

ALVA 20 – Eine Laboranlage zur Untersuchung des Verbrennungsverhaltens in einer O₂/CO₂-Atmosphäre

Stephanie Tappe, Hans Joachim Krautz
Lehrstuhl Kraftwerkstechnik

Kurzfassung

Für die Erforschung des Verbrennungsverhaltens von Festbrennstoffen wurde am Lehrstuhl Kraftwerkstechnik der BTU Cottbus eine 20 kW_{th}-Atmosphärischen Laborverbrennungsanlage – ALVA 20 – aufgebaut. Sie bietet die Möglichkeit, neben grundlagenbezogenen Kinetikuntersuchungen auch anwendungsbezogene Prozessuntersuchungen durchzuführen. Auf den Aufbau und die technischen Eigenschaften sowie die Untersuchungsmöglichkeiten wird im Rahmen dieses Beitrags näher eingegangen. Im Weiteren werden erste Ergebnisse zum Abbrandverhalten von Lausitzer Braunkohle in einer O₂/CO₂-Atmosphäre präsentiert.

Abstract

In order to investigate the combustion behaviour of solid fuels a 20 kW_{th}-atmospheric laboratory test rig – called ALVA 20 – was constructed at the chair of power plant technology of the BTU Cottbus. It provides the possibility to investigate fundamental kinetic combustion reaction and also use-orientated process mechanism. In this article the experimental set-up and the technical parameter of the test rig are introduced for the first time. Additionally, experimental results of the burnout of Lusatian lignite in a O₂/CO₂-Atmosphäre are presented.

1 Einleitung

Im Rahmen der globalen Klimaerwärmung werden verschiedene Lösungsansätze verfolgt, um insbesondere die CO₂-Emissionen fossil gefeuerter Kraftwerke zu reduzieren. Dabei rückt die konventionelle Verbrennung von Braunkohle unter Zugabe von Frischluft mit fortschreitender Technik immer mehr in den Hintergrund und eine Variation der Verbrennungsparameter, insbesondere der Verbrennungsluftzusammensetzung, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Ein neuer Ansatz stellt der sogenannte Oxyfuel-Prozess dar, bei dem der Brennstoff in einem Gasgemisch aus zurückgeführtem Rauchgas und Sauerstoff unter Ausschluss von Stickstoff verbrennt. Durch die Rezirkulation des Rauchgases konzentriert sich das Kohlendioxid im Rauchgas auf und kann abgetrennt werden.

Die modifizierte Verbrennungsgaszusammensetzung unter Oxyfuel-Bedingungen wirkt sich maßgeblich auf das Verbrennungsverhalten und den Ausbrand der Kohle aus. Um die Einflüsse der modifizierten Gas-

zusammensetzung näher zu erforschen, werden am Lehrstuhl Kraftwerkstechnik der BTU Cottbus mehrere Forschungsprojekte durchgeführt. Das Abbrandverhalten von Braunkohle in einer O₂/CO₂-Atmosphäre wird unter Berücksichtigung der Parameter Brennstoffzusammensetzung, Verbrennungstemperatur und Korngröße untersucht. Die gewonnenen Untersuchungsergebnisse erlauben eine umfassende Beschreibung der komplexen Verbrennungsvorgänge.

Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse experimenteller Abbranduntersuchungen, die mit der Methode der Thermogravimetrischen Analyse erzielt wurden, vorgestellt. Des Weiteren wird die neue Versuchsanlage ALVA 20 beschrieben, die am Lehrstuhl Kraftwerkstechnik aufgebaut wurde. Mit ihr werden im Rahmen eines DFG-Forschungsvorhabens umfangreiche Untersuchungen zum Abbrandverhalten von Braunkohle in einer O₂/CO₂-Atmosphäre erfolgen.

2 Experimentelle Abbranduntersuchungen in einer O₂/CO₂-Atmosphäre mit der Methode der Thermogravimetrischen Analyse (TGA)

Um den Einfluss der Verbrennungsgaszusammensetzung auf das Abbrandverhalten von Braunkohle zu untersuchen, werden Abbranduntersuchungen mit verschiedenen Verbrennungsgasen durchgeführt. Für die Untersuchungen wird Lausitzer Trockenbraunkohle verbrannt. Ihre Zusammensetzung ist in Tab. 1 angegeben. Die Braunkohle wird mittels Siebung in drei verschiedene Kornfraktionen mit den Größen 0-0,125 mm, 1-2 mm und 4-6,3 mm klassiert.

Tabelle 1:

Elementar- und Immediatanalyse der eingesetzten Lausitzer Trockenbraunkohle

Elementaranalyse		Immediatanalyse	
Kohlenstoff	51,29 Ma.-%	Koksgehalt	35,37 Ma.-%
Wasserstoff	5,86 Ma.-%	Flüchtigengehalt	49,73 Ma.-%
Stickstoff	1,47 Ma.-%	Wassergehalt	10,01 Ma.-%
Schwefel	0,11 Ma.-%	Asche	4,89 Ma.-%

Auf die Verbrennung hat sowohl der Sauerstoffgehalt als auch die Gaszusammensetzung einen Einfluss. Um beide Phänomene getrennt voneinander zu betrachten, wird zum einen der Sauerstoffgehalt bei gleichbleibenden Gaskomponenten variiert. Zum anderen werden die Gaskomponenten bei konstantem Sauerstoffgehalt verändert. Dazu werden folgende Gase eingesetzt:

- Modellgas 1: 10 Ma.-% O₂, 90 Ma.-% CO₂
- Modellgas 2: 20 Ma.-% O₂, 80 Ma.-% CO₂
- Luft

Die zugegebene Verbrennungsgasmenge ist für sämtliche Versuche gleich. Um den Einfluss der Temperatur zu erfassen, wird die Brennkammertemperatur schrittweise von 800 °C auf 1.100 °C angehoben.

Versuchsdurchführung

Im Rahmen von vorbereitenden Versuchen werden erste Verbrennungsuntersuchungen mit der Methode der Thermogravimetrischen Analyse (TGA) durchgeführt. Hierbei kommt eine Thermowaage der Firma Mettler Toledo zum Einsatz. Kennzeichnend für die Apparatur ist die zeitabhängige Aufnahme der Massenänderung einer Brennstoffprobe. Sie erlaubt die Bestimmung der Verbrennungszeit und der Verbrennungsgeschwindigkeit unter definierten Versuchsbedingungen.

Um hohe Aufheizraten zu erreichen, wird die herkömmliche Vorgehensweise bei der Versuchsdurchführung modifiziert: Es erfolgt keine langsame Aufheizung der Probe innerhalb der Brennkammer, sondern die Brennstoffprobe wird direkt in die vorgeheizte Brennkammer gegeben. Das Öffnen und Schließen der Brennkammer während des Brennstoffeintrags bewirkt einen Temperaturabfall und einen Falschlufteinbruch.

Die vorgegebenen Versuchseinstellungen werden erst nach einigen Sekunden wieder erreicht, so dass die bereits abgelaufene Verbrennung der flüchtigen Bestandteile nicht reproduzierbar abläuft. Aufgrund dieser Einschränkungen wird im Rahmen dieser Veröffentlichung ausschließlich der Koksabbrand betrachtet.

Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden die jeweiligen Verbrennungszeiten auf eine Brennstoffmenge von 100 mg normiert.

Versuchsergebnisse

In den Abb. 1, 2 und 3 sind die ermittelten Verbrennungszeiten der einzelnen Kornfraktionen in Abhängigkeit der Verbrennungsgaszusammensetzung und der Brennkammertemperatur dargestellt:

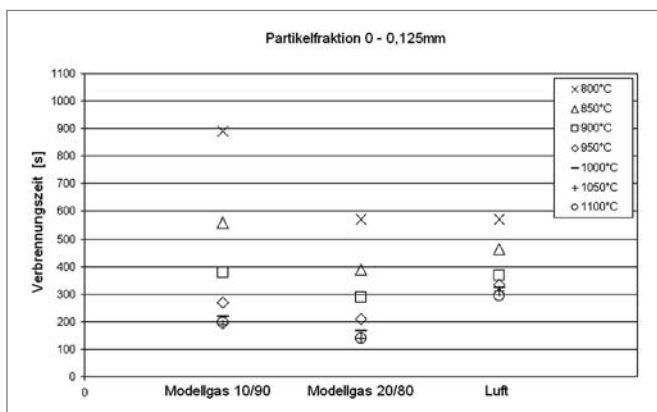


Abbildung 1: Verbrennungszeiten der Brennstoffproben mit einer Körnung 0-0,125 mm in Abhängigkeit von der Gaszusammensetzung und der Brennkammertemperatur

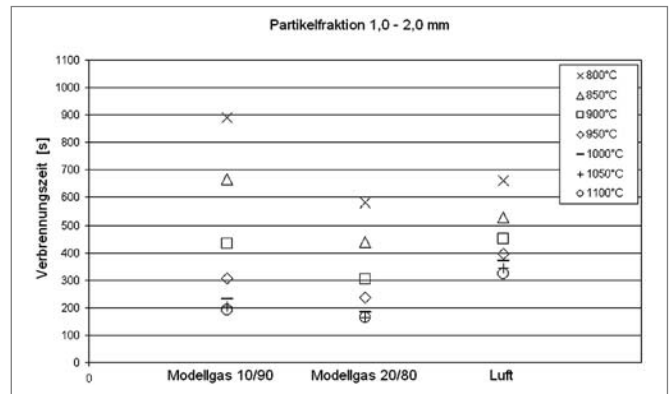


Abbildung 2: Verbrennungszeiten der Brennstoffproben mit einer Körnung 1,0-2,0 mm in Abhängigkeit von der Gaszusammensetzung und der Brennkammertemperatur

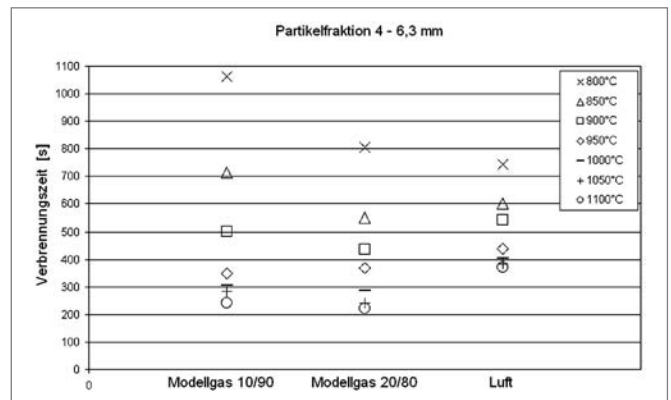


Abbildung 3: Verbrennungszeiten der Brennstoffproben mit einer Körnung 4,0-6,3 mm in Abhängigkeit von der Gaszusammensetzung und der Brennkammertemperatur

Einfluss der Korngröße

Die Verbrennungszeit nimmt mit größeren Korndurchmessern zu. Kleine Partikel besitzen eine größere spezifische Reaktionsoberfläche. Außerdem sind die Diffusionswege innerhalb der kleineren Partikel relativ kurz, so dass die Reaktionspartner schnell an die Reaktionsstelle gelangen. Bei größeren Partikeln spielen die Diffusionsvorgänge eine bedeutendere Rolle. Dies wird an den vergleichsweise hohen Verbrennungszeiten der Körnung 4,0-6,3 mm deutlich. Eine Ausnahme bilden die Verbrennungsversuche bei 800 °C: die Dauer bis zum vollständigen Ausbrand der Kornfraktionen 0-0,125 mm und 1,0-2,0 mm ist nahezu identisch, obwohl sich die Partikelgröße ändert. Dieses Phänomen tritt nur bei der Verbrennung mit den Modellgasen auf.

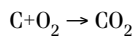
Einfluss der Verbrennungstemperatur

Anhand der Verbrennungszeiten ist der Einfluss der Verbrennungstemperatur gut ersichtlich. Mit steigender Temperatur verringern sich die Verbrennungszeiten. Dieser Zusammenhang gilt insbesondere in den Temperaturbereichen von 800-950 °C. Ab Temperaturen von etwa 1.000 °C ist der Zusammenhang immer noch erkennbar, allerdings nicht mehr so stark ausgeprägt. Die Ergebnisse stimmen mit den theoretischen Überlegungen überein (ZELKOWSKI, 1986; BAERNS et al., 1987; FIELD, 1969): Bei niedrigen Temperaturen läuft

die chemische Verbrennungsreaktion langsamer ab als bei hohen Temperaturen. Sie wirkt geschwindigkeitslimitierend. Ab einer Temperatur von 1.000 °C sind die Stofftransportmechanismen geschwindigkeitsbestimmend für die Verbrennung. Hier spielt die Verbrennungstemperatur eine untergeordnete Rolle für die Verbrennungszeit.

Einfluss des Sauerstoffgehalts

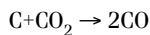
Die Verbrennungszeit nimmt mit zunehmendem Sauerstoffgehalt im Verbrennungsgas ab. Dies stimmt mit den theoretischen Überlegungen überein. Sauerstoff ist ein maßgeblicher Reaktionspartner bei der Verbrennung von Kohle. Vereinfacht dargestellt läuft folgende Oxidationsreaktion ab:



Wird der Sauerstoffanteil im Verbrennungsgas erhöht, kann in derselben Zeit mehr Kohlenstoff umgesetzt werden, d. h. die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt zu und die Verbrennungszeit ab.

Einfluss der Gaskomponenten

Bei nahezu identischen Sauerstoffanteilen, jedoch unterschiedlichen Gaskomponenten im Verbrennungsgas, unterscheiden sich die Verbrennungszeiten deutlich. Die Verbrennung mit Luft läuft langsamer ab als mit den Modellgasen. Dieser Trend ist bei allen Partikelgrößen ersichtlich. Wird die Gaszusammensetzung modifiziert, d. h. eine Verbrennung in einer O₂/CO₂-Atmosphäre durchgeführt, so gewinnt eine weitere elementare Reaktion an Bedeutung:



Kohlenstoff reagiert mit Kohlendioxid zu Kohlenmonoxid, das im weiteren Verlauf zu Kohlendioxid umgewandelt wird. Diese sogenannte Boudouard-Reaktion hat somit einen erheblichen Einfluss auf den Abbrand des Kohlepartikels, da unter oxyfuelbedingungen der CO₂-Ge-

halt im Verbrennungsgas ansteigt. Eine Überlagerung von anderen Einflüssen soll mit Hilfe der im folgenden beschriebenen Versuchsanlage ALVA 20 weiter untersucht werden.

3 Aufbau und technische Parameter der Laborverbrennungsanlage ALVA 20

Die 20-kW_{th}-Atmosphärische Laborverbrennungsanlage (ALVA 20) wurde entwickelt, um das Abbrandverhalten von Festbrennstoffen unter realitätsnahen Bedingungen untersuchen zu können. Durch die Möglichkeit, den Brennstoff kontinuierlich oder diskontinuierlich in die Anlage einzubringen, lässt sie sich für eine Vielzahl unterschiedlicher Untersuchungen nutzen. Sie zeichnet sich außerdem durch eine hohe Verweilzeit, einer hohen Aufheizrate der Brennstoffpartikel, einer turbulenten Strömung innerhalb der Brennkammer und daraus resultierenden guten Vermischung von Brennstoff und Verbrennungsgas aus.

Das Verfahrensschema ist in Abb. 4 dargestellt. ALVA 20 besteht im Wesentlichen aus den komplexen Verbrennungsgasbereitstellung, Dosierung, Brennkammer, Rauchgasleitung, Rezirkulationsleitung und Mess- und Leitsystem.

Verbrennungsgasbereitstellung

Als Verbrennungsgas wird sowohl herkömmliche Umgebungsluft als auch ein technisches Modellgas, das zu unterschiedlichen Anteilen aus Sauerstoff und Kohlendioxid besteht, eingesetzt. Die Bereitstellung der technischen Gase erfolgt durch zwei Flüssiggastanks (16) (17). Mit Hilfe eines elektrischen Lufterhitzers (4) und eines mit Propan betriebenen Gasbrenners (5) besteht die Möglichkeit, das Verbrennungsgas vor der Eindüsung in die Brennkammer vorzuwärmen.

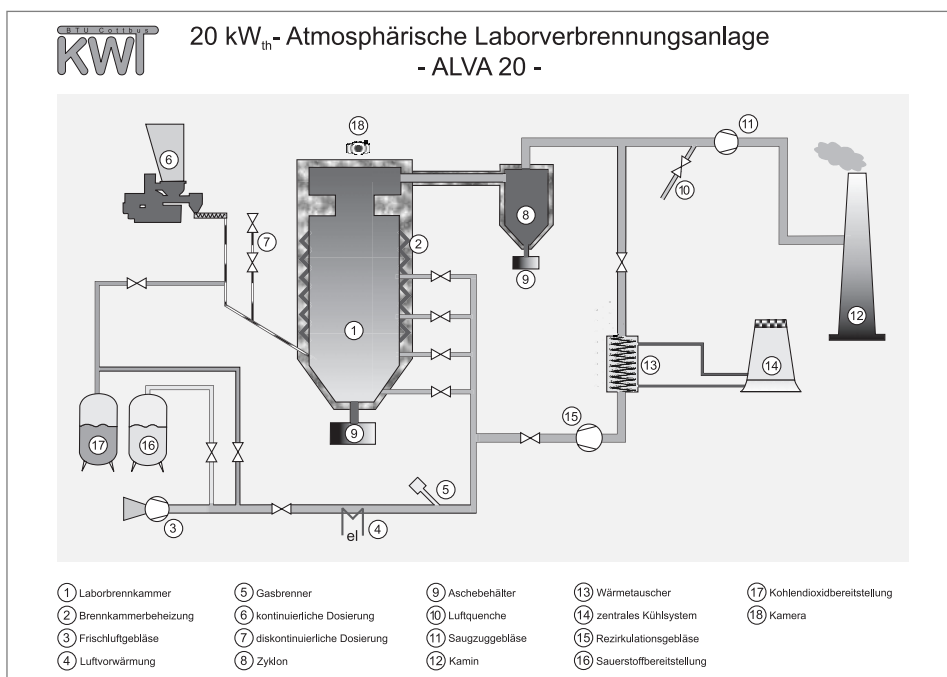


Abbildung 4:
Verfahrensschema der Laborverbrennungsanlage
ALVA 20

Brennstoffdosierung

Die Brennstoffdosierung kann sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich über zwei voneinander unabhängige Systeme realisiert werden. Für kontinuierliche Verbrennungsversuche wird der Brennstoff über eine automatisierte Dosiervorrichtung (6) in die Brennkammer eingetragen. Bei diesem Dosiersystem wird der Brennstoffmassenstrom über die Drehzahl der Förderschnecke eingestellt. Über eine separate Brennstoffeintragsvorrichtung (7) ist es möglich, eine definierte, abgewogene Brennstoffmenge diskontinuierlich zu dosieren, wobei die gesamte Brennstoffprobe nahezu zeitgleich in die Brennkammer gelangt.

Brennkammer

Das Kernstück von ALVA 20 stellt die Brennkammer dar (1), die mittels einer Mantelkeramikheizung (2) von außen elektrisch beheizt wird. Über vier verschiedene vertikale Ebenen wird das Verbrennungsgas eingedüst, so dass eine turbulente, drallbeaufschlagte Rotationsströmung innerhalb der Brennkammer erzeugt wird. Der Brennkammer schließt sich eine Nachbrennkammer an, die zur Strömungsberuhigung dient.

Rauchgasleitung

Das entstehende Rauchgas wird in einem Zyklon (8) grob von Feststoffpartikeln gereinigt. Mittels einer luftbetriebenen Quenche (10) wird das Rauchgas abgekühlt und anschließend über ein Saugzuggebläse (11) durch den Kamin (12) in die Atmosphäre geleitet.

Rezirkulationsleitung

Alternativ zur Einleitung in die Atmosphäre ist eine teilweise Rückführung des Rauchgases in die Brennkammer möglich. Das Rauchgas wird hierzu in einem wasserbetriebenen Gegenstromwärmetauscher (13) abgekühlt und dann mit Hilfe eines Rezirkulationsgebläses (15) in die Sammelleitung des Verbrennungsgases gefördert. Die zurückgeführte Rauchgasmenge ist über die Leistung des Rezirkulationsgebläses steuerbar.

Mess- und Leitsystem

Zur Erstellung einer umfassenden Energie- und Massenbilanzierung werden an mehreren Messstellen Temperatur, Druck und Durchfluss kontinuierlich erfasst. Sämtliche Messstellen sind im R+I-Fließschema abgebildet (Abb. 5).

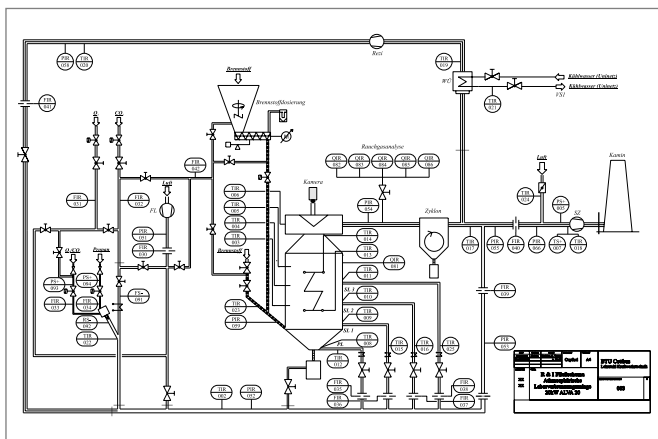


Abbildung 5:
R+I-Fließschema von ALVA 20

Für Prozessuntersuchungen, bei denen die Auswirkungen der Prozessführung auf die Rauchgaszusammensetzung im Vordergrund stehen, wird eine Gasanalyse eingesetzt, die direkt hinter der Brennkammer angeordnet ist. Mit ihr lassen sich die wesentlichen Komponenten Sauerstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxid und Schwefeldioxid messen.

Für die Abbranduntersuchungen kommt eine Sauerstoff-Festelektrolytsonde zum Einsatz. Sie erfasst kontinuierlich den Sauerstoffpartialdruck innerhalb der Brennkammer. Der Vorteil dieser Messmethode besteht in der hohen zeitlichen Auflösung der Messsignale, so dass selbst kleine bzw. kurzzeitige Schwankungen aufgezeichnet werden. Dadurch ist die rasche Verbrennung flüchtiger Bestandteile messbar und eine genaue Untersuchung des gesamten Abbrandverlaufes möglich (LORENZ, 1992).

Zur optischen Beobachtung der Verbrennung ist oberhalb der Brennkammer eine Kamera (18) montiert, deren Bilder auf einem Monitor am Leitstand angezeigt werden. Die Bedienung der einzelnen Anlagenkomponenten erfolgt sowohl manuell (Kugelhähne, Ventile) als auch über ein rechnergestütztes Leitsystem (Gebläse, Dosierung). Das Leitsystem dient weiterhin zur kontinuierlichen Erfassung und Speicherung sämtlicher Messdaten.

Technische Parameter

ALVA 20 zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität und einen weiten Einsatzbereich aus. Eine Übersicht über die möglichen Versuchseinstellungen wird in Tab. 2 gegeben:

Tabelle 2:
Übersicht über die realisierbaren Versuchseinstellungen

Brennstoff	Braunkohle, Steinkohle
Verbrennungsgas	Luft, Rauchgas, Oxyfuel, O ₂ /CO ₂ -Modellgas
Dosierung	kontinuierlich, diskontinuierlich
Brennstoffwärmeleistung	0-20 kW _{th}
Frischlufthmenge	0-50 kg/h
Sauerstoffverhältnis λ	1-2,3
Verbrennungsgastemperatur	20-220 °C Prozessuntersuchungen 800-1.100°C Abbranduntersuchungen
rezirkulierte Rauchgasmenge	0-45 kg/h
Partikelkörnng	0-6,3 mm
Additivzugabe	Kalk, Dolomit (vorgemischt)

4 Untersuchungsmöglichkeiten mit der Versuchsanlage ALVA 20

ALVA 20 ist so konzipiert, dass ein breites Einsatzspektrum abgedeckt wird. Mit ihr können sowohl grundlagenbezogene Kinetikuntersuchungen, die die Verbrennungsbedingungen industrieller Verbrennungen berücksichtigen als auch anwendungsorientierte Prozessuntersuchungen im Labormaßstab durchgeführt werden.

4.1 Grundlagenbezogene Kinetikuntersuchungen

Bei der Betrachtung der reaktionskinetischen Vorgänge der Verbrennung stehen insbesondere folgende Untersuchungsgrößen im Vordergrund:

- Verbrennungszeit der Flüchtigen, des Koks und des gesamten Ablaufs
- Abbrandverlauf
- effektive Reaktionsgeschwindigkeit
- makrokinetische Reaktionsparameter (Aktivierungsenergie, effektiver Reaktionsgeschwindigkeitskoeffizient, Reaktionsordnung)

Technischer Versuchsablauf

Die zu untersuchenden Zielgrößen werden mittels diskontinuierlicher Verbrennungsversuche ermittelt. Dafür wird eine definierte Brennstoffprobe in die separate Brennstoffvorrichtung gefüllt, die dann nahezu zeitgleich in die vorgeheizte Brennkammer eingetragen wird. Zur Realisierung isothermer Verbrennungsbedingungen wird die Brennkammer mit der Keramikheizung aufgeheizt. Das Verbrennungsgas wird mittels eines elektrischen Lufterhitzers auf bis zu 900 °C vorgewärmt. Um Temperaturen von bis zu 1.100 °C zu erreichen, wird ein Gasbrenner zugeschaltet.

Beim Eintrag der Brennstoffprobe in die Brennkammer, heizt sich die Probe in kurzer Zeit auf und verbrennt. So werden Aufheizraten von bis zu 1.000 K/s erreicht. Innerhalb der Brennkammer herrschen nahezu ideale Reaktionsbedingungen. Der Brennstoff wird in eine stark verdrallte und hoch turbulente Rotationsströmung gegeben, so dass eine homogene Vermischung von Brennstoff und Verbrennungsgas im Reaktionsraum erreicht wird.

Die Brennstoffpartikel bewegen sich in dieser Strömung weitestgehend aufwärtsgerichtet und zwar solange, bis durch den Abbrand der Grenzkorndurchmesser für den Austrag mit dem Gasstrom erreicht wird. Prinzipiell ähnelt die Strömung innerhalb der Brennkammer der Strömung in einem Zyklon (GRIEBE, 2001). Dadurch ist es möglich, Brennstoffproben mit einer Körnungsgröße bis zu 6,3 mm zu untersuchen, die Verweilzeiten von mehreren Minuten aufweisen. Dies stellt eine besondere Eigenschaft der Laboranlage dar, da in den meisten Versuchsapparaturen wie z.B. im Fallrohrreaktor lediglich Verweilzeiten von wenigen Sekunden realisiert werden können. Die Proben verbrennen entweder mit Frischluft oder mit dem Modellgas, das aus Sauerstoff und Kohlendioxid zusammengesetzt ist.

Analyse des Verbrennungsvorganges

Die Erfassung des Abbrandverlaufs erfolgt mit Hilfe der Sauerstoff-Festelektrolyt-Sonde. So können die Vorgänge der Verbrennung – Zündung und Abbrand der Flüchtigen, Verbrennung des Koks – zeitnah erfasst werden. Sobald die Probe in die Brennkammer gelangt und verbrennt, sinkt der Sauerstoffgehalt entsprechend der mit Kohlenstoff zu CO₂ verbrannten Menge ab. Die Ergebnisse erlauben eine Bestimmung der Verbrennungszeit der Flüchtigen, des Koks und die Verbrennungszeit bis zum vollständigen Abbrand. Zusätzlich können Rückschlüsse auf die umgesetzte Kohlenstoffmenge und somit auf die Reaktionsgeschwindigkeit getroffen werden. Es ist außerdem möglich, die reaktionskinetischen Parameter, wie Aktivierungsenergie, effektive Reaktionskonstante und die Reaktionsordnung zu ermitteln.

4.2 Anwendungsbezogene Prozessuntersuchungen

Ein weiterer Einsatzschwerpunkt der Anlage liegt in der Durchführung von anwendungsbezogenen Prozessuntersuchungen. Dabei steht die Erforschung von Emissionsbildungsmechanismen und die Entwicklung von Emissionsminderungsmaßnahmen im Vordergrund. Die geringe Größe der Laboranlage ermöglicht mit einem vergleichsweise geringen Aufwand, Prozessoptimierungsmaßnahmen zu testen und zu beurteilen.

Für die Durchführung der genannten Untersuchungen wird der Brennstoff kontinuierlich mit Hilfe eines volumetrischen Dosiersystems in die Brennkammer gefördert. Die Komponenten des entstehenden Rauchgases werden mit der Rauchgasanalyse gemessen.

Bezüglich der Verbrennungsgaszusammensetzung können verschiedene Betriebsweisen realisiert werden. Neben herkömmlichem Frischluftbetrieb ist eine Rauchgasrezirkulation von bis zu 90 % des entstehenden Rauchgases möglich. Für Verbrennungsuntersuchungen unter Oxyfuel-Bedingungen wird dem Rauchgas reiner Sauerstoff zugegeben. Aus den gewonnenen Erkenntnissen können Ableitungen für den Betrieb in industriellen Großkraftwerken gezogen werden.

5 Aktuelle Untersuchungen an der Versuchsanlage ALVA 20

In einem laufenden DFG-geförderten Forschungsvorhaben wird das Abbrandverhalten von Braunkohle in einer O₂/CO₂-Atmosphäre mit der Versuchsanlage ALVA 20 untersucht. Dabei soll speziell der Einfluss einer veränderten Verbrennungsgasatmosphäre auf die Kinetik der Verbrennungsreaktion bestimmt werden. Eine Übertragung der Verbrennungskinetik von Luft auf die in einer O₂/CO₂-Atmosphäre ist wegen der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von N₂ und CO₂ nicht möglich, so dass sie experimentell erforscht werden muss (BUHRE et al., 2003).

Die Modifizierung des Verbrennungsgases wirkt sich insbesondere auf die Verbrennungstemperatur und somit auf die Verbrennungsgeschwindigkeit aus. Des Weiteren beeinflussen die erhöhten O₂- bzw. CO₂-Konzentrationen die Teilvorgänge der Verbrennungsreaktion, vor allem die Reaktionsmechanismen (vgl. Kapitel 2). Um die theoretischen Grundlagen zu erweitern, wird neben einer Variation der Gaszusammensetzung der Einfluss von Brennstoffzusammensetzung, Verbrennungstemperatur und Korngröße auf das Verbrennungsverhalten erfasst, da sie die Verbrennungskinetik entscheidend mit beeinflussen. Im Rahmen der Kinetikuntersuchungen werden die genannten Parameter in folgenden Bereichen variiert (Tab. 3).

Tabelle 3:

Versuchseinstellungen für die Durchführung von Kinetikuntersuchungen

Brennstoffzusammensetzung	Braunkohle, Steinkohle
Verbrennungsgaszusammensetzung	Luft, O ₂ /CO ₂ -Modellgas
Verbrennungstemperatur	800 °C-1.100 °C
Korngröße	0-6,3 mm

6 Zusammenfassung

Zur Durchführung von Verbrennungsuntersuchungen von Festbrennstoffen wurde am Lehrstuhl Kraftwerkstechnik eine neue Untersuchungsmethode entwickelt, dessen Konzept durch den Aufbau von ALVA 20 realisiert wurde. ALVA 20 bietet die Gelegenheit, umfangreiche Forschungsarbeiten durchzuführen. So können kontinuierliche Prozessuntersuchungen vorgenommen werden, die das Ziel haben, Emissionsbildungsmechanismen bzw. -minderungsmaßnahmen zu erfassen. Außerdem können Prozessoptimierungsmaßnahmen bewertet werden. Weiterhin können reaktionskinetische Untersuchungen zu den Verbrennungsvorgängen durchgeführt werden. Im Rahmen eines 2-jährigen Forschungsvorhabens, das von der DFG gefördert wird, wird das Abbrandverhalten von Braunkohlen in einer O₂/CO₂-Atmosphäre charakterisiert. Der Untersuchungsschwerpunkt liegt in der Bestimmung des Einflusses der Gaszusammensetzung auf das Verbrennungsverhalten. Weitere Einflüsse, wie die Brennstoffzusammensetzung, die Verbrennungstemperatur und die Partikelgröße werden ebenfalls berücksichtigt.

Im Rahmen erster Tastuntersuchungen mit einer Thermowaage wurde der Einfluss einer veränderten Gaszusammensetzung auf die Verbrennungszeit unter Berücksichtigung der Verbrennungstemperatur und der Partikelgröße untersucht. Es konnten die in der Theorie bereits fundierten Abhängigkeiten von Temperatur und Partikelgröße auf die Verbrennungszeit nachgewiesen werden. Ebenso entsprechen die Verbrennungszeiten bei einer Veränderung des Sauerstoffgehalts den Erwartungen.

Die Brennstoffproben benötigten bei der Verbrennung mit Luft eine längere Zeit als bei der Verbrennung in einem Modellgas, das aus 20 Ma.-% O₂ und 80 Ma.-% CO₂ besteht. Eine erste Erklärung liegt in den veränderten Reaktionsmechanismen. Durch den erhöhten Kohlendioxidpartialdruck im Verbrennungsgas gewinnt die sogenannte Boudouard-Reaktion an Bedeutung. Somit ändern sich bei einem Austausch von Luftstickstoff durch Kohlendioxid nicht nur die physikalischen Eigenschaften des Verbrennungsgases, sondern ebenfalls die Reaktionsmechanismen bzw. Reaktionsgleichgewichte, da der Kohlendioxid aktiv an der Reaktion beteiligt ist. Die Tastversuche bestätigen den weiteren Forschungsbedarf in diese Richtung.

Danksagung

Der Lehrstuhl Kraftwerkstechnik bedankt sich hiermit bei der Deutschen Fördergesellschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens „Charakterisierung des Abbrandverhaltens von Braunkohlen in einer O₂/CO₂-Atmosphäre“ (Projekt-Nr.: KR 1855/8-1).

Literatur

- BAERNS, M.; HOFMANN, H.; RENKEN, A.; 1987:** Chemische Reaktionstechnik – Lehrbuch der Technischen Chemie. Bd. 1, Thieme Verlag
- FIELD, M. A.; 1969:** In: Rate of combustion of size-graded fractions of char from a low rank coal between 1 200 and 2 000K. Combustion and Flame 13, 237ff
- ZELKOWSKI, J. H.; 1986:** Kohleverbrennung – Brennstoff, Physik und Theorie. Fachbuchreihe Kraftwerkstechnik Bd. 8, VGB-Kraftwerkstechnik, Essen, 1-431
- LORENZ, H.; 1992:** Untersuchungen zur Verbrennung von Festbrennstoffen in der Wirbelschicht unter Anwendung der Gaspotentiometrie mit Sauerstoff-Festelektrolyt-Sonden. Dissertation TU Magdeburg
- BUHRE, B. J. P.; ELLIOT, L. K.; SHENG, C. D.; GUPTA, R. P.:** Wall: „Oxy-fuel Combustion Technology For Coal-Fired Power Generation“; University of Newcastle, Australia; Dep Chemical Engineering; 2004
- GRIEBE, S.; KRAUTZ, H.J.; 2001:** Abschlußbericht zum FuE-Vorhaben „Untersuchungen zur Verbrennung von Braunkohle und Mischbrennstoffen in einer Zyklidfeuerungs“; BTU Cottbus



Dipl.-Ing. Stephanie Tappe, Jahrgang 1976, studierte von 1997-2003 Umweltingenieurwesen und Verfahrenstechnik mit Schwerpunkt Energieverfahrenstechnik an der BTU Cottbus. Seit 2004 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Kraftwerkstechnik der BTU Cottbus (Prof. Dr.-Ing. H. J. Krautz). Sie ist innerhalb der Arbeitsgruppe Verbrennungstechnik zuständig für den Bereich der Verbrennungskinetik von Festbrennstoffen. Ihr spezielles Forschungsthema lautet: Abbrandverhalten von Festbrennstoffen unter Oxyfuel-Bedingungen.



Prof. Dr.-Ing. H. J. Krautz (53) studierte von 1974 bis 1978 Thermischen und hydraulischen Maschinenbau/Gas- und Dampfturbinenkonstruktion an der Technischen Universität Dresden. Von 1978 bis 1995 war er in mehreren Unternehmensbereichen des ostdeutschen Energieverbundunternehmens VE-AG Vereinigte Energiewerke AG Berlin tätig. Innerhalb der VEAG Beteiligung an der Inbetriebnahme der Großkraftwerke Boxberg und Jänschwalde und mehrere Jahre Forschungs- und Entwicklungstätigkeit u. a. als Mitarbeiter, Gruppenleiter und Teilbereichsleiter im Ingenieurunternehmen für Kraftwerks-, Energie- und Umwelttechnik (VEAG/IFK) Vetschau – in dieser Zeit (1987) Promotion an der TH Zittau – und von 1991 bis 1995 Projektverantwortlicher für die Entscheidung neuer Kraftwerkskonzepte mit Druckwirbelschichtfeuerungs in der Hauptverwaltung Berlin. 1996 übernahm er die Leitung des Lehrstuhls Kraftwerkstechnik an der BTU Cottbus. Die derzeitigen Lehr- und Forschungstätigkeit liegen in den Bereichen druckbeaufschlagter Prozesse der Energieumwandlung, Modellierung und Komponentenentwicklung neuer Kraftwerkstypen mit deutlich reduzierten CO₂-Emissionen. Er ist Mitglied des wissenschaftlichen Beirates der VGB (seit 1998), Mitglied im Vorstand VDI-GET (seit 2003), Mitorganisator des Deutschen Flammentags (seit 2003), Mitglied im Combustion Institut Pittsburgh/PA (USA) Deutsche Sektion und Vorstandssprecher des CEBra e.V. (seit 2006).