Door de operationele condities van de ontzwarelingsinstallatie zorgvuldig af te

– Ontzwareling was voor de olie-industrie na de tweede wereldoorlog een steeds belangrijker thema geworden.

stemmen op specifieke katalysatoren (onder andere wat betreft de grootte van de katalysatordeeltjes en van de poriën) lukte het om het proces minstens zes maanden gaande te houden en een laag zwavelgehalte te realiseren. De oplossing werd al spoedig weer ingehaald door de realiteit. De eisen ten aanzien van het zwavelgehalte werden aangescherpt. Ook hier werd weer een oplossing voor gevonden, namelijk het gebruik van verschillende katalysatoren in verschillende plaatsen in de reactor (het zgn. ABC concept, zie onder), maar de rek begon er wel een beetje uit te raken.

Het is moeilijk om de geboorte van Hycon op basis van al het onderzoek en experimenteren te dateren, maar het moet omstreeks 1974 zijn geweest. De geestelijke vader en trekker van het project is wel aan te wijzen. Dat is Tiong Sie, een rustige en bedachtzame ingenieur. Hij trad in 1961 bij Shell in dienst, in de analytische afdeling. Pas rond 1970 kwam hij in katalyse terecht. En wel als gevolg van een verblijf in het Shell-lab in Houston. De vraag was of er een installatie te ontwerpen was, waarin het *residu* in één procesgang was te verwerken. Het project viel in drie delen uiteen: het katalysatoronderzoek, de procesresearch en de reactortechnologie.

In principe, zoals boven al aangegeven (ABC-concept), vindt het *residu*-conversie proces plaats over een drietal opeenvolgende typen katalysatoren: een katalysator met wijde poriën voor de verwijdering van metalen, een katalysator met middelgrote poriën voor het verwijderen van het restant metalen en met een beperkte ontzwavelingsactiviteit, en tenslotte een katalysator met nauwe poriën met een hoge ontzwavelingsactiviteit. Aan dit concept ligt een heleboel kinetisch, analytisch en modelleer-werk ten grondslag. In de Hycon

set-up zit de eerste katalysator in een bunker-flowreactor en vindt in de laatste twee processtappen de omzetting van het *residu* plaats in bruikbare producten.

In 1974 was het katalysatorwerk al ver voortgeschreden. Maar optimalisatie ging altijd door. Belangrijke parameters waren onder andere het type actieve fase, de belading, het soort drager, de grootte en structuur van de poriën, en de grootte en vorm van de katalysatordeeltjes. Verder vond onderzoek plaats naar het bereiden en het opstarten van de katalysator. Een complicatie was dat iedere soort olie een andere *residu* opleverde en een aanpassing van de katalysatoren en het katalyseproces kon vergen.

De procesresearch was van eenzelfde soort complexiteit. Een extreem belangrijk economisch aspect was de stabiliteit van de katalysatoren. Zij moesten minsten een jaar, liefst twee jaar actief blijven en dat hing van een groot aantal parameters af, waaronder het ontwerp van de katalysator, de samenstelling van *residu* en de procescondities zoals de druk en de vloeistofsnelheid in de reactor, als ook het effect van H₂S en stoom. Daarnaast waren er nog andere thema's, zoals de kinetiek van de verschillende reacties. Indien deze niet nauwkeurig bepaald werd, kon dat grote problemen opleveren bij de opschaling van het proces. Verder ging veel aandacht uit naar methodes om het *residu* om te zetten in diverse soorten producten. De eigenschappen van die producten moesten ook onderzocht worden.

De reactortechnologie was de derde poot van het Hycon project. Alle onderdelen van de installatie moesten worden ontworpen. Simulatiemodellen werden gemaakt en getest. De onderzoekers probeerden op basis van de resultaten ontwerpregels te formuleren. Bestaande apparatuur moest worden aan-

gepast. Nieuwe systemen werden ontwikkeld. Ingenieurs probeerden nieuwe ontwerpen op verschillende schalen uit of testten die in bestaande installaties. Alle onderdelen moesten uiteindelijk in één ontwerp geïntegreerd worden. Dat vormde uiteindelijk de basis voor de bouw van Hycon.

De grootste uitdaging was de bunker-flowreactor. Na de goede ervaringen met de Zweedse unit, werd er nog een tweede demonstratie unit gebouwd in Venezuela (start operatie in 1983) – specifiek om ook metaalrijkere voedingen te bestuderen. Hoewel er belangrijke resultaten werden geboekt, bleef uiteindelijk één essentieel aspect buiten beeld, namelijk de koppeling tussen de bunker-flow en de vast-bed units. Daar komen we nog op terug.

Men zou verbaasd hebben gestaan, als de Hycon installatie direct bij de start in 1988 goed had gefunctioneerd. Nieuwe installaties hebben vaak aanloopproblemen. Er is meestal een leercurve: de installatie gaat op den duur steeds optimaler functioneren door de ervaring die ermee wordt opgedaan. In het geval van Hycon was bovendien sprake van een extra, problematische dimensie, namelijk de mate van complexiteit. Het is een bijna ondoenlijke zaak om alle aspecten van zo'n complexe installatie vooraf goed te doordenken en uit te testen.

Het procesmodel was in ieder geval niet het probleem. Zoals Sie met terechte trots stelde: 'Het is duidelijk, dat een trial-and-error

benadering in experimenten op het laboratorium en in de proeffabriek, waarbij de levensduur van een jaar van een katalysator een van de doelstellingen is en waarbij een groot aantal variabelen in de voeding, de katalysatoren, de reactieconditie en de parameters van het product [een rol speelt] ...weinig hoop biedt op het vinden van een optimale oplossing van een specifiek probleem binnen de redelijke beperkingen van tijd en kosten...' En dus was het zaak '... om de aspecten van de conversiechemie, de katalyse, de kinetiek en de reactortechnologie uit te drukken in termen van praktische parameters, die zo veel mogelijk gebaseerd zijn op fundamentele fysische en chemische inzichten en leiden tot een hydroconversie model ... op basis van een gegevensbestand over voedingen en katalysatoren in de afgelopen 25 jaar is opgebouwd ...' Dat model heeft zijn sporen ontegenzeggelijk verdiend. Niettemin, het Hycon-complex lag tussen 1990 en 1992 veel stil. Wat ging er mis en waarom?

Er waren nogal wat technische problemen, waaronder een paar hele lastige, maar 'slechts' twee bleken echt cruciaal. In de eerste plaats bleek er meer ijzer en natrium in de voeding te zitten dan waarop was geanticipeerd en deze verontreinigingen bleken ook veel moeilijker te verwijderen dan eerder - op labschaal - gemeenten was. Deze species bleken zich tussen de HDM katalysatordeeltjes af te zetten, die daarvoor aan elkaar gingen klitten. De olie kon er niet mee langs stromen, zodat er voortdurend verstoppingen optraden.

- In het geval van Hycon was bovendien sprake van een extra, problematische dimensie, namelijk de mate van complexiteit.

Het andere probleem betrof katalysator-lekkage: de HDM katalysator was wel sterk, maar niet oneindig sterk, en het fragmentatiepatroon was zo, dat grotere brokstukjes ontstonden, die van de ene reactor naar de volgende konden bewegen. Zeker wanneer deze stukjes de vast-bed reactoren bereikten, gaf dit enorme problemen. Dit probleem was eigenlijk al gesignaleerd in de Venezolaanse bunker-flow demonstratie unit, maar er was toen nog geen oplossing voor gevonden.

Dit had mede een organisatorische oorzaak. De experimenten met de bunker-flow reactor werden gedaan in samenwerking met de Venezolaanse oliemaatschappij Maraven. De verhoudingen waren niet erg collegiaal. Shell was bang dat Maraven meer van de experimenten zou leren dan Shell lief was. Maraven, die de proeffabriek betaalde, dacht het risico te lopen van een kortlopende samenwerking. Het wantrouwen stond in schril contrast met de samenwerking die was vereist om de grote problemen op te lossen van de bunker-flow reactor. En zo was de koppeling tussen de bunker-flow en de vast-bed reactor het kind van de rekening. En dit bleek dus een van de cruciale problemen te zijn. De definitieve oplossing lag in een verandering van het dragermateriaal. Dat materiaal bracht bij slijtage poeder voort in plaats van grotere deeltjes en kon beter worden uitgefiltreerd.

Ook binnen Shell liep niet altijd alles op rolletjes. Shell was een grote en bureaucratische organisatie met eigen 'koninkrijksjes'

(silo's). Problemen die samen met andere afdelingen of functies opgelost moesten worden, hadden vaak de hiërarchische weg te gaan. Bovendien had iedere afdeling zijn eigen prioriteiten en aanpak van problemen en lag een competentiestrijd altijd op de loer. Maar daar stond tegenover dat er ook volop informele contacten waren. Men kende elkaar doordat onderzoekers veelvuldig van afdeling, en ook van locatie wisselden, zodat netwerken ontstonden die efficiënte samenwerking mogelijk maakten, ook al lagen bazen soms dwars. Ook was er veelvuldig overleg om informatie uit te wisselen en gezamenlijk een oplossing voor de problemen te vinden.

Na enkele jaren aanmodderen werd Hycon in 1990 stilgelegd. Het project dreigde op een fiasco uit te lopen. Het researchteam in Amsterdam, de manufacturing afdeling in Den Haag en de raffinaderij in Pernis probeerden elkaar de zwarte piet toe te spelen. Daar kwam echter snel een eind aan – als de nood werkelijk aan de man komt, dan is samenwerking de enige optie. Uit bovengenoemde drie partijen werden 'Hycon Improvement Teams' samengesteld, die ieder een bepaald probleem oppakten. Sommige lolbroeken hadden het over 'Shell Hycon Improvement Teams', om een mooi acroniem te verkrijgen, maar dit terzijde. Deze teams slaagden er in twee jaar tijd in de problemen op te lossen en wisten van Hycon een technisch en commercieel succes te maken.

- Deze teams slaagden er in twee jaar tijd in de problemen op te lossen en wisten van Hycon een technisch en commercieel succes te maken.

Het onderzoek

Laboratorium versus praktijk

Een innovatieproces is een technisch labyrint, zo is reeds eerder gesteld. De gang van zaken rond Hycon bevestigt dat. Het bleef lang onzeker of een succesvol innovatiepad in het doolhof zou worden gevonden. Uiteindelijk was dat het geval. Dat is maar weinig innovatieprocessen gegeven. In zoverre is deze casus (evenals die van Hysomer) atypisch. Vele innovatieprocessen sterven een zachte of harde dood.

In een technisch labyrint vind heel wat onderzoek plaats. De vraag is hier: wat voor onderzoekingen worden er gedaan en welke rol spelen zij in innovatieprocessen? Na de tweede wereldoorlog was het antwoord tamelijk eenvoudig. Fundamenteel onderzoek vervulde de belangrijkste rol, aldus Vannevar Bush (zie het hoofdstuk 'Het onderzoek: *industry based science*'). Al het andere onderzoek borduurde daarop voort, hetgeen uiteindelijk tot toepassingen leidde. Velen volgden hem daarin. Voor politici, ondernemers en beleidsmakers lag de situatie duidelijk. Er moest vooral geïnvesteerd worden in fundamenteel onderzoek.

Inmiddels ligt de situatie complexer. De onderzoeksinfrastructuur is omvangrijker dan in de jaren vijftig en zestig. Dat geldt ook voor het domein van de katalyse. Hierop komen we in de volgende hoofdstukken terug. Dan blijkt bovendien, dat de universiteiten op het gebied van de katalyse research volwaardige partners zijn geworden van de industriële laboratoria. Dat brengt vragen met zich mee over taakverdeling en coördinatie. Verder staan de budgetten voor onderzoek in de industrie en bij de overheid herhaaldelijk onder druk. Dat zorgt voor debatten over prioritering in onderzoek. Het eenvoudige lineaire model van Bush dat reeds geruimte tijd achterhaald is, maar steeds weer de kop op steekt, is verre van toereikend voor deze problematiek. Inzicht in de verschillende typen onderzoekingen tijdens het innovatieproces is noodzakelijk.

Donald Stokes, adviseur van de National Science Foundation in Amerika, deed uitgebreid onderzoek naar de ideeën van Bush, de context waarin deze furore maakten en de grote invloed die ze hadden op het beleid (Stokes 1997). Ook Stokes kwam aan het einde van de vorige eeuw tot de conclusie dat de ideeën van Bush achterhaald waren. Hij kwam vervolgens met een alternatief dat sindsdien veel navolging heeft gekregen: het zogenaamde Pasteur's kwadrant. Stokes gaat ervan uit dat de inspiratie voor onderzoek twee dimensies kent. De ene dimensie heeft betrekking op de vraag of met het onderzoek al of niet een fundamenteel begrip van verschijnselen wordt nagestreefd. De andere met de vraag of in het onderzoek al of niet beschouwingen over toepassingen worden meegenomen. Op deze wijze komt Stokes tot drie typen wetenschappelijk onderzoek. We zullen het alternatief

in een enigszins aangepaste vorm als uitgangspunt nemen voor onze verdere beschouwingen en de volgende typen onderzoek onderscheiden: het fundamenteel onderzoek, het missie-gericht onderzoek en het ontwerpend onderzoek.⁶

Figuur 1: De research-matrix, een model voor wetenschappelijk onderzoek in twee dimensies

		Beschouwingen over maatschappelijke relevantie en toepassingen	
		Nee	Ja
Begrijpen (Know Why How to Know)		Fundamenteel onderzoek, bijvoorbeeld Bohr en Berzelius	Missie-gericht onderzoek, bijvoorbeeld Pasteur en Sabatier
			Ontwerpend onderzoek, bijvoorbeeld Edison en Normann

Het fundamenteel onderzoek. Dit onderzoek is gericht op het beter begrijpen van de natuur zonder dat een duidelijke toepassingscontext aanwezig is. Kennisontwikkeling heeft betrekking op het onderzoek naar verschijnselen (*How to Know*) en het geven van verklaringen (*Know Why*). Het onderzoek bestaat uit het inventariseren van bestaande kennis, het formuleren van probleemstellingen, het bedenken van analytische methodes, het ontwikkelen van nieuw instrumentarium, het opstellen van nieuwe theorieën, het bouwen van mathematische modellen en het doen van experimenten. De resultaten hebben doorgaans een generiek karakter dat wil zeggen zij zijn overal en altijd reproduceerbaar, en van toepassing op een brede categorie verschijnselen. Bovendien zijn de resultaten grotendeels publiek bezit, dat wil zeggen zij behoren tot een internationale kennispoule, die in principe voor iedereen toegankelijk is. Toepassingen worden niet beoogd, maar kunnen er wel degelijk uit voortkomen. Soms dienen zij zich nooit aan, soms op korte termijn en soms op lange termijn. Problematisch is dat niet, omdat de verwachtingen in dat opzicht gering zijn.

⁶ Stokes heeft het over 'pure basic research', 'use-inspired basic research' en 'pure applied research'. De omschrijving van de drie types in de tekst is van de auteurs.

Stokes geeft als voorbeeld de ontwikkeling van het atoommodel door Bohr aan het begin van de 20ste eeuw. Berzelius, die het begrip katalyse introduceerde aan het begin van de 19de eeuw, kan ook in dit deel van de matrix geplaatst worden. Onderzoekingen in vakgebieden zoals de astronomie en de hogere energiefysica kenmerken zich grotendeels door dit type onderzoek. Fundamenteel onderzoek hoeft niet alleen aan universiteiten of publieke onderzoeksinstituten zoals FOM (Fundamenteel Onderzoek der Materie) plaats te vinden. Ook Shell, bijvoorbeeld, had hiervoor vroeger enige ruimte, bijvoorbeeld bij 'General Research' op het laboratorium in Amsterdam.

Het tweede type onderzoek is het *missie-gericht onderzoek*. Zowel het nastreven van een dieper begrip is een belangrijk motief als het dienen van een maatschappelijk doel of het hebben van toepassingsperspectieven. Het experimenteren (*How to Know*) en het verklaren (*Know Why*) staan centraal, evenals het streven om bij te dragen aan de oplossing van maatschappelijke en praktische problemen. Het onderzoek bevat dezelfde elementen als het fundamenteel onderzoek. Wetenschappelijke publicatiekanalen worden gebruikt om voor collega-onderzoekers relevante resultaten te presenteren. Daarnaast vinden de resultaten die voor toepassingen relevant zijn, zoals databestanden, praktische oplossingen en heursitieken hun weg via vakpublicaties, interne rapporten en octrooien. De kennis is generiek en doorgaans publiek bezit (ofwel onderdeel van de wetenschappelijke kennispoule en van de openbare vakliteratuur). Het toepassingsperspectief en de tijd waarin mogelijke toepassingen gerealiseerd kunnen worden zijn doorgaans problematisch. De verwachtingen zijn nogal eens hoog gespannen, maar de resultaten beantwoorden daar niet aan in het geval het onderzoek geen nieuwe, praktische inzichten oplevert, de resultaten niet op tijd komen, et cetera.

Pasteur dient bij Stokes hiervoor als exemplarisch voorbeeld [vandaar Pasteur's kwadrant]. Hij ontwikkelde in de tweede helft van de 19de eeuw fundamentele inzichten in micro-organismen en micro-biologische processen. Tegelijkertijd was hij zeer geïnteresseerd in ziektes, voedselbederf en gisting (bijvoorbeeld bij de bierbereiding) waarbij micro-organismen een rol speelden. Op het gebied van de katalyse kan men onderzoekers zoals Sabatier, Haber, Fischer en Tropsch eenzelfde instelling toedichten als Pasteur en hen in hetzelfde kwadrant plaatsen. Verder kan een deel van het naoorlogse onderzoek bij Unilever en Shell als missie-gericht betiteld worden. Diverse onderzoekers lieten zich door toepassingen inspireren en waren tevens op zoek naar een dieper begrip van katalysatoren en katalytische processen.

— Vele innovatieprocessen sterven een zachte dood.
Een innovatieproces is een technisch labrynt.

Het derde type onderzoek is *het ontwerpend onderzoek*. Hier staat niet het verklaren, maar het construeren, het maken en het ontwerpen centraal. Het uitgangspunt is niet het waarnemen en het begrijpen (*How to Know/Know Why*), maar het zoeken naar iets dat werkt in een wenselijk gebied. Het sluit een beter begrijpen niet uit, maar het accent ligt volkomen anders. De vraag is hoe een proces tot stand te brengen, hoe een construct te ontwerpen en hoe een ontwerp te realiseren, en welke kennis daarvoor nog nodig is (*How to do/Know How*). Exploratief onderzoek valt hieronder, dat wil zeggen het in kaart brengen van een veld, het zoeken naar nieuwe effecten en het uitproberen van nieuwe verbindingen. Verder bestaat het onderzoek uit het ontwikkelen van wiskundige modellen, het doen van simulaties, het maken van (onderdelen van) prototypes, het experimenteren met prototypes, het ontwikkelen van testmethodes en het formuleren van specificaties en standaards. De resultaten hebben de vorm van een simulatiemodel of een prototype op laboratorium schaal. Zij hebben een generiek karakter en kunnen dan terecht komen in wetenschappelijke publicaties. Zij vinden vaker hun weg via vakpublicaties, octrooien en rapporten. Het onderzoek staat veelal onder druk met name als de resultaten op lab schaal veelbelovend zijn, maar in de praktische context ontoereikend.

Edison is voor Stokes het icoon van dit type onderzoek. Deze briljante uitvinder zocht in de laatste decennia van de 19de eeuw naar een commercieel functionerende, elektrische verlichtingsinstallatie en streefde bewust bij zijn ontdekkingen geen diepere wetenschappelijke inzichten na. Hij verwachtte van zijn mede-onderzoekers in Menlo Park eenzelfde houding. Dergelijk type onderzoek zagen we ook terug op het Unilever lab in Vlaardingen en de Shell labs in Emeryville en Amsterdam. Benesi, bijvoorbeeld, verkende in de jaren zestig van de vorige eeuw de mogelijkheden van zeolieten als basismateriaal voor katalysatoren en onderzocht hoe gewenste omzettingen in zeolieten konden worden bewerkstelligd. Die kennis bleek uiteindelijk bruikbaar voor het ontwikkelen van een katalysator voor het maken van loodvrije benzine.

Kan hiermee de rol van onderzoek in innovatieprocessen beschreven worden? Verre van dat! Het is opmerkelijk hoe weinig oog het wetenschapsbeleid en de wetenschapsdynamica hebben voor het onderzoek, dat in het innovatieproces onder het algemene begrip 'ontwikkeling' ofwel '*development*' valt. Onderzoeksmangers en beleidsmakers hebben het over *Research & Development* (R&D), maar in feite heeft men het vooral over *research* (R) en de wereld van de research-laboratoria, en nauwelijks over *development* (D). We betreden met *development* een nieuwe wereld. Het is de wereld van de opschaling, de commercialisatie, de bouw van de eerste installatie en de productie van het eerste product. In die wereld mobiliseren onderzoekers, ontwerpers en constructeurs kennis uit geheel verschillende disciplines, gebruiken zij kennis van de laboratoriumtafel en genereren

zij zelf kennis. Daarbij gaat veel mis, zoals we in de casussen constateerden. We concentreren ons hier op het gebruik van laboratoriumkennis en laboratorium-prototypes en gebruiken de toepassing van katalysatoren als voorbeeld.

Laboratoriumkennis en -prototypes zijn doorgaans niet direct bruikbaar in een toepassingscontext (Laird 2010; Janasek, Franzke en Manz 2006). De kennis heeft een ideaaltypisch karakter. Er zijn sterke vereenvoudigingen aangebracht in theorieën, modellen en experimenten. De katalyse onderzoeker experimenteert met modelvoedingen en een select aantal parameters. De katalysatordeeltjes zijn vaak kleiner dan in de uiteindelijke installatie. De menging van de stoffen in de laboratoriumapparatuur (kolven bijvoorbeeld) is aanzienlijk beter dan in vaten met een omvang van een paar kubieke meter. De afvoer van warmte die bij de chemische reacties vrijkomt, kan in het lab beter beheerst worden maar vereist op (semi-)technische schaal uitgebreide voorzorgsmaatregelen. Kortom, het gebruik van de katalysator aan de laboratoriumtafel staat om deze en andere redenen onder betere controle dan bij grootschalige productie.

Bij grootschalige productie kunnen de onderzoekers te maken krijgen met verstoppingen in pijpen, de verontreiniging van de katalysator, de productie van ongewenste bijproducten, een snel teruglopende activiteit en een slechtere selectiviteit van de katalysator. Commerciële voedingen bevatten vaak verontreinigingen, die de katalysator de das om doen en die niet altijd op het laboratorium afdoende bestudeerd zijn. De opbrengst is geringer dan verwacht, het economisch rendement problematisch en de innovatie - in het slechtste geval - een debacle. Het opschalen kan ook zonder al te grote problemen verlopen. Er is veel kennis beschikbaar in het vakgebied van de reactorkunde, dat zich hiermee bezighoudt. Nederland heeft daarin een goede naam.

Opschaling is een uiterst belangrijk traject. Het begint op het laboratorium. Zo waren op het Unilever lab bij de ontwikkeling van katalysatoren in de jaren zestig en zeventig vier soorten autoclaven beschikbaar: een roestvrij stalen autoclaaf van 1 liter, een ijzeren van 35 liter, een roestvrij stalen autoclaaf van 50 liter en een van 500 liter. Daarnaast kende het laboratorium in Vlaardingingen nog een proef-fabriek. Verder opschaling vond plaats in samenwerking met het ontwikkelings-laboratorium van de Verenigde Oliefabrieken Zwijndrecht.

Bij het Hysomerproces van Shell zag de opschaling er anders uit, omdat hier sprake was van een continu in plaats van een batch proces. Experimenten vonden bij de afdeling Oil Research plaats op een schaal van *microflow* en *bench scale* en bij de Product Development Organisation (PDO) op de schaal van een *pilot plant*.

– We betreden met *development* een nieuwe wereld.
Daarbij gaat veel mis.

Daaruit bleek, dat tijdens de schaalvergroting tot op het laatste moment problemen optraden met de katalysator. Onderzoek was gedurende het gehele proces vereist om het Hysomerproces op een technisch en commercieel acceptabel niveau te krijgen. Bij Hycon was opschaling een nog ingewikkelder traject.

Wat zijn de kenmerken van *development* als onderdeel van een innovatieproces? Een belangrijk kenmerk is dat het traject betrekking heeft op onderdelen van een installatie, een proces, een apparaat of een product én op de integratie van die onderdelen tot een geheel (Van Rooij en Homburg 2002). Verder is de multi-disciplinaire uitdaging kenmerkend. Verschillende natuur- en technisch-wetenschappelijke disciplines worden in het development-traject ingezet, bijvoorbeeld de katalyse, de proceschemie, de reactortechnologie, de werktuigbouwkunde en de elektrotechniek. Daarnaast zijn specialisten uit andere disciplines nodig, zoals bedrijfseconomen (kostencomputaties, inkoop et cetera), bedrijfskundigen (planning, organisatie et cetera) en bedrijfsjuristen (octrooien, contracten et cetera). Belangrijk is eveneens, dat disciplineaire kennis vaak niet voldoende is. Er moet *ad hoc* kennis ontwikkeld worden om tot een werkend construct te komen. Ook speelt het *development*-traject zich af op diverse locaties onder andere op het onderzoekslaboratorium, het ontwikkelingslaboratorium, de proeffabriek, het ingenieursbureau en de bouwplaats. Voor de integratie van al die activiteiten op de verschillende locaties zijn specialisten nodig, zoals de projectmanager die het gehele project overziet en de supervisor die het toezicht heeft over de bouw. Essentieel is de hiërarchische structuur. Het integreren vereist een *top down* aansturing. Tot slot - niet onbelangrijk - in vergelijking met *research* kost *development* handen vol geld.

Indien we specifieker naar het onderzoek kijken, dan is de vraag hoe onderzoeksactiviteiten te typeren zijn. We komen tot twee typen activiteiten: *toegepast onderzoek en integrerend ontwerpen*.

Het toegepast onderzoek vertoont veel gelijkenis met hetgeen we hierboven missie-gericht onderzoek hebben genoemd. Er wordt nieuwe kennis ontwikkeld, nieuw instrumentarium ontworpen, geëxperimenteerd, wiskundig gemodelleerd, et cetera. Een belangrijk verschil is het specifieke karakter van het onderzoek. De resultaten zijn bedoeld om de problemen van een specifiek ontwerp op te lossen. Zij hebben een tijds- en locatiegebonden karakter, bijvoorbeeld het bouwen van een Hysomerinstallatie in La Spezia aan het begin van de jaren

- Daaruit bleek, dat tijdens de schaalvergroting tot op het laatste moment problemen optraden met de katalysator.

zeventig. Daarnaast wordt tijdens het development-traject veel gebruik gemaakt van bestaande kennis. Het ontwikkelen van nieuwe kennis is geen doel op zichzelf.

Integrerend ontwerpen. Kernbegrip van *development* is integratie: de integratie van kennis uit verschillende disciplines, de integratie van kennis van verschillende locaties en de integratie van kennis van de verschillende deelsystemen. Ontwerpen in dit traject heeft een specifiek karakter. Het resultaat is het *bouwen* van een specifiek systeem (installatie, machine, productieproces, product) op locatie.

De resultaten van *toegepast onderzoek* en *integrerend ontwerpen* vinden hun weerslag in interne rapporten en deels in vakpublicaties en octrooien. In beide gevallen staan het onderzoeken en ontwerpen onder prestatie- en tijdsdruk. Zij moeten de gevraagde resultaten opleveren binnen een bepaalde tijd en een bepaald budget.

Research en *development* zijn met bovenstaande beschrijvingen samen te vatten in de R&D-matrix (figuur 2). *Missie-gericht onderzoek* is tegenwoordig vooral het terrein van de publieke onderzoeksinstituten, waaronder de universiteiten. *Ontwerpend onderzoek* wordt gedaan door bedrijfsleven en publieke onderzoeksinstituten, waaronder universiteiten. *Toegepast onderzoek* is vooral het terrein van bedrijven en deels publieke onderzoeksinstituten zoals TNO. Universiteiten doen daar weinig aan (Lintsen 2012). *Integrerend ontwerpen* is het onderzoeksterrein van het bedrijfsleven en in beperkte mate van publieke onderzoeksinstituten zoals TNO.

Figuur 2: De R&D-matrix

	Research (generiek)	Development (specifiek)
Begrijpen (Know Why How to Know)	Missie-gericht onderzoek (publieke onderzoeksinstituten, waaronder universiteiten)	Toegepast onderzoek (bedrijfsleven en publieke onderzoeksinstituten zoals TNO)
Ontwerpen (Know How/ How to Do))	Ontwerpend onderzoek (bedrijfsleven en publieke onderzoeksinstituten, waaronder universiteiten en TNO)	Integrerend ontwerpen (bedrijfsleven en in beperkte mate de publieke onderzoeksinstituten zoals TNO)

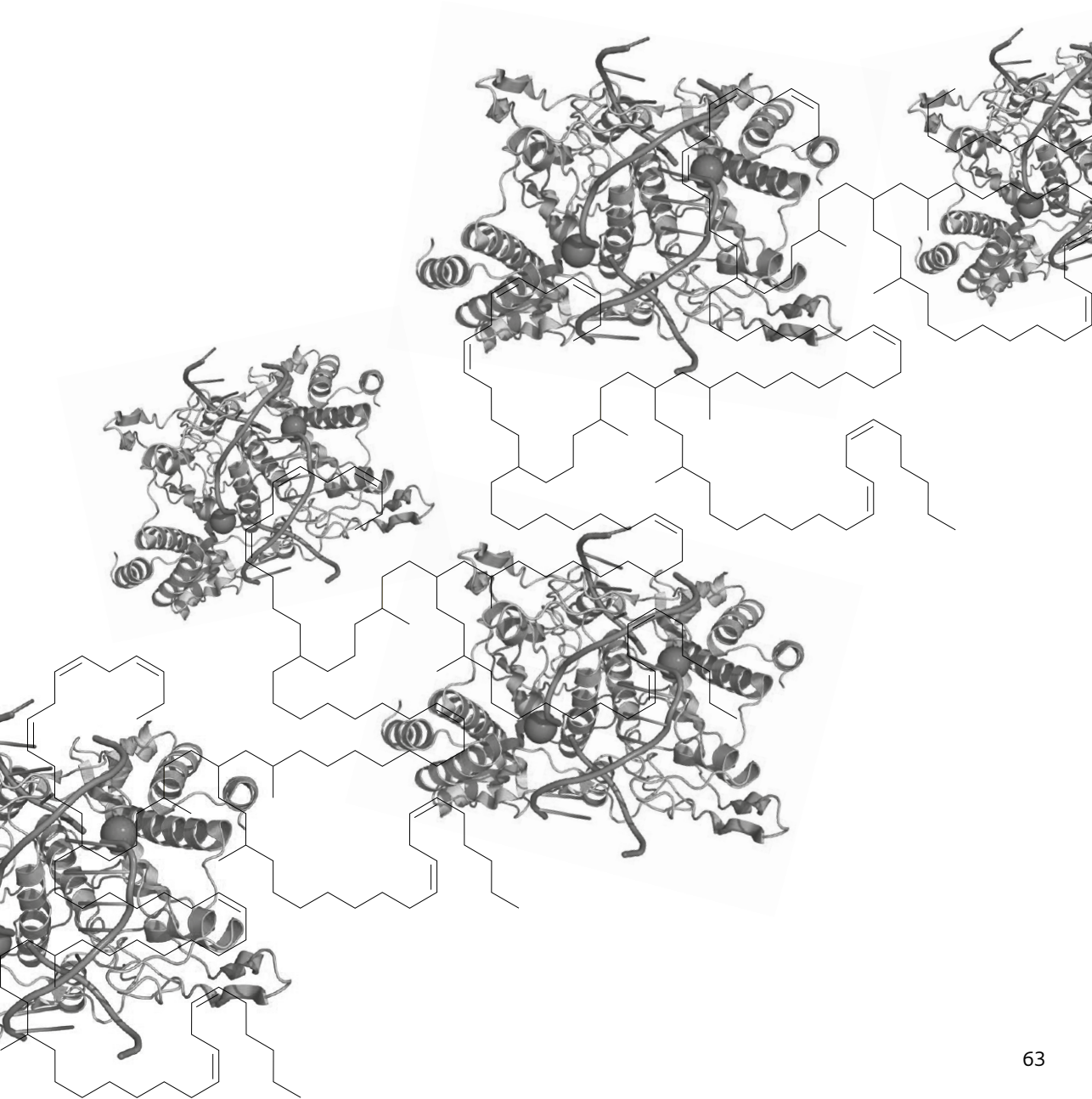
Het is niet altijd mogelijk om een onderzoeker, een onderzoeksgroep of een onderzoeksprogramma in één van de kwadranten onder te brengen. Zij hebben een profiel dat in een of meerdere kwadranten valt.

In de casussen, die we tot nu toe analyseerden, vonden R&D binnen een en dezelfde onderneming plaats (Hysomer en Hycon bij Shell en Nikkelkatalysator bij Unilever). De vraag is: wat betekent het voor een innovatieproces als R&D over ondernemingen, publieke onderzoeksinstituten en universiteiten zijn verdeeld. Daarover gaan de volgende twee hoofdstukken.



De katalysator
Van chemisch naar biologisch

Het onderzoek
Industrie, overheid en universiteit



De katalysator

Van chemisch naar biologisch⁷

De Amerikaanse onderzoekers, Stanley Cohen en Herbert Boyer, publiceerden in 1973 de basistechniek voor recombinant-DNA-technologie. Het was de aanzet tot een revolutie in de biotechnologie. Zij slaagden erin om de belangrijkste drager van erfelijke informatie - DNA - te manipuleren, waardoor de eigenschappen van organismen veranderden. De verwachtingen waren direct hoog gespannen. De erfelijke kenmerken van planten, dieren en andere organismen zouden op ongekende schaal aangepast kunnen worden. Aangepaste gewassen, nieuwe voedingsmiddelen, nieuwe medicijnen en nieuwe wasmiddelen lagen in het verschiet. De technologie zou net als bij de ontwikkeling van de computer een omwenteling betekenen voor de economie en het dagelijks leven.

Tegelijkertijd ontstond er maatschappelijke onrust. Immers, met de recombinant-DNA-technologie kon men soortgrenzen doorbreken die binnen de natuur onverbreekelijk waren. Het niet kunnen overwinnen van de soortgrens definieerde de biologische soorten. De veiligheid van de biotechnologie was daarmee niet op voorhand duidelijk. Een groep van hoofdzakelijk academische wetenschappers in de Verenigde Staten had zichzelf - en daarmee de wereld - een onderzoeksmoratorium opgelegd om eerst te evalueren wat de risico's van de nieuwe technologie waren. De druk om het moratorium op te heffen was groot, omdat er commerciële belangen op het spel stonden.

Daarnaast begon een debat over de bijwerkingen en de risico's van de gemanipuleerde producten. Vooral in relatie tot de landbouw en voeding zouden de discussies hoog oplopen.

Unilever reageerde alert. De biotechnologie raakte de kern van het bedrijf. Als producent van voedings- en wasmiddelen had Unilever altijd al gebruikgemaakt van de 'klassieke' biotechnologie. Bij Unilever leefde de verwachting dat de verkoop van producten op basis van de 'moderne' biotechnologie aan het eind van de 20ste eeuw zou kunnen oplopen tot 1 miljard dollar per jaar. De doelstelling van het bedrijf was enerzijds wereldleiderschap op het terrein van voeding en biotechnologie. Anderzijds streefde het bedrijf een sterke groei na bij wasmiddelen, *specialties* (zoals de katalysatoren zelf) en persoonlijke producten (voor huidverzorging, haarverzorging en dergelijke), waarbij de moderne biotechnologie voordelen zou opleveren. Voor ingewijden was duidelijk dat de biotechnologie een belangrijk aspect zou worden in de concurrentie om het aandeel in de wereldmarkt.

Unilever volgde nauwlettend het maatschappelijk debat. Zij kon zich niet permitteren, dat de consument risico's liep met zijn gezondheid en veiligheid. Tegelijkertijd bood de moderne biotechnologie kansen om het imago van de Unilever-producten te verbeteren, zelfs op het gebied van voeding. Het publiek zag Unilever in bepaalde opzichten als een chemisch bedrijf vanwege het veelvuldig

⁷ Literatuur en bronnen bij dit hoofdstuk staan achter in het boek.

gebruik van chemicaliën, bijvoorbeeld het gebruik van nikkelkatalysatoren bij de productie van margarine. Het publiek had al vroeg een voorkeur voor biologische boven chemisch-geproduceerde producten. De processen met chemische katalysatoren gebruikten bovendien vaak nogal wat energie omdat zij bij hoge temperatuur en druk moesten plaatsvinden. Daarentegen werden processen met biokatalysatoren als 'natuurlijk' ervaren en vonden zij bij voorkeur plaats onder voor biologische organismen normale condities: kamertemperatuur en atmosferische druk. Ook zijn biokatalytische reacties meer specifiek, waardoor er minder afvalproducten ontstaan. Maar de perceptie van de biotechnologie bij het grote publiek was die van een Janus-kop. Zij werd enthousiast ontvangen maar ook argwanend bekeken. De wijze waarop Unilever hiermee omging, is een apart verhaal, maar niet het onderwerp van dit hoofdstuk.

De vraag hier is de wijze, waarop Unilever zich de biotechnologie eigenmaakte. Er blijkt een opmerkelijk verschil te zijn met de casuïstiek in de vorige hoofdstukken. Het hysomerproces, het hyconproces en de nikkelkatalysator waren innovatieprocessen, die hoofdzakelijk binnen Shell en Unilever werden gerealiseerd. De rol van externe partijen was beperkt. Bij de nieuwe biotechnologie lag dat geheel anders. Al snel schakelde Unilever externe partijen in, waaronder de universiteiten. Daardoor ontstond er voor Unilever een nieuw soort praktijk, het open innovatiemodel. Wat was daarvan de achtergrond? Hoe werkte dat model? De samenwerking tussen het bedrijfsleven en universiteiten is tegenwoordig een belangrijk thema. Wat leert onze deze casus over die samenwerking? De focus is op enzymen als biokatalysatoren.

De klassieke biotechnologie wordt van oudsher toegepast bij het conserveren en bereiden van voedsel. Het betreft in het bijzonder het fermenteren van voedingsmiddelen om de houdbaarheid van voedsel te verlengen, de eetbaarheid te verhogen en de aantrekkelijkheid ervan te verbeteren. Voorbeelden daarvan zijn de luchtig gerezen structuur van brood, de consistentie en smaak van Goudse kaas, de viscositeit van yoghurt, de smaakversterkende werking van sojasaus en het mousserende karakter van diverse alcoholische dranken. Dergelijke sensorische aspecten zijn van groot belang voor de voedingstak van Unilever.

Enzymen (al of niet afkomstig van micro-organismen) spelen als biokatalysatoren een belangrijke rol bij de bereiding van een groot scala van voedingsmiddelen. Zo maken bakkers - zoals terloops genoemd - bij de vervaardiging van bakkersproducten dankbaar gebruik van enzymen. Deze kunnen al in de grondstoffen aanwezig zijn (bijvoorbeeld de alfa- en beta-amylases, die als zetmeel-splitsende enzymen in tarwemeel voorkomen) of daaraan toegevoegd worden onder andere vanuit schimmels. Deze zorgen in het deeg voor meer suikers, die door gist omgezet kunnen worden en waaruit kooldioxide ontstaat om het deeg te laten rijzen.

Bij wasmiddelen, een andere grote poot van Unilever, is het gebruik van enzymen als biokatalysatoren van recentere datum. In de jaren vijftig paste Unilever enzymen voor de eerste keer toe als 'vlekverwijderaars', maar dan alleen bij industriële toepassingen. In 1963 kwam de concurrent Kortman & Schulte in Nederland op de consumentenmarkt met Biotex, een enzymhoudend voorwasmiddel. Wasmiddelen waren in die tijd al ver ontwikkeld. Hardnekkige vlekken bleven echter een probleem voor

de huisvrouw vooral bij het wassen bij lagere temperatuur. Enzymen leken de oplossing en Unilever beantwoordde de innovatie van de concurrentie met enzymhoudende voorwasmiddelen zoals Luvil en Bio-Luvil. In Nederland bevatte een kwart van de voor- of hoofdwasmiddelen aan het einde van de jaren zestig enzymen.

Unilever kocht de enzymen van leveranciers als het Nederlandse Gist-Brocades (tegenwoordig onderdeel van DSM) en het Deense Novo Industri A/S (tegenwoordig Novozymes). Het Deense Novo was in 1925 opgericht. In de jaren vijftig had Novo zich gespecialiseerd in het verkrijgen van enzymen door fermentatie van bacteriën. In het begin van de jaren zestig verkreeg het bedrijf de rechten over een nieuw enzym. Het slaagde erin dat enzym op industriële schaal te produceren. Het vond met succes toepassing in het eerder genoemde voorwasmiddel Biotex.

Gist-Brocades was de grootste enzymleverancier in Nederland, opgericht in 1869 onder de naam Nederlandsche Gist- en Spiritusfabriek N.V. Eind jaren zestig fuseerde het bedrijf met de Koninklijke Pharmaceutische Fabrieken v/h Brocades, Stheeman & Pharmacia NV. Gist-Brocades maakte op twee manieren gebruik van micro-organismen. Op de eerste plaats produceerde het bedrijf levende micro-organismen als eindproduct, bijvoorbeeld het bakkersgist. Op de tweede plaats werden micro-organismen ingezet in fermentatieprocessen waaruit het bedrijf nuttige producten isoleerde, zoals antibiotica,

enzymen voor de zetmeelverwerkende industrie en enzymen voor de wasmiddelenindustrie. Dit was de uitgangssituatie, toen begin jaren zeventig de recombinant-DNA-technologie werd uitgevonden en daarna verder werd ontwikkeld. DNA ofwel desoxyribonucleïnezuur is de drager van erfelijke informatie in organismen. De codering voor eiwitten is neergelegd in stukken DNA, de zogenaamde genen. Door het modifieren van erfelijk materiaal - bijvoorbeeld door het inbrengen van een gen dat voor een enzym codeert - veranderen de eigenschappen van cellen en organismen. Op deze wijze kunnen enzymen met gewenste eigenschappen geproduceerd worden.

De werkwijze bestaat uit het isoleren van het gewenste gen en het eventueel aanpassen ervan. Daarna het inbrengen van het gen en vervolgens het tot expressie brengen in een cel of organisme (de gastheer). Daarvoor is een expressiesysteem nodig. Zo'n expressiesysteem bestaat deels uit een vector, dat wil zeggen een vehikel (bijvoorbeeld een virus of zogeheten plasmide) waarmee het genfragment wordt verplaatst naar een micro-organisme waarin dat overdrachtsvehikel wordt opgenomen om het daar tot expressie te brengen. De genetische informatie voor het eiwit - het coderende genfragment - wordt via boodschapper RNA vertaald in het gewenste eiwit. Omdat niet alle organismen succesvol gemodificeerd zullen zijn, moeten de goede worden gescheiden van de organismen, die het DNA niet hebben opgenomen. In de desbetreffende vector wordt dan ook vaak een selectie-element toe-

– Unilever Research & Development Vlaardingen besloot om zich de nieuwe technieken in een leerproces eigen te maken.

gevoegd - zoals resistentie tegen een bepaald antibioticum. Wanneer de micro-organismen vervolgens worden gekweekt in aanwezigheid van antibioticum, dan vermenigvuldigen de gemodificeerde micro-organismen terwijl de ongemodificeerde tot stilstand komen.

Unilever Research & Development Vlaardingen besloot om zich de nieuwe technieken in een leerproces eigen te maken.⁸ Het overbrengen van een gen naar een bacteriële gastheer, was een van de eerste technieken, waarmee de onderzoekers aan de slag gingen. Het moest het eiwit Thaumatine, een krachtige zoetstof, opleveren. Het onderzoek paste in het langjarig onderzoeksprogramma naar thaumatine van Vlaardingen. Reuk en smaak waren thema's waar Unilever een grote belangstelling voor had. In Vlaardingen werd naar het expressiesysteem gezocht om het gen voor het zoete planteneiwit in een *E. coli*-bacterie in te brengen, een bacterie die ook in de darm van een mens aanwezig is. Het principe van zo'n systeem was elders ontwikkeld en gepubli-

ceerd. Toch was het aanleren van de technieken een proces van vallen en opstaan. Bij thaumatine bleek een succesvol expressiesysteem uitermate complex. Uiteindelijk kregen de onderzoekers tegen 1981 de techniek onder de knie. Men zou de productie van thaumatine nog sterk verhogen door over te stappen van *E. coli* op bepaalde gistsoorten. In geval van *E. coli* werden per cel ongeveer 500 moleculen thaumatine geproduceerd; in het geval van gist - zo bleek - wel 30.000.⁹

De verworven competentie met betrekking tot eiwitproductie werd ook gebruikt bij een van de eerste enzymen, die het laboratorium in Vlaardingen via de gentechnieken in micro-organismen wilde produceren. Het ging om chymosine, een enzym voor de productie van kaas uit melk dat oorspronkelijk aanwezig is in de lebmaag van kalveren. De eerste fase van het onderzoek omvatte de isolatie van het chymosine-cDNA gen van het kalf.¹⁰ Vervolgens moest het gen aangepast worden en begon het zoeken naar het expressiesysteem. Het inbrengen van het gen in een bacterieel

⁸ In 1976 verscheen een rapport getiteld *A strategy for genetic research* en geschreven door G.W. Gould van het Engelse lab van Unilever in Colworth House en C.Th. Verrips van het Nederlandse lab in Vlaardingen. Verrips was in 1969 bij Unilever in dienst getreden en had eerst bij de afdeling Microbiologie gewerkt waar hij onderzoek deed naar de fermentatie van melk, een onderwerp waarop hij zou promoveren. Hij en Gould zagen voor Unilever Research op genetisch terrein veel mogelijkheden. Ze deelden potentieel onderzoek in, in twee groepen. De eerste categorie betrof het modifieren van planten om bijvoorbeeld de biosynthese van bepaalde stofwisselingsproducten te beïnvloeden. Zo kon in planten een hogere weerstand tegen ziektes worden ingebouwd en de voedingswaarde van bepaalde planten-eiwitten worden verhoogd.

De tweede onderzoekscategorie had betrekking op enzymen. Ten eerste werden kansen gezien voor de productie van enzymen in andere, dan de oorspronkelijke micro-organismen. Als voorbeelden werd gedacht aan eiwit-, zetmeel- en vetsplitsende enzymen. Ten tweede werd gekeken naar het gericht ingrijpen in de genen als dragers van erfelijke eigenschappen, om zodoende de fysische en biologische eigenschappen van enzymen te veranderen. In totaliteit zouden dergelijke werkwijzen *genetic engineering* worden genoemd. Toepassingen daarvan lagen binnen de voedingsmiddelen- en de wasmiddelenindustrie.

⁹ De eerlijkheid gebiedt wel te zeggen dat indertijd deze moleculen niet op zoetheid werden getest. De Vlaardingens-biotechnoloog Jan Maat vermoedt dat ze waarschijnlijk niet zoet waren omdat naderhand bleek dat het zoete thaumatine extreem complex is gevouwen. Het is niet waarschijnlijk dat het biotechnologische thaumatine indertijd die structuur bezat. I. Edens, I.J. Bom, A.M. Ledebor, J. Maat, M.Y. Toonen, C. Visser en C.Th. Verrips, *Synthesis and processing of the plant protein thaumatin in yeast* - P VD 83 3267 (1983).

¹⁰ cDNA is een DNA-copie van het boodschapper-RNA.

gebeurde met dezelfde basistechnieken als was ontwikkeld voor thaumatine. Ook hier gebruikten de onderzoekers de *E. coli*. Eind 1981 kon de leerfase van de chymosine-bereiding worden afgesloten met een octrooi-aanvraag. Daarna ging men op zoek naar andere gastheren. Vooral bakkersgist vormde een interessante kandidaat. Bakkersgist werd in de gentechnologie als veilig beschouwd volgens de zogenaamde GRAS-status: 'Generally Recognized As Safe'. Verder was er in de literatuur veel over de fysiologie van het organisme bekend en was er zowel buiten als binnen Unilever ruime ervaring met het kweken van bakkersgist op grote schaal.

Unilever stuurde het biotechnologisch onderzoek op een andere wijze aan dan na de oorlog gebruikelijk was. Toen bepaalde Unilever Research zelf het programma. In de jaren zeventig kwamen de middelen voor onderzoek onder druk te staan en ontstond er kritiek op de eenzijdige aansturing van het onderzoek door het laboratorium. Een van de maatregelen was de oprichting van een nieuw fonds, het Corporate Research & Engineering Fund. Het fonds werd beheerd door de Science & Technology Policy Group, die naar een nauwere samenwerking tussen research en de business zocht en nieuwe technologieën financierde, die zowel voor de bestaande business als voor nieuwe business interessant waren. In 1985 financierde het fonds een twintigtal scientist-teams met in totaal zo'n 70 medewerkers voor biotechnologisch onderzoek. Het was daarmee één van de grootste

onderzoeksinspanningen van Vlaardingen.

Er was nog een andere context, die het biotechnologisch onderzoek bij Unilever beïnvloedde. In de jaren zeventig was ook de besteding van publieke onderzoeksmiddelen, zoals aan universiteiten, onder druk komen te staan. De overheid wenste sturing te geven aan het door haar gefinancierde onderzoek en met name het maatschappelijk en economisch nut van het academisch onderzoek te verhogen. Zij besloot in 1980 op specifieke terreinen de samenwerking tussen universitaire instellingen en het bedrijfsleven expliciet te stimuleren. Daartoe richtten de ministeries van Onderwijs en Wetenschappen en van Economische Zaken de stuurgroep Innovatiegerichte Onderzoeks-Programma's (IOP's) op. Deze stuurgroep identificeerde de terreinen waarop samenwerking tussen universiteiten en bedrijfsleven binnen afzienbare tijd succesvol zou kunnen zijn. Op zes domeinen werden IOP's ingesteld waaronder biotechnologie.

In 1981 ging het Innovatiegerichte OnderzoeksProgramma Biotechnologie (IOP-b) van start. Naast universiteiten en hogescholen waren er ook andere publieke onderzoekinstellingen bij betrokken zoals TNO. Vanuit het bedrijfsleven waren de voedings- en genotmiddelenindustrie (bijvoorbeeld Unilever) en de fermentatie-industrie (enzymen, antibiotica, gist, et cetera; bijvoorbeeld Gist-Brocades) vertegenwoordigd. Tot 1992 werd er circa 130 miljoen gulden uitgetrokken voor de biotechnologie. De financiële overheidssteun per project kon oplopen van 30 tot 50% van de onderzoekskosten. Dit betekent dat het totale

- In 1981 ging het Innovatiegerichte Onderzoeks-Programma Biotechnologie (IOP-b) van start.

onderzoeksbedrag voor het Innovatiegerichte OnderzoeksProgramma Biotechnologie zich tussen de 260 en 390 miljoen gulden zal hebben bevonden. Door dit overheidsbeleid, gericht op innovatie en samenwerking in de biotechnologie, raakten onderzoekers van Unilever in Vlaardingen betrokken bij het academische biotechnologisch onderzoek en zouden diverse van hen de stap naar de academische wereld zetten. Vlaardingen had contacten met zeker zeven universiteiten.¹¹ Doordat Vlaardingse biotech-wetenschappers als adviseurs, bestuursleden of docenten betrokken waren bij de belangrijkste centra van de biotechnologie in Nederland, konden samenwerkingsverbanden gecreëerd worden en gezamenlijke onderzoeksprojecten geëntamerd worden.

Een van de projecten was *enzyme engineering* van wasmiddelenzymen, dat aan het begin van de jaren tachtig startte. Daarin werkten Gist-Brocades, Unilever Research en de Rijksuniversiteit van Groningen samen. Ieder van de

partijen had zijn eigen expertise. Gist-Brocades bracht kennis in van de selectie en productie van enzymen. Vlaardingen zorgde voor expertise van gentechnologie van wasmiddelen-enzymen en van de productevaluatie in een praktische context zoals het feitelijke wassen. Groningen leverde de biofysische technieken. Groningen had op dit terrein een expertisecentrum opgebouwd: het BIOSON-instituut. Het beschikte over röntgenkristallografische apparatuur en computers om structuuranalyses van omvangrijke biomoleculen uit te voeren, en had met dit onderzoek inmiddels wereldfaam opgebouwd. Over het intellectuele eigendom werd afgesproken dat Unilever de wereldwijde rechten zou verkrijgen op verbeterde enzymen en dat Gist-Brocades, gedurende een beperkte periode, de exclusieve leverancier van de gemodificeerde enzymen voor Unilever zou zijn.

Enzyme engineering bestond uit een onderzoeksproces met drie onderdelen: het biochemisch werk, de structuuranalyse van het enzym en de gentechnologie in brede zin.

¹¹ Dit zijn: het *BioCentrum Amsterdam* (een samenwerkingsverband tussen de Universiteit van Amsterdam en de Vrije Universiteit van Amsterdam op het terrein van biochemisch, moleculair en cellulair biologisch onderzoek); *Biotechnologie Delft Leiden* (een samenwerkingsverband tussen de Technische Universiteit Delft en de Universiteit Leiden onder andere voor fysiologisch onderzoek naar melkzuurbacteriën); het *Instituut voor Moleculaire Biologie en Medische Biotechnologie van de Universiteit Utrecht* (samenwerking onder andere op het onderzoek naar cellulases voor de broodbereiding); *Biotechnologie aan de Landbouw Universiteit te Wageningen* (De Landbouw Universiteit Wageningen benoemde in het begin van de jaren tachtig de biotechnologie tot hoofdaandachtspunt van het wetenschappelijk onderzoek. In het begin van de jaren negentig waren ongeveer 250 voltijdse onderzoekers werkzaam in de biotechnologie. De hoofdonderwerpen waaraan werd gewerkt waren: Plant cells and Animal cells; Biocatalysis; Environmental biotechnological technology; Food biotechnology and Food processing; Plant production; Animal production; en Biosafety); *Groningen Biotechnology Centre* (Het biotechnologisch onderzoek van de Rijksuniversiteit Groningen werd uitgevoerd binnen het Groningen Biotechnology Centre (GBC) en het BIOSON-instituut. Het GBC dat in 1981 werd opgericht had zijn wortels in de laboratoria van Biochemie, Moleculaire Genetica, Microbiologie, Organische Chemie en de Technische Chemie. De groepen die onderzoek deden naar de structuur van eiwit waren verbonden met het BIOSON-instituut. Dit in 1985 opgerichte instituut was een samenwerkingsverband tussen de Groningse universiteit en de stichting Scheikundig Onderzoek in Nederland (SON). Die samenwerking was noodzakelijk gebleken omdat structuuronderzoek van macromoleculen enorme kapitaalsinvesteringen vereiste dat niet via de reguliere subsidies toegekend konden worden. Het Groningse onderzoek rond *protein engineering* stond onder leiding van de hoogleraren Jan Drenth en Wim Hol en nam een centrale plaats in binnen het nationale programma voor de biotechnologie. Ook internationaal had het een hoge status.)

Eerst werd een keuze gemaakt voor het enzym dat men wilde aanpassen. Dit enzym werd vervolgens in een aanzienlijke hoeveelheid geproduceerd en gezuiverd door Gist-Brocades. Voor de structuuranalyse werd in Groningen het enzym gekristalliseerd. Dat was noodzakelijk om er röntgendiffractietechnieken op toe te kunnen passen. De kristallisatie vormde vaak een *bottleneck* in het onderzoek omdat niet alle eiwitten zich gemakkelijk lieten kristalliseren. De techniek voor het verkrijgen van goede enzymkristallen had men alleen in het BIOSON-instituut goed in de vingers. Het instituut werkte aan meerdere enzymen parallel, zodat het onderzoek voort kon gaan als een van de kristallisaties mislukte. Goede kristallen werden onderzocht met röntgendiffractie. Kernspinresonantie was een andere techniek die gebruikt werd voor het ontwikkelen van inzicht in 3D-structuren en substraat-enzym interacties.

Parallel aan de structuurstudies in Groningen vond structuur-functie onderzoek van het wasmiddelenzym plaats. Dat geschiedde in Vlaardingen. Het specifieke eiwit-gen werd geïsoleerd en gericht gemodificeerd om de functies te verbeteren. De onderzoekers richtten zich hierbij op hogere activiteit en op stabiliteit van het enzym. Zij moesten vervolgens het expressiesysteem ontwikkelen, dat bij het gen paste. Indien dat lukte, vond de productie van het specifieke enzym in het micro-organisme plaats. De hiervoor benodigde expertise had Vlaardingen opgebouwd met het werk aan thaumatine en chymosine.

In de ogen van Vlaardingen verliep de structuuranalyse in Groningen tergend langzaam. Voor Unilever was er haast geboden want men had informatie dat de Amerikaanse firma Genentech Inc. een enzym aan het octrooieren was, dat een mogelijke concu-

rent kon worden. En ongetwijfeld was ook enzymleverancier Novo actief op het terrein van de *engineering* van wasmiddelenzymen. Vlaardingen had echter geen informatie over de stand van zaken bij dat bedrijf.

In vervolgonderzoek bleek rond 1985 dat een groep lipasen gedefinieerd en geïsoleerd kon worden die met name gericht waren op verwijdering van vetvlekken. Unilever koos ervoor om met het lipase uit *Pseudomonas gladioli* (*P.gladioli*-lipase) verder onderzoek te doen. Productie, zuivering en isolatie vond op proeffabriekschaal (150 liter) plaats. In 1989 lukte het in experimenten een productie van 2000 liter te bereiken. Deze hoeveelheid was voldoende om toepassingen in wasmiddelen te bestuderen.

Hoewel Unilever bezig was met een nieuw enzym, stond het iedere keer voor de vraag: diende het bedrijf de enzymen zelf te ontwikkelen en te produceren? Het vinden en octrooieren van een optimaal enzym voor een bepaalde toepassing was al niet eenvoudig. Daarna moest er voldoende enzym worden geproduceerd om producttesten uit te voeren. Dan was er nog de moeizame weg van de eigenlijke productie. Als Unilever de uiteindelijke productie van het enzym dan niet zelf ter hand nam, dan moesten derden enthousiast gemaakt worden om dat voor Unilever te doen.

Unilever moest dus voortdurend strategisch optreden. Zij zocht contact met diverse enzymleveranciers om de *P.gladioli*-lipase te produceren. Ook enzymproducent Novo werd benaderd. Deze had in 1988 het enzym Lipolase, eveneens behorend tot de groep vetsplitsende enzymen, op de markt gebracht. Uit vergelijkend onderzoek tussen de twee lipasen in verschillende wasmiddelen en onder verschillende wascondities bleek, dat de *P.gladioli*-lipase zekere voordelen had en

voor bepaald type wasmiddelen gebruikt kon worden. De productie van het enzym stuitte echter op diverse hindernissen. Zo verliep het vinden van een efficiënt producerend micro-organisme (de gastheer) moeizaam en was de opschaling van het fermentatie- en zuiveringsproces problematisch. Inmiddels was Novo er in geslaagd zijn lipolase in grote hoeveelheden in genetisch gemodificeerde *Humicola lanuginosa* te produceren zodat dat product opkwam als een geduchte concurrent.

Uiteindelijk kwam Unilever Research in het midden van de jaren negentig tot de conclusie dat de recombinant-DNA-technologie, enzyme engineering en de productie van daarmee verkregen enzymen, beter kon worden overgelaten aan de traditionele enzymproducenten. De expertise van Unilever Research op het gebied van wasmiddelenzymen lag aan de toepassingskant: het zoeken naar een optimaal presterend wasmiddel met enzymen. Aldus besloot Unilever de Lipolase van Novo in te kopen. In Vlaardingen werd onderzocht hoe de samenstelling van het wasmiddel kon worden geoptimaliseerd om toch een *in-wash* effect van het lipase te verkrijgen. De precieze samenstelling van de oppervlakte-actieve stoffen in het wasmiddel bleek daarbij belangrijk te zijn zoals uit eerder werk al bekend was.

Enzyme engineering voor wasmiddelen leidde bij Unilever nauwelijks tot succesvolle eigen innovaties. Zelfs met de hulp van Gist-Brocades en de Rijksuniversiteit van Groningen lukte dat niet, hoewel innoveren uitdrukkelijk één van de

doelstellingen was van de samenwerking. Een innovatie is moeilijk af te dwingen, zoals dit boek herhaaldelijk laat zien. Overigens kende de *enzyme engineering* bij Unilever wel degelijk successen.

Zo slaagden onderzoekers erin om een eiwit te produceren, dat de groei van ijs-kristallen en de structuur van ijs beïnvloedde. Waterijsjes smolten met dit eiwit langzamer, ook in warmere landen. Zij hielden de kleur langer vast en gaven de smaak over een langere periode van de consumptie af. De doorbraak kwam in Amerika, niet in de laatste plaats omdat de Amerikanen minder afwijzend stonden tegenover genetische modificatie van voedingsproducten. In dit geval slaagde Unilever er ook in om de opschaling tot een goed einde te brengen.

Voor de opschaling had het multinationale bedrijf begin jaren negentig een apart centrum opgericht, het Biotechnology Application Centre. Een getransformeerde cel, een enzym of een eiwit, welke op laboratoriumschaal zo aantrekkelijk leek, was - zoals we zagen - veelal op technische schaal lastig te produceren. Het centrum pakte deze blokkades tot economisch succes op een systematische manier aan.

Het creëren van innovaties was niet de enige reden van Unilever om volop te investeren in biotechnologie. Het verwerven van competenties in deze sleuteltechnologie was een absolute vereiste. De onderneming moest in staat zijn de wetenschappelijke en technische ontwikkelingen te beoordelen op de relevantie voor de eigen bedrijfsvoering.

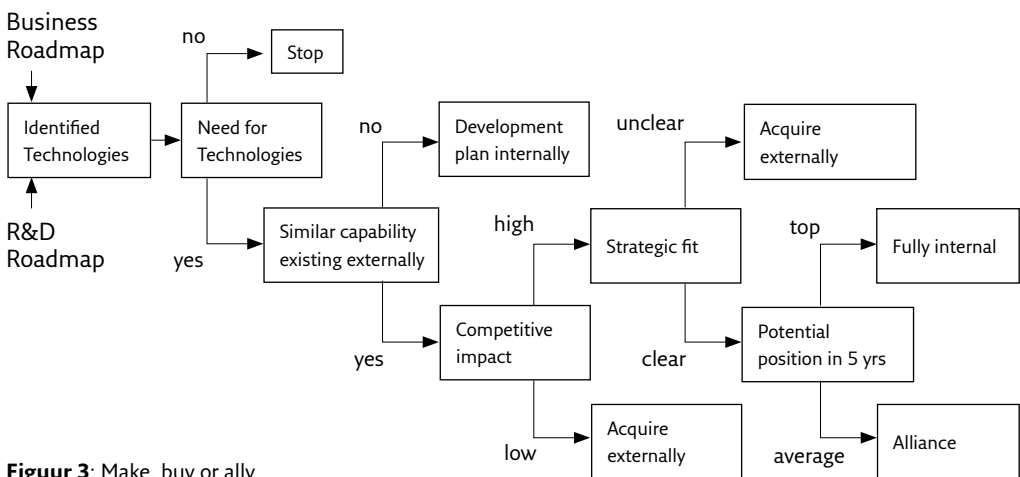
- Voor de opschaling had het multinationale bedrijf begin jaren negentig een apart centrum opgericht, het Biotechnology Application Centre.

Zij moest de prestaties van concurrenten en toeleverende bedrijven op biotechnologisch gebied kunnen evalueren. Zij diende in staat te zijn om biotechnologische innovaties door buitenstaanders - bijvoorbeeld via licenties - in de eigen productie en producten te integreren. Ook in het kader van de risicodiscussie rond de genetische modificatie was eigen expertise voor Unilever vereist. En ten slotte, maar zeker niet als laatste punt, Unilever had in de biotechnologie een academische status op te houden. Dat vormde namelijk de basis voor samenwerking met de universiteiten.

Samenwerking in biotechnologisch onderzoek - de *New Biotechnology* - bleek een noodzaak. Het terrein was te uitgebreid en te complex om dat als onderneming zelfstandig, zelfs niet als multinational, te dekken. De samenwerking met universiteiten, industriële laboratoria en andere kennisinstellingen werd meer dan voorheen gezocht en op een strategische wijze aangegaan. Bijgaand schema uit de Unilever-archieven is een voorbeeld van een beslisboom om de eigen research- en businessstrategie te koppelen aan het besluit om het zelf te gaan doen of om allianties te vormen.

Het schema illustreert dat het raadzaam is onderzoeksexpertise van buiten te verwerven indien de competitieve impact laag is of dat het onduidelijk is of het past in de eigen strategie. In het geval dat wordt verwacht dat de eigen onderzoekspositie op de middellange termijn niet leidend zal zijn, lijkt het beter om samenwerking te zoeken. Een volledig interne ontwikkeling zou dan moeten worden nagestreefd, indien Unilever verwacht leidend te kunnen worden.

Een dergelijke beslisboom verhelderde weliswaar de te nemen beslissingen, maar zei weinig hoe te komen tot verantwoorde inschattingen. Wanneer Unilever Research in 1980 deze beslisboom met betrekking tot de recombinant-DNA-technologie, *enzyme engineering* en Biotech-fermentaties had moeten doorlopen, dan waren er weinig zekerheden in de besluitvorming geweest. Wel was duidelijk geworden, dat Unilever Research zich in de nieuwe technologie móest begeven om beslissingen op zo verantwoord mogelijke wijze te kunnen nemen en om - wanneer het nodig was - zo voordelig mogelijk R&D-allianties aan te gaan.



Figuur 3: Make, buy or ally

Het onderzoek

Industrie, overheid en universiteit

Na de Tweede Wereldoorlog vond een groot deel van het katalyse-onderzoek plaats bij de grote multinationals met name Shell, Unilever, DSM en AKU (nu AkzoNobel). Zij beschikten over uitgebreide onderzoeksfaciliteiten, die de vier typen onderzoek van het R&D quadrant mogelijk maakten (zie hoofdstuk 'Het onderzoek: laboratorium versus praktijk). Onderzoeks- en innovatieprocessen werden in de onderneming op elkaar afgestemd. Onderzoeken en innoveren waren in belangrijke mate een bedrijfsintern gebeuren. Er wordt in dat verband gesproken van een geïntegreerd innovatiepatroon (Davids, Lintsen en Van Rooij 2013). Universiteiten speelden in het katalyse-onderzoek en bij een dergelijk innovatiepatroon een ondergeschikte rol. Hysomer en Hycon waren hiervan voorbeelden.

Vanaf de jaren tachtig ziet de situatie er anders uit. Universiteiten zijn belangrijke delen van het katalyse-onderzoek voor hun rekening gaan nemen. De overheid is beleid gaan ontwikkelen om het katalyse-onderzoek te stimuleren. Er zijn organen gekomen om het katalyse-onderzoek te coördineren en te sturen. Allianties van universiteiten, instituten en bedrijven doen delen van het onderzoek uit het R&D quadrant. Het innovatieproces heeft een open karakter gekregen - ook bij de grote multinationals - door de betrokkenheid van verschillende partijen. Er wordt wel gesproken van het open of pluriforme innovatiepatroon. Het zoeken naar nieuwe en verbeterde enzymen voor wasmiddelen bij Unilever is een typerend voorbeeld van deze veranderde relatie tussen industrie, overheid en universiteit op het gebied van de katalyse.

Twee vragen staan in dit hoofdstuk centraal. Allereerst: wat zijn de achtergronden van de institutionele veranderingen in het katalyse-onderzoek? Op de tweede plaats: wat voor gevolgen hebben deze veranderingen voor de afstemming van onderzoeks- en innovatieprocessen? Zoals uit het verhaal van Unilever blijkt, verlopen dergelijke processen niet vlekkeloos. Wat zijn de problemen? Welke spanningen doen zich voor tussen de verschillende partijen?

De veranderde relatie tussen industrie, overheid en universiteit is niet uniek voor het katalyse-onderzoek, maar heeft zich over de volle breedte van het Nederlandse onderzoeksveld voltrokken (Homburg 2003). Daarvoor zijn diverse oorzaken aan te wijzen.

Allereerst had het onderzoek van het Nederlandse bedrijfsleven in de naoorlogse periode stevig geleund op de (zeer) grote ondernemingen. Tachtig procent van alle R&D-inspanningen van het Nederlandse bedrijfsleven kwam van ondernemingen met meer dan 1000 werknemers. De vijf grote multinationals (Philips,

Shell, Unilever, Akzo-Nobel en DSM) namen zelfs circa 70 procent van het totaal voor hun rekening. Hun ongekende budgetten voor R&D kwamen echter intern onder vuur te liggen. Door de stijging van de lonen in de jaren zestig stegen ook de onderzoekskosten sterk. Tevens raakten vele markten verzadigd en kwamen de multinationals in problemen door de verscherpte, internationale concurrentie. De winstmarges slonken in snel tempo. De beroerde economische situatie van de jaren zeventig en tachtig zette de research onder druk. Bedrijven moesten pas op de plaats maken en dat gold ook voor hun laboratoria en het katalyse-onderzoek.

Op de tweede plaats kwam de publieke onderzoeksinfrastructuur ter discussie te staan. In politieke en ambtelijke kringen ontstond het concept van de 'maakbare samenleving' (Lintsen en Velzing 2012). De overheid moest sturend op gaan treden, zo ook voor het door haar gefinancierd onderzoek. Illustratief was de benoeming van de eerste minister (zonder portefeuille) voor wetenschapsbeleid in 1971. Het kabinet-Den Uyl trok in 1973 de lijn door en kondigde aan zijn wetenschapsbeleid af te stemmen op de prioriteiten van de samenleving. Dat werd een jaar later verwoord in de *Nota Wetenschapsbeleid*. Die prioriteiten kregen in de loop van de jaren een duidelijke economische invulling.

Grote invloed had de publicatie van *De Innovatienota* in 1979. De stelling was, dat Nederland nog alleen internationaal kon concurreren met hoogwaardige arbeidsplaatsen en hoogwaardige producten en diensten. Het document voerde een krachtig pleidooi voor het centraal stellen van innovatie. Het zette ook een punt achter een *technology push* benadering. Niet wetenschap en technologie dienden centraal te staan, maar door markten gedreven innovaties. Deze lijn werd doorgezet in het rapport van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid *Plaats en Toekomst van de Nederlandse Industrie* uit 1980 en van de Commissie Wagner *Een nieuw industrieel elan* uit 1981. Geen defensieve politiek gericht op problematische bedrijven, maar offensief beleid gericht op het bevorderen van innovaties.

De gevolgen voor de publieke onderzoeksinfrastructuur waren verstrekkend. Zo verloor ZWO (de Nederlandse Organisatie voor Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek) het adjectief Zuiver en werd veranderd in NWO (de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek) [cursivering - auteurs]. Zij moest maatschappelijk relevant onderzoek *initiëren*. Een aparte NWO stichting - namelijk de Stichting Technische Wetenschappen (STW) - selecteerde samen met potentiële gebruikers projecten op het technologisch domein onder andere op

- De beroerde economische situatie van de jaren zeventig en tachtig zette de research onder druk.

potentieel nut. De universiteiten kregen te maken met evaluaties van hun onderzoek, waarbij maatschappelijke relevantie een belangrijk criterium werd (Van Drooge e.a. 2013).

De universiteiten veranderden om nog een andere reden. Aanvankelijk zagen de overheidsfinanciën er nog rooskleurig uit dankzij de aardgasopbrengsten. In de jaren tachtig moest echter ook de overheid ingrijpend bezuinigen en haar beleid ombuigen. De universiteiten kregen te maken met bezuinigingsoperaties zoals Taakverdeling en Concentratie (1981-1983) en Selectieve Krimp en Groei (1986-1990). De academische wereld werd gedwongen de 'markt' op te gaan om extra inkomsten te verwerven.

Dat lag voor een aantal vakgebieden iets anders. Daarmee komen we aan een - voor katalyse - specifieke oorzaak voor de veranderde relatie tussen industrie en universiteit. De universiteiten hadden na de oorlog grote moeite gehad om nieuwe kennisdomeinen, die door de industrie werden ontsloten, op te pakken (Van Helvoort 2005). Grote bedrijven zoals Shell, Unilever en Philips investeerden om deze reden niet alleen in eigen onderzoek, maar al vroeg ook in universitair onderzoek. Zij betaalden deeltijdhoogleraren, onderzoekers en promovendi. Het vakgebied katalyse werd op deze wijze aan de universiteiten opgebouwd. Vanaf het einde van de jaren zeventig hadden de Nederlandse universiteiten sterke posities op disciplines van belang voor deze vakgebieden. Daarom was het voor grote bedrijven niet meer nodig om intern een brede onderzoeksinfrastructuur in stand te houden en konden zij het missie-gericht onderzoek afstoten naar de universiteiten. Het katalyse-onderzoek op de universiteiten werd omvangrijk en mede gezichtsbepalend voor de Nederlandse chemie.

De uitkomst van al deze processen was een gedaanteverandering van de universiteit na 1980, namelijk van een onderwijs- naar een onderzoeksuniversiteit (Lintsen en Schippers 2006). Universiteiten waren voorheen vooral onderwijsinstituten die nagenoeg geheel werden gefinancierd door het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen. Het onderzoek was in belangrijke mate onderwijsgebonden. Laboratoria hadden sterk het karakter van practicumlokalen. Onderzoek was doorgaans geen doel op zichzelf, maar diende het onderwijs. Het onderzoek was kleinschalig georganiseerd rond een leerstoel met enkele medewerkers en promovendi. Het ging hoofdzakelijk om individuele onderzoeksprojecten. De verhoudingen waren informeel.

Na 1980 ontwikkelde de universiteiten zich tot onderzoeksuniversiteiten. Het onderzoek werd veel minder onderwijsgebonden en kende een eigen dynamiek. Het kreeg zijn vorm in de competitieve omgeving van de zogenoemde tweede geldstroom (subsidies van NWO en STW) en de derde geldstroom (andersoortige subsidies en onderzoekscontracten). Deze geldstromen bestonden naast de eerste geldstroom (die van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap) en financierden een substantieel deel van het universitair onderzoek. Zo kwam

rond 1980 circa 75 procent van alle onderzoeksinspanning (in mensjaren) aan de Technische Universiteit Eindhoven uit de eerste geldstroom. In 2005 was dit percentage teruggevallen naar 40 procent, terwijl de tweede geldstroom was toegenomen van circa 15 procent naar 25 procent en de derde geldstroom van circa 10 procent naar 35 procent.

In deze ontwikkeling veranderde ook het imago van het zogenaamde fundamenteel onderzoek en dat zorgde voor verwarring over de aard ervan. De grote bedrijven, die na de oorlog hoog hadden opgegeven van fundamenteel onderzoek, lieten zich nu kritisch uit. Het had als bedrijf weinig zin om daarin te investeren. Het zou academisch onderzoek betreffen, hobbyïsme van onderzoekers. Het ging om onderzoek dat nauwelijks op de praktijk gericht was. Het was duur onderzoek dat nauwelijks iets opleverde. Het leverde mogelijk op de lange termijn iets op, maar zelfs dat was onzeker. Een dergelijke kritiek is goed te verklaren vanuit de noodzaak van bedrijven om bepaald type onderzoek af te bouwen en vanuit hun mogelijkheid om dat type onderzoek (zoals op het gebied van katalyse) elders te laten verrichten.

Daarentegen hadden de universiteiten een beeld van fundamenteel onderzoek nodig, dat hun beschermd tegen te grote invloed van overheid en bedrijfsleven. Voor hen was fundamenteel onderzoek het door nieuwsgierigheid gedreven onderzoek. Dergelijk onderzoek was in hun ogen op langere termijn de belangrijkste bron van vernieuwing. Vrije onderzoekers op zoek naar de wetmatigheden in de natuur zouden zorgen voor wetenschappelijke doorbraken, die de basis vormden van radicale innovaties, economische groei en maatschappelijke ontwikkeling. Het was dus zaak om een behoorlijk deel van het universitair onderzoek buiten de invloedssfeer van economie en politiek te houden. In feite zouden de universiteiten primair het fundamentele onderzoek moeten doen.

Op beide beelden is veel af te dingen. In een eerder hoofdstuk is een onderscheid gemaakt tussen fundamenteel en missie-gericht onderzoek. Fundamenteel onderzoek, zoals in deze monografie gedefinieerd, is slechts weggelegd voor een select aantal onderzoeksterreinen bijvoorbeeld dat van de astronomie of van de elementaire deeltjes. Het grootste deel van het zogenaamde fundamenteel onderzoek bestaat uit missie-gericht onderzoek in die zin, dat het een economische en maatschappelijke oriëntatie kent. Dat geldt zowel voor het zogenoemde fundamenteel onderzoek in de grote industriële laboratoria als aan de universiteiten.

Wat betreft het universitair onderzoek, dat heeft gedurende de geschiedenis altijd een belangrijke economische en maatschappelijke oriëntatie gekend. Voor zover er in de 19^{de} eeuw op de universiteiten aan onderzoek werd gedaan, haalden hoogleraren en onderzoekers hun inspiratie uit het lidmaatschap van maatschappelijk geëngageerde genootschappen en uit hun informele netwerken met ondernemers en overheidsfunctionarissen. Een studie naar wetenschapsbeelden in de 19^{de} eeuw draagt dan ook de titel 'Nut en nog eens nut' (Theunissen 2000).

Vanaf de laatste decennia van de 20^{ste} eeuw komt er een nieuw element bij en dat is het beïnvloeden van het universitair onderzoek door overheid en industrie. Onderzoekers wordt gevraagd naar de maatschappelijke relevantie van het onderzoek. Subsidiegevers maken van maatschappelijke relevantie een criterium voor het verstrekken van onderzoekssubsidies. Opdrachtgevers wensen relevante resultaten van contractresearch.

Waar het in deze discussie vooral om gaat, is autonomie en daarmee zijn we gekomen aan de tweede vraagstelling van dit hoofdstuk. Wat zijn de gevolgen van de veranderde relatie tussen industrie, overheid en universiteiten voor onderzoek en innovatie? Tot de jaren tachtig van de vorige eeuw waren onderzoekers en universiteiten in belangrijke mate autonoom op onderzoeksgebied. Zij bepaalden de aard van het universitair onderzoek. Sindsdien is het universitair onderzoek onderdeel geworden van een breder publiek en privaat onderzoeksbeleid. Samenwerking, kennisuitwisseling en het afstemmen van onderzoeksplannen zijn onderdelen geworden van onderzoeks- en innovatieprocessen. Wetenschappers, ondernemers, overheidsambtenaren en politici overleggen over belangen en behoeften en onderhandelen over middelen en opbrengsten. Verschillende beleidsinstrumenten worden ingezet om dit te bevorderen. Dat brengt een serie problemen en spanningen met zich mee, die we hier verder bekijken. Daarbij keren we terug naar het terrein van de katalyse.

Een van de eerste beleidsinstrumenten was het Innovatiegerichte Onderzoekprogramma (IOP). In 1979 werd het geïntroduceerd door het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en in 1983 ondergebracht bij het ministerie van Economische Zaken (Velzing 2013). Het IOP had tot doel om 'via een programmatische aanpak het fundamenteel-strategisch onderzoek bij de publieke kennisinfrastructuur te versterken in een richting die aansloot bij de innovatiebehoeften van het bedrijfsleven'. Tot 2010 waren er 26 IOP's, waarvan de omvang varieerde tussen de 4,5 miljoen en 27 miljoen euro. In totaal gaf Economische Zaken 370 miljoen euro uit aan het programma, dat in 2010 stopte. In het Innovatiegerichte Onderzoekprogramma biotechnologie (IOP-b, 1981-1990) was de biokatalyse een belangrijk onderzoeksgebied en in het Innovatiegerichte Onderzoekprogramma katalyse (IOP-k, 1989-2001) stond de heterogene en vooral de homogene katalyse centraal.

- Waar het in de discussie over fundamenteel onderzoek vooral om gaat, is de autonomie van de onderzoeker.

Bij de evaluatie van de programma's in 2004 speelden drie criteria een belangrijke rol: netwerkvorming, vraaggerichte kennisontwikkeling en kennisoverdracht (Evaluatie 2004). Wat betreft het eerste criterium bleken de IOP's te beantwoorden aan de doelstelling. Bij de IOP-katalyse waren 30 bedrijven en 9 universiteiten betrokken. Zij namen deel aan begeleidingscommissies, themabijeenkomsten, workshops, seminars en dergelijke. Deels leverde dat een bestending van bestaande netwerken op, deels ging het om de vorming van nieuwe informele netwerken en van één formeel netwerk.

Wat betreft kennisontwikkeling waren de IOP's deels een succes. Op de IOP-projecten werden vooral promovendi ingezet en dat leverde bij IOP-katalyse 78 proefschriften op (op een totaal van 82 projecten, 88 onderzoekers en een budget van 12 miljoen euro). Dat kan zonder meer een mooi 'rendement' genoemd worden. Daarnaast verschenen er talrijke wetenschappelijke publicaties. Het *vraaggerichte* karakter was echter problematisch. Sloot de kennisontwikkeling voldoende aan bij de behoeften van het bedrijfsleven? Dat moest tot uitdrukking komen bij de keuze van de thema's en de selectie van de projecten. De betrokkenheid van het bedrijfsleven was echter tamelijk 'vrijblijvend' en nam in de loop van de projecten zelfs af. Het waren vooral de onderzoekers, die hun stempel drukten op het programma. In de IOP-katalyse werd geëxperimenteerd met 'industriële A4-tjes'. Hierin gaven bedrijven dan aan welke onderzoeksbehoeften zij hadden terwijl aan de hand daarvan universitaire onderzoekers werden 'uitgedaagd' om hier invulling aan te geven. Maar dat had een beperkt effect.

Nog problematischer was de evaluatie met betrekking tot kennisoverdracht. In kennisoverdracht naar het bedrijfsleven werd flink geïnvesteerd. De persoonlijke kennisoverdracht gebeurde via de bijeenkomsten van de begeleidingscommissies, de deelname aan workshops, het bezoeken van de deelnemende bedrijven en universiteiten en andere activiteiten rond het project. Verder verliep kennisoverdracht via publicaties, nieuwsbrieven, websites, CD-rom's et cetera.

Kennisoverdracht bij de IOP's was echter geen doel op zichzelf. Het ging het ministerie van Economische Zaken speciaal om het bevorderen, liefst het realiseren van innovaties. In termen van octrooien en nieuwe bedrijvigheid was de oogst - volgens het evaluatierapport - mager. IOP Katalyse leverde drie startende bedrijfjes en twaalf octrooien op. Voorbeelden van verdere spin offs konden

- De inzet van nieuw beleidsinstrumentarium van Economische Zaken was dan ook om de inbreng van het bedrijfsleven op alle mogelijke manieren te intensiveren.

nauwelijks genoemd worden. Als verklaring gaven de deelnemers, dat het merendeel van de IOP projecten toch vrij 'fundamenteel' van aard was, waarbij '(dus) ook niet verwacht kan worden dat zich daaruit direct al harde economische *spin-offs* zullen manifesteren.' (Evaluatie 2004, 54)

Naast de directe bijdragen aan innovaties evalueerde men ook de indirecte bijdragen en de bijdragen aan het innovatieve vermogen van het bedrijfsleven. In dat opzicht waren de conclusies van de evaluatie positiever, maar ook vager. De IOP's voldeden aan een aantal strategische doelstellingen van het bedrijfsleven met name netwerkvorming, het verkennen van technologiegebieden en het beïnvloeden van het 'fundamenteel' onderzoek. Opmerkelijk was het motief, dat IOP-projecten de 'gaten' opvulden in de kennisopbouw van een bedrijf door de bezuinigingen op R&D. Daarnaast gaf het evaluatierapport nog een interessante aanvulling. Doorstroming van de IOP onderzoekers naar het bedrijfsleven zou ook bij kunnen dragen aan innovatieprocessen. Van de 88 onderzoekers in het IOP Katalyse vonden 48 een werkring in het bedrijfsleven (en 20 in kennisinstellingen). Daarbij werd wel opgemerkt, 'dat van de vele promovendi er maar een gedeelte, mogelijk maar een klein gedeelte, de rest van zijn/haar leven op het gebied van de katalyse werkzaam zal zijn.' (Evaluatie 2004, 60)

De IOP's kenden -zo werd in 2004 geconstateerd- twee problemen: de beperkte invloed van het bedrijfsleven op het IOP-programma en de beperkte (directe) bijdrage van het onderzoek aan industriële innovaties. De inzet van nieuw beleidsinstrumentarium van Economische Zaken was dan ook om de inbreng van het bedrijfsleven op alle mogelijke manieren te intensiveren. Tegelijkertijd deed het universitaire onderzoeksveld pogingen om zijn autonomie veilig te stellen. Beide bewegingen zien we terug in de ontwikkeling van de institutionele context van het katalyse-onderzoek, namelijk in de toponderzoeksschool National Research School Combination Catalysis (NRSC) en het onderzoeksconsortium Advanced Catalytic Technologies for Sustainability (ACTS) (Van Helvoort 2011).

'Het programma is vastbesloten om onderzoek te doen met een horizon die verder gaat dan de reikwijdte van de industrie', zo staat er te lezen in de rapporten van de toponderzoeksschool¹², 'daarom neemt de industrie niet rechtstreeks deel aan het programma.' (NRSC 2010, 10). De oprichters wilden zich richten op ontwikkelingen die het vakgebied van de katalyse op een hoger niveau konden tillen, onder andere de ontwikkeling van verfijnde spectroscopische technieken, de nieuwe mogelijkheden van computer-modellering en de opkomst van de

¹² NRSC was deels een voorzetting van het Nederlands Instituut voor Onderzoek in de Katalyse (NIOK), dat in 1991 als onderzoeksschool was opgericht. Aanvankelijk had het instituut een Industriële Raad van Advies. De raad werd op industrieel initiatief omgezet in de Vereniging Industriële Raad van Advies (VIRAN). De rol van de VIRAN bij de oprichting van NRSC in 1999 was beperkt

nanotechnologie. In dat verband werd gesproken over ‘fundamenteel onderzoek’. In de terminologie van deze monografie was eerder sprake van ‘missie-gericht onderzoek’. De rapporten verwezen herhaaldelijk naar de grote maatschappelijke uitdagingen (uitputting van grondstoffen en dergelijk) en naar bijvoorbeeld de ontwikkeling van ‘complexe chemische transformaties onder *ecovriendelijke* condities.’ [cursivering-auteurs] (NRSC 2010, 12)

(Top)onderzoeksscholen kwamen uit de beleidskoker van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en dat bood de onderzoekers de mogelijkheid om vrij autonoom hun onderzoeksprogramma’s te formuleren. Daarentegen kwamen onderzoeksconsortia uit de koker van het ministerie van Economische Zaken. Dat bracht een geheel andere procedure van programmering met zich mee (Wesselman 2011; Hessels en Deuten 2012). Het consortium ACTS ging van start in 2002, een jaar nadat IOP Katalyse was beëindigd. In de voorbereidingen was in nauwe samenwerking met de industrie een zogenaamde *Technology Roadmap* ontwikkeld. Bij het identificeren van een aantal strategische onderzoeksclusters was de industrie eveneens intensief betrokken. In andere gevallen lag het initiatief meer bij universitaire onderzoekers. De missie was ‘het genereren van mogelijkheden voor innovatie op het gebied van chemie, life sciences en technologie waarin katalyse een sleutelrol speelt en waar een positieve bijdrage aan duurzaamheid het gemeenschappelijke doel is’.¹³

Ondanks de sterke, industriële betrokkenheid en ondanks de oriëntatie op innovaties bleek ook in dit geval de directe bijdrage aan innovaties problematisch. Een evaluatie kwam tot de conclusie, dat ‘het streven naar zowel innovatie als wetenschappelijke excellentie een ingewikkelde combinatie is’. (Wesselman 2011, 53). Zo merkte een promovendus naar aanleiding van het verzoek om een octrooi-aanvraag in te dienen op: ‘Het was een beetje aan het eind van mijn promotie. Ik was druk met schrijven. Ik dacht van: jullie zoeken het allemaal maar uit...’. (Wesselman 2011, 41).

Publiek-private onderzoekprogramma’s kennen diverse doelstellingen met name kennisontwikkeling, netwerkvorming en verbetering van het innovatieve vermogen van het bedrijfsleven. Een van de doelstellingen is ook het voortbrengen van innovaties of - voorzichtiger - van mogelijke innovaties. De verwachtingen daarover zijn doorgaans hoog gespannen en de resultaten daarom vaak teleurstellend. Waarom brengen publiek-private onderzoekprogramma’s (speciaal die van universiteiten en bedrijfsleven) zo weinig innovaties op?

¹³ Toch was in een andere evaluatie weer sprake van de totstandkoming van ‘... een aantal specifieke product- en procesinnovaties ... vastgelegd in patenten...’ (Hessels en Deuten 2012, 54). Het bleek echter over patenten te gaan en niet over innovaties.

Het algemene beeld, dat hier is neergezet over onderzoeks- en innovatieprocessen is dat van het technisch labyrint. Onderzoekers, programmamanagers, beleidsmakers en ondernemers bevinden zich in een doolhof op het moment, dat zij inzetten op innovaties. Het is moeilijk te voorspellen, of er wel succesvolle paden voor die specifieke innovaties bestaat en zo ja, of die succesvolle paden wel gevonden zullen worden. Dit ligt anders, indien gesproken wordt over de verbetering van het innovatieve vermogen van het bedrijfsleven. Dan gaat het om de verbetering van de competentie van het bedrijfsleven om met meer kans op succes het technisch labyrint te betreden. Maar daarover in het slothoofdstuk meer.

Een ander beeld is neergezet met de R&D-matrix (figuur 2). Dat leert ons dat de wereld van research geheel verschilt met die van development. De wereld van development met name het toegepast onderzoek en het integrerend ontwerpen is die van de economie, de markt en het rendement. Het is de wereld van de commercialisatie en opschaling, de hiërarchie en de strakke planning. En de wereld van de pilotplant, de standaards, de productspecificaties en de innovatie. Deze wereld levert specifieke onderzoeksresultaten, die toegesneden zijn op een bepaalde locatie. De specifieke kennis is het bezit van het bedrijf en de lokale gemeenschap van ontwerpers, productiemedewerkers en gebruikers.

Daarentegen is research met name het missie-gericht onderzoek de wereld van de wetenschap, de wetenschappelijke gemeenschap en de kennisontwikkeling. Het is de wereld van de autonomie, de wetenschappelijke erkenning en de wetenschappelijke publicaties. En de wereld van de theorieën, de experimenten, de instrumenten, het lab-prototype en de wetenschappelijke publicaties. Deze wereld levert generieke resultaten die zo weinig mogelijk plaats- en tijdsgebonden zijn en worden gedeeld met de onderzoeksgemeenschap en de industrie.

Tussen de werelden van research en development bestaan diverse spanningen bijvoorbeeld rond erkenning (wetenschappelijke publicaties of octrooien), prestaties (publicatiedruk of innovatiedruk), oriëntatie van onderzoek (generiek of specifiek) en eigendom van kennis (publiek of privaat). Onderzoeksgemeenschappen gaan daar verschillend mee om. Katalyse onderzoekers lijken een redelijk, harmonische wijze van samenwerking met de industrie te hebben gevonden, waarbij een grote mate van autonomie is gewaarborgd of zoals een hoogleraar katalyse stelt: ‘... Zij [de industrie] laat ons zelden een onderzoeksproject doen om die specifieke katalysator na vier jaar te krijgen. Zij zijn eerder geïnteresseerd in jouw werk

- **Waarom brengen publiek-private onderzoek-programma’s (speciaal die van universiteiten en bedrijfsleven) zo weinig innovaties op?**

in een bijzonder onderzoeksgebied, waarvan wij gezamenlijk zien: dit is veelbelovend. En dan komen de innovaties automatisch en als zij die werkelijk willen toepassen, dan pikken zij die er zelf wel uit.' (Hessels en Van Lente 2011, 226)

Publiek-private samenwerking in het bijzonder die tussen universiteiten en bedrijfsleven brengen weinig innovaties voort. Universiteiten innoveren niet of nauwelijks en bedrijven, die bezig zijn met een innoveren, hebben maar in beperkte mate de hulp van universiteiten nodig.

Voor zover universiteiten innoveren, betreft het de zogenoemde Innovation Labs. Dat is een universitaire faciliteit waar een kleine groep pas afgestudeerden of promovendi de gelegenheid krijgen om als *spin off* van hun onderzoek met een hightech bedrijfje te beginnen. Het gaat om risicovolle initiatieven, omdat marktkennis bij hen vaak ontbreekt en de universiteit daarover niet beschikt. Doorgaans worden hightech bedrijfjes opgezet door een andere categorie ondernemers, namelijk oudere personen tussen de 30 en 40 jaar, die over werkervaring beschikken of eerder een onderneming hebben gehad (De Jong e.a. 2003).

De relevantie van de publieke kennisinfrastructuur voor innovaties in het bedrijfsleven is beperkt. Zo blijkt uit onderzoek dat innoverende, kleine en middelgrote bedrijven in minder dan 20% van de gevallen gebruik maken van de publieke kennisinfrastructuur. Het gaat dan onder andere om TNO, HBO-instellingen en universiteiten (De Jong 2005, 13). En indien kennisinstellingen een bijdrage leveren, dan is dat vaak niet van doorslaggevend belang in het innovatieproces. De inbreng van toeleveranciers, klanten en collega-bedrijven blijkt aanzienlijk groter te zijn. Een Amerikaans onderzoek onder 77 belangrijke, kennisintensieve ondernemingen komt tot de conclusie, dat tussen 1986 en 1994 universitaire research bij 23% van de nieuwe producten en bij 18% van de nieuwe processen essentieel of substantieel was (voor de chemie waren de percentages respectievelijk 20% en 19%) (Mansfield 1998). Het overgrote deel van de innovaties gebeurt dus zonder directe inbreng van universiteiten. De directe inbreng van de universiteiten is overigens niet verwaarloosbaar en zal zeker in de loop van de tijd zijn toegenomen. Echter, publiek-private samenwerking dat inzet op het realiseren van innovaties zal op een teleurstelling uitlopen. Wat mag dan wel van missie-gericht onderzoek verwacht worden? Hoe bevordert universitair onderzoek dan wel innovatieprocessen? Daarover gaat het laatste hoofdstuk.

Hoe bevordert universitair onderzoek
dan wel innovatieprocessen?

Epiloog

Kanttekeningen bij het Innovatiecontract Chemie

‘Nederland’ moet op zoek naar een nieuwe generatie katalysatoren, aldus de visie van de chemische sector (*Innovatiecontract Chemie* 2011, 27). Het land stevent af op een *biobased economy*, dat wil zeggen een economie die gebaseerd is op biomassa. ‘Toonaangevende bedrijven in de sectoren chemie en agrofood hebben in hun strategie al aangegeven, zich richting biobased economy te willen ontwikkelen. Daar omheen ontwikkelt zich het MKB [midden- en kleinbedrijf - auteurs], elk in eigen niches. Investerings in de biobased economy in Nederland (gerealiseerd en aangekondigd) bedragen nu al € 5 à 10 miljard. De uitdaging voor de korte en middellange termijn is een eigen infrastructuur voor biobased chemicaliën te ontwikkelen op basis van katalyse, enzymen en fermentatie.’

Daarmee staat Nederland voor eenzelfde soort opgave als vlak na de Tweede Wereldoorlog. Ook toen was men op zoek naar een nieuwe generatie katalysatoren, maar dan voor een op aardolie gebaseerde economie. De petrochemie speelde in de wederopbouw en in het ontstaan van een welvarende staat een sleutelrol. Aardolie was de goedkope grondstof en katalytische processen maakten de omzetting naar brandstoffen, kunststoffen en medicijnen mogelijk. Het ontwikkelen van de nieuwe katalysatoren vond hoofdzakelijk plaats binnen de multinationals met name Shell, DSM, Unilever en Akzo. De complexe onderzoeks- en innovatieprocessen konden in belangrijke mate binnen één institutionele context georganiseerd worden: die van het eigen bedrijf.

Dat ligt voor het ontwikkelen van de nieuwe generatie katalysatoren geheel anders. Reeds in de jaren negentig van de vorige eeuw werd geconstateerd, dat de katalyse een brede en diepe infrastructuur kende (TNO 1996; Thijssen, Korevaar 1997). Tien universiteiten, een dertigtal bedrijven en zes andere onderzoeksinstellingen waren toen bij dit technologisch domein betrokken. Er bestonden sterke netwerken rond de onderzoeksschool NIOK, het IOP-katalyse en de activiteiten van STW en SON. Centrale spelers waren Shell, DSM, de drie technische universiteiten en de universiteiten van Utrecht en Amsterdam. Het onderzoek had een gevestigde en internationale reputatie. Dat gold niet alleen de centrale spelers. Ook andere chemiebedrijven en onderzoeksinstellingen deden in kwaliteit niet onder.

Heden ten dage bestaat die uitgebreide kennisinfrastructuur nog steeds. Onderzoek en innovaties zijn het werk van een groot aantal publieke en private partijen. De overheid tracht sturing te geven aan dit proces. En dat geldt niet alleen voor de katalyse, maar voor de meeste domeinen, waar publiek onderzoek

bij betrokken is. In deze epiloog zullen we op basis van deze monografie enkele kanttekeningen plaatsen bij dergelijk beleid.

In de afgelopen vier decennia heeft de overheid stevig ingezet op onderzoek en innovatie. Met name het ministerie van Economische Zaken ontwikkelde voortdurend nieuw instrumentarium (Velzing 2013). Dat begon met de Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma's (1981-2010) en mondde uit in een groot aantal regelingen, programma's, consortia en regieorganen, zoals Research op Aandachtsgebieden (1984-1987), Technologische Topinstituten (TTI's, 1997-heden), FES-impulsen (2005 en 2006) en Innovatieprogramma's op sleutelgebieden (2005-heden). Van verschillende zijden is hierover opgemerkt, dat '... door een steeds wisselend beleidsinstrumentarium en sterk variërende procedures de overheid teveel turbulentie heeft gecreëerd. Er was onvoldoende samenhang en continuïteit in de wijzen van investeren. Deze turbulentie heeft geleid tot een gebrek aan transparantie ... [en tot] ... onnodige hoge transactiekosten ...' (AWT 2007, 9)

De overheid lijkt maar geen greep te krijgen op het onderzoeks- en innovatiebeleid. Sinds 2011 wordt weer ingezet op nieuw beleid, het zogenaamde Topsectorenbeleid (Lintsen en Velzing 2012). Wat mag hiervan verwacht worden? Het ministerie van Economische Zaken wil met dit beleid de 'gouden driehoek' - het bedrijfsleven, de overheid en de kennisinstellingen - stimuleren om zich rond een tiental 'topsectoren' te organiseren onder leiding van het bedrijfsleven. Het gaat met name om sectoren waaruit Nederland zijn internationale concurrentiekracht moet putten, zoals de sector chemie, de creatieve sector en de sector hightech systemen en materialen.¹⁴ We verdiepen ons hier in de topsector chemie en in het innovatiecontract, dat de sector in 2012 heeft opgesteld.

Boegbeeld van de topsector chemie is Gerard van Harten, oud-directeur van Dow Benelux, die Rein Willems, oud-president van Shell Nederland, in die rol opvolgde. Met deze benoemingen geeft de overheid aan, dat het bedrijfsleven (in het bijzonder het grootbedrijf) de trekker van het beleid moet zijn. In april 2012 presenteerde de sector haar *Innovatiecontract Chemie*. Daarin zijn inhoudelijke en financiële afspraken vastgelegd tussen bedrijven, publieke onderzoeksinstituten en overheid voor een periode van vier jaren (2012-2016). De inzet van het contract

¹⁴ Tien 'topteams' hebben ieder voor hun sector een agenda opgesteld. Regiegroepen zorgen voor de coördinatie en Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) voor de uitvoering. Extra middelen van de overheid komen niet ter beschikking. De extra middelen moeten hoofdzakelijk van het bedrijfsleven komen. Vele subsidies zijn afgeschaft. Wat overblijft, is een fiscaal pakket aan maatregelen (WBSO, Research and Development-af trek, innovatiebox). Bedrijven die in onderzoek en innovatie investeren, genieten daarmee fiscale voordelen. Tegenover de investeringen van het bedrijfsleven staan die van de overheid, maar deze moeten uit de bestaande begrotingen van NWO, universiteiten, TNO en de Grote Technologische Instituten (GTI's) komen.

is om van Nederland het land van de groene chemie en van de slimme materialen te maken. De productie van voeding, energie en kunststoffen moet in 2050 hoofdzakelijk gebaseerd zijn op biomassa. Kunststoffen moeten in dat jaar licht van gewicht, zelfreparerend, zelfreinigend en volledig recyclebaar zijn.¹⁵

Het uitgangspunt van het innovatiecontract is een strategie, die de gehele keten omvat van 'nieuwsgierigheidsgedreven fundamenteel wetenschappelijk onderzoek' tot valorisatie (het ten nutte maken van kennis) en innovatie. Wat betreft het innoveren is het innovatiecontract duidelijk: 'De sleutel voor een duurzame wereld (New Earth) ligt in handen van ondernemers ... Alleen als ondernemers (ná alle onderzoek, ontwikkeling en pilots) het risico nemen om daadwerkelijk te investeren in het opzetten van een productielijn, en hun producten en diensten (van biobrandstof tot aan zonnecellen, van recyclebare materialen tot aan groene financieringsmodellen) op de markt brengen - dan wordt de wereld daadwerkelijk schoner, groener en leefbaarder ...' (*Innovatiecontract* 2011, 6) Van alle partijen in de keten - zo luidt de stelling van het innovatiecontract - is het de ondernemer die innoveert. Die stelling wordt door deze studie inderdaad volledig onderschreven.

Opmerkelijk is echter, dat aan de problematiek van de innoverende ondernemer weinig aandacht wordt besteed. Het document wijst op de verschillen tussen grote ondernemingen met hun eigen R&D faciliteiten, de middelgrote bedrijven die R&D kunnen inkopen en het kennisintensieve kleinbedrijf als *spin off* van kennisinstellingen. Het geworstel van deze typen bedrijven met wat in onze studie 'een technisch labyrint' wordt genoemd, komt niet aan de orde. Toch is het succes van een innoverende ondernemer in belangrijke mate afhankelijk van het antwoord dat hij hierop weet te vinden. Er is geen aandacht voor de wijze waarop de innoverende ondernemer het innovatieproces kan organiseren, zijn *development*-pad kan inrichten en kennisbronnen kan mobiliseren (Rip 1992, 91-92). Dan zou ook duidelijk worden, dat de wereld van *development* een geheel andere is dan die van de *research* (zie hoofdstuk 'Het onderzoek: laboratorium versus praktijk'). De casussen van Hysomer, Hycon en wasmiddelenzymen in deze monografie laten zien, hoe risicovol en complex *development* is. Shell had bij Hysomer vier jaar nodig en bij Hycon zelfs 16 jaar om het pad met succes af te ronden. Unilever gaf de eigen ontwikkeling op en viel terug op een multinationale enzymleverancier. Het *Innovatiecontract Chemie* gaat in feite niet over de hele

- Dan zou ook duidelijk worden, dat de wereld van *development* een geheel andere is dan die van de *research*.

keten. Er is nauwelijks aandacht voor de problematiek van het innoveren. Wat betreft R&D gaat de aandacht vooral uit naar research en naar publiek-private samenwerking.

Wat heeft het contract over research te melden? Daarover is het duidelijk: 'De stap naar een volledige biobased economy vergt de ontwikkeling van totaal nieuwe materialen en processen. Het is niet een eenvoudig 'ombuigen' van bestaande technologie maar betreft een echte fundamentele vernieuwingslag in katalyse, materiaalontwikkeling en duurzame (bio)processtechnologie' (*Innovatiecontract* 2011, 37). Dat betekent een ingrijpende transitie van het universitair onderzoek (en onderwijs).

Het Innovatiecontract Chemie (2011) maakt echter het klassieke onderscheid tussen het 'nieuwsgierigheidsgedreven fundamenteel wetenschappelijk onderzoek' en het 'meer toepassingsgerichte wetenschappelijk onderzoek'.¹⁶ Deze monografie komt tot de conclusie dat een onderscheid tussen fundamenteel en toepassingsgericht weinig vruchtbaar is en stelt dat er eerder sprake is van een gradueel dan een essentieel verschil. Het zogenoemde fundamenteel onderzoek heeft evenzeer een maatschappelijke oriëntatie als het toepassingsgerichte (of vraaggestuurde) onderzoek. Het levert evenzeer nuttige resultaten op als het toepassingsgerichte onderzoek. En die nuttige resultaten openbaren zich niet alleen op de lange termijn (zoals de algemene overtuiging is), maar evenzeer op de korte termijn.

Onze studie heeft het over het missie-gericht onderzoek. Het vraagstuk van dergelijk onderzoek is niet het al of niet fundamentele karakter. Het vraagstuk betreft de autonomie van de onderzoeker en de invloed van het bedrijfsleven en de overheid. De onderzoekprogramma's kunnen het stempel dragen van de onderzoekers in een meer professionele taal of het stempel van bedrijfsleven en overheid in een meer toepassingsgerichte taal. De spanningen gaan onder meer over de onderzoeksprioriteiten, het octrooibeleid, de geheimhouding en de publicatiedruk.

¹⁵ Het contract kent vier TKI's: Smart Polymeric Materials, Procestechnologie, Biobased Economy en de Kraamkamer Nieuwe Chemische Innovaties. Het programma heeft een begroting van zo'n €370 miljoen euro in 2012 oplopend tot zo'n 460 miljoen euro in 2016. 30 à 40% van de begroting moet van de universiteiten en NWO komen. Het bedrijfsleven investeert ongeveer 25%. De rest komt van de overheid, TNO, Europese Unie en andere bronnen. We gaan hier niet in op kwesties over de wijze van financiering en de relevantie van de onderzoeksthema's. We concentreren ons op de relatie tussen onderzoek en innovatie.

¹⁶ Ook allerlei andere begrippen treft men in de tekst aan, zoals het 'vraaggestuurd fundamenteel wetenschappelijk onderzoek' en het 'excellent vernieuwend nieuwsgierigheidsgedreven fundamenteel, strategisch en toepassingsgericht onderzoek'.

Het klassieke onderscheid tussen fundamenteel en toepassingsgericht onderzoek wordt in het *Innovatiecontract Chemie* regelmatig vervolgd met het klassieke - maar achterhaalde - lineaire beeld: fundamenteel onderzoek → toegepast onderzoek → valorisatie. In plaats daarvan neemt deze studie de R&D-matrix als uitgangspunt (figuur 2). Nadere uitwerking van de matrix voor publiek gefinancierd onderzoek in het bijzonder universitair onderzoek leert, dat universitair onderzoek niet *direct* tot innovaties leidt (met uitzondering van de hightech bedrijfsjes als *spin off* van het onderzoek). Wat is dan wel de bijdrage van het universitaire onderzoek?

Universitair onderzoek brengt allereerst nieuwe kennis, nieuw instrumentarium, nieuwe modellen et cetera voort en voegt al die kenniselementen toe aan de mondiale kennisvoorraad (Salter en Martin 2001). Het innovatiecontract stelt, dat dergelijk onderzoek in Nederland noodzakelijk is om de 'pijplijn' voor nieuwe innovatiethema's en innovatieve ideeën gevuld te houden. Enige relativering is echter op zijn plaats. In werkelijkheid wordt de 'pijplijn' niet zozeer gevuld door het Nederlandse, wetenschappelijk onderzoek, maar door het mondiale onderzoek. De bijdrage van Nederland aan de mondiale voorraad kan geschat worden op 2% (AWT 2004, 21). Voor de chemie ligt dat percentage mogelijk iets hoger, gezien de sterke, internationale positie van de sector.

Op de tweede plaats draagt universitair onderzoek bij aan de vorming van netwerken. Netwerken blijken van cruciaal belang te zijn voor kennisoverdracht. Universitair onderzoek brengt zogenaemde 'gecodificeerde' kennis voort, dat wil zeggen artikelen, rapporten, boeken, congresbijdragen, et cetera. Ook de mondiale kennisvoorraad is daarmee gevuld. Toch blijven belangrijke delen van de kennis persoonsgebonden en onbenoembaar (Frenken 2010, 9-14). Wetenschap en technologie kennen naast 'gecodificeerde' kennis altijd een deel 'stilzwijgende' kennis, kennis die onbewust is en die niet gearticuleerd of beschreven kan worden. *Face-to-face* contact is noodzakelijk om 'gecodificeerde' én 'stilzwijgende' kennis over te dragen. Dat gebeurt via conferenties, commissies, werkgroepen, tentoonstellingen, bedrijfsbezoeken, cursussen en adviseurschappen.

Op de derde plaats vinden de verschillende partijen betrokken bij universitair onderzoek elkaar op onderzoeksgebieden, die tegen elkaar aan liggen of elkaar overlappen (Rip 1992). Daardoor wordt het mogelijk, dat onderzoekers, ontwerpers, onderzoeksmanagers en andere betrokkenen deels een gemeenschappelijke competentie en taal opbouwen. Het slaan van bruggen tussen de universitaire wereld van *research* en de industriële wereld van *development*, die ieder hun eigen dynamiek kennen, wordt makkelijker en het *face-to-face* contact effectiever. Data worden beter geïnterpreteerd, heuristische worden optimaler ingezet, de omgang met nieuwe instrumenten wordt sneller aangeleerd, onderzoekers zijn bruikbaar voor *problem solving* et cetera.

Er is nog een vierde bijdrage van het universitair onderzoek aan het innovatieve vermogen van het Nederlandse bedrijfsleven en dat is het voortbrengen van *human capital*. Dit kapitaal is essentieel voor het mobiliseren van de mondiale kennisvoorraad (KNAW 2013). Het gaat om competenties om toegang te krijgen tot die voorraad, om informatie te selecteren, om kennis te interpreteren en om inzichten geschikt te maken voor gebruik.

De competenties worden aangeleerd in universitaire studies, afstudeeropdrachten en promotieprojecten (Lintsen en Schippers 2006). Generaties afstudeerders en promovendi hebben deelgenomen aan onderzoeksprogramma's en onderzoeksprojecten met een maatschappelijke oriëntatie, die deels in publiek-private samenwerking zijn uitgevoerd. Zij hebben onder leiding gestaan van ervaren onderzoekers en kennis gemaakt met het technisch labrynt. Zij zijn op de hoogte gebracht van de 'state of art' in hun discipline en van de meest recente resultaten van het wetenschappelijk onderzoek. Afstudeerders en promovendi zijn daarmee in essentie kosmopolieten geworden op het domein van de wetenschappen. In verschillende rollen, zoals die van onderzoeker, ontwerper, projectleider en innoverende ondernemer zijn zij in staat de mondiale, *generieke* kennisbron te mobiliseren en te exploiteren voor de daarbij behorende, *specifieke* praktijken in Nederland.

Netwerkvorming en *Human Capital* hebben in feite te maken met het vermogen om kennis te absorberen. Dat betekent, dat het bij de Topsectoren en de andere vormen van publiek-private samenwerking niet zozeer gaat om de verbetering van het *innovatieve* vermogen, maar van het *absorptievermogen* van 'Nederland'. Het gevolg is, dat een toekomstige evaluatie van het *Innovatiecontract Chemie* niet over innovaties zou moeten gaan, maar over slimme en competente mensen opgenomen in strategisch gekozen en hechte samenwerkingsverbanden. Zij zullen in uiteenlopende praktijken de wereld van de groene chemie en de slimme materialen moeten voorbereiden en realiseren.

- Bij de Topsectoren gaat het niet zozeer om de verbetering van het innovatieve vermogen, maar van het absorptievermogen van 'Nederland'.

Literatuur en bronnen bij de vier casussen

De katalysator

Hysomer

Algemene literatuur

- 40 years Hysomer, Symposium, Amsterdam, 16 februari 2012. Presentaties van H.W. Kouwenhoven, S.T. Sie en J.A.R. van Veen
- J.E. Krier and E. Ursin, *Pollution and policy. A case essay on California and federal experience with motor vehicle air pollution 1940-1975* (Berkeley 1977)
- J.O. Nriagu, 'The rise and fall of leaded gasoline', *The science of the total environment* 92(1990) 13-28
- Research aan het IJ*. LBPMA 1914-KSLA 1989. *De geschiedenis van het 'Lab Amsterdam'* (Amsterdam 1989)
- K. Sluyterman, 'Royal Dutch Shell: company strategies for dealing with environmental issues', *Business History Review* 84(summer 2010) 203-226

Interne bronnen en wetenschappelijke literatuur

- E.E. Alting van Geusau en C. Wiedijk, AMGR.0028.70 [AMGR = AMsterdam Group Report (confidential); 93 houdt in 1993 als jaar van publicatie]
- R.M. Barrer, 'Molecular Sieves', *Berichte der Bunsengesellschaft* 60 (1965) 786-802
- R.M. Barrer, 'General Introduction', in *Molecular Sieves*, Soc. Chem. Ind. London (1968), 3-4
- H.A. Benesi, TR No. 20-64 [T(P)R = Technical (Progress) Report, Emeryville - 64 betekent 1964 als datum van publicatie]
- H.A. Benesi, TR No. 139-64
- H.A. Benesi, 'Relationship between Catalytic Activity and Nature of Acidity of the Crystalline Zeolites, Mordenite and Y Faujasite', *J Catal* 8 (1967), 368-374.
- H A Benesi, TPR No. 211-66
- H.A. Benesi, TPR No. 214-67
- C.W. Bittner, TPR No. 70-66
- M.J. van der Burgt, Meeting on Hydroprocesses 1971, paper C-1a
- F G Ciapetta & J B Hunter, 'Isomerization of Saturated Hydrocarbons in Presence of Hydrogenation-Cracking Catalysts - Normal Hexane', *Ind. Eng. Chem.* 45 (1953) 147-155
- L.E. Dean, H.R. Harris, D.H. Belden and Vladimir Haensel, 'The Penex Process for Pentane Isomerisation', *Platinum Met. Rev.* 3 (1959) 9-11
- P.W. Dun, H.W. Kouwenhoven, P.A. van Weeren, AMGR.0197.70 & AMGR.0198.70
- P E Eberly, Jr., 'Hydrocarbon adsorption studies at low pressures on the sodium and acid forms of synthetic mordenite', *J Phys Chem* 67 (1963) 2404-2411
- H.L.J. Engels en M.J. van der Burgt, AMGR.0023.72
- H.L.J. Engels en M.J. van der Burgt, AMGR.0332.73
- V.J. Frilette, P.B. Weisz, R.L. Golden, 'Catalysis by crystalline aluminosilicates I', *J Catal* 1 (1962) 301-306
- A P Grossman, MFD, Meeting on Hydroprocesses 1968, paper I-1
- H.J. van Helden en H.W. Kouwenhoven, R 1184/66 [KSLA Report, 1966]
- W. Hocknell, 14th Progress Information Meeting 1972, paper I-13
- A H Keough and L B Sand, 'A new intracrystalline catalyst', *J Amer Chem Soc* 83 (1961) 3536-7.
- H.W. Kouwenhoven, P.W. Dun en H.J.A. van Helden, AMGR.0004.68
- H.W. Kouwenhoven and W.C. van Zijll Langhout, 'Hysomer may ease lead elimination', *Oil & Gas J.*, March 8, 1971, 44-5
- H.W. Kouwenhoven and W.C. van Zijll Langhout., 'Shell's Hydro-Isomerization Process', *Chem. Eng. Progress* 67[4] (April 1971) 65-70
- H.W. Kouwenhoven, 'Isomerization of Paraffins', ACS Adv. Chem. Series 121(1973) 529-539
- Octrooiaanvraag BP 1,189,850 (April 29, 1970)
- D.L. Peterson and T.J. Deal, Emeryville SPR Nov. 1964
- G.F. Prinsen, 2nd Meeting on Hydroprocesses 1971, paper C-1
- G. Puce, 2nd Meeting on Hydroprocesses 1971, paper C-2
- D. Reinalda en H.H. Mooiweer, AMGR.93.300 Report, 1963
- L B Sand and A H Keogh, *Chem Eng News*, March 12, 1962, 52
- Shell Int. Res. Mij, Octrooiaanvraag No. 6603927 (1966)

- Sullivan and Scott [Chevron], 'Development of Hydrocracking', *Heterogeneous Catalysis: Selected American Histories* (B H Davis & W P Hettinger, Jr., Eds.), ACS Symp. Series, Vol. 222 (1983), Ch. 24.
- P.B. Weisz en V.J. Frilette, 'Intracrystalline and molecular-shape-selective catalysis by zeolite salts', *J Phys Chem* 64 (1960) 382
- P.B. Weisz, V.J. Frilette, R.W. Maatman, E.B. Mower, 'Catalysis by crystalline aluminosilicates II', *J Catal* 1 (1962) 307-312
- P B Weisz and W E Swegler, 'Stepwise Reaction on Separate Catalytic Centers: Isomerisation of Saturated Hydrocarbons', *Science* 126 (1957) 31-2.
- E.S.E. Werner en J. van der Veen, AMGR.0045.75

Interviews

- Interviews van R. van Veen met H.W. Kouwenhoven, 5 september en 15 november 2011 en met W.C. van Zijl Langhout, 12 juli 2012. Gesprek van R. van Veen met S.T. Sie, 19 februari 2012
- Interviews van H. Lintsen met H.W. Kouwenhoven, 14 en 16 mei 2012

De katalysator

Nikkel

Het hoofdstuk is gebaseerd op:

- T. van Helvoort, E. Berkers en M. Davids, *Spreading knowledge from Vlaardingen. Half a century of Unilever's Becl* (Stichting Historie der Techniek, Eindhoven 2014)
- T. van Helvoort, E. Berkers en M. Davids, *Gesmeerde kennis. Een halve eeuw geschiedenis van Unilevers Becl* (Stichting Historie der Techniek, Eindhoven 2014)
- T. van Helvoort en Harry Lintsen, *Versnellen en Veranderen. Unilever, katalyse en margarinegrondstoffen* (Stichting Historie der Techniek, Eindhoven 2014)

Algemene literatuur

- Anonymous, 'Het hardingsbedrijf te Zwijndrecht', *Op eigen terrein* (1951)
- K. van Bergeijk, 'Van een silo af gezien', *Op eigen terrein* (27 maart 1975)
- J.H. de Boer, *The dynamical character of adsorption* (London 1953)
- J.W.E. Coenen, 'Catalysis research at Unilever: The period 1948-1993', in: J.J.F. Scholten (ed.), *A short history of the Dutch school of catalysis, published on the occasion of the twenty-fifth anniversary of the Catalysis Section of the Royal Netherlands Chemical Society* (The Hague 1994), 160-79
- E. Homburg, 'Boer, Jan Hendrik de [1899 - 1971]', in: N. Koertge (ed.), *New dictionary of scientific biography*, Volume 1 (Detroit 2008), 310-316
- B.G. Linsen, 'Selectiviteit in de vethydrogenering, vroeger en nu', in: G.A. Harrewijn et al., *Margarine en volksgezondheid: Enige aspecten van wetenschappelijk onderzoek* (Amsterdam 1970) 105-40.
- M. van Mens, *Kijk en luisterboek - Over twee oliefabrieken* (Rotterdam 2011)
- G.C.A. Schuit, 'J.H. de Boer and heterogeneous catalysis: The period after 1945', in: B.G. Linsen, J.M.H. Fortuin, C. Okkerse and J.J. Steggerda (eds), *Physical and chemical aspects of adsorbents and catalysts: Dedicated to J.H. de Boer on the occasion of his retirement from the Technological University Delft*, *The Netherlands* (London 1970) xix-xxiv.

Interne bronnen en wetenschappelijke literatuur

Naast voornoemde algemene literatuur is de tekst van dit hoofdstuk grotendeels gebaseerd op de katalysator gelieerde laboratoriumrapporten in Unilevers databank 'Web of Reports' (WoR). Rapporten van het laboratorium van Unilever Vlaardingen zijn vanaf de opening in 1956 elektronisch beschikbaar. In de jaren vijftig en vroege jaren zestig schreven onderzoekers in Vlaardingen zogenaamde review laboratoriumrapporten (aangeduid R / VL) die helaas niet zijn opgenomen in de elektronische databank WoR. De reden hiervoor is dat slechts feitelijk laboratoriumonderzoek in betreffende databank werd opgenomen. Gedrukte exemplaren van deze reviewrapporten zijn beschikbaar in het archief van het URDV. Het acroniem VD is een rudimentaire aanduiding voor de combinatie van de Unilever-laboratoria in Vlaardingen en in Duiven (dit laatste laboratorium is aan het eind van de jaren 1970 opgeheven).

- E.P. Barrett, L.G. Joyner and P.P. Halenda, 'The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms', *J. Am. Chem. Soc.* 73 (1951), 373-80

- H. Boerma, Continuous hydrogenation. 1. Literature survey and laboratory experiments (1967), R VL 67 0569
- J.C.P. Broekhoff and B.A. Heide, Reduction of supported nickel-catalysts. I. Survey of literature. Project started (1972), P VD 72 3270
- S. Brunauer, P.H. Emmett and E. Teller, 'Adsorption of gases in multimolecular layers', *J. Am. Chem. Soc.* 60 (1938), 309-19
- J.W.E. Coenen, *Onderzoek van technische nikkelkatalysatoren op drager* (proefschrift, 's-Gravenhage 1958)
- J.W.E. Coenen, 'The mechanism of the selective hydrogenation of fatty oils', in: J.H. de Boer, et al. (eds), *Proceedings of the Symposium on the mechanism of heterogeneous catalysis: 12-13 November, 1959 Amsterdam (The Netherlands)* (Amsterdam 1960), 126-58
- J.W.E. Coenen, 'Chapter 4: Hydrogenation. A. The mechanism of the selective hydrogenation of fatty oils', in: *Unilever Refinery and hardening, Managers course no. 5 - Wageningen*, vol. 1 (1960), 1-23
- J.W.E. Coenen, H. Boerma, B.G. Linsen and B. de Vries, Selectivity in fatty oil hydrogenation: Influence of catalyst pore structure on selectivity characteristics (1963), R/VL 434
- J.W.E. Coenen, Catalysis in oils and fats: A contribution to human nutrition, *Progress [Unilever]* 53 (300) (1969), 115-21
- J.W.E. Coenen, 'Hydrogenation of oils and fats', in: J.W.E. Coenen, R. Feron, D.A.A. Mossel and Guy Clément (eds), *Margarine today, technological and nutritional aspects: Proceedings of a seminar held at Dijon University, 20-21 March 1969* (Leiden 1970), 62-91
- J.W.E. Coenen, R. Aneja and D. Edge [STSG], Catalysis - STSG/24 (September 1979)
- G.C.M. Colen and van Duijn, Hydrogenation reactor design: State-of-the-art report (1987), R VD 87 6009
- J. van Duin, Automated BET-apparatus in-line with an IBM 1800 computer. 1. Binary read-out of pressure transducers (1969), P VL 69 5450.
- J.G. Keppler, 'Hardening flavours in refined products', in: *Proceedings of the Refinery and Hardening managers course no 6, vol 3 D/RO 67* (1960), 24pp
- B.G. Linsen, *The texture of nickel-silica catalysts* (Delft 1964)
- C.M. Lok, B. Nootenboom and D. Verzijl, The flash precipitation of nickel catalysts (1981), P VD 81 3072
- V.H. Segers, Continuous hydrogenation II: Theoretical considerations for pilot plant hydrogenation (1965), R/VL 573

De katalysator Hycon

Interne bronnen en wetenschappelijke literatuur

- Vele Shell-rapportseries: (i) Exploratory Studies on direct HDS of residues, I t/m XXXV [1971-1981], (ii) Exploratory Studies on the Upgrading of residual feedstocks, I t/m XIX [1974-1981], (iii) Development Studies on HDM, I t/m VIII [1977-1982], (iv) Process Research on HDM of heavy residues, I t/m XII [1976-1979], (v) Development studies on residue hydroconversion, 18 reports between 1982 and 1993, (vi) Development of catalysts for residue hydroconversion, I t/m XI [1984-1990], *et j'en passe* [zie H. Schaper hieronder].
- Shell Progress Information Meetings* 1969 - 1990 (driejaarlijks).
- A.P. Anselme, H.W. Kouwenhoven, W.C.J. Quick, R 1185/66.
- M. Berthelot, *Bull. Soc. Chim.* 11 (1869) 278.
- Petroleum Technology - An Introductory Course*, 3rd Ed., Vol. II, Ch. 13; Shell Int., n.p., n.d.
- Beuther & Schmid [Gulf], 6th ABG-Conference, Paper G-9, June 1963.
- M.J. van der Burgt & F.J. van Hemert, R 1436/67.
- F.M. Dautzenberg, AMGR.334.73.
- F.M. Dautzenberg & J.B. Wijffels, AMGR.0156.71.
- F.M. Dautzenberg & J.B. Wijffels, 2nd Meeting on Hydroprocessing, 1971, paper G-11.
- F.M. Dautzenberg & S.T. Sie, AMGR.0024.72.
- F.M. Dautzenberg and J.C. de Deken, 'Reactor Developments in Hydrotreating and Conversion of Residues', *Catal. Rev. - Sci. Eng.* 26 (1984) 421-444.
- C. Th. Douwes, 'Desulphurisation of residual fuels I', R 218/61
- H. Gierman, AMGR.81.252, AMGR.83.199.
- A.J.J. van Ginneken, M.M. van Kessel, K.M.A. Pronk, and G. Benstrom, 'Shell process desulfurizes resid', *Oil & Gas J.*, April 28, 1975, p. 59.
- F. Goudriaan, 'Pilot Plant Runs for Pernis HYCON', 14 reports: AMGR.86.409 - AMGR.86.422.

- H. Hoog, H.G. Klinkert & A. Schaafsma, 'New Shell Hydrodesulfurization Process Shows These Features', *Petroleum Refiner* 32 (May, 1953) 137.
- H. Hoog, 'Catalytic Hydro-Desulphurization of Gas Oil', *Rec. Trav. Chim. Pays-Bas* 69 (1950) 1289.
Interim Research Report No. R14/60
- M.M. van Kessel, AMGR.0228.75.
- M.M. van Kessel & M.J. van der Burgt, AMGR.0037.72.
- Jaap van Klinken, AMGR.0179.74.
- H.W. Kouwenhoven, J.M. Nanne, D. Reinalda, AMGR.86.205.
- R.S. Mann, *Indian J. Technol.* 3 (1965) 53.
- Mears, *Chem. Eng. Science* 26 (1971) 1361-6.
- J.K. Minderhoud, J.A.R. van Veen, A.P. Hagan, *Stud. Surf. Sci. Catal.* 127 (1999) 3-20.
- Jaap Naber, 'The HYCON process', Shell Selected Paper, Oct. 1989 [based on a paper given to the Institute of Petroleum, London, April 1989].
- Frans Nieuwenhuis, *Monseigneurs en Managers - De kerk van Rome en de Shell vergeleken* (1995).
- J.M. Oelderik, S.T. Sie, D. Bode, 'Progress in the Catalysis of the Upgrading of Petroleum Residue - A Review of 25 Years of R&D on Shell's Residue Hydroconversion Technology', *Appl. Catal.* 47 (1989) 1-24
- M. Pier, *Z. Elektrochem.* 53 (1949) 291.
- H.G. Polderman, E. de Hilster, A. Pronk, AMGR.88.171.
- K.M.A. Pronk and S.T. Sie, AMGR.0185.75.
- P.C. Richards & J.B. Wijffels, AMGR.0340.73.
- R.P. Russell, in: *The Science of Petroleum* (London 1938) Vol. III, p. 2139.
- H. Schaper, 'Thirty-five years of residue hydroprocessing research - An encyclopaedia type summary report', AMGR.92.303 [& refs hierin: e.g. onder J.M.H. Dirx, F.G.A. van den Berg, en W.H.J. Stork] - First supplement: AMGR.94.281.
- S.T. Sie, 'Catalyst deactivation by poisoning and pore plugging in petroleum processing', *Stud. Surf. Sci. Catal.* 6 (1980) 545 - 569.
- W.H.J. Stork, AMGR.81.255.
- W.H.J. Stork, AMGR.81.095.
- W.H.J. Stork, 'Residue Hydroprocessing', *Stud. Surf. Sci. Catal.* 106 (1997) 41.
- L.J. van der Toorn & W.C.J. Quick, AMGR.0112.69.
- H. Topsoe, B.S. Clausen & F.E. Massoth, *Hydrotreating Catalysis - Science & Technology* (Springer 1996)
- P.A. van Weeren, W.C.J. Quick, H.W. Kouwenhoven, R 857/65.
- Weisser & Landa, *Sulphide Catalysts, Their Properties and Applications* (Pergamon Press & Friedr. Vieweg + Sohn, 1973)
- W.C. van Zijll Langhout, C. Ouwerkerk, K.M.A. Pronk, 'New process hydrotreats metal-rich feedstocks', *Oil & Gas J.*, Dec. 1, 1980, p. 120.

Interviews

Interviews van Rob van Veen met Frans van den Berg (5/4/2012), Frans Goudriaan (28/6/2012), Roelof Heezen (26/6/2012), Eduard Kieffer (10/5/2012), Piet Kwant (19/6/2012), Karl-Heinz Röbschläger (23/7/2012), Auke de Vries (17/8/2012) en Wout van Zijll Langhout (12/7/2012), alsmede commentaar van Tiong Sie (e-mail 9/8/2012).

De katalysator

Van chemisch naar biologisch

Het hoofdstuk is gebaseerd op:

- T. van Helvoort en M. Davids, *Biotechnologie: Van Wetenschap naar Winkelschap Revisited. Een historische analyse van de Biotech bij multinational Unilever* (Stichting Historie der Techniek, Eindhoven 2014)
- T. van Helvoort, *Vernieuwend wassen: R&D in Vlaardingen en de detergents-business van Unilever* (Stichting Historie der Techniek, Eindhoven 2014)

Algemene literatuur

- W.J. Beek, 'Voeding voor mens en dier', *Chemisch Magazine* (juni/juli 1987), 413-414
- B. Elema, *Opkomst, evolutie en betekenis van research gedurende honderd jaren gistfabriek* (Delft 1970)

- DSM, *Koninklijke Nederlandse Gist- en SpiritusFabriek, Van NG&SF* [Nederlandse Gist- en SpiritusFabriek] tot *Gist-brocades 1860-1968* [2 delen] (z.pl, z.jr.): zie http://www.dsm.com/nl_NL/html/dgs/Historie.htm
- V. Lucassen, P. Schenkelaars en H. de Vriend, *Oogst uit het lab - Biotechnologie en voedselproductie* (Utrecht 1990)
- J. Maat, 'Biotechnologie: Wisselwerking tussen fundamenteel onderzoek en toepassing' (Oratie, Amsterdam VU 1990)
- M. Stasse-Wolthuis en F.M. Rombouts, *Sleutelen aan ons voedsel: Wat kan de biotechnologie?* (Houten 1992)
- The Novozymes history (2003); <http://brandguide.novozymes.com/Menu/Downloads/Novozymes+history>
- J.D. Watson and J. Tooze, *The DNA story: A documentary history of gene cloning* (San Francisco 1981)

Interne bronnen en wetenschappelijke literatuur

- Anonymous, 'BAC geopend: 9 november 1995', *URL Nieuws* (nov 1995) (nr. 19)
- Anonymous, 'BAC en URL samen in unit Test Production van Biotechnology Group: Dubbelleven in Naarden en Vlaardingen', *URL Nieuws* (febr 1997) (nr. 31)
- Anonymous, 'BAC gooit het over een andere boeg - Terugblik op vijf bewogen jaren', *URL Nieuws* (nov/dec 2000) (nr. 68)
- Detergents Co-ordination, Notes on points discussed at the detergent conference held in Rotterdam 23rd - 25th April 1968 (23 May 1968), AHK (Unilever-Archief HoofdKantoor) Rotterdam, doos 1762
- M.R. Egmond, Enzyme engineering - A VD 86 7202 (31 October 1986), appendix Expertise / task.
- G.W. Gould and C.Th. Verrips, *A strategy for genetic research* (z.pl, 1976) intern rapport
- J. Haverkamp, O. Korver, J. Maat, N. Overbeeke, N.K.H. Slater en C.Th. Verrips, Biotechnology, Long Term Plan URVL (December 1989), met Appendix 1: URVL-Biotechnology and the Bio-Application Centre, Archief Okkerse, doos 1989 G-13
- N.W.F. Kossen, et al., *Biotechnologie Delft Leiden: Beleidsplan Voorjaar 1984* (z.pl, 1984)
- Notitie 'Enzyme engineering - Een gezamenlijk project van Unilever Research Laboratorium Vlaardingen en de Werkgroep J. Drenth / W. Hol, Rijksuniversiteit Groningen' (november 1984)
- Report of the Chemicals Study Group 1965 - Special Committee meeting, 7 Sept 1965, with the Chemical Co-ordinator, AHK Rotterdam, doos 1762
- D.A. Orr to J.J.H. Nagel, Esq., Unilever N. V., Rotterdam, 18th November, 1968, AHK Rotterdam, doos 1762
- R. Rouwenhors, 'De BAC', schakel tussen lab en fabriek: Over de toegevoegde waarde van de biotechnologie-pilot plant in Naarden', *URL Nieuws* (jan 1995) (nr. 10)
- E. Sankey, 'Preliminary outline of unilever policy for use of enzymes in fabric washing products', 3 August 1967, *AHK Rotterdam*, doos 1762
- T. Swarthoff, J. Maat, et al., Lipase for detergents. 1. Identification of a class of lipases suitable for application in detergents - P VD 86 3173 (1986).
- URDV-archief Directie, doos 30, met Knipsel: 'Enzymen wellicht gevaarlijk voor gezondheid - Amerika stopt met biologisch wassen', Trouw, 16 februari 1971.
- URDV-archief Directie, doos 30, 'Enzymen in wasmiddelen - AVRO's Televisier van 16 februari 1971' en 'Koers Gist 123 punten omlaag' (n.d.).

Literatuur bij de andere hoofdstukken

- C. Adams, 'Applied catalysis: a predictive socioeconomic history', *Top Catal* 52(2009) 924-934
- J.N. Armor, 'A history of industrial catalysis', *Catalysis Today* 163(2011) 3-9
- AWT rapport (rapport Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid), *De prijs van het succes*, Den Haag, 2004
- AWT (Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid), *Weloverwogen impulsen: strategisch investeren in zwaartepunten* (Den Haag 2007), AWT-advies 72
- W. Bijker, T. Pinch and Th. Hughes (ed.), *The social constructions of technological systems: new directions in the sociology and history of technology* (Boston 1987)
- V. Bush, *Science The Endless Frontier: a report to the president on a program for postwar scientific research* (Washington 1945)
- M. Davids, H. Lintsen en A. van Rooij, *Innovatie en kenninfrastructuur. De vele wegen naar vernieuwing* (Amsterdam 2014)
- De Innovatienota* (werkelijke titel: Technologische Innovatie), Tweede Kamer, zitting 1979-1980, 15855, nr. 2, 53
- L. van Drooge e.a., *Feiten en Cijfers. Twintig Jaar onderzoeksevaluatie* (Rathenau Instituut, Den Haag 2013)
- Evaluatie Innovatiegerichte Onderzoekprogramma's* (Bureau Bartels, Amersfoort 2004)
- Evaluatie Innovatiegerichte Onderzoekprogramma's* (Bureau Bartels, Amersfoort 2010)
- C. Freeman and L. Soete, *The economics of industrial innovation* (London 1999), 85-106
- K. Frenken, *Kenniseconomie in evolutionair perspectief* (Intreerede TUEindhoven 2010), 9-14
- G. Lunge, *Handbuch der Soda-Industrie und Nebenzweige* (3e Aufl. 1903) Band 1, 882ff
- D. Heinisch, *Citations to non-patent literature on dutch polymer patents* (masterarbeit Universität Kassel 2013)
- T. van Helvoort, *De KNAW tussen wetenschap en politiek. De positie van de scheikunde in de Akademie in naoorlogs Nederland* (KNAW Amsterdam 2005)
- T. van Helvoort, 'Rutger's pendulum: Catalysis between industry and academia', in: E.J.M. Hensen (ed.), *40 years of catalysis research: Rutger's van Santen's journey through chemical complexity* (Eindhoven 2012), 17-25
- L. Hessels, H. van Lente en R. Smits, 'In search of relevance: the changing contract between science and society', *Science and Public Policy*, juni 2009, 387-401
- L. Hessels en H. van Lente, 'Practical applications as a source of credibility: a comparison of three fields of Dutch academic Chemistry', *Minerva* 49(2011)2, 215-240
- L. Hessels en J. Deuten, *Coördinatie van publiek-privaat onderzoek. Van variëteit naar maatwerk* (Rathenau Instituut, Den Haag 2012)
- L. Hessels, 'Coordination in the science system: theoretical framework and a case study of an intermediary organization'. *Minerva* 51(2013)3, 317-339
- E. Homburg, *Speuren op de tast. Een historische inkijk op industriële en universitaire research* (Oratie Universiteit Maastricht 2003)
- E. Homburg en L. Palm (red.), *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland 3. De ontwikkeling van de chemie van 1945 tot het begin van de jaren tachtig* (Delft 2004)
- E. Homburg en L. Palm, 'Grenzen aan de groei - groei aan de grenzen: enkele ontwikkelingslijnen', in: E. Homburg en L. Palm (red.), *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland 3. De ontwikkeling van de chemie van 1945 tot het begin van de jaren tachtig* (Delft 2004) 3-18
- Innovatiecontract 2012-2016. Topsector Chemie* (z.pl 2011)
- J.J. Hutter, 'Nederlandse laboratoria 1860-1940, een kwantitatief overzicht', in: *Tijdschrift voor de Geschiedenis der Geneeskunde, Natuurwetenschappen, Wiskunde en Techniek* 9 (1986) nr. 4, 150-174
- D. Janasek, J. Franzke and A. Manz, 'Scaling and the design of miniaturized chemical-analysis systems', *Nature* 442(2006) 27 July, 374-378
- J.P.J. de Jong, M.J. Overweel en F.H.A. Janszen, *Hightech starters. Waarheden en mythes*, Zoetermeer, 2003
- J.P.J. de Jong, *De bron van vernieuwing. Rol van netwerken bij innovaties in het MKB* (Zoetermeer 2005)
- KNAW, *Kwaliteitsbeoordeling in de ontwerpende en construerende disciplines. Een systematisch kader* (Amsterdam 2011)
- KNAW, *De meerwaarde van wetenschap* (Amsterdam 2013)
- J.E. Krier and E. Ursin, *Pollution and policy. A case essay on California and federal experience with motor vehicle air pollution 1940-1975* (Berkeley 1977)
- T. Laird, 'How to minimise scale up difficulties', *Chemical Industry Digest* July (2010) 51-56
- H. Lintsen, F. Veraart en P. Vincken, 'De onvervulde belofte: Lysine', in: H. Lintsen, T. van Helvoort, et al., *Research tussen vetkool en zoetstof: Zestig jaar DSM Research, 1940-2000* (Zutphen 2000) 70-81
- H. Lintsen en H. Schippers (red.), *Gedreven door nieuwsgierigheid: een selectie uit 50 jaar TU/e-onderzoek*, (Eindhoven 2006)

- H. Lintsen. en E-J. Velzing, *Onderzoekscoördinatie in de gouden driehoek. Een geschiedenis*, Den Haag, 2012
- H. Lintsen (red.), *Tachtig jaar TNO 1932-2012* (Delft 2012)
- E. Mansfield, 'Academic research and industrial innovation: an updat of empirical findings', *Research Policy* 26 (1998) 773-776
- MCEC (Netherlands Center for Multiscale Catalytic Energy Conversion, *NWO application form gravitation* (z.pl. 2013)
- B.J.R. van der Meulen en A. Rip, *Beoordelen van universitair technisch-wetenschappelijk onderzoek* (Universiteit Twente 1992)
- D.C. Mowery and N. Rosenberg, *Paths of innovation. Technological Change in 20th-century America* (Cambridge 1998)
- NRSC (National Research Combination Catalysis Controlled by Chemical Design), *Self-evaluation document 2010* (Eindhoven 2010)
- NIOK, *Excellerating Catalysis Education and Research in the Netherlands. NIOK Report 2006-2011* (z.pl, z.jr)
- J.O. Nriagu, 'The rise and fall of leaded gasoline', *The science of the total environment* 92(1990) 13-28
- A. Rip, 'A Quasi-Evolutionary Model of Technological Development and a Cognitive Approach to Technology Policy', in: *RISESST, Rivista di studi epistemologici e sociale sulla scienza e la tecnologia* (1992) 69-102
- A. Rip, 'Between Innovation and Evaluation: Sociology of Technology Applied to Technology Policy and Technological Assessment', in: *RISESST, Rivista di studi epistemologici e sociale sulla scienza e la tecnologia* 2 (1992) , 39-68. (also published in Italian: 'Tra Innovazione e Valutazione. La Sociologia Applicata alla Politica Ed alla Valutazione della Tecnologia', in Leonardo Cannavò (cur.), *Studi Sociali della Tecnologia. Metodologie Integrate di Valutazione* (Roma: Euroma/La Goliardica, Dec. 1991), pp. 63-105. Published in 1992.)
- M.W. Roberts, 'Birth of the catalytic concept', *Catalysis Letters* 67(2000a) no 1, 1-5
- M.W. Roberts, 'Industrial developments', *Catalysis Letters* 67(2000b)no 1, 67-73
- A. van Rooij, *The company that changed itself. R&D and the transformations of DSM* (Amsterdam 2007)
- A. van Rooij and E. Homburg, *Building the plant. A history of engineering contracting in the Netherlands* (Zutphen 2002)
- A. Salter and B. Martin, 'The economic benefits of publicly funded basic research: a critical review', *Research Policy* 30(2001) 509-532
- J. J. F. Scholten (ed.), *Short history of the Dutch School of Catalysis* (Den Haag 1994)
- J. J. F. Scholten, 'Heterogene katalyse: de moeizame weg naar wetenschappelijk inzicht', in: E. Homburg en L. Palm (red.), *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland 3. De ontwikkeling van de chemie van 1945 tot het begin van de jaren tachtig* (Delft 2004), 193-211
- R. van Santen, 'Catalysis in perspective: Historic Review', in: M. Beller, A. Renken and R. van Santen, *Catalysis, from principles to applications* (z.pl. 2011)
- K. Sluyterman, 'Royal Dutch Shell: company strategies for dealing with environmental issues', *Business History Review* 84(summer 2010) 203-226H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland: van alchemie tot chemie en chemische industrie tot 1900* (Delft 1993)
- H.A.M. Snelders, *De geschiedenis van de scheikunde in Nederland 3. De ontwikkeling van chemie en chemische technologie in de eerste helft van de twintigste eeuw* (Delft 1997)
- D. E. Stokes, *Pasteur's Quadrant. Basic science and technological innovation* (Washington 1997)
- De technologische kennisinfrastructuur van Nederland*, TNO-rapport STB/96/005 (Apeldoorn 1996) 15-16;3/1-3/9
- Technologische Innovatie*, Tweede Kamer, zitting 1979-1980, 15855, nr. 2, 53 (ook wel bekend als *De Innovatienota*)
- B. Theunissen, 'Nut en nog eens nut'. *Wetenschapsbeelden van Nederlandse natuuronderzoekers, 1800-1900*, (Hilversum 2000)
- R. Thijssen and J. Korevaar, 'Unravelling the cognitive and interorganizational structure of public/private R&D networks: A case study of catalysis research in the Netherlands', *Research Policy* 25(1997) 1277-1293
- E-J. Velzing, *Innovatiepolitiek. Een reconstructie van het innovatiebeleid van het ministerie van Economische Zaken van 1976 tot 2010* (Delft 2013)
- B. Vermeer, *Future perspectives in catalysis* (NRSC-Catalysis, Eindhoven 2009)
- P. Wesselman, *Onderzoekscoördinatie door regeorgaan ACTS. Een casestudy* (Rathenau Instituut, Den Haag 2011)

Over de auteurs

Ton van Helvoort (1954) is opgeleid als biochemicus aan de universiteit van Nijmegen. Daarna is hij bijgeschoold in de wetenschapsgeschiedenis aan de universiteit van Utrecht. In 1993 is hij aan de universiteit van Mtwaastricht gepromoveerd op een geschiedenis van het onderzoek naar biologische virussen in de 20ste eeuw. Nadien schreef hij twee boeken over de geschiedenis van de natuurwetenschappelijke faculteit van de RU Groningen na de Tweede Wereldoorlog. Het ene over de Scheikunde en het andere handelend over computers aan de RU Groningen. Sinds 2008 heeft hij twee historische projecten uitgevoerd voor de Stichting Historie der Techniek (TU/e) waarmee hij de wereld van de katalyse R&D is binnengetroten. Het eerste project betreft Unilever R&D Vlaardingen (URDV) waarover in dit boek verslag wordt gedaan en het tweede project over de (internationale) historie van het project Gas to Liquids binnen Shell Research Amsterdam.

Harry Lintsen (1949) studeerde natuurkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven en promoveerde in 1980 aan deze universiteit op een onderzoek naar de geschiedenis van het ingenieursberoep in Nederland. Hij was hoofdredacteur van een zesdelige serie over de techniek in Nederland in de negentiende eeuw (TIN 19) en voorzitter van de redactie van een zevendelige serie over de techniek in Nederland in de twintigste eeuw (TIN 20). De organisatie van beide series was in handen van de Stichting Historie der Techniek, die Lintsen in 1988 samen met ir. W.J. Wolff, president van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs KIVI-NIRIA, oprichtte. Lintsen vervulde een professoraat aan de Technische Universiteit Delft (1990-2004) en aan de Technische Universiteit Eindhoven (1990-2010). In 1910 ging hij met emeritaat. Momenteel houdt hij zich bezig met de geschiedenis van de kennisinfrastructuur in Nederland en met het thema 'duurzaamheid' in historisch perspectief.

Rob van Veen (1948) studeerde scheikunde aan de Universiteit Leiden en vertrok halverwege zijn promotie naar Shell, maar promoveerde toch nog in 1981 aan zijn alma mater, op een onderzoek naar de elektrochemische reductie van zuurstof. Bij Shell, voornamelijk in Amsterdam, werkte hij aan de directe methanolbrandstofcel, de constitutie en reactiviteit van kolen, de chemie van de katalysatorbereiding, en tenslotte aan het onderzoek en de ontwikkeling van hydroprocessing katalysatoren. Van 1988 tot 2006 was hij tevens deeltijdhoogleraar aan de Technische Universiteit Eindhoven (elektrokatalyse en katalysatorbereiding). Sinds zijn pensionering in 2008 kan hij meer ruimte geven aan zijn historische belangstelling en is hij mede-auteur van een boek over de historische ontwikkeling van het Shell GTL proces (naast Ton van Helvoort en Matthijs Senden).

Dankwoord

De weg van het projectvoorstel naar de voor u liggende monografie was niet bepaald effen. De insteek is door het historisch onderzoek en de discussies daarover enige keren bijgesteld. We zijn de velen die ons hierbij hebben bijgestaan, zeer erkentelijk. Enkelen van hen noemen we apart.

Rutger van Santen, directeur van NRSC-Catalysis, heeft het project financieel en ideëel ondersteund. De discussies met hem hebben ons keer op keer geïnspireerd en zullen ons nog lang heugen.

Verder zijn wij dank verschuldigd aan Ernst Homburg, die de volledige tekst heeft doorgenomen en van commentaar voorzien. Het heeft de tekst beduidend verbeterd.

Dank gaat verder uit naar de begeleidingscommissie van het project 'Geschiedenis Unilever Research' en Theo Henckens voor hun commentaar op delen van de tekst en naar Anneke Schelvis en Peter Burgman van de Shell TCA bibliotheek voor hun ondersteuning van het historisch onderzoek bij Shell.

Residuale onnauwkeurigheden komen uiteraard geheel voor rekening van de auteurs.

**Het onderzoek en de uitgave zijn gefinancierd door de
National Research School Combination Catalysis Controlled
by Chemical Design (NRSC-Catalysis)**

Stichting Historie der Techniek

De Stichting Historie der Techniek (SHT) laat zien dat kennis over de historische ontwikkeling van techniek en samenleving cruciaal is voor het begrijpen van actuele maatschappelijke kwesties. De SHT plaatst vraagstukken zoals de toekomst van Europa of de ontwikkeling van de Nederlandse kenniseconomie in een lange termijn perspectief en laat de bredere context zien. De benodigde kennis wordt vergaard via grote nationale en internationale onderzoeksprogramma's en individuele onderzoeksprojecten. De resultaten worden toegankelijk gepresenteerd via boeken, artikelen en nieuwe media. De activiteiten van de SHT worden mede mogelijk gemaakt door de Technische Universiteit Eindhoven.

Sinds haar oprichting in 1988 heeft de SHT baanbrekend werk verricht. Eerst was het centrale thema de transitie in Nederland in de negentiende en twintigste eeuw. Dit resulteerde in 1994 in de zesdelige serie *Geschiedenis van de techniek in Nederland in de negentiende eeuw. De wording van een moderne samenleving 1800-1890* en in 2003 in de zevendelige serie *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw*. Daarna was de rol van techniek in Europa aan de beurt in het programma Making Europe. Technology and Transformations, 1850-2000. Dit programma zal tot en met 2015 resulteren in een boekenserie en een dynamisch digitaal museum. Meer informatie is te vinden op www.histech.nl.

© Harry Lintsen, Ton van Helvoort, Rob van Veen
Eindhoven 2014

Uitgave Stichting Historie der Techniek

Vormgeving: Kade05

Druk: Puntscherp


Figuren: Kade05. De figuren zijn gebaseerd op voorbeelden van katalysatoren. Zij zijn geen weergave van de katalysatoren die in dit boek behandeld worden.

Alles uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever, MITS er geen veranderingen worden aangebracht in de tekst en er volgens de wetenschappelijke standaard verwezen wordt naar deze uitgave.

De publicatie is door de Stichting Historie der Techniek eveneens digitaal ter beschikking gesteld via www.histech.nl

ISBN 978-90-73192-37-9

NUR 680



Dit boek bevat een viertal historische casussen, waarin gedetailleerd verslag wordt gedaan van innovaties met een hoofdrol voor een katalysator. De casussen werpen een unieke blik op het industriële onderzoek. Het komt niet vaak voor dat historici de kans krijgen om in de keuken van het industrieel research-laboratorium te kijken. De casussen zijn aanleiding voor een serie beschouwingen over het industrieel en universitair onderzoek. Welke rol speelt het industrieel researchlaboratorium in innovatieprocessen? Wat is de verhouding tussen research en development? Welke bijdrage levert het universitair onderzoek aan innovaties? Hoe is de relatie tussen het universitair en het industrieel onderzoek? In de epiloog plaatsen de auteurs kanttekeningen bij het Innovatiecontract Chemie, een recent document over de toekomst van de chemie in Nederland.

Prof. Dr. Rutger van Santen

Emeritus hoogleraar Technische Universiteit Eindhoven

voormalig wetenschappelijk directeur

National Research School Combination Catalysis (NRSC)



Stichting
Historie der
Techniek

Foundation
History of
Technology

