

## De technologie der koolwaterstoffen

**Citation for published version (APA):**

Perquin, J. N. J. (1958). *De technologie der koolwaterstoffen*. Waltman.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1958

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

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

[Link to publication](#)

**General rights**

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

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

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

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Dr Ir J. N. J. Perquin

# De technologie der koolwaterstoffen



---

UITGEVERIJ WALTMAN - HIPPOLYTUSBUURT 4 - DELFT

# De technologie der koolwaterstoffen

## REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET  
AMBT VAN BUITENGEWOON HOGLERAAR  
IN DE CHEMISCHE TECHNOLOGIE AAN DE  
TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN  
OP DINSDAG 21 OKTOBER 1958

DOOR

Dr Ir J. N. J. PERQUIN



---

UITGEVERIJ WALTMAN - HIPPOLYTUSBUURT 4 - DELFT

*Mijne Heren Curatoren,  
Mijne Heren Hoogleraren en adviseurs,  
Leden van de wetenschappelijke staf en overige medewerkers  
aan deze hogeschool,  
Dames en heren studenten en  
Gij allen, die door Uw tegenwoordigheid blijk geeft van Uw  
belangstelling,*

Hedenmiddag wilde ik enige ogenblikken Uw aandacht vragen voor de koolwaterstoffen, verbindingen tussen koolstof en waterstof die een oneindige reeks combinaties kunnen vormen. Dit grote aantal verbindingsmogelijkheden tussen atomen van slechts tweeërlei soort is uniek in de chemische wereld. Het moet dan ook voor de organisch chemicus een interessante opgave zijn vele dezer varianten te synthetiseren en hun constitutie te bepalen, nog meer om de ons door de natuur in overvloed geschonken mengsels te ontwarren. Velen hebben daaraan dan ook bijzondere aandacht besteed. Ik wilde echter niet spreken over hoe de chemicus deze verbindingen beziet, doch hoe en waarom de technoloog ze heeft weten te bewerken tot voor het mensdom nuttige artikelen. Het onderwerp dat ik wilde behandelen luidt daarom: de technologie der koolwaterstoffen.

Het is verbazingwekkend hoe snel de ontwikkeling van deze technologie heeft plaats gevonden; een halve eeuw geleden was ze van geen betekenis, nu echter is ze onder meer de basis van een der grootste en belangrijkste industrieën verspreid over de gehele wereld.

De bewerking van enorme hoeveelheden dezer koolwaterstoffen in meer en meer gecompliceerde fabrieken heeft tevens de geboorte van een nieuw type ingenieur ten gevolge gehad, die behalve chemicus ook fysicus is en die tevens de taal spreekt van de werktuigbouwkundige. In de Verenigde Staten heeft hij de naam gekregen van „chemical engineer”, wat tot voor kort niet identiek was met de letterlijke vertaling van scheikundig ingenieur, zoals wij die kenden.

Bij de behandeling van de ontwikkeling der genoemde industrieën, die zeer bijzondere kenmerken van de chemische technologie in zich dragen, komt de nieuwe taak van de technoloog meer uitvoerig ter sprake. Om een duidelijk beeld van de ontwikkeling te geven moet ik naast de gebruikelijke opvatting van de technologie der koolwaterstoffen, namelijk het bewerken van de in de natuur voorkomende koolwaterstoffen tot de meest uiteenlopende gebruiksartikelen, ook nog een analoog geval voegen, namelijk de produktie van nuttige koolwaterstoffen uit willekeurige grondstoffen.

Het begrip koolwaterstoffen zal enkelen onder U minder familiaar in de oren klinken dan de benamingen waaronder U ze in het dagelijkse leven herhaaldelijk ontmoet. Indien ik gesproken had over petroleum, benzine, smeerolie, asfalt, rubber of polytheen, die alle tot de koolwaterstoffen behoren, dan zou ieder van U de betekenis er van onmiddellijk hebben ingezien. De belangrijkste der in de natuur voorkomende koolwaterstoffen zult U nu eveneens herkend hebben, namelijk de aardolie inclusief het aardgas en de latex, een melksap van verschillende tropische gewassen. De terpenen, die evenals de laatstgenoemde van plantaardige oorsprong zijn, hebben technologisch gezien minder betekenis. Zij blijven daarom verder buiten beschouwing. De technologie der koolwaterstoffen wordt bedreven in twee belangrijke industrieën, die der aardolie-verwerkende en de rubberindustrie.

Vrijwel een eeuw geleden begint de historie van de aardolie-industrie. Aanvankelijk, tot ongeveer het begin van de eerste wereldoorlog, viel zij nauwelijks in de categorie van een chemische industrie; de bewerkingen waren hoofdzakelijk fysisch, namelijk destillatie met daarnaast een enkele chemische zuivering met zwavelzuur en loog ter verwijdering van ongewenste reuk- en kleurstoffen. Al deze bewerkingen hadden geen wetenschappelijke basis en de apparatuur bestond uit vergrote laboratoriumtoestellen die, om voor de hand liggende redenen, uit ijzer in plaats van uit glas waren vervaardigd.

De ontwikkeling van de petroleumtechnologie heeft aanvankelijk een transformatie ten doel gehad van de in de natuur voorkomende koolwaterstoffen in andere, die beter geschikt bleken voor bepaalde toepassingen. Uit de hierbij uitgevoerde bewerkingen ontstane meer reactieve koolwaterstoffen, de z.g.

olefinen, heeft men een groot aantal chemische produkten leren opbouwen. Hieraan dankt de petroleum-chemische, of ook wel minder juist de petrochemische industrie genaamd, haar ontstaan.

Naast de in de natuur voorkomende koolwaterstoffen vindt men natuurprodukten waaruit ze gemakkelijk te bereiden zijn o.a. de steenkool. Deze geeft door droge destillatie een teer, die voor een groot deel bestaat uit aromatische koolwaterstoffen. Deze steenkool had via de teerverwerkende industrie aanvankelijk het monopolie van deze aromaten, waaruit o.a. de kleurstoffenindustrie is voortgekomen. Door de snelle en veelzijdige ontwikkeling van de aardolietechnologie is dit monopolie verloren gegaan.

Omgekeerd is door moderne syntheses de steenkool een grondstof geworden voor de bereiding van alifatische koolwaterstoffen, waarvan de aardolie aanvankelijk de enige bron was. Hoe dit alles in zijn werk is gegaan wil ik U in het volgende schetsen. Eerst echter nog iets over de technologie van het andere natuurprodukt, de latex. Hoewel de bekendheid met de rubberlatex dateert van omstreeks het midden van de 16e eeuw, begint de chemische technologie met de uitvinding van het vulcaniseren in 1838 door Goodyear in Amerika en later onafhankelijk van hem in 1843 door Hancock in Engeland. Deze vulcanisatie bestaat in principe uit verhitting van de ruwe rubber met zwavel. Hierdoor wijzigen zich de fysische eigenschappen aanzienlijk. Het zwavelhoudende produkt wordt ongevoelig voor temperatuurwisselingen, kleeft niet meer en krijgt verhoogde elastische eigenschappen. Men kan hier duidelijk van een veredeling spreken – wat de technologie in wezen nastreeft – de kleverige en bij lage temperatuur bijna vaste, in de zomer bijna vloeibare ruwe rubber leende zich nauwelijks voor enige serieuze toepassing, hoewel het vóór 1843 zeker niet aan pogingen ontbroken heeft om uit dit interessante natuurprodukt artikelen te vervaardigen. Ook trachtte men het te gebruiken om weefsels waterdicht te maken. De naam Macintosh voor een regenjas is nog een herinnering aan die periode.

Sinds de uitvinding van het vulcaniseren is de rubbertechnologie met rasse schreden vooruit gegaan. Ik noem slechts de uitvinding en toepassing van z.g. vulcanisatieversnellers, die niet alleen dit proces versnelden, doch meer nog de verschillen

tussen rubbersoorten van verschillende herkomst en kwaliteit deden verdwijnen. Verder heeft het gebruik van specifieke vulmiddelen, die de slijtvastheid ongeveer vertienvoudigden, het gebied van de rubbertoeepassingen aanzienlijk vergroot. De grote prijschommelingen van de natuurlijke rubber in de loop der jaren, politieke invloeden en de autarkie in verschillende landen deden de chemici uitzien naar een synthese van rubbersubstituten, hetgeen gedurende de eerste wereldoorlog door Duitsland reeds op fabrieksschaal verwezenlijkt werd door de fabricage van de z.g. methylrubber. In 1925 werd in de Verenigde Staten een synthetische polymeer van beta-chloorbutadien bereid, het dupreen, later neopreen genaamd. In 1932 werd door Dupont het neopreen op commerciële schaal gefabriceerd. Ondanks de, in die tijd, belangrijke prijsverhouding tot die van natuurlijke rubber – ongeveer het 30-voudige – is het door zijn bijzondere eigenschappen een commercieel succes geworden, echter niet als vervanger van de natuurlijke rubber in het algemeen, doch als een substituut met voor verschillende doeleinden unieke kwaliteiten.

Verdere pogingen om de rubbersubstituut te maken gingen uit van de grondstof butadien en de grote fabrieken die gedurende de tweede wereldoorlog zijn opgericht in de Verenigde Staten en Duitsland zijn voor een groot deel gebaseerd op butadien en styreen. De meest economische bereidingswijze van deze beide grondstoffen brengt ons terug naar de petroleumindustrie, evenals de meest gebruikte vulstof voor de verhoging van de slijtvastheid, nl. het roet.

De ontwikkeling van de petroleumtechnologie wil ik wat uitvoeriger schetsen.

De uitvinding en de ontwikkeling van de explosiemotor hebben een even explosieve opbloei van de technologie der koolwaterstoffen in het algemeen en van de petroleumtechnologie in het bijzonder tot gevolg gehad. Vooral de toepassing van deze motor in de automobiel en later in het vliegtuig, en de gigantische ontwikkeling van beide vervoermiddelen hebben de koolwaterstoffen in het brandpunt van de belangstelling gebracht. Er ontstond hierdoor niet alleen een vraag naar meer en betere brandstoffen, doch ook naar passende smeermiddelen en naar meer slijtvaste rubber voor de banden, terwijl de later noodzakelijk daarmede gepaard gaande uitbreiding van het wegennet

ook hier weer de vraag naar koolwaterstoffen deed toenemen, welke in de vorm van asfalt uitgebreide toepassing vonden. Zelfs is er in de laatste tijd een vervangingsmiddel van het staal, of liever het blik, van de carrosserie gepropageerd, dat eveneens gebaseerd is op koolwaterstoffen.

Het eerste gevolg van de snelle toeneming van het aantal automobielen was een dreigend gebrek aan de daarvoor benodigde brandstof, de benzine. Een beeld van deze groeiende vraag naar benzine kan men zich vormen uit de cijfers van het aantal automobielen in de Verenigde Staten, dat in 1910 nog slechts een half miljoen bedroeg en dat binnen 4 jaren toenam tot bijna vier miljoen. De enige brandstofbron was benzine, die door destillatie uit de verschillende ruwe oliën gewonnen kon worden, vermeerderd met die welke men verkreeg uit het aardgas door absorptie of compressie.

De totale hoeveelheid was in 1914 niet veel groter dan de binnen enkele jaren te voorziene vraag. De redding uit deze situatie werd gebracht door een ontdekking die in 1865 reeds gedaan werd, door een opzichter die zijn destilleerketel voor enige uren in de steek liet. In deze ketel werd ruwe olie verhit om lichtpetroleum te winnen; doordat het toezicht geruime tijd ontbrak werd de olie oververhit en bij terugkomst van de opzichter bleek belangrijk meer petroleum te zijn gewonnen dan bij een normale gang van zaken. Uit deze ontdekking is het kraakproces ontstaan. In dit proces worden door verhitting op hoge temperatuur grote koolwaterstofmoleculen tot kleinere afgebroken, waarbij uit zware olie onder meer benzine en gas ontstaan. Door de introductie van dit kraakproces, met het doel de benzineproductie uit een bepaalde ruwe olie te verhogen, werd de chemische technologie op grote schaal in de aardolieverwerking ingeluid, de eerder genoemde zuivering met zwavelzuur hierbij buiten beschouwing latend.

De technische ontwikkeling van het kraakproces ging na 1913 in een versneld tempo en er ontstonden een groot aantal uitvoeringsvormen, neergelegd in honderdtallen octrooien. Deze verscheidenheid is een aanwijzing dat de technologie nog in haar kinderschoenen stond. Zij was geenszins gebaseerd op de fundamentele kennis van de beginselen waarop de apparatuur moest berusten. Namen zoals BURTON, FLEMMING, JENKINS, ELLIS CROSS, DUBBS zijn aan deze empirische ontwikkeling verbonden.



Het DUBBS-proces, ontwikkeld en geëxploiteerd door de Universal Oil Products (UOP), heeft zich onder deze vele tot 1946 weten te handhaven. Naar mate men meer de beginselen leerde kennen zijn de uitvoeringsvormen verbeterd. Al deze ontwikkelingen speelden zich voornamelijk af in de Verenigde Staten, de bakermat van de aardolie-industrie.

Met het doel zich onafhankelijk te maken van het buitenland voor wat zijn olievoorziening betrof, probeerde Duitsland een deel van zijn steenkolenbezit om te zetten in olie. BERGIUS was de eerste die dit op technische schaal aanpakte en ook verwezenlijkte. Door te werken bij een temperatuur van 450 °C en onder een waterstofdruk van meer dan 100 atmosferen gelukte het hem steenkolen om te zetten in een olie die de eigenschappen van aardolie had. Zijn apparatuur was echter uitermate ingewikkeld en kostbaar, en de opbrengsten aan benzine gering. Dit eerste succes was echter aanleiding tot een zeer groot opgezet onderzoek door de toenmalige I.G. Farbenindustrie met het doel het vinden van katalysatoren om de hydrogenering te versnellen. De oorspronkelijke grondstoffen die men daarbij trachtte om te zetten waren diverse teeroliën, om later over te gaan naar teer, aardolieresiduen en steenkolen. De opzet was weliswaar groots – er werkten meer dan duizend academici aan dat onderwerp – doch hij was verre van wetenschappelijk, men zou het kunnen noemen: proberen op goed geluk, in de regel een kostbare methode.

Bijna alle elementen van het periodieke systeem werden hierbij systematisch afgezocht op hun katalytische werking en een enorm aantal verbindingen werd als hydrogeneerkatalysator geëxperimenteerd. Het succes was echter zeer groot. Uit dit onderzoek kwamen vele nieuwe katalysatoren voort, voor de hydrogenering van wat de chemicus zeer onzuivere stoffen zou noemen. De oude begrippen van katalysatorvergiftiging door sporen zwavel of andere verontreinigingen werden hierdoor volmaakt gewijzigd. Er werden katalysatoren geproduceerd die niet door zwavel werden gedesactiveerd, integendeel, vele hadden extra zwaveltoevoeging nodig om hun activiteit te behouden, andere werkten zelfs selectief voor de omzetting van zwavelverbindingen in zwavelwaterstof.

Ik heb even dit uitstapje gemaakt om het verband duidelijk te maken tussen het kraakproces en deze werkwijze, die destruc-

tieve hydrogenering genoemd wordt. Bij het kraken maakt men koolwaterstoffen (benzine en gas) die gemiddeld een hoger percentage waterstof bevatten dan de grondstof (residu). Noodzakelijkerwijs moeten daarbij stoffen ontstaan, die een geringer gehalte aan waterstof hebben dan het uitgangsprодукт. Bij ver doorgevoerde kraking zal dus uiteindelijk koolstof moeten ontstaan, wat ook in de praktijk gebeurt; daarnaast verkrijgt men dan niet veel meer dan 30% benzine. Om nu deze koolstofvorming te voorkomen, die niet alleen een degradatie van de grondstof betekent doch ook technisch grote moeilijkheden veroorzaakt, moet men waterstof suppleren gedurende het kraken. De katalytische processen van de I.G. hebben dit technisch mogelijk gemaakt. Zij hebben processen ontwikkeld waarbij zware oliën met opbrengsten van meer dan 90% in benzine konden worden omgezet zonder enige koolstofvorming, terwijl de levensduur van de katalysatoren zonder enige regeneratie meer dan een jaar bedroeg.

Andere onderzoekers, FISCHER en TROPSCH, trachtten langs een omweg benzine en andere koolwaterstofmengsels uit steenkool te bereiden door de steenkool eerst tot koolstof af te breken en deze met behulp van stoom om te zetten in een mengsel van koolmonoxyde en waterstof. Uit dit gasmengsel werden langs katalytische weg koolwaterstoffen opgebouwd. Deze synthese, hoewel enigszins gewijzigd, is ook op aardolie als grondstof toepasbaar; hierop kom ik later terug.

Deze verrassende ontwikkeling op het gebied van katalytische omzettingen zoals die in Duitsland op grote schaal verwezenlijkt waren, is niet zonder invloed geweest op de petroleumindustrie. Het eerste gevolg was dat men daar meer het belang van wetenschappelijk onderzoek is gaan inzien. Men kan dit afleiden uit het feit dat omstreeks die tijd een aanzienlijke uitbreiding van „research” heeft plaats gevonden, welke later zijn vruchten heeft afgeworpen. Niet alleen resulteerde dit in een aanzienlijke toeneming van katalytische processen in genoemde industrie, doch tevens in het ontstaan van een geheel nieuwe tak, de petroleum-chemische industrie, naast de chemische industrie van koolwaterstoftransformatie. Ondanks de technisch onovertroffen resultaten van het werk der Duitse ondernemingen heeft het destructief hydrogeneren geen noemenswaardige ingang gevonden in de petroleumindustrie. De belangrijke reden was dat

deze processen niet konden concurreren met de overvloedig vloeiende aardolie en het goedkope kraakproces. Dit hoewel zij chemisch en technisch baanbrekend waren en tevens belangrijk door de hoge opbrengsten uit een oogpunt van conservering van de aardoliereserves.

Zo kon het gebeuren dat in het ene land, waar de economie geen rol speelde, met veel moeite en kosten kool in olie werd omgezet, en gelijktijdig in het naburige land olie tot kool werd gedegradeerd. Bezien we nu even de samenhang tussen de ontwikkeling van de benzinemotor en die van de koolwaterstof-technologie.

Wij zijn nu genaderd tot het jaar 1930. Omstreeks die tijd waren beide reeds enigszins uit het stadium van de empirie. Men wist enerzijds meer omtrent de belangrijkste principes waarop de verbranding in de motor plaats vond en ook de kennis van de smering onder die omstandigheden was gevorderd. Anderzijds was ook de technologie op meer wetenschappelijke basis geschoeid. De ontwikkeling van de motor ging voornamelijk in de richting van groter vermogen per liter slagvolume, waartoe de compressieverhouding werd opgevoerd. Hierbij bleek spoedig dat men op een gegeven punt stuitte op een verschijnsel dat men niet verwacht had en dat zeer grote consequenties met zich bracht. Dit was het z.g. kloppen in de motor, een verschijnsel dat voor een groot deel veroorzaakt werd door een eigenschap van de brandstof. Behalve dat dit verschijnsel schade aan de motor ten gevolge had, daalde hierdoor het vermogen weer; men was dus min of meer in een vicieuze cirkel aangeland.

In het kort ontstaat het kloppen doordat de brandstof in plaats van geleidelijk te verbranden, op een gegeven moment plotseling detoneert. Voor de bestudering van dit probleem was een belangrijke vereiste het verschijnsel in een getal te kunnen uitdrukken. Daarom werd spoedig een onderzoek opgezet om te komen tot een maat voor het kloppen. In een paar woorden hoop ik U het resultaat van jaren hard werken op dit moeilijke gebied te vertellen. Door de neiging tot kloppen van zuivere koolwaterstoffen in een daartoe ontwikkelde gestandaardiseerde motor onder bepaalde condities te vergelijken, heeft men een zeer klopvaste koolwaterstof, het iso-octaan, gevonden, welke men de waarde 100 toekende, naast een sterk kloppende, het

normaal hexaan, dat de waarde 0 toebedeeld kreeg. Door nu de neiging tot kloppen van een monster benzine in deze standaardmotor te vergelijken met mengsels van deze twee stoffen bepaalde men het z.g. octaangetal. Indien b.v. een benzinesoort zich in genoemde motor gedraagt als een mengsel van 70 volumedelen iso-octaan en 30 delen n-heptaan, dan noemt men het octaangetal 70. Ook werd na ijverig speurwerk een stof ontdekt, het tetraethyllood, die in kleine hoeveelheden (0,06-0,1 vol %) aan benzine toegevoegd het octaangetal een aantal punten deed stijgen.

Uit al deze uitvoerige onderzoeken bleek verder dat naar mate de bouw van het koolwaterstofmolecule meer compact is, de klopvastheid hoger ligt. Zo openbaarden de alkanen met rechte keten zich als de minst klopvaste, terwijl, naar mate de keten langer wordt, de klopvastheid nog belangrijk daalt. De sterk vertakte alkanen en de aromaten gedragen zich in dit opzicht het gunstigt. De klopvastheid van de olefinen ligt tussen beide groepen in, zodat kraakbenzine in dit opzicht in de regel beter is dan vele natuurlijke benzinesoorten. Zo kon men ook de klopvastheid verbeteren van de hoogstkokende delen van de natuurlijke benzine (z.g. nafta) door ook deze te kraken. Dit bijzondere kraakproces noemde men reformeren, in tegenstelling met kraken, omdat zowel begin- en eindprodukt van deze bewerking uit benzine bestond. Men had nu enige methoden om het octaangetal te verhogen, nl. een selectie van natuurlijke benzinesoorten, het gebruik van kraakbenzine, het reformeren plus de toevoeging van tetraethyllood. Met deze maatregelen was de automobilist uit die dagen uit de nood.

Er kwam echter een andere belangrijke afnemer van benzine opdagen, die veel kieskeuriger was dan de automobiel, nl. het vliegtuig. De ontwikkeling van de vliegtuigmotor ging vliegensvlug. Naar mate de vliegtuigen zwaarder werden moest het vermogen van de motor volgen. De compressieverhouding en daarbij de eisen aan het octaangetal stegen belangrijk sneller dan die van de automobielmotor. Bovendien werden behalve dit hoge octaangetal andere eisen gesteld aan de brandstof, die het probleem voor de olieindustrie nog verzwaarden. Olefinen, die als onstabiele verbindingen beschouwd werden, mochten er niet in toegelaten worden, wat kraakbenzine uitsloot. Verder werd het percentage aan de zo klopvaste aromaten beperkt wegens hun lage verbrandingswaarde. De enige uitkomst uit deze moeilijk-

heden was om de synthese van de meest gewenste koolwaterstoffen op technische schaal ter hand te nemen. Door deze noodzaak werd de petroleumindustrie een chemische industrie tegen wil en dank, zoals spotters deze soms noemden. Een chemische industrie met als doel de bereiding van specifieke koolwaterstoffen uit natuurlijke.

Met deze nieuwe richting die de petroleumindustrie insloeg wijzigde zich tevens geleidelijk de taak van de scheikundig ingenieur in deze industrie. Aanvankelijk was zijn bezigheid zoveel mogelijk toe te zien dat zowel kwalitatief als kwantitatief de produkten van de fabriek aan de daaraan gestelde eisen voldeden. Zuiveren met zwavelzuur en eventueel herdestilleren waren de corrigerende bewerkingen. Ook het onderzoek op het laboratorium was hoofdzakelijk beperkt tot de kwaliteit van de produkten en de ontwikkeling van methoden ter identificatie en als criteria voor de technische en commerciële bruikbaarheid. Bij het ontwerpen van fabrieken werd zijn advies zelden gevraagd; dit was toen uitsluitend het domein van de werktuigbouwkundige. De scheikundige ingenieur werd meer als scheikundige dan als ingenieur gezien, en terecht.

Toen na 1925 het speurwerk een meer belangrijke plaats ging innemen in deze industrie werd hij vooral bij het semi-technische werk ingeschakeld, d.i. het stadium ná de uitvinding van een nieuw proces, en de daarop volgende uitwerking op laboratoriumschaal. Bij de invoering van de synthetische benzinefabricage op commerciële schaal en bij de omstreeks die tijd eveneens ontwikkelde plannen de kraakgassen te gebruiken voor de fabricage van diverse chemicaliën, werd de behoefte gevoeld aan een nieuw type ingenieur, die niet alleen zijn produkten kende, doch meer het hoe en waarom van de processen waarmee hij ze op continue wijze en in zeer grote kwantiteiten kon fabriceren.

Vooral deze twee factoren, de overgang van de discontinue, ook wel ladingsgewijze werkmethode genoemd, naar de continue werkende en de steeds groter en kostbaarder wordende eenheden hebben de vraag doen ontstaan naar iemand die meer ingenieur dan chemicus is. Ook de experimenteertechniek in het laboratorium diende gewijzigd te worden door zo spoedig mogelijk tot continue werkende apparaten te komen. De vergroting daarvan betekende iets geheel anders dan in de te ontwerpen fabriek eenvoudig gebruik te maken van grotere of meer potten

en pannen. Een der taken van de technoloog in de industrie werd een fabriek te ontwerpen op een duizend- of meervoudige schaal uit gegevens van experimentele eenheden. Zulk een ontwerp moest zo nauwkeurig worden doorgerekend, dat de gewenste capaciteit binnen nauwe grenzen verwezenlijkt werd en de produkten van de voorspelde kwaliteit gefabriceerd werden. Hierbij moesten de kosten van exploitatie worden afgewogen tegen die van de investering. Het is dan ook begrijpelijk dat in de Verenigde Staten, waar deze groei zich het eerst openbaarde, de opleiding tot scheikundig ingenieur werd aangepast aan de gewijzigde eisen van de chemische techniek. Geleidelijk is dit ook tot andere landen doorgedrongen. Ook in ons land, vooral na de tweede wereldoorlog, is hiermede een begin gemaakt en het leerplan voor deze nieuwe technische hogeschool voorziet ook in die behoefte.

Laten we nu terugkeren tot de chemische industrie, die tot doel heeft z.g. „tailor-made” koolwaterstoffen te fabriceren uit natuurlijke.

We kunnen deze bezigheid enigszins vergelijken met het maken van een mozaïek. De natuursteen wordt tot kleine fragmenten stukgeslagen, de stukjes gesorteerd en weer aan elkaar gehecht tot de vorm die men wenst. Daarna wordt het geheel gepolijst. Zo ook in de techniek van de synthetische koolwaterstoffen. De in de aardolie voorkomende grote moleculen worden gekraakt tot kleinere stukken, deze worden door destillatie gesorteerd in groepen van ongeveer dezelfde moleculegrootte en deze weer samengevoegd tot het molecule dat men wenst. Dit laatste is een katalytisch proces dat men polymerisatie noemt. Het polijsten was noodzakelijk omdat het produkt van de polymerisatie onverzadigd is en dus, zoals gezegd, niet in aanmerking kon komen als een component van de vliegbenzine. De laatste bewerking was daarom een verzadiging door waterstof, een hydrogenering. Zo bereidde men het iso-octaan op fabrieksschaal voor het eerst in 1935. De twee fabrieken van iso-octeen waren eind 1935 reeds verouderd. Bij het maken van iso-octeen had men twee moleculen isobuteen aan elkaar gekoppeld; intussen had men gevonden dat bij het werken onder andere omstandigheden het isobuteen reageert met het n-buteen, zodat men een tweemaal zo grote opbrengst kreeg. Men noemde nu het produkt na hydrogeneren gemengde octanen. Deze hadden een octaangetal

van 97 à 98. Ook deze werkwijze verouderde snel, door de uitvinding van het alkylatieproces, waarin een alkaan, nl. het isobutaan, reageert met een olefine, waarbij direct een verzadigd produkt ontstaat. Het oude begrip van de geringe affiniteit van verzadigde paraffinen, wat in de naam besloten ligt, eiste hierdoor herziening. Het gevolg was het overbodig worden van de hydrogeneerinstallaties binnen een tijdsverloop van circa 3 jaar na hun bouw. Het alkylatieproces heeft niet alleen de tand des tijds weerstaan, doch heeft een ongekende toepassing gevonden. In 1946 waren er alleen in de Verenigde Staten 60 alkylatiefabrieken in bedrijf met een gezamenlijke produktie van 7 miljoen ton per jaar.

Toen men eenmaal vertrouwd geraakt was met katalytische synthesesen werden ook andere gebieden bestreken dan die van de synthetische benzine. Bij de laatste waren de samenstellende moleculen betrekkelijk klein, zij bestonden uit olefinen met 2 tot 5 koolstofatomen, evenals het aantal dat werd samengevoegd. De polymerisatie van olefinen met meer koolstofatomen die op technische schaal werd verwezenlijkt resulteerde in superieure smeeroliën. Ten einde deze hogere olefinen in voldoende concentratie te fabriceren werd een dampfase-kraakproces ontwikkeld dat als grondstof ruwe paraffine gebruikte.

Genoemde polymerisaties en alkylaties hebben de petroleum-industrie grote flexibiliteit gegeven. Er zijn echter ook nog pogingen aangewend om op een geheel andere wijze gewenste koolwaterstoffen uit elk willekeurig koolwaterstofmengsel te fabriceren. Het principe hiervan berustte op een afbraak, waarbij gelijktijdig een ander atoom (zuurstof) wordt ingevoerd, en een daarop volgende opbouw, waarbij dat vreemde atoom weer wordt geëlimineerd, zodat het eindprodukt geheel of voor het grootste deel uit koolwaterstoffen bestaat. De afbraak bestaat uit een partiële oxydatie met zuurstof, waarbij het resultaat een mengsel van koolmonoxyde en waterstof is. Als grondstof kan men elk willekeurig koolwaterstofmengsel nemen van gasvormig tot asfalt. De opbouw geschiedt dan volgens het FISCHER-TROPSCH proces, waarbij gebruik werd gemaakt van een geïndustrialiseerde ijzerkatalysator in afwijking van de originele FISCHER-TROPSCH-synthese. Door op zeer grote schaal te werken met goedkope zuurstof hoopte DOBIE KEITH op deze synthetische benzine te maken die zelfs met de natuurlijke zou kunnen

concurreren. Een fabriek, opgericht in Brownsville in Texas met steun van enige oliemaatschappijen, heeft echter door verschillende oorzaken – voornamelijk economische – niet aan de verwachtingen voldaan en het proces is niet tot commerciële productie gekomen.

Toch biedt deze wijze van opbouw een mogelijkheid om aan de vraag naar vloeibare koolwaterstoffen te kunnen voldoen in de zeer verre toekomst, als de aardolievoorraden en zelfs die van steenkolen zullen zijn uitgeput. We behoeven slechts koolmonoxyde en waterstof te bezitten. Aannemende dat de toepassing van kernenergie in die tijd ongelimiteerde hoeveelheden elektriciteit kan leveren, zal de elektrolyse van water de benodigde waterstof kunnen produceren, de kalksteen kan dan het kooldioxyde leveren, dat door waterstof tot koolmonoxyde kan worden gereduceerd. De vraag blijft of het economisch mogelijk zal zijn.

Keren we even terug tot 1940. De tweede wereld-oorlog verhoogde niet alleen de vraag naar hoog-octaan componenten, ook het niveau werd voor vliegtuigen snel tot boven 100 opgevoerd, terwijl ook het gemotoriseerde leger hogere eisen stelde aan de klopvastheid van de brandstoffen. In Duitsland en Engeland herleefde het destructief hydrogeneren respectievelijk van steenkool en aardolieresiduen, in Amerika het katalytisch kraken.

Reeds in 1928 was door de Fransman HOUDRY het katalytisch kraken uitgevonden. Als katalysator gebruikte hij een ontkleuringsaarde, die hij van tijd tot tijd regeneerde door het afbranden van de bij het kraken gevormde kool, die zich op de katalysator afzette. Veel belangstelling kon hij in die tijd niet wekken bij de olie-industrie, die uitsluitend het bezwaar zag dat alleen destillaten en geen residu's er mee konden worden verwerkt. De oorlog heeft de ontwikkeling er van niet alleen versneld, doch tevens aanleiding gegeven tot het aandurven van kostbare projecten met grote risico's. Het katalytisch kraken had belangrijke voordelen boven het thermisch kraken, welke vooral in oorlogstijd sterk naar voren kwamen. Het stelt ons namelijk in staat om uit praktisch ieder soort zwaar destillaat een benzine te produceren met een hoog octaangetal, ca. 80, waarbij de gevormde gassen voornamelijk uit propaan/propeen en butaan/buteen bestaan met hoge gehalten aan olefinen, terwijl de gevormde butanen ca 80% isobutaan bevatten. De vraag naar steeds meer



buteen en isobutaan voor de genoemde katalytische syntheses en ook voor de synthetische rubberproductie kreeg nu een kans om bevredigd te worden. Bovendien was de meer stabiele hoog octaan benzine een welkome aanvulling voor de tot dien gebruikte geselecteerde fracties van de natuurlijke benzine voor menging met alkylaar tot vliegtuigbenzine. Geen wonder dat alles in het werk werd gesteld om de technische uitvoering van het proces te vervolmaken. De ontwikkeling van het katalytisch kraken van een intermitterend proces, waaraan grote nadelen kleefden, tot een geheel continu proces waarbij de vaste katalysator verplaatst moest worden van het ene vat naar een ander en vice versa is een prachtig voorbeeld van een reeks van ingenieuzen vondsten, die tot uiting kwamen in twee verschillende technieken die zich naast elkaar ontwikkelden, doch waaruit op de lange duur de meest gedurfde een beslissende voorsprong verwierf. De bestudering van de problemen die hierbij tot een oplossing kwamen is zowel voor de a.s. scheikundig of fysisch ingenieur als voor de werktuigbouwkundige van groot belang.

De twee concurrenten verschilden in principe in de wijze waarop de katalysator werd verplaatst. Bij het Thermofor-proces werd de katalysator naar boven getransporteerd door middel van Jacobsladders, waarna de zwaartekracht de katalysator door de respectieve vaten naar omlaag voerde. Om dit transport te vergemakkelijken werd deze vaste stof de vorm van parels gegeven. Bij het gefluidiseerde systeem beweegt de katalysator zich in de vorm van een fijn poeder, waarbij het echter gehouden wordt in een conditie die praktisch het gedrag van een vloeistof volgt. Een verschil met dat van een vloeistof is echter dat men de dichtheid belangrijk kan wijzigen. Op deze wijze komt ook het transport van de vaste stof van het reactievat naar het regeneratievat tot stand zonder gebruik te maken van mechanische hulpmiddelen, doch uitsluitend door het verschil in dichtheid. Dit nieuwe beginsel om een vaste katalysator in fijn verdeelde vorm in enorme kwantiteiten te laten circuleren, waarbij het in een vat in aanraking is met olie bij een temperatuur van ca. 480 °C en in een ander vat met lucht bij 600 °C is een treffend staaltje van uiterst knap ingenieurswerk, waaraan de scheikundig ingenieur een zeer groot aandeel heeft gehad, doch dat nooit verwezenlijkt had kunnen worden zonder een intensieve samenwerking met fysici en werktuigbouwkundigen.

Voor ik afstap van deze imposante ontwikkeling wilde ik U een indruk geven van de kwantiteiten die de moderne eenheden verwerken en de grootte van de stroom van vaste stof die daarbij circuleert. Een moderne eenheid verwerkt 6.000 ton per dag, daarbij is de circulatie van de vaste katalysator ongeveer 1 ton per seconde. De verbrandingslucht voor de regenerator wordt geleverd door een eentraps-centrifugaalcompressor (blower) met een capaciteit van 40 m<sup>3</sup> per seconde; deze heeft in de regel geen reserve, d.w.z. dat de blower meer dan twee jaar zonder enige onderbreking moet draaien.

Hoe zorg gedragen wordt dat deze grote en gecompliceerde fabrieken onberispelijk lopen zonder enige stagnatie over zulk een lange periode is een vraag die ontegenzeggelijk bij U zal opkomen. Dit zou noch fysisch noch economisch mogelijk zijn zonder het gebruik van automatische regelingsapparaten. De tegenwoordig veel besproken automatie is de sleutel voor de merkwaardige groei van de hedendaagse chemische industrie in het algemeen. Hoewel dit gebied voornamelijk bij de fysicus thuis behoort is het zeker nodig dat de technoloog bekend is niet alleen met de typen apparaten die verkrijgbaar zijn, maar vooral met de principes waarop deze gevarieerde regeltechniek berust.

Na de hiervoor geschetste technisch gerealiseerde omzettingen van koolwaterstoffen zou men de indruk kunnen krijgen, dat men nu vrijwel alle mogelijke omzettingen van koolwaterstoffen technisch beheerste en dat het zoeken naar verdere mogelijkheden om nieuwe processen te verwezenlijken die baanbrekend zouden kunnen zijn niet veel kansen op succes zou hebben. Zowel kwantitatief als kwalitatief bleek dit spoedig onjuist. De enorme uitbreiding van het gemotoriseerde wegverkeer na de oorlog, van 45 miljoen voertuigen in 1938 tot 104 miljoen in 1955, en die van de civiele luchtvaart, van ruim één miljard mijl per passagier in 1938 tot ruim 38 miljard in 1955, verhoogde de vraag naar benzine aanzienlijk, terwijl vooral voor het wegverkeer meer efficiënte motoren op de markt kwamen, die belangrijk hoger klopvaste benzine eisten. Aan beide eisen zou door uitbreiding van het katalytisch kraken kunnen worden voldaan. Echter de marktverhouding van zware oliën en hoog octaan benzine zou daardoor worden verstoord, waarbij een groot deel van de zware natuurlijke benzine als onverkoopbaar

surplus zou achterblijven. We zouden tot op zekere hoogte zijn teruggekeerd tot het beginstadium van de petroleumindustrie, toen men met het gevaarlijke onverkoopbare goedje bleef zitten bij de fabricage van zoveel mogelijk lichtpetroleum. De weg voor het onderzoek was dus uitgestippeld, namelijk om zware benzine, z.g. nafta, die dikwijls slechts octaangetallen van de orde van 40 vertoonde, om te zetten in vertakte paraffinen en aromaten. Aan dit probleem is zeer veel onderzoek besteed en de uitvinding en technische toepassing van platina als katalysator op een specifieke drager en met behulp van z.g. promotoren heeft het meest interessante proces voortgebracht uit de petroleumindustrie, het katalytisch reformproces, waarvan het z.g. platformen een der meest succesvolle uitvoeringsvormen is. Door zorgvuldige keuze van de condities verkrijgt men uit de meest uiteenlopende nafta's precies wat men wenst, hoog-octaan benzine met als extra cadeautje grote hoeveelheden van de kostbare waterstof.

Het verkrijgen van waterstof als bijproduct heeft geheel nieuwe perspectieven geopend. Katalytische hydrogeneringsprocessen, die tot dien niet rendabel waren, konden nu voor toepassing in aanmerking komen. Zo is het katalytisch ontzwellen van gasolie een sindsdien op grote schaal ingevoerd proces, waarbij zwavelverbindingen uit de gasolie door hydrogeneren worden omgezet tot koolwaterstoffen en zwavelwaterstof. Deze laatste stof is een belangrijke bron voor de zwavelfabricage geworden.

### *Geachte toehoorders,*

In het voorgaande heb ik getracht U een beeld te geven van de spectaculaire ontwikkeling van de koolwaterstoftechnologie, voornamelijk in zoverre deze een logisch gevolg was van de versnelde toepassing van de benzinemotor in het weg- en luchttransport. Bij de fabricage van deze specifieke koolwaterstoffen wordt gebruik gemaakt van de meest uiteenlopende katalytische processen, waarbij belangrijke technische vindingen zijn toegepast. Zij vormen slechts een klein deel van het onderwerp van deze voordracht.

Ik heb mij tot nu toe uitsluitend beperkt tot processen met koolwaterstoffen als begin- en eindproduct, waarbij ik nauwe-

lijks heb aangeroerd de daartoe behorende fabricage van de kunststoffen als polyethyleen en polypropyleen, die in toenemende mate toepassing vinden.

Een groot gebied dat eveneens tot mijn onderwerp behoort is de ontwikkeling van de petroleum-chemische industrie, die een hele reeks organisch-chemische verbindingen – andere dan koolwaterstoffen – produceert.

De grondstoffen hiervoor zijn velerlei, aardgas, kraakgassen, hogere olefinen uit dampfase kraken van paraffiene, aromaten uit aardolie via verschillende processen, enz.

De fabricage van chemicaliën uit deze grondstoffen heeft voor een belangrijk deel conventionele bereidingswijzen verdrongen en daardoor in verschillende gevallen voedingsstoffen voor mens en dier gespaard, welke tot dien uitsluitend als grondstof dienden, zoals bij de fabricage van alcohol, zeep en glycerine. In andere gevallen zijn geheel nieuwe stoffen geproduceerd, zoals o.a. de synthetische harsen. De grote vlucht die deze zijde van de verwerking van koolwaterstoffen tot nuttige produkten in de afgelopen 25 jaar heeft genomen bewijst het feit dat meer dan 50% van de organisch-chemische produkten thans uit aardolie of aardgas wordt bereid. De beschikbare tijd belet mij helaas op deze interessante zijde van de technologie der koolwaterstoffen in te gaan.

Het zij mij vergund mijn eerbiedige dank uit te spreken jegens *Hare Majesteit de Koningin*, wie het behaagd heeft mij te willen benoemen tot buitengewoon hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

#### *Mijne Heren Curatoren*

U betuig ik mijn grote erkentelijkheid voor Uw medewerking bij mijn benoeming. Ik verzeker U dat ik het onderwijs en onderzoek naar beste kunnen zal helpen bevorderen en daarbij veel uit mijn lange ervaring in de petroleumtechnologie hoop te kunnen overdragen en benutten.

#### *Mijnheer de Rector Magnificus Hooggeachte DORGELO*

Ik heb het op hoge prijs gesteld, dat U mij destijds hebt aangezocht deel te nemen aan de voorbereidingen die het tot stand komen van deze Hogeschool inluidden.

*Mijne Heren Hoogleraren en Adviseurs,*

De overgang van een industrieel milieu naar dat van een hogeschool betekent een moeilijke stap. De prettige sfeer die ik hier aantref en de geest van samenwerking voor een gemeenschappelijk doel hebben deze overgang aanzienlijk vergemakkelijkt. Ik beschouw het als een groot voorrecht in Uw midden te zijn opgenomen en naar vermogen te kunnen medewerken aan de verwezenlijking van dat doel.

*Mijne Heren Leden van de Afdeling der Scheikundige Technologie,*

De frisse wind die in Uw afdeling waait en die nieuwe en constructieve ideeën brengt doet weldadig aan. In Uw gezelschap heerst het bewuste streven en een ongekende eensgezindheid om die ideeën te verwezenlijken. Ondanks de vele lasten die op Uw schouders rusten blijft de stemming opgewekt.

Gij, waarde VAN LOON, zijt niet alleen voorzitter-beheerder van deze afdeling, doch tevens de drijvende kracht en door Uw enthousiasme de inspirerende geest van dit milieu. Ook als mens heb ik U hogelijk leren waarderen.

Het spreekt vanzelf dat het mij verheugt in Uw afdeling een klein steentje te mogen bijdragen.

*Hooggeachte WATERMAN*

Het is moeilijk in woorden mijn waardering en dank uit te drukken voor alles wat gij voor mij hebt gedaan.

Nog steeds onderga ik bij onze regelmatige contacten de invloed van Uw onuitblusbare werkkraft, Uw doorzettingsvermogen en Uw warme belangstelling voor Uw vak en zijn beoefenaars. Voor mij zijt ge niet alleen een leermeester geweest, doch in alle opzichten een lichtend voorbeeld en een waar vriend. Het verheugt mij zeer van deze plaats mijn oprechte dank te mogen uitspreken.

*Mijne Heren Directeuren, oud-collega's en medewerkers en vrienden van de N.V. De Bataafsche Petroleum Mij,*

Aan de tijd, dat ik bij Uw voortreffelijke maatschappij heb mogen werkzaam zijn heb ik niets dan prettige herinneringen.

Over de gehele wereld, zowel op de laboratoria als in de fabrieken en kantoren heb ik de band van de zo uitgebreide „Shell family” gevoeld. Hierdoor worden contacten zeer vergemakkelijkt en voelt men zich nergens alleen op de wereld. Ik ben U allen zeer erkentelijk voor de prettige samenwerking en de blijken van vriendschap welke ik gedurende die bijna 30 jaren mocht ondervinden en ik hoop dat nu slechts het dienstverband, doch niet de door mij zo gewaardeerde contacten en vriendschapsbanden zijn verbroken.

### *Dames en Heren Studenten,*

Voor ieder Uwer die meekomt duurt het nog vier of vijf jaren voor ge van stapel loopt. Ik bezig deze ongebruikelijke term voor het voltooien van Uw studie, omdat er in dit verband een zekere analogie bestaat tussen U en een schip.

Beide zijn op dat moment niet af en dus niet direct bruikbaar in de praktijk. Er moet nog veel worden aangevuld bij wat als grondslag aanwezig is. Ik zeg U dit geenszins om U nu reeds te ontmoedigen, doch op de eerste plaats om U te behoeden voor zelfoverschatting als ge Uw titel behaald hebt. Op de tweede plaats om U te bewegen een deel van Uw aandacht te wijden aan zaken die U nu misschien nog onbelangrijk voorkomen.

Wat het eerste betreft, in de moderne industrie die U waarschijnlijk als werkkring zult kiezen, zult ge ervaren dat de eenling, hoe knap ook, weinig tot stand kan brengen. Slechts door eerlijke en intensieve samenwerking met vakgenoten en anderen kan men iets bereiken.

Aangaande het tweede punt kunt ge reeds in Uw studietijd eigenschappen en kennis U trachten eigen te maken die Uw entree in de industrie zullen vergemakkelijken. Zo zult ge bepaalde facultatieve vakken meer serieus moeten nemen. Vergeet vooral ook niet dat talenkennis van een onschatbare waarde is en dat een begrip voor kosten in de industrie dikwijls belangrijker is dan veel parate kennis.

Ten slotte nog iets in dit verband dat U later veel teleurstelling kan besparen. Oefen, ten einde U in woord en geschrift duidelijk te kunnen uitdrukken. Welke richting ge ook kiest, dit en talenkennis zullen U van zeer veel nut zijn. Rapporteren mag door velen als een bijkomstige last worden ge-

zien, in de praktijk is het een belangrijk deel van Uw taak, waarin velen falen door gebrek aan helderheid en duidelijke formulering.

Ik wilde besluiten met U te zeggen dat ik zoveel als in mijn vermogen ligt U met raad en daad hoop ter zijde te staan.

Ik dank U allen voor Uw aandacht.