

Ausgehend von Erdgas als Rohstoffbasis würde die Synthese in der Bundesrepublik zu einem Preis von ca. 26 Pf/Liter Kraftstoff führen, wenn der Erdgaspreis mit ca. $0,6 \text{ Pf}/10^3 \text{ kcal}$ zugrundegelegt wird.

In USA würden sich bei Erdgaspreisen von $0,3 \dots 0,5 \text{ Pf}/10^3 \text{ kcal}$ Kraftstoffkosten von ca. 18...23 Pf/Liter ergeben. Synthese- bzw. Hydrierbenzin würde bei einem Kohlepreis von $0,24 \text{ Pf}/10^3 \text{ kcal}$ etwa 20...22 Pf/Liter kosten, so daß in USA die Kohlehydrierung wie auch die Synthese wesentlich bessere Chancen haben als in der Bundesrepublik.

In Südafrika ergibt die Darstellung für Hydrierung und Synthese etwa gleiche Preise. Mit 19...21 Pf/Liter liegt die Spanne in Höhe der effektiven Benzinpreise.

7.4 Wirtschaftliche Größenordnung einer Hydrier- bzw. Syntheseanlage

Bei den bisherigen Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit einer evtl. zukünftigen Anlage wurde in Anlehnung an die verwendeten Unterlagen eine Kapazität von 2 Mio jato Kraftstoff zugrundegelegt. Unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Ölindustrie sollte die Leistung einer zukünftigen Anlage zur Herstellung flüssiger Kraftstoffe auf keinen Fall geringer, eher noch größer sein. Moderne Raffinerien beginnen in der ersten Ausbaustufe z.Zt. mit etwa 2,5 Mio jato Rohöldurchsatz. Selbst wenn für den apparativen Teil von einer gewissen Größe ab die spezifischen Anlagekosten gleich bleiben, macht sich bei größeren Anlagen noch eine relative Einsparung an Schichtpersonal bemerkbar. Außerdem verteilen sich die nicht im gleichen Maße steigenden Nebenkosten des Werkes auf die größere Durchsatzleistung.

Die benötigten Kohlemengen ergeben sich aus der vorgesehenen Kraftstoffproduktion und dem spezifischen Kohleverbrauch.

Bei der H y d r i e r u n g würden je t Kraftstoff verbraucht
ca. 3,2 t aschearme Steinkohle (Gasflammkohle,
12% Asche + Wasser, $H_u = 7000$ kcal/kg) oder
ca. 9,3 t rhein. Rohbraunkohle
(61% Asche + Wasser, $H_u = 2000$ kcal/kg).

Diese für den Consol-Prozeß berechneten Zahlen sind wesentlich niedriger als die Erfahrungszahlen aus deutschen Hydrierwerken vor 1945 - u.a. infolge der bei Consol vorgesehenen internen Verwertung der Nebenprodukte (Erzeugung des Hydrierwasserstoffs aus Restgasen und Hydrierrückständen; Trocknung der Rohbraunkohle mittels des anfallenden Rückstandskoks). Voraussetzung ist also, daß sowohl die Umwandlung der Kohle als auch diese Teilprozesse großtechnisch in gleicher Weise durchführbar sind, wie sie den Berechnungen im Parson-Bericht zugrundegelegt wurden.

Bei der S y n t h e s e werden - unter der Voraussetzung, daß die Ausnutzung der Abwärme des bei Sasol betriebsmäßig erprobten Gesamtprozesses gemäß den Überlegungen nach Lurgi auf deutsche Verhältnisse abgestimmt wird - je t Kraftstoff verbraucht

ca. 4,8 t aschearme Steinkohle (Gasflammkohle,
12% Asche + Wasser, $H_u = 7000$ kcal/kg) oder
ca. 7,0 t aschereiche Steinkohle
(40% Asche + Wasser, $H_u = 4665$ kcal/kg) oder
o) ca. 16,4 t rhein. Rohbraunkohle, davon 2,1 t f.d. Trocknung
(61% Asche + Wasser, $H_u = 2000$ kcal/kg).

Diese Verbrauchszahlen lassen erkennen, daß bei der Diskussion über ein evtl. zu errichtendes Werk zur Herstellung von Kraftstoffen aus Kohle neben Problemen der Verfahrenstechnik und des Betriebes auch die Standortfrage von Bedeutung ist. Da die Transportkosten für feste Brennstoffe weit höher sind als für die daraus hergestellten Kraftstoffe, sollte das Werk möglichst nahe einer Zeche (Grube) oder einem Zechenverband liegen, der geeignete Kohle in hinreichender Menge fördern kann.

o) Bei Verwendung von Nebenprodukten des Verfahrens (Restgas aus der Synthese, Teer und Öl aus der Vergasung) für die Trocknung der Rohbraunkohle ergäbe sich je t Kraftstoff ein Verbrauch von ca. 15,0 t rhein. Rohbraunkohle (Qualität s.o.)

7.5 Literatur

- (1) United States Department of the Interior, Office of Coal Research Report No. 45 "1968 Feasibility Report Consol Synthetic Fuel Process" by Ralph M. Parsons Comp. (1969)
- (2) Private Mitteilungen der South African Coal, Oil and Gas Corporation Ltd., Sasolburg/Südafrika D. 426 (1970)
- (3) F. Martin und E. Weingaertner "Die Fischer-Tropsch-Synthese" in Winnacker/Weingartner "Chemische Technologie", Bd. III, 881-884, Hauser-Verlag, München (1952)
- (4) Private Mitteilungen der Lurgi-Gesellschaften für Wärmetechnik GmbH, Frankfurt/Main
- (5) W. Brötz, Grundriß der chemischen Reaktions-technik; Verlag Chemie GmbH, Weinheim (1958)
- (6) John H. Perry, Chemical Engineers Handbook Sec. 26; McGraw-Hill (1963)
- (7) European Chemical News, Temple-Press-Verlag, London
- (8) Statistisches Bundesamt, "Industrie und Handwerk" Vierteljahresberichte Reihe 3 - Industrielle Produktion; Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart (1970)

8. ENTWICKLUNGSPROBLEME UND SPEZIELLE
AUFGABEN FÜR FORSCHUNGSARBEITEN
=====

Eine großtechnische Anlage zur Erzeugung flüssiger Kraftstoffe aus Kohle, wie sie u.U. in Zukunft in der BRD zu errichten wäre, müßte um ein Mehrfaches größer sein als bisherige Großanlagen auf dem Gebiet der Hydrierung von Kohle bzw. der Synthese auf Basis Kohlenoxid/Wasserstoff. Dies ergibt sich sowohl aus den derzeitigen - gegenüber früher erheblich gestiegenen - Verbrauchszahlen, als auch aus der Erfahrung auf dem Mineralölsektor, daß eine vertretbare Wirtschaftlichkeit erst bei Raffinerien mit einer Jahresproduktion von mehreren Millionen Tonnen erwartbar ist. Aus einer solchen Vergrößerung erwächst eine Vielzahl ingenieurtechnischer Probleme.

Auf dem Gebiet der H y d r i e r u n g müßte die Entwicklung aufgebaut werden auf den alten Erfahrungen der IG-Farbenindustrie AG unter Berücksichtigung neuerer verfahrenstechnischer Erkenntnisse. Im Ausland - vor allem im vergangenen Jahrzehnt - durchgeführte Forschungsarbeiten könnten hierbei Hinweise liefern für einzelne Teilprobleme. Vor der Entscheidung zur Errichtung einer Großanlage müßte zunächst ein ins einzelne gehendes ingenieurtechnisches Angebot eingeholt werden, weil sich die seinerzeitigen Unterlagen der IG Farbenindustrie AG heute als veraltet und sich die amerikanischen Unterlagen, wie die vorliegende Studie ergab, als nicht ausreichend erwiesen haben.

Die S y n t h e s e wurde nach dem zweiten Weltkrieg durch Arbeiten in der BRD, in USA und vor allem in Südafrika zu einer Vollkommenheit entwickelt, die - sofern die wirtschaftliche Notwendigkeit bestünde - die unmittelbare Projektierung einer Großanlage ermöglichen würde.

Grundsätzlich verschiedene Anforderungen an eine heute zu errichtende Anlage zur Erzeugung flüssiger Kraftstoffe aus Kohle - gegenüber den Verhältnissen vor 1945 - betreffen die Qualität der Kraftstoffe. Die heutigen Motoren erfordern ein Ben-

zin höherer Klopffestigkeit, ein zündwilligeres Dieselöl und Kraftstoffe mit geringeren Gehalten an Verunreinigungen - wie Schwefel, Stickstoff und Sauerstoff. Neue Vorschriften begrenzen den zulässigen Gehalt an Zusätzen wie Bleitetraäthyl etc. auf niedrigere Werte.

Erfahrungen der Mineralölindustrie auf dem Gebiete moderner Raffinationstechnik müßten Verwendung finden, können aber - da die Rohprodukte von Hydrierung und Synthese nicht identisch sind mit natürlichen Rohölen - in mancher Beziehung nicht unmittelbar übernommen werden.

Die wichtigsten Stufen bei den Verfahren zur Erzeugung flüssiger Kraftstoffe aus Kohle betreffen

- (a) die Vorbereitung der Kohle,
- (b) die Erzeugung von Hydrierwasserstoff bzw. Synthesegas,
- (c) das katalytische hydrierende Spalten von Kohlen bei einem Druck von einigen hundert Atmosphären bzw. den katalytischen Aufbau von Kohlenwasserstoffen aus Kohlenoxid und Wasserstoff (Synthesegas) bei einem Druck von etwa 25 atm,
- (d) die Raffination der primär erzeugten Produkte zu marktgängigen Kraftstoffen.

Über Entwicklungsprobleme in diesen vier Stufen ist folgendes zu sagen:

Zu (a): In Weiterführung der Arbeiten von Pott-Broche zur Entaschung von Kohle durch hydrierende Extraktion anstelle des Sumpphasereaktors bei der katalytischen Hochdruckhydrierung laufen seit einiger Zeit Arbeiten, vor allem in USA (Consol-Prozeß). Nach wie vor bereitet die Abtrennung der Asche aus dem Kohleextrakt große verfahrenstechnische Schwierigkeiten, insbesondere wenn Restgehalte von weniger als ein Zehntel Prozent gefordert werden.

Die Gewinnung von Schwelteer als einem aschefreien Einsatzprodukt für die Hydrierung - z.B. nach dem COED-Verfahren oder bei der kontinuierlichen Verkokung gemäß Arbeiten der Bergbauforschung GmbH - ist eine gleichfalls noch nicht vollkommen geklärte Verfahrensmöglichkeit. Neben Fragen der Prozeßführung und der Eignung von in der ERD vorhandenen Kohlen ist die Verwertung des dabei entstehenden Schwelkokes ein wichtiger Faktor. Gedacht wird an den Einsatz dieses Produktes als Brennstoff für Wärmekraftwerke.

Zu (b): Für die Herstellung der großen Mengen an Hydrierwasserstoff bzw. Synthesegas wären größere Gaserzeuger wünschenswert. Die größten derzeit in Betrieb befindlichen Einheiten zur Gaserzeugung unter Druck nach Lurgi erzeugen 30 000-40 000 m³ rohes Synthesegas pro Stunde. Für die Herstellung von 2,5 Mio jato flüssiger Kraftstoffe wären etwa 70 derartige Gaserzeuger notwendig. Ohne prinzipielle Änderungen könnte die Kapazität der Gaserzeuger u.U. verdoppelt werden. Darüber hinaus könnte man höchstwahrscheinlich nur durch Anwendung höherer Vergasungstemperaturen, d.h. in Generatoren mit flüssigem Ascheaustrag kommen. Auf diesem Gebiet wären weitere Entwicklungsarbeiten notwendig.

Zu (c): Auf dem Gebiete der Synthese kann dieser besonders wichtige Verfahrensschritt durch die Arbeiten der Sasol als geklärt gelten.

Auf dem Gebiete der Hydrierung wären noch größere Entwicklungsarbeiten erforderlich. - In Deutschland wurden vor 1945 auf übliche Weise aufbereitete, etwa 5% Asche enthaltende Steinkohlen in der sog. Sumpfphase unter Zusatz von geringen Mengen möglichst billiger Katalysatoren hydrierend gespalten. Asche und Katalysator verließen zusammen mit nicht hydrierbaren Anteilen

der Kohle den Reaktor. Der Katalysator fand nur einmal Verwendung. Da der - Asche und Katalysator enthaltende - Hydrierrückstand nach seiner Verkokung keine befriedigende wirtschaftliche Verwendung fand, versuchte man durch Anwendung entsprechender Bedingungen, vor allem hoher Wasserstoffdrucke, den Rückstand der Sumpphase-Hydrierung gering zu halten.

Der Übergang zu niedrigeren Wasserstoffdrucken wäre aus technischen und wirtschaftlichen Gründen anzustreben. Will man dabei nicht bewußt auf den bisher erzielten hohen chemischen Umsatz verzichten und die Probleme der Verwertung des in größerer Menge anfallenden Rückstandes in Kauf nehmen, so muß bereits in der ersten Hydrierstufe an aktiveren Katalysatoren gearbeitet werden (H-Coal-Prozeß). Auch hier konnten die bisherigen Arbeiten - u.a. wegen verfahrenstechnischer Probleme - noch nicht zu einem befriedigenden Ergebnis führen.

Neben der Entwicklung geeigneter Katalysatoren liegen weitere Aufgaben im Übergang zu größeren Reaktoren sowie in der Optimierung von Reaktionszeit, -druck, -temperatur und Kohleumsatz. Selbst wenn hier die Erfahrungen aus der Hydrierung von Erdölrückständen manche Parallelen gestatten, schließt der Einsatz von Kohle noch eine Reihe von Problemen ein.

Zu (d): Für die Aufbereitung der Produkte aus Hydrierung bzw. Synthese - soweit sie nicht bereits spezifikationsgerecht sind - zu Qualitätskraftstoffen wurden im Kapitel 5 Vorschläge gemacht, die i.a. auf Analogien zu Verfahren der Erdölraffination beruhen. Die Anwendbarkeit dieser Verfahrensvorschläge für aus Kohle gewonnene Hydrier- bzw. Syntheseprodukte müßte in fast allen Fällen in Versuchsanlagen erprobt werden. Beson-

ders wichtig erscheinen im Falle der Hydrierung die weitestgehende Entfernung von Stickstoff und Schwefel, die für das Reformieren des Hydrierbenzins an aktiven Katalysatoren (z.B. Pt auf Al_2O_3) unerlässlich ist, und im Falle der Synthese an Eisen-Festbett-Katalysatoren die Erhöhung der Klopfestigkeit des Benzins.

Weitere bisher nicht im einzelnen aufgezeigte Probleme können sich bei der Bearbeitung der genannten Aufgaben ergeben. Sie können sowohl in den einzelnen Verfahrensstufen als auch in deren Kombination zum Gesamtprozeß liegen.

9. SCHLUSSDISKUSSION

Die Herstellung flüssiger Kraftstoffe aus Kohle wurde in den Jahren v o r 1 9 4 5 vor allem in Deutschland entwickelt und in einer Reihe von Hydrier- bzw. Synthesewerken großtechnisch durchgeführt (s. Kap. 2.1/2.2 der Studie). Die Kapazität der insgesamt errichteten 21 Werke betrug annähernd 5 Mio jato. Ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Werke war das Preisverhältnis zwischen Kohle und daraus hergestelltem Benzin, das damals für Steinkohle 1:12 bis 1:15 betrug. In Berichten wurden Herstellungskosten von 225.- bis 245.- RM/t Kraftstoff, d.h. etwa 18 Rpf/Liter sowohl für die Hydrierung als auch für die Synthese angeführt. Vom Reich wurde den Werken entweder eine 5%-ige Verzinsung des investierten Kapitals oder ein Erlös von 240.- RM/t Benzin garantiert. Nach 1945 wurden einige der Anlagen wieder instandgesetzt und nochmals für wenige Jahre in Betrieb genommen, im Falle der Hydrierung zur Verarbeitung von Rückstandsölen.

Die Weiterentwicklung dieser Verfahren n a c h 1 9 4 5 (s. Kap. 4.2/4.3) erfolgte zu einem wesentlichen Teil in der Republik Südafrika und in den Vereinigten Staaten. In Südafrika wurde ein Synthesewerk errichtet, das seit mehreren Jahren zufriedenstellend und wirtschaftlich arbeitet. In USA wurde zunächst in erster Linie an der Synthese gearbeitet. In den letzten Jahren folgten Untersuchungen auf dem Gebiet der Kohlehydrierung im Laboratorium bzw. im halbtechnischen Maßstab, ohne jedoch bislang zu einem Abschluß gekommen zu sein, der die Übertragung in den großtechnischen Betrieb ermöglichen würde.

Die Anforderungen an die K o h l e n q u a l i t ä t (s. Kap. 3) sind bei der Hydrierung und Synthese unterschiedlich. Für die Hydrierung müßte die Kohle arm an Asche und reich an flüchtigen Bestandteilen sein. Von den Kohlen der Bundesrepublik wären daher nach entsprechender Aufbe-

reitung zur Herabsetzung des Aschegehaltes in erster Linie Flamm- und Gasflammkohlen - evtl. auch Gaskohlen - der Reviere an Ruhr und Saar, sowie die rheinische Braunkohle für diesen Prozeß geeignet. Bei der Synthese sind Aschegehalt und Flüchtige Bestandteile von untergeordneter Bedeutung. Für die Wahl des Caserzeugers zur Herstellung des Synthesegases sind die Neigung der Kohle zum Backen und der Ascheschmelzpunkt von Wichtigkeit. Am besten geeignet erweisen sich wiederum Flamm-, Gasflamm- und Gaskohlen - wobei ohne weiteres aschereiche Sorten eingesetzt werden können - und gleichfalls die rheinische Braunkohle.

Die V e r f ü g b a r k e i t d e r K o h l e n wird unterschiedlich beurteilt. Die als sicher bauwürdig ausgewiesenen Vorräte an den genannten Kohlsorten würden einen Einsatz der Kohlen für die Herstellung von Kraftstoffen lange Jahre hindurch ohne weiteres gestatten. Berücksichtigt man jedoch die derzeitigen Förderzahlen, so ergibt sich - ausgehend von einer Kraftstoffproduktion von ca. 2,5 Mio jato $\hat{=}$ 10% des derzeitigen Verbrauches der Bundesrepublik - daß die dazu mindestens erforderlichen ca. 8 Mio t ballastarme Steinkohle etwa 10% der gesamten Kohleförderung im Jahre 1970 an Ruhr und Saar bzw. etwa 30% der Förderung an hochflüchtigen Kohlen in diesen Revieren ausmachen. Analog belaufen sich die erforderlichen ca. 23 Mio t Braunkohle auf etwa 25% der derzeitigen Braunkohlenförderung im rheinischen Revier. In welchem Umfang diese Kohlen effektiv für die Umwandlung zu flüssigen Kraftstoffen zur Verfügung stehen, hängt auf dem Steinkohlensektor außer von der Kapazität der vorhandenen Zechenanlagen auch von der allgemeinen Entwicklung des Kohlebedarfs - u.a. in der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft - ab.

Sowohl bei der Hydrierung als auch bei der Synthese ist die G a s e r z e u g u n g (s. Kap. 4.1) ein wichtiger Ver-

fahrensschritt. Hydrierwasserstoff und Synthesegas können nach erprobten Verfahren aus Kohle oder aus bei der Hydrierung bzw. der Synthese anfallenden Restgasen und Rückstandskoks hergestellt werden. Jedoch wird es erforderlich sein, dazu Anlagen mit einer weit größeren Kapazität zu errichten als bisher.

Die A u f b e r e i t u n g d e r P r o d u k t e aus Hydrierung bzw. Synthese zur Herstellung spezifikationsgerechter Qualitätskraftstoffe wird in Kap. 5 behandelt. Sie kann u.a. nach Verfahren erfolgen, wie sie bei der Raffination von Mineralölen angewendet werden.

In Südafrika wird die Synthese zum Teil nach dem Flugstaubverfahren und zum Teil nach dem Festbettverfahren durchgeführt. Dies hat den Vorteil, daß neben kloppfestem Benzin hochwertiges Dieselöl und wertvolles Paraffin erzeugt werden.

Günstig können sich auch eine Kombination von Hydrierung und Synthese auswirken. Vom Standpunkt der Produktion hochwertiger flüssiger Kraftstoffe wäre die Mischung von Produkten aus Hydrierung und Synthese vorteilhaft. Bei der Hydrierung gelingt es nur schwer, hochwertige Dieselöle und Düsenkraftstoffe herzustellen. Diese können aber bei der Synthese in guter Qualität gewonnen werden. Hierbei würde sich auch die Tatsache, daß die Syntheseprodukte frei von Schwefel und Stickstoff sind, günstig auswirken. Andererseits ist das Benzin der Festbett-Synthese - wegen des Fehlens an Aromaten - nur mit einigem Aufwand bei der Raffination auf eine genügend hohe Kloppfestigkeit zu bringen. Stärker reformierte Hydrierbenzine besitzen dagegen einen zu hohen Aromatengehalt und damit ungünstige Verbrennungseigenschaften. Auch hier würde ein Mischen des Hydrierbenzins mit einem evtl. isomerisierten Synthesebenzin, das

noch Alkylat oder Polymerisat enthält, zu einem qualitativ hochwertigen Motorenbenzin führen.

Möglichkeiten für die Verwertung der Nebenprodukte aus den verschiedenen Prozessen werden im Kap. 6 behandelt. Diese Produkte stehen - wie auch die erzeugten Kraftstoffe - in Konkurrenz zu Produkten aus der Mineralölverarbeitung.

Als Grundlage für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit (s. Kap. 7) der beiden Verfahren waren auf dem Gebiete der Synthese Betriebszahlen der befriedigend arbeitenden Großanlage der South African Coal, Oil and Gas Corp. (Sasol) aus den Jahren 1969/70 verfügbar. Außerdem wurden Anhaltszahlen aus einer Projektstudie der Lurgi-Gesellschaften für Wärmetechnik, Frankfurt, zum Vergleich herangezogen. Auf dem Gebiet der Hydrierung hätten als Vergleichszahlen aus dem großtechnischen Betrieb nur die Aufzeichnungen über die früheren deutschen Werke verwendet werden können. Die Berechnung der Investitionskosten für eine neu zu errichtende Anlage auf dieser Basis und unter Anwendung der inzwischen im Apparatebau eingetretenen Kostensteigerung auf ca. 500% der damaligen Kosten hätte jedoch zu völlig undiskutablen, überhöhten Werten - von ca. 2500.- DM/jato und mehr - geführt. Deshalb wurden als Grundlage der Berechnung für die Hydrierung Berichte über vom Office of Coal Research in Washington geförderte, halbertechnische Versuche herangezogen. Ausgewählt wurde das Consol-Projekt der Consolidation Coal Comp., für welches das umfangreichste Zahlenmaterial zur Verfügung stand. Seine Wirtschaftlichkeit war im Jahre 1968/69 von der Ralph M. Parsons Comp. und später von Sasol unter der Annahme, daß die in den Versuchsberichten enthaltenen Angaben auch im großtechnischen Maßstab reproduziert werden können, geprüft worden. Wegen der offensichtlich bestehenden Unterschiede gegenüber dem Synthese-Projekt - im Gesamtumfang, in der

technischen Ausstattung etc. - mußten eine Reihe von Zuschlägen gemacht werden. Eingefügt wurden außerdem Beträge für höhere Entwicklungs- und Anfahrkosten bei der Hydrierung sowie bei beiden Objekten für das Umlaufvermögen etc.

Die vorliegende Studie ergab - s. Abb. 7-1, Seite 341 - auf diesen Grundlagen und unter Annahme eines Steinkohlenpreises von 80.- DM/t ($H_u = 7000$ kcal/kg) für die Hydrierung einen Benzinpreis von 35 Pf/Liter nach Gutschrift für den Rückstandskoks. Für die Synthese würde sich ein Benzinpreis von 41...48 Pf/Liter ergeben, wenn man zur Erzeugung des Synthesegases gleichfalls eine Kohle mit nur 6...8% Asche einsetzen müßte. Für die Synthese könnten jedoch minderwertigere und daher preisgünstigere Kohlen (mit höheren Ballastgehalten) eingesetzt werden, wie sie zur Zeit beispielsweise als Kraftwerkskohle Verwendung finden. Bei deren Einsatz würden sich bei einem Kohlepreis von 42.- DM/t ($H_u = 4665$ kcal/kg) Preise von 35 Pf/Liter Synthesebenzin (Lurgi) bzw. 42 Pf/Liter (Sasol) ergeben.

Braunkohle mit einem Verrechnungspreis von $0,5$ Pf/ 10^3 kcal wäre insofern eine günstigere Basis der Benzinerzeugung, als sich bei ihrem Einsatz ein Preis von ca. 26 Pf/Liter Hydrierbenzin errechnet. Für das Synthesebenzin ergeben sich gleichfalls ca. 26 Pf/Liter (Lurgi) bzw. 30 Pf/Liter (Sasol).

Bei der Verwendung von Erdgas mit einem Wärmepreis von $0,6$ Pf/ 10^3 kcal als Rohstoff der Synthese beträgt der Benzinpreis gleichfalls ca. 26 Pf/Liter.

In USA würde bei einem Kohlepreis von $4,13$ \$/t ($0,24$ Pf/ 10^3 kcal) das durch Hydrierung erzeugte Benzin etwa 20...23 Pf/Liter kosten. Durch Synthese auf Basis Erdgas ($0,4$ Pf/ 10^3 kcal) ergäbe sich hier ein Preis von ca. 20 Pf/Liter. Diese Preise liegen über dem amerikanischen Benzinpreis ab Raffinerie.

In Südafrika wären beim Preis der dortigen Steinkohle die Kosten von Hydrier- und Synthesebenzin trotz Einsatz von Kohlen gleichen Wärmepreises nur wenig voneinander verschieden. Aus Tab. 7-1 ergeben sich 22 Pf/Liter Hydrierbenzin bzw. 20 Pf/Liter Synthesebenzin. Da die Benzinpreise in Südafrika 18 bis 21 Pf/Liter betragen und im derzeitigen Synthesewerk neben Benzin höherwertige Nebenprodukte (Paraffin, Alkohole u.a.m.) erzeugt werden, kann mit Gewinn gearbeitet werden.

Zusammenfassend ergibt sich aus diesen Berechnungen, daß in der Bundesrepublik die Bedingungen für die Herstellung von flüssigen Kraftstoffen aus Kohle infolge der hohen Kohlepreise und des mit derzeit 5...9 Pf/Liter besonders niedrigen Preises für Benzin ab Raffinerie ungünstig sind. Hier ist nicht daran zu denken, durch Hydrierung oder Synthese wirtschaftlich Benzin zu erzeugen^{x)}. Nur politische Erwägungen könnten in der Bundesrepublik eine Gewinnung flüssiger Kraftstoffe aus Kohle rechtfertigen. Würde man die unvermeidbar wesentlich höheren Kosten des aus Kohle gewonnenen Benzins bei der Produktion von 10% des Gesamtbedarfes auf das gesamte Benzin umlegen⁺), so ergäbe sich aus dem derzeitigen Benzinpreis von im Mittel etwa 7 Pf/Liter frei Raffinerie ein Mischpreis von etwa 10 Pf/Liter - ein Preis der noch unter dem derzeitigen mittleren USA-Benzinpreis frei Raffinerie liegen würde.

Wenn die Bundesrepublik heute kurzfristig vor die Notwendigkeit gestellt würde, Kraftstoffe aus Kohle zu erzeugen, würde es im Falle der Hydrierung notwendig sein, die Anla-

x) Faltings, V.: Zur Möglichkeit der Kohlehydrierung in der Bundesrepublik. Vortrag anlässlich der 10. Sitzung des Ausschusses "Kohlechemie" am 28.3.1968.

+) Barking, H.: Ohne sichere Energie keine gesicherte Wirtschaft, Walsum/Niederrhein, März 1970.

gen trotz der bereits erwähnten hohen Investitionskosten weitgehend entsprechend den deutschen Erfahrungen aus den Jahren vor 1945 auszulegen. Für eine Anlage mit einer Kapazität von 2,5 Mio jato Kraftstoffe betrüge die notwendige Vergrößerung dabei nur etwa 1:3. Um von neueren Arbeiten aus USA ausgehen zu können - die geringere Anlagekosten versprechen, aber eine Vergrößerung im Maßstab 1:1000 für wichtige Verfahrensschritte bedeuten würden - wären noch wesentliche Entwicklungsarbeiten zu leisten. Im Falle der Synthese würde die Vergrößerung gegenüber dem Betrieb im Synthesewerk Sasolburg etwa 1:10 betragen.

Bislang nicht vollkommen gelöste Entwicklungsprobleme (s. Kap. 8) betreffen auf dem Gebiet der Hydrierung u.a. eine möglichst vollständige Entaschung der Kohle, die Entwicklung geeigneter Katalysatoren hoher Aktivität und Stabilität, den Bau größerer Reaktoren und die Beherrschung der Reaktionen bei deren Einsatz. Sowohl für die Hydrierung als auch für die Synthese wäre die Entwicklung leistungsfähigerer Gaserzeuger vorteilhaft. Selbst wenn man bei der Bearbeitung dieser Probleme neuere Erkenntnisse der Verfahrenstechnik und Erfahrungen der Mineralölindustrie verwerten kann, ist die Planung und Errichtung einer betriebsreifen Großanlage zur Herstellung von Kraftstoffen aus Kohle eine echte Aufgabe für Chemiker und Ingenieure.

10. ZUSAMMENSTELLUNG DER LITERATUR DES IN- UND AUSLANDES
=====

Die Literatur ist - jeweils am Ende der einzelnen Kapitel - auf folgenden Seiten angegeben:

	Seite
zu Kap. 2.1 (Hydrierung vor 1945)	56
zu Kap. 2.2 (Synthese vor 1945)	94
zu Kap. 3 (Eignung der Kohle)	126
zu Kap. 4.1 (Verfahrenstechnik Gaserzeugung)	160
zu Kap. 4.2 (Verfahrenstechnik Hydrierung)	204
zu Kap. 4.3 (Verfahrenstechnik Synthese)	235
zu Kap. 5 (Aufarbeitung der Produkte)	282
zu Kap. 6 (Absatz der Produkte)	319
zu Kap. 7 (Wirtschaftliche Aspekte)	345