

Optische Verbrennungsregelung zur Optimierung von Kohlestaubfeuerungen

T. M. Merklein, Fa. Merklein

Kurzfassung

Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz fordern speziell bei Kohlefeuerungen eine laufende Überwachung des Verhältnis von Brennstoff zu Luft. Durch die optische Analyse des Flambildes und durch Optimierung der Luftregelung der Brenner kann auf schnelle Brennstoffschwankungen reagiert werden.

Diskutiert werden die Funktionsweise, die Erfahrungen und die weiteren Schritte in Richtung Wirtschaftlichkeit der Systemtechnik.

Einleitung

Bereits in der Vergangenheit war es für Kraftwerksbetreiber eine Herausforderung, die optimalen Einstellungen für den Feuerung zu finden und dabei die Wirtschaftlichkeit, die Verfügbarkeit, die Sicherheit und den Umweltschutz zu beachten. Die Veränderungen auf dem Strommarkt erfordern weitere Anstrengungen speziell zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Feuerungsanlagen.

Das Luft-/ Brennstoffverhältnis nimmt zunehmend eine Schlüsselstellung ein. Eine geringe Verbrennungsluftmenge ist erwünscht, um den Abgasverlust der Feuerung und der Gebläseverluste von Frischlüfter und Saugzug zu reduzieren. Entsprechend wird der Blockwirkungsgrad erhöht. Bei geringem Luftüberschuss entstehen weniger Stickoxide, was geringere Investitions- und Betriebskosten bei der Rauchgasreinigung zur Folge hat. Eine zu geringe Verbrennungsluftmenge aber führt zu einem Anstieg des Unverbrannten und zu CO-Bildung.

Bei Anlagen, die mit relativ hohem Luftüberschuss betrieben werden, war es bisher ausreichend, das Gesamtergebnis der Verbrennung mit den globalen Emissionswerten am Kesselende zu betrachten. Bei eventuell vorhandener Schwankung der Kohlemassenströme auf die einzelnen Brennern konnte bei Bedarf mit Vertrimmung der einzelnen Parametern reagiert werden.

Auf Grund des steigenden Einsatzes von unterschiedlichen Kohlen bzw. durch wechselnden Kohlequalität und durch sich häufiger ändernde Lastanforderungen haben sich die Randbedingungen für den Kesselbetrieb geändert.

Bei unterschiedlichen Heizwerten der Kohlen und entsprechend unterschiedlichen spezifischen Verbrennungsluftmengen können so große Abweichungen im realen Luft-/Brennstoffverhältnis auftreten.

Deshalb kann es bei der Einstellung der realen Luft-/Brennstoffverhältnisse an den Einzelbrennern zu einer Überlagerung der Fehler durch Abweichungen des Kohlemassenstroms und der Kohlequalität kommen.

Nach unseren Erfahrungen stellt speziell die Schwankungen des Kohlestroms bei der Aufteilung von den Mühlen auf die Brenner in vielen kohlegefeuerten Anlagen eine zeitlich variierende und von vielen Parametern abhängige Größe dar. Oft wick die Aufteilung der

Kohlestroms mehr als 10% vom erwarteten Wert ab. – Der eine Brenner arbeitet bereits mit Luftüberschuss und produziert Unverbranntes und CO. CO kann zu lokaler Korrosion des Kessels führen kann. Folglich musste teilweise der Luftüberschuss erhöht werden um kritische Zustände des Kessels zu vermeiden.

Ein weiterer Brenner der gleichen Mühle mit entsprechend geringerem Kohleaufschlag erzeugt übermäßig Emissionen. Beide tragen zu einem insgesamt verschlechterten Wirkungsgrad der Feuerung bei.

Mit einer brennerspezifischen Überwachung des Luft-/Brennstoffverhältnisses kann jedem Brenner die angepasste Luftmenge beaufschlagt werden und so jeder Brenner im Rahmen einer globalen Kesselregelung optimal betrieben werden.

Systemanforderungen

Eine wesentliche Anforderung an ein Verbrennungsregelungssystem ist die laufende Erfassung des Luft-/ Brennstoffverhältnisses und die Ausgabe von Signalen an die Prozessleittechnik zur Optimierung des Luft-/Brennstoffverhältnis.

Der Schwerpunkt dabei liegt in der Reaktion auf Schwankungen des Kohlemassenstroms und Schwankungen der Kohlequalität (Heizwert).

Weitere Forderungen an ein Verbrennungsdiagnosesystem sind:

- 1) Erkennen von Kohlewechsell und Information darüber, um rechtzeitig Anlagenparameter für die neue Kohle ändern zu können (z.B. der Mühlen).
- 2) Erkennen von Brennerschieflagen und sonstigen Abweichungen (z.B. durch falsche Klappenstellung).
- 3) Hilfestellung beim Finden der optimalen Verbrennungseinstellung hinsichtlich NO_x- Emissionen, CO-Emissionen und Ausbrand (Glühverlust).
- 4) Hinweise über den Mühlenbetriebszustand (Korngröße), Information über Abweichungen von Soll-Betriebszuständen durch Verschlackungen und Verschmutzungen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich im Betrieb allein auf Grund unterschiedlicher Lastzustände und der daraus resultierenden lastabhängigen Luftzahlen unterschiedliche Zustände der Verbrennung einstellen. Weiter dürfen sich ständig ändernden Einflüsse auf die Verbrennung, zum Beispiel durch die Heizflächenreinigung, keine Verfälschungen der Messungen verursachen.

Erfahrungen

Die beiden Entwicklungsreihen für Großfeuerungsanlagen, die der Firma Orfeus und die der Firma Siemens, wurden eingestellt. Beide haben die Einzelflammen durch optische Sensortechnik ausgewertet.

Beide Systeme bestanden aus einer optischen Messeinrichtung, die die Flammenbilder jeweils eines Brenners erfasste. Die Optiken beider Systeme

wurden durch Sperrluft von Ablagerungen freigehalten und die Sensorelektroniken durch einen Wasserkreislauf gekühlt. Die Daten wurden an eine Datenverarbeitungseinheit weitergegeben, welche die Rohdaten für die Feuerungsregelung aufbereitete.

Das gemeinsame physikalische Prinzip der Messung zeigt das Bild unten. Die gemessenen Intensitäten der von der Flamme ausgehenden Strahlung setzen sich aus der Temperaturstrahlung der Kohlepartikel (Planckstrahlung) und einem Anteil, der charakteristisch für die in der Verbrennung auftretenden chemischen Reaktionen (Chemilumineszenz) ist zusammen. Bei dem System wird der Anteil der Planckstrahlung quantitativ bestimmt und aus den Messdaten herausgerechnet. Hierfür kam die Zweiwellenlängenverhältnismessung zum Einsatz. Mit ihr konnte die Strahlungstemperatur mit der nötigen Genauigkeit von wenigen Grad Celsius bestimmt werden. Neben der quantitativen Bestimmung der chemischen Prozesse können geometrische Daten der Flamme wie z.B. Ausdehnung, Schwerpunkt, Zündbereich berechnet werden.

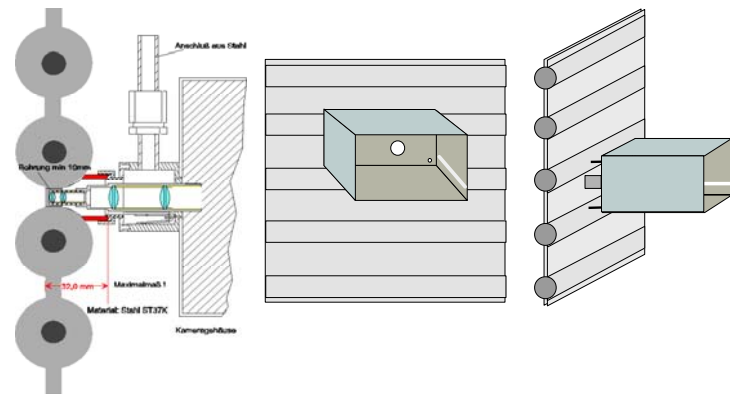
Messprinzip

Das Kamerasystem teilt das Flammenbild in vier identische Bilder auf, die über optische Filter vier Wellenlängen ($\Delta\lambda$ ca. 10nm) auf vier CCD-Kameras abgebildet werden. Diese Intensitäten werden digitalisiert und in Bilder umgerechnet, die die chemischen Prozesse beschreiben. Aus ihnen können entsprechende Stellgrößen für die Luftklappen abgeleitet werden.

Für einen freien Blick in den Verbrennungsraum genügt eine Bohrung von 10 bis 12 mm Durchmesser in den Steg zwischen zwei Verdampferrohre der Feuer-

raumwand. Mit dem eingesetzten Objektivtyp ist das Beobachtungsverhältnis auf 1 begrenzt (Objektgröße zu Beobachtungsabstand). Da lokale Stellgrößen abgeleitet werden sollen konzentriert sich die Analyse auf das Brennernahfeld.

In das aufgesetzte Kameragehäuse (siehe Bild unten) wird die Verbrennungsdiagnosekamera eingeschoben.



Bilder oben: Montage des Kameragehäuses und des Spülluftadapters

- Gersteinwerk: 1T
- Schwarze Pumpe 1T
- Willhelmshaven 3M
- Franken II 3W
- Buschhaus 1T
- MKV Völklingen 3W
- Fenne I 1W
- Simmering V 2M + 2,5M
- Fenne HKV
- Kraftwerk Hamborn/Duisburg, Block 5

Altbach/Deizisau HKW2

Schwerpunkt bei den Untersuchungen mit dem Verbrennungsdiagnosesystem ist die Abbildung des lokalen Luft-/Brennstoffverhältnisses als messbare Größe. Hierfür kann das Verhältnis von CN- zu CO-Bildung verwendet werden. Veränderungen der Luftzahl lassen sich damit sowohl zeitlich als auch örtlich darstellen und reproduzierbare Kenngrößen abgeleitet werden. Eine absolute Messung der lokalen Luftzahl

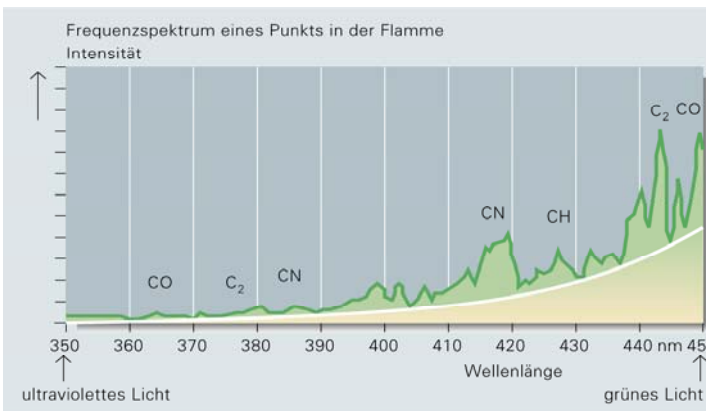


Bild oben: Typisches Emissionsspektrum des Brennernahbereichs einer Kohlestaubfeuerung

Erfahrungen

Zur Entwicklung beider Systeme wurden umfangreiche Untersuchungen an verschiedenen Kraftwerken durchgeführt.

Messungen

- KW Bexbach 1T
- HKW Erlangen 2W
- Hsinta 1W

war, insbesondere wegen fehlender Referenzmessungen, nicht möglich.

Ein zweiter Schwerpunkt ist die Analyse der Auswirkungen von Kohlewechsellern auf das Flammenbild. Es konnte gezeigt werden, dass jeder Kohletyp ein charakteristisches Flammenbild (bestehend aus Temperaturverteilung, CO- und CN-Entstehung) aufweist, das bei gleichen Rahmenbedingungen über Wochen hinweg konstant bleibt.

Es gelang, die Abhängigkeit des Flammenbildes von der Brennerlast und der Gesamtluft zu beschreiben, so dass diese für die eindeutige Identifizierung einer Kohle störenden Faktoren aus dem Flammenbild herausgerechnet werden konnten. Aus den Bildern konnten auch Merkmale für die Kohlesorte bestimmenden Faktoren wie der Heizwert und der Anteil der Flüchtigen in der Kohle abgeleitet werden.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde eine erste Regelung implementiert, die Schwankungen im Kohlemassenstrom bzw. beim Heizwert der Kohle erkennt und durch Luftanpassungen ausgleicht. Kohlewechsel und unerwartete Änderungen des Brennverhaltens (z.B. durch Fehlfunktionen) wurden selbständig erkannt, erlernt und anschließend wieder kompensiert.

Block K des Kraftwerks Niederaußern

Die Versuche haben gezeigt, dass das Verbrennungsoptimierungssystem am Block K des Kraftwerks Niederaußern technologisch anwendbar ist.

Die Ergebnisse sind im Einzelnen:

- Untersucht werden verschiedene Flammenbereiche an zwei Brennern des Block K.
- Die Kamera erfasst einen Ausschnitt des Brenner-nahen Flammenbildes mit nur geringen Einschränkungen durch die Lukengeometrie.
- Die Betriebstemperatur der am Kessel montierten Kamera bleibt selbst bei Ausfall der aktiven Kühlung in unkritischen Bereichen für das System.
- Es traten keinerlei Störungen durch Asche oder Schlackeablagerungen auf.
- Für einen dauerhaften Systemeinsatz sind die Montagemöglichkeiten noch zu prüfen.
- Die Verbrennungsanalysekamera liefert kontinuierlich räumliche Informationen zur Temperatur und Radikalenverteilung in der Flamme.
- Die Bildung einer Wirbelstraße mit heißen Verbrennungszonen wird im Nahfeld der Strahlbrenner beobachtet.
- Die räumliche Temperaturverteilung, sowie die Verteilung der Radikale CN und CO werden gemessen.
- Das CN/CO-Verhältnis ermöglicht Aussagen zur lokalen Gemischbildung
- Über das Flammenbild gemittelte Daten zum CN/CO-Verhältnis und zur Temperatur können mit Betriebsparametern von Brenner und Mühle korreliert werden.
- Neben Brennerlast, Primär- und Sekundärluft haben auch Sichertemperatur und Mühlendrehzahl einen Einfluss auf das beobachtete Flammenbild.

- Es ergeben sich reproduzierbare, linear fassbare Zusammenhänge an beiden Brennern.
- Zur Bestimmung von Betriebsparametern wie der Brennerlast aus dem Flammenbild werden die Kameradaten mit einem Flammenmodell analysiert.
- Das Flammenmodell wird automatisch aus der Beobachtung der Flamme zu verschiedenen Betriebszuständen in Verbindung mit Leittechnikdaten im normalen Kesselbetrieb gelernt.
- Die Funktionsfähigkeit und Robustheit der Flammenanalyse wird für die vorliegende Feuerung gezeigt.

Erkenntnisse

Ausblick

Der Einsatz von Kamerasystemen zur Verbrennungsüberwachung eröffnet Wege zur Optimierung der Flammen individuell für einzelne Brenner sowie der Verbrennung im gesamten Feuerraum. Ziel von Verbrennungsdiagnosesystemen ist der optimierte Einsatz des Brennstoffes bei gleichzeitig optimierten Verbrennungsbedingungen hinsichtlich minimaler Betriebskosten, niedriger Emissionen, einem breiten Kohleband sowie einer variablen Kesselfahrweise mit minimiertem Luftüberschuss. Die Kenntnis der Vorgänge im Flammenkern bezüglich Zündung, Freisetzung und Verbrennung flüchtiger Bestandteile sind für die Optimierung der Verbrennung von entscheidender Bedeutung. Insbesondere beim Einsatz verschiedenster Kohlen und Kohlemischungen sind zur Verbesserung von Zündstabilität und Emissionen unterschiedliche Brennereinstellungen erforderlich.

Die automatisierte lokale Anpassung der Brennereinstellungen an Kohle und Last auf die ‚optimale Flamme‘ durch Verbrennungsdiagnosesysteme eröffnet hier Möglichkeiten, die durch die bisher übliche globale Betrachtung des Feuerraumes nicht möglich war.

Die globale Heizwertkorrektur, die in vielen Kesseln bereits eingesetzt wird, berücksichtigt die zum Teil sehr unterschiedlichen Heizwerte der gemeinsam im Kessel verfeuerten Kohlen nicht. Eine individuelle Anpassung der Zuteiler an den jeweiligen Heizwert bzw. an die Soll-Brennerleistung bietet ein Potential hinsichtlich einer Leistungsoptimierung des Kessels und der Absenkung der Gesamtluftzahl im Kessel.

Weitere Überwachungsfunktionen der Systeme sind denkbar.

- Aus der Verbrennungstemperatur kann auch einen direkten Einfluss auf die Flammentemperatur und damit für die Russbläser abgeleitet werden.

- Durch die Berücksichtigung weiterer Prozessdaten wie Temperaturen der Wasser-Dampf-Seite weiten sich die Aufgaben der Verbrennungsdiagnosesysteme von der reinen Flammenbeurteilung auf die Prozessoptimierung aus.

- Der Einsatz der Verbrennungsdiagnosesysteme als Flammenwächter ermöglicht die Einsparung derzeitiger Überwachungssysteme.

Durch den größeren Blickwinkel der Diagnosesysteme im Vergleich zu herkömmlichen Flammenwächtern ist eine Erkennung einer stabilen Verbrennung beim Einsatz eines breiten Kohlebandes und schon bei geringen Lasten möglich. Hierdurch kann im Anfahrprozess eine Minimierung der Stützfeuer erfolgen, da die Diagnosekameras die Flammen spät aber dennoch stabil zündender Kohlen auch im Schwachlastbetrieb sehen, was bei herkömmlichen Flammenwächtern unter Umständen nicht der Fall ist. Eine Zulassung wurde bisher noch nicht angestrebt.

- Die Erkennung von betrieblichen Problemen von Brenner und Mühle wie Verschlackung oder veränderte Ausmahlung aufgrund Mühlenverschleiß sind Funktionen eines Diagnosesystems, durch die rechtzeitige Eingriffe in die Fahrweise oder eine vorausschauende Revisionsplanung möglich werden. Allein durch die Meldung einer Unregelmäßigkeit, die durch leittechnische Messungen nicht erkannt wird, an das Betriebspersonal, können frühzeitig Fehler behoben werden.

- Gleichermaßen wie während des Betriebes bieten die Verbrennungsdiagnosesysteme Unterstützung bei der Inbetriebnahme des Kessels.

- Eine Optimierung der Verbrennung kann in kürzerer Zeit erfolgen, da Veränderungen im Flammenbild und im Feuerraum direkt erkannt werden können.

- Spektroskopische Analysen bieten generell die Möglichkeit der Erkennung verschiedenster chemischer Bildungsmechanismen. Bei Erweiterung der Wellenlängenerkennung der beschriebenen Systeme werden andere Reaktionen und damit verbundene Elemente detektiert, die Hinweis auf verschiedene Kohleigenschaften geben. Reaktionen von Natrium und Kalium zum Beispiel haben ein ausgeprägtes Maximum bei bestimmten Wellenlängen, welches theoretisch eine Detektierung der Verschlackungsneigung der Kohle möglich macht. Entsprechende Maßnahmen können somit bei Kohlewechsel rechtzeitig umgesetzt werden.

- Bieten die Systeme nachweisbare Verbesserungen in der Betriebsweise sowie Einsparungen im Eigenenergieverbrauch der Kraftwerke, kann durch die Integration dieser Systeme schon bei der Planung neuer Kraftwerke eine bessere Eingrenzung der Auslegungskriterien erfolgen. Veränderte Dimensionierungen der Aggregate, wie z.B. kleinere Gebläse, bieten geringere Energieaufnahmen sowie geringere Investitionskosten.

- Gleiches gilt für die Dimensionierung der DeNO_x Anlage. Bei optimierten NO_x Emissionen nach Feuerraum kann durch Einsparung einer Katalysatorlage sowohl der Druckverlust herabgesetzt werden als auch Investitions- und Betriebskosten gesenkt werden.

- Weiterhin können Garantiegrenzen z.B. für Emissionswerte und Eigenenergieverbrauch enger und für das Kohleband weiter gesetzt werden.

Literatur

[1] M. Käß et al.: Verbrennungsdiagnosesysteme zur Optimierung von Kohlenstaubfeuerungen. VGB- Fachtagung "Feuerungen 2001", 7./8. Nov. 2001