

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 66 (1948)
Heft: 43

Artikel: Der heutige Stand der Hydrierung und Synthese von Kraftstoffen und ihre Bedeutung für die Welterdölwirtschaft
Autor: Wilke, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-56815>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der heutige Stand der Hydrierung und Synthese von Kraftstoffen und ihre Bedeutung für die Welterdölwirtschaft

DK 662.743:665.58

Von Prof. Dr. W. WILKE, Heidelberg

Unsere wichtigsten Energieträger sind heute Kohle und Erdöl. Bild 1 zeigt die Entwicklung der Weltförderung und lässt deutlich die zunehmende Bedeutung des Erdöls erkennen. Das Gewichtsverhältnis Kohle : Oel fiel von 50 : 1 im Jahre 1910 auf rd. 3 : 1 im Jahre 1947; heizwertmässig ist ein Verhältnis von 2 : 1 nahezu erreicht. Wegen der besseren Ausnutzung zur Erzeugung von Wärme und elektrischer Energie verschiebt sich das Verhältnis der Nutzenergien weiter erheblich zu Gunsten der flüssigen Brennstoffe.

Die neueste Entwicklung deutet auf die weitere Steigerung des Verbrauches von Erdöl hin. Der Hauptverbraucher ist zwar noch immer die Kraftfahrt und die Luftfahrt. Aber ebenso wie in der Schifffahrt weitgehend die Kohle durch die flüssigen Treibstoffe ersetzt wird, so ist auch bei der Eisenbahn der Dieselmotor stark im Vordringen. So kommen bei Neubauten in Amerika auf eine Dampflokomotive neun Diesel-Lokomotiven, und es stehen bereits 3000 Diesellokomotiven in Betrieb. Aber auch in der Industrie und im Haushalt werden zunehmend flüssige Brennstoffe statt Kohle verwendet (automatische Oelfeuerungen).

Im krassen Gegensatz zu dieser Entwicklung stehen die Erdölvorräte der Welt. Sie sind von C. Rayner im Auftrage des Amerikanischen Staatsdepartements anfangs 1947 auf insgesamt 10 bis 11 Mia t geschätzt worden. Davon befinden sich auf der westlichen Erdhälfte rd. 4,8 Mia t (in USA allein rd. 3,4 Mia t). Die Sowjetunion soll nach Rayners Schätzungen etwa 1,6 Mia t besitzen, der mittlere Osten etwa 4,2 Mia t. Die amerikanischen Gesellschaften besitzen an Konzessionen ausserhalb ihres Kontinentes etwa 2,7 Mia t. Die USA verfügen demnach einschliesslich ihrer eigenen Vorräte etwas über 6,1 Mia t oder nicht ganz 60 % der gesamten Oelvorräte der Welt.

Die dermassen eingeschätzten Weltvorräte würden in weniger als 20 Jahren erschöpft sein, sollte der Verbrauch weiter wie bisher ansteigen. Auf diese drohende Erschöpfung ist immer wieder besonders in Amerika hingewiesen worden. Zwar hat man stets neue Felder entdeckt, und dies mag auch in Zukunft der Fall sein. Ob nun aber die Vorräte für 30 oder 40 Jahre reichen, die Erschöpfung bleibt als sehr ernste Drohung bestehen, und es wäre kurzsichtig und unverantwortlich, auf neue Entdeckungen allein zu vertrauen.

Wie sehr man in Amerika den Ernst der Sachlage erkennt, zeigt sich darin, dass man in alte verlassene Oelfelder geht, um das im Boden verbliebene Oel, dessen Produktion sich seinerzeit nicht mehr lohnte, nach neuen Methoden zu gewinnen. In der Frühzeit der Erdölförderung liess man nämlich bis 75 % des Gesamtöls im Boden. Heute dringt man zu immer tieferen Lagerstätten vor¹⁾, was die Gesteinskosten naturgemäss erhöht. Erschöpfungsanzeichen, die zum Nachdenken mahnen, sind die geringeren Erfolge bei neuen Bohrungen. So erwiesen sich von den über 5000 im Jahre 1946 niedergebrachten Bohrungen nur 20 % fruchtig.

Die drohende Erschöpfung des Erdöls in der Welt und die reichen eigenen Kohlevorkommen veranlassten in den 20er Jahren in Deutschland das Erforschen der Synthese von flüssigen Treibstoffen. Damals war die Lage auf dem Oelmarkt auch in Ame-

rika sehr ernst, da bis Mitte 1920 keine neue Reserven entdeckt waren. Nach Auffinden der grossen Vorkommen in Ost-Texas besserte sich die Versorgungslage sehr beträchtlich. In Deutschland haben die Badische Anilin- und Soda-fabrik (BASF), Ludwigshafen/Rhein, das Hydrierverfahren und die Kohleindustrie das Syntheseverfahren ausgebildet. Das erste ist mit den Namen Bergius und Pier, das zweite mit den Namen Fischer und Tropsch verknüpft.

Bei der Aufnahme des Hydrierverfahrens war die 1923 gelungene Methanolsynthese ausschlaggebend. Die BASF konnte sich auf langjährige Erfahrungen stützen, die sie bei der Hydrierung von Ammoniak²⁾ und Methanol gewonnen hatte; die Hydrierung der Kohle war eine folgerichtige Weiterentwicklung dieser Verfahren. Während aber hier gasförmige Ausgangsstoffe von eindeutiger Beschaffenheit vorliegen, sind bei der Benzinsynthese feste und flüssige Rohstoffe von verschiedenster Zusammensetzung mit Wasserstoff zur Reaktion zu bringen. Zum Unterschied von Bergius, der bei der thermischen Spaltung von Kohle ohne Katalysatoren Wasserstoff bei hohem Druck und bei hoher Temperatur anlagerte und dabei in der Hauptsache hochsiedende Oele bei etwa 50 % Umwandlung der Kohle gewann, geht beim Verfahren der BASF eine nahezu vollkommene Umwandlung der Kohle in Treibstoffe und andere Mineralölprodukte hoher Qualität in Gegenwart von Katalysatoren vor sich. Das Auffinden geeigneter Katalysatoren, die eine eindeutige Reaktionslenkung erlauben, war eine der grössten Schwierigkeiten. Besonders bewährten sich Verbindungen von Elementen der 5. und 6. Gruppe des periodischen Systems. Die Katalysatoren haben folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. gleichzeitig die Spaltung der Kohlemoleküle und die Wasserstoffanlagerung zu beschleunigen;
2. die Reaktionen in Richtung der gewünschten Endprodukte (Benzin, Dieselöl, Schmieröl u. a.) zu lenken;
3. die Bindung der unbrauchbaren Elemente in der Kohle (O, N, S) an Wasserstoff und damit deren Entfernung zu bewirken;
4. unempfindlich und giftfest gegen in der Kohle enthaltenen Schwefel und andere Stoffe zu sein.

Die Hydrierung wird in zwei Stufen, der Sumpffphase und der Gasphase, durchgeführt, wie es das Schema Bild 2 zeigt. In der Sumpffphase (Kohleofen) werden die asphalthaltigen oder asphaltbildenden Stoffe, wie Kohle, Teer und Erdölrückstände mit geringen Mengen von fein verteiltem Katalysator versetzt. Die feingemahlene Kohle wird mit einem Schweröl, das in der Sumpffphase anfällt, zu einem Kohlebrei aufbereitet und pumpfähig gemacht. Die Stoffe werden dann in Gegenwart von Wasserstoff unter einem Druck von 200 bis 700 at bei Temperaturen von 450 bis 500 ° C in niedriger siedende Oele umgesetzt. Diese werden dann in der darauffolgenden Gasphase (Benzinofen) bei Temperaturen um 400 ° C in Form von Dampf über einen fest angeordneten Katalysator geführt und wandeln sich dabei in Benzin oder Dieselöl um.

Die Anwendung hoher Drücke verursachte anfänglich erhebliche Schwierigkeiten, die aber heute überwunden sind. Sie bietet andererseits grosse Vorteile, vor allem dank des guten Wärmeübergangs hochgespannter Gase, der kleine Abmessungen von Wärmeaustauschern ermöglicht. Die Verdichtungsarbeiten sind nur etwa doppelt so gross wie die bei andern Verfahren mit Drücken von rd. 20 at und liegen in wirtschaftlich durchaus tragbaren Grenzen.

Bei Kohle geht der Prozess mit einem thermischen Wirkungsgrad von etwa 40 % vor sich. Die Produktion von 1 kg Benzin erfordert etwa 4,5 kg Steinkohle. Ausser dem Benzin fallen noch mindestens 20 % Flüssiggase an, die ebenfalls der Kraftfahrt zugeführt werden können. Vom Kohleinsatz wird als eigentliche Hydrierkohle, die in flüssige Kraftstoffe übergeführt wird, nur rd. ein Drittel gebraucht. Normaler-

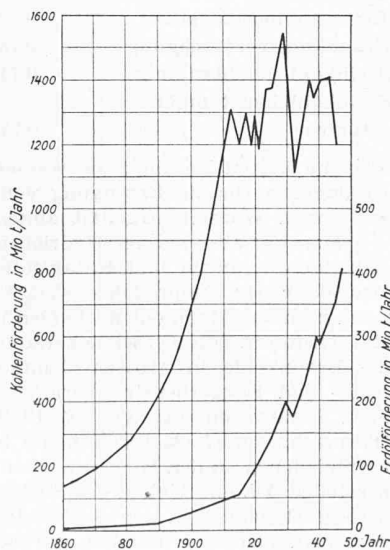


Bild 1. Weltförderung an Kohle und Erdöl pro Jahr

¹⁾ Vgl. SBZ, 1948, S. 563.

²⁾ Die Ammoniaksynthese war aus ähnlichen Erwägungen um die Jahrhundertwende auf Grund eines alarmierenden Artikels des bekannten englischen Chemikers Crookes über die Erschöpfung des Chilesalpeters aufgenommen worden.

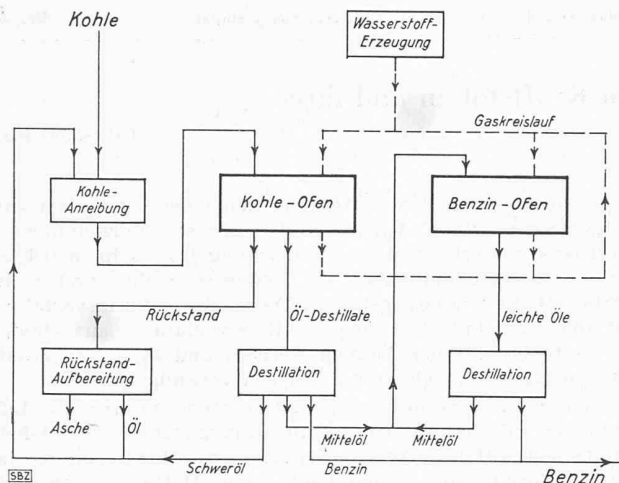


Bild 2. Schema der Benzingerzeugung aus Kohle

weise wird eine Gasflammkohle verwendet, ihr Kohlenstoff wird zu etwa 96 bis 97 % in die Hydrierprodukte übergeführt, so dass der Vorgang der Hydrierung, d. h. die Anlageung des Wasserstoffs an die Kohle, mit hoher Ausbeute vor sich geht. Etwas mehr als ein Drittel des Kohleinsatzes dient zur Erzeugung des Wasserstoffes, was in üblichen Generatoren oder in Winklergeneratoren mit anschliessender Konvertierung des Kohlenoxyds in Wasserstoff vor sich geht. Der Rest der aufzuwendenden Kohle benötigt die Erzeugung der Energien (Kraft und Wärme). Hierfür kann ebenso wie für die Wasserstoffherzeugung geringwertige Kohle verwendet werden, deren Absatz sonst schwierig wäre. Gerade dieser Umstand erhöht die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

Bild 3 zeigt schematisch den Wärmehaufwand der Hydrierung, wie er sich für 1 kg Benzin und 0,24 kg Flüssiggas als Endprodukte ergibt. Der Einsatz für die Hydrierkohle ist zu 1,55 kg und der Einsatz für die Wasserstoffherzeugung zu 1,7 kg angenommen worden. Der Wirkungsgrad der eigentlichen Hydrierung einschließlich der Wasserstoffherzeugung, also das Verhältnis des Energieinhaltes der Endprodukte zu dem der aufgewendeten Kohle, erreicht Werte über 50 %. Er wird durch den Einsatz der Kohle für die Energien auf rd. 42 % gesenkt. In Wirklichkeit ist das Wärmediagramm viel verwickelter, besonders dadurch, dass Restgase wieder in den Kreisprozess zurückgeführt werden, Wärmetönungen auftreten u. ä. Die Hydrierverluste lassen sich ohne Zweifel noch verringern, da viele Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden sind, die sich vor allem bei der Hydrierung in der Sumpfhase auswirken und die Ausbeute erhöhen.

Zur Erzeugung des Wasserstoffes aus Abfallkohle, besonders aus aschereichen Staubkohlen, eignet sich der bei der BASF entwickelte Winklergenerator gut. Er besteht aus einem großen ausgemauerten zylinderförmigen Schacht, der unten durch einen Rost abgeschlossen ist. Der Kohle- oder Koksstaub wird abwechselnd durch Luft und Dampf, die durch den Rost in den Schacht treten, in einer tanzenden Bewegung gehalten und dabei vergast. Das entstehende Wassergas, das ein hinter dem Generator angeordneter Zyklon von mitgerissener Asche und Staub angefreit, enthält CO , CO_2 und H_2 . Das CO wird in üblicher Weise in CO_2 und H_2 übergeführt und anschliessend das CO_2 unter einem Druck von 25 at ausgewaschen. Da der Vorgang der Wasserstoffherzeugung mit einem Wirkungsgrad von etwa 50 % vor sich geht, so ist hier bei der erheblichen Menge an Wasserstoff, die zur Kohlehydrierung erforderlich ist, die Hauptursache für den grossen Aufwand an Kohle zu suchen.

Der Wasserstoffverbrauch wird bedeutend verringert, wenn als Ausgangsprodukt nicht Kohle, sondern Teere (Steinkohlen- oder Braunkohlenteere) mit einem Wasserstoffgehalt von 8 bis 10 % oder wenn Erdölrückstände mit einem Wasserstoffgehalt von 10 bis 11 % verwendet werden. In der gleichen Anlage können dann mehr Fertigprodukte erzeugt werden. Gerade in dieser Aufarbeitung von Teeren und Erdölrückständen tritt die besondere Bedeutung der Hydrierung zutage, vor allem bei Ausgangsprodukten von geringerer Qualität, z. B. Rückständen mit hohem Schwefelgehalt, die sich nach anderen Verfahren nicht auf hochwertige Produkte auf-

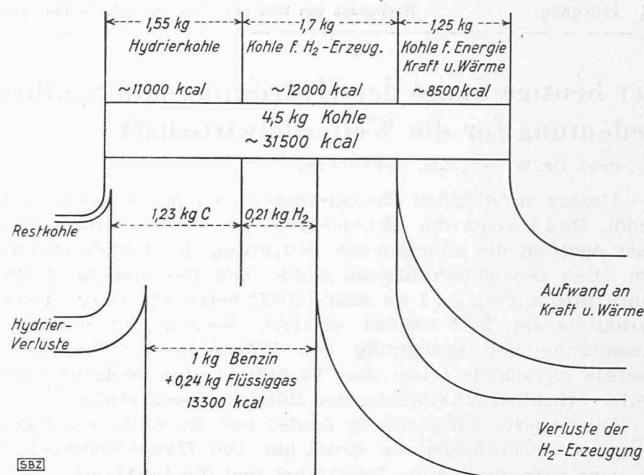


Bild 3. Wärmebilanz der Kohlehydrierung

arbeiten lassen. In der Möglichkeit, in der gleichen Anlage die verschiedenen Rohstoffe aufarbeiten zu können, liegt weiter ein grosser Vorteil der Hydrierung. Die Stoffbilanz einer Braunkohlenteer-Hydrierung zeigt Bild 4.

Für die Produktion kann sich auch recht günstig die Vereinigung der Hydrierwerke mit Schwelereien auswirken, wie sie in Bild 5 schematisch dargestellt ist. Hierfür verwendet man teerreiche Braunkohle. Wird damit, wie es z. B. in Mitteldeutschland der Fall ist, noch ein Kraftwerk zur Elektrizitätsversorgung verbunden, dem der anfallende Schwelkoks als Brennstoff dient, so entsteht ein geschlossener Betrieb, in dem die Kohle mit hoher Wirtschaftlichkeit ausgenützt wird.

Etwas ähnliches liegt bei der Koppelung von Hydrierwerk und Bunawerk vor. Die anfallenden Gase in der Hydrierung, nämlich Propan und Butan, lassen sich zwar als Speichergase (Flüssiggase) in der Kraftfahrt benutzen, doch ist ihre Verwendung in der chemischen Industrie viel zweckmässiger. Sie werden im Bunawerk in ungesättigte Gase übergeführt und der freiwerdende Wasserstoff kehrt in die Hydrierung zurück.

Der Wirkungsgrad der Hydrierung ist praktisch der gleiche, ob Steinkohle oder Braunkohle verwendet wird. Der Unterschied liegt in der Qualität der Produkte. Verarbeitet man z. B. Mittelöl aus Braunkohlenschwelteer, aus Braunkohle, aus Steinkohle und aus Steinkohlenhochtemperaturteer unter vergleichbaren Bedingungen mit dem gleichen Katalysator, so ist das spezifische Gewicht und die Oktanzahl des Benzins um so höher, je wasserstoffärmer das verarbeitete Öl ist (Tabelle 1). Die wasserstoffarme Steinkohle liefert

Tabelle 1

Autobenzin aus Mittelölen von	Spez. Gewicht	Oktanzahl (Motormethode)
Braunkohlenschwelteer .	0,734	65
Braunkohleerflüssigung	0,735	66
Steinkohleerflüssigung .	0,745	74
Steinkohlehochtempera- turteer	0,748	75

also die besten Benzine; die wasserstoffreichere Braunkohle ist dagegen für die Erzeugung von Dieselloilen, bei denen es auf hohen Wasserstoffgehalt ankommt, besonders geeignet.

Man hat aber bei der Hydrierung durch Wahl geeigneter Arbeitsbedingungen und Katalysatoren die Möglichkeit, den Charakter der Endprodukte weitgehend zu beeinflussen. So kann man aus Steinkohlennittelölen mittels stark hydrierender Katalysatoren gute Dieselloile herstellen, und umgekehrt wurde die Braunkohle in grossem Umfang zur Erzeugung guter Auto- und Fliegerbenzine herangezogen. Fliegerbenzine, die nach Zusatz von 0,12 Vol. % Bleitetraäthyl die geforderte Oktanzahl von 87 (Motormethode) haben, lassen sich aus den verschiedenen, in den Hydrierwerken verarbeiteten Rohstoffen herstellen. Da ein Senken des Siedeendpunktes den Klopffwert verbessert, legt man den Siedeendpunkt von Braunkohlefliegerbenzin niedriger, nämlich auf etwa 140° C, als den von Steinkohlebenzinen mit etwa 165° C.

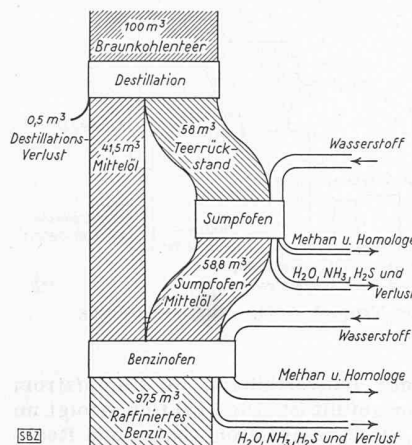


Bild 4. Stoffbilanz der Hydrierung von Braunkohlenteer

Durch Aenderungen und Ergänzungen des Verfahrens wurde auch die Herstellung von Hochleistungsfliesserbenzinen, die nach Zusatz von Bleitetraäthyl eine Oktanzahl von etwa 100 haben, ermöglicht. Hierzu kann man entweder wasserstoffarme Mittelöle unter schärferen Bedingungen als bei der Benzinierung in Gegenwart geeigneter Katalysatoren in aromatenreiche Benzine überführen oder man stellt in üblicher Weise Benzine her und wandelt

diese durch Dehydrierung in aromatenreiche hochklopffeste Kraftstoffe um.

Es ist noch der elastische Betrieb hervorzuheben, der darin besteht, dass es ohne weiteres möglich ist, die Fahrweise von Autobenzin und Dieselöl auf die alleinige Erzeugung von Autobenzin oder von Fliegerbenzin oder umgekehrt umzustellen.

Beim Synthese-Verfahren nach Fischer-Tropsch (Bild 6) handelt es sich um den Aufbau der Benzin- und Oelmoleküle aus Kohlenoxyd und Wasserstoff bei gewöhnlichem oder niederem Druck in Gegenwart von Katalysatoren. Hier lag von vornherein die Absicht vor, als Ausgangsstoffe zur Vergasung, für die man an und für sich jeden Brennstoff benutzen kann, vor allem Feinkohle und Koks zu verwenden, deren Absatz für den Bergbau Schwierigkeiten bereite. Das Synthesegas wird ebenfalls als Wassergas hergestellt, wobei ein Gemisch von CO und H₂ gewonnen wird. Ein Teil des so erhaltenen Gases wird konvertiert, wobei sich Wasserstoff und Kohlendioxyd bilden. Das CO₂ wird ausgewaschen und der nicht konvertierte Teil des Wassergases zu einem Synthesegas vermischt, welches das gewünschte Verhältnis von Kohlenoxyd zu Wasserstoff aufweist. Besondere Sorgfalt muss hier der Reinigung von Schwefel zugewandt werden, um eine Vergiftung der Katalysatoren zu vermeiden. Das Gas wird dann in die Reaktionskammern geleitet, wo die Kohlenwasserstoffsynthese erfolgt, deren grundlegende Reaktion gemäss der Gleichung vor sich geht:



Die Reaktionen werden durch die Katalysatoren gelenkt. Es werden Flüssiggase, Benzine, Dieselöle, Paraffine usw. gewonnen. Zur Herstellung von 1 kg Benzin oder Dieselöl werden etwa 6 kg Koks benötigt, womit sich ein Wirkungsgrad von 25 bis 30 % ergibt. Während früher der Hauptwert auf die Erzeugung der Treibstoffe für die Kraftfahrt gelegt wurde, steht heute in Deutschland an erster Stelle die Produktion von Paraffinen. Der Paraffingatsch ist der Grundstoff für die Herstellung von synthetischen Fettsäuren, für Seife und synthetische Butter. Damit werden die Synthesewerke in Zukunft Rohstofflieferanten für die chemische Industrie sein.

Zwei von den sechs Anlagen im Ruhrgebiet, nämlich Krupp Treibstoffwerke Wanne-Eickel und Treibstoffwerk

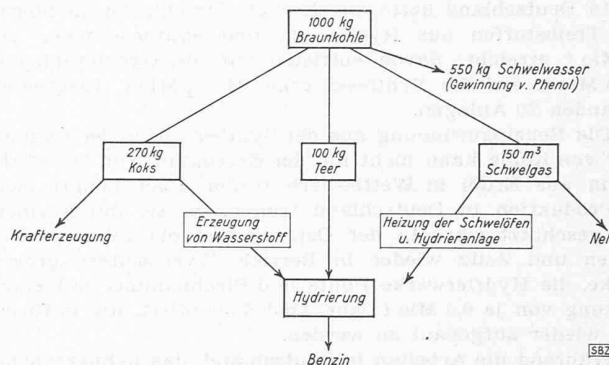


Bild 5. Koppelung von Schwelung und Hydrierung

Zeche Viktor in Castrop-Rauxel sind wieder in Betrieb genommen. Sie besitzen eine Kapazität von jährlich etwa 100 000 t Gesamtserzeugnisse, wovon früher etwa 60 % flüssige Kraftstoffe waren.

Bisher verwendete man die teuren Kobalt-Thorium-Katalysatoren, die schon bei verhältnismässig kleinen Temperaturerhöhungen geschädigt werden. Um das zu verhindern, musste daher der Reaktionsraum als Wärmeaustauscher mit einer grossen Anzahl von Kühlrohren ausgebildet werden, wodurch ein beträchtlicher Teil des wirksamen Katalysatorraums verloren ging. Auch war nachteilig, dass ein Benzin von niedriger Oktanzahl anfiel. Es war daher für ein wirtschaftliches Verfahren notwendig, den Durchsatz und die Oktanzahl des Benzins zu erhöhen, den Reaktionsraum zu vereinfachen und trotzdem die bei der Reaktion freiwerdende Wärme möglichst rasch abzuführen.

Diese Anforderungen können durch das von der BASF entwickelte Umwälzverfahren erfüllt werden³⁾. Bei dieser Arbeitsweise werden die Gase so schnell durch einen mit Eisenkatalysator anstelle des Co-Th-Katalysators gefüllten Reaktionsraum geführt, dass die Reaktion nur in beschränktem Mass stattfindet und die entstandene Reaktionswärme ohne unzulässige Erhöhung der Temperatur von den Gasen und Dämpfen aufgenommen werden kann. Die aus dem Reaktionsraum austretenden Stoffe werden dann durch ein Kühlsystem geführt, in dem sie die aufgenommene Reaktionswärme abgeben, um anschliessend wieder in den Reaktionsraum zurückgeführt zu werden. Die ganze freiwerdende Reaktionswärme wird auf diese Weise durch das Gas selbst aus dem Reaktionsraum herausgetragen und zur Dampferzeugung benutzt.

Ein grosser Teil der gebildeten Reaktionsprodukte verbleibt somit in dem zurückgeführten Gas und nimmt auch an der Wärmeüberführung teil, was in verschiedener Hinsicht von Vorteil ist. So wirken die Reaktionsprodukte hemmend gegen das Eintreten unerwünschter Nebenreaktionen. Infolge der durch das Umwälzen hervorgerufenen starken Durchmischung kann die Temperatur des Gases über den ganzen Querschnitt des Reaktionsgefässes vollkommen gleichmässig gehalten werden. Die Leistung wird wesentlich erhöht, und der Reaktionsraum enthält keine Einbauten. Im allgemeinen beträgt die Menge des umgewälzten Gases etwa das hundertfache der Frischmenge. Zur Abscheidung der Produkte wird aus dem Kreislauf ein Teilstrom abgezweigt. Das gewonnene Benzin hat eine hohe Oktanzahl.

³⁾ Brit. Patent 518 372.

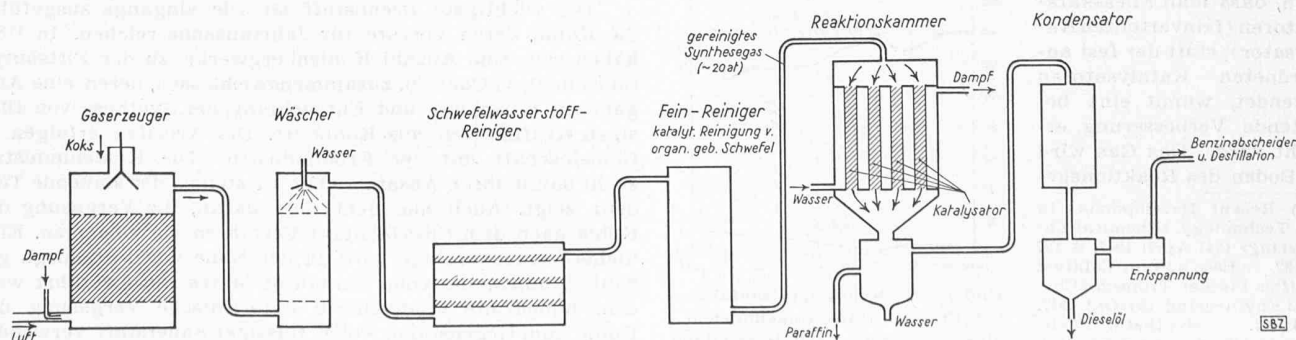


Bild 6. Schema einer Fischer-Tropsch-Anlage zur Herstellung von Benzin aus Kohle

In Deutschland hatte die jährliche Produktion an flüssigen Treibstoffen aus Hydrierung und Synthese mehr als 3,5 Mio t erreicht; davon entfielen auf die Hydrieranlagen rd. 3 Mio t, auf die Synthesewerke rd. $\frac{1}{2}$ Mio t. Insgesamt bestanden 20 Anlagen.

Die Benzingerinnung aus der Synthese oder der Hydrierung von Kohle kann nicht mit der Erzeugung von Destillatbenzin aus Erdöl in Wettbewerb treten. Doch konnte sich die Produktion in Deutschland tragen, da sie durch einen Zoll geschützt war. In der Ostzone sind die Brabagwerke Böhlen und Zeitz wieder in Betrieb. Zwei weitere grosse Werke, die Hydrierwerke Pölitz und Blechhammer mit einer Leistung von je 0,5 Mio t/Jahr, sind demontiert, um in Russland wieder aufgebaut zu werden.

Während die Arbeiten in Deutschland, das bahnbrechend die Verfahren der Hydrierung und Synthese zur hohen Betriebsreife geführt hat, nur in beschränktem Masse wieder aufgenommen worden sind, wird in Amerika die Gewinnung von Synthesetreibstoffen intensiv in Angriff genommen⁴⁾. Zwar war in USA auch vor dem Krieg ein starkes Interesse für diese Arbeiten vorhanden, und die Fachleute studierten in Deutschland an Ort und Stelle die Verfahren. Es gab dort auch technische Hydrieranlagen zur Verbesserung von Schmierölen und Erzeugung hochwertiger Benzine; ihre Leistungsfähigkeit war aber gemessen an dem Gesamtumsatz nur gering.

Infolge der eingangs geschilderten Verknappung der Erdölvorräte hat sich die Lage geändert. Die USA führen nicht mehr Erdölprodukte aus, sondern sind vielmehr gezwungen zur Deckung des Bedarfs steigend Erdöl einzuführen. Bild 7 zeigt Förderung und Einfuhr pro Jahr, sowie das Verhältnis der Reserven zur jährlichen Förderung, das von 1942 ab stark fallend ist. Im Januar 1948 hat der Amerikanische Verteidigungsminister die Herstellung synthetischer Kraftstoffe gefordert und verlangt, dass die amerikanische Rohölproduktion durch Hydrierung und Synthese um 40 % gesteigert werden müsse. Zum Aufbau einer Industrie synthetischer Treibstoffe nannte er die gewaltige Summe von 8 Mia \$. Das Ziel ist die tägliche Erzeugung von 2 Mio Barrels, was einer jährlichen Erzeugung von rd. 100 Mio t entspricht. An verschiedenen Stellen werden von der Oelindustrie bereits Anlagen von z. T. bedeutendem Umfang errichtet. Dabei wird offen zugegeben, dass die amerikanischen Chemiker und Ingenieure, von deutschen Fachleuten unterstützt, da beginnen, wo die Deutschen aufhörten. Die meisten Projekte stammen aus deutschen Entwicklungen.

Von den beiden Verfahren steht die Fischer-Tropsch-Synthese z. Zt. an erster Stelle, da man mit ihr das Erdgas, das in reichen Mengen vorhanden ist, in flüssige Kraftstoffe umwandeln will. Die sicheren Erdgasreserven werden auf 4500 Milliarden m³ geschätzt und sind dem Heizwert nach sogar noch etwas grösser als die sicheren Erdölvorräte der USA. Die Umsetzung erfolgt aber nur zu rd. 50 %. Zur Zeit werden jährlich etwa 140 Mia m³ Erdgas gefördert, die in Industrie und Haushalt Verwendung finden. Falls zusätzlich grosse Mengen Erdgas für die Synthese eingesetzt werden, so ist auch hier eine baldige Erschöpfung zu erwarten.

Der wesentliche Unterschied gegenüber der deutschen Fahrweise besteht darin, dass man Fließkatalysatoren (feinverteilten Katalysator), statt der fest angeordneten Katalysatoren anwendet, womit eine bedeutende Verbesserung erreicht wird. Das Gas wird am Boden des Reaktionsge-

⁴⁾ Recent Developments in Fuel Technology, «Chemical Engineering» (54) April 1947, S. 127 bis 132. — Esso's Fluid Catalyst Modifies Fischer-Tropsch, «Chemical Engineering» (54) Okt. 1947, S. 105/107. — Synthetic Fuels, «Chemical Engineering» (55) Juni 1948, S. 131/138.

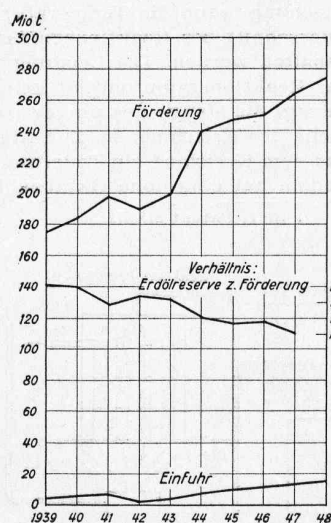


Bild 7. Förderung und Einfuhr von Erdöl in USA. Ungenügende Reserven zwingen zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe

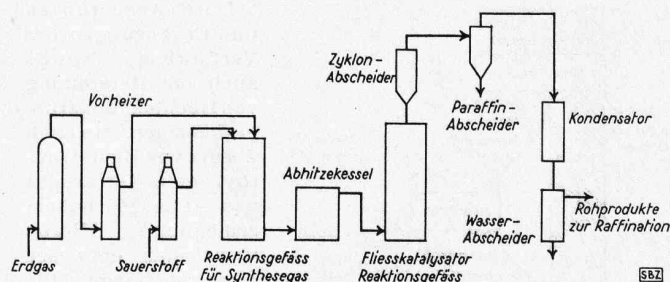
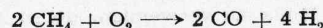


Bild 8. Schema einer Fischer-Tropsch-Anlage zur Herstellung von Benzin aus Erdgas

fässes eingeführt, das mit feinverteiltem, im Dampfstrom suspendiertem Katalysator gefüllt ist. Die Reaktion erfolgt im wirbelnden Gemisch von Staubkatalysator, Gasen und Reaktionsprodukten. Die an der Austrittsstelle des Reaktionsraumes mitgerissenen Katalysatorpartikeln werden in einem anschließenden Zyklonabscheider abgetrennt. Der das Reaktionsgefäss verlassende Katalysator wird regeneriert und von neuem verwendet. Durch die Anwendung des Fließkatalysators wird die wirksame Oberfläche vergrößert und damit die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht. Die wirbelnde Bewegung im Reaktionsraum gleicht die Temperaturen weitgehend aus.

Die Anwendung des Fließkatalysators war schon früher in USA für das Kracken von Erdöl üblich und beruht auf dem bekannten Prinzip des Winklengenerators bei der Vergasung feinverteilter Kohle.

Eine weitere Neuerung betrifft die Herstellung des Synthesegas aus Erdgas und Sauerstoff, der billig gewonnen wird. Die Umwandlung des Erdgases erfolgt nach der Gleichung:



Aufgeheiztes Erdgas und Sauerstoff werden bei Atmosphärendruck oder bei einem Druck von 10 bis 18 at und bei einer Temperatur von 1100 bis 1200 °C in Reaktionsgefässen von grossem Durchmesser umgesetzt, die zur Beschleunigung der Reaktion einen Nickelkatalysator enthalten. Bild 8 zeigt das Prinzipschema einer Gesamtanlage.

Mit diesen wichtigen Neuerungen ist die Aussicht vorhanden, dass man zu einer Industrie der synthetischen Kraftstoffe aus Erdgas kommt, die in Wettbewerb mit der bisherigen Gewinnung von Kraftstoffen aus Erdöl treten kann. Zwei grosse Werke stehen vor der Inbetriebnahme. In einer Anlage bei Brownsville in Texas, die in diesem Jahr noch anlaufen wird, sollen täglich 1,8 Mio m³ Erdgas in rd. 665 t Benzin mit einer Oktanzahl von 80 bis 90 und in rd. 150 t Dieselöl mit einer Cetanzahl von 40 bis 50, also in 815 t flüssige Kraftstoffe umgewandelt werden. Demnach erfordert 1 kg Kraftstoff etwa 2,2 m³ Erdgas oder in Kalorien ausgedrückt, sind für 10300 kcal Kraftstoff 19000 kcal Erdgas erforderlich, womit der Wirkungsgrad der Umsetzung etwas über 50 % beträgt. Dabei ist der Aufwand an Energie unberücksichtigt geblieben. Die jährliche Produktion soll etwa 300000 t Benzin und Dieselöl betragen. Damit ist die Anlage um das Mehrfache grösser als der Durchschnitt der deutschen Syntheseanlagen. Die Kosten für das Benzin sollen sich auf 5 $\frac{1}{4}$ c pro Gallone belaufen und liegen somit unter dem Gulf-coastpreis von 7 $\frac{1}{2}$ c pro Gallone. Die Kostenschätzungen haben aber eine lebhaft Diskussion hervorgerufen. Eine zweite Anlage, die etwa die gleiche Leistung aufweist, wird in den Hugoton Gasfields in Kansas gebaut.

Der wichtigste Brennstoff ist wie eingangs ausgeführt die Kohle, deren Vorräte für Jahrtausende reichen. In USA haben sich eine Anzahl Kohlenbergwerke zu der Pittsburgh Consolidation Coal Co. zusammengeschlossen, deren eine Aufgabe die Forschung und Entwicklung der Synthese von flüssigen Kraftstoffen aus Kohle ist. Die Arbeiten erfolgen in Gemeinschaft mit der Erdölindustrie. Die Kohlenindustrie sucht damit ihren Absatz sicher zu stellen, der sinkende Tendenz zeigt. Auch hier geht man daran, die Vergasung der Kohle nach dem Fließkontakt-Verfahren vorzunehmen. Eine kleine Versuchsanlage wird in der Nähe von Pittsburgh gebaut. Studien, die vom Bureau of Mines durchgeführt werden, haben die kontrollierte unterirdische Vergasung der Kohle zum Gegenstand, wobei flüssiger Sauerstoff verwendet wird. Man hofft, auf diese Weise ein billiges Synthesegas zu

erhalten⁵⁾. Eine Versuchsanlage befindet sich in Gorgas, Aal. Auch in Russland ist eine Anlage vorhanden, die etwa 2,8 Mio m³/Tag Gas erzeugen soll.

Wenn man heute in Amerika zur Herstellung von synthetischen Treibstoffen in erster Linie vom Syntheseverfahren ausgeht, so hängt das natürlich vom Ausgangsstoff, dem Erdgas, ab. Aber auch bei der Verwendung der Kohle bevorzugt man z. Zt. dieses Verfahren. Offenbar rührt das daher, dass man dessen Apparaturen, die unter geringem Druck, ähnlich wie die der Erdölaufbereitung, arbeiten, besser beherrscht, während der Oelindustrie für die unmittelbare Hydrierung der Kohle unter hohem Druck die jahrzehntelangen Erfahrungen der Hochdrucktechnik in Deutschland mit Drücken von 200 at und mehr bei gleichzeitiger Anwendung hoher Temperaturen noch mangeln. Doch sind in einem Projekt, das vom Bureau of Mines in der Höhe von 30 Mio \$ aufgestellt ist, auch grössere Versuche über Kohlehydrierung vorgesehen. Zunächst wird eine kleine Anlage, die 200 barrels pro Tag, also rd. 10000 t/Jahr erzeugen soll, in Louisiana erbaut. Man hofft, die Produktionskosten soweit zu senken, dass das Verfahren einen wirtschaftlichen Erfolg zeigt.

Die Entwicklung wird voraussichtlich wie in Deutschland vor sich gehen, indem man beide Verfahren nebeneinander verwendet und zwar derart, dass bei der Herstellung von hochwertigen Benzin und Heizölen die Hydrierung, für die Herstellung von Dieselölen und Paraffinen die Synthese bevorzugt wird.

Le pont d'Arvida (Canada) en aluminium

DK 624.21.014 9(71)

Sur le fleuve Saguenay — un des nombreux cours d'eau de la Province de Québec — se trouve l'usine hydro-électrique de Shipshaw, une des plus grandes du monde. Avec ses 1,2 Mio Ch Shipshaw est le fournisseur d'énergie électrique pour la production d'aluminium canadien, autrement dit, pour les grandes usines d'aluminium d'Arvida, qui se trouvent à quelques kilomètres seulement de Shipshaw.

Pour relier Shipshaw à Arvida, les autorités de cette ville ont donné, en février 1948, leur approbation à la construction d'un nouveau pont sur le Saguenay. A proprement parler, l'usine hydro-électrique de Shipshaw se trouve sur un canal latéral du Saguenay. Ainsi le premier pas était fait vers la réalisation du premier pont «tout-aluminium» du

⁵⁾ Gasifying Coal Underground, «Chemical Engineering» (54) April 1947, S. 107/109.

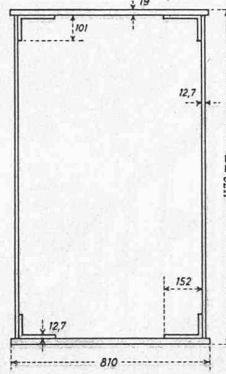


Fig. 1. Section d'un arc principal

monde. A l'heure actuelle, les travaux sont déjà en cours sous les auspices de la Dominion Bridge Company du Montréal¹⁾.

Ce n'est pas seulement le désir d'être connus comme les constructeurs du premier pont entièrement en aluminium qui a guidé dans le choix de ce métal les ingénieurs préposés à en élaborer le projet. Citons quelques chiffres caractéristiques: Ce pont, d'une longueur de 153 m, pèsera seulement 185 t, tandis que cette même construction, exécutée en acier, pèserait environ 700 t. Cette réduction considérable du poids permet des économies sérieuses sur les frais de transport du matériel de construction et facilite les travaux.

Il y aura, en outre, un minimum de frais d'entretien pour conserver le pont dans une condition absolument impeccable.

En ce qui concerne le pont lui-même, l'arc principal sera du type de construction dit d'arc fixe, en aluminium, ayant une portée de 90 m, avec une flèche de 14,5 m sur la ligne centrale de la côte de l'arc. Il y aura 5 travées d'approche du côté nord et autant du côté sud. La largeur de l'allée centrale, destinée au trafic, est de 8 m et il y a des trottoirs pour piétons d'une largeur de 1,2 m de chaque côté. Le pont est destiné à porter une charge utile de 2 camions de 20 t alignés, selon les normes pour Ponts et Chaussées du Département des Travaux Publics de la Province de Québec. Il sera construit en alliage traité 26-S, qui contient 5 % de cuivre, 1,2 % de silicium et 1 % de manganèse, ce qui laisse environ 92 % d'aluminium. Résistance à la traction 46 kg/mm²; limite d'élasticité 34 kg/mm²; allongement 8 %; dureté Brinell 135.

La section des deux arcs principaux est en profilés-caissons, fig. 1. L'allée centrale et les trottoirs sont exécutés en sections de béton armé, dont l'acier de renforcement sera soudé en chantier et les sections fixées ensemble de façon à former une surface continue. La surface de l'allée centrale sera, en outre, recouverte d'une couche protectrice d'asphalte par dessus le béton armé. Les parapets et les piliers d'approche du côté sud seront également fabriqués en aluminium.

D. Bärffuss, Genève

¹⁾ Voir SBZ 1948, No. 36, p. 500.

Die neue Wagenhalle für die Verkehrsbetriebe der Stadt Luzern

Arch. C. MOSSDORF, Luzern, Ing. R. DICK, Luzern

DK 725 386(494.27)

1. Die Aufgabe. Die neue Halle ist für die Aufnahme einer möglichst grossen Zahl von Tramwagen über Nacht und während verkehrsarmen Tagesstunden bestimmt. Es sollen später auch Trolleybusse aufgenommen werden können, sofern heute mit Tramwagen bediente Linien auf Trolleybusbetrieb umgestellt werden. Während der Ruhezeit werden die Wagen aussen und innen gereinigt; Bremsband wird nachgefüllt und kleine Instandstellungsarbeiten durchgeführt. Für grössere Reparaturen stehen die Werkstätten im alten Depot zur Verfügung. Im Winter müssen die mit Schnee und Eis belegten Teile abgetaut werden, wofür maximal fünf Stunden verfügbar sind.

Die neue Halle war auf dem Geländestreifen zwischen der Eschenstrasse und der bestehenden Auto- und Trolleybusgarage zu erstellen (Bild 1) und so anzuordnen, dass die Wagen von der Ostseite zu- und in westlicher Richtung wegfahren können. Unter diesen Bedingungen ergab sich eine grösstmögliche Gesamtlänge von 105,96 m und eine Breite von 15,80 m, die für vier parallele Schienenstränge ausreicht.

Die Verbindungsgleise sind aus Bild 1 ersichtlich: Für die Zufahrt wurde der bestehende Schienenstrang in der Bireggstrasse verlängert und um die Ostfront des bestehenden Depot- und Verwaltungsgebäudes herumgeführt. Das wegführende Gleis führt über die Eschenstrasse und die Ulmenstrasse nach der Bireggstrasse zurück. Das Durchlaufprinzip erleichtert den Depotbetrieb.

Die lichte Raumhöhe von 6,4 m ergab sich aus der Bedingung, dass die Stromabnehmer der Fahrzeuge sich in die normale Betriebslage einstellen sollen, damit die Federn nicht

über ihre Betriebsspannungen hinaus beansprucht werden. Das Gelände steigt an der Eschenstrasse nach Westen um rd. 1,20 % an; auf die Gebäudelänge von 105,96 m ergibt sich eine Höhendifferenz von 1,28 m. Das Gefälle der Gleise innerhalb der Halle musste unter dem Reibungswinkel bleiben;

Bild 1. Lageplan 1:3000.

A Neue Wagenhalle, B Garage für Autobus und Trolleybus, C Tramdepot und Werkstätte

