

Feuerungssystem und wärmetechnische Auslegung für einen mit Trockenbraunkohle befeuerten Oxyfuel-Dampferzeuger

Dipl.-Ing. **S. Hellfritsch**, Technische Universität Dresden, Dresden;
Prof. Dr. techn. **P.G. Gilli** †, Technische Universität Dresden, Dresden;
Prof. Dr.-Ing. **U. Gampe**, Technische Universität Dresden, Dresden;
Dipl.-Ing. **N. Jentsch**, Vattenfall Europe Generation, Cottbus;
Dr.-Ing. **M. Klemm**, Technische Universität Dresden, Dresden;

Kurzfassung

Der so genannte Oxyfuel-Prozess stellt für den Brennstoff Kohle eine viel versprechende Technologie unter den Verfahren zur CO₂-Abscheidung dar. Einer seiner Hauptvorteile ist die weitgehende Beibehaltung der Anlagentechnik, wie sie bereits in konventionellen Kohlekraftwerken zu finden ist. Notwendige Veränderungen betreffen vor allem den Dampferzeuger, welcher beispielsweise über eine umfangreiche Rauchgasrezirkulation verfügen muss. In diesem Beitrag wird über die Auslegung eines mit Trockenbraunkohlestaub befeuerten 743 t/h O₂/CO₂-Dampferzeugers als Kernstück eines möglichen 300 MW Oxyfuel-Kraftwerksblockes berichtet.

Abstract

The oxyfuel technology with CO₂ separation represents a promising option on the way to a future power generation from coal without atmospheric CO₂ emissions. Advantages are the almost complete perpetuation of conventional plant equipment with major changes only to the steam generator. This paper highlights the results of a design study for a 743 t/h oxyfuel steam generator of a 300 MW power plant with CO₂ separation.

1. Zielstellung und Randbedingungen

Die Auslegung des hier vorgestellten Dampferzeugers erfolgte an der TU Dresden im Rahmen der Konzepterarbeitung für mögliche Kraftwerke auf Basis des Oxyfuel-Prozesses mit Brennstoff Braunkohle. Die elektrische Leistung wurde in diesem Fall mit 300 MW festgelegt, dies entsprach bei der gewählten Prozessführung einer Dampfproduktion von 743 t/h. Weitere Vorgabewerte für die Auslegung gehen aus Tabelle 1 hervor.

Tabelle 1: Vorgabewerte für Dampferzeugerauslegung

Bautyp	Turmdampferzeuger mit Staubfeuerung und trockenem Ascheabzug, Zwangsdurchlauf (Gleitdruck) mit überlagertem Umlauf bei Teillast
Brennstoff	Lausitzer Trockenbraunkohle, w=12 %, H _U =20184 kJ/kg
Frischdampf	600 °C, 290 bar
Zwischendampf	620 °C, 60 bar
Speisewasser	290 °C
BK-Endtemperatur	< 980 °C
Mögliche Teillast	40 % ohne Übergang zum Umwälzbetrieb

Da der Bau derartiger Anlagen bestenfalls mittelfristig denkbar ist, liegen die Dampfparameter höher als bisher für Braunkohle realisiert. Ungeachtet dessen erfolgte die Werkstoffwahl anhand bereits heute verfügbarer Materialien. Eine weitere Besonderheit des Dampferzeugers stellt die Verfeuerung von 100 % Trockenbraunkohle dar. Diese Festlegung hat beim Oxyfuel-Prozess den besonderen Grund, dass die Kondensationswärme des Brennstoffwassers kaum vollständig prozessintern genutzt werden kann, wenn sie erst bei der ohnehin erforderlichen Rauchgaskondensation anfällt [1]. Somit wird natürlich vorausgesetzt, dass die Brennstofftrocknung beispielsweise nach dem WTA-Prinzip [2] mit interner Nutzung der Brüdenwärme erfolgt.

2. Feuerungssystem

Feuerungsseitig bestehen nicht nur durch das Oxyfuel-Prinzip große Unterschiede zu konventionellen Dampferzeugern. Zunächst ist davon auszugehen, dass die erzeugte Trockenbraunkohle keine hinreichend geringe Körnung für eine Staubfeuerung aufweist. Die Nachmahlung braucht jedoch nicht mit einer weiteren Brennstofftrocknung kombiniert zu werden, so dass auf Rauchgasrücksaugschächte verzichtet werden kann. Für den luftdichten Brennstofftransport und als Mühlentragsgas eignet sich in erster Linie rezirkuliertes Rauchgas, das nach dem Elektrofilter abgezogen wird. Zur Vermeidung von Kondensationserscheinungen am kalten Brennstoff und zur Regelung der Temperatur nach Mühle wird vorgewärmtes rezirkuliertes Rauchgas zugemischt (Bild 1).

Ein gewisser Falschlufteintrag ist unvermeidbar, hierdurch werden in der Studie 2 % des benötigten Oxidationsmittelbedarfs der Feuerung gedeckt.

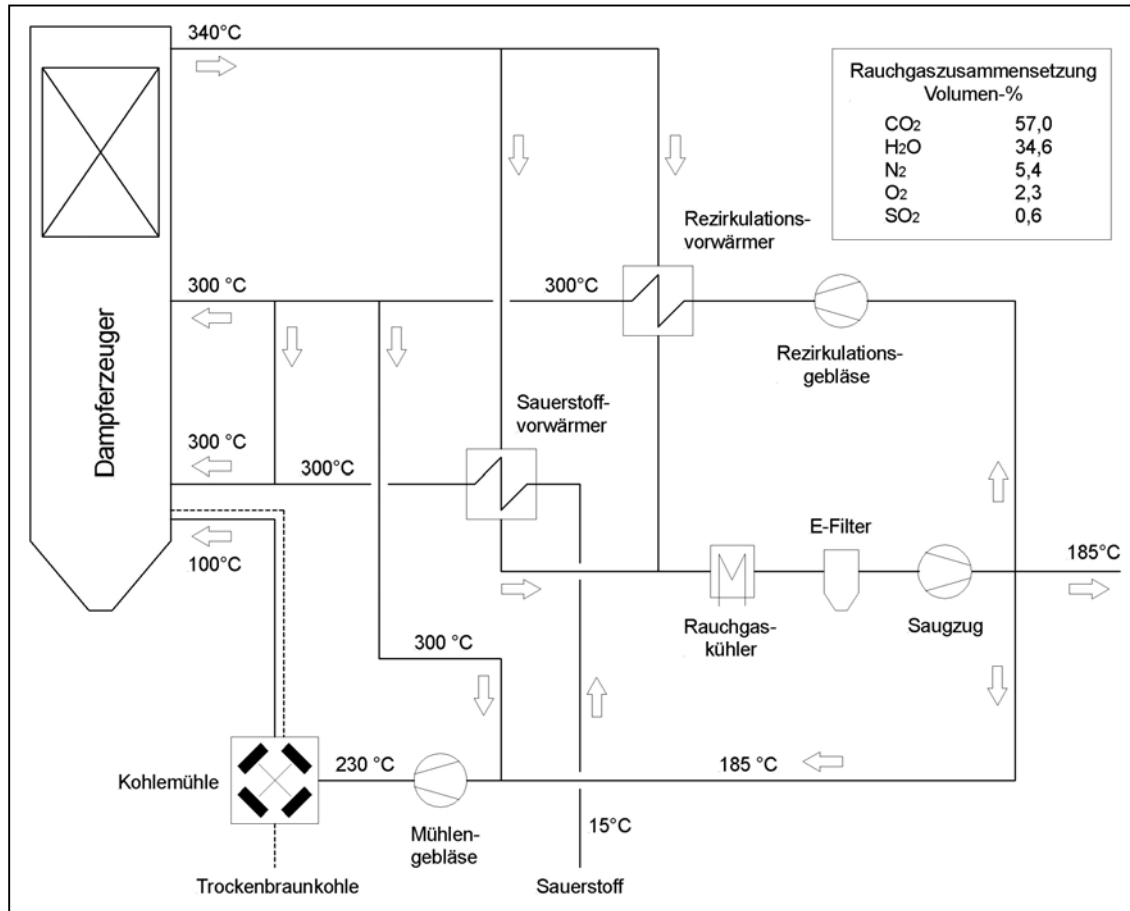


Bild 1: Feuerungssystem für Oxyfuel-Dampferzeuger mit Brennstoff Trockenbraunkohle

Die Dosierung des Sauerstoffs (Reinheit 99,6 %) in den Rezirkulationsstrom erfolgt aus Sicherheitsgründen erst an den Brennern in geeigneten Mischvorrichtungen. Analog der Luftvorwärmung an konventionellen Dampferzeugern werden sowohl der zur Verbrennung benötigte Sauerstoff als auch der Hauptteil der erforderlichen Rauchgasrezirkulation auf etwa 300 °C vorgewärmt.

3. Rauchgasrezirkulation

An dem Oxyfuel-Dampferzeuger werden insgesamt 75 % der Rauchgase rezirkuliert, bei Teillast erwies sich ein leicht höheres Verhältnis als vorteilhaft. Die vorgesehene und in Bild 1 dargestellte Prozessführung mit Rezirkulationsvorwärmer besitzt zunächst thermodynamische Vorteile, denn so muss nicht die gesamte Rauchgasabwärme in den Wasser-Dampf-Kreislauf eingebunden werden. Gegenüber einer direkten Rückführung heißer Rauchgase erübrigt sich weiterhin eine Heißgasentstaubung und der Einsatz von Heißgasgebläsen. Der Hauptanteil der Rezirkulation wird als Ersatz des fehlenden Luftstickstoffs an den Brennern zugegeben, während ein weiterer Teil zur Regulierung der

Brennkammeraustrittstemperatur und zur Einstellung eines günstigen Rauchgastemperaturprofils unterhalb der Schottheizfläche eingeblasen wird.

4. Hauptabmessungen und Brennkammerdimensionierung

Der Dampferzeuger besitzt einen quadratischen Querschnitt von 12,2 x 12,2 m und eine Gesamthöhe von etwa 105 m. Die Brennkammerhöhe ab Trichterknick beträgt 45 m, wodurch die geforderte Feuerraumendtemperatur sicher eingehalten werden kann. Es ergibt sich eine vergleichsweise hohe Querschnittsbelastung in der Brennkammer von 4,67 MW/m², doch wird dieser Wert im Hinblick auf die umfangreichen Möglichkeiten zur Feuerungsbeeinflussung mittels Rauchgasrezirkulation nicht als kritisch eingeschätzt. Die Strahlungsleistung in der Brennkammer wurde in Anlehnung an [4] als vornehmlich von der Partikelstrahlung abhängige Größe betrachtet.

5. Wärmetechnik und Heizflächenauslegung

Durch das Zusammenwirken von Oxyfuel-Prinzip, Trockenbraunkohlefeuerung und minimal erforderlichen Rauchgasgeschwindigkeiten wurde der geringe Querschnitt bedingt, wodurch anschließend weitere Probleme zu bewältigen waren.

Zunächst führt die Forderung nach geringen Brennkammeraustrittstemperaturen bei Braunkohle zu großen Brennkammerhöhen, einer vergleichsweise hohen Wärmeaufnahme in der Brennkammer und zum Anstieg der Wandaustrittstemperatur. Der Economiser kann zur Senkung der Medientemperatur in der Wand aber auch nicht beliebig klein dimensioniert werden, weil andernfalls zu geringe Temperaturdifferenzen in davor positionierten Überhitzern auftreten. Als Kompromisslösung wird die Rauchgasrezirkulation so gesteuert, dass die Feuerraumendtemperatur eingehalten wird, während gleichzeitig die Speisewassertemperatur auf 290 °C gesenkt wurde. Für die oberen Wandheizflächen musste auf den Werkstoff 7CrMoVTiB10-10 zurückgegriffen werden [3], welcher als einziger in Frage kommt und keine Nachbehandlung nach dem Schweißen erfordert.

Weitere Probleme bereitete die Sicherstellung einer ausreichenden Unterkühlung am Economiser-Austritt bei Teillast. Diese Fragestellung ist eng mit der vorherigen verknüpft. Insgesamt konnte aber eine zufriedenstellende Auslegung des Economisers gefunden werden, ohne eine höhere Rauchgastemperatur nach Economiser zulassen zu müssen. Allgemein kann zur Heizflächenauslegung bemerkt werden, dass sich konstruktive Veränderungen schneller als üblich in der Wärmeaufnahme bemerkbar machen. Dies liegt in dem verbesserten rauchgasseitigen Wärmeübergang durch Strahlung begründet, die Anteile der strahlenden Gaskomponenten CO₂ und Wasserdampf im Rauchgas sind etwa dreifach höher

als bei Verbrennung mit Luft. Vergleichsrechnungen zeigten, dass die hieraus resultierenden Unterschiede im kombinierten Wärmeübergangskoeffizienten bis zu 30 % betragen. Die Anordnung der Heizflächen ist aus Bild 2 zu erkennen. Als Werkstoff für die Endüberhitzer ist HR3C vorgesehen, für dickwandige Sammler und Rohrleitungen P91 oder E911.

6. Betriebsverhalten und Teillastfähigkeit

Das Betriebsverhalten und die Zeitkonstanten für Lastwechsel werden sich nicht stark von einem vergleichbaren konventionellen Dampferzeuger unterscheiden. Vielmehr kann durch Variation der Rauchgasrezirkulation die Wärmetechnik des Dampferzeugers noch während des Betriebes beeinflusst werden. Im Gleitdruckbetrieb ist eine Benson-Mindestteillast von 40 % ohne Übergang in den Umwälzbetrieb möglich. Bis zu einer Teillast von etwa 70 % kann die Zwischendampfperatur konstant gehalten werden. Für An- und Abfahrvorgänge ist konventioneller Betrieb mit Luft als Sauerstoffträger vorgesehen, wobei die Rezirkulationkanäle als Luftkanäle und der als rotierende Speichermasse ausgeführte Rezirkulationsvorwärmer (REVO) als Luftvorwärmer geschaltet werden.

7. Zusammenfassung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse belegen, dass die Kombination von Oxyfuel-Dampferzeuger, Trockenbraunkohlefeuerung und hohen Dampfparametern realisierbar wäre. Sie dienen als Ausgangspunkt für weitere Forschungsarbeiten mit dem Ziel, den Oxyfuel-Prozess als mögliche CO₂-freie Stromerzeugungstechnologie zu qualifizieren.

- [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
- [2] Klutz, H.-J., Ewers, J.: Entwicklung der WTA-Feinkorntrocknung. VDI Berichte Nr. 1495 „Entwicklungslinien in der Energie- und Kraftwerkstechnik“, Essen: VDI-Verlag 1999
- [3] Husemann, R.U.: Development Status of Boiler an Piping Material for Increased Steam Conditions, VGB PowerTech 9/2003, S. 124-128
- [4] Wilkinson, M.B. et al.: CO₂ Capture via Oxyfuel Firing: Optimisation of a Retrofit Design Concept for a Refinery Power Station Boiler. First National Conference on Carbon Sequestration, 15.-17. Mai 2001, Washington DC
- [5] Nsakala, N.Y. et al.: Engineering Feasibility of CO₂ Capture on an Existing U.S. Coal-Fired Power Plant. First National Conference on Carbon Sequestration, 15.-17. Mai 2001, Washington DC

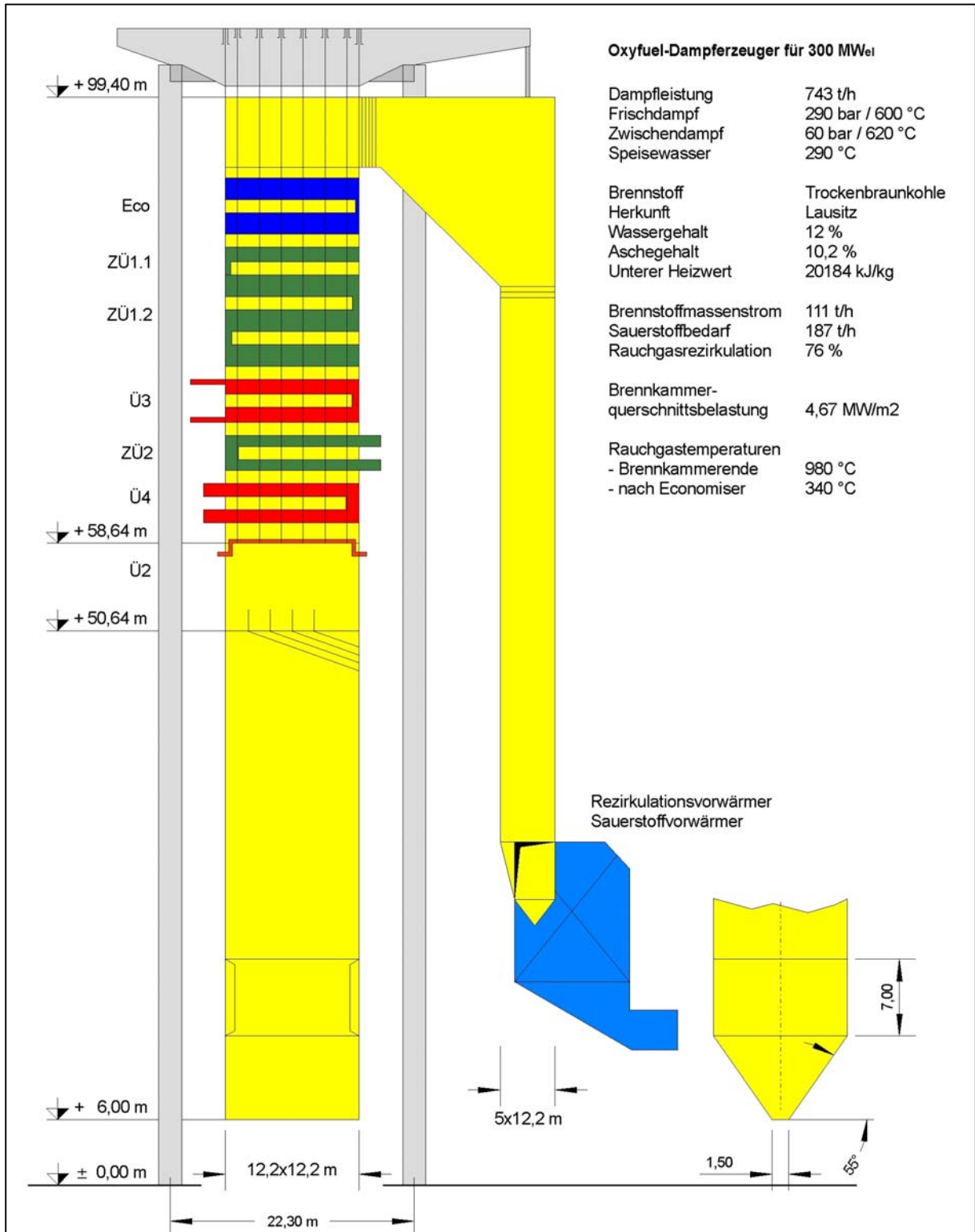


Bild 2: Seitenansicht des Oxyfuel-Dampferzeugers