

DER KBK – PROZESS
ZUR
GLEICHZEITIGEN PRODUKTION
VON
ELEKTROENERGIE UND ENERGIEMETHANOL
AUS
ROHBRAUNKOHLE

XXXVII. KRAFTWERKSTECHNISCHES KOLLOQUIUM 18. - 19. OKTOBER 2005

DIPL.-ING. NORBERT TOPF, DR. GÜNTER LIEBISCH, DIPL.-ING. GERD PALITZSCH

Der KBK–Prozess – Produktion von Elektroenergie und Energiemethanol aus Braunkohle durch Kombination einer Braunkohlenstaubfeuerung mit dem CombiFuel-Verfahren

Dipl.-Ing. Norbert Topf, Dr. Günter Liebisch, Dipl.-Ing. Gerd Palitzsch
 VER Verfahrensingenieure GmbH ver-gmbh@t-online.de

1 Einleitung

Lebensqualität, Wirtschaftswachstum und globale Entwicklungstendenzen sind u.a. Ursache für den stets wachsenden Energiehunger der Menschen auf der Erde, verbunden mit einer steigenden CO₂-Emission und dem rasanten Verbrauch der natürlichen Energieressourcen, welche über Jahrmilliarden entstanden sind.

Nach [1] ergibt sich eine statistische Reichweite für Erdöl von noch 43 Jahre, für Erdgas 65 Jahre und für Kohle von 248 Jahre unter den Bedingungen heutigen Wirtschaftswachstums und dem heutigen Förderniveau.

Die letzten Monate haben gezeigt: Wenn sich die stetig steigende Zahl von Energieverbrauchern die verfügbaren Ressourcen teilen müssen, kommt es zu Preissteigerungen. Z.B. lagen beim Rohöl die Preise im August 2005 bei 60 US\$/Barrel und höher.

Daher ist der Ausbau der Nutzung regenerativer Energien zur Deckung des Energiebedarfes entsprechend des verfügbaren Potentials, verbunden mit einer globalen Verminderung der CO₂-Emission, das Gebot des 21. Jahrhunderts.

In der BRD lag der Primärenergiebedarf im Jahr 2003 nach den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanz [2] bei 492 Mio. Tonnen Steinkohleeinheiten (SKE).

Gesamt	Braunkohle	Steinkohle	Gas	Kraftstoff	Heizöl	Kernenergie	erneuerb. Energien	sonstige
492	55	68	110	90	88	62	17	2

Tabelle 1: Primärenergieträgerstruktur der BRD 2003 [Angaben in Mio. Tonnen SKE]

Hauptbereiche des Energieverbrauches sind heute u.a. Industrie, Gewerbe, Haushalte und Verkehr.

Bis zum Jahr 2020 soll sich der Primärenergieverbrauch in Deutschland um 10% absenken. Reicht dies bereits aus, um den so lebenswichtigen Saft „**Die Energie**“ für alle verfügbar und bezahlbar bereit zustellen?

Laut einer Studie der Deutschen Bank [3] vom Dezember 2004 wurden 26% des Primärenergieaufkommens der BRD in 2003 aus einheimischen Ressourcen gewonnen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass 74% aus Importen bereitgestellt werden mussten. Dies entsprach einer wirtschaftlichen Geldmenge von 34 Mrd. € bei einem Rohölpreis von durchschnittlich 28,7 US\$/Barrel im Jahr 2003. Da alle Importenergieträger an die Preisentwicklung des Rohölpreises gebunden sind, muss man diesbezüglich von einer Leitwährung sprechen. Wenn sich der Rohölpreis, wie später noch dargestellt wird, dramatisch erhöht, werden auch die Aufwendungen für die Beschaffung von Importenergieträgern diesem Trend folgen. Für das laufende Jahr 2005 kann man daher abschätzen, dass bei etwa gleichbleibenden Energieverbrauch die Kosten für den Einkauf von Öl, Gas und Kohle in Deutschland sich auf ca. 70 Mrd. € einstellen werden. Eine Steigerung um den Faktor 2 bedeutet zugleich ein Kaufkraftverlust im Inlandsmarkt. Für die absehbare Zukunft wird sich, bei der internationalen Wirtschaftsentwicklung insbesondere in China und Indien, dieser Trend noch verschärfen, so dass man nach der Auffassung der Autoren andere Wege der Sicherung der Energiebasis in Deutschland und Europa finden muss.

Die Aussicht auf die unbegrenzte Verfügbarkeit von Energie aus der Kernfusion lässt trotz der intensiven internationalen Anstrengungen sicher noch 100 Jahre auf sich warten.

Es muss also ein Umdenken in der Energiepolitik einsetzen, um den internationalen Trend der Verteuerung der verfügbaren Energieressourcen und dem damit verbundenen nationalen Kaufkraftverlust entgegenzuwirken. Hierzu werden nachstehende Schwerpunkte als Anregungen für die notwendige Diskussion in der Sache vorgetragen:

- 1) Verringerung des Energieverbrauches in allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens um 20% bis zum Jahr 2020 von 492 auf 394 Mio. t SKE, durch Effizienzsteigerung und sparsamen Umgang.
- 2) Steigerung des Einsatzes von erneuerbaren Energien im gleichen Zeitraum von 17 auf 50 Mio. t SKE
- 3) Steigerung des Einsatzes von heimischer Braunkohle im gleichen Zeitraum von 50 auf 150 Mio. t SKE, was einer Menge von 500 Mio. t Braunkohle entspricht.

- 4) Verlängerung der Laufzeit für die Nutzung der Kernenergie und Beibehaltung dieser Energieerzeugungsart in der Größenordnung von 50 Mio. t SKE.
- 5) Signifikante Verringerung des Einsatzes von Importenergieträgern wie Erdöl und Erdgas durch Erzeugung alternativer Produkten wie Wasserstoff, Energiemethanol oder anderen biogenen Kraftstoffen.

Setzt man diesen Diskussionsanregungen voraus, so kann man einen Energiemix für das Jahr 2020 wie folgt formulieren:

Gesamt	Braun- kohle	Stein- kohle	Gas	Kraftstoff	Heizöl	Kern- energie	erneuerb. Energien	sonstige
394	152	50	30	30	30	50	50	2

Tabelle 2: Primärenergieträgerstruktur der BRD 2020 [Angaben in Mio. Tonnen SKE]

Das Energieszenario in Tabelle 2 zeigt, dass für die Bereitstellung von Energierohstoffen sich langfristig eine Senkung des Importanteils von derzeit 74% [3] auf 35% rechnerisch möglich und volkswirtschaftlich notwendig erscheint. Dies würde wiederum für den Import von Energieträgern, bei einem mittelfristig zu erwartenden Rohölpreis von 200 US\$/Barrel, einer Geldmenge von ca. 75 Mrd. € entsprechen, was zugleich bedeutet, dass für den Import von Energierohstoffen in etwa das Niveau von heute erhalten bliebe. Wird bis 2020 keine signifikante Reduktion der Importenergieträger erreicht, so muss man mit einer Kostenbelastung für den Importe von Energierohstoffen in Deutschland von deutlich über 200 Mrd. € jährlich rechnen.

Eine vollständige Abkopplung vom internationalen Markt erscheint andererseits wenig sinnvoll, denn die Energiefragen sind keine nationale Frage und Deutschland als Export orientiertes Land kann hier wiederum sich als Technologielieferant etablieren.

Es erscheint daher als ein zwingendes Gebot, ernsthaft über die Bereitstellung von Energie zu bezahlbaren Preisen nachhaltig zu diskutieren, um im Ergebnis dieser Auseinandersetzung alternative Lösungswege für die notwendigen Strukturänderungen in den nächsten Jahrzehnten beschreiten zu können.

Neben der Diskussion über das „**Warum und Wie**“ sollte man aber auch die Chancen für einen enormen Wirtschaftsaufschwung in die Betrachtungen mit einbeziehen. Hier steht in erster Linie die Entwicklung von Technologien und der Bau von Energieumwandlungsanlagen im Blickfeld. Ebenfalls würden im Bereich der Grundstoffindustrie völlig neue Dimensionen erreicht, es sei diesbezüglich nur an den Aufbau einer neuen Carbochemie mit einer Verarbeitungskapazität von bis zu 500 Mio. Tonnen Rohbraunkohle jährlich hingewiesen.

Der Übergang von den heutigen Energieträgern Erdöl und Erdgas zu vorwiegend Wasserstoff ermöglicht weiteres kreatives Umdenken. So kann, wenn Wasserstoff preiswert und in großen Mengen produziert wird, der notwendige technisch technologische Schritt zur massenhaften Einführung von Zukunftstechnologien wie der Brennstoffzelle im stationären und mobilen Energiewandlungsanlagen vollzogen werden. Dies und vieles mehr kann und muss in Bewegung gesetzt werden.

Die Autoren wollten daher mit den einführenden Worten nur eine Anregung zur Diskussion dieses sehr komplexen Themas geben um im folgenden **eine** mögliche technisch technologische Lösung für die Bereitstellung von Energieträgern mittel dem KBK-Prozess vorzustellen.

2 Der KBK - Prozess

Die Abkürzung KBK steht für:

K	-	Kraft
B	-	Brennstoff
K	-	Kopplung

Im folgenden wird ein Prozess beschrieben, mit welchem sowohl Elektroenergie als auch ein flüssiger Energieträger, in diesem Fall Methanol, gemeinsam in einer industriellen großtechnischen Anlage produziert werden.

2.1 Der Oxyfuel - Prozess

In [4] wurde vom Oxyfuel-Prozess berichtet, in dem Braunkohle mit Sauerstoff als Oxidationsmittel verbrannt wird. Dieses neuartige Kraftwerkskonzept zur Erzeugung von Elektroenergie hat zum Ziel, dass als Abgas im Wesentlichen nur CO₂ erzeugt wird. Dieses soll als eines der klimarelevanten Schadgase nicht mehr in die Atmosphäre geblasen werden, sondern in unterirdischen Lagerstätten für mehrere 100 Jahre abgelagert werden.

Ein vereinfachtes Prozessschaltbild des Oxyfuel-Prozesses zeigt Bild 1

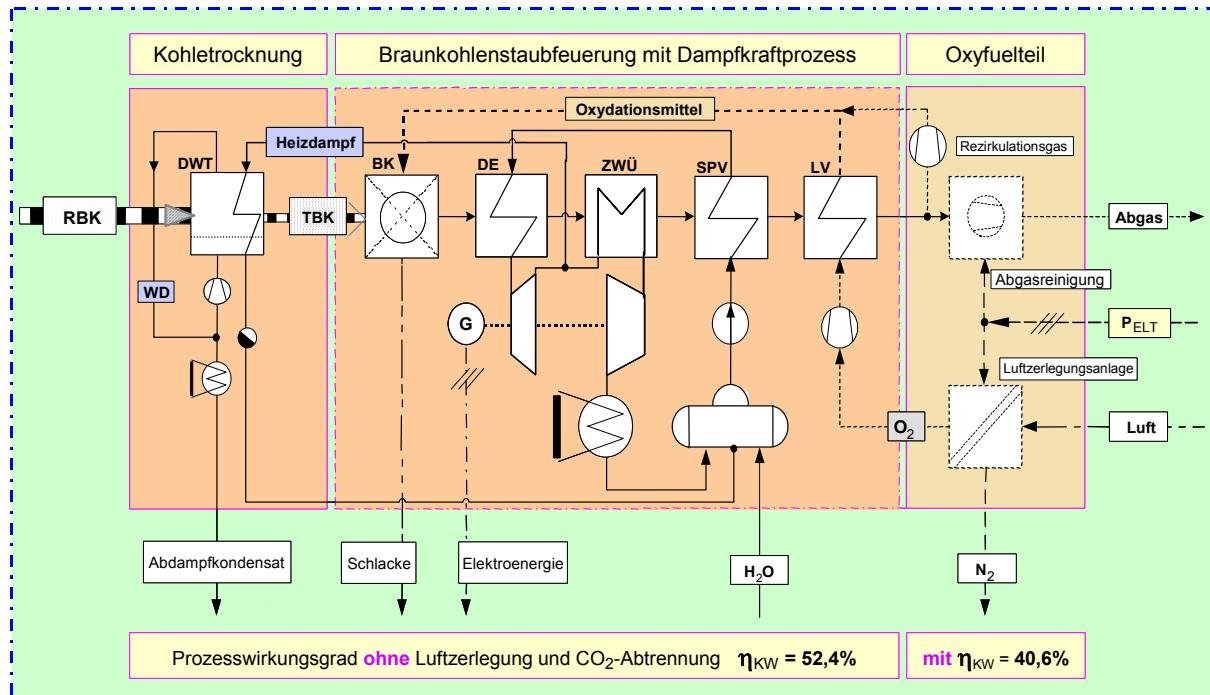


Bild 1: Blockschaltbild / Oxyfuel-Prozess / Zielprodukt Elektroenergie

Für einen derartigen Prozess im Leistungsbereich von 920 MW (brutto) werden in [4] nachstehende Prozessdaten angegeben.

Parameter	mit CO ₂ -Lagerung	ohne CO ₂ -Lagerung
Massestrom RBK	501 t/h	
Feuerungswärmeleistung RBK	1633 MW	
Generatorleistung (brutto)	920 MW	
Eigenbedarf	257 MW	195,5 MW
Blockleistung (netto)	663 MW	724,5 MW
Block-Wirkungsgrad (netto)	40,6 %	44,3 %
CO ₂ -Emissionen	11,3 t/h	563 t/h
	17 kg/MWh	777 kg/MWh

Tabelle 3: Parameter / Oxyfuel-Prozess / Zielprodukt Elektroenergie

Wie aus diesen Zahlenwerten zu erkennen ist, hat die Entlastung der Umwelt durch eine mögliche CO₂-Emission auch ihren Preis. Für ein modernes Kohlekraftwerk mit Rohbraunkohlefeuerung wird heute mit elektrischer Wirkungsgraden von 43 bis 45% gerechnet. Im Falle eines Kraftwertes mit Kohlevortrocknung (z.B. dem Projekt Boa-

Plus von Rheinbraun) kann eine Wirkungsgradsteigerung auf ca. 50% erwartet werden. Diese Effizienzsteigerung wird im Falle eines Oxyfuel-Prozesses mit CO₂-Abtrennung und Einlagerung dann auf einen Wert von 40,6% sinken, was praktisch einen zusätzlichen Verbrauch an Primärenergie und einem höheren technischen Aufwand für den Gesamtprozess bedeutet. Allein dieser Sachzusammenhang führt langfristig zu höheren Energiepreisen für den Endverbraucher, ohne dass dadurch ein großes Einsparpotential, wie im Punkt 1 erläutert, erschlossen werden kann.

Die Umweltentlastung, die sinnvoll und notwendig erscheint, wird mit höherem Aufwand und zusätzlichen Kosten für jeden Einzelnen erkaufte.

Die notwendigen technischen Untersuchungen werden im Rahmen verschiedener nationaler Projekte vorgenommen.

2.2 Der CombiFuel-Prozess

In [5] wird von einem kombinierten Verfahren zur Erzeugung von Methanol als Energieträger berichtet.

Dieses Verfahren beruht auf einem mehrstufigen Wirbelschichtverfahren, in dem ebenfalls Braunkohle als Kohlenstoffträger mit Sauerstoff als Vergasungsmittel zu Synthesegas umgesetzt wird. Dieses Gas wird nach der Reinigung und Wasserstoffzugabe zu Methanol synthetisiert. Das Spezielle dieses Verfahrensvorschlages besteht in der geschlossenen Prozessführung, bei welcher der überwiegende Teil des Restgases aus der Methanolsynthese in die Vergasung zurückgeführt wird (s Bild 2). Dadurch wird ein Teil des Restgases energetisch und stofflich für den Prozess genutzt und die CO₂-Emission reduziert.

Der notwendige Sauerstoff für die Vergasung und Verbrennung und der Wasserstoff für die Methanolsynthese (zur Einstellung des notwendigen stöchiometrischen H₂/CO-Verhältnisses) wird in der Elektrolyse erzeugt. Durch Zugabe des Abdampfes aus der DampfWirbelschicht-Trocknung in die Vergasung kann das H₂/CO-Verhältnis im Synthesegas in begrenztem Umfang verbessert werden. Auf diese Weise kann der Wasserstoffbedarf so gesteuert werden, dass der in der Elektrolyse erzeugte Sauerstoff und Wasserstoff vollständig verbraucht wird.

Ein vereinfachtes Prozessschaltbild des CombiFuel-Prozesses zeigt Bild 2

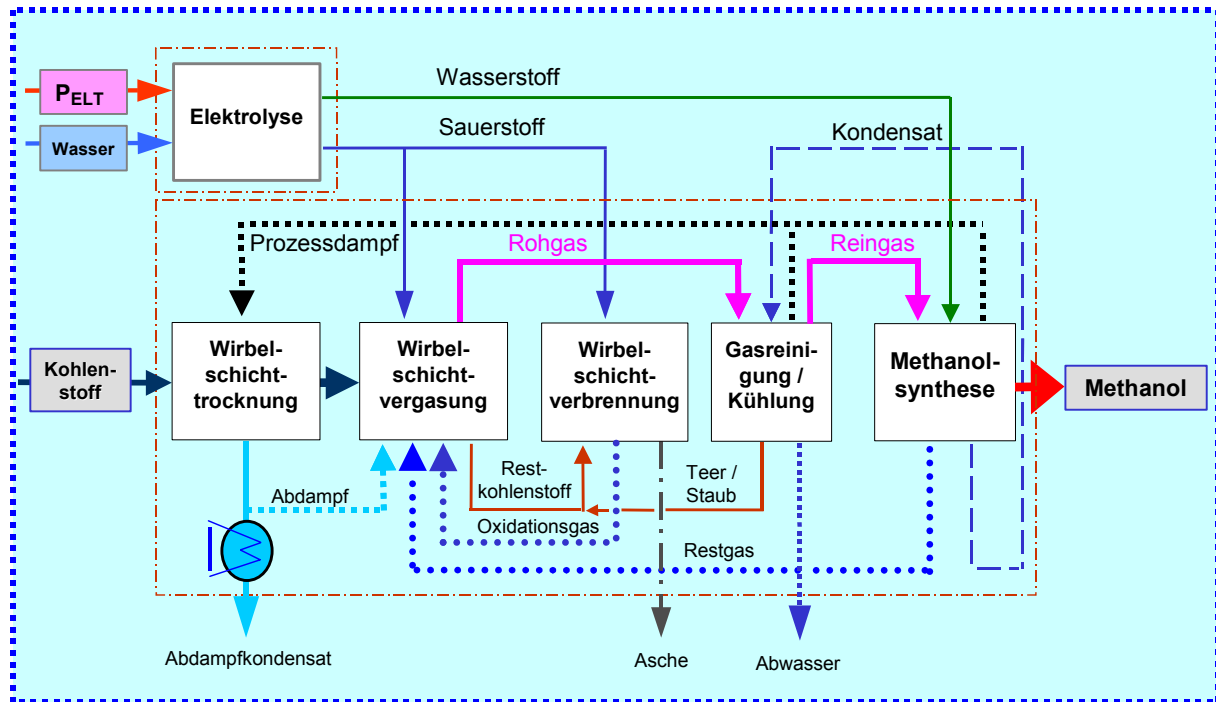


Bild 2: Blockschaltbild / CombiFuel-Prozess / Zielprodukt Methanol

Für den CombiFuel-Prozess wurden nachstehende Prozessdaten für die Produktion von 200 t/h Methanol ermittelt.

Parameter	
Restgasrezirkulation (Rückführung des Restgases aus der Methanolsynthese in die Vergasung)	60 %
Massestrom RBK	417 t/h
Brennstoffleistung RBK	1113 MW
Massestrom Energiemethanol	200 t/h
Brennstoffleistung Energiemethanol	1055 MW
Brennstoffleistung Restgasausschleusung	140 MW
Eigenbedarf für Elektrolyse	428 MW
sonstiger Eigenbedarf	ca. 50 MW
Netto-Wirkungsgrad (ohne Nutzung des ausgeschleusten Restgases aus Methanolsynthese)	66,3 %

Tabelle 4: Parameter / CombiFuel-Prozess / Zielprodukt Methanol

Aus den Prozessdaten wird deutlich, dass der Leistungsbedarf der Elektrolyse sehr groß ist. Weitergehende Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich deshalb auf die Senkung der Elektrolyseleistung. Einige ausgewählte Parameterstudien sind in Bild 3

und Bild 4 dargestellt.

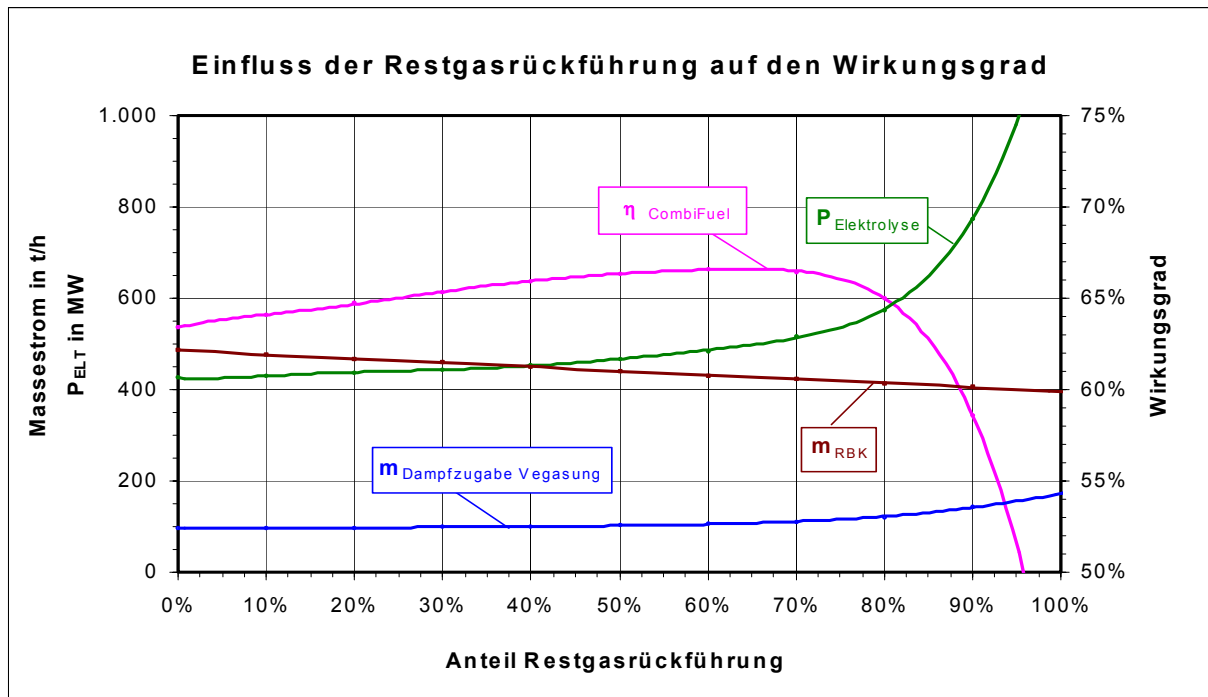


Bild 3: CombiFuel-Verfahren / Parameterstudien

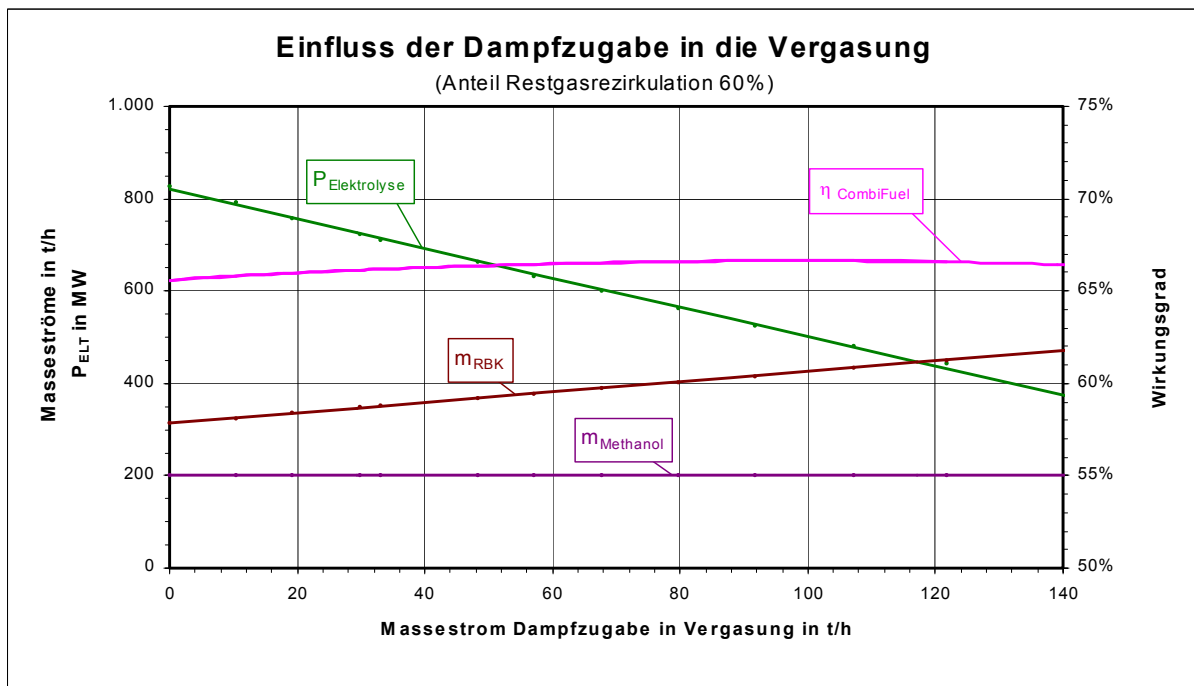


Bild 4: CombiFuel-Verfahren / Parameterstudien

Der erzeugte Energieträger Methanol ist als Wasserstoffspeicher mit hoher Energiedichte und guten Transporteigenschaften geeignet, um in stationären oder in mobilen

Energiewandlern kostengünstig eingesetzt zu werden. Dieser Energieträger, erzeugt aus einheimischen Kohlenstoffträgern und Elektroenergie, ist daher geeignet, sowohl Erdgas als auch Erdöl langfristig abzulösen.

Die Kostenkalkulation zeigt, dass nach dem aktuellen Preisniveau Energiemethanol (erzeugt nach dem CombiFuel-Verfahren) günstiger produziert werden kann, als Rohöl auf dem Weltmarkt eingekauft werden muss. In Bild 5 wird dieser Kostenvorteil für Methanol als alternativer Energieträger deutlich. Den ermittelten Produktionskosten für Methanol liegen Angaben aus [5] zugrunde.

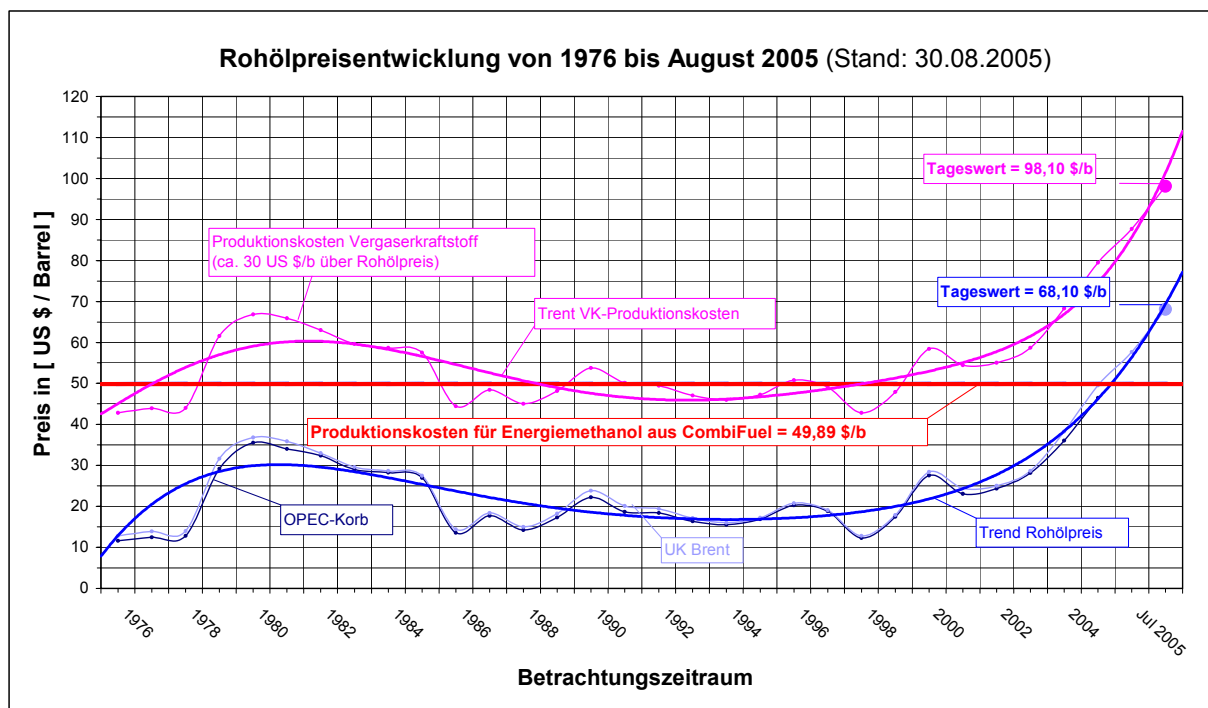


Bild 5: CombiFuel-Verfahren / Produktionskosten für Methanol im Vergleich zum Rohölpreis [10], [11]

Ein weiteres Argument ist, dass es sich bei dem CombiFuel-Prozess um eine Wertschöpfungskette handelt, die geeignet ist, national für Arbeit und Kaufkraft zu sorgen.

2.3 Der KBK-Prozess

Der KBK-Prozess vereinigt die Prozesse Oxyfuel und CombiFuel zu einem Komplex, um dadurch verfahrenstechnische Synergieeffekte zu nutzen. Dieser Prozess ist in nachfolgendem Bild 6 dargestellt.

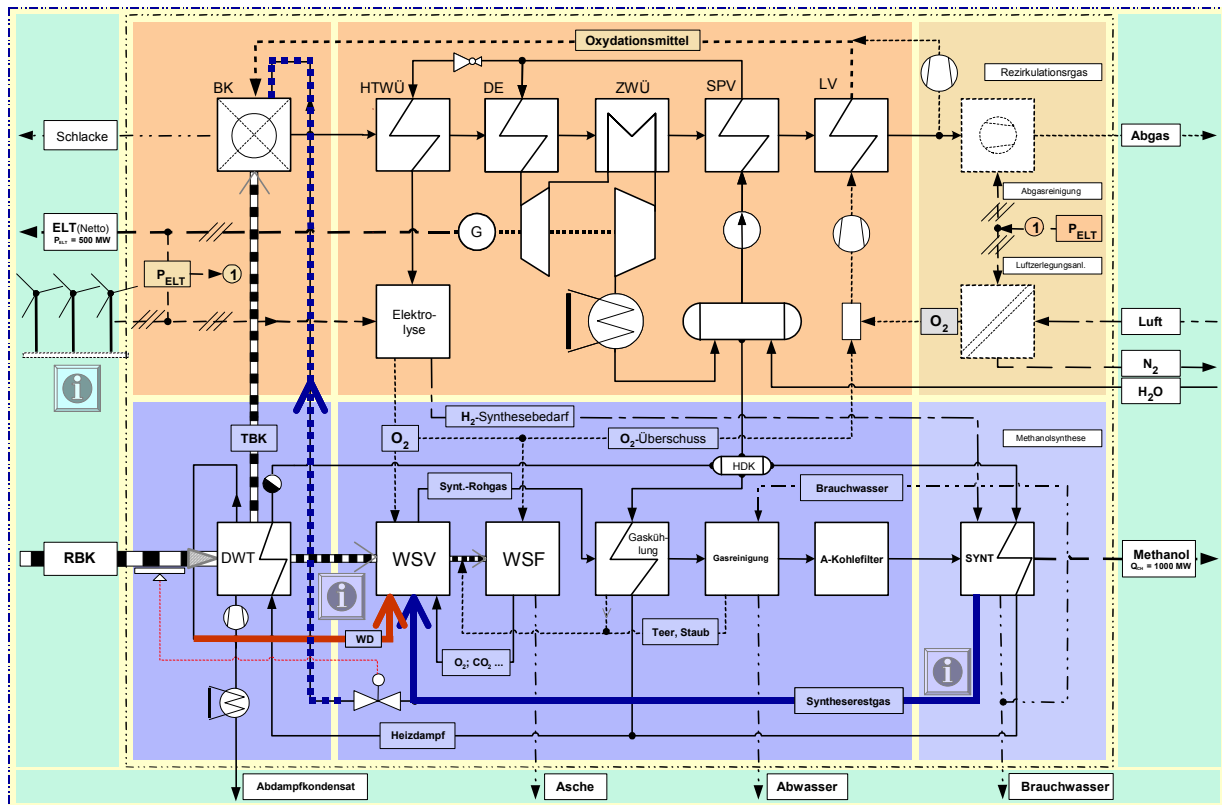


Bild 6: KBK-Prozess / Zielprodukte Elektroenergie und Methanol

Folgende Schnittstellen zwischen den Teilprozessen sind von Bedeutung:

- Bereitstellung der Trockenbraunkohle für beide Teilprozesse durch die Dampfwirbelschicht-Trocknung im CombiFuel-Prozess.

In der Kohletrocknung wird hauptsächlich die Abwärme der exothermen Methanolsynthese und der Gaskühlung genutzt. Die Kohletrocknung des Oxyfuel-Prozesses einschließlich der Wasserdampfverdichtung entfällt.

- Nutzung der Hochtemperaturwärme des Oxyfuel-Prozesses zur Senkung des Elektroenergiebedarfes bei der Elektrolyse im CombiFuel-Prozess.

Die Elektrolyse von Wasserdampf benötigt bei hohen Temperaturen deutlich weniger Elektroenergie als die klassische Wasserelektrolyse [6]. Zur Überhitzung des Dampfes auf Temperaturen von ca. 1500 °C wird die Wärme aus der Brennkammer des Oxyfuel-Prozesses genutzt, die bei ca. 2000°C für den Kraftwerksprozess exergetisch nicht genutzt werden kann. Es wird mit einer Senkung des Elektroenergiebedarfes für die Elektrolyse im CombiFuel-Prozess um ca. 50% gerechnet.

- Nutzung der Restgasausschleusung aus dem CombiFuel-Prozess im Oxyfuel-Prozess

Durch Mitverbrennung des ausgeschleusten Restgases kann der benötigte Kohlemassestrom im Oxyfuel-Teil um 8,4% gesenkt werden.

- Nutzung von elektrischer Spontanenergie aus dem Netz.

Der elektrische Eigenbedarf des Combifuel-Prozesses wird im Normalbetrieb aus dem Kraftwerksprozess des Oxyfuel-Teils gespeist.

Durch Veränderung der Dampfzugabe in die Vergasung kann das H₂/CO-Verhältnis im erzeugten Synthesegas und der Bedarf an Wasserstoffzusatz für die Methanolsynthese in begrenztem Umfang gesteuert werden. Damit ist auch eine Steuerung des Elektroenergiebedarfes für die Elektrolyse möglich. Dieses Verhalten wird in Bild 7 dargestellt.

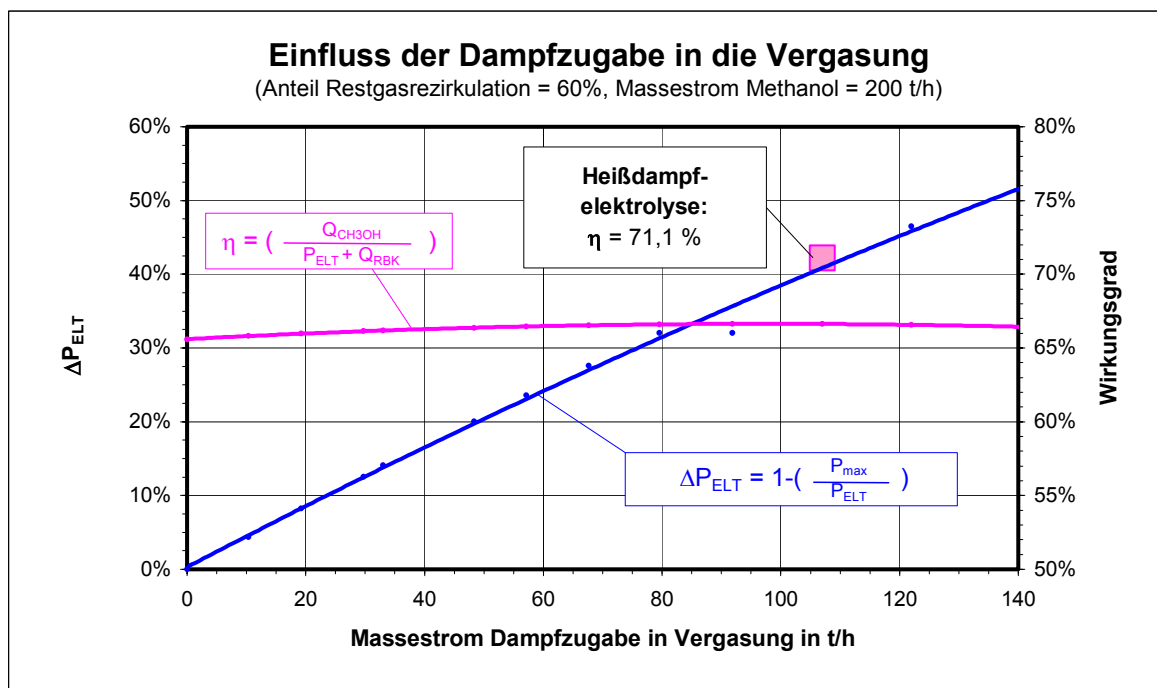


Bild 7: CombiFuel-Verfahren / Parameterstudie

Tritt im Netz ein Überschuss an Elektroenergie auf (z.B. durch Windenergie), so kann dieser bei konstanter Leistung der Methanolsynthese bis zu 50% zur Speisung der Elektrolyse durch Drosselung der Dampfzugabe in die Vergasung genutzt werden.

Ausgewählte Prozessdaten des KBK-Prozesses sind nachstehend dargestellt.

Parameter	OxyFuel-Teil mit CO ₂ -Abtrennung	CombiFuel-Teil	KBK-Prozess
Massestrom RBK	459 t/h	417 t/h	876 t/h
Brennstoffleistung RBK	1493 MW	1113 MW	2606 MW
Generatorleistung (brutto)	920 MW	-	920 MW
Eigenbedarf	232 MW	264 MW	496 MW
elektrische Leistung (netto)			424 MW
Brennstoffleistung Energimethanol	-	1055 MW	1055 MW
KBK-Wirkungsgrad (netto)	46,1 %	71,1 %	56,8 %
CO ₂ -Emission (inkl. Nutzung Energimethanol)	10 t/h	267 t/h	277 t/h

Tabelle 5: Prognose / KBK-Prozess / Zielprodukte Elektroenergie und Methanol

3 Emissionsaussagen zum KBK-Prozess

Aus den Berechnungen der Teilprozesse wurden die CO₂-Emissionen abgeschätzt und in Tabelle 6 zusammengestellt.

Spezifische CO ₂ -Emissionen bei der Elektroenergieerzeugung, Produktion und Nutzung des Energimethanols		
Nutzung des Energimethanols in:	Dieselmotor	349 kg/MWh
	Brennstoffzelle	291 kg/MWh
	GUD	262 kg/MWh
	Ideal ($\eta=100\%$)	187 kg/MWh

Tabelle 6: Prognose / KBK-Prozess / Emissionen

Bei diesen Berechnungen wurde berücksichtigt, dass der Oxyfuel-Teil mit CO₂-Abtrennung und Lagerung nur 2% Restemissionen verursacht und die spezifischen Emissionen bei der Nutzung des Energimethanols von der Art der Energieumwandlungsanlage abhängig sind.

Durch die Lagerung des CO₂ im Oxyfuel-Prozess liegen die spezifischen Emissionen trotz Einsatz von Braunkohle deutlich unter den Emissionen herkömmlicher Energieumwandlungsanlagen für Kohle, Öl und Erdgas (s. Bild 8). Ohne CO₂-Lagerung liegen die spezifischen Emissionen für den KBK-Prozess im Bereich der herkömmlichen Prozesse, wenn man beachtet, dass die Emissionen für die Bereitstellung der Energieträger Kohle, Öl und Gas für die herkömmlichen Prozesse in Bild 8 nicht berücksichtigt sind.

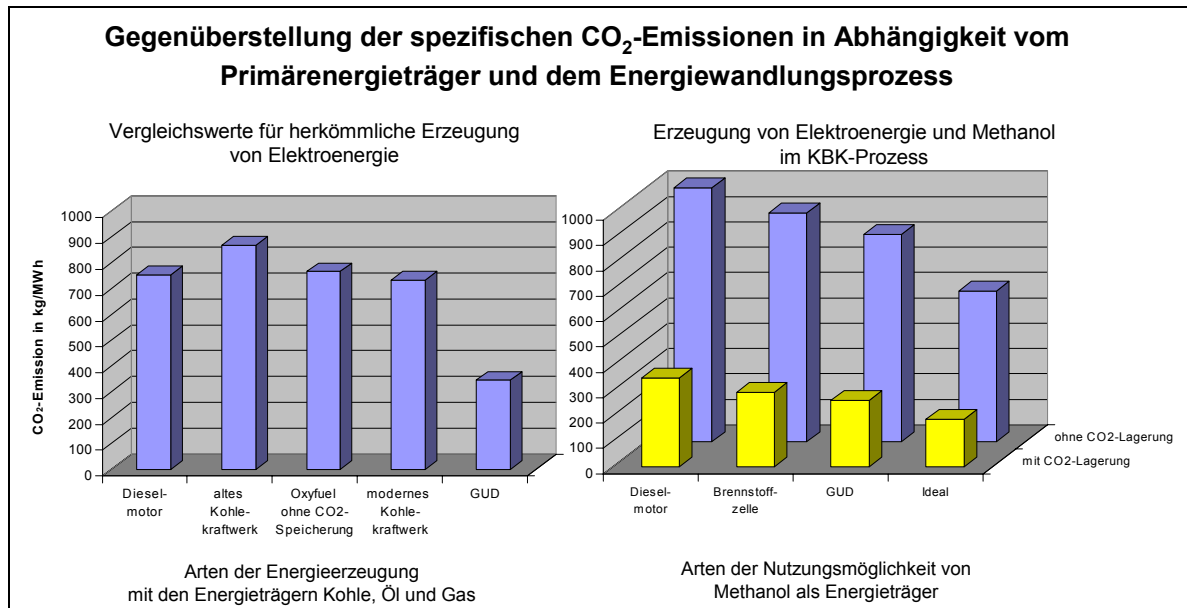


Bild 8: Prognose / KBK-Prozess / Vergleich der CO₂-Emissionen

4 Zusammenfassung

Als wesentliche Merkmale des vorgestellten KBK-Prozesses sind zu nennen:

- Erzeugung von Elektroenergie und Energie-Methanol aus Braunkohle im Megawattbereich.
- Das erzeugte Methanol kann als alternativer Energieträger gegenüber Erdgas, Öl und festen Brennstoffen für den Einsatz in dezentralen Energieerzeugern effektiv, preisgünstig und langfristig bereitgestellt werden.
- Zur Erzeugung des prozessbedingten Wasserstoffes im CombiFuel-Prozess können regenerative Ressourcen wie aus Wind-, Wasserkraft und Fotovoltaik spontan erzeugte Elektroenergie eingesetzt werden. Dies eröffnet die praktische Möglichkeit zur Speicherung regenerativ erzeugten Stroms im Megawattbereich.

- Durch Kombination der Teilprozesse Oxyfuel und CombiFuel kann eine wesentliche Reduzierung von CO₂-Emissionen beim Einsatz der Braunkohle als Energieträger erreicht werden, wobei der rechnerisch erzielbare Gesamtwirkungsgrad bei 56% liegt und damit entsprechend der Zielstellung im Punkt 1 eine Reduzierung des Gesamtprimärenergieverbrauches erreicht werden kann.

Braunkohle ist entsprechend [7] in Deutschland noch in einer Menge von 75 Mrd. Tonnen vorhanden. Nutzt man jährlich 500 Mio. Tonnen so ergibt sich eine Reichweite von 150 Jahren und damit kann diese national verfügbare Energieressource entsprechend Tabelle 2 bis zu 35% zur Deckung des Primärenergiebedarfes in Deutschland beitragen.

5 Referenzen

- [1] BP, Statistical Review of World Energy, 2003
- [2] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanz / Jahresbericht der MWV 2003
- [3] Deutsche Bank Research, 2. Dezember 2004 Nr. 2
- [4] Technische Universität Dresden, Kraftwerktechnisches Kolloquium XXXVI. 2004, Tagungsband 1 und 2
- [5] DGMK - Fachbereichstagung, 2004, Tagungsband 1, Seite 305 bis 317
www.dgmk.de
- [6] Spacil, Tedmon: Electrochemical Dissociation of Water Vapor in Solid Oxide Electrolyte Cells, Fuel Cells Symposium Electrochem. Soc. Meeting, Paper 356, Montreal 1968
- [7] Bundesverband Braunkohle, Braunkohle, Ein Industriezweig stellt sich vor, DEBRIV, www.braunkohle.de , www.kohlenstatistik.de
- [8] BWK, Nr. 7/8, Der deutsche Kraftwerkspark, 2003
- [9] VDI AK Energietechnik Dresden, Vortrag zum CombiFuel-Verfahren, 24.02.2005
- [10] MWV (OPEC Bulletin, Petroleum Intelligence Weekly (PIW))
- [11] www.tecson.de/rohoel.gif