

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

4. Wirtschaftliche Aspekte einer modifizierten FT-Synthese

4.1 Über die FT-Synthese herstellbare Chemierohstoffe und Chemiegrundstoffe

4.1.1 Primärprodukte der FT-Synthese

Die FT-Synthese liefert in ihrer ursprünglichen Durchführung nach dem Rohrreaktor-Festbett-Gasphaseverfahren als Hauptprodukte alle geradkettigen homologen Kohlenwasserstoffe von Methan bis zu polymethylenartigen Hartparaffinen als Alkane oder als Alkene, wobei die Alkene überwiegend als geradkettige unverzweigte α -Monoolefine anfallen. Als Nebenprodukte werden geringe Mengen sauerstoffhaltiger Verbindungen gebildet, besonders wasserlösliche Alkohole und Aldehyde bzw. Ketone von niedrigem Molekulargewicht. Carbonsäuren machen im allgemeinen weniger als 1 % des gesamten Produkthanfalls aus; Aromaten entstehen nur in Spurenanteilen.

Durch Variation der Reaktionsparameter und der Katalysatoren kann die Produktpalette sowohl in der Siedelageverteilung als auch im Alkengehalt innerhalb bestimmter Grenzen beeinflusst werden. Diese allgemeine Aussage gilt bevorzugt für das technisch durchgeführte Gasphase-Festbettverfahren (Temperaturbereich 180 bis 250 °C) und für das in einer Pilot-Anlage erprobte Flüssigphaseverfahren (Temperaturbereich 240 bis 270 °C) mit suspendierten Katalysatoren. Für die im Temperaturbereich 300 bis 350 °C betriebenen Verfahren der Hydrocarbon Research (Wirbelschicht) und der Kellogg / Sasol (Flugstaub) ist die Zusammensetzung der Primärprodukte durch die Verfahrensweise und die Reaktionsparameter weitgehend festgelegt und nur innerhalb relativ enger Grenzen variierbar. Charakteristisch für beide letztgenannten Verfahren ist der vermehrte Anteil an aromatischen und an sauerstoffhaltigen Verbindungen, während hochsiedende Produkte nur in geringen Mengen gebildet

werden und auch für die Verfahrensdurchführung nachteilig sind. Das Flugstaubverfahren der Kellogg / Sasol erscheint daher für die Herstellung von Motorkraftstoffen prädestiniert und wird in Südafrika zu diesem Zweck betrieben, wogegen das Gasphase-Festbett- und das Flüssigphaseverfahren entsprechend der Aufgabenstellung bevorzugt kurzkettige oder langkettige Produkte zu liefern vermögen.

Generell sind alle FT-Produkte frei von Schwefelverbindungen und sonstigen die Verarbeitung oder die Verwendbarkeit störenden Verunreinigungen und stellen wertvolle Roh- oder Grundstoffe für die chemische Industrie dar. Die Entwicklung der Kohlechemie in Deutschland ab Ende der 30er Jahre erhielt einen entscheidenden Anstoß durch die Verfügbarkeit aliphatischer Kohlenwasserstoffe aus den damals ausschließlich nach dem Gasphase-Festbettverfahren arbeitenden FT-Anlagen. Gegen Kriegsende wurden bereits beträchtliche Mengen der FT-Produkte chemisch weiterverarbeitet.

4.1.2 Einsatz von FT-Produkten in die chemische Weiterverarbeitung

Vor und während des Krieges waren die Synthesewerke auf die Produktion von Motorkraftstoffen ausgerichtet, so daß nur ein Teil der anfallenden Produkte für die chemische Weiterverarbeitung verfügbar war (1943/44: ca. 250 000 t/a). Die wichtigsten Verwendungsmöglichkeiten waren:

Fraktion $>C_{18}$

Gewinnung von Hart-, Tafel-, Weichparaffinen.
Weiterverarbeitung durch Chlorierung/Dehydrochlorierung, Nitrierung, Oxidation oder Verseifung zu Wachsen, Fettsäuren, Fettsäureestern, Emulsionen und Suspensionen.
Spaltung der Kohlenwasserstoffe durch thermisch-katalytisches Cracken zu α -Olefinen C_9 bis C_{18} .

Fraktion C₁₀ bis C₁₈

Sulfochlorierung der gesättigten Kohlenwasserstoffe zu Waschmittelkomponenten ("Mersolat D"). Kondensation chlorierter Paraffinkohlenwasserstoffe mit Naphthalin zu Schmierölen, Polymerisation der α -Olefine zu Schmierölen und Schmierfetten. Erzeugung von Waschröhstoffen durch Hydroformylierung von α -Olefinen.

Fraktion C₅ bis C₉

Dehydrocyclisierung zu BTX-Aromaten. Hydroformylierung der α -Olefine und Weiterverarbeitung zu Weichmacheralkoholen, Lösungs-, Wasch- und Textilhilfsmitteln, Lackrohstoffen. Die große Bedeutung der α -Olefine dieser Fraktion wurde vor allem nach dem Kriege erschlossen, heute besteht eine Vielzahl bedeutender Verwendungsmöglichkeiten.

Fraktion C₂ bis C₄

Die chemische Weiterverarbeitung dieser Fraktion aus den deutschen Synthesewerken war bis Kriegsende ohne große Bedeutung. Methan, Äthan und Äthylen wurden als unerwünschte Nebenprodukte im Syntheserestgas belassen, das als Heizgas verwendet wurde.

Der Schwerpunkt des Bedarfs der heutigen chemischen Industrie liegt eindeutig im Bereich der C₂- bis C₄-Olefine (s. 4.2.1): aus Äthylen, Propylen und den einkernigen Aromaten (BTX) werden über eine Vielzahl von Reaktionen die meisten höhermolekularen Endprodukte der modernen Chemie produziert. Die konventionelle FT-Synthese war für die Produktion von Motorkraftstoffen konzipiert worden und war nicht auf das Bedarfspektrum der chemischen Industrie ausgelegt gewesen. Für die Produktion von C₂- bis C₄-Olefinen über die FT-Synthese eröffnen

sich zwei Möglichkeiten: die Herstellung eines Naphtha-Substituts und dessen Einsatz in die Pyrolyseanlagen der mineralölverarbeitenden Industrie, oder die direkte Erzeugung dieser Olefine durch Synthese. Im ersten Fall könnte weitgehend auf die bekannten Technologien der konventionellen FT-Synthese zurückgegriffen werden, während andernfalls neue Katalysatoren und Verfahrensbedingungen für eine modifizierte Synthese entwickelt werden müßten.

4.1.3 Aufarbeitung von FT-Primärprodukten zu C₂- bis C₄-Olefinen

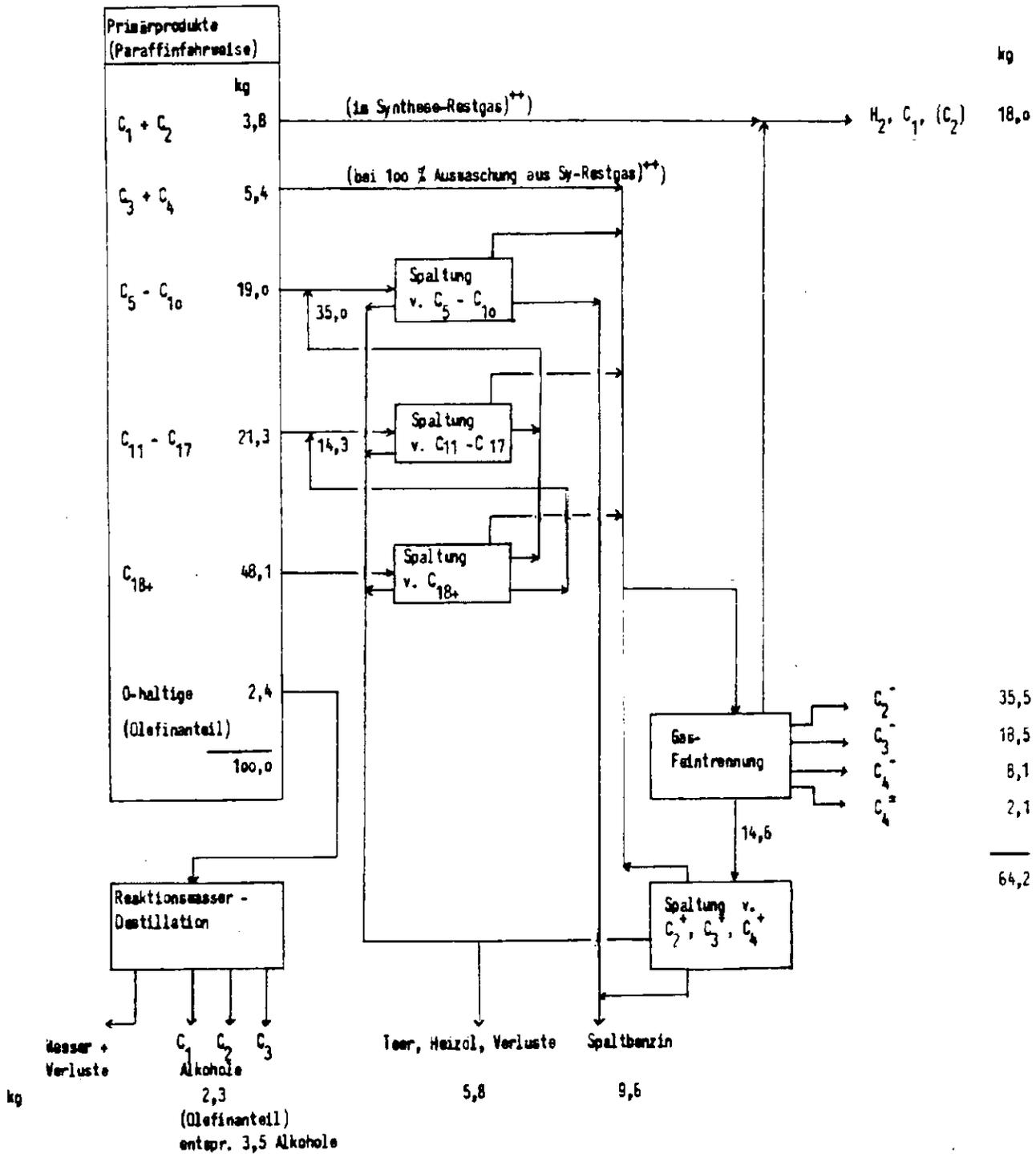
Ausgehend von Kohle könnte die Erzeugung eines Naphtha-Substituts ohne wesentliche Weiterentwicklung der konventionellen FT-Synthese realisiert werden. Legt man das Gasphase-Festbettverfahren mit der Betriebsweise zur Erzeugung eines maximalen Paraffinanfalls zugrunde, so ergibt sich das in Abb. 7 dargestellte Verarbeitungs- und Mengenschema. Bei Einsatz von 100 kg Primärprodukt C₁₊ in die Weiterverarbeitung wären folgende Mengen an Haupt- und Nebenprodukten zu erwarten:

<u>Hauptprodukte</u>		<u>Nebenprodukte</u>	
Äthylen	35,5 kg	Spaltgas (H ₂ , CH ₄)	18 kg
Propylen	18,5 kg	Spaltbenzin	9,6 kg
Butylene	8,1 kg	Teer, Öl, Verluste	5,8 kg
Butadien	2,1 kg	C ₁ - bis C ₃ -Alkohole	2,3 kg KWe *)
	<u>64,2 kg</u>		<u>35,7 kg</u>

*) = 3,5 kg Alkohole

Der Heizwert der Nebenprodukte (ohne Alkohole) würde vermutlich den Heizmittelbedarf der Spaltanlage gerade decken können. Im Vergleich zur Mineralölverarbeitung wäre die FT-Synthese auch bei niedrigen Kohlepreisen in dieser Form kaum wirtschaftlich zu betreiben (s. 4.2.3)

Abb. 7: Beispiel für Aufarbeitung der FT-Primärprodukte des Festbettverfahrens zu C₂- bis C₄-Olefinen^{*)}



^{*)} Schätzung durch Auswertung früherer Paraffinspaltungen bei der Ruhrchemie

^{**)} Für die teilweise Gewinnung von C₃ und für die unvollständige Gewinnung von C₃ wurde in dieser Grobschätzung keine Korrektur vorgenommen.

4.2 Bedarfsentwicklung von Chemierohstoffen und Chemiegrundstoffen in der Bundesrepublik

4.2.1 Verbrauch an Chemierohstoffen und Chemiegrundstoffen

Die Verbrauchszahlen der hier besonders interessierenden Produkte für 1973 sind zusammen mit den Ende 1974 gezahlten Preisen, die in den nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsrechnungen angesetzt wurden, in Tabelle 13 (S.71) zusammengestellt. Die Entwicklung der Produktion der bedeutendsten organischen Primär- und Industriechemikalien ist in Abb. 8 (S.72) wiedergegeben.

Fast 75 % des Gesamtverbrauchs an organischen Primärchemikalien, der 1973 ca. 7,5 Mio t betrug, entfielen auf Aliphaten, der verbleibende Anteil auf Aromaten. Etwa die Hälfte des Verbrauchs an Aliphaten entfiel auf Äthylen, etwa ein Drittel auf Propylen. Kohlenwasserstoffe oberhalb C_4 umfaßten nur rund 8 % des Gesamtbedarfs an Aliphaten. Die Wachstumsrate des Verbrauchs an C_2 - bis C_4 -Olefinen war überdurchschnittlich hoch, und eine generelle Trendänderung im Vergleich zur Entwicklung im Mineralöl- und Energiesektor ist auch zukünftig nicht abzusehen, wenn auch geringere als die früheren Wachstumsraten für die nächsten Jahre wahrscheinlich sind.

4.2.2 Rohstoffversorgung auf Basis von Erdöl

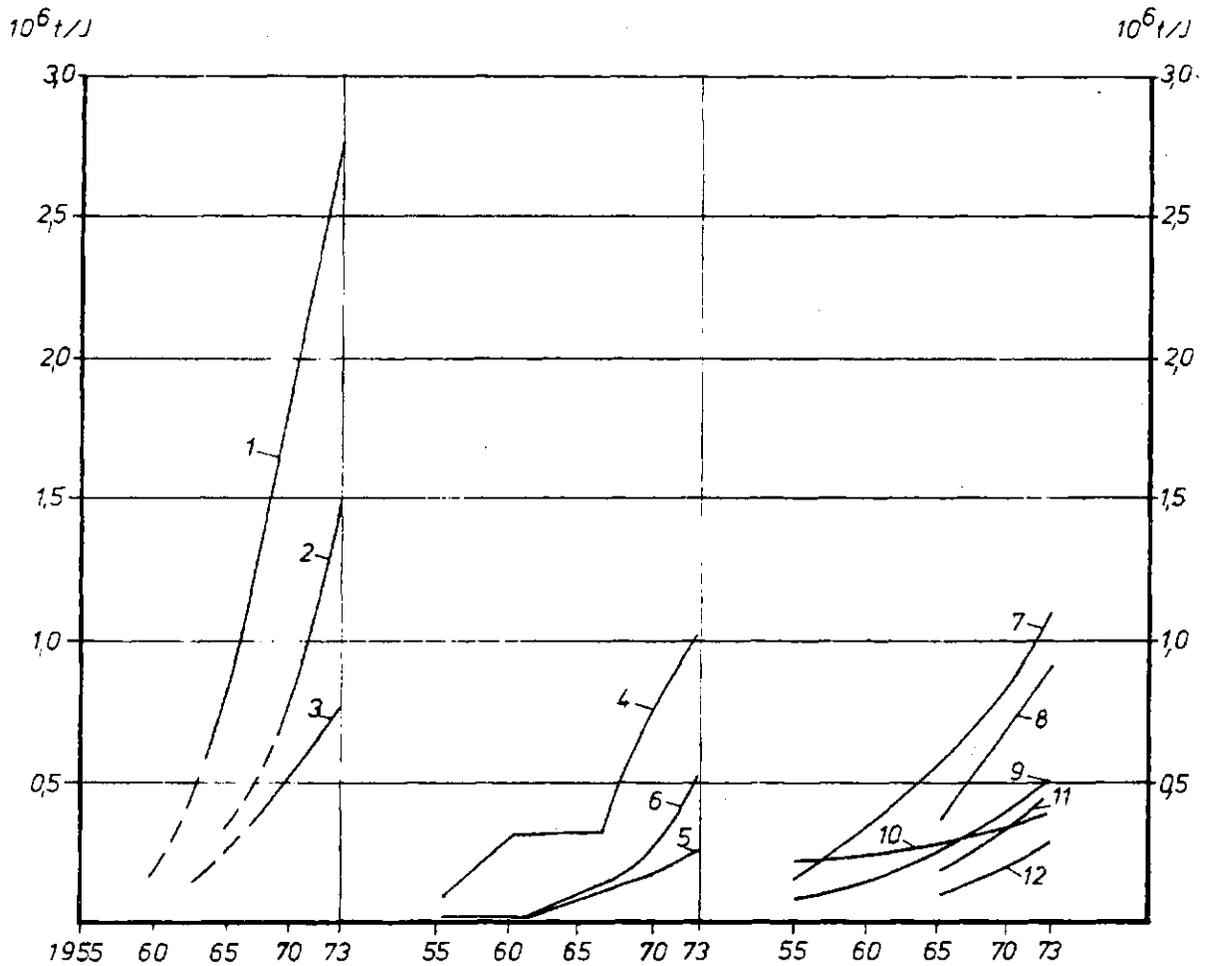
Der Erdölverbrauch der Bundesrepublik wird nicht in dem vor der Mineralölkrise geschätzten Umfang weiterhin steigen. Als Ergebnis der Überlegungen zur Energieeinsparung und zur Reduzierung der Abhängigkeit von Erdölimporten wird eine erhebliche Verschiebung in der Deckung des Primärenergiebedarfs erwartet. Nach der Energieprognose der Bundesregierung wird der Erdölverbrauch in der Bundesrepublik nur unwesentlich von 148 Mio t im Jahre 1973 auf 155 Mio t im Jahre 1985 steigen, während nach Schätzungen vor der Mineralölkrise für 1985 ein Verbrauch von 235 Mio t angenommen worden war.

Richtwerte für Verbrauchszahlen 1973 und Preise 1974
in der Bundesrepublik

(Zusammengestellt aufgrund verschiedener Angaben)

	Verbrauch 1973 ungefähr	Wachstum % p.a. 1970/73	Preise in DM/Gcal		
			Ende 1974	i. Wirtschaftlich- keitsrechnung angesetzt	
				min.	max.
Braunkohle	35 Mio t SKE		~ 5,-		
Steinkohle (Ruhr)	80 "		18,-		
Steinkohle aschereich			13,-(?)		
Steinkohle teils i. Ausland			2 - 7		
Naphtha, Chemieeinsatz	13 Mio t	~7	25,-		
Heizöl, leicht	50 "		23,-		
Heizöl, schwer	30 "		19,-		
Erdgas (CH ₄)	35 Mrd Nm ³	18	30,-	25	
Synthesegase (CO, H ₂)	12 "	4	40,-60,-		
Äthylen	2,7 Mio t	11	70	70	
Propylen	1,3 "	21	55	55	
Butadien	0,2 "	10	92		
Butylen	0,1 "		46		
C ₅₊ Aliphaten	0,4 "				
n - Paraffine C ₁₁ - C ₁₈	?	?	85	48	57
n - Olefine C ₁₀ - C ₁₄	?		85		
Gatsch	?		48		
Hartparaffin	?		78		
FT Prod. f. Pyrolyse				24	28
Äthan + Propan Pyrolyse				27	31
Benzol	1,1 Mio t	8	84		
Toluol	0,15 "	10	58		
Xylole	0,6 "	14	50		

Abb. 8 : Produktion einiger organischer Primär- u. Industriechemikalien in der Bundesrepublik



	Durchschn. Zuwachs 1973/70		Durchschn. Zuwachs 1973/70
1 Äthylen	11% p.a.	7 Methanol	9% p.a.
2 Propylen	21% p.a.	8 Vinyl- u. Vinylidenchlorid	8% p.a.
3 Butylen	10% p.a.	9 Formaldehyd	8% p.a.
4 Benzol	8% p.a.	10 Acetaldehyd	3,5% p.a.
5 Toluol	10% p.a.	11 Weichmacher	14% p.a.
6 Xylole	34% p.a.	12 Phthalsäureanhydrid	6% p.a.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Aus dem geringen Zuwachs des Erdölverbrauchs einerseits und dem weiter steigenden Bedarf andererseits kann eine zu erwartende Verknappung bzw. eine Verteuerung für Chemienaphtha in den nächsten Jahren abgeleitet werden, die teilweise schon jetzt spürbar geworden ist und sich in erhöhten bzw. steigenden Preisen besonders für kurzkettige Olefine auswirkt. Der Naphtha-Import der Bundesrepublik hatte schon 1973 25 % des Bedarfs erreicht. Dieser Anteil wird 1978 auf 50 % steigen, wenn der Gesamtverbrauch an Erdöl sich, wie prognostiziert, nicht nennenswert erhöhen, der Olefinbedarf sich aber wie geschätzt entwickeln wird. In Westeuropa wird der Naphthabedarf insgesamt stärker als in der Bundesrepublik steigen, so daß die Diskrepanz zwischen Bedarf und Verfügbarkeit noch mehr zunehmen wird, als sich aus der Betrachtung der Verhältnisse in der Bundesrepublik allein ableiten läßt.

Die Verwendung anderer Erdölfraktionen als Naphtha zur Deckung des Fehlbedarfs an Olefinen wird zwangsläufig eine Verteuerung der Chemiegrundstoffe nach sich ziehen und die Abhängigkeit der chemischen Industrie vom Erdöl weiter erhöhen.

4.2.3 Chancen der FT-Synthese auf Basis von Stein- oder Braunkohle

Der Vergleich der Wärmepreise von Stein- bzw. Braunkohle mit denen von Naphtha bzw. C_2 - bis C_4 -Olefinen ermöglicht bei Kenntnis der spezifischen Verbräuche eine Abschätzung der Chancen der FT-Synthese für die Herstellung von Chemierohstoffen oder von Chemiegrundstoffen auf Kohlebasis.

Der Wärmepreis für aus Naphtha hergestellte C_2 - bis C_4 -Olefine beträgt im gewogenen Durchschnitt das 2,5fache des Wärmepreises für Naphtha, der spezifische Verbrauch 1,8 t/t. Für eine als FT-Produkt gewonnene Wärmeinheit sind 2,75 Wärmeinheiten an Kohle erforderlich. Die Steinkohle der Ruhr kostet pro Wärmeinheit 25 bis 30 % weniger als der Chemierohstoff Naphtha.

Selbst bei 100 % Selektivität der FT-Synthese zu Naphtha oder gleichwertigen Produkten würden allein die Kosten für Steinkohle etwa das zweifache des derzeitigen Naphtha-Preises ausmachen. Bei dieser Kostenrelation sind alle Überlegungen hinfällig, Chemierohstoffe auf Basis deutscher Steinkohle wirtschaftlich herstellen zu wollen.

Auch die zu erwartenden Erlöse, die man bei Ausrichtung der Synthese auf die Herstellung von Chemiegrundstoffen erwarten kann, decken gerade nur die Kosten für den erforderlichen Einsatz an Steinkohle, wenn diese in konventioneller Weise in Synthesegas umgewandelt wird.

Wesentlich günstigere Aspekte für eine wirtschaftliche FT-Produktion ergeben sich auf Basis von Braunkohle wegen ihres niedrigen Wärmeprices im Vergleich zu Steinkohle, und bei ausreichend hoher Selektivität der FT-Synthese ist die kostendeckende Produktion von Chemiegrundstoffen durchaus erreichbar. Die nachstehend zusammengefaßten Wirtschaftlichkeitsrechnungen beziehen sich daher bevorzugt auf die Herstellung von FT-Kohlenwasserstoffen auf Basis von Braunkohle über konventionelle Vergasungsverfahren.

4.3. Technologie der FT-Synthese

4.3.1 Verfahrensstufen einer FT-Syntheseanlage

Eine FT-Syntheseanlage umfaßt im allgemeinen die Verfahrensstufen

- Herstellung von Syntheserohgas
- Reinigung des Syntheserohgases und Einstellung
des für die Synthese optimalen H_2 : CO-Verhältnisses
- Synthese und Primärproduktgewinnung
- Weiterverarbeitung von Primär- zu Endprodukten

Von den Gesamtkosten der Herstellung der Primärprodukte entfallen etwa 2/3 des Kapitalaufwandes und über 95 % der Kohlekosten auf die Bereitstellung des Synthesegases. In die Wirtschaftlichkeitsrechnungen wurden die Lurgi-Druckvergasung und das Koppers-Totzek-Verfahren als weitgehend ausgereifte und technisch verfügbare Kohlevergasungsprozesse einbezogen und miteinander in bezug auf ihre Eignung und ihre Wirtschaftlichkeit für verschiedene Syntheseverfahren verglichen. Die Abschätzung der Herstellkosten für die Primärprodukte wurde einschließlich der Abscheidung und der Trennung in Einzelfraktionen für die Weiterverarbeitung vorgenommen.

4.3.2 Syntheseverfahren

Drei Verfahrensprinzipien wurden untersucht:

- Synthese am fest angeordneten Katalysator
(Festbettverfahren im Rohr- oder im Stufenreaktor)
- Synthese am im Flüssigprodukt suspendierten Katalysator
(Flüssigphaseverfahren)
- Synthese am vom Synthesegas umgewälzten Katalysator
(Flugstaubverfahren)

4.3.3 Synthesegasherstellung

Unter den für die bisherige Produktionsrichtung optimalen Bedingungen beträgt das H_2 : CO-Verhältnis für das

Festbettverfahren	ca. 0,7 bis 1,7
Flüssigphaseverfahren	ca. 0,5 bis 0,7
Flugstaubverfahren	ca. 2,4 bis 3,0

Das von den genannten Kohlevergasungsprozessen erzeugte Rohgas enthält H_2 und CO etwa im Verhältnis von 2 : 1 bis 0,5 : 1, so daß nicht jedes Vergasungsverfahren optimal für jedes Syntheseverfahren ist. Die Aufwendungen für die Reinigung der Rohgase durch Rectisol-Wäsche, für die Konvertierung und CO_2 -Abtrennung und für die eventuell erforderliche Kompression auf Synthesedruck wurden entsprechend berücksichtigt. Aufgrund des höheren Wirkungsgrades der Vergasung, des geringeren Energiebedarfs für Vergasungshilfsmittel und Kompression und der größeren Variationsbreite der Rohgaszusammensetzung weist die Lurgi-Druckvergasung leichte Vorteile auf, die jedoch bei Durchführung des Koppers-Totzek-Prozesses unter Druck zumindest egalisiert werden würden. Eine Vergrößerung der Vergasungseinheiten von bisher 25 000 bis 35 000 Nm^3 Rohgas/h würde die Gaserzeugungskosten merklich senken.

4.3.4 Synthese

Da Herstellung und Aufbereitung des Synthesegases den größten Kostenanteil des Gesamtverfahrens beanspruchen, werden die Produktionskosten eines gegebenen FT-Syntheseverfahrens im wesentlichen durch die Nutzung des Wärmeinhaltes des Synthesegases bestimmt. Das kalorische Ausbringen von FT-Primärprodukten bezogen auf den Heizwert des eingesetzten Synthesegases ergibt sich aus dem Produkt von chemischem Wirkungsgrad und $(CO + H_2)$ -Umsatz. Die gewichtsmäßige Produktausbeute an Kohlenwasserstoffen wird unter Einbeziehung des Angebots- und Verbrauchsverhältnisses

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

von CO und H₂ im Synthesegas und während der Synthese ermittelt und entsprechend dem Anteil an sauerstoffhaltigen Produkten korrigiert (Tab. 14). Die günstigsten Werte für die kalorische und gewichtsmäßige Produktausbeute werden nach dem Festbett-Rohrreaktor- und nach dem Flüssigphaseverfahren erhalten.

Tabelle 14: Kalorische und gewichtsmäßige FT-Produktausbeute bezogen auf eingesetztes Synthesegas

Verfahren		Festbett- Rohrreaktor	Festbett- Stufenreaktor	Flüssigphase- verfahren	Flugstaub- verfahren
Chem. Wirkungsgrad	%	79	78	76	79
(CO + H ₂)- Umsatz	%	92,5	87,5	92,5	89
Kalorische Aus- beute FT-Produkte	%	73,2	68,25	70,3	70,3
Gewichtsmäßige Ausbeute FT-Produkte C ₁₊	g/Nm ³	188	177	186	177

Die Gesamtausbeute der mit dem Synthesegas eingebrachten Energie ergibt sich als Summe der chemisch gebundenen Wärme in den FT-Produkten, dem verfahrenstechnisch limitierten Wärmerückgewinn aus der Reaktionswärme und dem Heizwert des nicht umgesetzten Synthesegases (Tab. 15). Die höchste Gesamtnutzung weisen das Flüssigphase- und das Festbett-Rohrreaktor-Verfahren auf.

**Tabelle 15: Heizwert-Gesamtausbeute
bezogen auf eingesetztes Synthesegas**

Verfahren		Festbett- Bohrreaktor	Festbett- Stufenreaktor	Flüssigphase- Verfahren	Flugstaub- Verfahren
Chem. gebundene Wärme	%	73,2	68,25	70,3	70,3
Genutzte Reaktionswärme	%	13	5,75	18,9	10,2
Restgas-Ver- brennungswärme	%	7,5	12,5	7,5	11,0
Summe Nutzwärme	%	93,7	86,5	96,7	91,5

4.4 Herstellkosten von FT-Produktion

4.4.1 Kalkulationsbasis

Für die Ermittlung der voraussichtlichen Herstellkosten von nach Fraktionen getrennten verkaufsfähigen FT-Primärprodukten C_{1+} wurden ältere und neuere Kostenermittlungen herangezogen:

- Herstellkosten in deutschen FT-Anlagen (vor 1945)
- Herstellkosten für das Festbettverfahren (Tramm 1952)
- Herstellkosten für das Flugstaub- und das Festbettverfahren (Pichler/Krüger 1970/71)
- Herstellkosten für das Flugstaubverfahren (Schulze 1974)

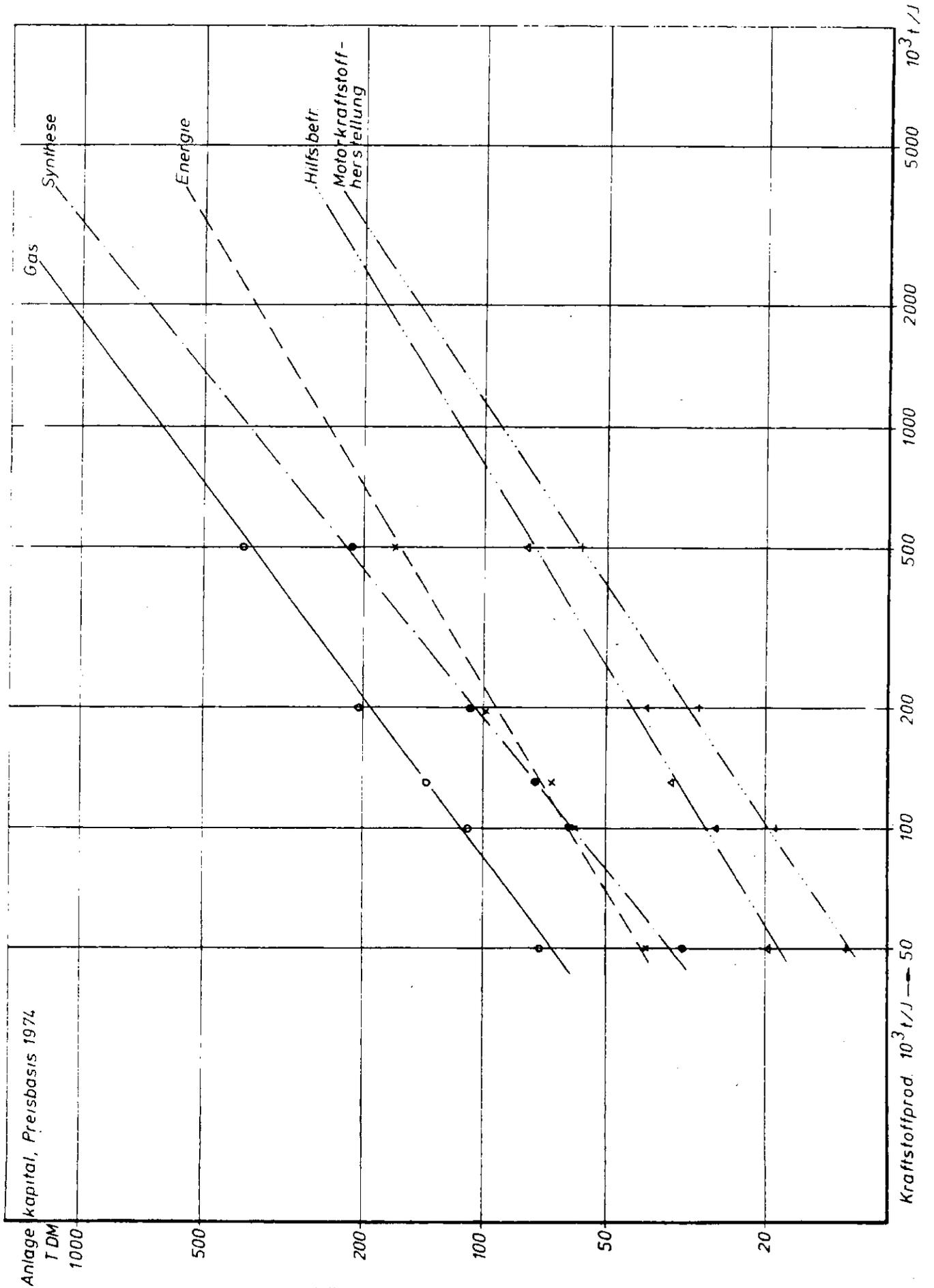
Das Festbettverfahren im Stufenreaktor wurde wegen der unzureichenden Kalkulationsgrundlagen nicht berücksichtigt.

Die unterschiedlich bezogenen Angaben über Herstellkosten wurden umgerechnet und einheitlich auf Primärprodukte C_{1+} für eine Anlage mit einer Kapazität von 1,5 Mio jato C_{3+} ausgelegt. Unter Berücksichtigung der bisherigen Preis- und Kostenentwicklungen erfolgte die Kostenermittlung für FT-Primärprodukte auf Preisbasis Ende 1974.

4.4.2 Anlagekosten

Die gewichtete Extrapolation umgerechneter Angaben aus früheren Schätzungen führt zu der in Abb. 9 (S.80) dargestellten Aufteilung des Anlagekapitalbedarfs auf die Hauptanlagegruppen eines FT-Werkes zur Produktion von Motorkraftstoffen nach dem Festbettverfahren. Die Anlagekosten eines Gesamtwerkes zur Erzeugung von Motorkraftstoffen als Summe der Einzelanlagen sind in Abb. 10 (S.81) wiedergegeben, wobei Festbett-, Flugstaub- und Flüssigphaseverfahren einbezogen wurden. Für Synthesewerke mit einer Kapazität von 1,5 Mio jato C_{3+} läßt sich unter

Abb. 9 ⁹⁴ Schätzungsweise Anlagekapitalbedarf für die Haupt-Anlagegruppen eines FT-Treibstoffwerkes bei Anwendung des FT-Festbettverfahrens



Berücksichtigung entsprechend geänderter Kostenaufteilungen (keine Herstellung von Motorkraftstoffen) folgender Anlagekapitalbedarf ableiten:

Festbettverfahren	1,76 Mrd DM
Flüssigphaseverfahren	1,94 Mrd DM
Flugstaubverfahren	2,09 Mrd DM

Für die Aufteilung der Anlagekosten auf Gaserzeugung und Synthese ergibt sich dabei folgende Abstufung:

Verfahren	Festbett		Flüssigphase		Flugstaub	
	%	DM/t C ₃₊	%	DM/t C ₃₊	%	DM/t C ₃₊
Gaserzeugung	66	775	67	865	65	900
Synthese	34	400	33	430	35	495
Summe	100	1 175	100	1 295	100	1 395

Unterstellt man, daß sich die Synthesebedingungen durch die angestrebte Umstellung auf die bevorzugte Erzeugung kurzkettiger Olefine nicht wesentlich ändern, so können die Anlagekosten im wesentlichen durch Erhöhung der Kapazität der Synthesereaktoren gesenkt werden. Diesem Gesichtspunkt sollte daher bei den laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten besondere Beachtung geschenkt werden.

4.4.3 Kohlebedarf

Entsprechend der erforderlichen Synthesegaszusammensetzung wurde für das Flugstaub- und das Festbettverfahren die Lurgi-Druckvergasung, für das Flüssigphaseverfahren die Vergasung nach Koppers-Totzek angenommen und der spezifische Kohlebedarf ermittelt. Pro t gebildete Produkte C₁₊ werden benötigt:

Festbettverfahren	Flüssigphaseverfahren	Flugstaubverfahren
26,6 Gcal	27,0 Gcal	29,2 Gcal

Die höchste kalorische FT-Produktausbeute für eine gegebene Kombination von Vergasung und Synthese wird erzielt, wenn für die Lurgi-Druckvergasung die organischen Vergasungsprodukte separat gewonnen werden und wenn für das Koppers-Totzek-Verfahren auf eine Spaltung der C_1/C_2 -FT-Kohlenwasserstoffe verzichtet wird. Die höchste Gesamtausbeute wird bei der Lurgi-Druckvergasung mit nachfolgender Festbett-Synthese erhalten.

4.4.4 Herstellkosten der Primärprodukte

Für die Herstellkosten der Primärprodukte in einem FT-Synthesewerk mit einer Kapazität von 1,5 Mio t/a C_{3+} wurden unter Annahme der jeweils günstigsten Voraussetzungen ermittelt (s. Tab. 16, S. 84)

Verfahren	Herstellkosten	Kohlekostenanteil	DM/t C_{3+}
Festbett	510	145	
Flüssigphase	595	155	
Flugstaub	570	170	

Die Angaben sind auf den Preisstand Ende 1974 und auf Kohle-
kosten von DM 5,--/Gcal bezogen. Wegen des hohen Anteils der
Synthesegaserzeugung an den Herstellkosten für FT-Produkte
wurden die Vergasung unter Einkopplung nuklearer Prozeßwärme
und die Abhängigkeit von den Kohlekosten näher untersucht
(Abb. 11, S. 85) und Möglichkeiten zur Kostensenkung durch
Verringerung des Kohleverbrauchs und des Anlagekapitalbedarfs
als Folgen verfahrenstechnischer Änderungen diskutiert.

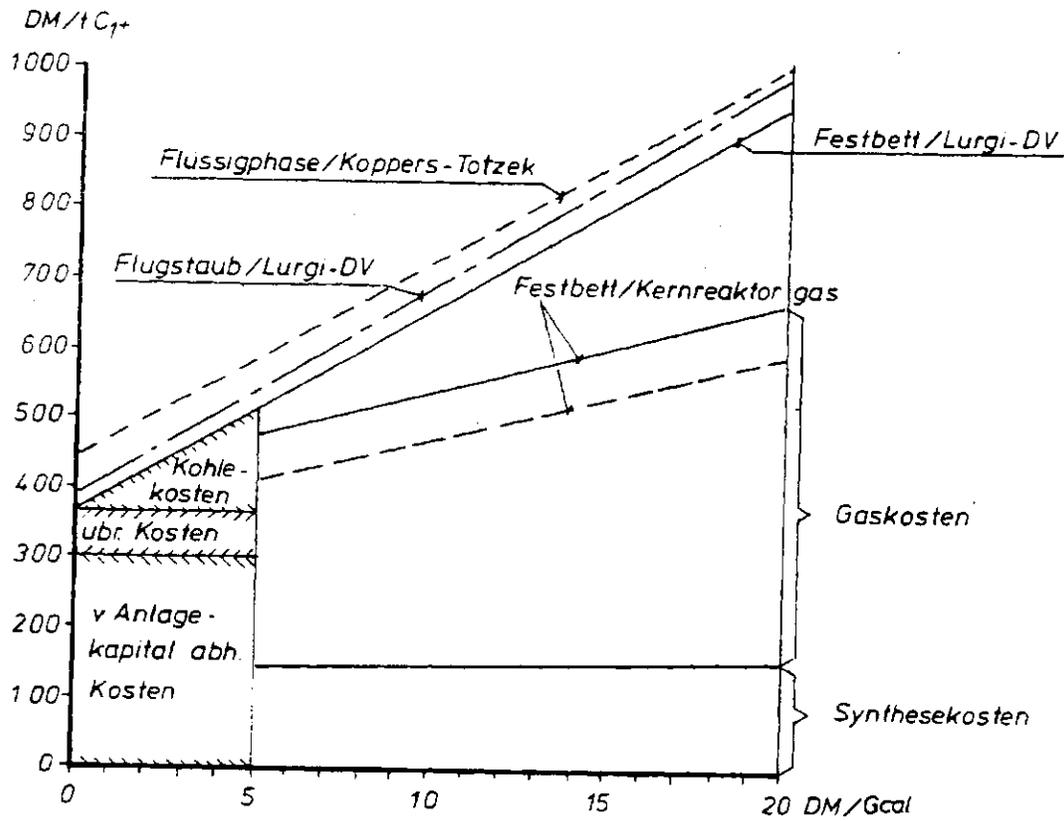
Tabelle 16: Schätzung der Herstellkosten für C₃₊-Primärprodukte in einer 1,5 Mio-Jato-Anlage

Syntheseverfahren	Flugstaub	Festbett	Flüssigphase
Vergasungsverfahren	Lurgi-D.V.	Lurgi-D.V.	Koppers-Totzek
1. Kohlebedarf Gcal/t C ₃₊	32,5	27,7	29,4
2. Anlagekapital DM/t C ₃₊	1395	1175	1295
<u>A Stoffkosten o. Kohle</u>			
Prozeßwasser	18	17	20
Chemikalien + Hilfsstoffe	27	15	35
Summe	45	32	55
Gutschriften			
Vergasungsnebenprodukte	36 1)	30 2)	-
Sy-Nebenprod. + Restgas	33 3)	10 3)	15 3)
Summe A	./.. 24	./.. 8	40
<u>B Fertigungskosten</u>			
Personal einschl. Zuschl.	38	38	30
Instandhaltung 4 %	56	47	52
Abschreibung u. Zinsen 18 %	251	212	234
Steuern + Versicherg. 2 %	28	24	26
jeweils v. Anlagekapital			
Zinsen auf Umlaufkapital	20	20	20
Summe B	393	341	362
Summe A + B	369	333	402
Zuschlag f. Unvorherges. und Abrundung 10 %	31	32	38
Summe Verarbeitungskosten	400	365	440
Kohlekosten (5 DM/Gcal)	163	139	147
Zuschlag f. höhere Verluste und Abrundung	7	6	8
	170	145	155
Herstellkosten	570	510	595

- 1) Die v. Pichler auf Preisbasis v. 1970 angesetzte Gutschrift für Schwelprodukte und Ammonsulfat ohne Umrechnung auf 1974 beibehalten, ergänzt durch Gutschrift für Schwelbenzin mit 4,3 % a 235,-/t = 10 DM/t C₃₊
- 2) Wegen kleinerer Kohlevergasung 85 % v. Flugstaub
- 3) Gutschriften v. Pichler unter Berücksichtigung von O-haltigem P.P. und Restgasmenge schätzungsweise angesetzt zu: Sy-Nebenprodukt + Restgas = (28+5), (6+4), (6+9)

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Abb. 11 : Herstellkosten der FT-C₁+Primärprodukte
abhängig v. Gaserzeugung u. Kohlekosten



4.5 Wirtschaftlichkeit einer modifizierten FT-Synthese

Die günstigste Situation, nämlich die Bereitstellung aliphatischer Grundstoffe auf Kohlebasis in dem vom Markt gewünschten Mengenverhältnis, kann bisher mit keinem der konventionellen Syntheseverfahren erreicht werden. Um zumindest die Größenordnung der für eine wirtschaftliche Durchführung einer modifizierten Synthese erforderlichen Selektivität abschätzen zu können, wurden für verschiedene Selektivitätsgrade wahrscheinliche Primärproduktzusammensetzungen unterstellt und die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit eines Synthesewerkes mit einer Kapazität von 1,5 Mio t/ato Primärprodukten untersucht. In Abhängigkeit von den entstehenden Anteilen an Äthylen und Propylen wurden folgende Primärproduktzusammensetzungen angenommen:

Tabelle 17: Angenommene Produktverteilung für unterschiedliche Selektivitäten der Synthese

Selektivität % C ₂ + C ₃	Produktverteilung Gew.-%							
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₆	
30	10	18,5	14,8	11,8	9,5	7,6	27,8	100
55	10	39	22	12	7	3,8	6,2	100
70	10	57	20,8	7,6	2,6	0,9	1,1	100

Die in Abhängigkeit vom Selektivitätsgrad ermittelten Nettoerlöse für direkt verwertbare Chemiegrundstoffe, der Weiterverarbeitung (z. B. Pyrolyse) zuführbare Chemierohstoffe und für SNG sind in Tab. 18 zusammengestellt. Nimmt man einen Mittelwert von 55 % Selektivität als erreichbar an, so würden bei einer Anlagekapazität von 1,5 Mio t/ato etwa 23 % des Bedarfs an Äthylen und Propylen und etwa 27 % des Bedarfs an Butylenen und an C₅₊-Aliphaten in der Bundesrepublik gedeckt werden können (Basis: Verbrauchszahlen 1973).

Tabelle 18: Schätzung der Produktaufteilung und Nettoerlöse
einer 1,5 Mio jato-FT-Anlage bei verschiedenen Selektivitäten

Selektivität	%	30	40	50	55	60	65	70	80
C_n/C_{n+1}		1,25	1,4	1,6	1,8	2,0	2,25	2,75	9,0
Äthylen	%	16,7	22,3	30,8	35,3	40,0	45,0	51,3	72
Propylen	%	13,3	16,7	19,2	19,7	20,0	20,0	18,7	8
C_{3+} -Chemiegrundstoffe	%	13,0	14,8	11,6	10,0	8,4	6,8	5,2	0
Summe Chemiegrundstoffe	%	48,0	54,8	61,6	65,0	68,4	71,8	75,2	80
Äthan + Propan	%	3,3	4,4	5,6	6,1	6,7	7,2	7,8	8,9
C_{3+}	%	38,7	30,8	22,8	18,9	14,9	11,0	7,0	1,1
Summe Chemierohstoffe	%	42,0	35,2	28,4	25,0	21,6	18,2	14,8	10,0
Methan = SNG	%	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Summe P.P. C_{1+}	%	100	100	100	100	100	100	100	100
Minimale Erlöse	DM/t			- DM/t P.P. C_{1+}					
Äthylen	800	134	178	246	282	320	360	410	576
Propylen	600	80	100	115	118	120	120	112	48
C_{3+} -Chemiegrundst.	500	90	74	58	50	42	34	26	-
Äthan + Propan	300	10	13	17	18	20	22	23	27
C_{3+} -Chemierohst.	250	97	77	57	47	37	27	17	3
Methan als SNG	300	30	30	30	30	30	30	30	30
Summe Bruttoerlöse		441	472	523	545	569	593	618	684
./. Lizenzen u. Vertrieb 6 %		-26	-28	-31	-33	-34	-36	-37	-41
Summe Nettoerlöse a.W.		415	454	492	512	535	557	581	643
Optimale Erlöse	DM/t								
Äthylen	800	134	178	246	282	320	360	410	576
Propylen	600	80	100	115	118	120	120	112	48
C_{3+} -Chemiegrundst.	600	108	89	70	60	51	41	31	-
Äthan + Propan	350	11	15	20	21	24	26	27	31
C_{3+} -Chemierohst.	300	116	93	68	57	45	33	21	3
Methan als SNG	300	30	30	30	30	30	30	30	30
Summe Bruttoerlöse		479	505	549	568	590	610	631	698
./. Lizenzen u. Vertrieb 6 %		29	30	33	34	35	37	38	42
Summe Nettoerlöse a.W.		450	475	516	534	555	573	593	656

In Abb. 12 (S.89) ist dargestellt, bei welcher Selektivität der Synthese jeweils die vom Kohlepreis und von den Synthesegaskosten abhängigen Herstellkosten der FT-Primärprodukte nach den drei untersuchten Verfahren gedeckt werden. Bei Annahme der günstigsten Voraussetzungen wird mit DM 510,--/t C₁₊ Äquivalenz zwischen Herstellkosten und Erlösen erzielt, wozu eine Selektivität der Synthese von 55 % bei Annahme minimaler und von 50 % bei Annahme optimaler Erlöse für die Einzelfraktionen gehört.

Wegen des bisher nicht vermeidbaren Methananfalls bei der FT-Synthese liegt es nahe zu prüfen, ob sich durch Kopplung von SNG- und Kohlenwasserstoff-Erzeugung wirtschaftliche Vorteile erzielen lassen. Für eine kombinierte Anlage zur Erzeugung von 1,5 Mio tato FT-Produkten C₁₊ und zugleich 2,5 Mrd Nm³ SNG ist eine Kostensenkung der Primärprodukte von DM 510,-- auf DM 460,--/t C₁₊ zu erwarten. In Kombination mit einem SNG-Werk wären danach in einer modifizierten FT-Synthese nach dem Festbettverfahren schon nach dem derzeitigen Stand des Apparatebaus die Herstellkosten durch die Erlöse gedeckt, wenn die Synthese 34 bis 43 % Äthylen und Propylen liefern würde.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Abb. 12: Zur Deckung der Herstellkosten in einer 1,5 Mio
jato-Anlage erforderliche Produktselektivität
bei den FT-Verfahren

