

Oxyfuel-Prozess: Eine mittelfristige Option zur Reduzierung der CO₂-Emission aus kohlebefeuereten Kraftwerken

Paul G. Gilli, Stefan Hellfritsch, Technische Universität Dresden

Georg N. Stamatelopoulos, Alstom Power Boiler GmbH, Stuttgart

Hubertus Altmann, Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG, Cottbus

Johannes Ewers, RWE Power AG, Köln

1 Aussichtsreiche Technologien für das CO₂-freie Kraftwerk

Während die Ziele des Kyoto-Protokolls durch Wirkungsgradsteigerung der konventionellen kohlebefeuereten Kraftwerke erreicht werden können, ist für die weitere Reduzierung von CO₂ aus Kohlekraftwerken die Entwicklung neuer Technologien notwendig [8]. Dementsprechend werden für den Einsatz von Rohbraunkohle folgende Technologien als aussichtsreich für eine großtechnische Realisierung ab 2020 eingeschätzt:

- CO₂-Abtrennung aus dem Rauchgas
(Rauchgasdekarbonisierung, post combustion capture)
- CO₂-Abtrennung aus Synthesegasen
(Brenngasdekarbonisierung oder IGCC-Prozess)
- Aufkonzentration von CO₂ im Abgas durch Verbrennung mit Sauerstoff
(Oxyfuel-Prozess).

Bild 1 zeigt das Prinzip dieser drei CO₂ Abscheidetechnologien, **Bild 2** gibt einen Überblick über das grundsätzliche Verfahrensfliessbild für einen Oxyfuel-Prozess mit CO₂-Abscheidung und Brennstoff Kohle.

Wesensmerkmal des Oxyfuel-Prozesses, der auch O₂/CO₂-Verbrennungsprozess genannt wird, ist die Verbrennung mit reinem Sauerstoff als Oxidationsmittel anstelle von Luft. Es wird daher beim Oxyfuel-Prozess mittels einer Luftzerlegungsanlage aus der Verbrennungsluft der Stickstoff extrahiert und nur der Sauerstoffstrom mit einer hohen Reinheit (95-99,6%) geht in den Verbrennungsprozess ein. Die konzentrierte Sauerstoffzugabe hat die Funktion der unmittelbaren Bildung von CO₂, das heißt der Stickstoff muss nicht aus dem entstandenen Rauchgas aufwändig abgeschieden werden. Abhängig vom Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs entsteht aufgrund des fehlenden Luftstickstoffs ein Rauchgas mit einer CO₂-Konzentration von bis zu 80 %.

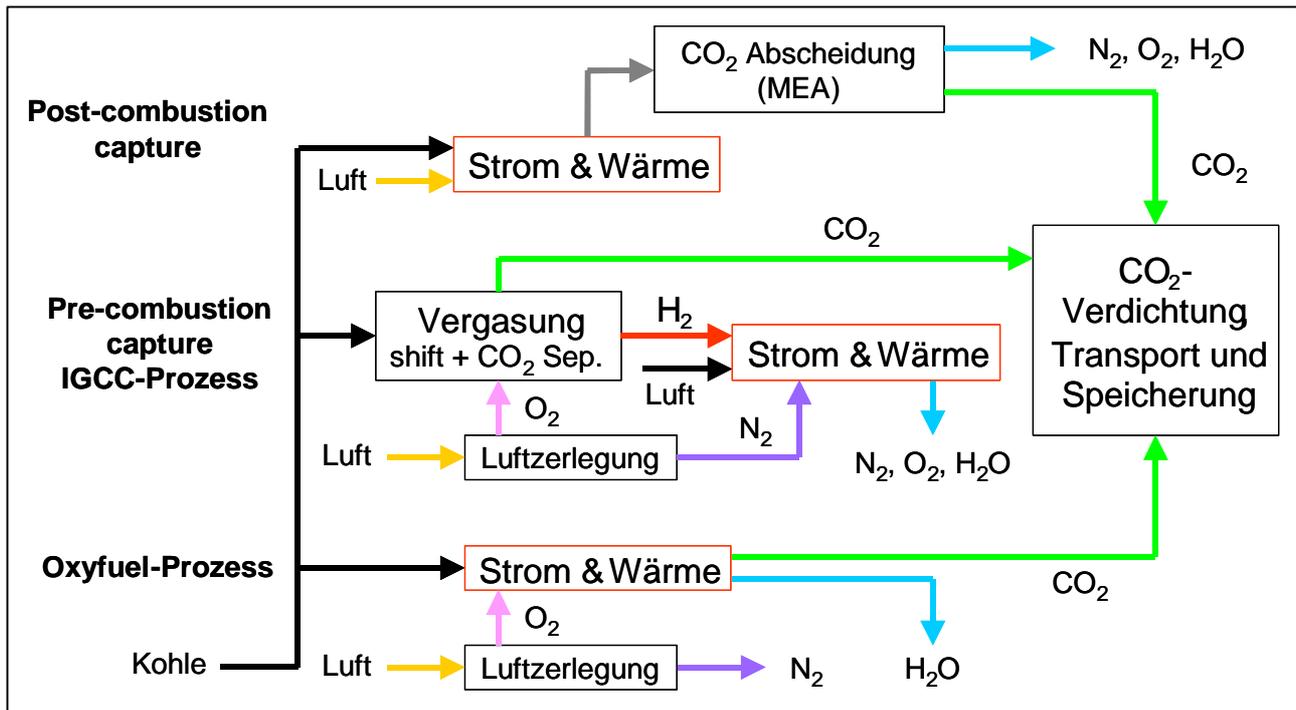


Bild 1 Die drei wichtigsten Technologiepfade zur CO₂-Abscheidung

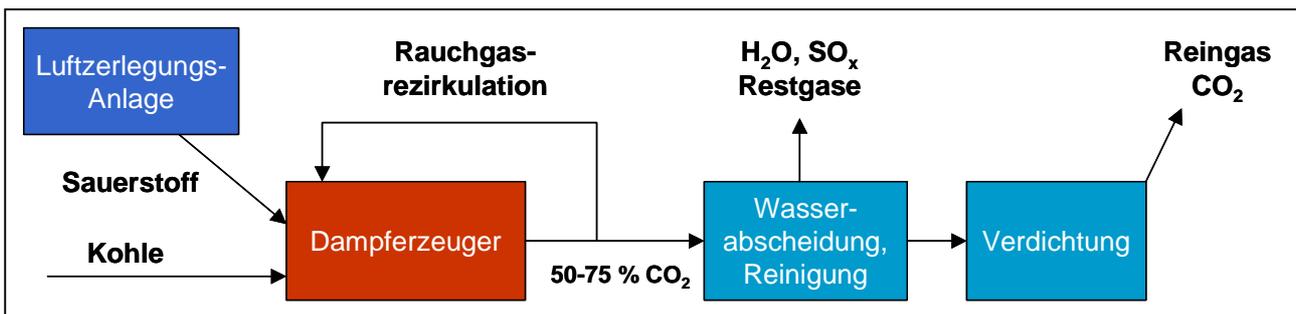


Bild 2 Schematische Darstellung des Oxyfuel-Prozesses für den Brennstoff Kohle

Zur Beherrschung der Verbrennungstemperaturen ist allerdings eine künstliche Erhöhung des Gasdurchsatzes in der Brennkammer als „Stickstoffersatz“ notwendig.

Zweckmäßigerweise geschieht dies in Form von rezirkuliertem Rauchgas.

Als Endprodukt des Verbrennungsvorganges entsteht ein CO₂/H₂O-Strom. Der als Nebenprodukt erzeugte Wasserdampf kann relativ leicht durch Kondensation abgetrennt werden. Ebenso können vom Abgasstrom, der nunmehr eine hohe CO₂-Konzentration aufweist, die verbleibenden Inertgase entfernt werden.

2 Zur Rezirkulation

Die Verbrennung nur mit Sauerstoff führt ohne Rezirkulation zu einem um ca. 75 % kleineren Rauchgasmassenstrom, der Normvolumenstrom verringert sich auf etwa ein Sechstel des ursprünglichen Wertes (Verbrennungsrechnung). Durch Leckluft, Brennstoffstickstoff und vor allem durch einen hohen Wassergehalt im Brennstoff wird das Rauchgasvolumen häufig nur um den Faktor 3 vermindert.

Dementsprechend verringert sich auch der Wärmekapazitätsstrom der Rauchgase, was das Rauchgastemperaturniveau (u.a. die adiabate Verbrennungstemperatur) wesentlich erhöht (**Bild 3**).

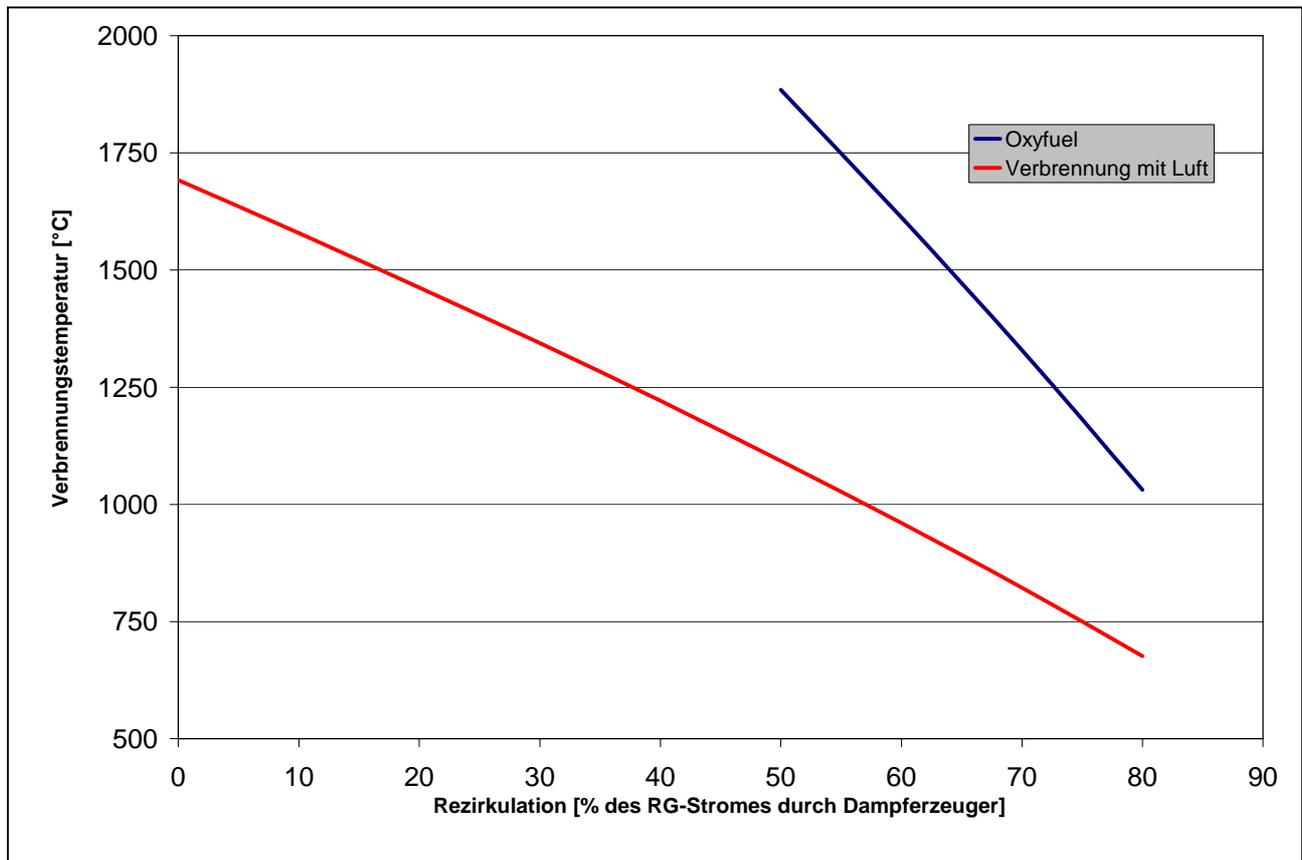


Bild 3 Adiabate Verbrennungstemperaturen in Abhängigkeit von der Rezirkulationsrate (Mitteldeutsche Rohbraunkohle, Eintrittstemperatur Sauerstoff (95 % Reinheit) 300 °C und Temperatur der rezirkulierenden Rauchgase 350 °C)

Wesentlich erhöhte Temperaturen führen jedoch zu Verschlackungen in der Brennkammer und in den nachfolgenden Heizflächen des Dampferzeugers. Will man bei der konventionellen Feuerungstechnologie mit trockenem Ascheabzug verbleiben, so müssen die Temperaturen verringert werden, am besten durch Beimischung kälteren Rauchgases aus dem hinteren Teil des Dampferzeugers in die Brennkammer (Rauchgasrezirkulation), wobei die Größenordnung ca. 70 % der Gesamtrauchgasmenge beträgt. Von dieser Variante wird vorläufig ausgegangen.

Auf andere Dampferzeugervarianten, bei denen die Rezirkulation verringert werden kann (Wirbelschichtfeuerung und Schmelzkammerfeuerung), wird in Abschnitt 4 noch eingegangen.

3 Bisheriger Entwicklungsstand zum Oxyfuel-Prozess

3.1 Technische und wirtschaftliche Potentialabschätzungen

Erste Erwähnung fand der Oxyfuel-Prozess zu Beginn der 80er Jahre [10] in der aufkeimenden Diskussion um CO₂ als Treibhausgas. Bereits damals sah man diese Technologie als eine besonders attraktive Möglichkeit zur Reduzierung der CO₂-Emissionen fossil befeuerter Kraftwerke an.

Die Vorschläge gingen dahin, den als Rauchgas erzeugten CO₂-Strom noch etwas mehr zu reinigen und das Produktgas (nahezu 100 % CO₂) anschließend wirtschaftlich sinnvoll einer EOR-Nutzung zuzuführen (Enhanced Oil Recovery, Injektion von Inertgasen in Ölfelder und dadurch Erhöhung der Ölfördermenge). Nach der vollständigen Erschöpfung solcher für EOR genutzten Ölfelder könnten diese abgeschlossen werden und das CO₂ bliebe darin gespeichert. Denkbar sind jedoch auch andere Möglichkeiten der klimaanwirksamen Speicherung von CO₂. Hierzu zählen Enhanced Coal Bed Methane Recovery (Austreiben von Methan aus Kohleflözen), eine Speicherung in Aquiferen (Tiefseespalten), alten Salzstöcken oder anderen geologischen Formationen.

Die Vorteile des Oxyfuel-Konzeptes liegen in einer einfachen Schaltung und dem geringen Aufwand für eine nahezu vollständige CO₂-Abscheidung. Neben CO₂ besteht das Rauchgas fast ausschließlich aus Wasserdampf, der sich durch Kondensation leicht abscheiden lässt.

Nahezu alle Studien kamen zu dem Schluss, dass der Oxyfuel-Prozess mit CO₂-Abscheidung für kohlenstoffreiche Brennstoffe eine vielversprechende Alternative zu anderen Möglichkeiten der CO₂-Vermeidung darstellt.

3.2 Übersicht über Versuchsanlagen

Tabelle 1 gibt einen Überblick über bisher betriebene Versuchsanlagen sowie ein Projekt in Planung zur Kohlenstaubverbrennung in O₂/CO₂-Atmosphäre. Man sieht, dass bereits Versuchsanlagen mit bis zu 3 MW thermischer Leistung bestehen.

Die Ergebnisse der Versuche am Argonne National Laboratory und parallel angestellter Simulationsrechnungen deuten darauf hin, dass bei der Verwendung ausreichender Rezirkulation die Unterschiede hinsichtlich Verbrennungs- und Wärmeübergangsverhalten im Dampferzeugers nicht allzu groß sind [5]. Die Versuchsergebnisse der NEDO-Anlage zeigen, dass die Verbrennung beim Oxyfuel-Prozess prinzipiell funktioniert, auch wenn noch viele Fragen zu klären sind [6]. Weiterhin ist die NO_x-Bildung beim Oxyfuel-Prozess deutlich geringer als bei Verbrennung mit Luft [7].

Die kanadischen Aktivitäten [3] sind weit fortgeschritten (Brennerauslegung etc.), so dass zur Zeit bereits eine mobile Demonstrationsanlage zur CO₂-Erzeugung vor Ort an möglichen Speicherstätten geplant wird [4].

Tabelle 1 Versuchsanlagen zum Oxyfuel-Prozess für Kohle

Betreiber (Anlage)	Argonne National Laboratory, USA	NEDO Konsortium, Japan	CANMET, Kanada (Vertical Combustor Research Facility)	CANMET, Kanada (Field Demonstration Project)
Baujahr	1985	1988	1994 (2002)	im Bau
Bauart	Staubfeuerung, gekühlte vertikale Brennkammer, Deckenbrenner, Rauchgas- rezirkulation	Staubfeuerung, gekühlte horizontale Brennkammer, Rauchgas- rezirkulation	Staubfeuerung, ungekühlte vertikale Brennkammer, Deckenbrenner, Rauchgas- rezirkulation	Staubfeuerung, gekühlte vertikale Brennkammer (Dampferzeuger), Deckenbrenner, Rauchgas- rezirkulation
Brennstoff	sub-bituminous coal	high-volatile bituminous coal, Öl	Western Canadian sub-bituminous coal, Erdgas, Öl	Kohle Erdgas
Brennkammer- dimensionen	1 x 1 x 6 m	Ø1,5 x 7,5 m	Ø 0,6 x 7 m (Ø 1,0 x 7 m)	ca. Ø 1,8 x 6 m
Thermische Leistung	3,0 MW	1,2 MW	300 - 500 kW	ca. 2 - 3 MW

4 Das Oxyfuel-Konzept Vattenfall / TU Dresden für ein 920 MW Braunkohlekraftwerk (mit kryogener Luftzerlegungsanlage)

In Zusammenarbeit mit Vattenfall Europe Generation wurde am Lehrstuhl Kraftwerkstechnik der TU Dresden ein entsprechendes Oxyfuel-Kraftwerkskonzept mit kryogener Luftzerlegungsanlage auf der Basis von Rohbraunkohle erarbeitet und erste Optimierungen durchgeführt.

Die Bruttoleistung ist 920 MW. Als Brennstoff im Dampferzeuger dient vorgetrocknete, mitteldeutsche Braunkohle (grubenfeucht: $H_u=11,7$ MJ/kg, $w=51$ %). Der erzeugte, gereinigte CO_2 -Strom soll an der Kraftwerksgrenze bei einem überkritischen Druck von 100 bar und Umgebungstemperatur zur Verfügung gestellt werden.

Durch sukzessive durchgeführte Verbesserungsmaßnahmen, insbesondere hinsichtlich der Abwärmenutzung, konnten alle Anlagenteile in optimierter Form in den Gesamtprozess integriert werden.

4.1 Prozessbeschreibung

Bild 4 enthält eine Übersicht über die Verschaltung und wichtigsten Parameter des hier vorgestellten Konzepts. Nachfolgend werden die Hauptkomponenten der Anlage erläutert:

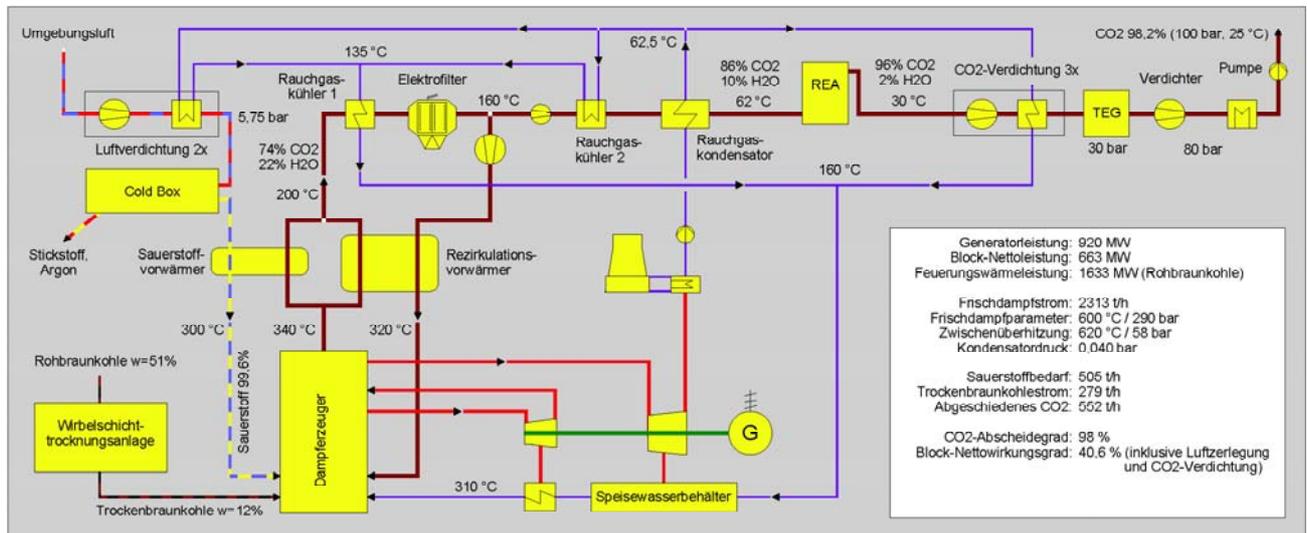


Bild 4 Schaltungsübersicht des 920 MW-Oxyfuel-Konzepts mit CO₂-Abscheidung

Luftzerlegungsanlage

Als Luftzerlegungsanlage wurde eine kryogene Luftzerlegungsanlage angenommen, wie sie Stand der Technik insbesondere für große O₂-Mengen ist, beispielsweise in Stahlwerken. Betrachtet man die derzeit größten gebauten Anlagenleistungen für die kryogene Luftzerlegung, so sind für einen 920 MW-Block 3 solcher Anlagen parallel zu schalten. Die bei der Verdichtung anfallende Wärme (Kompressoren) kann im Prozess größtenteils genutzt werden.

Braunkohletrocknungsanlage

Das Anlagenkonzept enthält eine Braunkohletrocknungsanlage; die bekanntlich den Prozesswirkungsgrad um einige Prozent (bis zu 5 %-Punkte) erhöht, wie sie derzeit großtechnisch an der Schwelle zur industriellen Reife ist [9]. In unserem Falle wurde eine atmosphärische Wirbelschichttrocknung mit Brüdenverdichtung modelliert, ähnlich wie dies bei RWE Power konzipiert und auch gebaut wurde.

Dampferzeuger

Auslegung und Design des Dampferzeugers gehören zu den wichtigsten Entwicklungsschwerpunkten für einen Oxyfuel-Braunkohleblock. Es wurde für die Studie ein Einzugsdampferzeuger mit Staubfeuerung angenommen, da dies der gängigen Lösung

für Braunkohle entspricht. Für den Oxyfuel-Prozess müssen aber in jedem Fall einige maßgebliche Unterschiede gegenüber herkömmlichen Dampferzeugern beachtet werden. Hier ist die erforderliche Gasdichtheit zu klären, wodurch das Ansaugen von Falschluff und damit auch Stickstoff weitgehend unterbunden werden soll. Dies trifft nicht nur für den Dampferzeuger selbst, sondern in gleichem Maße auch auf Bekohlung und Feuerung sowie den gesamten Rauchgasweg mit all seinen Prozessstufen zu.

Ein anderes wichtiges Merkmal eines Oxyfuel-Dampferzeugers ist die bereits erwähnte Rauchgasrezirkulation. Sollen übliche adiabate Verbrennungstemperaturen von 1800 °C nicht überschritten werden, müssen etwa 75 % der Rauchgasmenge am Dampferzeugeraustritt rezirkuliert werden. Im Kessel selbst ersetzt das rezirkulierte Rauchgasvolumen lediglich den fehlenden Luftstickstoff, die Rauchgasmenge am Dampferzeugeraustritt bleibt also im wesentlichen gleich.

Hinsichtlich der Schaltung der Rezirkulation hat sich aus Gründen des Wirkungsgrades und der Verhinderung einer hohen Staubbiladung im Rezirkulationsgebläse eine Schaltung als vorteilhaft erwiesen, bei welcher die Rezirkulation nach dem Elektrofilter bei ca. 150 °C entnommen wird, jedoch vor der Einbringung in die Brennkammer in einem Rezirkulationsvorwärmer durch das Rauchgas – ähnlich wie bei einem Luftvorwärmer – wieder auf ca. 300 °C erhitzt wird. In ähnlicher Weise erweist es sich als vorteilhaft, auch den Sauerstoff vor Einbringung in die Brennkammer über das Rauchgas vorzuwärmen (O₂-Vorwärmer). In Summe erzielt man damit ähnliche Verhältnisse wie bei einem konventionellen Kessel und dessen Luftvorwärmerschaltung.

Die oben genannten hohen Mengen an Rauchgasrezirkulation dienen beim Dampferzeuger mit Staubfeuerung und trockenem Ascheabzug insbesondere auch zur Vermeidung von Verschlackungen.

Niedertemperatur-Rauchgas-Economizer und Rauchgaswasserkondensationsanlage

Die bei der Rauchgaskühlung und anschließenden Kondensation des enthaltenen Wasserdampfes frei werdende Abwärme wird in Rauchgaskühlern (oberhalb des Taupunktes) und einer Rauchgaswasserkondensationsanlage direkt zur Speisewasservorwärmung genutzt. Die Anlage besitzt zwei Rauchgaskühler, von denen der größere im Rauchgastemperaturbereich von etwa 200 °C bis 150 °C vor dem Elektrofilter und somit vor Abzweigung der Rezirkulation angeordnet ist. Ein kleinerer Kühler befindet sich im Rauchgasstrom nach Abzweigung der Rezirkulation und sorgt für eine weitere Abkühlung der Rauchgase bis auf etwa 80 °C.

Anschließend erfolgt der Eintritt in die Rauchgaswasserkondensationsanlage, welche säurefest zu gestalten und damit den bereits an einigen Braunkohleblöcken eingebauten Rauchgaswärmeverschiebestationen sehr ähnlich ist. Während dieses nassen Verfahrensschritts wird auch ein Teil der anderen Verunreinigungen abgeschieden, insbesondere Feinpartikel und SO_x.

Entschwefelungsanlage

Bei der Konzepterstellung des Oxyfuel - Braunkohleblockes mit CO₂-Abscheidung wurde davon ausgegangen, dass unabhängig von der Art der Deponierung ein Verbleib größerer Mengen schwefelhaltiger Komponenten im CO₂ nicht vertretbar ist. Die deshalb vorgesehene Entschwefelungsanlage ist nach der Rauchgaswasserkondensationsanlage angeordnet.

Die Entschwefelung kann auf herkömmliche Art durch Nasswäsche mit einer Kalksuspension erfolgen, wobei aufgrund des geringeren Rauchgasvolumenstroms und der höheren SO_x-Konzentration von einem besseren Entschwefelungsgrad sowie verringertem Bauaufwand, Investitionskosten und Eigenbedarf ausgegangen werden kann. Auch können andere Entschwefelungsverfahren zum Einsatz kommen, die möglicherweise beim Oxyfuel-Prozess mit CO₂-Abscheidung Vorteile haben.

CO₂-Verdichtung und Resttrocknung

Das CO₂ wird nach der Entschwefelung in drei Stufen auf 30 bar verdichtet und mittels eines Absorptionsmittels getrocknet (im allgemeinen ein Glykol, beispielsweise TEG [2]). Nach der Trocknung erfolgt ein weiterer Verdichtungsschritt auf überkritische 80 bar, wo das CO₂ bei Abkühlung in einen quasi-flüssigen Zustand hoher Dichte übergeht. Gasförmige Verunreinigungen (Sauerstoff, Argon) bleiben darin gelöst und eine Hochdruckpumpe erzeugt den erforderlichen Transportdruck, im vorliegenden Fall von 100 bar.

4.2 Varianten des Dampferzeugers

Ein Weg, um die Rezirkulation zu eliminieren oder zumindest wesentlich zu verringern, ist die zirkulierende Wirbelschichtfeuerung. Diese erlaubt es, relativ viele Heizflächen in der Brennkammer (Wing-Walls) bzw. im Primärkreislauf (Fließbettkühler) unterzubringen und somit dort ohne Temperaturerhöhung bei Verringerung der Rezirkulation mehr Wärme abzubauen. Nachdem die zirkulierende Wirbelschicht auch bei konventionellen Anlagen eine in größeren Kraftwerken eingesetzte Alternative ist (Frankreich, Italien, Polen, USA, Kanada und China), besteht eine Chance, dass sie im Falle der O₂/CO₂-Verbrennung gegenüber der Staubfeuerung insgesamt von Vorteil ist, zumal die maximale Leistung solcher Wirbelschichtanlagen in den letzten Jahren wesentlich gesteigert werden konnte. Eine andere Möglichkeit zur Elimination oder zumindest zur Verringerung der Rauchgasrezirkulation ist die Schmelzkammerfeuerung. Die damit verbundene wesentlich höhere NO_x-Emission ist beim Oxyfuel-Prozess ein geringerer Nachteil als bei konventionellen Kraftwerken. Ebenso würde es erlauben, den Dampferzeuger – wegen der höheren wirksamen Temperaturdifferenzen - kleiner auszulegen, so dass diese für Steinkohle früher durchaus gängige Variante näher zu erwägen bzw. zu untersuchen ist

(z.B. Untersuchung des zu erwartenden Anstiegs der Verschmutzung der Nachschaltheizflächen). Der Einsatz von Trockenbraunkohle kann die Anwendung der Schmelzkammerfeuerung auch bei braunkohlebefeueten Kraftwerken ermöglichen

4.3 Ergebnisse

Der elektrische Wirkungsgrad des Oxyfuel-Prozesses liegt laut derzeitigen Analysen bei 31-35 % ohne Kohlevortrocknung. Zieht man jedoch die oben beschriebene Schaltung mit fortschrittlichen Prozessparametern und integrierter atmosphärischer Braunkohletrocknung heran, so wird ein Wirkungsgrad (netto) von ca. 40 % erwartet. Dies sind günstige Werte im Vergleich zu Verfahren der CO₂-Abscheidung aus dem Rauchgasstrom konventioneller Kraftwerke (post combustion capture). Die Reinheit des CO₂ an der Systemgrenze beträgt etwa 97 %.

4.4 Stand der technischen Reife

Tabelle 2 enthält eine Aufstellung der wichtigsten Komponenten des hier vorgestellten Oxyfuel-Konzepte mit unserer Einschätzung des derzeitigen technischen Entwicklungsstandes.

Tabelle 2 Technische Reife der wichtigsten Komponenten

Komponente	Theoretische Untersuchungen	Laboranlage, Komponententest	Pilotanlage	Demonstrations-anlage	Marktreife
Luftzerlegungsanlage					
O ₂ -Vorwärmer					
Braunkohletrocknung					
Dampferzeuger mit O ₂ /CO ₂ -Verbrennung und Rezirkulation					
Elektrofilter					
Rauchgaskondensationsanlage					
Entschwefelungsanlage ¹⁾					
CO ₂ -Reinigung					
CO ₂ -Trocknung (TEG)					
Wasser-Dampf-Kreislauf					

¹⁾ Anpassung an Oxyfuel-Prozess notwendig

5 Das Konzept Oxycoal-AC mit O₂-Erzeugung über Hochtemperaturmembranen

Das in Abschnitt 4 beschriebene Oxyfuel-Konzept nutzt eine kryogene Luftzerlegungsanlage, die Stand der Technik ist, die jedoch einen relativ hohen elektrischen Eigenbedarf hat. Das Oxycoal-Konzept verwendet stattdessen eine Luftzerlegung an Hand der Membrantechnologie, die erst in Entwicklung ist, jedoch einen geringeren Eigenbedarf bzw. einen besseren Wirkungsgrad erreicht. Das hier dargestellte Konzept wird in einem Verbundvorhaben der RWTH Aachen entwickelt, die hier dargestellten Ergebnisse sind diesem Vorhaben entnommen. (Siehe auch Vortrag V42 dieses Kraftwerkstechnischen Kolloquiums).

Es sind Membranen (sogenannte keramische Composite Membranen) in Entwicklung, die im Bereich von Temperaturen größer als 700 °C für O₂ und zwar nur für O₂ durchlässig sind. Stellt man daher eine entsprechende Temperatur und ein Partialdruckgefälle sicher, so kann die Membran zu einer Luftzerlegung dienen.

Sie sehen in **Bild 5** das Schaltbild eines 400 MW Oxyfuel-Kraftwerkes mit dieser Membrantechnologie zur Luftzerlegung.

Um eine ausreichende Partialdruckdifferenz in der Membran zu erzielen, muss die Luft zuerst komprimiert werden (hier auf 20 bar). Danach wird sie nachträglich in einem Hochtemperaturluftvorwärmer auf 800 °C erhitzt. Zu diesem Zweck wird aus der Kesselanlage heißes Rauchgas über ein Rezirkulationsgebläse rezirkuliert. Dieses Heißgas erwärmt zuerst die Luft und nimmt danach durch die Membran das O₂ auf, um somit in der Brennkammer als Sauerstoffträger zu wirken – wobei im Gegensatz zu sonstigen Kesselanlagen - die Brenner mit einer Temperatur des Sauerstoffträgers von nunmehr 700 °C statt der üblichen 300 bis 350 °C betrieben werden. Der in der Membran zurückgehaltene Stickstoff wird über eine Stickstoffturbine abgebaut und die Wärme des Abgases für den Dampfprozess genutzt.

Gegenüber dem bisher beschriebenen Oxyfuel-Prozess mit kryogener Luftzerlegungsanlage hat der Oxycoal-Prozess den Vorteil einer geringeren Wirkungsgradeinbuße. Während jedoch die kryogene Luftzerlegungsanlage Stand der Technik ist, besteht beim Oxycoal-Prozess noch ein grundsätzlicher Entwicklungsbedarf beispielsweise hinsichtlich

- Hochtemperaturmembranen
- Hochtemperaturwärmeübertrager
- Rezirkulationsgebläse für 800 °C
- Heißgasreinigung bei 850 °C
- Brenner mit O₂-Trägergas von 800 °C (Standard: 300 bis 350 °C heutiger Brenner).

In Summe hat dieses Verfahren, gegenüber den im Abschnitt 4 beschriebenen Oxyfuel-Prozess, das Potential eines besseren Wirkungsgrades, jedoch einen noch deutlich größeren Entwicklungsbedarf.

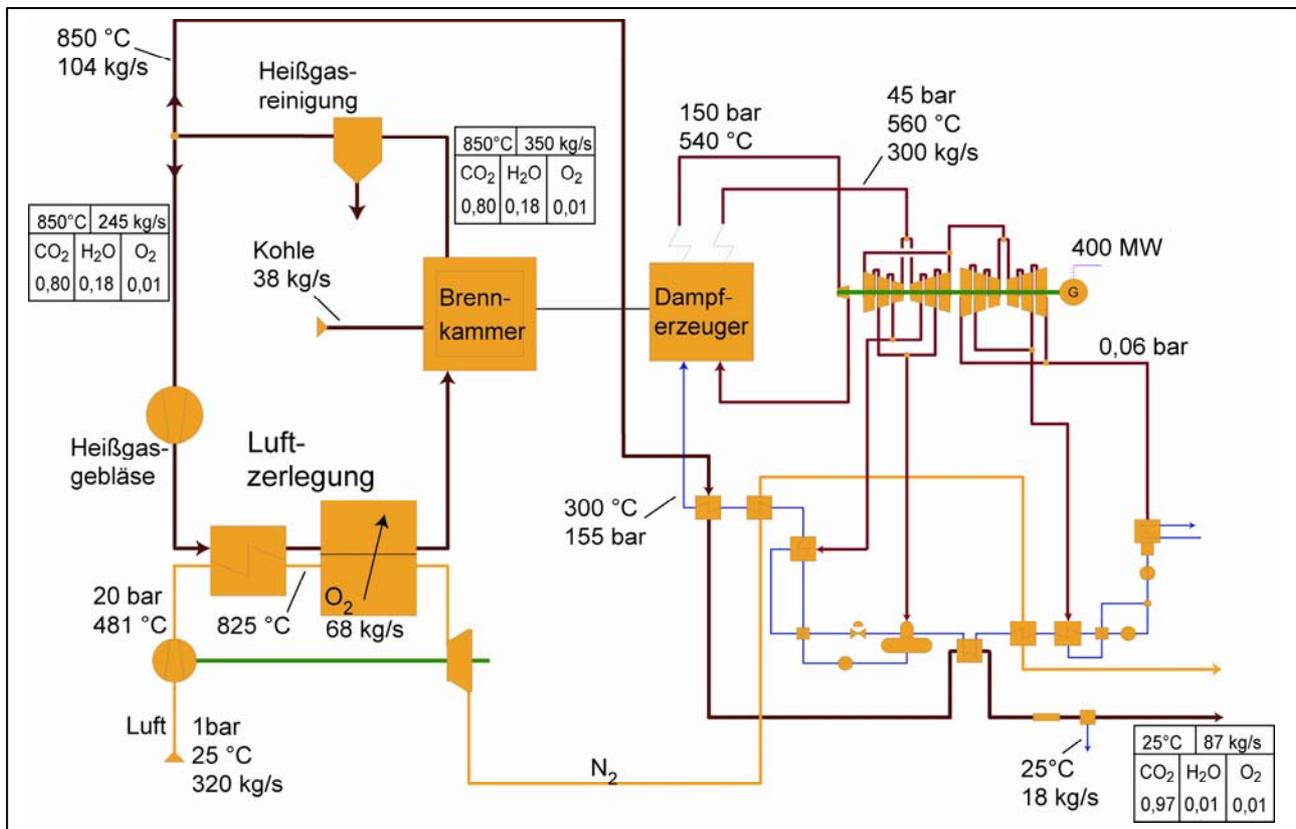


Bild 5 Kohlekraftwerk mit O₂/CO₂-Verbrennung, Sauerstofferzeugung mittels Membran

6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde unter anderem ein optimiertes Kraftwerkskonzept für Braunkohle vorgestellt, welches auf dem Oxyfuel-Prozess mit CO₂-Abscheidung basiert. Hierfür wurde weitgehend der aktuelle Stand der Technik zugrunde gelegt, und es konnte ein Nettowirkungsgrad von ca. 40 % erzielt werden, (die Verdichtung des CO₂ auf ca. 100 bar ist dabei bereits inkludiert) bei einer Gesamtabseideleistung für das CO₂ von 97 %.

Die vorliegenden Ergebnisse sowie intern durchgeführte Kostenschätzungen zeigen, dass der Oxyfuel-Prozess eine vielversprechende Option für zukünftige CO₂-freie Kraftwerksneubauten darstellt.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Hellfritsch, S., Gilli, P.G., Jentsch, N.: Concept for a Lignite-fired Power Plant Based on the Optimised Oxyfuel Process with CO₂ Recovery
VGB PowerTech 8/2004, S. 76-82, VGB PowerTech e.V., Essen, 2004
- [2] Andersson, K., Johnsson, F., Strömberg, L.: Large Scale CO₂ Capture – Applying the Concept of O₂/CO₂ Combustion to Commercial Process Data
VGB PowerTech 10/2003, S. 29-33, VGB PowerTech e.V., Essen, 2003
- [3] Douglas, M.A. u.a.: Oxy-fuel Combustion at the CANMET Vertical Combustor Research Facility, First National Conference on Carbon Sequestration, Washington DC, 14.-17. Mai 2001
- [4] Douglas, M.A. u.a.: Oxy-Combustion Field Demonstration Project, Second Annual Conference on Carbon Sequestration, Alexandria (VA), 5.-8. Mai 2003
- [5] Payne, R.; Chen, S.L.; Wolsky, A.M.; Richter, W.F.: CO₂ Recovery via Coal Combustion in Mixtures of Oxygen and Recycled Flue Gas
Combustion Science and Technology, Vol. 67, S. 1-16, 1989
- [6] Kimura, N. u.a.: The characteristics of pulverized coal combustion in O₂/CO₂ mixtures for CO₂ recovery, Energy Conversion and Management, Vol. 36, S. 805-808, 1995
- [7] Liu, H.; Okazaki, K.: Simultaneous easy CO₂ recovery and drastic reduction of SO_x and NO_x in O₂/CO₂ coal combustion with heat recirculation
Fuel, Vol. 82, S. 1427-1436, 2003
- [8] Stamatelopoulos, G.N.; Marion, J.L.; Nsakala, N.Y.; Griffin, T.; Bill, A.: CO₂ Control Technologies: ALSTOM Power Approach, International Conference on Clean Coal Technologies, Oktober 2002, Sardinien, Italien
- [9] Ewers, J., Klutz, H.-J., Renzenbrink, W., Scheffknecht, G.: The Development of Pre-drying and BoA-Plus Technology
VGB PowerTech 11/2003, S. 60-65, VGB PowerTech e.V., Essen, 2003
- [10] Horn, F.L.; Steinberg, M.: A Carbon Dioxide Power Plant for Total Emission Control and Enhanced Oil Recovery, D.E.E. Brookhaven National Laboratory, 1981