Techniek in Nederland *in de* TWINTIGSTE EEUW

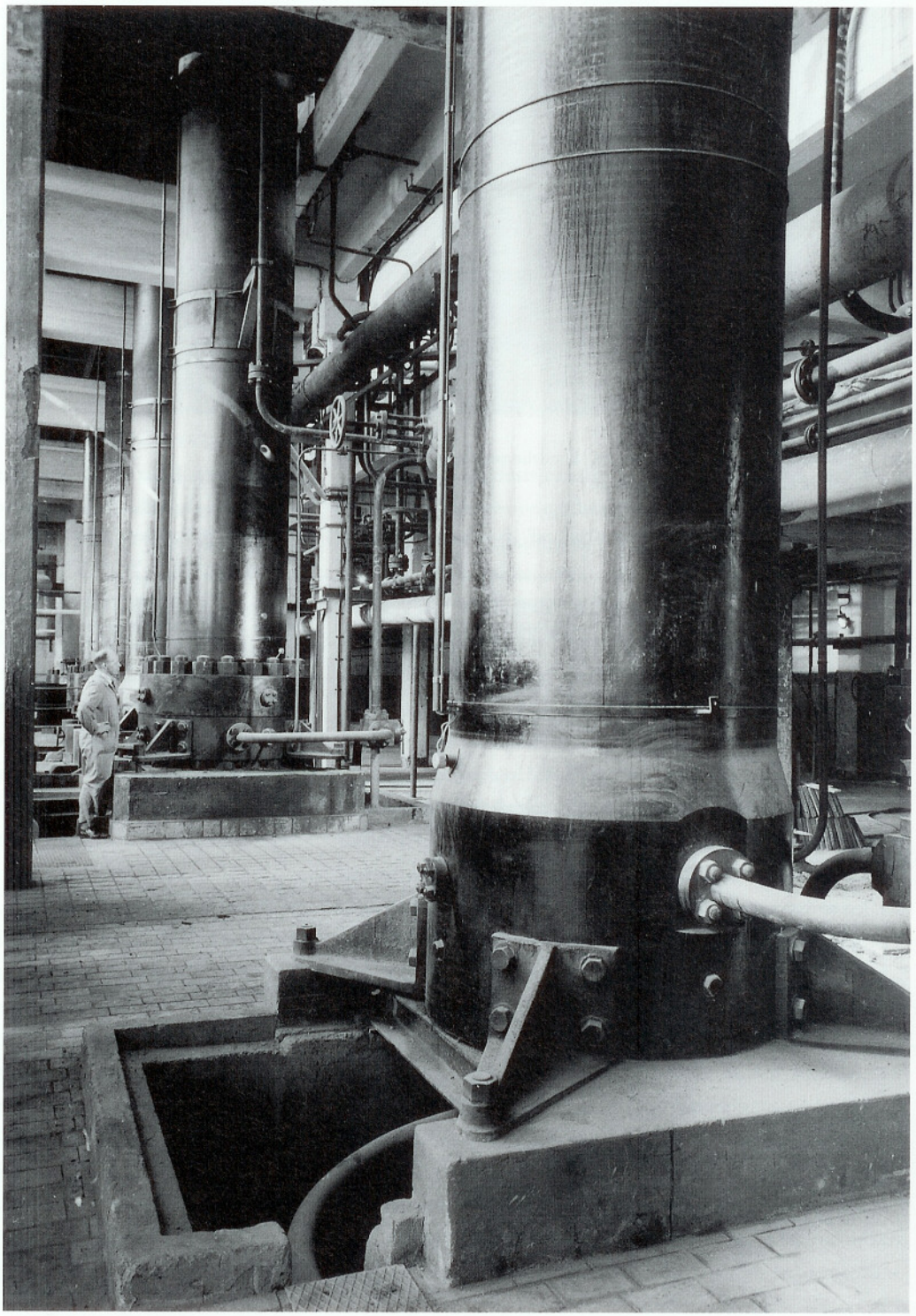
II

DELFSTOFFEN
ENERGIE
CHEMIE

Deel 3
Chemie
Hoofdstuk 5
Incl. noten

STICHTING HISTORIE DER TECHNIEK
WALBURG PERS

Een kijkje in de synthesehal van het tussen 1928 en 1930 gebouwde Stikstofbindingsbedrijf van Staatsmijnen, met de veertien meter hoge ammoniak-synthesekolommen. Fritz Haber en Carl Bosch ontwikkelden tussen 1904 en 1913 de synthese van de ammoniak uit waterstof en stikstof bij temperaturen van enkele honderden graden Celsius en drukken van meer dan tweehonderd atmosfeer, in aanwezigheid van een katalysator. Deze ontwikkeling luidde een nieuw technisch regime in de chemische techniek in. Na 1913 zou het katalytische hogedrukonderzoek in het centrum van de wetenschappelijke en technische belangstelling komen te staan.



5

Van carbo- naar petrochemie, 1910-1940

De Koninklijke als producent van aromaten, explosieven en kleurstoffen
Het Haber-Bosch-proces en de start van een nieuw technisch regime
Van kolen naar chemie: Staatsmijnen en de stikstofbinding
Het Bergius-proces als schakel tussen de olie- en de kolenchemie
Van Bergius naar Mont-Cenis: de Bataafsche en stikstofbinding
De wisselwerking tussen petro- en carbochemie

In hoofdstuk twee zijn de superfosfaat- en de zwavelzuurindustrie behandeld. Beide behoren tot de *an*organisch-chemische industrie, het deel van de chemische industrie waar Nederland vanouds vrij sterk in was. De anorganisch-chemische industrie gaat uit van minerale grondstoffen die geen of weinig koolstof bevatten, zoals zout, zwavel en fosfaatertsen. In dit hoofdstuk staat de organisch-chemische industrie centraal, het deel van de chemische industrie dat koolstofhoudende grondstoffen verwerkt.[1] Aanvankelijk kwamen die grondstoffen uit het planten- en dierenrijk (vandaar de naam 'organisch'), maar in de negentiende en twintigste eeuw begon de industrie steeds vaker steenkool- en olieproducten als grondstof te gebruiken. Toen begon de industrie naast extractieprocessen, die vanouds in gebruik waren, voor het eerst ook gebruik te maken van chemische syntheses. De organisch-chemische industrie overtreft de anorganische industrietakken verre in omvang: wat betreft de geproduceerde hoeveelheden, maar vooral qua veelzijdigheid. Kleurstoffen, geneesmiddelen, plastics, kunstvezels, explosieven, reuk- en smaakstoffen, oplosmiddelen en lijmen zijn enkele van de vele producten behorend tot de organisch-chemische industrie.
Toen de synthetisch-organisch-chemische industrie omstreeks 1850 van de grond kwam, was steenkool – afgezien van enige biologische grondstoffen als suikers en zetmeel – de primaire grondstof waar het grootste deel van die industrietak van afhankelijk was. Vooral steenkoolteer, dat als bijproduct van de stedelijke lichtgasfabricage vrijkwam, was een uitstekende grondstof voor de winning van zogeheten 'aromaten' als benzeen en naftaleen.
Later werd koolteer ook als bijproduct van de cokesfabricage gewonnen. De carbochemische bedrijfskolom (d.w.z. op basis van steenkool) bestond uit vier schakels. De gas- en cokesfabrieken die de koolteer leverden, vormden de eerste schakel (pas later werd gas zelf een grondstof voor de chemische industrie, zoals we zullen zien). Vervolgens waren er de koolteerdestilleerderijen, die de koolteer splitsten in enkele meer of minder zuivere fracties. Deze koolteerfracties werden vervolgens in gespecialiseerde chemische fabrieken met behulp van stoffen als zwavelzuur en salpeterzuur omgezet in simpele aromatische tussenproducten, zoals nitrobenzeen, aniline, beta-naftol en dergelijke. Kleurstoffenfabrieken en andere fabrieken die op basis van deze tussenproducten stoffen maakten voor de eindconsument (bijv. geneesmiddelen) of voor industrietakken buiten de chemie (bijv. textiel), vormden de vierde en laatste schakel. Vaak waren, zoals in Duitsland, de derde en de vierde schakel binnen hetzelfde bedrijf geïntegreerd.
Nederland had tot de Eerste Wereldoorlog slechts een deel van deze bedrijfskolom binnen zijn grenzen. Wanneer we afzien van de talloze primitieve koolteerdestilleerderijen die de koolteer uitsluitend tot asfalt verwerkten, kende Nederland eind vorige eeuw twee koolteerdestilleerderijen: een in Amsterdam (Spalteholz en Ameschot) en een in Krimpen aan de IJssel (de Maatschappij tot Bereiding van Koolteerproducten). Zij leverden hun producten grotendeels aan de Duitse chemische industrie, omdat er in eigen land door meerdere oorzaken geen fabricage van aromatische tussenproducten van de grond was gekomen. Er ontbrak dus een belangrijke schakel in de keten. Toen zich omstreeks 1890 twee kleine Duitse kleurstoffenfabrieken om octrooiredenen in Amersfoort en Delft vestigden, betrokken deze dan ook vrijwel al hun tussenproducten van de grote Duitse kleurstoffen- en tussenproductenfabrikanten als BASF, Hoechst en Bayer.[2]
Dat de in Nederland gevestigde kleurstoffenbedrijven zo afhankelijk waren van hun grote Duitse broers, had te maken met het netwerk-

Vóór de ontwikkeling van de Haber-Bosch-synthese werden ammoniak en de kunstmest ammoniumsulfaat bereid uit een waterig bijproduct van stadsgas- en cokesfabrieken. De meeste gasfabrieken lieten hun gaswater verwerken in de ammoniakfabriek van de firma Van der Elst en Matthes bij Weesp. Het gaswater werd daar in hoge destillatiekolommen (rechts) verwerkt tot een geconcentreerde ammoniakoplossing, die vervolgens met zwavelzuur in ammoniumsulfaat werd omgezet. Op de voorgrond enige gebruikte mandflessen voor het transport van zwavelzuur.

karakter van de synthetisch-organische industrie, waarbij het monopolie op enkele cruciale tussenproducten *de facto* de greep op het gehele netwerk betekende. Op basis van slechts enkele koolteerproducten, waarvan benzeen, tolueen, fenol, naftaleen en antraceen de belangrijkste waren, maakten de grote Duitse bedrijven tientallen tussenproducten die hun de controle gaven over het gehele daarachter liggende 'netwerk' van honderden kleurstoffen, geneesmiddelen en explosieven. Juist het feit dat de Duitse chemiereuzen als enigen in de wereld een dergelijk breed scala aan – onderling gekoppelde – tussenproducten maakten, vormde de basis van hun monopolie. Door de vaardige exploitatie van *economies of scale and scope* wisten zij kostprijsvoordelen te behalen die voor nieuwkomers, zoals de bedrijven in Delft en Amersfoort, een onoverkomelijke drempel vormden voor het zelf oprichten van een tussenproductenfabriek.[3] Vandaar ook dat het tijdens de Eerste Wereldoorlog de voornaamste zorg van mensen als Boldingh en Ter Horst was om eerst de fabricage van tussenproducten van de grond te krijgen (hoofdstuk vier).

In diezelfde tijd beleefde de Nederlandse productie van koolteerproducten een aanzienlijke groei doordat achtereenvolgens in Maastricht (1908), Sluiskil (1913) en Treebeek (1919) de eerste grootschalige cokesovens in bedrijf kwamen. Later volgden nog cokesovens bij de staatsmijn Maurits in Geleen en bij Hoogovens te IJmuiden. De Nederlandse aromatenproductie werd een veelvoud van hetgeen als vanouds op basis van gasteer werd geproduceerd. Zo ontstond er ruimte voor een derde koolteerdestilleerderij, die onder de naam 'Nederlandsche Teer- en Asphalt-Industrie' in 1922 in Uithoorn in productie kwam. Dit later als Cindu bekend staande bedrijf verwerkte vanaf 1924 onder meer alle teer van Hoogovens. Toch leidde deze groeiende beschikbaarheid van koolteerderivaten in de jaren twintig nog nauwelijks tot een uitbreiding van de synthetisch-organisch-chemische industrie. De meeste koolteerfracties werden, na zuivering, direct in eindproducten verwerkt. Zo werd 'benzol' (onzuivere benzeen), gemengd met benzine, gebruikt als motorbrandstof, werd de anthraceenfractie opgewerkt tot het bestrijdingsmiddel vruchtboomcarbolineum en werd naftaleen grotendeels naar Duitsland geëxporteerd.[4]

Tot na de Tweede Wereldoorlog zou in Europa het hierboven geschetste patroon in stand blijven. Steenkool bleef de primaire grondstof voor de synthetisch-organisch-chemische industrie. Toch vonden er enige ingrijpende wijzigingen plaats in de wijze waarop steenkool als grondstof door de chemische industrie werd gebruikt. Daarnaast kwam er geleidelijk een tweede grondstof in beeld: aardolie. Beide ontwikkelingen legden de basis voor de naoorlogse chemische industrie. Ze vormen de kern van dit hoofdstuk.

Een van de eersten die de opkomst van de petrochemie voorzagen, was het hoofd van het Amsterdamse BPM-laboratorium, W.C. de Leeuw. Hij schreef in 1919:

> '(Petroleum zou) een niet onbelangrijke uitbreiding (van) haar betekenis ondergaan, als het gelukte haar tot een belangrijk uitgangsmateriaal voor de chemische veredeling te maken. (..) De eerste schreden in deze richting zijn gedaan, doch men heeft zich daarbij nog bepaald tot imitatie van reeds bekende toepassingen uit de steenkoolteerchemie. (..)

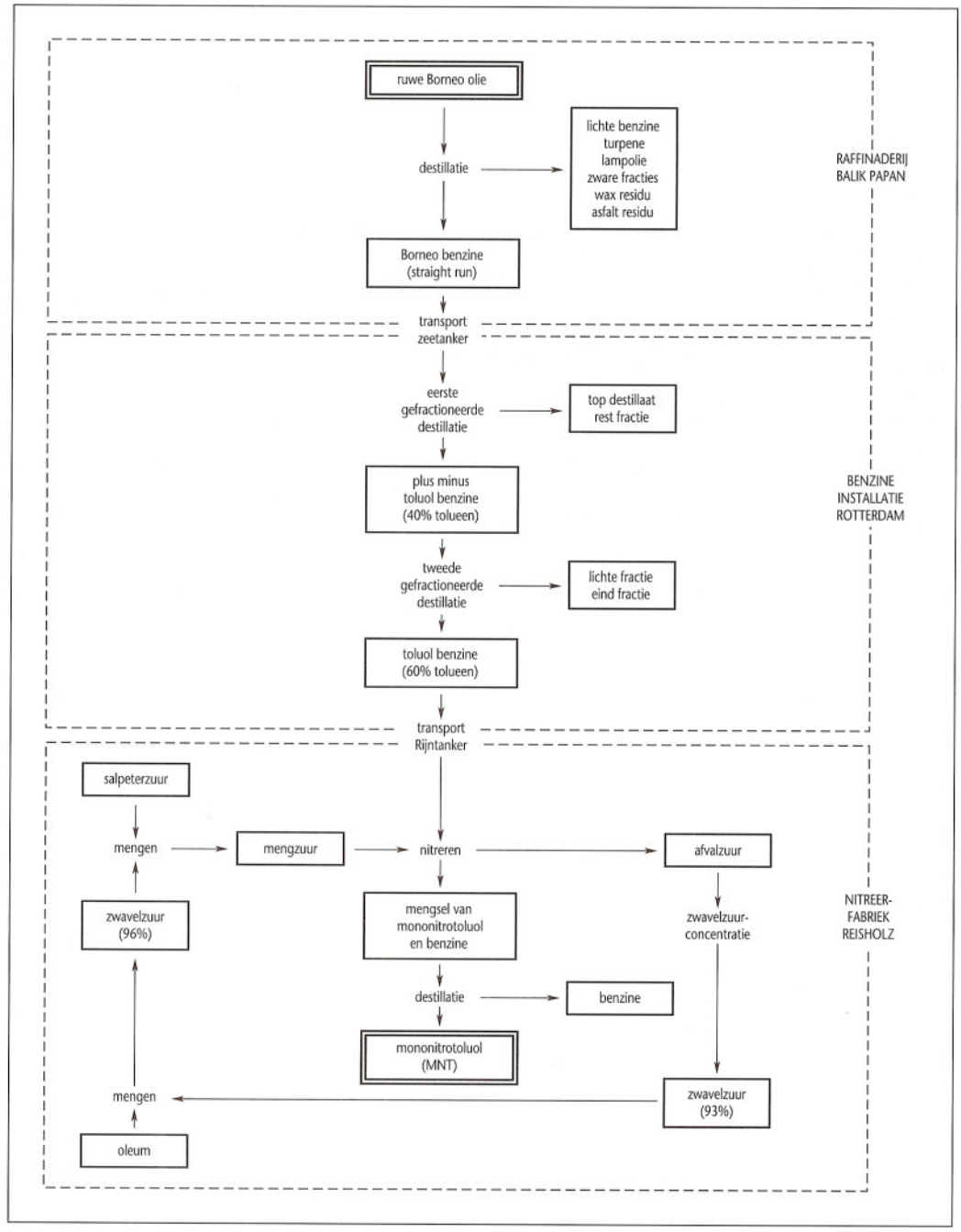
> Nog grooter zal de beteekenis der olie als uitgangsmateriaal voor chemische bewerkingen worden, als het gelukt, (..) een dergelijke specifieke olie-industrie te stichten, die gebaseerd is (..) op die van de veel belangrijkere oliecomponenten: de verzadigde aliphatische en cyclische koolwaterstoffen. Daarvan scheidt ons nog een lange weg. (..)
> (De dag zal echter zeker) aanbreken, dat menige oliesoort een voorbehandeling zal hebben te ondergaan ter levering van chemische praeparaten, alvorens tot energie-opwekking te worden benut'.[5]

Toen De Leeuw deze woorden schreef, was er op deze 'lange weg' hoogstens een eerste stap gezet. De Leeuw, die deze stap als imitatie van de koolteerchemie afdeed, was daar zelf nauw bij betrokken geweest. Hieronder gaan we kort op die episode in en vooral op de stappen die daarna zouden volgen. Gedurende de gehele ontwikkeling was er een productieve wisselwerking tussen de carbo- en de petrochemie, die er soms toe leidde dat bedrijven die aardolie als grondstof gebruikten leentjebuur speelden bij de carbochemie, door processen uit dat domein over te nemen (en vice versa), terwijl er daarnaast ook eigenstandige procesontwikkeling in beide domeinen plaatsvond. De beschikbaarheid van voldoende laaggeprijsde grondstoffen speelt in de chemische industrie een grote rol en vele ontwikkelingen in de carbo- en de petrochemie zijn bij uitstek 'feedstock, rather than technology or market driven'.[6]
Een curieus mengsel van concurrentie en samenwerking tussen twee grondstoffendomeinen maakte dat de chemische industrie in de jaren twintig en dertig als nooit tevoren werd voortgestuwd en ingrijpend veranderde. Voor het eerst ontstond er technische samenwerking op wereldschaal tussen grote chemische bedrijven, die de technische grondslag legde voor de exponentiële naoorlogse groei van de chemische industrie.
In de wisselende verhouding tussen de carbo- en de petrochemie zijn drie fases te onderscheiden.
In de eerste fase, gekenmerkt door het stoffennetwerk van de aromatische verbindingen, was aardolie nog geen grondstof voor de chemische industrie. Het werd louter voor verlichtingsdoeleinden en later als bron van autobenzine gebruikt. Steenkoolteer vormde de grondslag waarop het gehele bouwwerk van de synthetisch-organisch-chemische industrie was opgetrokken. In 1906 begon ook de aardolie-industrie deel te nemen aan deze ontwikkeling toen Jones en Knoops ontdekten dat er in sommige petroleumsoorten dezelfde aromatische verbindingen voorkwamen als in koolteer (hoofdstuk drie). Op basis van die ontdekking richtte de in 1907 ontstane Koninklijke/Shell fabrieken op. Deze hoorden tot de eerste petrochemische fabrieken ter wereld, maar ze maakten in technisch opzicht gebruik van de verworvenheden van de steenkoolchemie.
Een tweede fase trad in toen de Duitse chemische industrie ook andere steenkoolproducten dan koolteer als grondstof ging gebruiken. Daarbij ging het met name om cokes, waaruit op twee manieren het waardevolle waterstofgas gewonnen kon worden: door zuivering van cokesovengas, of door hete stoom over gloeiende cokes te leiden. De opkomst van deze nieuwe processen hing samen met ontwikkelingen binnen de chemische wetenschap en met de oplossing van talrijke werktuigkundige en materiaaltechnische kwesties. Vooral het Haber-Bosch-proces voor de bereiding van synthetische ammoniak vervulde een paradigmatische rol.
Er werden bij de ontwikkeling van dat proces technieken uitgewerkt die de basis vormden van een nieuw technologisch traject waarin, zoals we nog zullen zien, ook de aardolie-industrie ging participeren.[7]
Omstreeks 1930 trad een derde fase in toen zowel binnen de olie-industrie als binnen de klassieke, op steenkool gebaseerde chemische industrie de chemie van gasvormige organische verbindingen als methaan, ethaan, etheen, propeen en dergelijke (de zogeheten alifaten en olefinen) tot ontwikkeling werd gebracht. Uitgaande van aardgas en kraakgassen kwam er in Amerika een petrochemische industrie van de grond, waarbij de in deze gassen voorkomende alifaten en olefinen werden omgezet in tal van chemische producten. Hetzelfde gebeurde in Duitsland uitgaande van stoffen als etheen en acetyleen (ethyn), die onder meer in cokesovengassen voorkwamen. Terwijl gedurende de eerste twee fases de steenkoolchemie overduidelijk het voortouw had, ging de ontwikkeling nu meer gelijk op. Er kwam een eigenstandige petrochemie van de grond, die niet gemodelleerd was naar het carbochemische voorbeeld.
Deze drie fases geven tevens de indeling van dit hoofdstuk weer. We beginnen met de eerste schreden van de Koninklijke op het terrein van de (aromaat)chemie.

De Koninklijke als producent van aromaten, explosieven en kleurstoffen

De ontdekking van Jones en Knoops dat Borneo-olie een hoog gehalte aan aromaten had, stond aan de basis van de eerste activiteiten van de Koninklijke op het gebied van de chemische synthese. Door deze ontdekking kwam een 'feedstock driven' ontwikkelingsproces op gang waarin, aangelokt door het grote succes van de Duitse kleurstoffenindustrie, de BPM probeerde de binnen de koolteerchemie verzamelde kennis toe te passen op haar eigen grondstoffen en tussenproducten.
Voor de verwerking van de in Balik Papan geproduceerde ruwe benzine bouwde de Koninklijke in Rotterdam een nieuwe raffinaderij. Hierin onderging de benzine een dubbele scherpe gefractioneerde destillatie, met als eindproducten onder meer een aromatenarme lichte benzine en de aromatenrijke 'toluolbenzine', die vervolgens verder werd verwerkt tot grondstoffen voor de springstoffen- en kleurstoffenindustrie. Deze raffinaderij kwam in 1908 in bedrijf.[8]

Schema van het door W.C. Knoops jr. (1879-1953) ontwikkelde proces voor de productie van (mono)nitrotolueen uit Borneo-benzine. In de BPM-raffinaderij in Balik Papan op Borneo werd de ruwe Borneo-olie in een zevental fracties gesplitst, waaronder de aromaatrijke Borneo-benzine, die naar Rotterdam werd verscheept. In Rotterdam onderging deze benzine vervolgens, in een in 1907-1908 gebouwde raffinaderij voor 'special boiling point'-benzines, tweemaal een scherpe gefractioneerde destillatie in zogeheten Heckmann-kolommen. Daarbij ontstond een 60% tolueen – of toluol, zoals men het toen noemde – bevattende 'toluolbenzine', die met rijntankers naar Reisholz bij Düsseldorf werd verscheept, waar in 1908-1909 onder leiding van Knoops een nitreerfabriek verrees. Daar werd de toluolbenzine met behulp van mengzuur omgezet in (mono)nitrotolueen, dat een waardevol tussenproduct was voor de bereiding van kleurstoffen en explosieven. De resterende benzine werd afgedestilleerd en verder verwerkt in de benzineraffinaderij te Reisholz.



De 'toluolbenzine' werd per schip naar Reisholz bij Düsseldorf vervoerd, waar onder leiding van Knoops een nitreerfabriek werd gebouwd, die eind 1909 in productie kwam (zie figuur). Dat men voor die locatie koos, kwam vooral door de markt. De Duitse kleurstoffenbedrijven zouden immers de belangrijkste afnemers zijn. Vestiging in Duitsland was fiscaal gunstig, omdat zo hoge invoerrechten op nitro-producten werden vermeden. Daarnaast speelde ook het lage Duitse prijsniveau voor salpeterzuur een rol, een stof die de prijs van het eindproduct tot op zeer grote hoogte bepaalde. Dit zuur werd in Duitsland door de geïntegreerd opgezette kleurstoffenbedrijven in grote hoeveelheden geproduceerd. Door een gekoppelde in- en verkooppolitiek, waarbij Knoops salpeterzuur inkocht en vervolgens nitrotolueen aan dezelfde bedrijven afleverde, kon de Koninklijke een gunstig leveringscontract voor salpeterzuur afsluiten. Toch werd de fabriek geen groot succes. Vele technische storingen en de opkomende markt voor aromatenrijke autobenzines hadden een nadelige invloed op de kostprijs.[9]

Bij het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog kwamen er nieuwe ontwikkelingen op gang. In het geallieerde kamp ontstond bijvoorbeeld een gebrek aan tolueen, de grondstof voor de productie van het brisante explosief trinitrotolueen (TNT). De volgende stap van de Koninklijke op het gebied van de chemie van koolteerderivaten bestond dan ook in de bouw van raffinaderijen voor toluolbenzine in Frankrijk en Engeland, onder leiding van

Tekening uit 1914 van de in 1903 te Reisholz gebouwde raffinaderij van de Benzinwerke Rhenania, een dochter van de Koninklijke. Achter het tankpark rechts vond de benzinedestillatie plaats in de stenen gebouwen met een hoger en een lager gedeelte (vergelijk de afbeeldingen van de proeffabriek in Pernis in hoofdstuk drie en de koolteerdestilleerderij in Krimpen in hoofdstuk vier). Destilleerkolommen werden in Europa in die tijd nog niet in de open lucht opgesteld. In 1908 en 1909 bouwde de Enschedese architect en aannemer Arend Beltman A.G.zn de nitreerfabriek op dit terrein, alsmede een laboratorium en een woonhuis voor Knoops en zijn gezin.

Nederlandse technologen (J.E.F. de Kok en W.L. Sluyterman van Loo). Daarnaast was er eind januari 1915 de spectaculaire verplaatsing bij *Nacht und Nebel* van de complete raffinaderij voor Borneo-benzine van Rotterdam naar Engeland.[10] In dat land raakte de Koninklijke/Shell vervolgens betrokken bij de oprichting van verscheidene TNT-fabrieken. Zo werd ervaring opgedaan die uitstekend van pas kwam toen de Nederlandse overheid de BPM vroeg om in het moederland een TNT-fabriek te bouwen (hoofdstuk vier). De Kok en Knoops' assistent M.C. Bastet, die uit Duitsland was teruggeroepen, hadden de projectleiding. In de loop van 1916 verrees deze naar internationale maatstaven kleine fabriek voor het voor die tijd hoge bedrag van één miljoen gulden op een locatie bij de Hembrug aan de zuidkant van het Noordzeekanaal. De Staat betaalde de kosten.[11]

Gedurende de gehele oorlog was het een komen en gaan van Nederlandse chemisch-technologen in Engeland. Er was een groot gebrek aan chemici en Delftse scheikundige ingenieurs stonden bij de Britse Shell-directie in hoog aanzien. Een poging van Shell-directeur R. Waley Cohen om het Amsterdamse laboratorium, de Rotterdamse proeffabriek en meerdere Nederlandse chemici naar Cambridge te verplaatsen, werd echter verhinderd door BPM-directeur C.M. Pleyte, die zich fel verzette tegen deze 'first step to remove the chemical centre (of the Group) from Holland to England'. Chemisch onderzoek en het ontwerpen van fabrieken, in het Haagse hoofdkantoor, mochten volgens Pleyte niet worden gescheiden.[12] Zo zorgden de oorlogsjaren ervoor dat de chemie definitief een factor van betekenis was geworden voor de Koninklijke/Shell aan beide zijden van de Noordzee.

De mislukte sprong naar de kleurstoffen

Het onderzoeks- en ontwikkelingswerk op het gebied van de productie van mono- en trinitrotolueen deed zowel bij de Britse als bij de Nederlandse directieleden van de Groep de vraag opkomen of de Koninklijke/Shell zich vanwege haar sterke positie op de tolueenmarkt niet ook op het terrein van de kleurstoffenindustrie moest gaan begeven. In Engeland deden overheid en bedrijfsleven er alles aan om een grootschalige nationale kleurstoffenindustrie uit de grond te stampen. Waley Cohen zag grote mogelijkheden voor de Koninklijke/Shell. In juli 1915 schreef hij naar Den Haag: 'I think there is no doubt whatever that after the war we shall find ourselves entering into the dye business, as the extraordinary purity of the benzol and toluol which can be obtained from our Borneo products would give us a very great advantage.' W.J. Pope, hoogleraar organische chemie in Cambridge, werd verzocht onderzoek te verrichten naar de geschiktheid van Borneo-olie als grondstoffenbron voor kleurstoffenproductie. Pope ontdekte dat naast de reeds bekende koolwaterstoffen benzeen en tolueen, ook xyleen in commercieel interessante hoeveelheden aanwezig was. Die stof koos hij vervolgens tot uitgangsstof voor een onderzoek naar mogelijke syntheseroutes om tussenproducten en kleurstoffen te maken.[13]

Toen dit onderzoeksprogramma enige vaart kreeg, diende ook een begin te worden gemaakt met de vertaalslag naar de industriële toepassing. Eind mei 1916 bepleitte Waley Cohen bij BPM-directeur H. Colijn de samenwerking tussen Cambridge en Amsterdam. Pope zou de wetenschappelijke zijde onder zijn hoede nemen, terwijl de BPM-chemici in Amsterdam – onder leiding van

Schilderij ter ere van de zeventigste verjaardag van W.L. Sluyterman van Loo (1871-1946) in 1941. De onderste helft, geschilderd naar een luchtfoto van omstreeks 1927, toont de in 1902 opgerichte benzineraffinaderij van de BPM te Rotterdam-Charlois, bij de ingang van de Waalhaven. Hier bevond zich tussen 1908 en 1915 de in januari 1915 in het diepste geheim naar Engeland verscheepte destillatie-installatie voor Borneo-benzine. Sluyterman van Loo leidde de benzine-installatie van 1902 tot 1915. Daarna was hij vier jaar in Engeland actief.
Na de Eerste Wereldoorlog kreeg hij de technische leiding van alle raffinaderijen van de Koninklijke/ Shell in Europa – gesymboliseerd door de wapens op de bovenste helft van het schilderij.

W.C. de Leeuw, die De Kok inmiddels als researchleider was opgevolgd – de bereiding van xyleenderivaten op een grotere schaal dienden te onderzoeken. Zo geschiedde. Ten behoeve van de start van de eigenlijke productie stelde Waley Cohen aan Colijn voor twee coördinatoren te benoemen, een Engelsman en een Nederlander, die zich met betrekking tot de tussenproducten voor de kleurstoffenfabricage zouden verdiepen in de technische en commerciële aspecten van die industrietak. Colijn benoemde J.E.F. de Kok in dit team, als verantwoordelijke man voor de technische zaken. Nog voordat Boldingh en Van Dorp bij Colijn aanklopten (hoofdstuk vier), had het olieconcern zo reeds koers gezet in de richting van de kleurstoffenindustrie.[14]
Bij het opstellen van plannen voor de research in Amsterdam ging projectleider De Kok systematisch te werk. Als eerste stap liet hij een 'stamboom' maken van de kleurstoffen- en explosievenfabricage, inclusief de grondstoffen en tussenproducten. Deze stamboom liet zien welke tussenproducten uit welke basisgrondstoffen bereid konden worden, terwijl het schema tevens zichtbaar maakte welke tussenproducten tot welke explosieven en kleurstoffen konden worden gecombineerd. Vervolgens werd een tabel gemaakt welke tussen- en eindproducten vanuit benzeen, tolueen en xyleen konden worden gemaakt, de basisgrondstoffen die de Koninklijke/Shell Groep kon produceren. Op basis van die tabel stelde De Kok zijn researchprogramma op: stap voor stap voortschrijdend vanuit benzeen, tolueen, xyleen en hun nitro-producten: stoffen waar de Koninklijke sterk in was. Daarmee zou de research dienen te starten. Vervolgens kwamen dan de sulfonzuren en chloorderivaten van die stoffen aan de beurt, en ten slotte enige eenvoudig uit nitro-producten te bereiden stoffen als aniline, toluïdine en xylidine.
De Kok had goede redenen, meende hij, zo voorzichtig te werk te gaan. Vergeleken bij de Duitse kleurstoffenbedrijven had het bedrijf een groot gebrek aan ervaring. Men diende zich daarom te beperken tot die terreinen waarop de Groep inmiddels een sterke positie had opgebouwd.[15] Deze aanpak laat fraai zien hoe groot het belang was dat het bedrijf aan zijn grondstoffenpositie hechtte en hoe van daaruit werd bepaald welke chemische stappen dienden te worden gezet. Het stoffen-netwerk fungeerde zo als strategisch instrument in de researchplanning.
Parallel aan het laboratoriumwerk ondernam de BPM ook een grondige studie van de kleurstoffenmarkt. Hiermee werd het hoofd van het Amsterdamse laboratorium W.C. de Leeuw belast. De Leeuw was een echte geleerde, een boekenman met filosofische neigingen en een bredere blik dan een doorsnee-laboratorium-chemicus. In zijn studie van de kleurstoffenbranche ging hij niet over één nacht ijs. Na er een jaar met tussenpozen aan gewerkt te hebben, kwam zijn rapport pas in januari 1918 uit, maar toen had hij ook een waar kunstwerk afgeleverd. Zijn meer dan 300 pagina's tellende boek over *Kleurstoffen uit petroleum. Algemeene beschouwingen over de industrie der synthetische kleurstoffen* bleek een magistrale studie te zijn van de geschiedenis en actuele toestand van de gehele Duitse, Britse, Franse en Amerikaanse kleurstoffen-industrie, met een scherpe analyse van de factoren die in het verleden bloei en verval hadden bepaald. Tevens bevatte het een gedegen onderzoek naar de marktkansen van de Borneo-producten. Vier 'stambomen' uitgaande van benzeen, tolueen, naftaleen en antraceen completeerden het werk.[16]
De conclusies waartoe De Leeuw kwam, waren enigszins ontnuchterend. Alleen op de tolueenmarkt was de 11.600 ton tolueen die per jaar uit Borneo-petroleum gewonnen kon worden geen *quantité négligeable*. De vooruitzichten om marktdominantie voor benzeen en xyleen te verwerven, waren beduidend minder rooskleurig. Daar kwam bij dat verschillende andere strategische grondstoffen, zoals naftaleen en antraceen, alleen uit koolteer gewonnen konden worden. De Koninklijke/Shell kon daardoor op basis van haar eigen grondstoffen nooit dezelfde *economies of scope* realiseren als de Duitse kleurstoffenindustrie. Net als De Kok beval De Leeuw daarom een voorzichtige strategie aan, waarbij een

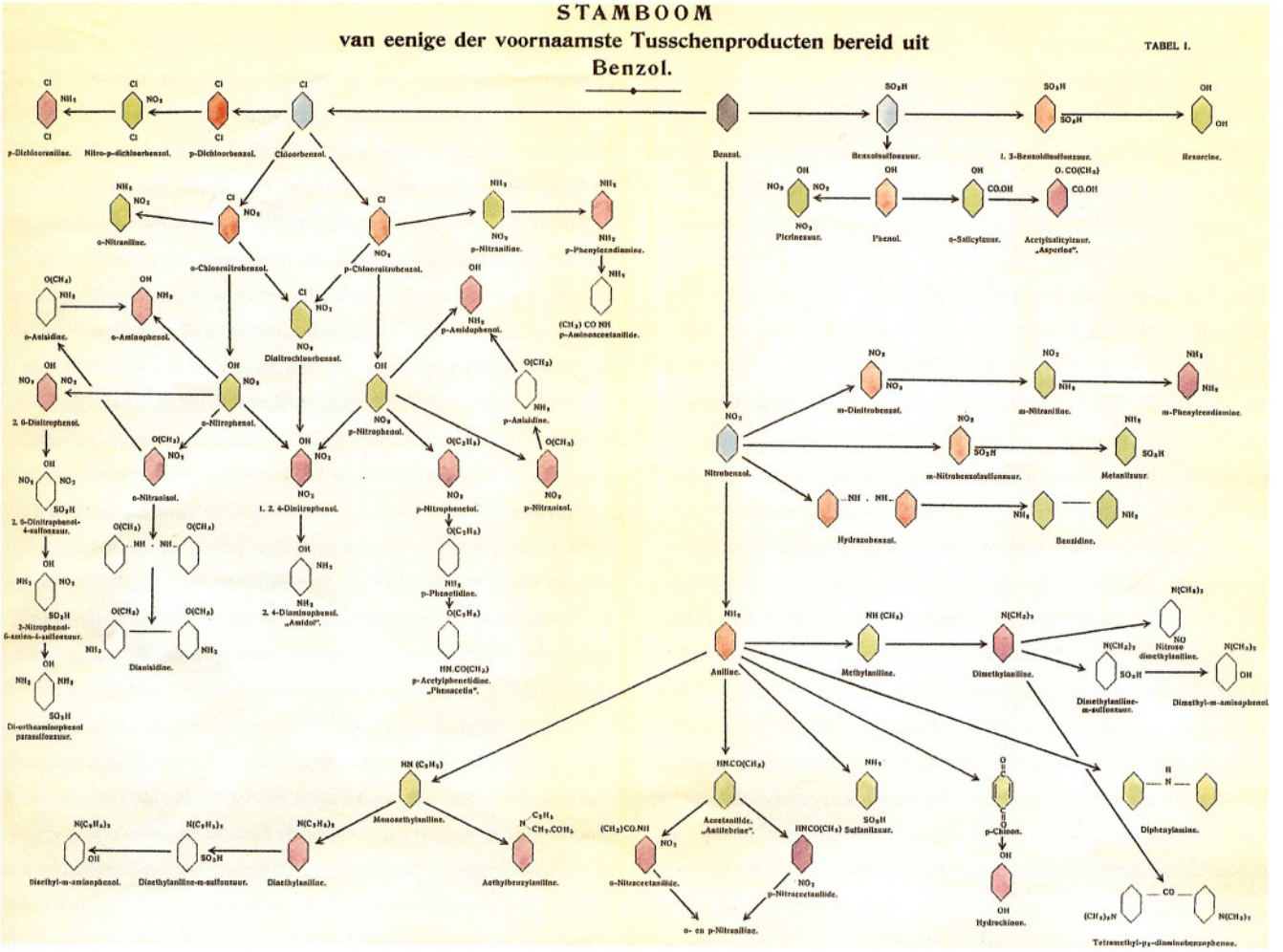
geleidelijke controle over de kleurstoffensector zou worden nagestreefd door, uitgaande van benzeen, tolueen en xyleen, stap voor stap sterke posities op te bouwen op de deelmarkten voor bepaalde tussenproducten. Hoogstens op het gebied van de nitroproducten had de BPM die sterke positie al. Indien men werkelijk kleurstoffen zou willen gaan produceren, kon men het beste een bestaande Duitse middelgrote onderneming op dit terrein overnemen, was zijn advies.[17]

Ondertussen was de BPM via Boldingh en Van Dorp ook bij het initiatief tot oprichting van een Nederlandse kleurstoffenfabriek betrokken geraakt. Ondanks aanvankelijke aansporingen vanuit Engeland om de zaken groots aan te pakken, zou het echter bij deze indirecte participatie in de kleurstoffenindustrie blijven.

De wapenstilstand van november 1918 veranderde het gehele toekomstplaatje en versterkte de scepsis van Colijn wat betreft de rol van de Koninklijke op dit gebied. Spoedig bleek dat Duitsland weliswaar militair was verslagen, maar dat de Duitse chemische industrie zich met verhevigde kracht inspande om het verloren marktaandeel te heroveren. Bovendien had de oprichting van nieuwe kleurstoffenfabrieken in Engeland, Frankrijk en Amerika voor een grote overcapaciteit gezorgd.[18]

Reeds in maart 1918 schreef Deterding met vooruitziende blik aan Colijn dat hij er niet aan twijfelde dat alle grote landen na de oorlog protectionistische maatregelen zouden nemen om hun zojuist tegen hoge kosten opgezette kleurstoffenindustrie te beschermen. De Nederlandse markt achtte hij veel te klein. Alleen productie op zeer grote schaal zou rendabel blijken en juist dat was in Nederland niet mogelijk als andere landen hun grenzen gingen sluiten.

Zelfs Waley Cohen begon in december 1918 naar aanleiding van het rapport van De Leeuw te twijfelen aan de mogelijkheden van de Koninklijke/Shell op dit gebied. Een nieuw rapport van De Leeuw wees toen de weg die zou moeten worden ingeslagen. In plaats van kleurstoftussenproducten te produceren zou het, volgens hem, veel meer in de lijn van de Groep liggen om zich bezig te houden met de 'rationele exploitatie van de energie-inhoud van onze afvalproducten' – kortom, met onderzoek om door kraken en



Een van de vier 'stambomen' van tussenproducten voor de kleurstoffenfabricage uit W.C. de Leeuws rapport 'Kleurstoffen uit petroleum. Algemeene beschouwingen over de industrie der synthetische kleurstoffen' *van januari 1918. De Leeuw en zijn Haagse chef J.E.F. de Kok gebruikten deze stambomen voor de planning van de research die tussen 1916 en 1919 door de BPM in Amsterdam werd ondernomen op het terrein van de chemie en technologie der synthetische kleurstoffen.*

De voltallige personeelsbezetting van het BPM-laboratorium te Amsterdam in 1919. Op de eerste rij, zittend van links naar rechts: de Engelse chemicus F.H. Pugh, dr. A. Loebel, het hoofd van het laboratorium dr. W.C. de Leeuw, mej. G. Brens en dr. F. Fontein. Daarachter spoeljongens, werkplaatstechnici en enkele chemici, onder wie dr. A.E. Lacomblé (vlak achter mej. Brens), die in 1939 coördinator van alle Shell-research wereldwijd zou worden, en ir. S.H. Bertram (eerste rij staand, tweede van rechts), die later als laboratoriumchemicus werkzaam was bij Van den Bergh's Fabrieken in Rotterdam en bij Organon in Oss.

hydrogeneren de zware afvalfracties om te zetten in autobenzine, een product waar een groeiende vraag naar was. Dat was de richting die de Groep inderdaad koos. Als uit de correspondentie tussen Deterding, Waley Cohen, Colijn en De Leeuw één zaak duidelijk wordt, dan is het wel deze: de Koninklijke/Shell wilde alleen een speler worden op dit voor haar nieuwe terrein als zij op wereldschaal een van de spelbepalers zou kunnen worden. Toen dit onmogelijk bleek, trok zij zich terug. In februari 1919 zette De Leeuw al het Amsterdamse onderzoek op kleurstoffengebied stop. Aan een eerste, vluchtige, vrijage tussen de koolteerchemie en de petrochemie was een einde gekomen.[19]

Het Haber-Bosch-proces en de start van een nieuw technisch regime

Waar de geallieerden zich tijdens de wereldoorlog vooral beperkten tot het imiteren van de Duitse verworvenheden op het terrein van de koolteerchemie, sloeg men in Duitsland zelf nieuwe wegen in, geprikkeld door de Britse zeeblokkade en voortbouwend op ontwikkelingen die al waren ingezet voor de oorlog begon.
In Duitsland, maar ook elders, bestond al langer de vrees dat er een tekort aan stikstofverbindingen zou ontstaan. Omstreeks de eeuwwisseling vormde de aanvoer van natriumsalpeter uit Chili voor geheel Europa verreweg de belangrijkste stikstofbron. In 1898 waarschuwde de Britse chemicus William Crookes zijn landgenoten in een invloedrijke en vaak geciteerde rede voor een hongersnood die voor de deur zou staan. Door uitputting van de voorraden chilisalpeter zou het oude probleem van Malthus weer de kop opsteken wanneer bevolkingsgroei en kunstmestproductie geen gelijke tred zouden houden. Crookes wees daarbij op het feit dat de overal op aarde beschikbare dampkringslucht in feite een welhaast onuitputtelijke bron van stikstofverbindingen zou kunnen zijn. Ook anderen kwamen tot vergelijkbare conclusies en er vond omstreeks de eeuwwisseling in verschillende landen een koortsachtige activiteit plaats waarbij er inderdaad meerdere industrieel toepasbare processen werden gevonden om luchtstikstof chemisch te binden.[20]
In Nederland werden de ontwikkelingen met belangstelling gevolgd, vooral toen tijdens de oorlog ook de aanvoer van stikstofverbindingen naar Nederland en zijn koloniën stagneerde. Verschillende commissies bogen zich over de oprichting van een nationale stikstofbindingsindustrie.[21] Men koos uiteindelijk voor een door de Amerikaan John Buchel in 1917 gepresenteerd procédé waarbij uit soda, cokes en stikstof, natriumcyanide werd bereid, dat vervolgens in ammoniak kon worden omgezet. Een 'Syndicaat ter Bereiding van Scheikundige Producten' onder leiding van dr. L. Hamburger deed onderzoek naar de toepassing van dit proces op grote schaal en wist uiteindelijk de overheid te overtuigen deel te nemen in de oprichting van de N.V. Stikstofbindingsindustrie 'Nederland'. Voordat de talloze kinderziekten overwonnen waren, trad de wapenstilstand echter in en kwam de import van stikstofverbindingen weer op gang. Bovendien werd toen al snel duidelijk dat een ander stikstofbindingsprocédé – het Haber-Bosch-proces – alle andere zou overvleugelen. Hoewel de in Dordrecht gevestigde fabriek bleef bestaan, zijn er om die redenen nooit de stikstofmeststoffen bereid waar het allemaal om begonnen was.[22]
Het Haber-Bosch-proces kwam voort uit onderzoek naar de binding van stikstof uit de atmosfeer dat de Duitse fysisch-chemicus Fritz Haber (1868-1934) vanaf 1904 verrichtte aan de Technische Hochschule te Karlsruhe. Haber was een expert op het gebied van de thermodynamica en reactiekinetiek van chemische reacties in de gasfase. Deze theoretische achtergrond hielp hem bij de keuze experimenten te doen bij tot dan toe ongebruikelijk hoge drukken

en temperaturen. Nadat een geschikte katalysator was gevonden en de eerste positieve experimentele resultaten waren behaald om ammoniak direct uit stikstof en waterstof te produceren, nam Haber in 1908 contact op met de BASF, een bedrijf dat zelf al enige tijd actief was op het gebied van de stikstofbinding. Niet lang daarna nam de BASF onder leiding van haar hoofdingenieur Carl Bosch (1874-1940) en in nauw contact met Haber de technische ontwikkeling van diens proces ter hand.[23]

Er moesten vele moeilijkheden worden overwonnen voordat het proces rijp was voor grootschalig gebruik. Het grootste probleem vormde de constructie van een reactor die bestand was tegen drukken van meer dan 200 atmosfeer en temperaturen boven 500°C, in aanwezigheid van waterstof. Onder die extreme condities reageerde waterstof met de in het staal aanwezige koolstof, waardoor de apparatuur bros werd, zodat lekkages of zelfs explosies optraden. Bosch wist dit probleem in 1911 op te lossen door met een dubbelwandige reactor te werken die uit verschillende staalsoorten bestond. Aangezien inmiddels ook een verbeterde katalysator was gevonden, waren daarmee de grootste moeilijkheden overwonnen en kon een begin worden gemaakt met het fabrieksontwerp, nauwelijks twee jaar na de start van het ontwikkelingswerk. Het was een opmerkelijke prestatie, die alleen slaagde omdat de Badische als geen ander ervaring met katalysatoren en reactormaterialen had opgedaan bij de ontwikkeling van het contactproces (hoofdstuk twee) en daarnaast een zo groot belang aan de ontdekking van Haber toekende dat het bedrijf tientallen chemici en ingenieurs vrijmaakte om de technische realisatie van dat proces vooruit te helpen. Alleen door de gemeenschappelijke inspanning van experts uit verschillende disciplines (fysische chemie, fysica, werktuigbouwkunde, metallurgie, elektrotechniek en instrumentatie) slaagde men erin de moeilijkheden op te lossen. De BASF had toen als een van de weinige bedrijven al die hulpbronnen in huis. In 1913 kwam de eerste fabriek in Oppau bij Ludwigshafen in bedrijf. De omstandigheden van de Eerste Wereldoorlog werkten vervolgens als een snelkookpan. De Badische breidde, financieel gesteund door de Duitse overheid, de productiecapaciteit sterk uit, overwon talloze kinderziekten en ontwikkelde processen om geconcentreerde ammoniak om te zetten in kunstmest (ammoniumsulfaat) en in grondstoffen voor explosieven (ammoniumnitraat en salpeterzuur). Toen in 1918 de krijgshandelingen werden beëindigd, had de Badische een vrijwel niet meer in te halen voorsprong op de concurrentie opgebouwd.

Het Haber-Bosch-proces kreeg al heel snel na 1911-1913 een paradigmatische rol toebedeeld binnen de chemische techniek en industrie. De realisering van het proces doorbrak een aantal grenzen op het gebied van het gebruik van temperaturen, drukken, materialen en procesbeheersing en vervulde een voorbeeldfunctie wat betreft het gebruik van waterstof en, vooral, katalysatoren in de chemische techniek. De synthese werd bovendien het symbool van een nieuwe fase in de technische ontwikkeling waarin theoretische inzichten uit de fysische chemie een richtinggevende rol gingen spelen in de ontwikkeling van chemische processen (hoofdstuk drie). Het feit dat de BASF al die heterogene elementen in onderling verband had kunnen 'dresseren', maakte wellicht nog de meeste indruk. Vanaf de ontwikkeling van het Haber-Bosch-proces stonden het industriële belang van de fysische chemie, het belang van de katalyse en reacties van waterstof bij hoge druk en temperatuur stevig op de kaart. Het proces vormde zo de start van een nieuw technisch regime waarvan de betekenis de grenzen van de techniek van de stikstofbinding verre overschreed.

Van kolen naar chemie: Staatsmijnen en de stikstofbinding

In Nederland werden vóór de Tweede Wereldoorlog drie fabrieken opgericht waar het Haber-Bosch-proces werd toegepast: de Maatschappij tot Exploitatie van Kooksovengassen (Mekog) in IJmuiden, het Stikstofbindingsbedrijf (SBB) van Staatsmijnen in Lutterade en de Compagnie Néerlandaise d'Azote (CNA) in Sluiskil. Ze kwamen vlak na elkaar in 1929 en 1930 in bedrijf.

De motieven om deze fabrieken op te richten waren verschillend. Bij de CNA speelden verwachtingen omtrent de marktontwikkeling de hoofdrol. Het bedrijf werd opgericht door de Italiaanse kunstmestproducent Montecatini, die veel mogelijkheden zag op de internationale kunstmestmarkt. In het geval van Staatsmijnen en de Mekog waren de verwerkingsmogelijkheden van reeds beschikbare grondstoffen bepalend. Bij Staatsmijnen ging het daarbij om het uit steenkool bereide cokesovengas, bij de Mekog, die op initiatief van de Koninklijke/Shell werd opgericht, om aardgas en aardolie. We behandelen beide voorbeelden uitvoerig, omdat er fraai uit blijkt hoe eenzelfde proces zowel in de wereld van de steenkool als in die van de aardolie een rol ging spelen. We beginnen met de Limburgse kolenproducent.

Bij Staatsmijnen (nu DSM) startten de concrete voorbereidingen voor de bouw van een kunstmestfabriek in november 1927, toen de directie de minister van Waterstaat toestemming vroeg om plannen uit te werken voor de oprichting van een stikstofbindingsbedrijf en een fabriek van ammoniumsulfaat.[24] Enige jaren daarvoor had het bedrijf al een eerste stap gezet van de mijnbouw naar de chemische verwerking van steenkool toen eind 1919 de cokesfabriek Emma in bedrijf kwam. Die fabriek produceerde ammoniumsulfaat als bijproduct, zodat Staatsmijnen al enigszins met de kunstmestmarkt bekend was. Desondanks was de beslissing om de stikstofbinding ter hand te nemen zonder meer een breuk in het tot dan toe gevolgde ontwikkelingspad. In de eerste plaats was de schaal van de nieuwe fabriek vele malen groter dan de bestaande ammoniumsulfaatinstallatie. Waar deze laatste in 1927 ongeveer

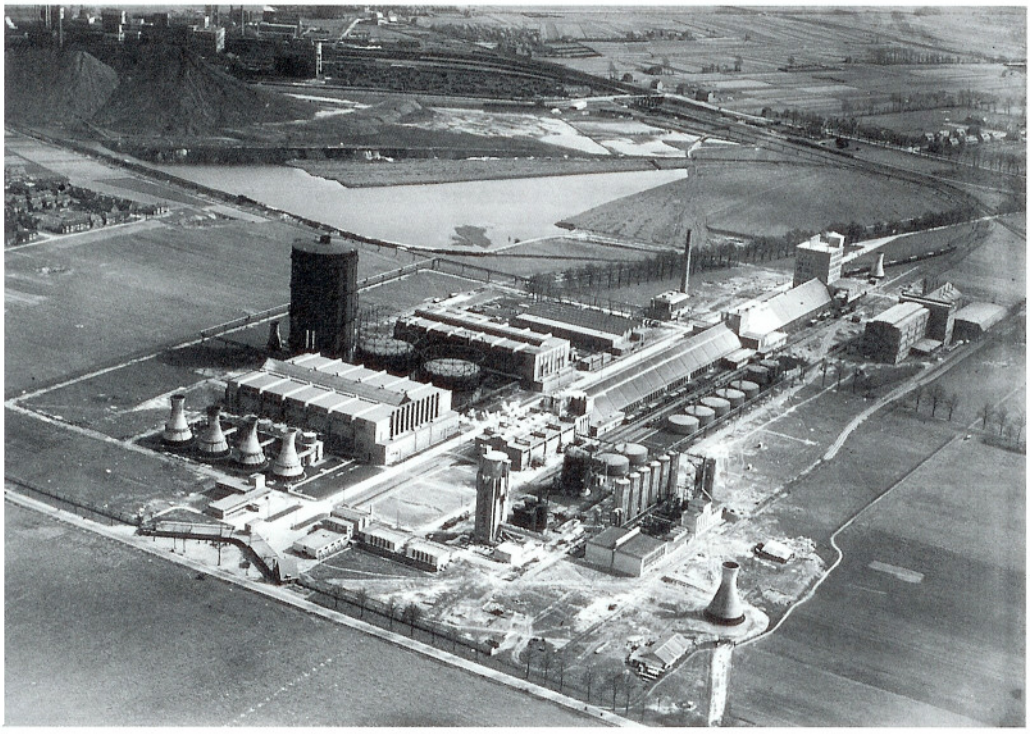
10.000 tot 15.000 ton sulfaat per jaar kon produceren, was de begincapaciteit van de stikstofbindingsfabriek bijna tienmaal groter. Dit had grote gevolgen voor de afzet van het product en voor de positie van Staatsmijnen op de kunstmestmarkt.[25]
Een tweede en belangrijker verschil betrof de productietechniek. In technisch opzicht hoorde de verwerking van de bijproducten van cokesovens nog geheel tot de klassieke negentiende-eeuwse koolteerchemie, waarbij reacties onder atmosferische druk in oplossing plaatsvonden. De nieuwe productietechniek, een variant van het Haber-Bosch-proces, week daar radicaal van af. Dit roept de vraag op hoe Staatsmijnen zich deze voor haar geheel nieuwe techniek eigen kon maken.
Van de mogelijkheid die techniek zelfstandig te ontwikkelen, kon nauwelijks sprake zijn. Waar de BASF over honderden chemici en ingenieurs beschikte, had Staatsmijnen halverwege de jaren twintig op chemisch-technologisch gebied hoogstens een handjevol experts in dienst, onder wie het directielid prof. ir. F.K.Th. van Iterson (1877-1957), die als voormalig hoogleraar werktuigkunde en op basis van zijn lange ervaring in de gas-, cokes- en steenkoolproductie een van de meest veelzijdige Nederlandse technici was, en ir. D.P. Ross van Lennep (1888-1950), een specialist op het gebied van de gas- en de cokesfabricage. Zij werden bijgestaan door het hoofd van het laboratorium van de cokesfabriek (Uytenbogaart, later Sauter). Voor zelfstandige procesontwikkeling op het terrein van de stikstofbinding was een staf van die omvang ontoereikend. Het bedrijf had echter wel de expertise in huis voor een kritische analyse van elders ontwikkelde processen, die eventueel aangekocht konden worden. Het was die weg die Staatsmijnen insloeg. Van Iterson deed dat vanuit een brede toekomstvisie en vanuit de vaste overtuiging dat de opbouw van een aan de mijnbouw gelieerde chemische industrie grote mogelijkheden voor Staatsmijnen bood.[26]
Van Iterson en zijn medewerkers waren niet de enigen die zo dachten. In 1926 en 1927 stortten verschillende cokesproducenten zich op het voor hen nieuwe terrein en tot 1932 kwamen er vele nieuwe synthetische ammoniakfabrieken in productie. De oprichting van een stikstofbindingsbedrijf door Staatsmijnen paste dus zonder meer in een Europese trend. Vooral in de naburige mijnbouwgebieden in België en Duitsland waren er vele bedrijven met cokesovens die besloten tot de oprichting van een ammoniakfabriek. De rekensom was simpel. Uit de prijzen voor de grondstof cokesovengas en het eindproduct ammoniumsulfaat kon worden berekend dat de investeringen in de fabriek zich binnen enkele jaren terugverdienden.[27]
Dat het voor al die bedrijven mogelijk was de procestechnologie van de ammoniaksynthese te verwerven, kwam doordat al rond het eind van de Eerste Wereldoorlog enkele Franse en Italiaanse bedrijven en technici erin waren geslaagd varianten op het Haber-Bosch-proces te ontwikkelen (tabel 5.1). Na de oorlog hadden de Fransen bovendien de fabriek van de BASF in Oppau bezet en uitgebreid van de gelegenheid tot industriële spionage gebruik gemaakt. Ondanks het feit dat de BASF haar ammoniaktechnologie zo geheim mogelijk wilde houden en geen licenties wenste te verstrekken, kwamen er zodoende in 1922 en 1923 toch verscheidene nieuwe ammoniakfabrieken in bedrijf. De ontdekkers (G. Claude, L. Casale en G. Fauser) en octrooihouders van de nieuwe processen voerden een veel liberaler licentiëringsbeleid, waardoor de nieuwe techniek van de stikstofbinding zich over heel Europa kon verbreiden. De werkelijke doorbraak vond plaats toen in 1925 de Duitse producent van technische gassen Linde en de fabrieksontwerper F. Uhde erin slaagden de voor het proces benodigde waterstof in een voldoende zuivere staat uit cokesovengas te winnen (vgl. tabel 5.3). Tot die tijd was de hoge kostprijs van waterstof een van de belangrijkste obstakels voor de verbreiding van het nieuwe technische regime geweest. Het was deze doorbraak die ten grondslag lag aan de genoemde oprichtingshausse.[28]

Reeds in oktober 1925 gingen Van Iterson en Ross van Lennep bij een fabriek in Ougrée-Marihaye bij Luik op bezoek, waar men als eerste in Europa op industriële schaal kunstmest produceerde uit cokesovengas, op basis van het proces van Linde. Twee maanden later vroeg Staatsmijnen offertes aan betreffende de vijf ammoniakprocessen die zich in de praktijk hadden bewezen (tabel 5.1).
Na verdere studie van die processen volgde in november 1927 het verzoek aan de minister. Daarna ging het snel. De minister gaf toestemming gedetailleerde offertes aan te vragen voor de bouw van een synthetische ammoniakfabriek met een capaciteit van 60

Tabel 5.1: Industriële processen voor de bereiding van synthetische ammoniak uit waterstof en stikstof

	Haber-Bosch	Claude	Casale	Fauser	Mont-Cenis
Octrooihouder	BASF	Air Liquide	Ammonia Casale	Montecatini	Gaveg
Start proeffabriek	1909	1917	1920	1920	1925
Start productie	1913	1922	1922	1923	1928
Druk (atm.)	200-250	900-1000	700-800	200-250	90-100
Temperatuur (°C)	500-600	500-600	500-550	550	350-430
Katalysator	ijzer/Al-ox	ijzer	ijzer	ijzer	ijzer/Al-CN

Bron: [F. Ullmann ed.], *Enzyklopädie der technischen Chemie* (Berlijn en Wenen 1928-1932) 2e druk, dl. 1, 400-411, dl. 9, 718-721; B. Waeser, *Die Luftstickstoff-Industrie* (Leipzig 1932) 2e druk, 249-298. Toelichting: Al-ox = aluminiumoxide; Al-CN = aluminiumcyanide.



Luchtopname uit 1932 van het Stikstofbindingsbedrijf (SBB) van Staatsmijnen te Geleen-Lutterade. Op de achtergrond de cokesfabriek Maurits, die via een pijpleiding cokesovengas leverde aan het SBB. Linksonder de ingang van het SBB-complex. Daarachter (links) achtereenvolgens het grote gebouw voor de gas- en luchtscheiding, een aantal gashouders, de hal voor de eigenlijke ammoniaksynthese, werkplaatsen en een ketelhuis. Het middengedeelte van het complex werd ingenomen door de ammoniumsulfaatfabriek, twee lange opslagloodsen voor kunstmest en de fabriek voor nitraatmeststoffen. Uiterst rechts bevonden zich achtereenvolgens een watertoren, de salpeterzuurfabriek, opslagtanks voor ammoniak en de naar het voorbeeld van de ASF-fabriek in Pernis gebouwde zwavelzuurfabriek. Op de voorgrond staan een vijftal koeltorens, gebouwd volgens een toen revolutionair ontwerp van directeur F.K.Th. van Iterson.

tot 80 ton stikstof per dag (21.000-28.000 ton/jaar) bij de bedrijven die de Nederlandse rechten hadden voor de verschillende processen. Het betrof de in 1925 bezochte Société Belge de l'Azote te Ougrée (Claude-proces), de Gasverarbeitungs-Gesellschaft (Gaveg) uit Sodingen (Mont-Cenis-proces), de door cokesovenbouwer Semet-Solvay opgerichte S.A. Union Chimique Belge te Brussel (Casale-proces) en de door de Belgische cokesovenbouwer Soc. Evence Coppée et Cie. met Montecatini opgerichte S.A. Ammoniaque Synthétique et Dérivés (ASED) in Brussel (Fauser-proces). In maart 1928 viel op dit laatste proces de keuze, niet alleen omdat er al langer lopende contacten met Coppée waren, maar vooral omdat ASED de laagste bedrijfskosten garandeerde en het Fauser-proces het minst gevoelig voor storingen leek. Bovendien wist Staatsmijnen van de ASED gedaan te krijgen dat zoveel mogelijk fabrieksonderdelen bij Nederlandse leveranciers besteld zouden worden.[29]

Nadat Staatsmijnen een rendementsberekening en een bouwbegroting had opgesteld, kon de minister in april 1928 een wetsontwerp tot verhoging van de begroting van Staatsmijnen (met *f* 12.500.000,-) bij de Tweede Kamer indienen. Ondanks kritische kanttekeningen in de media, waarin op dalende kunstmestprijzen werd gewezen, nam de Kamer het wetsontwerp zonder veel discussie aan.[30] Twee argumenten gaven daarbij de doorslag. In de eerste plaats waren er de te verwachten winsten, die van groot belang waren voor de stabiliteit van het gehele mijnbedrijf. De directie van Staatsmijnen rekende de minister voor dat het bedrijf door ammoniak te produceren een hoger rendement kon halen uit het cokesovengas. Hoewel de marktprijs voor ammoniumsulfaat reeds enkele jaren een dalende tendens vertoonde, ging Van Iterson ervan uit dat deze op *f* 90,- per ton zou stabiliseren omdat dat, naar hij ten onrechte meende, de kostprijs zou zijn van marktleider IG Farben (waarin BASF in december 1925 was opgegaan), die geen beschikking over het goedkope cokesovengas had. Staatsmijnen kon daarentegen een kostprijs van *f* 70,- per ton realiseren, zodat, na aftrek van drie gulden licentiekosten, een winst van zeventien gulden per ton overbleef. Bij een productiecapaciteit van 100.000 ton leverde dat een fraaie winst van 1,7 miljoen gulden per jaar op.

In de tweede plaats was er het idee dat de oprichting van een Nederlandse stikstofindustrie gunstig zou zijn voor de vaderlandse landbouw, omdat deze aldus onafhankelijk zou worden van aanvoer uit het buitenland.[31]

Toen het Stikstofbindingsbedrijf van Staatsmijnen in mei 1930 in bedrijf kwam, had de fraaie rentabiliteitsberekening inmiddels geen enkele realiteitswaarde meer. De aanname dat de marktprijs van ammoniumsulfaat op *f* 90,- per ton zou stabiliseren, bleek een slag in de lucht. De talloze nieuwe ammoniakfabrieken in Europa zorgden voor een enorme overproductie. Vanaf 1928 stortte de prijs voor ammoniumsulfaat totaal ineen en daalde daarbij zelfs tot *f* 30,- per ton. Hoewel een Europees stikstofkartel de prijzen vanaf 1931 wist te stabiliseren, moest Staatsmijnen de grootste moeite doen om de rode cijfers te vermijden.[32]

Deze eerste wrede kennismaking met het cyclische karakter van de chemische basisindustrie, waarbij winstverwachtingen alle betrokkenen tot investeren brengen, met overproductie en sluiting van bedrijven als gevolg, droeg er mede toe bij dat Staatsmijnen in

de jaren die volgden tot een vlucht naar voren besloot en zich nog sterker zou gaan profileren als een chemisch bedrijf. Door risicospreiding via productdifferentiatie trachtte het bedrijf de kwalijke gevolgen van de cyclische kunstmestmarkt te verkleinen. Voor dat programma was technische expertise nodig en die had men bij de start van het SBB in huis gehaald. De introductie van de complexe technologie van de synthetische ammoniakproductie bracht met zich mee dat Staatsmijnen tussen 1928 en 1931 er voor het eerst toe overging om, naast de reeds aanwezige uitgebreide werktuigkundige staf, gepromoveerde chemici en technologen aan te stellen. Drie van hen – dr. ir. H.A.J. Pieters, dr. ir. J.S.A.J.M. van Aken en, vooral, dr. G. Berkhoff – zouden in de jaren dertig een rol gaan spelen bij de diversificatie van het SBB, waarbij er naast de kunstmesttak een begin met het organisch-chemisch bedrijf werd gemaakt.

Tabel 5.2: De oprichtingsgeschiedenis van de eerste synthetische ammoniakfabrieken in Nederland

	Mekog	SBB	CNA
Beslissing oprichting	sept. 1927	dec. 1927	1928
Oprichting NV/bedrijf	14 dec. 1928	1 jan. 1929	14 jan. 1929
Start bouw	jan. 1929	aug. 1928	febr. 1929
Syntheseproces	Mont-Cenis	Fauser	Fauser
Waterstofzuivering	Linde	Messer	Linde
Start productie	14 sept. 1929	mei 1930	6 dec. 1930
Begincapaciteit ton N/j	10.000	21.000	45.000

Bron: Archief Shell, Den Haag, inv.nr. 49, no.'s 5, 713A, 722; Centraal Archief DSM, Heerlen; H.J. Merx, *Chronologisch overzicht van de geschiedenis van het Stikstofbindingsbedrijf, 1925-1952* (typoscript, Heerlen april 1955); P. Puype en G. Beauchez eds., *Van kiem tot korrel. Nederlandsche Stikstof Maatschappij N.V., 1929-1979* (z.p. 1979).
Toelichting: Mekog = Maatschappij tot Exploitatie van Kooksoven-Gassen; SBB = Stikstof-Bindings-Bedrijf (van Staatsmijnen); CNA = Compagnie Néerlandaise d'Azote.

De ammoniakfabriek in Sluiskil

Ook de oprichting van de Compagnie Néerlandaise d'Azote (CNA) illustreert fraai de rol van winstverwachtingen en het cyclische, collectieve karakter van investeringsgolven. De oprichting ervan, begin 1929, was een direct gevolg van de oprichting van het SBB. Het verhaal wil, dat toen Staatsmijnen met Coppée en Montecatini onderhandelde over de bouw van de ammoniakfabriek bij Geleen, de directeur van Montecatini, dr. Donegani, een bezoek aan Van Iterson bracht. Deze legde Donegani uit hoeveel geld Staatsmijnen wel dacht te verdienen aan de in aanbouw zijnde stikstoffabriek. Op een vraag hoeveel cokesfabrieken er in Nederland waren, kreeg Donegani te horen dat er naast die in Treebeek, Geleen en IJmuiden nog één in Sluiskil was. Reeds in de trein terug naar Brussel, zo meldt het gedenkboek van de CNA, zou hij vervolgens de plannen voor de oprichting van een ammoniakfabriek in Nederland hebben gesmeed.[33]

De CNA werd opgericht door de Société Evence Coppée et Cie., Montecatini en de Association Coopérative Zélandaise de Carbonisation (ACZC), die de cokesfabriek bezat, waarbij het hoofdkantoor, net als dat van de ASED, in het kantoor van Coppée in Brussel werd gevestigd. De fabriek die vervolgens in Sluiskil werd gebouwd, hoorde met een capaciteit van ongeveer 45.000 ton stikstof/jaar tot de grootste van Europa. Het bedrijf werkte net als het SBB volgens het Fauser-proces, maar was bij oplevering in december 1930 wél tweemaal zo groot, daarmee een forse bijdrage aan de inmiddels ontstane overcapaciteit leverend. Het plan om ook een cokes- en een ammoniakfabriek bij de Oranje-Nassau-mijnen in Heerlen te bouwen – die via de Franse staalgigant De Wendel nauw bij de ACZC betrokken waren – ging mogelijk mede om die reden niet door.[34]

Anders dan bij het SBB en de Mekog, was bij de oprichting van de CNA nauwelijks sprake van een 'feedstock driven' ontwikkeling. Coppée en Montecatini waren geen van beide aandeelhouder van de ACZC. Coppée dacht mogelijk via de bouw van de nieuwe fabriek haar positie als *engineering contractor* op de Europese stikstofmarkt te versterken. Bij Montecatini speelde, als grootschalige fabrikant van superfosfaten en stikstofmeststoffen en als eigenaar van de Fauser-octrooien, vermoedelijk vooral het versterken van haar positie op de internationale kunstmestmarkt een rol.

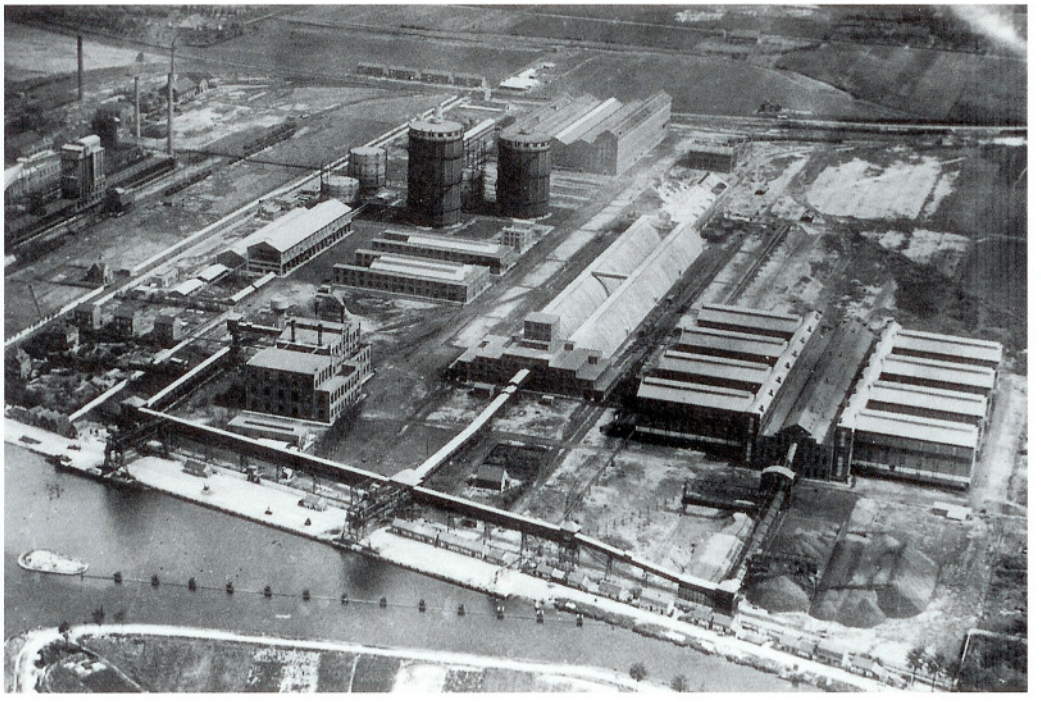
Het Bergius-proces als schakel tussen de olie- en de kolenchemie

Bij de derde Nederlandse producent, de Mekog, gaf het streven om meer geld met een bepaalde hoeveelheid grondstoffen te verdienen weer wel de doorslag. Opmerkelijk genoeg ging het daarbij niet om cokesovengassen, maar om grondstoffen uit de petroleumhoek. Het initiatief tot oprichting van de Mekog kwam van de BPM. Dat dit bedrijf zich in 1927 met de productie van kunstmest ging bezighouden, was een uitvloeisel van een al langer lopende bemoeienis met hogedrukprocessen en met het industriële gebruik van waterstof. Centraal daarbij stond een zogeheten 'hydrogenerings'-proces dat tussen 1910 en 1913 door de Duitse chemicus Friedrich Bergius (1884-1949) op laboratoriumschaal was ontwikkeld, waarbij zowel steenkool als zware petroleumfracties onder toevoeging van waterstof bij hoge druk omgezet konden worden in benzineachtige producten. Dit proces speelde in de jaren twintig een grote rol bij de toen plaatsvindende technologische 'kruisbestuiving' tussen de steenkool- en de aardolie-industrie. Als leerling van Haber was Bergius goed op de hoogte van de fysische chemie van gasreacties en van de praktische kanten van het werken bij hoge druk. Zijn proces leek, qua druk- en temperatuurbereik, dan ook in een aantal opzichten op het Haber-Bosch-proces, maar een groot verschil was dat Bergius zonder katalysator werkte. Dit maakte het opzien dat zijn ontdekking

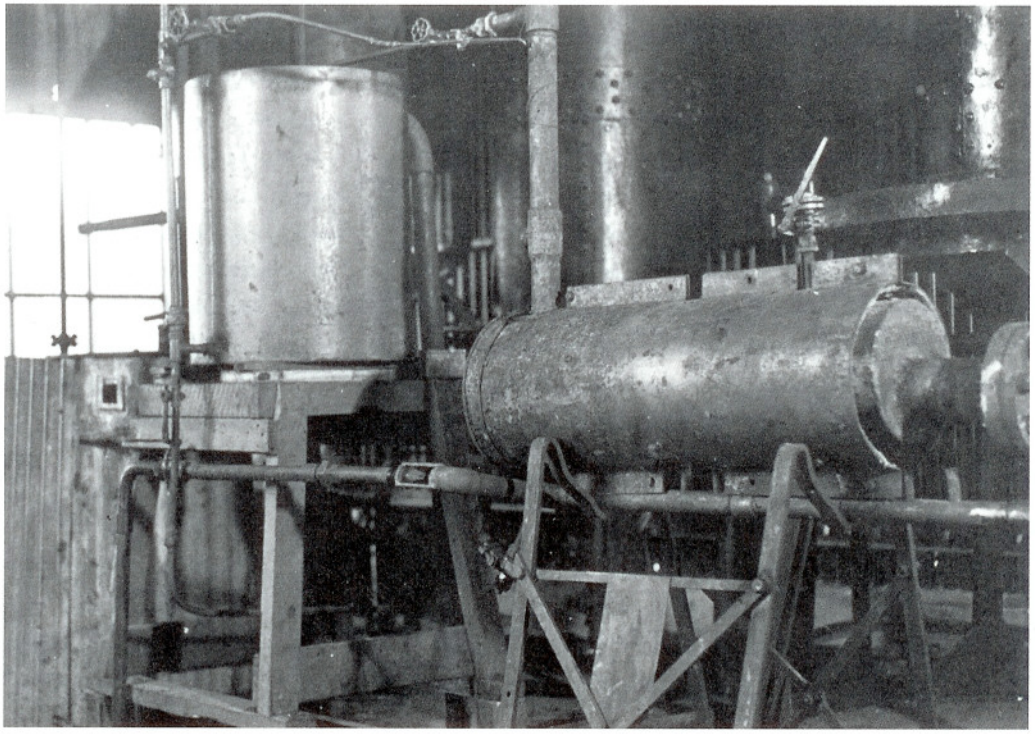
baarde alleen maar groter. Al snel nadat Bergius in 1912-1913 zijn eerste octrooien nam en over zijn proces publiceerde, was er in brede kring belangstelling voor het spectaculaire feit dat het blijkbaar mogelijk was benzine uit steenkool te winnen. Weinig processen uit de geschiedenis van de chemische techniek hebben zo in het brandpunt van de belangstelling gestaan als dit proces. In de economische en historische literatuur over dit onderwerp wordt het belang van het Bergius-proces vaak afgemeten aan de rol die het tussen 1920 en 1945 speelde in de 'strijd om de grondstoffen'. Mede tegen de achtergrond van voorspellingen dat de olievoorraden weldra zouden opraken, deden nationale overheden er alles aan om de voorziening van cruciale energiedragers veilig te stellen.[35] Het 'vloeibaar maken' van steenkool was zeker het aspect van het Bergius-proces dat het meest tot de verbeelding sprak. Voor de ontwikkeling van de chemische techniek was echter een ander aspect veel belangrijker, namelijk de brede toepasbaarheid van het proces op steenkool én aardolie. Het was die eigenschap die ervoor zorgde dat zowel oliemaatschappijen als grote chemische industrieën hun aandacht op dit proces gingen richten. Het Bergius-proces werd zo dé schakel tussen de kolen- en de oliechemie, tussen twee technologische tradities. Er ontstond, via deze gedeelde aandacht voor het Bergius-proces, samenwerking op wereldschaal op verschillende belangrijke deelterreinen van de chemische techniek, waarvan het belang voor de naoorlogse technische en industriële ontwikkeling moeilijk overschat kan worden. De naam van de mede door de BPM in 1921 opgerichte Internationale Bergin Compagnie voor Olie- en Kolen-Chemie symboliseert treffend die schakelrol van het proces.[36]

De BPM en het Bergius-proces

De technische ontwikkeling van het Bergius-proces was weinig minder dan een lijdensweg. Deze begon direct al tijdens de oorlog, toen Bergius door gebrek aan geld en materialen er van 1916 tot 1919 over deed om een proeffabriek in Rheinau bij Mannheim te bouwen, bedoeld voor het uittesten op grote schaal. De verloren oorlog, de daarop volgende economische crisis en de boycot van Duitse bedrijven door de geallieerden gooiden nog meer roet in het eten. Het was in die situatie dat Bergius begin 1920 contact met de Bataafsche zocht. Aansluiting bij een kapitaalkrachtige oliemaatschappij uit een neutraal land had grote voordelen. Het neutraal gebleven Nederland was een uitstekende uitvalsbasis voor de internationale verkoop van know-how en licenties. De Evag, de voor ontwikkelingswerk en licentieverlening opgerichte Erdöl- und Kohle-Verwertung AG, waarvan Bergius technisch directeur was, droeg alle niet-Duitse octrooien op het Bergius-proces en de proeffabriek in Rheinau over aan een Nederlandse dochtermaatschappij, de in Den Haag gevestigde Maatschappij voor Kolen- en Olie-Techniek (Makot). De BPM kreeg het verzoek een rol te spelen als financier van het ontwikkelingswerk in Rheinau en als leverancier van aardolie voor die proeffabriek en voor de Duitse petroleumraffinaderijen waar de Evag een belang in had.[37] Na maanden onderhandelen kwam het in oktober 1920 tot een akkoord, waarbij de BPM tot 31 juli 1921 een optie op de buitenlandse Bergius-octrooien kreeg. Tot die datum mocht de oliemaatschappij permanent een chemicus in Rheinau stationeren en zou het bedrijf inzage krijgen in alle technische details. De BPM was op haar beurt tot volstrekte geheimhouding verplicht en tot de levering van 11.000 ton ruwe Mexicaanse olie aan de



Luchtopname van de fabrieken van de Compagnie Néerlandaise d'Azote (CNA) in Sluiskil, omstreeks 1930. Uiterst links de cokesfabriek van de Association Coopérative Zélandaise de Carbonisation (ACZC), die het benodigde cokesovengas leverde (zie pijpleiding). Het onder Italiaans-Belgische leiding staande CNA-complex bestond onder andere uit een elektriciteitscentrale (vooraan links, met watertoren), een groot synthesegebouw (achter de gashouders), een sulfaatfabriek en opslagloodsen voor kunstmest (midden) alsmede de grootste zwavelzuurfabriek ter wereld, bestaande uit een centrale ovenhal met acht zijvleugels met elk twee loden kamers (rechts).



Reeds voordat de BPM in 1920 met Bergius in contact kwam, werd er in het Amsterdamse laboratorium door R.A. Weerman (1880-1931) en W.C. de Leeuw onderzoek gedaan naar 'cracken onder druk'. Deze foto uit 1918 toont een proefopstelling met 'op den voorgrond de (liggende) ketel, rustend op een statief. De verwarming geschiedt met gas. De ketel wordt tegen warmte-uitstraling beschermd door een mantel van ijzerblik van binnen met asbest bekleed. Boven op den ketel is de vulopening. Aan de achterzijde, gesloten met zware flens, is de stomp, dienend voor inwendige reiniging.' Weerman ging in 1920 voor de BPM naar Rheinau om zijn hogedruk-experimenten bij Bergius voort te zetten.

proeffabriek tegen een zeer lage prijs. Bij uitoefening van de optie verplichtte de BPM zich voor 24 miljoen mark aandelen in de petroleumraffinaderijen van de Evag te nemen, alsmede tot de bouw van een hydrogeneringsinstallatie met een capaciteit van 300.000 ton per jaar. Als de BPM de optie niet zou uitoefenen, zou het bedrijf gedurende tien jaar niet werkzaam mogen zijn op dit terrein.[38]
Dat de onderhandelaars van de BPM, Deterding, Colijn en De Kok, tegen deze betrekkelijk ongunstige voorwaarden een akkoord sloten, kwam doordat het Bergius-proces in de ogen van de BPM een betekenis had die het proces in potentie zeer waardevol maakte voor de olie-industrie. Voor de BPM was het Bergius-proces bovenal een kraakproces, dat onderzocht diende te worden op zijn mogelijkheden zware oliefracties om te zetten in benzine. Zulke kraakprocessen, waarbij grote moleculen bij hoge temperaturen tot kleine worden 'gekraakt', stonden toen internationaal in het centrum van de belangstelling, doordat het toenemend autogebruik steeds grotere hoeveelheden benzine vroeg. Bij de BPM was er al jaren aandacht voor kraakprocessen en ook met hydrogeneringsprocessen was het bedrijf, door het werk van onder anderen Knoops en Van Tienen, al langer vertrouwd (hoofdstuk drie). In de loop van de jaren twintig verschoof het zwaartepunt van het onderzoek naar kraakprocessen van de Koninklijke/Shell naar Amerika, waar de inmiddels daarheen getrokken kraakexperts Pijzel en De Leeuw de leiding hadden.[39]
Al deze activiteiten dienden slechts één doel: het verhogen van de toegevoegde waarde van de grondstoffen van de Groep. Net als bij Staatsmijnen het geval was, bepaalde dit motief het strategische gedrag van het concern en gaf het richting aan onderzoek en ontwikkelingswerk.[40] Het Bergius-proces viel, gemeten aan dit criterium, binnen enkele jaren door de mand. De brieven van de in september 1920 naar Rheinau gezonden chemicus R.A. Weerman, die zich onder leiding van De Leeuw vanaf 1916 in kraakprocessen en in katalytische hydrogenering had verdiept, bevatten een voortdurende stroom klachten en treurige berichten over storingen, lekkages, verstoppingen, cokesvorming, gebrek aan fundamenteel onderzoek naar de grondslagen van het proces, constructiefouten in de apparatuur en over de incompetentie van sommige van de Duitse chemici en ingenieurs.[41] Wie dit dossier van Weerman heeft gelezen, begrijpt pas hoe groot de moeilijkheden waren die men moest overwinnen om de hogedruksynthese van Haber om te zetten in een grootschalig werkende industrie.
Weerman bleef uiteindelijk ruim drie jaar in Rheinau en zijn correspondentie met het Haagse hoofdkantoor van de BPM vormt een fraaie illustratie van de rol die verwachtingen spelen in technische ontwikkeling. De Kok en Knoops, die in Den Haag de Bergius-technologie in portefeuille hadden, hadden aanvankelijk zulke hoge verwachtingen van het proces, dat ze jarenlang Weermans negatieve berichten negeerden. Toen uiteindelijk het failliet van het Bergius-avontuur tot hen doordrong, sloegen ze beide door naar het andere uiterste: niets deugde er meer.
De Kok en Knoops hadden uiteraard hun argumenten om Weermans berichten naast zich neer te leggen. Zo vonden zij dat hij te veel als kritische wetenschapsman naar de fabriek in Rheinau keek. Volgens De Kok moest Weerman daarentegen dusdanige proeven bedenken dat 'ons geloof in het [Bergius] procédé meer bevestigd wordt'. Het stond bij voorbaat vast dat er

een (nieuw) contract met de Evag gesloten moest worden, omdat men zich zo onder de ongunstige verplichtingen van de optieregeling kon uitwerken. De eis zelf een hydrogeneringsfabriek te bouwen, zou dan kunnen vervallen, terwijl het onaantrekkelijk perspectief bij niet uitoefenen van de optie – namelijk tien jaar langs de zijlijn te staan – zo ook kon worden vermeden. Het kwam in september 1921 inderdaad tot een akkoord, waarbij de BPM en de Evag-dochter Makot gezamenlijk de in Den Haag gevestigde Internationale Bergin Compagnie voor Olie- en Kolen-Chemie (IBC) oprichtten, waaraan alle buitenlandse Bergius-rechten en het recht op gebruik van de installatie in Rheinau werden overgedragen. De BPM kreeg 50% van het aandelenkapitaal en betaalde daarvoor *f* 2.500.000,- aan de Evag. Bovendien stortte de BPM *f* 500.000,- in de kas van de IBC voor voortgezet onderzoeks- en ontwikkelingswerk. De BPM kreeg een doorslaggevende stem in oliezaken, de Evag in kolenzaken. De Evag behield de Duitse rechten op het proces, maar besloten werd dat de BPM, Bergius en de Evag onderling hun technische ervaringen en octrooien zouden uitwisselen.[42]

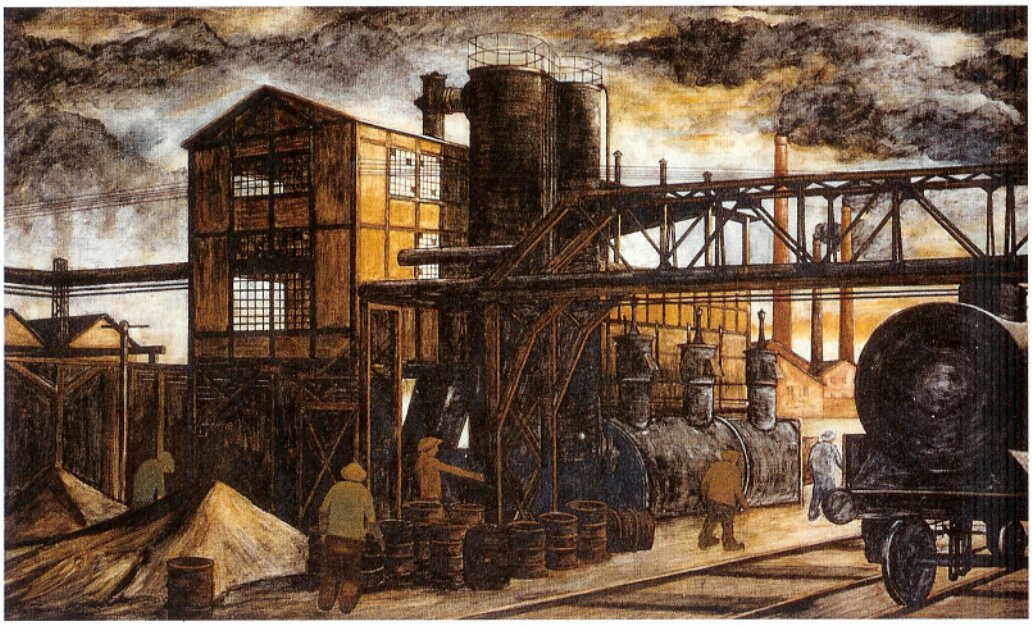
In deze constellatie ging het ontwikkelingswerk in Rheinau met verdubbelde energie voort. Men bouwde nieuwe laboratoria en proeffabrieken, waarin omstreeks 1923 maar liefst 235 personen werkten, onder wie dertig chemici en ingenieurs. Het Haber-Bosch-proces en de Badische waren daarbij het immer na te jagen voorbeeld, zoals blijkt uit de argumentatie waarmee in december 1921 de uitbreiding van de researchfaciliteiten werd verdedigd:

> 'Mit ähnlichen Methoden hat die Badische Anilin- und Sodafabrik, unter Leitung von Bosch, ihr Ammoniak-Verfahren durchgebildet und sich einen nicht einzuholenden Vorsprung auf diesem Gebiete verschafft. Ihre Stärke beruht nich allein auf der Beherrschung der Bedingungen der Reaktion zwischen Stickstoff und Wasserstoff, sondern vielmehr noch auf der Beherrschung des ganzen Komplexes von technischen und industriellen Einzelheiten und Erfahrungen, die allein erst die Ammoniak-Grossindustrie ermöglicht haben und auf dem Besitz eines auf das Beste geschulten Stabes von Chemikern und Ingenieuren, die die Erfahrungen bis in das Kleinste in sich tragen'.[43]

Enig succes bleef niet uit. Vooral op het gebied van de kolenhydrogenering was er grote belangstelling van landen die wel over kolenmijnen, maar niet over olie beschikten. Vertegenwoordigers uit Engeland, België, Luxemburg, Frankrijk, Japan en Italië stonden in de rij om proeven met hun steenkolen in Rheinau te laten uitvoeren en om met de IBC te onderhandelen over de aankoop van licenties voor hun land.[44]

Ondanks deze ogenschijnlijk gunstige voortekenen sloeg de stemming op het BPM-hoofdkantoor in de loop van 1923 langzaam om. Weerman ging onverdroten voort met zijn negatieve rapportages vanuit Rheinau. Bovendien werd in die jaren mede door Pijzels werk het Dubbs-kraakproces in Amerika een succes, zodat er nu een werkbaar alternatief voorhanden was voor het verwerken van de zware oliefracties. Dit sloeg de bodem weg onder de betrokkenheid van de BPM bij het Bergius-proces. Op oliegebied had het Bergius-proces, zo meende men, weinig meer te bieden.[45]

Op het terrein van de steenkool was de situatie niet veel beter. Zolang de aardolieprijzen niet zeer dramatisch zouden stijgen, had de BPM berekend, zou benzine uit steenkool nooit met benzine uit aardolie kunnen concurreren. Toen ook de Evag zich uit de branche wilde terugtrekken, groeide op het BPM-kantoor in

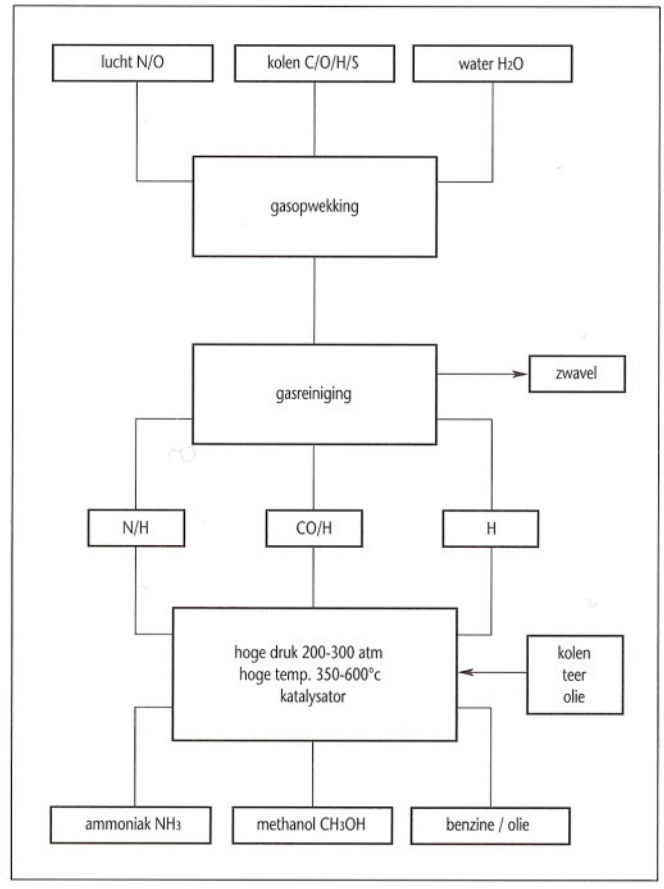


Tekening van een deel van de Bergin-Werke te Rheinau bij Mannheim in 1929. In deze in 1919 onder de leiding van Friedrich Bergius (1884-1949) in bedrijf gekomen (proef)fabrieken werd op grote schaal geëxperimenteerd met de omzetting onder hoge druk van steenkool en zware oliefracties in benzine. Bergius werkte zonder katalysator omdat de in olie en steenkool aanwezige zwavel een funeste invloed op de meeste toen bekende katalysatoren had. De BASF wist dit probleem later op te lossen. BPM-chemicus R.A. Weerman was er overigens van overtuigd dat de ijzeren wanden van de reactor in feite als katalysator fungeerden.

Den Haag de wens om het Bergius-proces de rug toe te keren. Vanaf eind 1923 dacht men serieus na over de liquidatie van de IBC of over het verkopen van de aandelen. Tot deze verkoop kwam het echter niet omdat Deterding er zijn veto over uitsprak nadat hij in februari 1924 uit Rome was teruggekomen 'met zeer groote gedachten over de mogelykheid om het [Bergius] process uit politieke oogpunten winstgevend te maken niet slechts in Italië, maar nog in tal van landen daarnaast'. De BPM behield zo haar 50%-belang in de IBC. In de jaren die volgden, zou dit van grote betekenis blijken te zijn voor de onderhandelingspositie van de Koninklijke/Shell op internationaal technologisch gebied.
Wel staakte de Bataafsche in april 1924 alle actieve bemoeienis met de IBC. Weerman werd uit Rheinau teruggeroepen en in het laboratorium in Amsterdam op een geheel ander onderwerp, antiklopmiddelen, gezet. Het onderzoek naar hydrogeneringsprocessen verdween in de ijskast.[46]

De BASF en de hogedruktechniek

Deterdings goed ontwikkelde intuïtie liet hem niet in de steek toen hij bedacht dat het Bergius-proces op politieke gronden winstgevend kon worden. In de meeste landen lagen de ervaringen van de Eerste Wereldoorlog nog vers in het geheugen en een gegarandeerde voorziening van cruciale grondstoffen en energiedragers was voor veel regeringen dan ook een kwestie van de allerhoogste strategische betekenis. In 1924 nam de Britse overheid het besluit het hydrogeneringsonderzoek financieel te steunen en kort daarna richtten Britse fabrikanten het British Bergius Syndicate op, dat IBC-licenties voor het gehele Britse gemenebest verwierf. Een jaar later kreeg het syndicaat bovendien een 20%-belang in de Makot door overname van aandelen van de Evag. Die aandelen kwamen begin 1927 in handen van ICI, het grootste Britse chemieconcern.[47]
Ook een andere grote chemische onderneming, BASF, richtte inmiddels vanwege de productie van benzine haar aandacht op het Bergius-proces. Om te begrijpen hoe het kan dat juist toen de BPM alle interesse in het proces verloor andere grote spelers zich vol energie op de hydrogeneringstechniek stortten, is het van belang op het verschil in hun situatie te wijzen. De BPM was reeds een sterke speler op de benzinemarkt en bovendien een van de meest geïnternationaliseerde ondernemingen ter wereld. Het bedrijf had daarom geen belang bij de autarkiepolitiek van een bepaald regime. Voor de Badische lag dit anders. Het was weliswaar een groot bedrijf dat zijn producten wereldwijd afzette, maar de thuismarkt was de belangrijkste markt, terwijl bovendien vrijwel het gehele productieapparaat in Duitsland geconcentreerd was. Voor de Badische speelde het daarom wel degelijk een rol dat de Duitse betalingsbalans nadelig werd beïnvloed door de grootschalige import van olie, terwijl het land over grote steenkool- en bruinkoolvoorraden beschikte. Ervan overtuigd dat het belang van de auto in de toekomst in Duitsland enorm zou toenemen, zag de Badische er dan ook een enorme uitdaging in om kunstmatige benzine uit Duitse grondstoffen te produceren. Bosch was ervan overtuigd dat de overeenkomsten tussen de ammoniaksynthese en het Bergius-proces zo groot waren dat de Badische als geen ander in staat zou zijn de technische problemen rond de kolenhydrogenering op te lossen. Dit zelfvertrouwen had in 1924 juist een nieuwe impuls gekregen omdat zijn medewerker Matthias Pier (1882-1965) erin geslaagd was synthetische methanol te produceren volgens een hogedrukproces dat eveneens een grote analogie met de ammoniaksynthese had (zie figuur).[48]
Toen het bedrijf in het najaar van 1924 inderdaad besloot om het onderzoek naar de hogedruk-hydrogenering van steenkool en



Een schematische weergave van de visie van Carl Bosch op de nauwe verwantschap tussen het Haber-Bosch-proces voor de ammoniaksynthese, de door zijn medewerker Matthias Pier gevonden methanolsynthese en de door Bergius en Pier ontwikkelde productie van benzine uit steenkool, zware olie en teer. In al deze gevallen bestond het productieproces uit drie stappen: de gasopwekking, de gaszuivering en een katalytisch hogedrukproces. In het geval van de ammoniaksynthese werd er een waterstof-stikstofmengsel geproduceerd uit stoom, cokes en lucht; in het geval van de methanolsynthese bereidde men een koolmonoxide-waterstofmengsel uit stoom en cokes; en in het geval van het Bergius-proces werd eerst waterstof geproduceerd uit stoom en cokes. In de gasreiniging werden vervolgens de zwavelverbindingen en kooldioxide verwijderd. Vervolgens reageerden de genoemde gasmengsels onder hoge druk tot de gewenste verbindingen, waarbij er in het geval van het Bergius-proces steenkolen, oliefracties en/of teer werden toegevoegd.

bruinkool te starten, pakte de BASF de zaken van meet af aan groot aan. Bij de ammoniakfabriek in Oppau werd een nieuwe onderzoeks- en ontwikkelingsafdeling 'hogedrukexperimenten' in het leven geroepen, onder leiding van Pier, waaraan in 1928 maar liefst 2200 personen verbonden waren. Al in januari 1925 werd een selectieve katalysator gevonden die bovendien immuun was voor 'vergifting' door de rijkelijk in steen- en bruinkool aanwezige zwavelverbindingen. Tevens werd het proces in twee fases gesplitst: een 'Sumpfphase' (moeras- of modderfase), waarin de bruinkoolbrij een eerste behandeling onderging, gevolgd door een 'Gasphase', waarin gasvormige verbindingen werden gehydrogeneerd.
Beide innovaties tezamen verbeterden de kolenhydrogenering dusdanig dat BASF-opvolger IG Farben reeds in 1926 besloot om voor 100 miljoen mark een bruinkool-hydrogeneringsfabriek te gaan bouwen naast de ammoniakfabriek te Leuna bij Merseburg, met een jaarcapaciteit van 100.000 ton benzine (een overhaaste beslissing overigens, die de IG een vermogen heeft gekost).
De fabriek kwam al in de loop van 1927 in bedrijf.[49]
Direct nadat in januari 1925 de eerste successen waren behaald, besloot de BASF te proberen de Bergius-octrooien in handen te krijgen, omdat er octrooistrijd dreigde daar de BASF-octrooien afhankelijk waren van de zeer algemeen gestelde octrooien van Bergius. Door alle aandelen van de Evag op te kopen, kreeg de BASF een belang in de IBC en kwam zo met de BPM in contact.
Het besluit van Deterding om het aandeel in de IBC voorlopig niet van de hand te doen, kwam nu goed van pas. Het gaf de BPM de mogelijkheid de vinger aan de pols te houden. In oktober 1925 – nadat bekend was geworden dat de BASF een belang in de Makot had genomen, maar de BPM nog niet wist dat de BASF het Bergius-proces aanzienlijk had verbeterd – formuleerde de raad van bestuur van de Bataafsche de te volgen lijn aldus:

> 'Ondanks het feit, dat er allerwege zooveel belangstelling voor dit procédé gewekt is, blyft de directie sceptisch aangaande de rentabiliteit by de tegenwoordige markt- en pryzen-situatie. Het lykt daarom de beste politiek, zoo mogelyk een gedeelte van ons aandeelenbezit van de hand te doen, doch voldoende te behouden om by eventueel veranderde constellaties geïnteresseerd te zyn'.[50]

Deze voorzichtige lijn bepaalde een tijd lang het handelen van de Groep. In het in juni 1926 gepubliceerde jaarverslag van de Koninklijke voegde De Kok daaraan toe:

> 'bekend is (..) dat (petroleumproducten uit steenkool) de petroleumindustrie allerminst behoeven te verontrusten, omdat zij in gewone tijden niet kunnen concurreren met aardolie, al zullen zij misschien in tijden van oorlog of onder abnormale omstandigheden van groote betekenis blijken te zijn'.[51]

De Koninklijke zag haar betrokkenheid bij het Bergius-proces in 1926 dus vooral als een verzekeringspolis voor ongewone tijden. Betrokkenheid van de BASF bij het proces zou de waarde van die polis alleen maar kunnen vergroten. Heel expliciet kwam die gedachte naar voren toen de BPM in mei 1926 besloot zestig procent van haar belang in de IBC voor *f* 900.000,- aan de BASF te verkopen (ook na de fusie van de BASF met andere Duitse kleurstofgiganten tot IG Farben bleef de naam BASF nog jaren in gebruik – na de Tweede Wereldoorlog werd de IG onder druk van de geallieerden opgesplitst en de BASF heropgericht). De Kok schreef hierover aan Deterding: 'De Badische ziet blykbaar iets in het process en ik geloof ook dat, indien er ooit iets van terecht zou kunnen komen, dit zou kunnen met behulp der Badische.' Maar als het de Badische niet zou lukken, 'kunnen we dubbel tevreden zyn natuurlyk'.[52]
De BASF had van haar kant naast de octrooikwestie nog een hele andere reden om op samenwerking met de olie-industrie aan te sturen sinds begin 1926 de beslissing voor de bouw van een grote fabriek voor synthetische benzine in Leuna was gevallen.
Immers, de Badische was vrijwel onbekend met de benzinemarkt en de opbouw van een eigen distributieapparaat zou een zeer kostbare zaak zijn. Bovendien was het bedrijf als de dood voor een prijzenoorlog op de Duitse markt, die de kansen van de synthetische benzine in de kiem zouden smoren. Samenwerking met de Standard Oil Company of New Jersey en de Koninklijke, de twee grootste partijen op de Duitse markt, was daardoor eigenlijk onvermijdelijk.

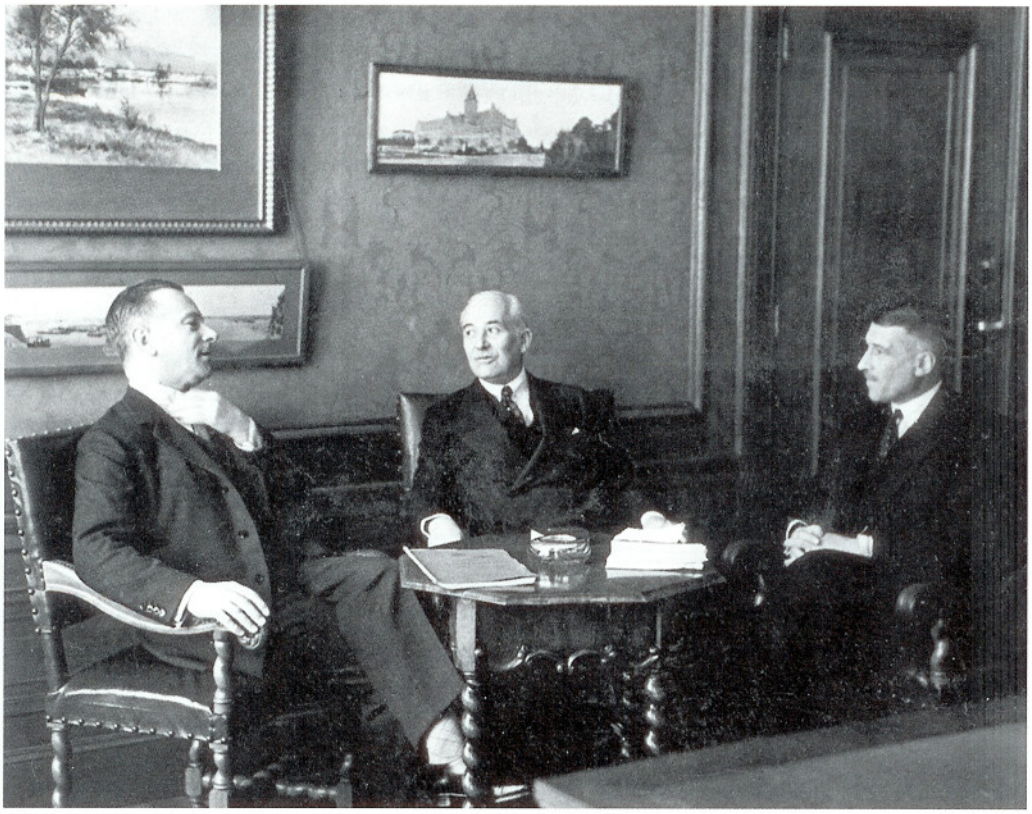
De BASF, Standard Oil en de Koninklijke

In het begin van 1926 nam de BASF contact op met Standard Oil om tot een overeenkomst op het gebied van de hydrogenering te komen. Dat de keuze naar deze oliegigant uitging en pas in tweede instantie naar de Koninklijke, had te maken met al langer bestaande contacten met de Standard op het gebied van anti-klopmiddelen, maar vooral ook met de grote bewondering die de leiders van de grote Duitse kleurstoffenbedrijven nu eenmaal hadden voor de Amerikaanse grootindustrie. Amerika was hét innovatieve centrum van de olie-industrie en bij een bezoek in 1925 aan de raffinaderijen van Standard Oil waren technici van de BASF zeer onder de indruk. Dat de Koninklijke/Shell ook grote belangen in Amerika had, was hen nauwelijks bekend.[53] Daarnaast is het mogelijk dat de BASF enigszins beducht was voor de BPM vanwege haar positie met betrekking tot de internationale Bergius-octrooien en haar ervaring met het Bergius-proces. Standard Oil daarentegen, niet gehinderd door veel kennis op dit gebied, was haast een toonbeeld van onbevangenheid. Toen Frank Howard, hoofd van het research-laboratorium van Standard Oil, eind maart 1926 de fabrieken van de Badische bezocht, was hij verbijsterd over de omvang van het onderzoek. Hij telegrafeerde zijn hoogste chef, Walter Teagle, onmiddellijk naar Duitsland te komen. Geïmponeerd trokken zij enkele strategisch belangrijke conclusies voor de positie van de

olie-industrie, waarbij het opvalt hoezeer, zoals vrijwel steeds bij de Bergius-technologie, technologische opties met betrekking tot steenkool en aardolie in één adem werden genoemd. 'Two things seemed clear', schreef Howard naderhand:

> 'The first was that if the worst types of crude oil and tar could be converted entirely into gasoline, the oil industry would no longer need to worry about having its products get out of balance with demand. But fundamentally more important, perhaps was a second consideration – the conversion of coal into oil. It seemed clear that the German hydrogenation processes, and the new horizons they opened, were tremendously significant – perhaps more significant than any technical factor ever introduced into the oil industry up to this time. But from our standpoint it was clearly impossible to offer a great sum for a process which was still in the early stages of development and which was based on catalytic chemistry entirely outside our range of experience'.[54]

Op basis van deze overwegingen startten Standard Oil en IG Farben nog datzelfde jaar onderhandelingen over de hydrogeneringstechnologie. Beide bedrijven besloten in de zomer van 1927 tot samenwerking bij onderzoek en ontwikkeling, waarbij Standard Oil zich verplichtte een intensief researchprogramma te starten en, naast proeffabrieken, drie grootschalige installaties voor petroleumhydrogenering te bouwen. De technologische kennis die deze fabrieken opleverden, werd met de IG gedeeld, terwijl de Standard alle informatie over de fabriek in Leuna kreeg. In 1929 kwam de eerste grootschalige fabriek in bedrijf.[55]
De steeds nauwere samenwerking leidde – eveneens in 1929 – tot de oprichting van een gemeenschappelijke onderneming, de Standard-I.G. Company (80% Standard Oil, 20% IG Farben), die alle hydrogeneringsrechten voor Amerika in haar bezit kreeg. Daarnaast werden er andere overeenkomsten afgesloten met betrekking tot de wereldmarkt, waarbij de IG onder andere beloofde buiten de oliebusiness te blijven en de Standard Oil zich verplichtte de chemische industrie aan de IG over te laten. Voor de ontwikkeling van de chemische techniek hadden deze overeenkomsten verstrekkende betekenis. Het was de eerste maal dat er een open samenwerking en kennisuitwisseling op wereldschaal tot stand kwam tussen de chemische industrie en de olie-industrie. Het succes dat in korte tijd werd behaald op het gebied van de petroleumhydrogenering, maakte diepe indruk op andere grote bedrijven in die branches, die dit voorbeeld gingen navolgen. Standard Oil en IG Farben luidden zo een trend in van kartelvorming en kennisuitwisseling op wereldschaal die de ontwikkeling van de chemische techniek in de jaren dertig zou gaan bepalen. De Koninklijke/Shell zag deze ontwikkelingen ondertussen met lede ogen aan. Met betrekking tot de belangrijke Amerikaanse markt, waar de Bergius-octrooien door de overheid in de Eerste Wereldoorlog 'genaast' waren, werd het bedrijf door IG Farben en Standard Oil vakkundig buiten de onderhandelingen gehouden. Met betrekking tot de wereldmarkt, buiten Amerika en Duitsland, bood de octrooiportefeuille van de IBC echter een opening.
De deelname van de BPM in de IBC kreeg hierdoor geleidelijk een nieuwe betekenis. Was deze deelname tussen 1920 en 1925 louter vanuit de waarde van het Bergius-proces zelf beoordeeld, nadat de Badische in 1925 belangstelling voor de Bergius-octrooien ging tonen werd de BPM-deelname in de IBC steeds meer de sleutel tot het gehele achterliggende veld van de katalyse en de hogedruktechniek. De Bataafsche trachtte door samenwerking op de hoogte te raken van de technische kundigheden van de Badische op het gebied van de kolen- en oliehydrering. Gedurende de onderhandelingen met de BASF over de aandelentransactie waren juristen van de BPM dan ook druk in de weer om de octrooipositie van de IBC te versterken en om te bezien of de BASF, als eigenaar van de Evag-aandelen, gehouden kon worden aan de indertijd met de Evag gemaakte afspraak tot uitwisseling van technische kennis.[56]
Van het feit dat de BASF reeds sinds een jaar belangrijke, maar streng geheim gehouden, procesverbeteringen had gevonden, had men tijdens die onderhandelingen nauwelijks benul. In de zomer van 1926, nadat de aandelen waren verkocht, veranderde echter het gehele plaatje toen het tot de BPM-top doordrong dat de Badische een proces had gevonden dat een aanzienlijke verbetering ten opzichte van het Bergius-proces inhield. Nadat het bedrijf bovendien vanaf mei 1926 van de Directie Economische Zaken van het ministerie van Buitenlandse Zaken steeds berichten binnen kreeg over op gang zijnde onderhandelingen tussen de grootste concurrent, Standard Oil, en de IG, werd steeds duidelijker dat men het handelen van IG Farben scherp in de gaten moest gaan houden. Een fraai voorbeeld van het veranderende strategische gedrag van het concern is dat de BPM vanaf juli 1926 een knipselarchief ging bijhouden, waarin alle gepubliceerde berichten over de door *De Telegraaf* 'den chemischen dictator der wereld' genoemde IG systematisch bijeen werden gebracht. 'Wij leven technisch en chemisch in een overgangstijd', concludeerde het dagblad, 'verticale en horizontale vertrusting geschiedt in twee vlakken, die elkaar ontmoeten in één lijn. De koortslijn naar snellere, meerdere, goedkoopere voortbrenging.'[57] De BPM ontkwam niet aan dit koortsachtige gevoel: als IG Farben zich ergens mee ging bemoeien, dan moest er wel iets belangrijks aan de hand zijn. Of zoals Knoops op 28 september 1926 aan De Kok schreef naar aanleiding van een persbericht dat de IG honderden miljoenen in de fabriek in Leuna zou gaan steken: 'Such a statement from such a firm of standing, which may certainly be considered as the first in the world in the chemical industry, is not to be disregarded.' Het verkrijgen van meer kennis over de hydrogeneringskatalysatoren van de BASF kreeg daarom in de volgende maanden de allerhoogste prioriteit.[58]



De drie hoofdrolspelers die in 1927 de beslissing namen dat de Koninklijke/Shell zich op grote schaal op het terrein van de chemie zou gaan begeven. Van links naar rechts: J.B.A. (Guus) Kessler jr. (1888-1972), directeur-generaal van de Koninklijke/Shell van 1947 tot 1948, lid van de directie vanaf 1924; H.W.A. (Sir Henry) Deterding (1866-1939), directeur-generaal van de Koninklijke van 1902 tot 1936, directielid vanaf 1901; en J.E.F. (Frits) de Kok (1882-1940), directeur-generaal van de Koninklijke/Shell van 1937 tot 1940, directielid vanaf 1921.

Van Bergius naar Mont-Cenis: de Bataafsche en stikstofbinding

Intensivering van de research

Tijdens de inmiddels op gang gekomen onderhandelingen met de IG en Standard Oil begon J.B.A. Kessler, die begin 1927 de IBC-zaken in de directie van De Kok overnam, in te zien dat als de Koninklijke/Shell tijdens deze onderhandelingen niet als *quantité négligeable* behandeld wilde worden, het bedrijf veel meer aan research moest doen. De Groep deed weliswaar al jaren het nodige op dat gebied, maar dat onderzoek was vrijwel geheel op de problemen van het lopende bedrijf gericht. Het was volstrekt ontoereikend om de IG-octrooien en de op gang komende researchsamenwerking tussen de IG en Standard Oil op het terrein van de katalyse en de hydrogenering te beoordelen. Men was steeds blindgevaren op de reputatie van de IG, maar niet goed in staat tot een onafhankelijk oordeel. Was dit argument op zich reeds belangrijk genoeg om het roer om te gooien, de noodzaak daartoe werd nog verder onderstreept toen tezelfdertijd Pijzel vanuit Amerika begon aan te dringen op intensivering van de research, omdat concurrent Standard Oil haar researchorganisatie sterk aan het uitbreiden was en omdat naar zijn oordeel de overtollige aard- en kraakgassen die bij de oliewinning en raffinage vrijkwamen, naar het voorbeeld van diezelfde Standard Oil, met chemische methoden in verkoopbare producten konden worden omgezet.

Op een begin april 1927 door Kessler georganiseerde bespreking, waaraan naast Knoops en Bastet, die vanuit het Haagse kantoor de research zouden gaan coördineren, ook Pijzel en de chef van het Amsterdamse laboratorium G.L.J. Caviët deelnamen, werd de koerswijziging ingezet. Besloten werd tot de oprichting van een researchorganisatie in Californië, die zich vooral op de chemische verwerking van aard- en kraakgassen en op technische problemen zou gaan richten, en tot de uitbreiding van het BPM-laboratorium in Amsterdam met een wetenschappelijke afdeling op het gebied van de chemie, waar onder meer onderzoek naar katalyse en hydrogenering zouden plaatsvinden.[59]

Binnen twee jaar kregen deze plannen hun beslag en draaide het onderzoek op volle toeren. In Amerika richtte men de Shell Development Company op, die een researchlaboratorium bouwde in Emeryville bij Berkeley, dat onder leiding kwam van de uit Londen afkomstige hoogleraar E.C. Williams, een van de Britse coryfeeën op het gebied van de 'chemical engineering'. Toen dat laboratorium eind 1928 gereed kwam, was de nieuwe researchgroep 'chemische industrie' in Amsterdam reeds vanaf september 1927 bezig onder leiding van A.J. van Peski, een oude bekende van Knoops, die na een carrière als chef van het onderzoekslaboratorium van Vondelingenplaat vanaf 1923 bij professor Böeseken in Delft werkzaam was als hoofdassistent organische chemie. Daarnaast trok de BPM de Delftse hoogleraar H.I. Waterman formeel per 1 oktober 1927 als wetenschappelijk adviseur aan. Deze deed reeds vanaf 1919-1920 in zijn hogedruklaboratorium onderzoek naar het Bergius-proces en had ongetwijfeld al eerder contacten met het

bedrijf onderhouden. De BPM bekostigde voortaan de aanstelling van assistenten, die in Delft onderzoek gingen doen op het gebied van de katalyse en de hogedruktechniek. Watermans jarenlange 'hogedrukassistent' J.N.J. Perquin, die een leertijd in de fabriek van Bergius in Rheinau had doorgemaakt, verhuisde van Delft naar de BPM. Ook trok men twee medewerkers van Bergius uit Rheinau aan (R. Tillmann en M. Hofsäss), alsmede enkele pas afgestudeerden. Zo lukte het binnen korte tijd een capabel team op de been te brengen. Niet lang daarna werden ook de hoogleraren Wibaut (Amsterdam) en Scheffer (Delft) aangesteld als adviseurs.[60]

De Koninklijke en de ammoniaksynthese

Een van de problemen waar de nieuwe researchorganisatie zich op stortte, was de ammoniaksynthese. Pijzel had bedacht dat de bij oliewinning en -verwerking vrijkomende gassen niet alleen een bron van methaan, etheen en propeen waren en daarmee een uitgangspunt van chemische synthese, maar dat deze gassen ook gekraakt konden worden zodat grote hoeveelheden waterstof zouden ontstaan. Dit leek zelfs een zodanig goedkope bron van waterstof te zijn dat de Groep overal waar kraak- en aardgassen vrijkwamen met profijt ammoniakfabrieken zou kunnen oprichten. De Koninklijke/Shell had evenwel geen enkele ervaring op dit gebied. Met onderzoek naar de waterstofproductie uit methaan moest nog een begin worden gemaakt, laat staan dat men kennis had van de complexe Haber-Bosch-technologie. In de zomer van 1927, toen Kessler en Pijzel in Londen met de IG Farben en Standard Oil onderhandelden over de afzet van Leuna-benzine in Duitsland en over de toetreding van de Standard tot de IBC, kwamen deze ideeën echter in een stroomversnelling.

Op 18 augustus stak Carl Bosch tijdens slecht lopende onderhandelingen in Londen plotseling een betoog in het Duits af waarin hij dreigde dat, als men niet volledig met hem zou meewerken, de IG Farben met zijn nieuwe hydrogeneringsprocédé de wereldpetroleumindustrie net zo zou *töten* als de Badische dat in het verleden met de indigo-industrie en de Chileense salpeterindustrie had gedaan. Dat deze rede niet goed viel bij Kessler en Pijzel is een understatement. Binnen enkele dagen besloten zij, na overleg met Deterding, om een 'tegen-actie' te beginnen door de oprichting van fabrieken voor synthetische ammoniak. Samen met Hoogovens, waar een broer van J.B.A. Kessler directeur was, zou de BPM een ammoniakfabriek op basis van cokesovengassen oprichten om de technologie onder de knie te krijgen. Vervolgens, zo was het plan, zouden er over de gehele wereld ammoniakfabrieken worden gebouwd, met waterstof uit aardgas als grondstof. IG Farben moest zo op haar eigen markt de concurrentie van de Koninklijke voelen.[61]

Bij Kessler had deze ontwikkeling inmiddels een hele trein van gedachten op gang gebracht, die hem tot de conclusie voerden dat de oprichting van de eerste ammoniakfabriek slechts de opstap zou zijn tot een veel grootschaliger ontplooiing van de Koninklijke op het gebied van de chemische industrie. Deze beslissing, schreef hij De Kok op 25 augustus 1927, zou een 'new departure' worden:

> 'We should have confidence, energy and courage enough to develop this new chemical part of our business even if it does not give profits to start with. The Badische have done the same thing, and with very great success, and therefore (...) it seems so logical that we should turn all this energy that is going to waste at present into something that we can put into packages and sell. (...)
> This new departure is an extremely important one. (...) After ten or twenty years, I expect we shall be just as important in the chemical industry as we are in the oil industry. (...)
> We have got the money, the best raw material, and the best geographical position, and if we can work ourselves out of the routine to which we have been accustomed up to now in our more or less simple oil business as we have been developing hitherto, we should certainly be in a position to develop our industry into a chemical industry on a very complete scale'.[62]

Carl Bosch gaf dan wel het laatste zetje, maar de expansie van de Koninklijke in de richting van de petrochemie was, als we Kessler volgen in zijn analyse, toch bovenal een voorbeeld van een 'feedstock driven' ontwikkeling, ingegeven door de wens waardeloze bijproducten om te zetten in producten met een hogere toegevoegde waarde.

De eerste ammoniakfabriek, die de BPM bij Hoogovens in IJmuiden bouwde, was echter primair bedoeld om ervaring op te doen en de opwerking van grondstoffen speelde in dat concrete geval geen directe rol. Besloten werd om een zo klein mogelijke fabriek te bouwen, van 10.000 ton stikstof/jaar, die nog net rendabel zou wezen. De BPM nam alle kosten voor haar rekening. Hoogovens fungeerde louter als leverancier van cokesovengas. Nadat Pijzel samen met twee directeuren van Hoogovens reeds op 13 september 1927 een bezoek aan de kolenmijn Mont Cenis bij Sodingen had gebracht, waar het proces van de Gaveg in bedrijf was, kreeg Uhde de opdracht om de fabriek te bouwen.

Linde leverde, na omzichtige manoeuvres om de betrokkenheid van de BPM geheim te houden (daar de IG grootaandeelhouder van Linde was), de luchtscheidingsapparatuur.[63]

Ondertussen begon Daniël Pijzel met de voorbereidingen voor de bouw van een synthetische ammoniakfabriek in Californië. Samen met zijn zoon Fred ontwikkelde hij een proces om het ter plaatse gewonnen aardgas – dat 85% methaan, 12% ethaan en 3% hogere koolwaterstoffen bevatte – bij 1100°C thermisch te ontleden in waterstof (70%), koolmonoxide (5% CO) en in producten als etheen, benzeen en naftaleen. Ook ontwikkelden zij een zuiveringstechniek voor het gevormde gas en een nieuw apparaat voor de

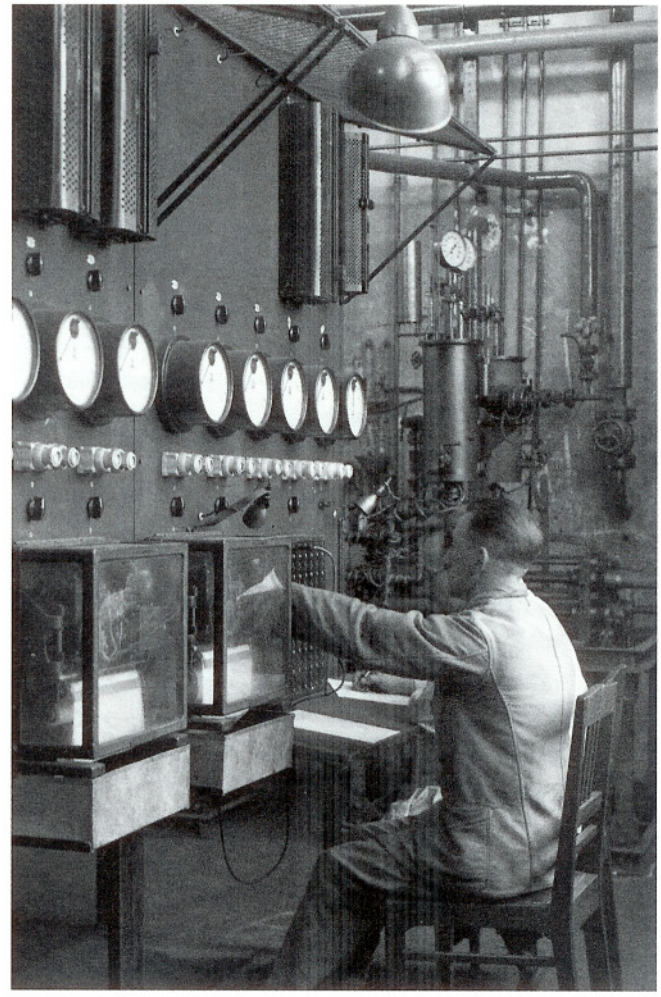
winning van ammoniak uit de uitgaande gasstroom van de synthese-eenheid. De Linde-gaszuivering en de door Uhde ontworpen Mont-Cenis-synthese-eenheid werden kant en klaar uit Duitsland aangevoerd. De fabriek werd zo een amalgaam van Amerikaanse en Europese techniek. In augustus 1931 kwam de fabriek in Shell Point bij San Francisco in bedrijf.[64]

De Internationale Maatschappij voor Hydreerings-Techniek en -Chemie

Eind 1931 bewoog de Koninklijke/Shell zich zo met twee ammoniakfabrieken duidelijk op het terrein van de chemische industrie. Andere takken van fabricage waren in voorbereiding. Was men echter ook in de opzet geslaagd de IG tot de orde te roepen? Wat betreft de hydrogenering is het antwoord ondubbelzinnig 'ja', maar dat lag eerder aan de beslissing van de Groep om de research met kracht ter hand te nemen dan aan de keuze tot bouw van ammoniakfabrieken.[65] Vooral speelde een verbetering in de relatie tussen de Koninklijke en Standard Oil een rol, deels omdat Bosch beide oliegiganten door zijn arrogante houding in elkaars armen dreef. In de zomer van 1928 begroeven Teagle en Deterding de strijdbijl. Bovendien kwam Howard tot de conclusie dat de petroleumtechniek het meest gebaat was bij intensieve wetenschappelijke en technische samenwerking tussen alle betrokken partijen. Na de vorming van de Standard-IG Comp., in november 1929, ontwikkelde hij een liberaal licentiëringsplan voor de hydrogeneringsoctrooien in Amerika. Daarnaast benaderde hij in oktober 1929 de Koninklijke met het verzoek om samen met Standard Oil en de IG een internationale poolovereenkomst op het gebied van hydrogeneringsoctrooien af te sluiten, hetgeen Deterding, die een geweldige hekel aan Carl Bosch had, in een brief aan De Kok de opmerking ontlokte dat de Standard kennelijk 'niet gaarne alleen met een groote wolf in het bosch [wilde] zijn' en zeker niet met zo'n 'onbetrouwbare wolf' als de IG.[66]

De door dit voorstel ingeleide onderhandelingen leidden ertoe dat in de zomer van 1930 Pijzel, Bastet, Tillmann, Perquin en BPM-adviseur Waterman de gelegenheid kregen uitgebreid rond te kijken in de hydrogeneringsfabrieken van Standard Oil in Amerika. Tegen betaling van de niet geringe som van $ 10.500.000,- wist de Koninklijke/Shell zich vervolgens te verzekeren van alle know-how van de IG en Standard Oil op het gebied van katalytische hydrogenering; een bedrag van omgerekend ruim 26 miljoen gulden, dat nogal schril afsteekt tegen de *f* 900.000,- die de IG indertijd voor het BPM-aandeel in de IBC had betaald. In april 1931 richtten de Standard-IG Comp., de Koninklijke/Shell en de Britse Imperial Chemical Industries (ICI), die de Britse Bergius-rechten had verworven, de in Liechtenstein gevestigde International Hydrogenation Patents Comp. op, waarvan de Standard Oil en de Koninklijke ieder de helft van de aandelen kregen. De maatschappij had de zeggenschap over alle octrooien met betrekking tot de productie van benzine uit steenkool en olie over de gehele wereld, met uitzondering van de Verenigde Staten en Duitsland. Daarnaast richtte men in juni 1931 de in het Haagse BPM-kantoor gevestigde Internationale Maatschappij voor Hydreerings-Techniek en -Chemie op (beter bekend onder haar Engelse afkorting IHECC), waarover de BPM het bewind ging voeren. Deze maatschappij hielp bij het ontwerp en de bouw van hydrogeneringsfabrieken en zorgde voor de uitwisseling van technische kennis tussen de vier samenwerkende partners op dit gebied. De BPM staakte nu het onderzoek op het gebied van de katalyse dat in haar opdracht in Delft onder leiding van Waterman werd ondernomen. Het doel was bereikt, de IG-kennis op het gebied van de katalyse was ter beschikking van de Groep gekomen.[67]

Tegen een forse betaling had de Koninklijke zich zo in het centrum van de hydrogeneringstechniek weten te manoeuvreren. Op het

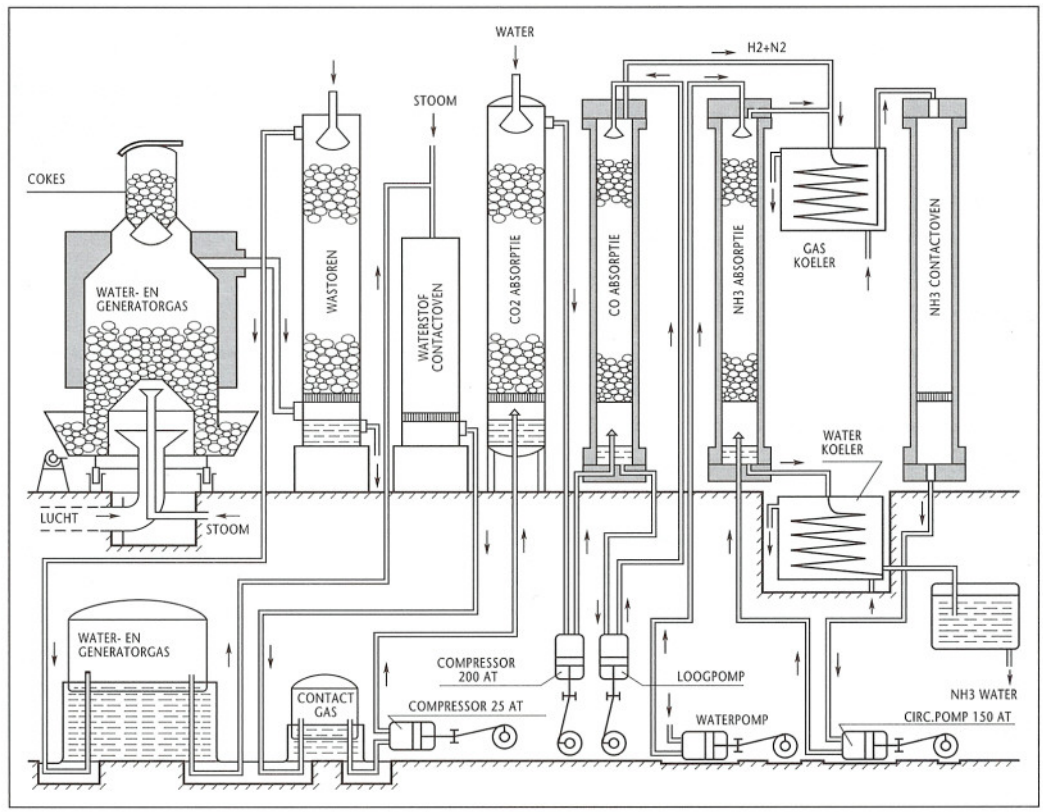


Bedieningspaneel, met 'zelfschrijvende' recorders, van de hydrogeneringsproeffabriek op het terrein van het BPM-laboratorium te Amsterdam, omstreeks 1934. Als uitvloeisel van de research-overeenkomst die de Koninklijke met IG Farben en Standard Oil sloot, kon het bedrijf een complete proeffabriek van de IG overnemen. Duitse vaklieden hielpen in Amsterdam bij de opbouw van de installatie, waarna er onder leiding van J.N.J. Perquin proeven met het hydrogeneren van oliefracties werden gedaan.

brede gebied van de katalyse zal dat de BPM zeker geen windeieren hebben gelegd. Op het meer specifieke gebied van de olie-hydrogenering, waar het allemaal om begonnen was, lag de zaak echter anders. Het duurde tot na 1936 eer de Koninklijke haar eerste hydrogeneringsfabrieken bouwde (in Pernis en Stettin). Het oordeel van de BPM over de kolenhydrogenering, die ook onder de IHECC viel, was nog veel negatiever. Toen Ross van Lennep – naar aanleiding van het in bedrijf komen van de kolenhydrogeneringsfabriek van ICI – in november 1935 namens Staatsmijnen bij de BPM en de IHECC op bezoek kwam om te onderzoeken of zijn bedrijf niet wellicht ook een dergelijke hydrogeneringsfabriek zou kunnen laten bouwen, sprak De Kok zich krachtig tegen dat voornemen uit. De bereiding van synthetische benzine uit kolen was 'onzinnig' en 'volkomen dwaas' en de recente politieke aandacht voor dit onderwerp in Engeland, Duitsland en Italië niet minder dan een 'psychose'. De Kok had ongetwijfeld gelijk, maar de termen waarin hij zich uitte spraken boekdelen. Na de vluchtige 'aromatische' romance in de Eerste Wereldoorlog had Bergius de BPM uiteindelijk definitief op het spoor van de chemie gezet, maar de nare bijsmaak die de gedachte aan het Bergius-proces opriep was nog niet verdwenen.[68]

De wisselwerking tussen petro- en carbochemie

Toen Kessler in augustus 1927 de lijnen voor de toekomst uitzette, liet hij er weinig misverstand over bestaan dat de productie van ammoniak slechts de opstap was tot een veel bredere bemoeienis van de Koninklijke met de chemische industrie. Naast de bouw van de twee ammoniakfabrieken werd ondertussen in de laboratoria in Amsterdam en Emeryville aan een researchprogramma gewerkt dat daarop gericht was. De uitkomsten daarvan zouden in de jaren dertig opnieuw een wisselwerking tussen de petrochemie en de steenkoolchemie tot stand brengen, maar anders dan in de jaren van de Eerste Wereldoorlog vormde de koolteerchemie nu niet meer het dominerende ijkpunt. De Leeuw had de mogelijkheid van een dergelijke eigenstandige ontwikkeling van de petrochemie al in 1919 geschetst. Acht jaar later was er op de door hem geschetste 'lange weg' inderdaad een eerste etappe afgelegd, maar erg indrukwekkend was die niet. Standard Oil maakte sinds 1921 isopropylalcohol uit propeen, dat uit kraakgassen werd gewonnen, en de Carbide and Carbon Chemical Corporation (CCCC; een dochter van Union Carbide) lukte het in de loop van de jaren twintig glycol en een hele reeks andere derivaten uit etheen, verkregen uit aardgas, te maken.[69]



Omdat de beschikbare hoeveelheid cokesovengas een bovengrens oplegde aan de omvang van de ammoniakproductie, gingen verschillende fabrieken ertoe over speciale installaties voor de productie van waterstof te bouwen. In Nederland gebeurde dat vlak na de Tweede Wereldoorlog. Bijgaand processchema uit 1938 toont de productie van ammoniak in de fabriek van de IG in Leuna-Merseburg, met een voorgeschakelde watergas-(of synthesegas-)installatie. Stoom wordt over gloeiende cokes geleid, waardoor een watergasmengsel van 50% waterstof, 40% CO, 5% CO_2 en 5% stikstof ontstaat. In een andere installatie (niet getekend) wordt generatorgas gemaakt, met 60% stikstof, 30% CO, 6% waterstof en 4% CO_2. Na wassing in de wastoren worden beide gassen in de gashouder zo gemengd dat uiteindelijk – na de waterstofcontactoven – een stikstof-waterstofmengsel ontstaat in precies de juiste verhouding (1 : 3) die voor de ammoniaksynthese nodig is. Het mengsel wordt samen met stoom door de waterstofcontactoven geleid, waar de aanwezige CO en stoom met behulp van een ijzeroxidekatalysator worden omgezet in CO_2 en waterstof. Dit stikstof-waterstof-CO_2-mengsel wordt in de contactgashouder verzameld, samengeperst tot 25 atmosfeer en vervolgens door een wastoren geleid om het koolzuurgas (CO_2) te verwijderen. Na compressie tot 200 atmosfeer en verwijdering van de laatste restjes CO, wordt het resterende waterstof-stikstof-mengsel in de ammoniakcontactoven (synthesekolom) bij 600°C in ammoniak omgezet.

Dat was ongeveer de situatie toen Pijzel begin 1927 plannen begon te ontwikkelen om kraakgassen en aardgassen te zuiveren en de geïsoleerde individuele gassen chemisch om te zetten in verhandelbare producten. Op basis van de samenstelling van die gassen was het duidelijk dat het onderzoek zich zou moeten richten op de chemische omzettingen van methaan, ethaan, propaan en butaan. De chemie van deze zogeheten 'alifatische' koolwaterstoffen wijkt geheel af van de chemie van aromatische koolteerverbindingen, zodat er inderdaad een researchprogramma ontwikkeld moest worden dat niet kon steunen op de klassieke koolteertechniek. Hetzelfde gold voor de chemie van onverzadigde koolwaterstoffen als etheen, propeen en buteen (de zogeheten 'olefinen'), die ook in kraak- en aardgassen voorkwamen.[70]

Aangezien de chemie van deze verbindingen op zich geheel bekend was (maar de procestechnologie niet), draaide het bij de opzet van het programma in wezen om twee kwesties: (1) de octrooisituatie op dit terrein, en (2) de mogelijkheid de gewenste chemische omzettingen op grote schaal met een hoog chemisch rendement uit te voeren. Nog voordat Van Peski in september 1927 met het feitelijk onderzoek begon, waren Pijzel en Bastet dan ook in de weer om onderzoek naar de actuele octrooisituatie te doen. Mede op grond daarvan koos men ervoor het onderzoek te concentreren op de stoffen propaan, butaan, propeen, buteen en hun derivaten. Blijkbaar was het terrein van de ethaan- en etheenderivaten door CCCC en andere bedrijven reeds te veel met octrooien 'dichtgetimmerd'. Ook speelde een rol dat men ideeën had de vier gekozen uitgangsstoffen om te zetten in glycol en hogere alcoholen, die respectievelijk als anti-vriesmiddel en als toevoeging aan benzine gebruikt konden worden: producten, kortom, die afgezet konden worden op markten die de Koninklijke/Shell reeds door en door kende.

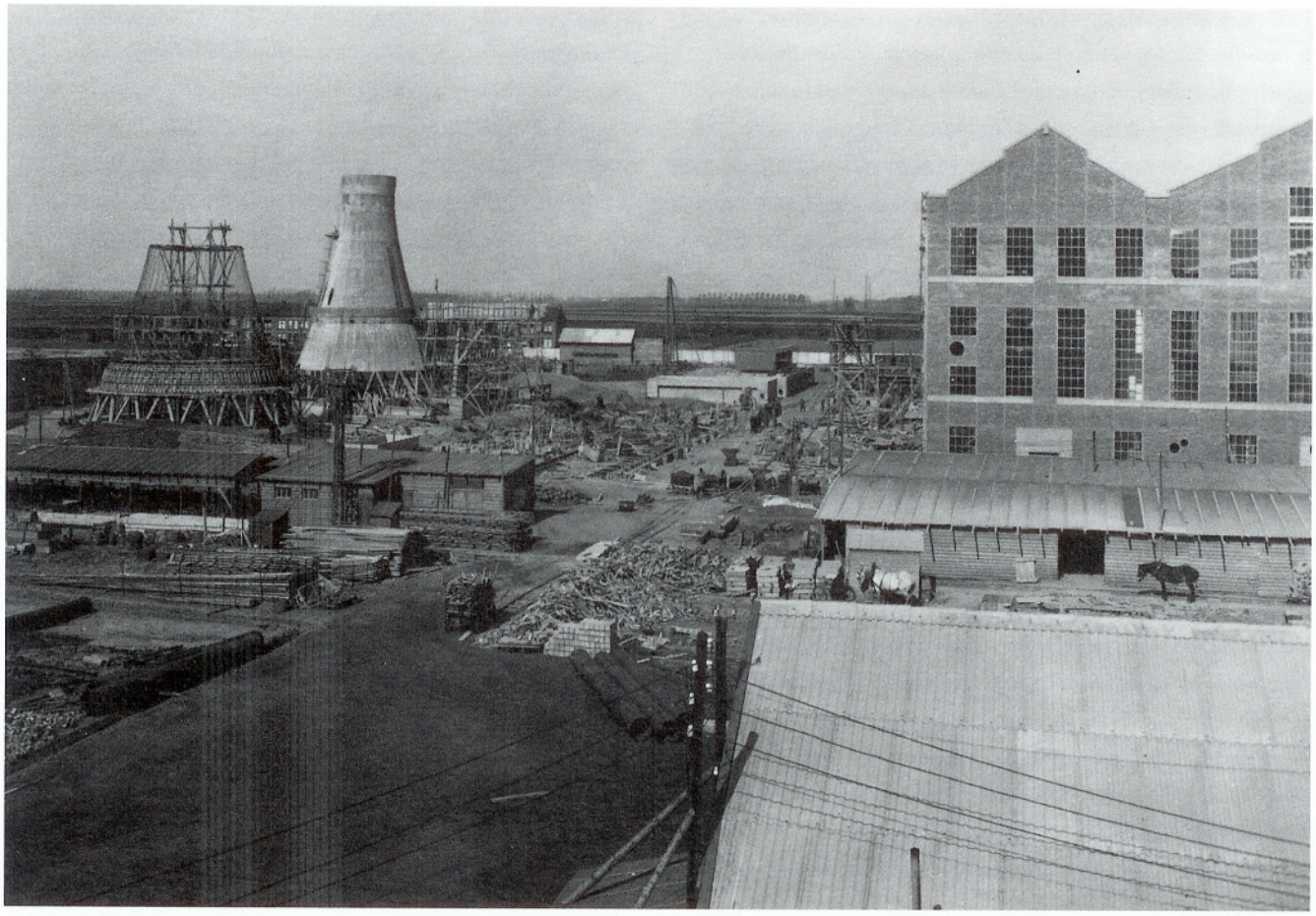
In 1928, in zijn eerste jaarverslag, legde Van Peski een uitvoerig researchprogramma neer. Opnieuw speelde het opstellen van een stoffennetwerk een cruciale strategische rol. Uitgaande van de grondstoffen propaan en butaan schetste Van Peski in detail welke producten daaruit konden worden bereid en welke researchprioriteiten de Groep zou moeten kiezen. Denken vanuit de grondstoffenvoorziening en de te realiseren omzettingsrendementen vormden de centrale elementen van de redenering die aan het programma ten grondslag lag. Het is opmerkelijk hoe consequent de Koninklijke/Shell dat in 1928 geformuleerde programma vervolgens heeft uitgevoerd. Propaan, propeen, butaan en buteen bleven tot de Tweede Wereldoorlog de belangrijkste chemische grondstoffen voor de Groep. Doodlopende straten waren er echter ook. Een hogedrukproces om ureum uit ammoniak en koolzuur te maken, bijvoorbeeld, slaagde in het laboratorium, maar werd nooit op grote schaal in praktijk gebracht. Ook waren de perspectieven van de glycolresearch inmiddels danig afgenomen, omdat dit gebied door CCCC en het Duitse bedrijf Goldschmidt vrijwel geheel door octrooien geblokkeerd was. Van Peski's nieuwe speerpunt werd daarom het veel minder onderzochte aceton, dat via isopropylalcohol zeer goedkoop uit propeen kon worden gemaakt. Omstreeks 1936 zou de Groep deze verbinding, waarnaar veel vraag was vanuit de kunstzijde-industrie, op industriële schaal gaan maken.[71]

Veel perspectief had ook een onderzoek waarin chloor als reactiemiddel fungeerde. Dit onderzoek werd begin 1928 door Weerman opgestart en in nauw overleg met BPM-adviseur prof. Wibaut uitgevoerd. Na de Tweede Wereldoorlog zou de BPM chloor op grote schaal gaan gebruiken bij de bereiding van de kunststof PVC in de fabriek in Pernis. Ook andere producenten gingen er in de jaren dertig toe over steeds vaker chloor in industriële organisch-chemische processen toe te passen in plaats van het voorheen meestal voor dat doel gebruikte sterk geconcentreerde zwavelzuur. Dit hing samen met de overgang van de aromaatchemie naar de alifatische chemie, maar ook met de goedkope beschikbaarheid van chloor, dat op steeds grotere schaal in Europa via elektrolyse werd bereid. In Nederland gebeurde dat bijvoorbeeld vanaf 1931 en 1936 in de elektrolysebedrijven van de Koninklijke Nederlandsche Zoutindustrie (KNZ) in Boekelo en Hengelo en vanaf 1938 in de fabriek van Solvay in Linne-Herten. In de jaren dertig werd zo de

Tabel 5.3: Samenstelling van verschillende in dit hoofdstuk genoemde gassen, in volumeprocenten (1)

Naam gas	waterstof (H_2)	koolmonoxide (CO)	kooldioxide (CO_2)	methaan (CH_4)	etheen (C_2H_4)	hogere koolwaterstoffen	stikstof (N_2)
synthesegas (2)	50-66	<—	33-45 —>	0-10	-	-	-
cokesovengas	56-62	4-7	0-2	24-28	1-3	0-1	4-7
aardgas (3)	0-7	-	0-8	67-99	0-1	1-13	0-8
kraakgas (2)	-	-	-	45-70	10-25	15-25	-

Toelichting: (1) aangegeven is het bereik waarbinnen de volumepercentages zich doorgaans bewegen. Afwijkende percentages kunnen echter voorkomen; (2) de samenstelling van het gas hangt sterk af van de gekozen procesvoering; (3) de samenstelling van aardgas varieert sterk met de bron. Bronnen: [F. Ullmann ed.], *Enzyklopädie der technischen Chemie* (Berlijn en Wenen 1928-1932) 2e druk, dl. 2, 642-643, dl. 10, 365, 369, 401-411; F.K.Th. van Iterson, 'Kunstmest uit gas en lucht', *De Ingenieur* 47 (1932) A428-A430; *A petroleum handbook* (Londen 1933) 115; R. Wizinger, *Kolen, lucht en water* (Deventer 1944) 44-46, 55-56, 94; R.J. Forbes en D.R. O'Beirne, *The technical development of the Royal Dutch/Shell, 1890-1940* (Leiden 1957) 469-472; R.H. Dewalt en H. Swart, *Scheikunde voor de technicus* (Groningen 1963) 2e druk, dl. 2, 130-133.



Fabrieken voor de bereiding van synthetische ammoniak bevonden zich in de jaren dertig vaak aan het front van de technische ontwikkeling. Deze foto van 29 april 1930 toont de in aanbouw zijnde kunstmestfabriek in Sluiskil, met rechts het synthesegebouw en links twee hyperbolische waterwassers. Tijdens de crisisjaren ontwikkelden dr. Auerbach en ir. J. van Waes in Sluiskil een nieuw proces voor de bereiding van ureum, een stof die zowel als kunstmest als voor de bereiding van kunststoffen gebruikt kon worden. Aan het einde van de Tweede Wereldoorlog kwam Van Waes bij Staatsmijnen in dienst. Hij introduceerde daar de ureumtechnologie en legde zo de grondslag voor de sterke positie die Staatsmijnen later op dit terrein zou innemen.

basis gelegd voor een nieuw technisch regime, waarbij chloor een standaardonderdeel werd van de 'gereedschapskist' van de industriële organisch-chemicus. Na de Tweede Wereldoorlog ontplooide dit regime zich, hand in hand met het toenemend gebruik van kunststoffen, pesticiden en tal van andere industriële producten, op uitgebreide schaal. Toen traden, vooral in de landbouw en de afvalverwerking, echter ook de nadelen aan het licht die met dit grootschalige chloorverbruik gepaard gingen.[72]
Het onderzoek van de BPM naar de bereiding van alcoholen uit propeen en buteen leidde al voor de Tweede Wereldoorlog tot industriële toepassingen. Naar deze oplosmiddelen voor lakken bestond een grote vraag vanuit de automobielindustrie, een branche waarmee Shell in Amerika al jaren goede relaties onderhield.
In 1931 bouwde Shell bij de raffinaderij in Martinez in Californië haar eerste petrochemische fabriek, waar sec.-butylalcohol werd gemaakt. Andere oplosmiddelenfabrieken volgden. Het bleef echter vooralsnog een geheel Amerikaanse ontwikkeling, want pas na de Tweede Wereldoorlog bouwde de Koninklijke/Shell de eerste oplosmiddelenfabrieken in Europa.[73]
Deze beperking tot Amerika was niet specifiek voor de Koninklijke. Terwijl tussen 1930 en 1940 in Amerika de petrochemie in hoog tempo tot ontwikkeling kwam, lag in Europa het zwaartepunt nog geheel op de verwerking van steenkoolderivaten. Daarbij ging het nu niet louter meer om de verwerking van koolteerderivaten, maar in toenemende mate om de productie van verbindingen die uit cokesovengas of uit andere bronnen van alifaten en olefinen konden worden gemaakt. Met name etheen en acetyleen vormden de uitgangsstoffen voor talloze organische verbindingen, waaronder geheel nieuwe producten als kunststoffen. De chemie van die verbindingen was niet anders dan die van de hierboven behandelde petrochemische verbindingen, zodat er een intensieve kruisbestuiving tussen beide takken van de chemie tot stand kwam, waarbij soms de Europese, op steenkool gebaseerde chemische industrie het voortouw nam, op andere momenten echter de Amerikaanse petrochemische industrie. Een cruciale voorwaarde voor dat interactieproces vormde de grondstoffenstructuur van beide bedrijfstakken. Aardgassen en kraakgassen verschillen

weliswaar in vele opzichten van cokesovengas, maar er zijn ook verbindingen die in meerdere gassen voorkomen. Hierdoor is het mogelijk – na enige aanpassingen, vooral wat betreft de zuiveringstechniek – processen die in de ene bedrijfstak waren ontwikkeld in een andere context toe te passen (tabel 5.3).

Een duidelijk voorbeeld van een dergelijk interactieproces vormt de oprichting in 1936 van een proeffabriek voor de bereiding van glycol uit etheen bij de Mekog in IJmuiden. Etheen kwam als bijproduct vrij in de Linde-gasscheidingsfabriek voor waterstofproductie, uit cokesovengas. Steenkool was dus de primaire grondstof, terwijl de resultaten van de proeffabriek door de BPM in de petrochemie werden gebruikt.[74]
In dezelfde periode besloot ook Staatsmijnen het in het Stikstofbindingsbedrijf vrijkomende bijproduct etheen tot uitgangspunt te nemen voor een expansie in de richting van de organisch-chemische industrie. Reeds in oktober 1932, toen door crisis en overproductie de kunstmestmarkt er slecht voor stond, wees de chemicus Berkhoff in de notitie 'Stikstofbindingsbedrijf der Staatsmijnen. Enkele economische opmerkingen' op de noodzaak tot productdifferentiatie om de conjunctuurgevoeligheid van het bedrijf te verminderen. Hij legde daarin een researchprogramma neer voor het SBB, waarbij enerzijds een verdere uitbouw en differentiatie binnen de kunstmestsector werd voorgesteld, terwijl er anderzijds uitgaande van etheen en andere bijproducten van de cokesfabrieken voorstellen werden gedaan voor de productie van explosieven, methanol, formaldehyde, kunstharsen (plastics) en glycol. Alle vrijkomende bijproducten dienden zoveel mogelijk omgezet te worden in handelsproducten die geld opbrachten. Een prioriteitstelling ontbrak evenwel. De expansie vond daarom aanvankelijk vooral in de kunstmestsector plaats. Na elkaar werden salpeterzuur, kalkammonsalpeter (KAS) en fosfaatammonsalpeter (FAS) in productie genomen, om enkele van de belangrijkste nieuwe producten te noemen.[75]
In 1935 zette Staatsmijnen echter een eerste stap tot de opbouw van een organisch-chemische industrie. Na lange discussies in de Mijnraad, een adviesorgaan van de verantwoordelijke minister, waar men beducht was voor de belangen van de traditionele producenten, kreeg het bedrijf in december 1935 het groene licht om alcohol en ether uit etheen te gaan maken. De researchafdeling van het SBB onder leiding van Berkhoff had daarvoor een eigen proces ontwikkeld. In 1937 kwam die alcoholfabriek, met een capaciteit van 10.000 liter per dag, in bedrijf. Daarnaast kwam in dezelfde tijd een proces van productdifferentiatie op gang langs de vertrouwde lijnen van de koolteerchemie, waarbij benzeen, tolueen en fenol in nitroproducten als trotyl werden omgezet. Tijdens de Tweede Wereldoorlog pakte men de chemie van de etheenderivaten weer op toen dichloorethaan en de kunstrubber Stamikol in productie werden genomen. Een werkelijk grootschalige expansie op chemisch gebied vond pas na de oorlog plaats (hoofdstuk zeven). De grondslag was niettemin gelegd.[76]

Ernst Homburg, James Small en Piet Vincken

Chemie/hoofdstuk 5

Van carbo- naar petrochemie, 1910-1940

Archieven

Centraal Archief DSM, Heerlen.
Archief Shell, Den Haag.
Cindu International, Archief, Uithoorn.
Rijksarchief in de provincie Limburg (RAL), Archief DSM.
Shell Research and Technology Centre, Amsterdam, Abbott Room.

Noten

1 Met dank aan Arjan van Rooij voor zijn commentaar en voor gegevens over DSM.

2 Joh. de Vries, *Markt als spiegel. Ontwikkeling en problematiek der Nederlandse koolteermarkt en -nijverheid* (inaugurele rede Katholieke Hogeschool Tilburg 1967); Cindu International, Archief, Uithoorn: Joh. de Vries, 'Rapport over de geschiedenis der Chemische Industrie Uithoorn', onuitgegeven manuscript; A.M.C. Lemmens en G.P.J. Verbong, 'Natuurlijke en synthetische kleurstoffenproduktie in Nederland in de negentiende eeuw', *Jaarboek voor de geschiedenis van bedrijf en techniek* 1 (1984) 256-275. Zie ook hoofdstuk 4.

3 A.D. Chandler jr., *Scale and scope. The dynamics of industrial capitalism* (Cambridge, Mass. en Londen 1994) 3e druk, 21-31, 474-486, 506-512.

4 We concentreren ons hier op de destilleerderijen die grondstoffen voor tussenproducten konden leveren. Daarvan waren er maar drie. Zie: *De fabrieken en werkplaatsen vallende onder Veiligheidswet. Samengesteld uit het Centrale Kaartregister der Arbeidsinspectie in 1912* ('s-Gravenhage 1912); De Vries, *Markt als spiegel*; Joh. de Vries, *Hoogovens IJmuiden, 1918-1968. Ontstaan en groei van een basisindustrie* (IJmuiden 1968); R. de Broeck en S. Polet, *A.C.Z.C.: Association Coopérative Zélandaise de Carbonisation G.A., Sluiskil, 1911-1961* (Wormerveer 1961); *Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek bij gelegenheid van het vijftigjarig bestaan* (Heerlen 1952); Centraal Archief DSM, Heerlen: H.J. Merx, *Chronologisch overzicht van de geschiedenis van de cokesfabrieken en het gasdistributiebedrijf, 1912-1952* (typoscript, Heerlen 1955); J.W. van den Broek, *Thuis bij Cindu. Een woordenboek van ons bedrijf* (Uithoorn 1980); A. Kraaij, *75 jaar Cindu bedrijven. Een terugblik onder de gedachte 'Van sloper tot bouwer'* (z.p. 1997); G. Goettsch, *Koolteerproducten: ontstaan, verwerking, toepassingen* (Amsterdam 1950).

5 W.C. de Leeuw, 'Petroleum' in D.A. Zoethout ed., *De schatten der aarde: hoe ze worden gewonnen, bewerkt en gebruikt* (Amsterdam 1919) dl. 2, 154-186, aldaar 184-186.

6 P.H. Spitz, *Petrochemicals: the rise of an industry* (New York etc. 1988) 514-515.

7 A.S. Travis, 'High pressure industrial chemistry: the first steps, 1909-1913, and the impact' in A.S. Travis e.a. eds., *Determinants in the evolution of the European chemical industry, 1900-1939: new technologies, political frameworks, markets and companies* (Dordrecht, Boston en Londen 1998) 3-21.

8 *Van Rotterdam Charlois naar Rotterdam Pernis, 1902-1977* (Rotterdam 1977) (= jubileumuitgave van *Onder de vlam* 21 (16 september 1977)) 2, 17, 23; C. Gerretson, *Geschiedenis der 'Koninklijke'* (Utrecht 1939-1942) 2e druk, dl. 2, 261-278, 286-297, 331, dl. 3, 347; R.J. Forbes en D.R. O'Beirne, *The technical development of the Royal Dutch/Shell, 1890-1940* (Leiden 1957) 37, 305; S. Hoogewerff, 'Een en ander in verband met petroleum', *18e Jaarverslag 1908-1909 van het Technologisch Gezelschap te Delft* (Delft 1909) 15-43. Archief Shell, Den Haag: inv.nr. 3, no.'s 36-40, brieven 23 okt. 1902 t/m 4 nov. 1910, inv.nr. 5, Loudon aan Waley Cohen 1 maart 1907, inv.nr. 190C, brief Bastet aan Gerretson 17 dec. 1951.

9 *Koninklijke Nederlandsche Maatschappij tot Exploitatie van Petroleumbronnen in Nederlandsch-Indië. Verslag over 1902* (Den Haag 1903) 10; H. Flieger, *Unter der gelben Muschel. Die Geschichte der Deutschen Shell* (Düsseldorf 1961) 52-93; jubileumnummer *Shell Spiegel* 3 (4) (okt. 1952) 1-16; Gerretson, *Geschiedenis*, dl. 2, 296, 334; H. Gabriëls, *Koninklijke Olie: de eerste honderd jaar, 1890-1990* ('s-Gravenhage 1990) 43; Hoogewerff, 'Een en ander'; *Chemisch Weekblad* (verder *CW*) 6 (1909) 916-917. Archief Shell: inv.nr. 3, no.'s 33, 40, 194, 200-202, 213-214, 365, brieven 1906-1908 en Knoops, plannen en begroting van de nitreerfabriek Reisholz, ongedateerd (juli-sept. 1908); inv.nr. 5, Loudon aan Waley Cohen, 1 mrt. en 16 mei 1907, Loudon aan Rudeloff, 13, 18 en 22 apr. 1907; Loudon aan Späth, 30 apr. en 3 mei 1907; bespreking Loudon, Rudeloff en Späth te Den Haag, 14 nov. 1907.

10 *Van Charlois naar Pernis*, 17, 24, 31; P.G.A. Smith, *The 'Shell' that hit Germany hardest* (Londen z.j.); R. Henriques, *Marcus Samuel. First viscount of Bearsted and founder of The 'Shell' Transport and Trading Company, 1853-1927* (Londen 1960) 597-601; R. Henriques, *Sir Robert Waley Cohen, 1877-1952: a biography* (Londen 1966) 201-205; C. Gerretson, *Geschiedenis der 'Koninklijke'* (Baarn 1971-1973) 3e druk, dl. 4, 92-93; Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 455; Gabriëls, *Koninklijke Olie*, 61; P. Hendrix, *Henri Deterding. De Koninklijke, de Shell en de Rothschilds* (Den Haag 1996) 171-172, 271. Archief Shell, inv.nr. 3, no. 40, brieven 1915; inv.nr. 190C, 416-417, brieven 1915 en brief Bastet aan Gerretson, 17 dec. 1951.

11 Gerretson, *Geschiedenis*, 3e druk, dl. 4, 87-88, 93-94. Archief Shell, inv.nr. 5, no.'s 266-272, brieven 1916-1918; inv.nr. 190B, no. 39A, stukken 1915-1919; inv.nr. 190C, no.'s 60, 416-417; Diversen, Chemische Fabriek Hembrug (Nijman-serie 4, doos 803). Shell Research and Technology Centre, Amsterdam, Abbott Room: J. Duinmaijer en C. Groeneveld, *Geschiedenis van het Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam (v/h Laboratorium der N.V. De Bataafsche Petroleum Maatschappij)* (typoscript, Amsterdam 1957), met bijlagen en excerpten van technische rapporten.

12 R.M. MacLeod, 'The "Arsenal" in the Strand: Australian chemists and the British munition effort', *Annals of Science* 46 (1989) 45-67, aldaar 57-59. Archief Shell: inv.nr. 3, no. 83A, brieven aan Colijn 1915-1916; inv.nr. 5, no.'s 334-335, correspondentie Deterding, 1914-1917. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, rapporten J. ter Horst, 1915.

13 Archief Shell: inv.nr. 3, no. 83A. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, Waley Cohen aan Colijn, 31 jan. en 30 mei 1916. M.R. Fox, *Dye-makers of Great Britain 1856-1976: A history of chemists, companies, products and changes* (Manchester 1987) 85-86; R.M. MacLeod, 'Chemistry for King and Kaiser: revisiting chemical enterprise and the European war' in A.S. Travis e.a. eds., *Determinants*, 25-49, aldaar 35-38; 'De strijd tegen de Duitsche kleurstof-nijverheid', *Holdert's Polytechnische Weekblad* 9 (1915) 138-140.

14 Archief Shell: inv.nr. 3, no. 83A; inv.nr. 8, no. 1800. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, correspondentie en rapporten, 1916-1917. Henriques, *Sir Robert Waley Cohen*, 247-248; Fox, *Dyemakers*, 127-128.

15 Archief Shell: inv.nr. 3, no. 83A; inv.nr. 8, no. 1800. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, correspondentie en rapporten, 1916-1917.

16 Archief Shell: inv.nr. 3, no.'s 204-205, correspondentie BPM-lab Amsterdam. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, correspondentie en rapporten, 1917-1918. W.C. de Leeuw ed., *Kleurstoffen uit petroleum. Algemeene beschouwingen over de industrie der synthetische kleurstoffen. Rapport in opdracht van de directie der Bataafsche Petroleum-Maatschappij* (Amsterdam 1918) (aanwezig in Archief Shell, Den Haag en bij Shell Research, Amsterdam). Later was De Leeuw actief in de theosofische beweging. Interview met dr. A.M. ter Horst, Vierhouten, 3 juli 1999.

17 De Leeuw, *Kleurstoffen*, 2, 247-252.

18 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1596, Van Dorp aan directie BPM, 19 juli 1917, De Kok aan directie Chemische Fabriek 'Naarden', 23 juli 1917.

19 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1800, Deterding aan Colijn, 5 maart 1918, Waley Cohen aan Colijn, 2 dec. 1918 en 30 jan. 1919, De Leeuw aan BPM Den Haag, 18 dec. 1918 en 24 feb. 1919. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*.

20 MacLeod, 'Chemistry for King and Kaiser'; G. Plumpe, *Die I.G. Farbenindustrie AG: Wirtschaft, Technik und Politik 1904-1945* (Berlijn 1990); L.F. Haber, *The chemical industry, 1900-1930. International growth and technological change* (Oxford 1971) 84-85; Kr. Birkeland en S. Eyde, 'Noorsche salpeterindustrie', *Chemisch Weekblad* 3 (1906) 253-266; J.H. Aberson, 'De oplossing van het stikstofvraagstuk voor

den landbouw en de industrie', *Chemisch Weekblad* 3 (1906) 471-490; J.C. de Ruijter de Wildt, *De hedendaagsche en toekomstige stikstofbronnen voor onze cultuurgewassen* (Deventer z.j.) (= *Wetenschappelijke bijdragen* dl. 3, 75-129); A. Steger, *De toekomst der chemische industrie in Nederland. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het hoogleraarsambt aan de Technische Hoogeschool te Delft den 4den juni 1912* (Amsterdam 1912); B. Wigersma, 'De toekomst der chemische industrie in Nederland', *CW* 9 (1912) 810-821, m.n. 819-820.

21 Haber, *The chemical industry*, 84-90; B. Waeser, *Die Luftstickstoff-Industrie, mit Berücksichtigung der chilenischen Industrie und des Kokereistickstoffs* (Leipzig 1932) 2e druk, 312-359; W.L. Brocades Zaalberg, 'De ammoniak-synthese en de daarmede samenhangende vraagstukken', *Technisch Tijdschrift* 2 (1915) 255-262; 'Stikstofproductie uit de lucht', *Holdert's Polytechnisch Weekblad* 9 (1915) 182; A. Heldring, 'Bronnen van stikstofverbindingen in oorlog en vrede', *Tijdschrift voor nijverheid* 84 (1916) 215-216; F.M. Jaeger, *De stikstof-nood en de middelen tot zijn bestrijding. Naar eenige voordrachten, op verzoek van het bestuur der Vereeniging voor Hooger Landbouw-Onderwijs te Groningen in de maanden november en december 1917 voor landbouwers gehouden* (Groningen z.j.); A. Steger, 'Het stikstofvraagstuk' in J. Verbiest ed., *Sociaal-economische geschriften* ('s-Hertogenbosch 1919) 75-82.

22 H. Brugmans ed., *Nederland in den oorlogstijd* (Amsterdam 1920) 316; *25 jaar Stikstofbindingsindustrie 'Nederland' N.V.: 1918-1943 Dordrecht-Nederland* (Dordrecht 1946); Waeser, *Die Luftstickstoff-Industrie*, 343, 344; W.L. Scheen, 'De N.V. Stikstofbindingsindustrie "Nederland"', *Kwartaal & Tekcn* 5 (3) (1979) 1-4.

23 Over het Haber-Bosch-proces zie bijv.: F. Haber, 'The synthesis of ammonia from its elements', *Nobel Lectures in Chemistry, 1901-1921* (New York 1966) 327-340; Haber, *The chemical industry*, 90-97; Travis, 'High pressure industrial chemistry'; D. Stoltzenberg, *Fritz Haber: Chemiker, Nobelpreisträger, Deutscher, Jude. Eine Biographie* (Weinheim, New York, etc. 1994); M. Szöllösi-Janze, *Fritz Haber, 1868-1934. Eine Biographie* (München 1998).

24 Centraal Archief DSM: H.J. Merx, *Chronologisch overzicht van de geschiedenis van het Stikstofbindingsbedrijf, 1925-1952* (typoscript, Heerlen april 1955) 2. J. Laugs, *Stikstof van de Staatsmijnen, 1930-1940* (ongepubliceerde doctoraalscriptie Geschiedenis K.U. Nijmegen 1988) 13-16; *Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek*, 86, 215, 259, 287.

25 De ammoniumsulfaatproductie is berekend op basis van de aanname dat de omvang van die productie 1,5% van de cokesproductie bedroeg. Voor cijfers van de cokesproductie, zie Centraal Archief DSM: Merx, *Cokesfabrieken*, 110.

26 Rijksarchief in de provincie Limburg (RAL), Archief DSM, 17.26/03A, inv. 2473, hierin o.a. Rapport no. 156, 'Fabriek van synthetische ammoniak, redenen om deze op te richten', ca. december 1927.

27 *Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek*; Centraal Archief DSM: Merx, *Cokesfabrieken*, 21-22, 25-29; [F. Ullmann ed.], *Enzyklopädie der technischen Chemie* (Berlijn en Wenen 1928-1932) 2e druk, dl. 1, 414-415, dl. 9, 718; Waeser, *Die Luftstickstoffen-industrie*, 178-186; Haber, *The chemical industry*, 96.

28 F.K.Th. van Iterson, 'Kunstmest uit gas en lucht', *De Ingenieur* 47 (1932) A427-A439, aldaar A428, A430; Ullmann ed., *Enzyklopädie*, dl. 1, 381, dl. 10, 406; Waeser, *Die Luftstickstoff-Industrie*, 42-67; Travis, 'High pressure industrial chemistry', 12-21; R. Petri, 'Technical change in the Italian chemical industry: markets, firms and state intervention' in A.S. Travis e.a. eds., *Determinants*, 275-300, aldaar 277, 295.

29 Centraal Archief DSM: Merx, *Stikstofbindingsbedrijf*, 1-9; Laugs, *Stikstof*, 1-21; P.F.G. Vincken, *Van Staatsmijnen in Limburg tot DSM: de organische dynamiek van een bedrijf* (typoscript, Brunssum 1999) 28-29, 33-35; *Algemeen Handelsblad* van 19 april en 26 mei 1928.

30 *Het Vaderland* van 1 mei en 11 juli 1928; *Algemeen Handelsblad* van 26 mei en 21 juni 1928.

31 Centraal Archief DSM: Merx, *Stikstofbindingsbedrijf*, 3; Laugs, *Stikstof*, 4-8, 14-16, 18-19; Vincken, *Van Staatsmijnen in Limburg tot DSM*, 34-35; *Algemeen Handelsblad*, 19 april 1928; *De Telegraaf*, 28 juni 1928; Van Iterson, 'Kunstmest', A437; F.K.Th. van Iterson, 'Hoe haalt men koopwaar uit de lucht' in *Heerlen als mijn- en industriestad* (Heerlen 1933) 90-91.

32 Laugs, *Stikstof*, 20-21; *Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek*, 296; De Vries, *Hoogovens*, 327-328; P. Puype en G. Beauchez eds., *Van kiem tot korrel. Nederlandsche Stikstof Maatschappij N.V., 1929-1979* (z.p. 1979) 108-109; *Het Stikstofbindingsbedrijf der Staatsmijnen in Limburg en zijn product* (Heerlen 1930); *Het Stikstofbindingsbedrijf der Staatsmijnen in Limburg. Nederlandsche stikstofmeststoffen voor iederen grond en ieder gewas* (Heerlen 1932).

33 Puype en Beauchez eds., *Van kiem tot korrel*, 74-76; *Nieuwe Rotterdamsche Courant*, 28 december 1928; Laugs, *Stikstof*, 19.

34 De Broeck en Polet, *A.C.Z.C.*, 6-7, 18; Puype en Beauchez eds., *Van kiem tot korrel*, 73-88, 108-113; *Algemeen Handelsblad*, 27 mei 1929; *De Telegraaf*, 5 april 1930; *Oranje-Nassau Post. Sluitingsnummer* (Heerlen z.j.) 17-18; C.E.P.M. Raedts, *De opkomst, de ontwikkeling en de neergang van de steenkolenmijnbouw in Limburg* (Assen 1974) 145. Archief Shell, inv.nr. 49, no. 713A, brief E.L. Masthoff aan J.B.A. Kessler, 28 april 1930.

35 E. Verviers, *Economisch aspect der vloeibare brandstoffen: petroleum, kolendestillatie, kolentransformatie* (Oisterwijk 1927); W. Friedmann, *Die Verflüssigung der Kohle nach Bergius. Eine technologische, wirtschaftschemische Studie* (Berlijn c1928); J. Romein, *Grondstoffen en politiek (Katoen – Petroleum – Rubber – Staal)* (Amsterdam 1933); J. Romein, *Machten van deze tijd. Overzicht van de voornaamste problemen der hedendaagse internationale politiek 1936-1937* (Amsterdam 1938) 19-26; F. Bergius, 'An historical account of hydrogenation', *Applied Science* 2 (1934) 282-289; A. Zischka, *La guerre secrète pour le pétrole* (Parijs 1934); A. Zischka, *Wissenschaft bricht Monopole* (Leipzig, Bern en Wenen 1936); E. von Schmidt-Pauli, *Friedrich Bergius. Ein deutscher Erfinder kämpft gegen die englische Blockade* (Berlijn 1943); W. Greiling, *Chemie verovert de wereld* (Amsterdam c1944). Voor meer recent werk over Bergius, zie: H. Beck, *Friedrich Bergius, ein Erfinderschicksal* (München en Düsseldorf 1982); *Friedrich Bergius und die Kohleverflüssigung. Stationen einer Entwicklung* (Bochum 1985); A.N. Stranges, 'Friedrich Bergius and the rise of the German synthetic fuel industry', *Isis* 75 (1984) 643-667; A.N. Stranges, 'The conversion of coal to petroleum: its German roots', *Fuel Processing Technology* 16 (1987) 205-225.

36 Het Bergius-proces was dus een 'non-human actor' in de zin van Bruno Latour en Michel Callon. Vgl. M. Callon, 'Some elements of a sociology of translation: Domestication of the scallops and the fishermen of St. Brieuc Bay' in J. Law ed., *Power, action, and belief: A new sociology of knowledge?* (Londen 1986) 196-233.

37 Archief Shell, inv.nr. 49, no. 152. Shell Research, Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, noemt rapport W.C. de Leeuw, *Mogelijke verhoging van het benzine-rendement uit diverse ruwe oliën*, rapport 23 febr. 1920. Flieger, *Unter der gelben Muschel*, 101, 123; Hendrix, *Henri Deterding*, 264.

38 Archief Shell, inv.nr. 8, no. 1627; inv.nr. 49, no. 152. Vgl. Stranges, 'Friedrich Bergius', 663.

39 Archief Shell, inv.nr. 3, no.'s 206 en 291; inv.nr. 49, no.'s 180, 190 en 542, o.a. H.I. Waterman en J.N.J. Perquin, 'Het hydreren van minerale oliën of hiermee verwante producten volgens Bergius', intern rapport, Delft 1922, gepubliceerd als: H.I. Waterman en J.N.J. Perquin, 'L'hydrogénation des huiles minérales ou des produits voisins suivant le procédé Bergius', *Chimie et Industrie* (mei 1923) 200-207. Shell Research, Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, rapporten W.C. de Leeuw, 23 febr. en 3 okt. 1920. Voor de geschiedenis van kraakprocessen, zie: J.L. Enos, *Petroleum, progress and profits: a history of process innovation* (Cambridge, Mass. 1962); Forbes en O'Beirne, *Technical development*,

325, 330, 332, 339, 342-345, 399; K. Beaton, *Enterprise in oil. A history of Shell in the United States* (New York 1957) 244; Chr. Freeman en L. Soete, *The economics of industrial innovation* (Cambridge, Mass. 1997) 3e druk, 93-94; [J.H. Schweppe ed.], *Research aan het IJ. LBPMA 1914 – KSLA 1989: De geschiedenis van het 'Lab Amsterdam'* (Amsterdam 1989).

40 Archief Shell, inv.nr. 49, no. 542, De Kok aan Weerman, 26 feb. 1921; inv.nr. 190C, no. 145, 'The Royal Dutch Company and Hydrogenation', *The Petroleum Times*, July 6, 1929, 37; idem, *The Oil and Gas Journal* 11 juli 1929.

41 Archief Shell, inv.nr. 3, no. 205, brieven Weerman 1916; inv.nr. 49, no. 542. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*. Schweppe ed., *Research aan het IJ*, 29.

42 Archief Shell: inv.nr. 8, no.'s 1626-1627; inv.nr. 49, no.'s 152 en 542, o.a. De Kok aan Weerman, 26 februari 1921, Wurfbain aan Weerman, 13 juni 1921, 'Redenen, welke geleid hebben tot het overwegen van een nieuw contract met Evag' (ca. september 1921).

43 Archief Shell: inv.nr. 49, no.'s 190 en 542, *Begründung für die Anforderung der Beträge zur Errichtung einer neuen Bergin-Versuchsanlage in Rheinau*, Rapport 2036, 5 dec. 1921.

44 Archief Shell: inv.nr. 49, no.'s 190 en 542, 5 dec. 1921. Vgl. A.N. Stranges, 'From Birmingham to Billingham: high-pressure coal hydrogenation in Great Britain', *Technology and Culture* 26 (1985) 726-757, aldaar 729-731; *The Chemical Age* (25 juni 1927) 600.

45 Archief Shell: inv.nr. 8, no.'s 1626-1627; inv.nr. 49, no. 542, o.a. brief Weerman aan BPM, 12 aug. 1923, brief Aug. Philips aan Deterding, 8 febr. 1924. Vgl. Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 348, 473.

46 Archief Shell: inv.nr. 8, no.'s 1188, 1626-1627, het citaat is uit brief Aug. Philips aan De Kok, 6 febr. 1924; inv.nr. 49, no. 152, 153 en 190, brieven december 1923 t/m juni 1924. Zie ook 'Het Bergin-proces. Een historisch overzicht', *Algemeen Handelsblad*, 30 sept. 1926, en *NRC* 2 oktober 1926; 'Zur Geschichte des Bergin-Verfahrens', *Erdöl und Teer* 40 (1926) 630-632.

47 Stranges, 'From Birmingham to Billingham', 739-740, 747; Stranges, 'Friedrich Bergius', 664-665; Spitz, *Petrochemicals*, 218-220; K. Gordon, 'The development of coal hydrogenation by Imperial Chemical Industries, Ltd.', *Journal of the Institute of Fuel* 9 (1935) 69-89, aldaar 72, 85; *Maasbode*, 2 aug. 1926; *The Chemical Age* (7 aug. 1926) 150; Haber, *The chemical industry*, 296. Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1626; inv.nr. 49, no. 152, brieven 16/10/25, 16/2/1926, 13/8/26 en 17/8/26, Memorandum Waley Cohen, 10 sept. 1926, Memorandum for Sir Henri, 29 sept. 1926.

48 Archief Shell: inv.nr. 49, no. 180, Kessler aan De Kok, 25 aug. 1927. Voorts Th.P. Hughes, 'Technological momentum in history: hydrogenation in Germany, 1898-1933', *Past and Present* 44 (1969) 106-132, aldaar 110-119; A. Krammer, 'Fueling the Third Reich', *Technology and Culture* 19 (1978) 394-422, aldaar 396; W. Witschakowski, *Hochdrucktechnik* (Ludwigshafen 1974) 15-19; E. Mach, *Entwerfen und Bauen* (Ludwigshafen 1975) 84-85; A. von Nagel, *Methanol, Treibstoffe. Hochdrucksynthesen der BASF* (Ludwigshafen 1970) 38-47; W. Teltschik, *Geschichte der deutschen Großchemie. Entwicklung und Einfluß in Staat und Gesellschaft* (Weinheim, New York, etc. 1992) 90, 92; R.G. Stokes, 'The oil industry in Nazi Germany, 1936-1945', *Business History Review* 59 (1985) 254-277, aldaar 266.

49 Von Nagel, *Methanol*, 38-47, 54-57; Mach, *Entwerfen*, 85-89; Witschakowski, *Hochdrucktechnik*, 18-20; Hughes, 'Technological momentum', 114-119; Teltschik, *Deutschen Großchemie*, 90-92; Stranges, 'From Birmingham to Billingham', 736; J. Borkin, *Die unheilige Allianz der I.G. Farben. Eine Interessengemeinschaft im Dritten Reich* (Frankfurt a/M 1986) 51; Gordon, 'Development', 71; Flieger, *Unter der gelben Muschel*, 127; Spitz, *Petrochemicals*, 35-36; *De Telegraaf*, 11 sept. 1926.

50 Archief Shell: inv.nr. 8, no.'s 1626-1627; inv.nr. 49, no. 152, o.a. notulen Raad van Bestuur, 16 oktober 1925. Vgl. brief Kessler aan De Kok, 13 aug. 1926 en De Kok aan Kessler, 17 aug. 1926.

51 *Koninklijke Nederlandsche Maatschappij tot Exploitatie van Petroleumbronnen in Nederlandsch-Indië. Verslag over 1925* (Den Haag 1926) 13-14. Vgl. ook *De Telegraaf*, 26 aug. 1926; D.H. Wester, *Mensch – Scheikunde – Samenleving* (Den Haag 1948) 2e druk, 365-366.

52 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1626, brief De Kok aan Deterding, 3 mei 1926; vgl. ook idem, notulen Raad van Bestuur BPM, 7 mei 1926, brief Nitropan aan BPM, 10 mei 1926; en inv.nr. 49, no.'s 152 en 542, brief Bergius aan De Kok, 26 febr. 1926. Hendrix, *Henri Deterding*, 264.

53 Archief Shell: inv.nr. 49, no. 152, 'Memorandum voor den heer De Kok betreffende I.B.C. zaken ter bespreking met Sir Henry', d.d. 6 september 1926, Robert Waley Cohen, 'Memorandum', 10 sept. 1926.

54 Von Nagel, *Methanol*, 47-49; Hughes, 'Technological momentum', 119; Borkin, *Die unheilige Allianz*, 50-51; D. Yergin, *The prize. The epic quest for oil, money, and power* (New York etc. 1993) 330-331; Teltschik, *Deutschen Großchemie*, 90-91; Hendrix, *Henri Deterding*, 264. Bron: F.A. Howard, *Buna Rubber: the birth of an industry* (New York 1947) 13-17.

55 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1163, correspondentie Ministerie Buitenlandse Zaken 3 mei 1926 t/m 3 mei 1927, no. 1166, knipseldossier, m.n. *De Maasbode*, juli 1926 – aug. 1927; *Algemeen Handelsblad*, juli 1926 – mei 1929; *Nieuwe Rotterdamsche Courant*, dec. 1926 – nov. 1929; *De Telegraaf*, juli 1926 – juni 1929; inv.nr. 49, no. 32, contract SOC-IG 9 nov. 1929, no. 150, notitie R. Tillmann, 13 juni 1931. Voorts 'A 5000 barrel hydrogenation plant', *The Lamp* (juni 1929) 4-5; Von Nagel, *Methanol*, 50-52; Teltschik, *Deutschen Großchemie*, 93; Borkin, *Die unheilige Allianz*, 53-54; Yergin, *The prize*, 331; Hendrix, *Henri Deterding*, 265; Freeman en Soete, *Economics*, 96; Hughes, 'Technological momentum', 122; Haber, *The chemical industry*, 296.

56 Archief Shell: inv.nr. 8, no.'s 1626-1627; inv.nr. 49, no. 152, brieven 16 febr. t/m 27 april 1926, Memorandum for Sir Henri, 29 sept. 1926.

57 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1163, 1166; inv.nr. 49, no. 152-153. Citaat uit column 'Voortbreng-koorts', *De Telegraaf*, 8 aug. 1926 (in no. 1166). Voor de IG-ICI-onderhandelingen zie Haber, *The chemical industry*, 296; D.A. Hounshell en J.K. Smith jr., *Science and corporate strategy: Du Pont R&D, 1902-1980* (Cambridge 1988) 191-192; Chandler jr., *Scale and scope*, 360; Greiling, *Chemie verovert*, 276-277.

58 Archief Shell: inv.nr. 8, no.'s 1188, 1626-1627; inv.nr. 49, no. 152, citaat uit Knoops, 'Memorandum for Mr. De Kok', 28 sept. 1926 (in 1626), voorts brieven en memoranda van Waley Cohen, De Kok, Knoops, De Kempenaar en Kessler, sept. 1926 – juli 1927.

59 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1626; inv.nr. 49, no.'s 152 en 180, o.a. G.J.L. Caviët, 'Memo betreffende de in Den Haag gehouden besprekingen met betrekking tot de uitbreiding, welke aan Research Work in onze groep gegeven zal worden', 5 april 1927; 190B, no. 156, 'The Story of Shell Chemical' (5 sept. 1947), second draft, 2. Voorts Beaton, *Enterprise*, 502-503, 506-507, 513-514, 516-517; Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 455-456, 460, 463-464, 479; Hendrix, *Henri Deterding*, 265; Gabriëls, *Koninklijke Olie*, 102-103; *N.V. Koninklijke Nederlandsche Petroleum Maatschappij. 1890 – 16 juni – 1950. Gedenkboek uitgegeven ter gelegenheid van het zestigjarig bestaan* ('s-Gravenhage 1950) 108, 113; Schweppe ed., *Research aan het IJ*, 49-50; Spitz, *Petrochemicals*, 82-83; *De Telegraaf*, 24 april 1927.

60 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1627, 'Memorandum. re the rights of the I.G. in regard to the hydrating of coal and oil under high pressure and without catalyst', ca. 4 mei 1927; inv.nr. 49, no. 180, o.a. brieven en notities van Leigh-Jones, Bastet, Pijzel, Caviët, Knoops, Gallagher, aug. 1927 – febr. 1929. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, interviews Slotboom en Vlugter. J.N.J. Perquin, 'Waterman en de petroleumindustrie: Hogedruktechniek en destructief hydrogeneren', in *De Oogst. Een overzicht van het wetenschappelijk werk van Prof. dr. ir. H.I. Waterman* (Delft 1959) 35-44; J.N.J. Perquin, *Bijdrage tot de kennis van het Bergiusproces* (dissertatie Delft 1929); Spitz, *Petrochemicals*, 83-84; Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 464-467, 472; Henriques, *Sir Robert Waley Cohen*,

289-290; Beaton, *Enterprise*, 516-517; Haber, *The chemical industry*, 373; Gabriëls, *Koninklijke Olie*, 102-103; Schweppe ed., *Research aan het IJ*, 48-51, 59-64.

61 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1626, brief Kessler aan Rudeloff, 1 september, met bijlagen; inv.nr. 49, no. 180, De Kok aan Kessler, 24 aug. 1927; inv.nr. 190B, no. 156; inv.nr. 190C, no. 147. Voorts J.B.A. Kessler, 'Herinneringen', *Olie* 10 (1957) 162-163; De Vries, *Hoogovens*, 320-321; Gabriëls, *Koninklijke Olie*, 102-103; Schweppe ed., *Research aan het IJ*, 49-50; Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 464.

62 Archief Shell: inv.nr. 49, no. 180, Kessler aan De Kok, 25 augustus 1926. Zie ook Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 456-457; Gabriëls, *Koninklijke Olie*, 102.

63 Archief Shell: inv.nr. 8, no. 1682, correspondentie G.A. Kessler, De Kok, Ingen Housz, Knoops, Gaveg, J.B.A. Kessler, Hoogovens, Linde, Loudon, dec. 1927 – juni 1928; contract tussen BPM en Hoogovens betreffende 'Oprichting eener N.V. in verband met de toepassing van het z.g. "Mont Cenis Proces", 24-28 sept. 1928; inv.nr. 49, no. 722; inv.-nr. 104, CI-rapport no. 187, Rapport over bezoek van Kessler en Ingen Housz (Hoogovens) en Pijzel (BPM) aan de Zeche Mont Cenis te Sodingen, 13 sept. 1927; inv.nr. 190B, no. 156, 'The Story of Shell Chemical', 11-13. W.L.Z. van der Vegte, 'De Mekog', *De Bron. Orgaan voor het personeel der verbonden petroleum maatschappijen* 17 (1934) 98-100, 124-125; Forbes en O'Beirne, *Technical development*; *KNPM. Gedenkboek*; Gabriëls, *Koninklijke Olie*, 102-103; De Vries, *Hoogovens*, 320-328; Spitz, *Petrochemicals*, 84.

64 Archief Shell: inv.nr. 49, 180, brieven Pijzel, Knoops, Gallagher, J.B.A. Kessler, apr. 1928 – febr. 1929, telegram De Bruyn aan BPM, 12 mei 1931; inv.nr. 190B, no. 156, 'The Story of Shell Chemical', 14-26. *KNPM. Gedenkboek*, 113-114; Spitz, *Petrochemicals*, 82, 84-85; L. Rosenstein, 'Why Shell built its Ammonia Plant in California', *Chemical & Metallurgical Engineering* 38 (nov. 1931).

65 J.C. Vlugter, 'Eigenlijk geen scheikundige gebleven: chemisch technoloog' in *Werken aan scheikunde: 24 memoires van hen die de Nederlandse chemie deze eeuw groot hebben gemaakt* (Delft 1993) 65-87, aldaar 71; Schweppe ed., *Research aan het IJ*, 64.

66 Archief Shell: inv.nr. 49, no. 150, inv.nr. 190C, no. 147, Deterding aan De Kok, 18 okt. 1929; 'Outline of proposal for the licensing of the hydrogenation process in the United States', 18 febr. 1930, en latere stukken in die dossiers. Voorts 'Hydrogenation Development. Standard-I.G. Company organized to take over patents of I.G. Farbenindustrie and Standard Oil Company (N.J.) on new process', *The Lamp* (dec. 1929) 8-9; Yergin, *The prize*, 260-265, 331, 822; Chandler jr., *Scale and scope*, 302-303; Hendrix, *Henri Deterding*, 265; Gabriëls, *Koninklijke Olie*, 102-103; Krammer, 'Fueling', 400; Von Nagel, *Methanol*, 50-52; Teltschik, *Deutschen Großchemie*, 93; Hughes, 'Technological momentum', 122; Stranges, 'From Birmingham to Billingham', 750; Borkin, *Die unheilige Allianz*, 54.

67 Archief Shell: inv.nr. 49, no.'s 1-2, 150, 169, 180; DHS/2 dossier, MF 25.23, Circulaires nrs. 380 en 387; *Koninklijke Nederlandsche Maatschappij tot Exploitatie van Petroleumbronnen in Nederlandsch-Indië. Verslag over 1929* (Den Haag 1930) 15; *idem over 1930* (Den Haag 1931) 27; 'Notes of interest about oil', *Oil News* (10 apr. 1931) 339; 'Hydrogenation Combine', *Oil News* (10 apr. 1931) 342; 'Die Weltorganisation der Hydrierung', *Allgemeine österreichische Chemiker- und Techniker-Zeitung* 15 (apr. 1931) 2-4; Gordon, 'Development', 72-74; Stranges, 'From Birmingham to Billingham', 750-751; Von Nagel, *Methanol*, 51; Chandler jr., *Scale and scope*, 363, 583; Teltschik, *Deutschen Großchemie*, 94; Vlugter, 'Eigenlijk geen scheikundige', 73. Vgl. B. Cornils, 'Die Fischer-Tropsch-Synthese von 1936 bis 1945: Triebstoffsynthese oder Basisreaktion für Chemierohstoffe?', *Technikgeschichte* 64 (1997) 205-230.

68 RAL, Archief DSM, 17.26/36A, inv. 9, verslag van bezoek Ross van Lennep aan De Kok en Jacobson (BPM) en aan H.K. Nieuwenhuis (IHECC), 21 nov. 1935; [Imperial Chemical Industries Ltd.], *Official opening by the Rt. Hon. J. Ramsay MacDonald, P.C., M.P., of the coal hydrogenation petrol plant* (Billingham, 15 okt. 1935); Gordon, 'Development'; J.H. van der Heijden, 'Steenkoolhydreering op technische schaal,' *Geologie en Mijnbouw* 15 (1937) 94-106; *Van Rotterdam Charlois*, 31-35; Petri, 'Technical change', 294; Von Nagel, *Methanol*, 64-65.

69 De Leeuw, 'Petroleum'; Spitz, *Petrochemicals*, 63-82, 102-103.

70 Archief Shell: inv.nr. 49, no. 180, Memo Caviët, 5 april 1927, Pijzel aan Kewley, 6 juni 1927, Bastet aan Lab Amsterdam, 15 aug. 1927, Kessler aan De Kok, 25 aug. 1927. Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, hierin verwijzing naar: R.A. Weerman, 'Cracken van butaan', rapport nr. 2228, 11 okt. 1927.

71 Archief Shell: inv.nr. 49, no. 180, correspondentie Caviët, Bastet, Knoops, Pijzel, Kessler, Gallagher en Godber, okt. 1927 – juni 1929 en [Van Peski], 'Overzicht en bespreking van het verrichte chemische research werk', ca. sept. 1928. Zie ook F.H. Pugh, 'Petroleum als grondstof voor de chemische industrie', *Chemisch Weekblad* 36 (1939) 102-106; H.B.J. Schurink, 'De aardolie-industrie als leverancier van grondstoffen voor de chemische industrie', *De Ingenieur* 56 (1941) P13-P18; Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 460-464, 472; Beaton, *Enterprise*.

72 Shell Research: Duinmaijer en Groeneveld, *Geschiedenis*, hierin excerpt van R.A. Weerman, 'Bereiding van butylacetaat uit butaan', rapport nr. 2386, 16 jan. 1928. *De Nederlandse industrie sinds 1945. Een wereld van groei* (z.p. 1952) 44-46, 171-173; *CW* 46 (1949) 35, zie verder hoofdstuk zes en zeven.

73 Archief Shell: inv.nr. 49, no. 180, [Van Peski], 'Overzicht en bespreking van het verrichte chemische research werk'. Voor de ontwikkelingen in Amerika, zie *KNPM. Gedenkboek*, 113-115; Beaton, *Enterprise*; Forbes en O'Beirne, *Technical development*; Spitz, *Petrochemicals*, 82-89; *Koninklijke Nederlandsche Maatschappij tot Exploitatie van Petroleumbronnen in Nederlandsch-Indië. Verslag over 1931* (Den Haag 1932) 14-15.

74 Forbes en O'Beirne, *Technical development*, 477.

75 RAL, Archief DSM, 17.26/34, inv.nr. 4: G. Berkhoff, 'Stikstofbindingsbedrijf der Staatsmijnen. Enkele economische opmerkingen', okt. 1932.

76 RAL, Archief DSM, 17.26/35, inv.nr. 3, tabel nieuwe producten Staatsmijnen. Centraal Archief DSM: Merx, *Stikstofbindingsbedrijf*. Vincken, *Van Staatsmijnen in Limburg tot DSM*; *Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek*; M. Kemp ed., *Mijn en spoor in goud* (Heerlen 1952) 71-83; W. van der Linde, 'Een prelude van de Duitse bezetting: springstof uit Geleen voor de vooroorlogse Nederlandse defensie', *Tijdschrift Heemkundevereniging Geleen* 15 (1994) 23-50.

Chemie/hoofdstuk 5

Van carbo- naar petrochemie, 1910-1940

K. Beaton, *Enterprise in oil. A history of Shell in the United States* (New York 1957).

Friedrich Bergius und die Kohleverflüssigung. Stationen einer Entwicklung (Bochum 1985).

J.L. Enos, *Petroleum, progress and profits: a history of process innovation* (Cambridge, Mass. 1962).

R.J. Forbes en D.R. O'Beirne, *The technical development of the Royal Dutch/Shell, 1890-1940* (Leiden 1957).

H. Gabriëls, *Koninklijke Olie: de eerste honderd jaar, 1890-1990* ('s-Gravenhage 1990).

G. Goettsch, *Koolteerproducten: ontstaan, verwerking, toepassingen* (Amsterdam z..j. [1950]).

J.H. v.d. Heijden, 'Steenkoolhydreering op technische schaal', *Geologie en Mijnbouw* 15 (1937) 94-98, 103-106.

P. Hendrix, *Henri Deterding. De Koninklijke, de Shell en de Rothschilds* (Den Haag 1996).

Th.P. Hughes, 'Technological momentum in history: hydrogenation in Germany, 1898-1933', *Past and Present* 44 (1969) 106-132.

F.K.Th. van Iterson, 'Kunstmest uit gas en lucht', *De Ingenieur* 47 (1932) A427-A439.

N.V. Koninklijke Nederlandsche Petroleum Maatschappij. 1890 - 16 juni - 1950. Gedenkboek uitgegeven ter gelegenheid van het zestigjarig bestaan ('s-Gravenhage 1950).

A. Kraaij, *75 jaar Cindu bedrijven. Een terugblik onder de gedachte 'Van sloper tot bouwer'* (z.p. 1997).

J. Laugs, *Stikstof van de Staatsmijnen, 1930-1940* (ongepubliceerde doctoraalscriptie Geschiedenis K.U. Nijmegen 1988).
W.C. de Leeuw ed., *Kleurstoffen uit petroleum. Algemeene beschouwingen over de industrie der synthetische kleurstoffen. Rapport in opdracht van de directie der Bataafsche Petroleum-Maatschappij* (Amsterdam 1918) (niet in de handel).
A. von Nagel, *Methanol, Treibstoffe. Hochdrucksynthesen der BASF* (Ludwigshafen 1970).
J.N.J. Perquin, 'Waterman en de petroleumindustrie: Hogedruktechniek en destructief hydrogeneren' in *De Oogst. Een overzicht van het wetenschappelijk werk van Prof. dr. ir. H.I. Waterman* (Delft 1959) 35-44.
G. Plumpe, *Die I.G. Farbenindustrie AG: Wirtschaft, Technik und Politik 1904-1945* (Berlijn 1990).
F.H. Pugh, 'Petroleum als grondstof voor de chemische industrie', *Chemisch Weekblad* 36 (1939) 102-106.
P. Puype en G. Beauchez eds., *Van kiem tot korrel. Nederlandsche Stikstof Maatschappij N.V., 1929-1979* (z.p. 1979).
H.B.J. Schurink, 'De aardolie-industrie als leverancier van grondstoffen voor de chemische industrie', *De Ingenieur* 56 (1941) P13-P18.
P.H. Spitz, *Petrochemicals: the rise of an industry* (New York etc. 1988).
Staatsmijnen in Limburg. Gedenkboek bij gelegenheid van het vijftigjarig bestaan (Heerlen 1952).
Het Stikstofbindingsbedrijf der Staatsmijnen in Limburg (Heerlen 1936).
A.N. Stranges, 'Synthetic fuel production in prewar and World War II Japan: a case study in technological failure', *Annals of Science* 50 (1993) 229-265.
M. Szöllösi-Janze, *Fritz Haber, 1868-1934. Eine Biographie* (München 1998).
A.S. Travis, 'High pressure industrial chemistry: the first steps, 1909-1913, and the impact' in A.S. Travis e.a. eds., *Determinants in the evolution of the European chemical industry, 1900-1939: new technologies, political frameworks, markets and companies* (Dordrecht, Boston en Londen 1998) 3-21.
W.L.Z. van der Vegte, 'De Mekog', *De Bron. Orgaan voor het personeel der verbonden petroleum maatschappijen* 17 (1934) 98-100, 124-125.
Joh. de Vries, *Hoogovens IJmuiden, 1918-1968. Ontstaan en groei van een basisindustrie* (IJmuiden 1968).
B. Waeser, *Die Luftstickstoff-Industrie, mit Berücksichtigung der chilenischen Industrie und des Kokereistickstoffs* (Leipzig 1932) 2e druk.
W. Witschakowski, *Hochdrucktechnik* (Ludwigshafen 1974).
R. Wizinger, *Kolen, lucht en water: een overzicht van de nieuwe toepassingen der koolstofchemie* (Deventer 1944).
D. Yergin, *The prize. The epic quest for oil, money, and power* (New York etc. 1993).