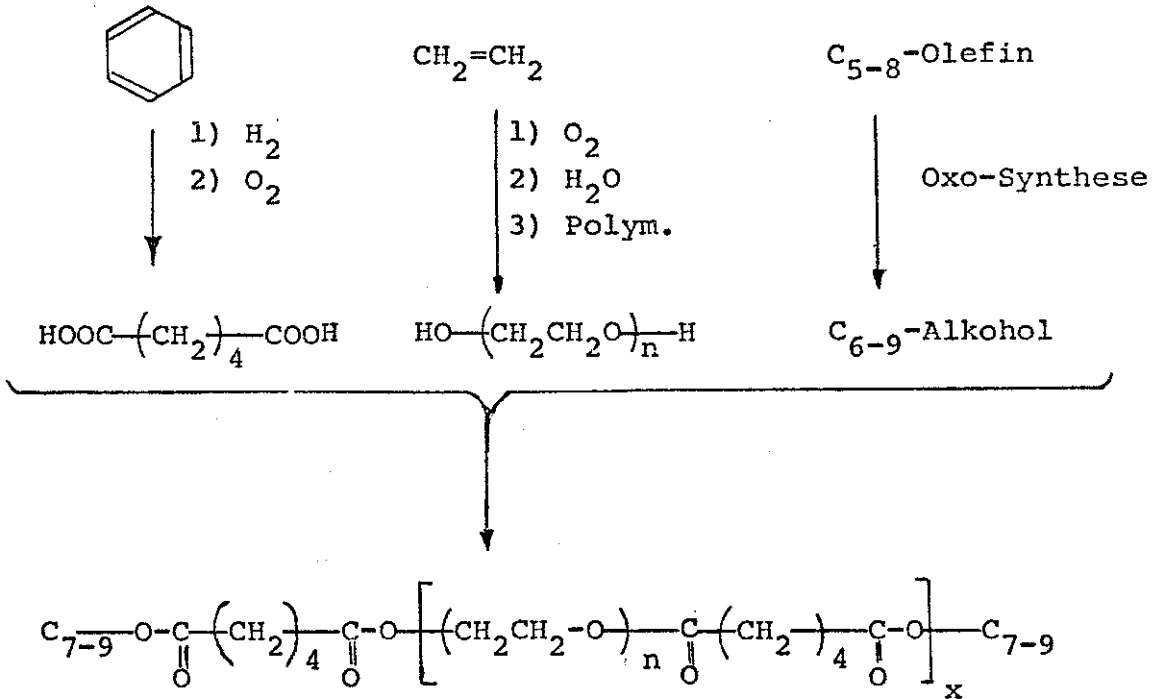


falls auf der Basis der Kohleverflüssigung hergestellt werden. So sind z.B. alle Komponenten für die komplexen Esteröle bestehend aus Adipinsäure, Polyäthylenglykol und 2-Äthylhexanol bzw. C₇-C₉-Oxoalkoholen¹⁸⁾ auf der Basis der Kohleverflüssigung denkbar:



6.3.8 Eiweiß und Fette

In umfangreichen Versuchen und nachfolgenden Entwicklungsarbeiten ist es in den letzten 5 bis 10 Jahren gelungen, eine Methode zu entwickeln, welche die Umwandlung von Normalparaffinen in Eiweiß erlaubt^{24,25)}. Diese Entwicklung ist sehr bedeutend, da auf diese Weise die Produktion von wichtigen Nahrungsmitteln einerseits unabhängig von Saison, Witterung, Standort und Bodenbeschaffenheit und andererseits mit einer auf das hundert- bis tausendfach gesteigerten Produktionsrate betrieben werden kann. Wie aus Tabelle 6-7 hervorgeht, ist nämlich die Produktionsrate bei der Erzeugung von Eiweiß durch

Einwirkung von Bakterien oder Hefe auf Paraffine etwa 3500 mal so groß wie die Rate bei der Produktion von Eiweiß durch Rinderzüchtung.

Tabelle 6-7: Produktionsraten bei der Erzeugung von Proteinen

Produktionsart	Benötigte Zeit zur Massenverdoppelung
Rind	5 - 9 Wochen
Schwein	4 - 6 Wochen
Küicken	2 - 4 Wochen
Algen	2 - 48 Stunden
Bakterien und Hefen	10 - 20 Minuten

Die Methode der synthetischen Eiweißherzeugung beruht darauf, daß sich Mikroorganismen, welche sich von Kohlenwasserstoffen ernähren, sehr rasch reproduzieren und somit die Proteinsubstanz vermehren. Die für die Erzeugung von wertvollen Proteinsubstanzen brauchbaren Mikroorganismen sind jedoch sehr selektiv in ihrer bevorzugten Nahrung: sie konsumieren nur n-Paraffine. Infolgedessen muß man bei der Umwandlung von Mineralölprodukten in Eiweiß entweder die n-Paraffine abtrennen oder eine beträchtliche Verunreinigung der Proteinmasse durch die nicht fermentierten verzweigten Kohlenwasserstoffe in Kauf nehmen, d.h. es fallen in jedem Falle Kosten für die Trennung an. Im Gegensatz dazu wären die praktisch linearen Paraffine der Festbettsynthese geradezu ideale Ausgangsstoffe für die Gewinnung von Proteinen.

Während über die Verwendung von Kohleverflüssigungsprodukten zur Herstellung von Proteinen noch keine publizierten Versuchsergebnisse vorliegen, hatte die Benzinsynthese früher schon einmal als Quelle für synthetische Fette gedient²⁶⁾. Diese Synthese beruhte auf der katalytischen Oxidation von Syntheseparaffinen (Paraffin-Gatsch) zu einem Gemisch von Carbonsäuren, aus welchem die für ein Speisefett brauchbaren

C_{12} - C_{18} -Säuren isoliert und mit Glycerin verestert wurden. Ein besonderes technisches Problem stellte dabei die Abtrennung von unbrauchbaren, d.h. nicht verdaubaren oder gar schädlichen Nebenprodukten der Oxidation dar. Trotz dieser enormen Anfangsschwierigkeiten wurden während des Krieges in Witten/Ruhr, sowie in Oppau Anlagen mit einer Kapazität von 40 000 t bzw. 20 000 t Gatsch erstellt, welche neben Fettsäuren für die Seifenindustrie synthetisches Fett produzierten. Es wird berichtet^{26,27}, daß derartige Synthesefette in Resorption und Bekömmlichkeit den Naturfetten praktisch gleichkamen, wenn sie in Mengen von 100-150 g/Tag verzehrt wurden.

Die in diesem Kapitel ausgeführten Vorschläge zur Verwendung der Nebenprodukte der Hydrierung und der Synthese sind als eine prinzipielle Darlegung der bestehenden technischen Möglichkeiten für ihre Verwendung zu betrachten, die gegebenenfalls die Wirtschaftlichkeit der Herstellung flüssiger Kraftstoffe aus Kohle günstiger gestalten könnten. Die meisten der hier behandelten Produkte werden zur Zeit aus wirtschaftlichen und technischen Gründen auf Basis Erdöl erzeugt.

6.4 Literatur

- (1) H. Pichler und A. Hector, in: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Bd. 16, 3. Aufl., 599-635 (1965)
- (2) H.-W. Groß und W. Rottig, *ibid.* S. 702-704
- (3) Bureau of Mines, Bull. 633, Hydrogenation of coal and tar, S. 149 (1968)
- (4) Office of Coal Research, Research & Development Report Nr. 26, Project H-Coal, Report on Process Development
- (5) Office of Coal Research, Research & Development Report Nr. 43, "Chemical By-Products from Coal"
- (6) Siehe z.B.: P.E. Rousseau, J.W. van der Merve und J.D. Louw, Brennst. Chem. 44, Nr. 6, 162 (1963)
- (7) H. Pichler, H. Schulz und D. Kühne, *ibid.* 49, Nr. 11, 344 (1968)
- (8) H. Pichler und A. Zein El Deen, unveröffentlichte Resultate
- (9) Über Reinheitsanforderungen an Paraffine für die verschiedensten Verwendungszwecke; siehe: H.J. Hofmann, Erdöl Kohle-Erdgas-Petrochem., 17, 717-721 sowie 913-916 (1964)
- (10) A.L. Waddams, "Chemische Produkte aus Erdöl", Birkhäuser Verlag, 1970
- (11) F.J. Bellringer und C.E. Hollis, Hydrocarbon Processing, 47 (11), 127-130 (1968)
- (12) Bundesgesetzblatt, Teil I (1961) S. 1653
- (13) R. Ströbele, Chemie-Ing.-Techn. 36, 858-865 (1964)
- (14) Siehe z.B.:
 - a) I.A. Eldib, Detergent Age, 2 (1), 27-34 (1965)
 - b) P. Baumann, Proceedings of the 4th International Congress on Surface Active Substances, Brussels 7-12.9.1964, Bd. 1, S. 1-20
 - c) K.A. Scott, Hydrocarbon Processing, 43 (3), 97 (1964)
 - d) R.D. Swisher, Soap and Chemical Specialities, 39 (7), 47 und 57 (1963)
 - e) H.S. Bloch, Detergent Age, 3 (8), 33 (1967)
 - f) L.F. Hatch, Hydrocarbon Processing, 43 (3), 91-96 (1964)
 - g) P.J. Weaver, Hydrocarbon Processing, 43 (3), 101-103 (1964)
 - h) F. Andreas, Chem.Techn. 16 (8), 449-457 (1964)

- (15) G. Schneider, *Seifen-Öle-Fette-Wachse*, 95 (26), 970-974 (1969)
- (16) Für einen Überblick siehe: W. Perkow, "Die Insektizide. Chemie, Wirkungsweise und Toxizität." Hüthig Verlag, 1968
- (17) Siehe z.B. J. Teubel und K. Drescher: "Additives für Schmierstoffe: Oxidationsinhibitoren und Detergent-Dispersant-Zusätze." VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1962, S. 61 ff
- (18) D. Klamann und H. Assmann, in: *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie*, Bd. 3 (3) 204-330 (1964)
- (19) H. Zorn, *Angew. Chem.*, 51, 852 (1938)
- (20) F. Fischer und H. Koch, *Brennst.Chem.* 24, 463 (1933)
- (21) F. Fischer, H. Koch und K. Wiedeking, *Brennst.Chem.* 15, 229 (1934)
- (22) H. Koch und G. Ibing, *Brennst.Chem.* 16, 185 (1935)
- (23) H. Kölbel, *Erdöl Kohle-Erdgas-Petrochem.*, 1, 308 (1948)
- (24) I.C. Bennett, J.C. Hondermark und J.R. Todd, *Hydrocarbon Processing*, 47 (3), 104 (1969)
- (25) T. Takata, *Hydrocarbon Processing*, 47 (3), 99 (1969)
- (26) W. Wachs und J. Reitstätter, *Angew.Chem.* B 20, 61 (1948)
- (27) K. Thomas, *Angew.Chem.* A 60, 48 (1948)
- (28) Statistisches Bundesamt, "Industrie und Handwerk" Vierteljahresberichte Reihe 3 - Industrielle Produktion Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart (1969 und 1970)
- (29) Verband der Chemischen Industrie e.V., "Chemiewirtschaft in Zahlen" 12. Aufl., Düsseldorf (1970)
- (30) *Erdöl Kohle-Erdgas-Petrochem.* 23, 460 (1970)

7. WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE DER EINZELNEN
VERFAHREN UND GRÖSSENORDNUNGEN DER
EVTL. ZUKÜNFTIGEN ANLAGEN

=====

7.1 Grundlagen

7.2 Anlagekosten

7.3 Kosten der Kraftstoffherstellung

7.4 Wirtschaftliche Größenordnung einer Hydrier- bzw. Syntheseanlage

7.5 Literatur

Fußnote zu S. 323

- +)
- Die Zugrundelegung des Consol-Prozesses als Typ eines neueren Kohle-Hydrierverfahrens bedeutet nicht eine Betterbewertung gegenüber den anderen in USA bearbeiteten Verfahrensvorschlägen. Für diesen Prozeß standen lediglich die eingehendsten Unterlagen zur Verfügung. Daß dieser Prozeß - wie aus den USA nach Abschluß der Ausarbeitung dieser Studie bekannt wurde - vom Office of Coal Research nicht mehr verfolgt wird, während die Mineralölindustrie den H-Coal Prozeß fördert, ist für den wirtschaftlichen Vergleich von Synthese und Hydrierung unwesentlich, da die in Berichten mitgeteilten Kostenbilanzen für die beiden Hydrierprozesse (s. Tab. 4-14 bzw. 4-19 der Studie) etwa gleich sind.

7.1 Grundlagen

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer zukünftigen Anlage zur Herstellung von Kraftstoffen aus Kohle durch Hydrierung oder Synthese wird erschwert durch die Tatsache, daß seit Stilllegung der letzten der in den Jahren vor 1945 gebauten Werke Verfahren dieser Art in Europa nicht mehr Verwendung fanden. Die Entwicklung auf dem Energiemarkt bot auch den Ingenieurfirmen keinen Anreiz zur Projektierung solcher Anlagen in der Bundesrepublik. Ein weiteres Hemmnis für einen Vergleich ist, daß auf dem Gebiet der Kohlehydrierung auch in der übrigen Welt zur Zeit kein produzierendes Werk besteht und daß daher nur für die Synthese echte Betriebsergebnisse - aus dem Werk Sasolburg/Südafrika - verfügbar sind. Die Einholung von Richtangeboten über vollständige und nach dem neuesten technischen Stand ausgelegte Hydrier- bzw. Synthesewerke in Deutschland soll einem späteren Zeitpunkt vorbehalten bleiben. Von den aus früheren deutschen Werken bekannten Angaben auszugehen und die Kosten für eine jetzt zu errichtende Anlage unter Anwendung des Faktors von 500 % für die seit 1938 im Apparatebau eingetretene Kostensteigerung zu extrapolieren, hätte zu völlig undiskutablen Werten - z.B. von mehr als 2 500,- DM/jato Hydrierkapazität - geführt. Auch für die Bearbeitung der wirtschaftlichen Fragen wird daher von folgenden neueren Arbeiten aus dem Ausland

- Projektstudie zur Kohlehydrierung nach Vorschlägen der Consolidation Coal Comp., Pa. +)
(ausgearbeitet von Ralph M. Parsons Co., Los Angeles) 1)
- Betriebsergebnisse des Synthesewerkes Sasolburg und Ausarbeitungen zum Bau eines größeren Synthese- bzw. eines Hydrierwerkes 2)

ausgegangen. Die Tatsache, daß von der Entwicklungsabteilung bei Sasol beide Prozesse bearbeitet worden sind und daß man trotz zufriedenstellender Ergebnisse des dortigen Synthese-

werkes Arbeiten auf dem Gebiet der Hydrierung mit Interesse verfolgt und durch eigene Versuche deren Entwicklung fördert, macht die Angaben der Sasol zu einer guten Grundlage für die Übertragung beider Systeme auf deutsche Verhältnisse. Um die unterschiedlichen wirtschaftlichen Voraussetzungen in den drei Ländern (Deutschland, Südafrika, USA) auszugleichen, müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Preis und Qualität der Kohle (Aschegehalt; Gehalt der Reinkohle an C und H, sowie an O, N und S);
- Preis sonstiger Energien und Betriebsstoffe (Heizöl, Erdgas, elektr. Energie; Wasser, Chemikalien, Katalysatoren);
- Preis für Nebenprodukte (Ammoniak, Schwefel, Teer, Koksrückstand, Phenole und andere organische Verbindungen);
- Preis des Rohöls und der daraus erzeugten Produkte (Benzin, Dieselöl, Heizöle, Flüssiggas);
- Löhne und Gehälter, sowie alle darauf bezogenen allgemeinen Zuschläge;
- Kapitalzins, Versicherungen und Steuern;
- Preise für Werkstoffe (Stahl, Aluminium, Kupfer), sowie Preis für vollständige Chemieanlagen.

Unterschiede in der Qualität der jeweils verfügbaren bzw. der Bearbeitung zugrundeliegenden Kohlen gehen aus Tabelle 7-1 hervor. Die US-Kohle unterscheidet sich von der für deutsche Verhältnisse zugrundegelegten Richtkohle durch den um ca. 6% höheren Aschegehalt und den um etwa 4% höheren Schwefelgehalt (i.waf). Die südafrikanische Kohle hat 22% mehr Asche und einen um 8% höheren Sauerstoffgehalt (i.waf). Der Aschegehalt dieser Kohle entspricht etwa dem einer in der Bundesrepublik hauptsächlich in Zechenkraftwerken eingesetzten Ballastkohle.

Aus dem Gehalt an disponiblen Wasserstoff und dem Aschegehalt der Kohlen ist zu ersehen, daß die Ireland Mine-Kohle und eine Ruhr-Gasflammkohle etwa vergleichbar sind. Bei der Hydrierung erfordert die Sigma-Kohle wegen des geringeren $H_{disp.}$ -Wertes einen gesteigerten Zusatz von Fremdwasserstoff. Für Hydrierung und Synthese bedeutet der höhere Aschegehalt der Sigma-Kohle

eine stärkere Belastung der Kohle-Verarbeitungsanlagen, ohne jedoch den nachfolgenden Prozeß und die Nebenproduktenverarbeitung wesentlich zu beeinflussen.

Tabelle 7-1: Vergleichswerte für die Qualität der zugrundegelegten Einsatzkohle in Deutschland, Südafrika und USA

Land Kohlebasis Analysen- basis +)	BRD Gasflammkohle		USA Ireland Mine		Südafrika Sigma	
	i.wf	i.waf	i.wf	i.waf	i.wf	i.waf
Reinkohle %	94,0		87,7		71,9	
Asche %	6,0		12,3		28,1	
	100,0		100,0		100,0	
C %	78,5	83,5	69,9	79,7	55,5	77,2
H %	5,2	5,5	4,8	5,5	2,9	4,0
O %	8,0	8,5	7,5	8,6	11,6	16,1
N %	1,4	1,5	1,2	1,3	1,3	1,9
S %	0,9	1,0	4,3	4,9	0,6	0,8
	94,0	100,0	87,7	100,0	71,9	100,0
H _{disp.} ^{o)} g/100gC		4,8		4,9		1,9

+) i.wf = wasserfreie Probe
i.waf = wasser- und aschefreie Probe

o) nach Abzug des Wasserstoffbedarfs für die Umwandlung von O, N und S zu H₂O, NH₃ und H₂S verbleibender Restwasserstoffgehalt der Kohle

Tabelle 7-2 bringt einen Überblick über einige in Deutschland, in USA bzw. in Südafrika geltende Preise. Gemessen an den derzeitigen Verhältnissen in der Bundesrepublik (BRD 1970 = 100) und unter Zugrundelegung der geltenden Umrechnungskurse für die ausländischen Währungen ergeben sich die in Tabelle 7-3 eingetragenen Relationen.

Tabelle 7-2: Rohstoff-, Energie- und Werkstoffpreise, Anlage- und Lohnkosten 5-8)

	1938/40 Deutschland RM/Einheit	1968/69 USA DM ^{xxx} je Einheit	1970 S-Afrika DM ^{xxx} je Einheit	1970 Bundesrepublik Deutschland DM/Einheit
Kohle ab Zeche bzw. Grube				
Steinkohle roh t	18,--		(1,34) (6,70) ^{†)}	(39,90) 84,-- +)
10...80 mm waf t	19,50		(2,09) (10,45)	(66,50) 95,50
Pf/10 ³ kcal	0,25		(0,16)	(0,85) 1,22
0...10 mm roh t	12,25	4,13		81,40
waf t	14,25	4,71		90,50
Pf/10 ³ kcal	0,17	0,24		1,15
Braunkohle				
Rohbraunkohle t	3,--			8,50
waf t	7,50			22,--
Pf/10 ³ kcal	0,12			0,425. 0,5x)
Steinkohlenkoks				
Brechkoks roh t	22,--			160,--
II/III waf t	26,--			175,--
Pf/10 ³ kcal	0,33			2,21
Mineralöl, Mineralölprodukte ab Raffinerie				
Rohöl t	35,--			56,--...80,--
Pf/10 ³ kcal		21,--	81,--	0,60...0,85
Heizöl S t	30,--	16,--	64,--	85,--...100,-- ^{o)}
Pf/10 ³ kcal				0,90...1,05
Heizöl EL t				105,--...130,--
Pf/10 ³ kcal				1,10...1,40
Dieselmotortreibstoff t	48,50			110,--...130,--
Vergaserkraftstoff				
-OZ 70 t	80,--			
-OZ 87 t	100,--			
-OZ 93 t		40,--	160,--	53,50 274,50
-OZ 98 t				59,30 296,50
				70,--...100,--
				85,--...120,--

Flüssiggas	Pf/10 ³ kcal	t	200,-- 1,55	45,-- 225,--	90,--...120,-- 0,83...1,10
Erdgas	Pf/10 ³ kcal	Nm ³	0,13 ¢	0,52	5,00...6,00 0,70...0,80
Nebenprodukte					
Ammoniak		t	38,58	154,30	165,--
Ammonsulfat (als N ₂)		t	93,53	374,10	160,--(oo)
Schwefel		t	34,45	137,80	100,--
Phenole		t	88,19	352,70	600,--
Teer		t		20,--	60,--
Xylol		t		76,--	200,--...250,--
Aceton		t		150,--	380,--
Methanol		t		66,--	250,--
n-Propanol		t		132,--	1250,--
n-Butanol		t		220,--	600,--
Methyläthylketon		t		220,--	680,--
Elektr.-Energie	kwh Pf/kwh		0,95 ¢	3,50	0,55 ¢ 2,75
Werkstoffe und Anlagen			1,50		5,--
Grobbleche		kg	0,15		...0,85
" verarb.		kg	0,40...0,75		...2,--
Leg. Stahl		kg	5,--...15,--		5,--...10,--
Aluminium		kg	1,35		3,20
Kupfer		kg	0,50...0,85		...7,--
Behälter allg.		kg	3,--...4,--		6,20
Apparatebau			100%		500%
Löhne incl. Zuschläge pro Mann und Jahr			4000,--	11000,-- 40000,--	4500,-- 22500,-- 25 000,--

xx) 1 US-¢ = 4,-- DM; 1 Rd (Rand) = 5,-- DM
 x) langfristig wahrscheinlich zu halten
 o) incl. 25,-- DM/t Sondersteuer
 oo) mit stark fallender Tendenz

t) Die in () gesetzten Steinkohlenpreise gelten für ballastreiche Kohlen mit ca. 40 % (Asche + Wasser)
 Die Wärmepreise in Pf/10³kcal beziehen sich grundsätzlich auf den unteren Heizwert H_u.