

KAISER-WILHELM-INSTITUT  
FÜR  
KOHLENFORSCHUNG

DIREKTOR: GEH. REG.-RAT  
PROF. DR. FRANZ FISCHER

MÜLHEIM-RUHR, DEN 12. Februar 1943  
FERNSPRECHER 40541 u. 40542

3450 - 30/1501-15

Herrn  
Professor Martin  
Ruhrchemie A.-G.  
Oberhausen - Holten.

1943

VERWALTUNG I.  
1943  
Begrüßung vom 18.2./1943

Sehr geehrter Herr Professor Martin!

Wie ich von Herrn Dr. Pichler hörte, hatten Sie mit ihm fernmündlich die Frage der Möglichkeit einer Verwendung von  $\text{CO}_2 - \text{H}_2$  - Gemischen für die Benzin-Synthese erörtert.

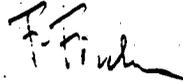
Diese an sich interessante Frage wurde in unserem Institut wiederholt, und zwar auch noch in jüngerer Zeit, bearbeitet. Es ergab sich, dass eine direkte Hydrierung des Kohlendioxyds stets zu Verbindungen mit einem C-Atom im Molekül führt, also beispielsweise zu Methanol oder Methan (zu diesem Thema wird zufällig in der nächsten Nummer der "Brennstoff-Chemie" eine kurze Notiz erscheinen). Höhere Kohlenwasserstoffe können über eine intermediäre Bildung von Kohlenoxyd erhalten werden. Da unter den Temperaturverhältnissen der Synthese höherer Kohlenwasserstoffe aber immer nur ein sehr kleiner Teil des Kohlendioxyds zu Kohlenoxyd reduziert wird, ist das der Synthese zur Verfügung stehende  $\text{CO} - \text{H}_2$  - Verhältnis ungünstig und sind damit auch die Ausbeuten an höheren Kohlenwasserstoffen wesentlich geringer, als bei Verwendung eines aus Kohlenoxyd und Wasserstoff bestehenden Synthesegases.

~~Der Prozess ist an sich durchführbar, wenn die Reduktion~~  
des Kohlendioxyds von der Hydrierung des Kohlenoxyds getrennt wird. Die Kohlendioxydreduktion führt dann unter Verwendung eines  $\text{CO}_2 - \text{H}_2$  - Gemisches 1 : 3 bei  $500^\circ$  in 4 Stufen oder bei etwa  $1000^\circ$  in 1 Stufe zu einem  $\text{CO} - \text{H}_2$  - Gemisch 1 : 2. Je CO-reicher das Synthesegas sein soll und je niedriger die Temperaturen, bei denen gearbeitet wird, umso öfter muss das von der Reduktion des Kohlendioxyds stammende Wasser aus dem Prozess entfernt werden. Ein derartiges Verfahren würde natürlich nicht unbeträchtliche Wärmemengen verbrauchen.

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass eine völlige  
Loslösung der Benzinsynthese von der Kohlebasis nur dann in Frage  
käme, wenn keine Kohle, **aber** ausserordentlich billiger elektro -  
lytischer Wasserstoff zur Verfügung stünde.

Mit besten Grüßen und

Heil Hitler!  
Ihr sehr ergebener



## **Gegenwärtige und zukünftige Möglichkeiten der Gewinnung flüssiger Treibstoffe\*).**

Von Franz Fischer.

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung, Mülheim-Ruhr.

Wenn ich während des Krieges über Möglichkeiten der Gewinnung flüssiger Treibstoffe spreche, so werden Sie verstehen, daß manches selbstverständlich ungesagt bleiben muß. Ich werde daher in diesem halbpopulären Vortrag mich bemühen, Ihnen einen Überblick über das Gebiet zu geben, und einige Gedanken über künftige Möglichkeiten erörtern.

Die jetzige Motorisierung des Transportwesens, also die Beförderung von Menschen und Frachten zu Land, zu Wasser und in der Luft, ist an das Vorhandensein

geeigneter Motore und geeigneter flüssiger Treibstoffe gebunden. Ob dies in hundert oder mehr Jahren noch so sein wird, ist nicht sicher, aber für absehbare Zeit wird die Beschaffung der flüssigen Treibstoffe eine wichtige Aufgabe sein. Wie dies heute geschieht und welche Wege vielleicht später eingeschlagen werden, darüber soll der heutige Vortrag einen Überblick geben.

### **1. Naturbenzin.**

Ende des vergangenen Jahrhunderts wurde der in Deutschland entwickelte Otto-Gasmotor zunächst etwa gleichzeitig von Daimler und von Benz in Fahrzeuge eingebaut und statt mit Gas mit leicht verdampfendem

\* Gehalten im Harnack-Haus, Berlin-Dahlem, Dienstag, den 5. Nov. 1940.

Benzin betrieben. Dieses Benzin war ein Erdölbestandteil, und zwar ein billiges Abfallprodukt. Es war seiner leichten Verdampfbarkeit wegen zu feuergefährlich, um als Leuchtpetroleum verwendet werden zu können. Dieses Benzin wurde aus Erdöl einfach durch Abdstillieren der leichtsiedenden Anteile gewonnen und führte den Namen „Straight-run-Benzin“. Wir wollen es im folgenden einfach Naturbenzin nennen, weil es sich noch im natürlichen Zustand befindet. Ein anderes Naturbenzin wird aus sog. „feuchtem“ Naturgas gewonnen, indem durch Kälte oder Druck oder durch Adsorptionskohle die Homologen des Methans vom Methan abgetrennt werden. Es ist noch leichter flüchtig als das Straight-run-Benzin, im Charakter aber dasselbe. Diese beiden Naturbenzine werden, wie überall, wo es Erdöl und „feuchtes“ Erdgas (Naturgas) gibt, auch in Deutschland gewonnen. Unsere heutige Produktion ist ein Vielfaches von der zu den Zeiten des Weltkrieges.

## 2. Crackbenzin.

Mit der Einführung und raschen Vermehrung der Automobile nahm der Bedarf an Benzin schnell zu, so daß trotz inzwischen gesteigerter Erdölproduktion das bisherige Naturbenzin nicht mehr ausreichte, sondern durch andere flüssige Treibstoffe vermehrt werden mußte. Diese Erscheinung trat nicht nur in Ländern mit geringem Erdölvorkommen auf, sondern sogar in den USA, sah man sich veranlaßt, aus den hochsiedenden Teilen des Erdöls durch Erhitzen unter Druck, d. i. das sog. Crack-Verfahren, weiteres Benzin, das Crackbenzin, zu erzeugen. Ohne weiter auf das Wesen des Crackverfahrens hier einzugehen, sei ergänzend bemerkt, daß, wenn das Crackverfahren bei hohem Wasserstoffdruck ausgeführt wird, der Abbau der großen Moleküle des Erdöls zu den kleineren Molekülen des Benzins den Charakter der destruktiven Hydrierung annimmt.

Daß man dieses künstliche Produkt ebenfalls Benzin nannte, liegt daran, daß das Wort Benzin nicht wie das Wort Benzol eine Bezeichnung für eine bestimmte chemische Verbindung ist, sondern ein Sammelname für leichtsiedende, z. B. zwischen 50 und 200° siedende Kohlenwasserstoffe, die je nach der Art des Erdöls, von dem sie stammen, paraffinischer, olefinischer, hydroaromatischer, ja sogar teilweise aromatischer Natur sein können. Auch die ausländischen Bezeichnungen für Benzin, „gasoline“ in USA, „petrol“ in England, „essence“ in Frankreich, sind solche Sammelnamen für leichtsiedende Kohlenwasserstoffe. Da nun das Crackbenzin aus Kohlenwasserstoffen der genannten Arten besteht, wurde es mit Recht ebenfalls Benzin genannt, wie dies auch mit den synthetischen Produkten geschieht.

## 3. Spezialbenzine.

Bei der Herstellung des Crackbenzins durch thermische Zersetzung der höhersiedenden Erdölbestandteile entstehen zwangsweise nebenher Koks und große Mengen von Gasen, die als Ausgangsmaterial für eine dritte Benzinsorte besonders in USA, Bedeutung erlangt haben. Aus diesen Gasen können durch Polymerisation und durch Alkylierung Spezialbenzine, z. B. das Polymerbenzin und das Alkylierungsbenzin hergestellt werden, die sich durch besonders hohe Octanzahlen auszeichnen, also für besonders wirtschaftliche Motore mit einer hohen Kompression sich eignen.

Schließlich werden heute auch die Naturgase, insbesondere die das Erdöl begleitenden Gase mit ihren  $C_2$ ,  $C_3$ - und  $C_4$ -Kohlenwasserstoffen zur Benzinherstellung

ausgenutzt. Sie werden durch Erhitzen, wobei Wasserstoff abgespalten wird, in Olefine verwandelt und dann mittels Polymerisation oder mittels Alkylierung zu Benzin mit hoher Octanzahl verarbeitet.

Auch die bei der Alkylierung, z. B. aus Isobutan und gasförmigen Olefinen anfallenden höher als Benzin siedenden Kohlenwasserstoffe haben eine erstaunlich hohe Octanzahl. Ihres hohen Siedepunktes wegen sind sie als Sicherheitstreibstoffe vorgeschlagen worden, aber aus demselben Grunde sind sie in den üblichen Vergasern der Otto-Motore schwerer vergasbar.

Ein Treibstoff mit ebenfalls hoher Octanzahl, etwa 100, ist der Isopropyläther, der aus Propylen über den Isopropylalkohol leicht herstellbar ist.

Tafel 1. Isopropyläther als Treibstoff.

|                                    |                     |                       |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Schmelzpunkt                       | - 87° C             |                       |
| Siedepunkt                         | + 67,8° C           |                       |
| Heizwert                           | H <sub>u</sub> 8670 | 10 650 (i-Octan       |
|                                    | H <sub>o</sub> 9380 | 11 400 (zum Vergleich |
| Octanzahl                          | 98—99               |                       |
| Mis h- ohne Pb                     | 101                 |                       |
| octanzahl, mit Pb (1 ccm je Gall.) | 105                 |                       |

## 4. Aromatisiertes Benzin.

Man ist heute auch schon mit der Entwicklung technischer Verfahren beschäftigt, welche gestatten, die paraffinischen und olefinischen Benzine in aromatische Benzine, oder besser gesagt, in Benzolhomologe mit ihrer günstigen Octanzahl zu verwandeln. Es ist zwar schon lange bekannt, aromatenhaltige Benzine durch Cracken zu erhalten, z. B. dadurch, daß man hohe Temperaturen, aber niedrige Drucke verwendet. Voraussetzung für dieses noch rohe Verfahren sind jedoch als Ausgangsstoffe geeignete, an Hydroaromaten reiche Kohlenwasserstoffgemische, andernfalls z. B. bei Verwendung von vorwiegend aliphatischen Gemischen, sind die Ausbeuten an Aromaten ungünstig. Der Grund dafür, der neuerdings klar geworden ist, liegt darin, daß reine, einheitliche Verbindungen, wie z. B. reines Hexan oder reines Heptan sich mit hoher Ausbeute über das entsprechende Olefin zu Benzol bzw. Toluol katalytisch dehydrieren lassen, daß aber jeder dieser Aliphaten dafür seine besondere Temperatur und Einwirkungszeit verlangt. Ein Gemisch von Aliphaten und ebenso ein Gemisch von beliebigen Kohlenwasserstoffen kann deshalb nicht bei einer Einheitstemperatur mit hoher Ausbeute zu Aromaten ge-crackt werden.

Diese Gesichtspunkte für die Aromatisierung gelten auch für das Cracken überhaupt. Wegen des Über-ein-Kamm-Scherens ist das Cracken ein Verfahren, das nicht das Optimum liefern kann, aber es ist doch ein technisches Verfahren von großer Bedeutung, das durch seine Einfachheit auch heute noch wertvoll ist und immerhin je nach dem Ausgangsmaterial entweder aus hochsiedenden Ölen leichtsiedende Benzine liefert, oder aus Benzin mit niedriger Octanzahl solches mit höherer erzeugt. Es würde den Rahmen dieses Vortrages überschreiten, wenn ich noch eingehender über die Vorgänge beim Cracken, z. B. nicht nur über die Bildung kleiner Moleküle aus größeren, sondern auch umgekehrt über die Bildung größerer aus primär entstandenen Bruchstücken sprechen wollte. Daß man hochsiedende Kohlenwasserstoffe statt durch thermische Einwirkung auch katalytisch, z. B. mit Aluminiumchlorid, zu Benzin aufspalten kann, will ich nur erwähnen. Über die Art der dabei entstehenden interessanten Produkte wird bei anderer Gelegenheit berichtet werden.

Diejenigen Länder, die keine großen oder gar keine Erdölvorkommen haben, sind also zum Import gezwungen oder müssen versuchen, auf andere Weise leichtsiedende Kohlenwasserstoffe, die sich als Motortreibmittel eignen, zu erzeugen.

#### 5. Benzol.

Möglichkeiten hierzu bieten zunächst die Gasanstalten und Kokereien, ferner die Schwelereien. Die in letzteren ausgeübte Arbeitsweise, das Erhitzen der Kohlen auf 500 bis 600° unter Luftabschluß, ist genau betrachtet eine destruktive Destillation, bei der geringe Mengen schon vorgebildeter Bestandteile der Kohlen-substanz, hauptsächlich aber größere Mengen an Zersetzungsprodukten abdestillieren. Bei der Arbeitsweise der Kokereien und Gasanstalten, bei denen höhere Temperaturen angewendet werden, findet noch eine zusätzliche thermische Veränderung der Destillationsprodukte statt, wodurch vorwiegend aromatische Verbindungen entstehen. Die Kokereien und Gasanstalten erzeugen neben Koks und Gas noch Teer und Benzol. Letzteres entsteht ungefähr in einer Menge von 1% vom Gewicht der verarbeiteten Kohle. Seine Menge kann nicht wesentlich bei der üblichen Herstellung von Koks und Leuchtgas gesteigert werden. Aber trotz des relativ geringen Umfanges, in welchem es zwangsläufig entsteht, ist die absolute Menge doch recht anscheinlich. Über eine halbe Million Tonnen Benzol werden in Deutschland jährlich erzeugt.

Vor dem Weltkrieg begann in Deutschland die Verwendung von Benzol als Motortreibstoff. Erst nach Überwindung verschiedener Schwierigkeiten gelang seine Einführung. Heute wird es vor allem in Mischung mit Benzin verwendet, da es die motorischen Eigenschaften des Benzins in mancher Hinsicht verbessert. Die Herstellung von Benzol aus Acetylen, die mit etwa 50%iger Ausbeute durch Katalyse möglich ist, hat aus diesem Grunde wenig Aussicht auf Einführung. Dagegen könnte die Benzolsynthese aus Methan von Fischer und Pichler in methanreichen Ländern Bedeutung gewinnen.

#### 6. Alkohole.

Ein anderer einheimischer Treibstoff, der zwar für sich allein verwendbar ist, jedoch vorteilhafter als Mischung zum Benzin oder zu Benzin-Benzol-Gemischen Verwendung findet, ist der Äthylalkohol, das bekannte Gärungsprodukt. Durch die Entwicklung besonderer Destillationsverfahren kann er heute leicht wasserfrei gewonnen werden. Er ist in dieser Form mischbar mit Benzin. Obwohl sein Energieinhalt je Gewichtseinheit und je Volumeneinheit erheblich niedriger liegt als der von Benzin und Benzol, ist seine Mischung doch wertvoll. Er erhöht die Octanzahl, wirkt also in der gleichen Richtung wie Zusatz von Benzol. Er vermehrt gleichzeitig damit die zur Verfügung stehenden Mengen an verbessernden Zusätzen zum Benzin.

Tafel 2. Alkohole als Treibstoffe.

| Treibstoff | Verbrennungswärme, kcal/kg |                | Kp °C |
|------------|----------------------------|----------------|-------|
|            | H <sub>u</sub>             | H <sub>o</sub> |       |
| Äthanol    | 6 400                      | 7 100          | 78,1  |
| Methanol   | 4 630                      | 5 330          | 64,7  |
| Hexan      | 10 670                     | 11 550         |       |
| „Benzin“   | 10 300                     | 11 000         |       |
| i-Octan    | 10 650                     | 11 400         |       |

Der Methylalkohol, heute fast ausschließlich nach Verfahren der IG-Farbenindustrie AG. synthetisch aus Kohlenoxyd und Wasserstoff hergestellt, hat noch geringeren Energieinhalt als der Äthylalkohol. Für sich allein als Treibstoff kaum verwendet, wirkt er aber als Zusatz zu Benzin-Benzol-Äthylalkohol-Gemischen in derselben Richtung wie der Äthylalkohol und wird deshalb aus den gleichen Gründen wie letzterer in begrenzten Mengen, die sich aus seiner geringen Mischbarkeit ergeben, zugesetzt.

#### 7. Schwelbenzin.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß auch die Braunkohlenschwelereien und die noch wenig zahlreichen Steinkohlenschwelereien leichtsiedende Treibstoffe liefern. Es handelt sich dabei um Benzin, das neben Teer und Gas in einer Menge von etwa 1%, der verarbeiteten Kohle anfällt. Die absolute Produktion steht jedoch weit hinter der Benzolproduktion der Kokereien und Gasanstalten zurück. Die ebenfalls mögliche Treibstoffgewinnung mit Hilfe der Schwelvergasung spielt einstweilen praktisch keine Rolle. Die Trennung der Verschmelzung der Kohle von der Vergasung des hinterbliebenen Halbkokes scheint technisch besser beherrschbar zu sein. Außerdem wird die Schwelvergasung ebenfalls nicht mehr als etwa 1% Benzin, bezogen auf die verarbeitete Kohle, ergeben. Dagegen würde eine Cracking der Schwelteere, analog der Cracking des Erdöls, weitere Mengen leichtsiedende Treibstoffe liefern können. Wie wir später sehen werden, ist jedoch die Hochdruckhydrierung der Teere das geeignete Mittel.

#### 8. Druckhydrierung der Kohle.

Aus den vorstehenden Ausführungen ist ersichtlich, daß eine wirklich durchschlagende Vermehrung der leichtsiedenden Treibstoffe für an Erdölen arme Länder nur von der restlosen Verarbeitung der Kohle erwartet werden kann. Dabei muß die Verarbeitung allerdings so geschehen, daß nicht nur etwa 1% leichtsiedender Treibstoffe neben 99% anderer zwangsläufiger und nicht immer absetzbarer Produkte entsteht. Hierzu wurden von der Chemie zwei Möglichkeiten in langjähriger Arbeit eröffnet, und zwar beide in Deutschland. Die eine ist die Hochdruckhydrierung der Kohle, etwas genauer ausgedrückt, die destruktive Hydrierung oder der hydrierende Abbau der Kohle mit Wasserstoff. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß etwa bei der Zersetzungstemperatur der Kohle, also bei ihrer Schweltemperatur von 400 bis 500° C, Wasserstoff unter hohem Druck zur Einwirkung gebracht wird, z. B. von 200 und mehr Atm. Hierbei werden die großen, mit den Huminsäuren verwandten Moleküle, aus welchen die Kohle besteht, mit Wasserstoff zur Reaktion gebracht. Es wird Sauerstoff in Form von Wasser entfernt und Wasserstoff wird angelagert. Man kann es durch Wahl der Bedingungen erreichen, daß vorzugsweise Kohlenwasserstoffe von dem Charakter des Benzins oder des Benzols entstehen, und daß der weitaus größte Teil der Kohle in diese Produkte verwandelt wird. Hierzu wird die feingemahlene Kohle mit Ölen oder Teeren im Verhältnis 2 : 1 bis 1 : 1 zu einer Paste angeteigt und dann mit Pumpen in die Hochdruckapparatur eingepreßt. Dort wird sie mit Wasserstoff bei Drucken bis zu 700 Atm. und Temperaturen zwischen 400 und 500° in der sog. Sumpphase behandelt, wobei sie in flüssige Produkte übergeht. In einem

zweiten Arbeitsgang werden die Primärprodukte in der sog. Gasphase an einem fest angeordneten Katalysator bis zur gewünschten Molekülgröße weiter abgebaut, also bis zum Benzin.

In prinzipiell der gleichen Weise geschieht die Hochdruckhydrierung der Teere u. dgl., z. B. der Braunkohlenschwefeltee sind des Steinkohlenteerpeches.

Die destruktive Hydrierung der Kohle und der Teere stammt von Bergius. Bekannt wurde sie unter dem Namen „Kohleverflüssigung“. Die I. G. Farbenindustrie hat das Verfahren durch die Auffindung und Anwendung giftfester Katalysatoren verbessert, als Zwei-Phasen-Verfahren entwickelt und in die Großtechnik eingeführt. Auf diese Weise wird heute ein Vielfaches der deutschen Benzolproduktion an künstlichem Benzin hergestellt. Auf die Angabe von Produktionszahlen muß z. Z. verzichtet werden. Die dabei erzielten Benzinsorten sind keineswegs in ihrer Zusammensetzung unabhängig vom Ausgangsmaterial, z. B. davon, ob man Braunkohlenschwefeltee oder ob man Steinkohle selbst hydriert, aber auch durch die Wahl von Katalysator, Temperatur und Druck kann der Charakter der Produkte weitgehend variiert werden.

#### 9. Synthese ausgehend von Kohlenoxyd.

Im Gegensatz zu dem hydrierenden Abbau steht nun das aufbauende Verfahren der Kogasin-Synthese, das von meinem Mitarbeiter Tropisch und mir stammt. Hier wird zunächst Kohle oder Koks in Wassergas, d. h. in ein Gemisch von Kohlenoxyd- und Wasserstoff in altbekannter Weise verwandelt. Das Gasgemisch wird auf eine Zusammensetzung von  $\text{CO} : \text{H}_2$  wie 1 : 2 gebracht und dann weitgehend von allen Schwefelverbindungen nach neuem Verfahren gereinigt.

Mit Hilfe besonders aktiver Katalysatoren, welche z. B. Kobalt als wirksames Metall enthalten, bildet sich schon ohne Anwendung von Druck bei Temperaturen von weniger als 200 C das sog. Kogasin, das sind Kohlenwasserstoffe der aliphatischen Reihe, von denen ungefähr 60% innerhalb der Siedegrenzen des Benzins liegen. Sie bestehen aus gesättigten und einfach ungesättigten, meist unverzweigten Aliphaten. Geringe Mengen verzweigter sind vorhanden. Unterhalb des Benzinsiedepunktes werden 10-15% Gasol, oberhalb desselben Dieselöl und feste Paraffine gewonnen.

Das Benzin wird durch Mischen mit Benzol oder durch Zugabe von Bleitetraäthyl auf die nötige Octanzahl gebracht. Wie aus Tafel 3 zu ersehen ist, hat es eine recht günstige Bleiemfindlichkeit. Die Olefine des Kogasins können durch Polymerisation oder Alkylierung,

Tafel 3. Verbesserung der Klopfestigkeit verschiedener Benzine durch 0,8 cm<sup>3</sup> Bleitetraäthyl je Liter.

| Benzin                   | Octanzahl |          |
|--------------------------|-----------|----------|
|                          | ohne Blei | mit Blei |
| Kogasin I 25-130 .....   | 61        | 81       |
| „Isobenzin“ 28-160 ..... | 70,5      | 92       |
| Alkylierungsbenzin ..... | 91        | 109,5    |
| Erdöl-Crackbenzin .....  | 68,5      | 75       |

wie schon beim Erdöl besprochen, zu Produkten besonders hoher Octanzahl verarbeitet werden. Außerdem können die Olefine auch durch Katalyse mit Aluminiumchlorid in wertvolle Schmieröle verwandelt werden, die besonders in ihrer abgesättigten, farblosen Form praktisch unveränderlich sind. Die flüssigen Paraffinkohlen-

wasserstoffe des Kogasins können infolge der Fortschritte auf dem Gebiete der Isomerisierung, so weit es sich um die niedrigeren Glieder handelt, heute ohne Änderung der Molekülgröße, also ohne Spaltung, in ihre klopf-festeren Isomeren verwandelt werden. Diese Isomeren werden entweder als klopfeste Kraftstoffe für sich verwendet, oder mit Olefinen zwecks Alkylierung zur Reaktion gebracht. Bei den höhersiedenden Paraffinkohlenwasserstoffen kann bei der Isomerisierung das Einsetzen einer Spaltung heute noch nicht vermieden werden. Sie liefern dabei ein Gemisch verschiedener Isomere, die teils von gleicher, teils von niedrigerer und teils von höherer Molekülgröße sind als das Ausgangsmaterial.

Das Dieselöl ist sehr gut geeignet für schnell laufende Dieselmotoren. Es wird aber vielfach auch zur Verbesserung weniger guter Diesellole anderer Herkunft verwendet.

Das Gasol, welches aus gesättigten und olefinischen Kohlenwasserstoffen mit 3, 4 und 5 Kohlenstoffatomen im Molekül besteht, wird als Treibgas, sog. Flüssiggas, verwendet. Seine Olefine können aber auch zu Alkoholen und, wie schon erwähnt, zu Alkylierungsbenzinen verarbeitet werden.

Vor wenigen Jahren wurde von Pichler und mir die sog. Mitteldruck-Synthese an Kobaltkatalysatoren gefunden, die ebenfalls bei etwa 200 C, aber bei 10, bis 15 Atm. betrieben wird. Der hohen Ausbeute an festem Paraffin entsprechend eignet sie sich vor allem zur Paraffinerzeugung. Auf Grund weiterer Forschungsarbeiten ist damit zu rechnen, daß später an Stelle der Kobaltkatalysatoren bei der Kogasin-Synthese und der Mitteldruck-Synthese die billigeren Eisen-Katalysatoren treten können.

Sowohl die destruktive Hydrierung der Kohle als die aufbauende Kogasin-Synthese sind in die Großtechnik eingeführt, die eine von der I. G. Farbenindustrie AG., die andere von der Ruhrechemie AG., und ergänzen sich infolge der Verschiedenheit der Produkte. Beide zusammen gestalten, sämtliche Erzeugnisse der verschiedenen Erdölarten herzustellen, sowohl die des aromatenhaltigen niederländisch-indischen als die des paraffinischen pennsylvanischen Erdöls und die aller dazwischen liegenden Erdölsorten.

Ob noch andere Möglichkeiten grundsätzlich neuer Art zur Herstellung von flüssigen Treibstoffen, ausgehend von Kohle, außer der abbauenden Hydrierung der Kohle und der aufbauenden Hydrierung des Kohlenoxyds, sich werden finden lassen, ist ungewiß. Aber solange Kohle vorhanden ist, und dieses ist ja in Deutschland für viele Jahrhunderte der Fall, reichen die beiden Verfahren aus.

#### 10. Gas statt flüssiger Treibstoffe.

Der Ersatz flüssiger Treibstoffe durch Miführen von komprimiertem Leuchtgas oder Methan dürfte nur in Sonderfällen in Frage kommen, insbesondere für Transportfahrzeuge mit geringem Aktionsradius. Dagegen wird wohl die schon weitgehend eingeführte Verwendung von Flüssiggas (Gasol) beibehalten werden. Der Betrieb von Fahrzeugmotoren mit Acetylen, das auf dem Fahrzeug aus Calciumcarbid entwickelt oder als sog. Dissousgas mitgeführt wird, kommt ebenfalls nur in Sonderfällen in Frage. Der Vorschlag, flüssiges Ammoniak als Treibgas zu verwenden, hat aus verschiedenen Gründen wohl kaum Aussicht auf Verwirklichung.

Der Ersatz flüssiger Treibstoffe durch feste Treibstoffe im Generatorwagen, also durch Vergasung von Holz oder Holzkohle, von Torf oder Torfkoks, oder von Braunkohlenbriketts und Anthrazit, oder von den Halbkoks der Braunkohle und Steinkohle, ist nicht in jeder Beziehung ein vollwertiger Ersatz, da er nicht die Annehmlichkeiten der flüssigen Treibstoffe, wohl aber eine Reihe von Erschwerungen mit sich bringt. Er ist eine wertvolle Maßnahme, um an flüssigen Treibstoffen zu sparen, und er wird in Sonderfällen, wie z. B. in der Landwirtschaft oder in der Forstwirtschaft oder in Kolonien seine dauernde Berechtigung finden.

## II. Synthese aus $\text{CO}_2$ und elektrolytischem $\text{H}_2$ .

Obwohl noch lange keine Notwendigkeit vorliegt — reichen doch unsere Kohlenvorräte bei der jetzigen Förderung noch viele Jahrhunderte —, ist es doch interessant, zu prüfen, ob flüssige Kraftstoffe auch hergestellt werden könnten, wenn einmal oder wenn irgendwo keine Kohle vorhanden ist. Die Kohlensäure, die vielen Gegenden der Erde in großen Mengen entströmt, könnte als Kohlenstoffbasis für flüssige Treibstoffe herangezogen werden. In Verbindung von mit Wasserkraft durch Elektrolyse erzeugtem Wasserstoff ist es, wie wir bereits wissen, möglich, ein Gemisch von Kohlenoxyd und Wasserstoff herzustellen, aus dem durch Synthese Kogasin gewonnen werden kann. Es scheint aber auch möglich zu werden, Kogasin direkt aus Kohlensäure und Wasserstoff unter besonderen Bedingungen herzustellen.

Welches wären nun ausreichende Quellen für Wasserstoff und Kohlensäure?

Für den Wasserstoff kommt die Elektrolyse des Wassers in Betracht. Man sage nicht, der elektrolytische Wasserstoff sei noch zu teuer. Niemand weiß, ob man ihn in einigen Jahrzehnten nicht viel billiger herstellen kann, z. B. kann die Wasserelektrolyse sicher noch mit niedrigerer Spannung betrieben werden als heute. Als Energiequelle für den Antrieb der Dynamomaschinen kommt die Wasserkraft der Flüsse, kommt Ebbe und Flut, vielleicht auch die Energie der Brandung in Frage. Auch alle anderen noch ausnutzungsfähigen Energiearten, wie Windkraft, Sonnenstrahlung und Erdwärme sind nicht ausgeschlossen. Schließlich ist auch die Energie der vulkanischen Dampf- und Kohlensäureausströmungen zu denken, wie ich gleich noch etwas näher erläutern werde.

Kohlensäure aus der Luft (3 Teile auf 10 000 Teile) zu entnehmen, wird wohl kaum praktisch sein, obwohl das Gesamtgewicht der Kohlensäure in der Erdluft nicht weniger als etwa 2 Billionen Tonnen beträgt. Die ungeheuren Lager an kohlensaurem Kalk in Form unserer Kalkgebirge, die viel mehr Kohlenstoff enthalten als die ganzen Kohlenvorräte der Erde, sind eine unerschöpfliche Quelle dafür. Allerdings müßte die Kohlensäure erst durch einen thermischen Prozeß, z. B. auf elektrischem Wege, ausgetrieben werden. Für den hinterbliebenen gebrannten Kalk wird eine großzügige Verwendung, z. B. zur Verbesserung kalkarmer Böden, sich schon finden.

Während die Abgase unserer industriellen Feuerungen an sich ebenfalls als Kohlensäurequellen herangezogen werden könnten, müßte aber aus ihnen die Kohlensäure erst angereichert werden. Dagegen bieten die vulkanischen Kohlensäureausströmungen große Mengen reines Kohlendioxyd und anscheinend für lange Zeiten.

Ich habe mit Mitarbeitern vor einigen Jahren, als wir auf der Suche nach Helium waren, viele Ausströmungen trockener Kohlensäure, sog. Mofetten, in der Eifel untersucht und dabei beobachtet, daß neben den schon bekannten Ausströmungen noch zahlreiche diffuse Ausströmungen vorhanden sind, die man im allgemeinen nicht bemerkt, weil man nicht durch das Durchperlen der Kohlensäure durch einen Wassertümpel darauf aufmerksam gemacht wird. Systematische Bohrungen nach ergiebigen Mofetten, im Gegensatz zu den bekannten Sprudelbohrungen, sind mir nicht bekannt. Man könnte aber mit Ausströmungsdrucken bis zu etwa 60 atü rechnen, so daß mit einem Kohlensäuremotor gleichzeitig ein Teil der Kraft für die Wasserelektrolyse gewonnen werden kann. Daß es sich hierbei nicht um Unmögliches handelt, möchte ich Ihnen an dem Beispiel des Vulkankraftwerkes Larderello in Toscana zeigen, das ich vor 2 Jahren habe eingehend besichtigen können. Dort handelt es sich um vulkanische Dampfausströmungen, die schon seit Jahrhunderten bekannt sind und Borsäure absetzen. Mit der Borsäurefabrikation hat die dortige Industrie begonnen. Im Laufe der Jahre hat man gelernt, durch Tiefbohrung gewaltige Mengen von Dampf mit einem Druck von etwa 3 atü zu fassen. Heute werden allein in Larderello — es gibt in Toscana noch mehr solche Werke — etwa 50 000 kW elektrische Energie mittels Dampfturbinen gewonnen. Ein Teil dieser Energie dient zum Betrieb der elektrischen Bahn Florenz—Rom. Der vulkanische Dampf führt Kohlensäure mit, die man leicht gewinnen kann. Man hat berechnet, daß mit ihr und mit elektrolytischem Wasserstoff immerhin allein in Larderello sich 30 000 Tonnen Kogasin jährlich würden herstellen lassen.

Einige Bilder, die ich Ihnen zeigen werde, entnahm ich Heft 18 der Zeitschrift „Petroleum“ des Jahres 1938 aus dem Aufsatz des Tiefbauingenieurs Anton Pois, Wien.

## 12. Biologische Treibstoffgewinnung.

Eine praktisch ebenfalls unerschöpfliche Quelle für flüssige Treibstoffe ist die biologische Gewinnung, indem jährlich anfallende landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Produkte geeigneter Gärung unterworfen werden. Der bekannteste und von mir schon erwähnte Fall der Herstellung eines Kraftstoffes durch Gärung ist der aus Äthylalkohol. Seines geringen Energieinhaltes wegen kann er allein schlecht gebraucht werden, wohl aber in Mischung mit anderen Gärungsprodukten. Ich will hier nur einen Sonderfall<sup>1)</sup> erwähnen: die Buttersäuregärung. Buttersäure läßt sich leicht durch Gärung von cellulose- und stärkehaltigem pflanzlichem Material verschiedenster Art gewinnen. Die Buttersäure kann nun entweder durch Elektrolyse in Hexan, also einen Bestandteil des Benzins übergeführt werden, vorteilhafter ist jedoch die katalytische Zersetzung von Buttersäure bei 400° C an Thoriumkontakten. Ebenso kann auch buttersaures Calcium durch thermische Zersetzung in guter Ausbeute zerlegt werden. In beiden Fällen entsteht Di-n-propylketon, in beinahe 100%iger Ausbeute der Theorie. Dieses Keton hat einen Schmelzpunkt von —34° C und einen Siedepunkt von 143° C. Das Keton ist gut als Treibstoff verwendbar, ebenso in Mischung mit Äthylalkohol. Die Octanzahl beträgt 92 für das Keton allein, für Mischungen mit Äthylalkohol liegen die Werte noch höher. Bemerkt sei, daß auch wasserhaltiger

1) Vgl. Kraftstoff 15, 518 (1939).

Alkohol zugemischt werden kann. Da beide Komponenten, der Äthylalkohol und das Keton, aus den jährlichen Ernten hergestellt werden können, so wäre bei diesem Beispiel eine Erschöpfung von Vorräten vermieden. Wir haben nun 2 Fälle bereits kennengelernt, auf die man in fernerer Zeiten zurückgreifen könnte, wenn ein Mangel an Kohle auftreten sollte. In letzterer Hinsicht braucht man sich jedoch, wie wir alle wissen, noch lange keine Sorgen zu machen.

### 13. Andere Formen der Transportenergie.

Aber da wir nun doch einmal in die Zukunft sehen, scheint es berechtigt zu fragen, ob man die Transportenergie nicht später überhaupt in anderer Form mitführen könnte. Bei aller Genugtuung über das bisher auf dem Gebiet „flüssige Treibstoffe aus Kohle“ Erreichte darf man nicht übersehen, daß dies noch nicht der ideale Weg für die Transportenergie ist; denn der übliche Otto-Motor wandelt nur rd. 20% der Verbrennungswärme in mechanische Energie um, 80% werden unnützerweise in Wärme verwandelt. Außerdem ist zu beachten, daß bei der Treibstoffsynthese aus Kohle ganz roh gerechnet aus den für den Prozeß verbrauchten Wärmeeinheiten der Kohle nur die Hälfte in Form von Benzin erscheint. Dieser Verlust liegt zum größten Teil an dem Energieverbrauch der Vergasung, zum kleineren Teil an der bei der-Synthese-freierwerdenden Reaktionswärme.

Rechnet man alles zusammen, so ergibt sich, daß der Otto-Motor nur 10% der WE in mechanische Energie umwandelt, die in der ursprünglich aufgewendeten Kohle verfügbar waren. Daher kommt auch die immer wieder auftretende Forderung nach der direkten motorischen Verwendung der festen Brennstoffe. Aber einstweilen gibt es eben, wenn es sich um große Leistungen bei kleinem Gewicht handelt, also für die schnellen Motorwagen und für die Flugzeuge, noch keine andere Möglichkeit der Energieversorgung als durch flüssige Kraftstoffe.

Wenn man in der Lage wäre, Verbrennungswärme auf den Fahrzeugen selbst in elektrische Energie umzuwandeln und zum Antrieb von Elektromotoren zu verwenden, würde das Bild erheblich günstiger. Aber die bisherigen Thermoelemente leisten höchstens 2% elektrische Energie, bezogen auf die angewendete Wärme. Vielleicht findet man im Laufe der Jahrzehnte neuartige Wärme-Elektrizitäts-Umwandler unter Anwendung ganz neuartiger Legierungen. Vielleicht findet man auch statt der bisherigen immer noch zu schweren Akkumulatoren grundsätzlich andere Speicherarten für Elektrizität, vielleicht vom Typus der Kondensatoren, mit besonders gutem dielektrischem und durchschlagfestem Material. In beiden Fällen würden also neuartige chemische Stoffe mit neuen Eigenschaften notwendig werden. Auch auf diesem Gebiet zeigen sich der Chemie noch bedeutende Aufgaben.