ISI-A-4-81

Wirtschaftlichkeitsvergleich einiger wichtiger Verfahren zur Erzeugung von Methanol mit unterschiedlicher Rohstoffbasis

Inhalt:

1. Darstellung der Methode zur Kalkulation der Herstellkosten
2. Auswahl der Technologien zur Erzeugung von Methanol
3. Kostenvergleich
4. Literatur

Hermann Herz

November 1981
A 10 271 7

1. Darstellung der Methode zur Kalkulation der Herstellkosten

Bei der Kalkulation der Herstellkosten von Methanol werden verschiedene Kostenarten berücksichtigt. Diese werden zum Teil aus den Investitionskosten des gesamten Anlagenkomplexes abgeleitet oder lassen sich aus den zur Methanolerzeugung notwendigen Betriebsmitteln sowie zusätzliche Energie- und Rohstoffmengen errechnen. Demnach lassen sich die Kostenarten unterscheiden als

(1) kapitalabhängige Kosten,
(2) Betriebsmittelkosten,
(3) Energiekosten und
(4) Rohstoffkosten.

Alle Kostendaten wurden auf die Preisbasis 1980 umgerechnet. Dabei wurde der Preisindex für Chemieanlagen verwendet, und für 1980 von einem Index 125 ausgegangen (1976=100; 1977=104,8; 1978=109,7; 1979=115,8; Schulze, 1980). Auf die Kostenarten soll im folgenden näher eingegangen werden.

(1) Kapitalabhängige Kosten

Die kapitalabhängigen Kosten lassen sich als Summe von einzelnen, von dem Betrag des eingesetzten Kapitals ableitbaren Kosten angeben. Bei der in dieser Arbeit verwendeten Kalkulationsmehtode werden berücksichtigt:

a) Der Kapitaldienst

Der Kapitaldienst beinhaltet Tilgung und Verzinsung des in der Gesamtanlage eingesetzten Kapitals. Er wird in Form einer (gleichbleibenden) Annuität berücksichtigt und steht für die Kostenarten Abschreibungen und Zinsen. Für alle hier betrachteten Verfahrenskomplexe wird einheitlich von einer betriebswirtschaftlichen Lebensdauer von 15 Jahren ausgegangen. Die Eigen- und Fremdkapitalanteile werden mit unterschiedlichen Zinssätzen berücksichtigt. Die Berechnung des jährlichen Kapitaldienstes stützt sich in dieser Arbeit auf die folgenden Daten

* Lebensdauer	15 Jahre
* Eigenkapital-/Fremdkapitalanteil	35/65 %
* Eigenkapitalverzinsung (vor Steuern)	9 % p.a.
* Fremdkapitalverzinsung	7 % p.a.

Daraus errechnet sich eine Annuität von 11,5 % des Gesamtkapitals. Diese Methode zur Berechnung des Kapitaldienstes ist für den angestrebten Wirtschaftlichkeitsvergleich der Methanolerzeugung auf unterschiedlicher Rohstoffbasis gut geeignet.

b) Weitere kapitalabhängige Kosten

Neben dem Kapitaldienst wird auch ein Teil der Betriebskosten auf der Basis des investierten Kapitals errechnet:

* Wartung und Instandhaltung	4	%,
* Versicherungen	1,5	%,
* Steuern	2	% und
* Lohnkosten	3	%,
also insgesamt	10,5	%

des insgesamt investierten Kapitals.

Somit werden bei der Kalkulation insgesamt 22,0 % des Kapitals jährlich verrechnet.

(2) Betriebsmittelkosten

Unter der Position Betriebsmittelkosten werden die Kosten für Prozeß-, Kühl- und Speisewasser, sowie für Katalysatoren und Chemikalien anzuführen. Sie betragen rund 5,- bis 10,- DM pro Tonne erzeugtes Methanol (Preisbasis 1980).

(3) Energiekosten

Zusätzlich zu den energetischen Rohstoffen wird in den Prozessen Energie (z.B. zum Betreiben von Kompressoren, Erzeugung von Sauerstoff u.s.w.) benötigt. Der Energiebedarf für solche Arbeiten kann entweder innerhalb des Verfahrenskomplexes gedeckt werden, und wirkt sich somit in einem erhöhten Rohstoffbedarf aus, oder er wird von außerhalb des Komplexes bezogen. Im zweiten Fall wird er getrennt bei der Berechnung der Herstellkosten berücksichtigt. Er wird nicht, wie die anderen Kostenarten, konstant gehalten, sondern ist von den jeweils gültigen Rohstoff-(=Energie-) preisen abhängig. Dazu wird der spezifische Energiebedarf der Produktion EFAC (GJ/t output) ermittelt und mit einem Energiepreis ENKO (DM/GJ) mulitpliziert. Dieser Energiepreis errechnet sich aus einem gewichteten Mittel der jeweiligen aktuellen Preise für die wichtigsten Energieträger (Steinkohle, Braunkohle, Mineralöl). Dadurch wird erreicht, daß energetische Betriebsmittel der Kostenentwicklung der Energieträger angepaßt werden.

Dabei gehen die Kosten von fremdbezogenem Strom nur 50 v.H. in diese Energiekostenberechnung ein. Die restlichen 50 v.H. werden als unabhängig vom Energiepreis betrachtet, und werden den laufenden Betriebsmittelkosten (siehe oben) zugeschlagen. Dabei wird berücksichtigt, daß sich die Stromgestehungskosten nur zu einem beschränkten Anteil aus den Primärenergiekosten der Stromerzeugung errechnen, einen großen Anteil stellen die Fixkosten der Elektrizitätserzeugung dar. Dieser Kostenanteil wird hier den Betriebsmittelkosten des betrachteten Verfahrens zugeschlagen.

Die Energiekosten von Dampf werden aus den gleichen Gründen nur zu 80 v.H. verrechnet, 20 v.H. werden den Betriebsmittelkosten zugeschlagen.

(4) Rohstoffkosten

Das Synthesegas zur Methanolsynthese kann aus verschiedenen Rohstoffen erzeugt werden. Die Rohstoffmenge pro Tonne erzeugtes Methanol unterscheidet sich je nach Rohstoff und Verfahrenstyp. Für die einzelnen Rohstoffe werden die in Tabelle 1 angegebenen Preise (Preisbasis 1980) und unteren Heizwerte (Hu) angenommen:

Tabelle 1: Energiepreise (Basis 1980) und Heizwerte (Hu)

			Heizwert (Hu)
	DM/t	DM/GJ	MJ/kg
Rohöl	460,-	10,80	42,62
Top-Rückstand	340,-	8,30	41,0
Vacuum-Rückstand	290,-	7,10	41,0
Steinkohle (inl. Gasflammk.)	195,-	6,65	29,31
Steinkohle (Import)	110,-	3,75	29,31a)
Rohbraunkohle	20,-	2,40	8,23
Naturgas (26,5 Pfg/Nm3)	250,-	6,55	38,24

a) Der Heizwert improtierter Steinkohle liegt mit 27,2 (MJ/kg)) unterhalb des für inländische Steinkohle angenommenen Wertes (Energiebilanzen). Der Preis der Importkohle (105 DM/t) wurde auf den höheren Heizwert umgerechnet.

Aus den einzelnen Kostenkositionen: kapitalabhängige Kosten, Betriebsmittelkosten, Energiekosten und Rohstoffkosten lassen sich die Herstellkosten pro Tonne erzeugtes Methanol berechnen. Gutschriften für etwaige Nebenprodukte (z.B. Schwefel, Ammoniak, Methan) könnten bei der Vorgabe der Betriebsmittelkosten entsprechend berücksichtigt werden.

2. Auswahl der Technologien zur Erzeugung von Methanol

Methanol wird in der Methanolsynthese aus Synthesegas (ein CO-H_2-Gemisch) hergestellt. Dabei setzt sich weitgehend die Niederdrucksynthese als das beste Verfahren durch. In dieser Arbeit unterscheiden sich einzelne Technologien der Methanolerzeugung nicht in der eigentlichen Methanolsynthese, sondern durch die unterschiedlichen Prozesse der Synthesegaserzeugung. Diese werden wiederum durch den in ihnen eingesetzten Rohstoff und durch das Verfahren bedingte Wirkungsgrade unterschieden.

Derzeit werden rund 1 Mio Tonnen Methanol jährlich in der Bundesrepublik erzeugt. Davon werden rund

20 % auf der Basis von Naturgas (BASF),
28 % auf der Basis von leichten Fraktionen des Rohöls (elf) und
52 % auf der Basis von Destillations- und Konversionsrückständen des Rohöls (UK und Veba)

erzeugt. Für die Zukunft erscheinen die Verfahren der Kohlevergasung geeignet, einen Teil dieser Synthesegasmengen zu substituieren. Für die Verfahren zur Synthesegaserzeugung auf der Basis von leichten Mineralölfraktionen (Naphtha und Flüssiggas) wird angenommen, daß sie wegen der eingetretenen und zu erwartenden Preisentwicklung für diesen Rohstoff in der Zukunft in der Bundesrepublik keine Verwendung mehr finden werden. Bei der Beschreibung der Prozesse wird davon ausgegangen, daß lediglich Methanol erzeugt wird. Eventuell anfallende Nebenprodukte (z.B. Methan) werden nicht berücksichtigt. Eine entsprechende Kopplung z.B. von Methanol- und SNG-Herstellung würde jedoch den thermischen Wirkungsgrad und damit auch die Wirtschaftlichkeit verbessern, wenn ein entsprechender Absatzmarkt für alle Koppelprodukte vorhanden ist.

(1) Methanol aus Naturgas

Naturgas wird in einem Steam-Reformer zu Synthesegas ($CO-H_2$) konvertiert. Dieses Synthesegas wird in der Methanolsynthese eingesetzt. Zur Erzeugung einer Tonne Methanol (Heizwert 19,90 GJ/t) werden insgesamt 31,4 GJ Naturgas benötigt (Supp, 1978). Dies entspricht etwa 989 Nm^3, bzw. 0,821 t. Der gesamte thermische Wirkungsgrad errechnet sich somit (bezogen auf die unteren Heizwerte Hu) auf 63,4 %.

(2) Methanol aus Vakuum-Rückstand

Die Rückstände der Rohöldestillation können in den Prozessen der partiellen Oxidation zu Synthesegas verarbeitet werden, das dann wiederum der Methanolsynthese zugeführt wird. Zur Erstellung einer Tonne Methanol werden 38,1 GJ Vacuum-Rückstand eingesetzt (Supp, 1978). Dies entspricht 0,930 t Rückstand und somit einem thermischen Wirkungsgrad von 52,2 %.

(3) Methanol aus Steinkohle (Lurgi-HD Vergaser)

In den Lurgi-Hochdruckvergaser wird stückige Steinkohle (größer 3 mm) eingesetzt und bei einem Druck von 20-35 bar unter Zugabe von Sauerstoff und Dampf vergast. Das entstehende Rohgas hat eine Zusammensetzung von ungefähr 30 vol-% CO_2, 20 vol-% CO, 40 vol-% H_2 und 10 vol-% Methan und anderes (Schreiner, S. 236 ff). Durch anschließende CO-Konvertierung und Gasreinigung wird ein für die Methanolsynthese gefordertes Synthesegas erzeugt, dessen Zusammensetzung etwa 66 vol-% Wasserstoff und 33 vol-% CO ist. Geht man davon aus, daß das im Vergaser entstehende Methan wiederum in CO und H_2 umgewandelt wird, so sind zur Erzeugung einer Tonne Methanol 40,2 GJ Steinkohle erforderlich (Lurgi, 1979, S. 9). Dies entspricht etwa 1,371 Tonnen Steinkohle (7 Gcal/t), und somit einem thermischen Wirkungsgrad von 49,5 %.

(4) Methanol aus Steinkohle (Texaco-Verfahren)

Bei dem Texaco-Kohlevergaser wird fein gemahlene Steinkohle mit Wasser angerührt und unter Zugabe von Sauerstoff bei einem Druck von 40 bar und einer Temperatur von über 1400 ^{o}d vergast. Das dabei entstehende Rohgas hat eine Zusammensetzung von ungefähr 18 vol-% CO_2, 50 vol-% CO und 35 vol-% H_2. Auch

hier muß das Rohgas auf die Anforderungen der Methanolsynthese angepaßt werden. Für die Herstellung einer Tonne Methanol sind 44,4 GJ Steinkohle, das entspricht 1,516 Tonnen, erforderlich (UHDE, 1980, S. 8 ff). Der thermische Wirkungsgrad errechnet sich zu 44,8 %.

(5) Methanol aus Steinkohle (Koppers-Totzek)

Bei der Koppers-Totzek Flugstromvergasung wird der Einsatzstoff zu Staub gemahlen und mit den Einsatzmedien Sauerstoff und Wasserdampf homogen vermischt. Dieses Gemisch wird im Reaktionsraum bei Temperaturen bis zu 2000 °C bei atmosphärischem Druck vergast. Dabei entsteht bei Verwendung von Steinkohle ein Synthesegas mit einer Zusammensetzung von 55 vol-% CO, 11 vol-% CO_2 und 32 vol-% H_2 (Staege, 1980, S. 6). Zur Erzeugung einer Tonne Reinmethanol werden 53,6 GJ Steinkohle benötigt, was einer Menge von 1,828 t entspricht (Krupp-Koppers, 1979, S. 22). Dies entspricht einem thermischen Wirkungsgrad von 36 %. In diesen Berechnungen ist nicht enthalten, daß zusätzlich zur Einsatzkohle 280 kWh Strom pro Tonne Methanol bezogen werden. Geht man von einem Wirkungsgrad eines thermischen Kraftwerks von 33 % aus, so würdden dies zusätzlich rund 3 GJ pro Tonne Methanol bedeuten, wodurch sich der gesamte therm. Wirkungsgrad auf 35 % reduziert.

(6) Methanol aus Braunkohle (Koppers-Totzek)

Analog der Steinkohlevergasung kann in dem Koppers-Totzek-Verfahren jeder feste Brennstoff eingesetzt werden. Beim Einsatz von Rohbraunkohle entsteht ein Rohgasgemisch mit einer Zusammensetzung von 56 vol-% CO, 12 vol-% CO_2 und 29 vol-% H_2 (Staege, 1980, S. 6), also fast die gleiche Zusammensetzung wie bei der Steinkohlevergasung. Aus diesem Grund können die der Vergasung nachgeschalteten Verfahren entsprechend ausgelegt werden. Zusätzliche Kosten entstehen lediglich bei der Kohleaufbereitung, da größere Mengen Kohle verarbeitet werden müssen, um den gleichen Output zu erzielen, bzw. die Trocknung der wasserreichen Braunkohle aufwendiger ist. Für diese zusätzlichen Investitionen wurde ein Betrag von 15 Mio DM angenommen. Die thermischen Wirkungsgrade sollen denen der Steinkohlevergasung entsprechen (Auskunft von Krupp-Koppers). Demnach sind zur Herstellung einer Tonne Methanol wiederum 53,6 GJ Braunkohle notwendig, was einer Menge von 6,51 t entspricht. Der thermische Wirkungsgrad beträgt 36 %.

(7) Methanol aus Braunkohle (HT-Winkler)

Im Hochtemperatur-Winkler Prozeß wird Braunkohle bei einem Druck von 10 bar und einer Temperatur von 1000 °C unter Zugabe von Sauerstoff und Dampf vergast. Das dabei entstehende Rohgas hat eine Zusammensetzung von ca. 9 vol-% CO_2, 52 vol-% CO, 35 vol-% H_2 und 3 vol-% Methan (Franke, Pattas et.al., S. 94). Zur Erzeugung einer Tonne Methanol sind 39,8 GJ Braunkohle notwendig, was einer Menge von 4,839 t entspricht (thermischer Wirkungsgrad: 50,0 %).

3. Vergleichende Gegenüberstellung der Verfahren

Die zuvor beschriebenen Verfahren werden mit ihren technischen Parametern und Kostendaten gegenübergestellt (vgl. Tab. 2). Dabei ist zu beachten, daß dabei davon ausgegangen wurde, daß die neuen Technologien 1980 zu den Preisen 1980 bereits produzieren können.

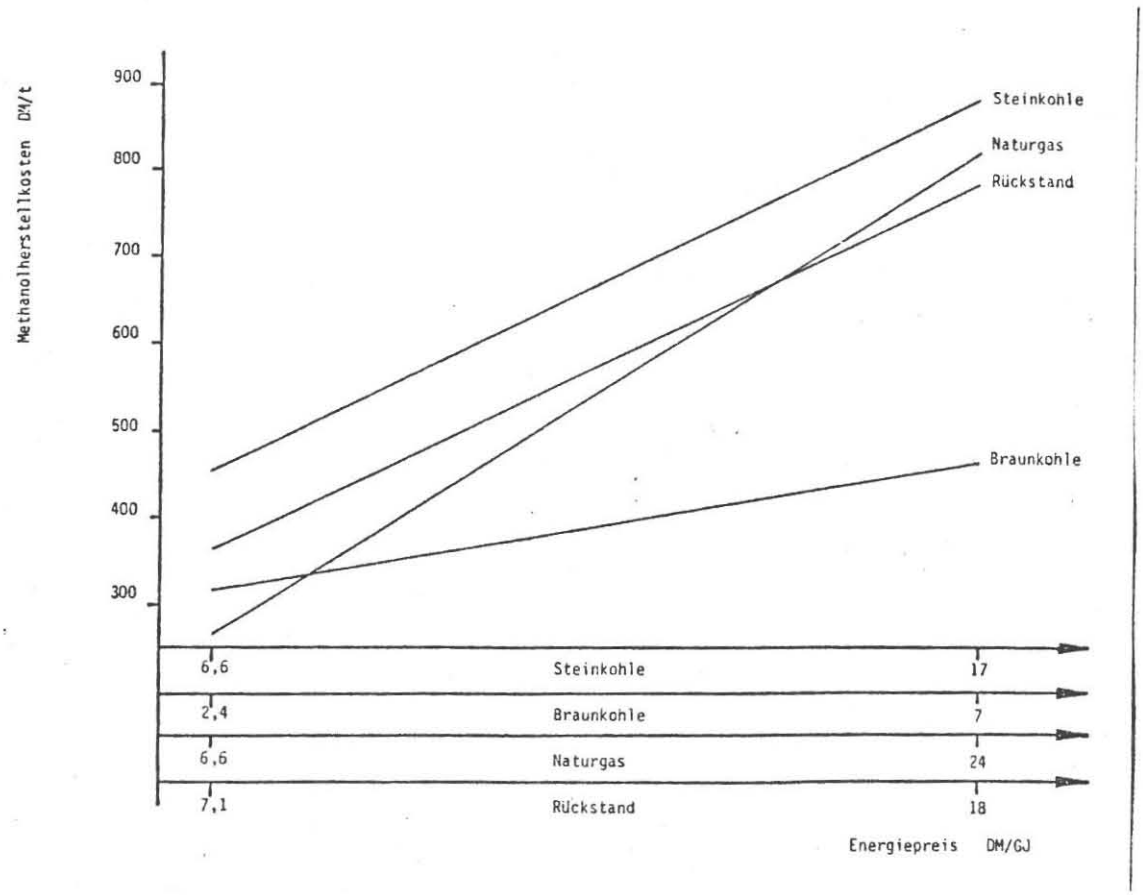

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Herstellkosten der Erzeugung von Methanol

Verfahren		1 Kapazität Rohst. Input Tsd t	2 Inv.-Kost. Mio DM	3 therm. Wirkg. (Hu) %	4 Kapit. Kosten DM/t	5 Betr. mittel Kosten DM/t	6 Rohst. Kosten DM/t	7 Herst. Kosten DM/t	8 Herst. Kosten DM/GJ
A Rohsotff Naturgas (38,24 GJ/t ; 6,55 DM/GJ)									
A 1	Erdgas-Spltg.	684	204	63	54	5	200	259	13
B Rohstoff Vacuum-Rückstand (41 GJ/t ; 7,10 DM/GJ)									
B 1	Part. Ox.	853	264	52	79	5	298	384	18
C Rohstoff Steinkohle (29,3 GJ/t ; 6,65 DM/GJ)									
C 1	Lurgi	1370	810	49	178	5	262	445	23
C 2	Texaco	1011	585	45	193	5	285	483	25
C 10	Koppers-Totzek	914	450	36	198	24	356	578	30
C 11	Shell-Koppers	805	677	45	231	48	238	517	27
D Rohstoff Braunkohle (8,23 GJ/t ; 2,40 DM/GJ)									
D 1	HTW	3228	610	50	201	5	92	298	15
D 3	Koppers-Totzek	3255	465	36	205	24	130	360	18

Quellen:

A 1, B 1: Supp, E.: "Pruduction of methanol and motor fuels" CHFMSA v. 4, No 12, Dec (1978), S.194-97

C 1: Lurgi-Präsentation: "Metahnolerzeugung aus Kohle"Juli (1970)

C 2: Uhde-Information, Mai (1980)

C 10: Persönliche Auskunft der Firma Krupp-Koppers, Essen, Jan (1981)

C 11: Auskunft der Deutschen Shell AG, Hamburg, Jan. (1981)

D 1: wie C 2

D 3: wie C 10, jedoch umgerechnet auf Braunkohle: gleicher Wirkungsgrad, Investitionen + 15 Mio DM

Demnach ist unter den heutigen Preisverhältnissen bzw. den hier zugrunde gelegten Annahmen der Preisbildung der Koppelprodukte im Raffineriebereich die Herstellung auf der Basis Naturgas am konstengünstigsten. In der vorliegenden Aufstellung erscheinen die Verfahren auf der Basis der Braunkohlevergasung (HTW und Koppers-Totzek) entweder bereits heute wirtschaftlich oder von der Wirtschaftlichkeitsgrenze nur wenig entfernt.

Daß die Herstellkosten auf der Basis von Rückstandsöl über denen der Braunkohleveredlung liegen, mag an einer überhöhten Preisannahme für diesen Rohstoff liegen. Wird Methanol bei Herstellern erzeugt, die gleichzeitig eine Raffinerie in der Nähe betreiben, wird der interne Verrechnungspreis sicherlich unter dieser Preisannahme liegen. Die Verfahren auf der Basis der Steinkohlevergasung liegen mit ihren Herstellkosten von Methanol an der Spitze, jedoch auch nicht mehr weit vom Methanolpreis von 400 - 450 DM je Tonne entfernt. Diese Kostensituation verändert sich, wenn als Rohstoff in diesen Verfahren die billigere Importsteinkohle eingesetzt wird (siehe Abb. 1). Hierbei würden die Herstellkosten innerhalb des derzeitigen Methanolpreises liegen.

Für die Beurteilung der Chancen der Kohleveredlungsverfahren in den nächsten 20 Jahren wurden erste Annahmen für die Entwicklung der Energiepreise gemacht. Diese orientieren sich weitgehend an der Preisentwicklung für Mineralöl mit durchschnittlich 4 % pro Jahr (Nitsch e.al., 1980 Band I, S. 233 ff). Die angenommenen Preisentwicklungen sind reale Preissteigerungen auf der Basis der Preise von 1980 und sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3: Annahmen zur Entwicklung der realen Rohstoffpreise bis zum Jahr 2000 (Basis 1980)

Rohstoff	Preis (DM/GJ) 1980	2000	Wachstumsr. % p.a.
Rohöl	10,80	24,-	4,0
TOP-Rückstand	9,00	20,-	4,0
Vacuum-Rückstand	7,80	18,30	4,3
Steinkohle (inländ.)	6,50	17,-	5,0
Steinkohle (Import)	3,90	15,-	7,0
Braunkohle	2,40	7,-	5,0
Naturgas	7,10	24,-	6,3

Quelle: Nitsch et.al., 1980; eigene Schätzungen

Abbildung 1 zeigt die Herstellkosten der einzelnen Verfahren im Vergleich bei unterschiedlichen Preisannahmen (1980 und 2000). Waren 1980 die hohen kapitalabhängigen Kosten der einzelnen Technologien für die Berechnung der Herstellkosten ausschlaggebend, so sind im Jahre 2000 insbesondere die Rohstoffkosten der dominierende Kostenfaktor: Hier zeigt sich der Vorteil der Investition in Verfahren, die mit Rohstoffen betrieben werden, deren zu erwartende Preissteigerung geringer ist. So bestehen für die Verfahren auf der Basis Braunkohle Kostenvorteile (Methanolpreis zwischen DM 500 und 600 DM pro Tonne) gegenüber den konventionellen Verfahren auf der Basis von Naturgas (810 DM) oder Rückstandsöl (800 DM). Die Verfahren der Steinkohleverwendung liegen dazwischen (DM 800 - 1100), je nachdem, ob inländische oder importierte Steinkohle zur Anwendung kommt.

4. Literatur:

Franke, F.H.; Pattas, E. et.al.: "High-Temperature Winkler Coal Gasification in Process", Symposium Ammonia from Coal, Tennesse Valley Authoroties, Mai (1979)

Lurgi: "Methanolerzeugung aus Kohle", Lurgi-Präsentation, Juli (1979)

Schreiner, M.: "Research Guidance to Assess Gasoline from Coal by Methanol-to-Gasoline and SASOL-Type Fischer-Tropsch Technologies", FE-2447-13, August (1978)

Schulze, J.: "Modernisierter Preisindex für Chemieanlagen", Chemische Industrie XXXII, Oktober (1980), S. 657-663

Staege, H.: "Thermische Kohleveredlung durch Flugstromvergasung nach Koppers-Totzek", Chemie für Labor und Betrieb, Nr. 2, 1980

Supp, E.: "Production of methanol and motor fuels", CHEMSA v. 4, No 12, S. 194-197, Dezember (1978)

UHDE: "UHDE-Information", Mai (1980)

Union Rheinische Braunkohle Kraftstoff (UK-Wesseling): Persönliche Gespräche

Nitsch, J. et.al.: "Ausbau von Sekundärenergiesystemen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000". Erscheint im Winter 1980 im Programm Angewandte Systemanalyse (ASA) der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF).