

Detektion korrosiver Gase in mit Steinkohle befeuerten Kraftwerkskesseln

Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik der Universität
Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Ulli Kunstfeld

aus Kirchheim/Teck

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Mitberichter:

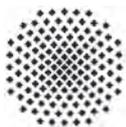
Prof. Dr.rer.nat. Ernst Messerschmid

Tag der Einreichung:

21.04.2010

Tag der mündlichen Prüfung:

12.11.2010



Kurzfassung

Nicht erst durch den wachsenden Marktdruck sind die Betreiber von Kraftwerken gezwungen, ihr Kraftwerk optimal zu betreiben. Eine Möglichkeit den Prozess der Umwandlung fossiler Energieträger in elektrische Energie zu verbessern ist es, den Abgasverlust des Kessels zu minimieren. Durch die Verkleinerung des Verbrennungsluftmassenstroms steigt allerdings die Gefahr von lokal begrenzten unterstöchiometrischen Verbrennungszonen im Feuerraum des Kessels. Reichen diese Zonen der unvollständigen Verbrennung an die Kesselwand heran, kommt es zu erhöhtem Verschleiß der Kesselwand. Um in der Lage zu sein, die Kessel von Kraftwerken dennoch so nahe wie möglich am stöchiometrisch idealen Betriebspunkt zu betreiben, wurde in der vorliegenden Arbeit erstmals ein System entwickelt, das eine flächendeckende Messung der Kesselwandatmosphäre in Echtzeit ermöglicht. Das Kernstück des Systems stellt ein miniaturisiertes Sensorelement dar, das ähnlich wie die bekannte Lambdasonde mit dem Prinzip der Festkörperelektrolyse arbeitet. Das für die Anwendung im Weltraum optimierte Sensorelement ermöglichte mit seinen sehr kleinen Dimensionen erstmals, eine Sonde zu entwickeln, die direkt in die Kesselwand eingebracht werden kann. Das Sensorelement ist in der Lage, oxidierbare Gase (CO) in sehr rauer Umgebung und bei hohen Umgebungstemperaturen zuverlässig zu detektieren. Am Markt erhältliche Systeme arbeiten alle außerhalb der Kesselwand mit Absaugung der Rauchgase. Zeitversatz und ein verwaschenes Sensorsignal, das mit dem abgesaugten, gereinigten und gekühlten Rauchgas gemessen wird, sind die Folge. Zudem ist der Aufwand, eine flächendeckende Messung mit diesen Systemen durchzuführen, sehr hoch. Diese Nachteile hat ein in-situ Messsystem nicht.

Nachdem durch Untersuchungen im Labor und Feld die Anforderungen an das System fest standen, wurde eine Tauchrohrsonde entwickelt, die für die harschen Bedingungen in der Kesselwand tauglich ist. Aufbauend auf einer eigens entwickelten Glas-Metall-Durchführung wurde eine korrosionsfeste Sonde entwickelt, die die Lebensdauervorgaben weit übertrifft. Aus den Erkenntnissen der Messungen mit den Tauchrohrsonden konnte eine Strategie entwickelt werden, die eine Detektion der Rauchgaszusammensetzung in der Nähe der Kesselwand ermöglicht. Es erfolgt eine Klassierung der Rauchgaszusammensetzung in drei zu unterscheidende Zustände. Einen erwünschten Zustand mit oxidierenden Bedingungen, einen unerwünschten Zustand mit unvollständiger Verbrennung und einen Zustand, der auf das mögliche Auftreten von reduzierenden Bedingungen hinweist. Nun steht dem Kraftwerkpersonal ein System zur Verfügung, das es ermöglicht, die komplexen und zum Teil sehr dynamischen Vorgänge in der Kesselwand einfach zu überblicken. Das Personal wird zum ersten Mal in die Lage versetzt, die Auswirkungen von Eingriffen in den Feuerungsprozess sofort zu erkennen. Die optimale Fahrweise des Kessels, mit maximalem Nutzungsgrad und minimalen Schadstoffemissionen wird in Zukunft möglich sein, ohne den Kessel selbst auf lange Sicht durch Korrosion zu schädigen.

Abstract

Not only by the increasing market pressure the operators of power plants are forced to operate their power plant optimally. A possibility to improve the process of transformation of fossil energy sources into electricity is it to minimise the exhaust gas loss of the boiler. By the reduction of the combustion air mass flow however the danger of local under-stoichiometric burn zones in the combustion chamber of the boiler occurs. If these zones of incomplete burn affect the boiler wall increased wear of the boiler wall takes place. In order to be able to operate the boilers of power stations as close as possible at the stoichiometrically ideal operating point, this thesis describes how an innovative system was developed which makes a surface covering measurement for the boiler wall atmosphere possible in real time. The principal item of the system is a miniaturised sensor element which works similarly as the well-known lambda probe with the principle of the solid electrolysis. Due to its very small dimensions the sensor element optimised for application in space made it possible for the first time to develop a probe which can be installed directly in the boiler wall. The sensor element is able to reliably detect oxidizable gases (CO) in very rough environment and with high ambient temperatures. Systems available on the market are all working outside of the boiler wall by sucking the flue gases. Time disalignment and a blurred sensor signal which is measured with the sucked off, cleaned and cooled flue gas, are the results. Besides, the expenditure to install a surface covering measurement using these systems is very high. After measurements in laboratory and field the requirements were defined and an immersion tube probe was developed, which is suited for the harsh conditions in the boiler wall. Based on a particularly developed metal-glass feedthrough, a rustproof probe was developed, which exceeds the life span defaults by far. Building on the expert knowledge of measurements using the immersion tube probe, a strategy could be developed to detect the flue gas composition in the proximity of the boiler wall. The flue gas composition must be differentiated into three conditions: A desired condition with oxidising conditions, an unwanted condition with incomplete burn and a condition which refers to the possible occurrence of reducing conditions. Now a system is given to the power station personnel which makes it possible to simply understand the complex and partially very dynamic procedures in the boiler wall. For the first time the personnel is put into the position to immediately recognise the effects of interferences with the firing process. The optimal operation mode of the boiler, with maximum efficiency and minimum pollutant exhaust will be possible in the future, without damaging the boiler in the long term by corrosion.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Historie.....	1
1.2 Motivation.....	2
1.3 Ziel der Arbeit.....	5
2. Grundlagen	6
2.1. Grundlagen der Elektrolyse	6
2.2 Festkörperelektrolyse	7
2.3 Sensorelement „CarboSen“.....	13
2.4 Korrosion.....	17
2.5 Messumgebung Kraftwerkskessel	19
2.6 Stand der Technik zur Messung der kesselwandnahen Feuerraumatmosphäre.....	21
2.7 Lastenheft Tauchrohrsonde.....	27
3. Entwicklung des Gesamtsystems	28
3.1 Hochtemperaturtaugliche Tauchrohrsonde	28
3.2 Monitoring- und Auswertesoftware.....	50
3.3. Infrastruktur im Kraftwerk	54
4 Messumgebung Labor.....	60
4.1 Gasmischanlage.....	60
4.2 Messkammern	63
4.3 Dauerteststand Keramikinnenwiderstand.....	69
5. Messergebnisse.....	71
5.1 Charakterisierung, Kennlinienermittlung CarboSen	71
5.2 Einfluß der Integration auf das Sensorsignal	75
5.3 Langzeitbetrachtung Keramikinnenwiderstand	78
5.4 Dauertest im Feld	81
6. Zusammenfassung und Ausblick.....	95
Literatur.....	98