

Kesselzustandsüberwachung mit dem einfahrbaren Kamerasystem EUvis insitu

Michael Haug, Hans-Joachim Schulpin, Michael Schreiber, EUtech Scientific Engineering GmbH

Willy Derichs, RWE Power AG

1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Die Anforderungen an das Feuerungssystem in einem Kraftwerk sind stark durch unterschiedliche Brennstoffeigenschaften und Veränderung der Anlagentechnik (z.B. durch Verschleiß) während des Betriebs geprägt.

Qualitätsschwankungen der Kohle und emissionstechnisch bedingte Nachrüstungen erschweren eine nahe am optimalen Betriebspunkt geführte Betriebsweise. Durch betriebsbedingten Verschleiß und Verschmutzungen unterliegt zudem der Kessel einer laufenden Verschlechterung des Betriebsverhaltens. Insbesondere Braun- und Importkohlen erfordern mit ihrer Bandbreite hinsichtlich des Heizwerts und der Inertanteile eine kontinuierliche Anpassung der Betriebsparameter (Zuteiler, Klappenstellung etc.).

Eine wichtige Maßnahme zur Effizienzsteigerung stellt die Analyse der Ansatzbildung an den Wärmetauschern (Verdampfer, Überhitzer etc.) dar. Der Zustand der Überhitzer-Heizflächen hat wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad und die Funktion eines Kraftwerkblocks. Verschmutzungen im Bereich der Heizflächen führen zu Störungen der Strömungsverhältnisse und des Wärmeübergangs. Die Verschlechterung des Kesselwirkungsgrades, erhöhte Emissionen und Schäden an den Wärmetauscherrohren sind die Folge.

Eine kontinuierliche Überwachung des erosionsbedingten Verschleißes der Heizrohre, der durch Partikel im Rauchgas und die Dampfreinigung verursacht wird, gewährleistet eine frühzeitige Erkennung potenzieller Störungen, eine rechtzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen und eine vorausschauende Instandhaltungsplanung.

2 Lösungsansatz

Will man eine differenzierte Aussage zum Zustand der Heizflächen im Konvektivteil und der im Kessel ablaufenden Prozesse machen, dann steht nur ein beschränktes Instrumentarium an Werkzeugen und Sensoren zur Verfügung. Zu den gebräuchlichen Methoden gehören u.a. die Messungen von Dampftemperaturen und die thermodynamische Bilanzierung. Diese geben nur einen globalen Eindruck vom tatsächlichen Zustand und es ist aufgrund der in der Berechnung zugrunde gelegten Annahmen nur bedingt möglich, Rückschlüsse auf die aktuellen Vorgänge im Kessel zuzulassen. Eine Analyse hinsichtlich der Rohrwandstärke ist auf diesem Weg nicht möglich.

Eine direkte optische Überwachung des Kessels und seiner Einbauten kann eine unmittelbare Antwort auf die verschiedenen Fragestellungen geben und ein klares Bild von den tatsächlichen Vorgängen zeichnen. Eine permanente optische Überwachung des Heizflächenzustands ermöglicht die genaue Erfassung und Lokalisierung der Ansatzbildung, offenbart Schwachstellen der Reinigung und ermöglicht die Identifikation von Störungen und Schäden. Dies macht zum Beispiel einen bedarfsgerechten und damit wirtschaftlich optimierten Einsatz der Reinigungssysteme möglich.

Hierbei liegt das Hauptproblem darin, dass die optischen Zugangsmöglichkeiten bei einem Dampfkessel sehr begrenzt sind, erstens wegen des eingeschränkten Beobachtungswinkels an der Kesselwand, zweitens wegen der geringen Transparenz der Flamme (optische Dichte) und drittens wegen der Kesseleinbauten (Wärmeaustauscher).

Stationäre Kameras, die an der Kesselwand befestigt werden oder nur wenige Zentimeter in den Feuerraum hineinragen, sind aufgrund des beschränkten Öffnungswinkels und der eingeschränkten Sicht durch die Flammentrübung (beschränkte optische Transparenz) nicht in der Lage, die im Kessel und an den Heizflächen vorhandene Situation zu erfassen.

Für diese Aufgabe wurde das einfahrbare Kamerasystem EUvis insitu entwickelt, das in den Feuerraum bei Vollast eingefahren werden kann und mit einem beweglichen Kamerakopf ausgerüstet ist. Der Fahrweg ist ausreichend lang (6 m), um auch im Inneren eines Großkessels eine sehr detaillierte Überwachung – insbesondere im von außen nicht einsehbaren und am stärksten beanspruchten Bereich des Überhitzers – zu ermöglichen. Durch den drehbaren Kamerakopf und eine drehbare gelagerte Lanze ist die Beobachtung in alle Richtungen möglich.

Die vollständige Automatisierung des Systems und die Integration von Bildverarbeitungsroutinen erlauben den Einsatz als dauerbetriebstaugliches Diagnoseinstrument.

3 Systemaufbau

3.1 Fahrträger

Rückgrat des System ist eine drehbare, wassergekühlte Lanze. Der Fahrweg beträgt knapp sechs (6) m. Die Lanze verfügt über eine Luftzuleitung und Kabeldurchführung für die Signalübertragung des Kamerakopfs. Sie ist so dimensioniert, dass bei Umgebungstemperaturen bis 1.400°C die Wärmelast mit einem ausreichenden Kühlwasserstrom abgeführt werden kann und zugleich sichergestellt ist, dass die für den Kamerakopf benötigte Spül- und Kühlluft ausreichend kalt den Kopf erreicht.

Durch die Entkopplung von Vorschub und Drehantrieb kann die Lanze an jeder beliebigen Position entlang des Fahrwegs um $\pm 90^\circ$ gedreht werden. Der Drehwinkel ist frei wählbar (Auflösung 1°).

Zum Schutz ist der gesamte Fahrträger eingehaust (Abbildung 1).

3.2 Kamerakopf

Kernkomponente des Kamerasystems ist der Kamerakopf. Dieser ist an der Spitze der einfahrbaren Lanze montiert (Abbildung 2).

Aufgrund der geometrischen und mechanischen Vorgaben wird dieses Bauteil ausschließlich durch Luft gekühlt. Das Design dieses höchstbelasteten Bauteils wurde mit Hilfe von CFD-Berechnungen und thermodynamischen Bilanzierungen optimiert. So konnte sichergestellt werden, dass auch bei Feuerraumtemperaturen von 1.400°C im Inneren des Kopfes die Grenztemperatur von 45°C auch nach mehrstündigem Einsatz im Kessel nicht überschritten wird.

Zentrales Bauteil des Kamerakopfs ist das drehbar gelagerte Kameragehäuse, in dem eine CCD Kamera integriert ist. Diese verfügt über Zoom (10x) und einen variablen Fokus. Alle Funktionen können über eine serielle Schnittstelle angesteuert werden. Dies ermöglicht bei Detailaufnahmen eine Auflösung im Submillimeterbereich. Die hervorragenden optischen Qualitäten und die höhere Sensitivität – in Verbindung mit einer automatisierten Bildverarbeitung – sind dem menschlichen Auge überlegen.

Da der Kamerakopf durch die Flamme und die Partikel hohem Verschleiß ausgesetzt ist, kann er einfach ausgetauscht werden. Die gewählte Anbindung erlaubt zudem den Einsatz unterschiedlicher Köpfe, die mit zusätzlicher Sensorik (z.B. Temperatursensor, Lambdasonde) ausgerüstet sind.

3.3 Medienversorgung

Direkt mit der Verfahrenseinheit verbunden ist die Überwachung der Medienversorgung, die in einem Gehäuse zusammengefasst ist (siehe Abbildung 3).

An der Kühlwasserübergabe und am Lufteintritt überwachen Sensoren Drücke, Temperaturen und Durchflüsse. Damit wird sichergestellt, dass eine ausreichende Medienversorgung die Belastung des Systems innerhalb der vorgesehenen Grenzen hält.

3.4 Steuerung

Alle Sensoren und Aktoren werden von einer zentralen Steuereinheit erfasst, überwacht und angesteuert.

Für die Entwicklung der Steuersoftware wurde das Rapid-Control-Prototyping eingesetzt, das eine schnelle Implementierung des Entwicklungscodes auf der Zielhardware (PC104) ermöglicht.

Durch den Aufbau einer Hardware-in-the-loop Umgebung konnte die Software schon vor der Realisation des Systems getestet werden. Von besonderer Bedeutung war dabei die Überwachung der Fahrzustände und die Einleitung der Notfallmaßnahmen beim Auftreten von Störungen. Der Signalaustausch der Steuerung mit dem Benutzer erfolgt über Ethernet.

3.5 Benutzer-Interface und Auswertemodul

Für den Benutzer steht eine einfach zu bedienende Oberfläche zur Verfügung, die auf die wesentlichen Bedienelemente fokussiert (Abbildung 4).

Neben dem automatischen Betrieb, in dem eine frei parametrierbare Fahrroute der Kamera vollzogen wird, kann das System auch manuell verfahren werden. Zoom und Fokus sowie Kontraste können den Anforderungen entsprechend eingestellt werden. Alle Zustände des Systems werden angezeigt und Störungen im Klartext eingeblendet.

Die Aufnahmen werden bei Bedarf und in regelmäßigen Abständen gespeichert und mit Hilfe von Bildverarbeitungsroutinen ausgewertet. Es können beliebige Bildausschnitte definiert werden, in denen automatisch geometrische Daten wie Ansatzstärken oder Rohrdurchmesser berechnet werden. Dies ermöglicht eine quantitative Bestimmung der zeitlichen Entwicklung von Ablagerungen auf Heizflächen oder die Ermittlung der Erosionsgeschwindigkeit an Rohren bzw. die Identifikation geometrischer Veränderungen. Bei Objektabständen im Bereich von wenigen Metern liegt die Auflösung im Submillimeterbereich. Diese Daten werden mit den Originalbildern abgespeichert und sind jederzeit abrufbar.

Auf diese Weise ist es möglich, unabhängig von subjektiver Wahrnehmung des Bedienpersonals eine systematische und objektive Analyse vorzunehmen und definierte Grenzwerte festzulegen.

Zur Visualisierung der gespeicherten Bilder und Daten steht der Archiv-Modus zur Verfügung.

4 Anwendungen und Einsatzbereiche

Derzeit sind über ein Dutzend einfahrbare Kamerasysteme weltweit im Einsatz. Zentrale Aufgabe ist in allen Fällen die unmittelbare Information des Leitstandspersonals über die Situation im Kessel. Durch die Bereitstellung dieser Information auf dem Leitstand wird ein Beitrag zur Effizienzsteigerung geleistet. Neben den Routineaufgaben des „Sehens“, werden sie zur Analyse verschiedener Aufgabenstellungen eingesetzt.

Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die bedarfsgerechte und selektive Ansteuerung der Reinigungssysteme. Eine Reinigung unverschmutzter Bereiche kann durch regelmäßige Überprüfung der Konvektivheizflächen und der Kesselwände vermieden werden und damit eine Beschädigung verhindert bzw. geringerer Verschleiß erreicht werden (Abbildung 5 und Abbildung 6). Beim Auftreten von Verschmutzungen kann der zeitliche Verlauf der Ansatzbildung bestimmt werden und bei Erreichen von Grenzwerten die Reinigung in definierten Bereichen veranlasst werden. Auf diese Weise wird die Entwicklung einer optimalen Reinigungsstrategie (Blaszyklus) wirkungsvoll unterstützt.

Ebenso können Bereiche erhöhter Erosion an Rohren und Einbauten identifiziert werden (Abbildung 7).

In beiden Fällen können die Aussagen auf einer quantitativen und selektiven optischen Vermessung von Dicke – sei es nun ein Rohrdurchmesser oder die Schichtdicke eines Verschmutzungsansatzes – gestützt werden.

Insbesondere auch in steinkohlegefeuerten Kraftwerken kommen die besonderen optischen Möglichkeiten voll zum Tragen. Bei Sichteinschränkung (wenige Meter) durch die opake Flamme – bedingt durch die feinen strahlenden Rußpartikel – kann mit dem EUvis insitu System dennoch eine genaue Analyse der im Kessel ablaufende Prozesse (Ablagerungen, Erosion, Reinigungswirkung etc.) erfolgen.

Durch die direkte Verfügbarkeit der Informationen über Netzwerk können zeitgleich verschiedene Experten mit in die Analyse einbezogen werden. Zusätzlicher Support ist über Datenfernzugriff möglich, über den alle Informationen und Funktionen des Systems zur Verfügung gestellt werden.

5 Fazit

Die bei RWE installierten Systeme sind seit vier Jahren im Einsatz. Darüber hinaus befinden sich elf weitere Systeme weltweit im Einsatz. Durch die konsequente Weiterentwicklung des Systems wurde die Verfügbarkeit, die Funktionalität und damit der Nutzen über die vergangenen Jahre deutlich gesteigert. Die zahlreichen, unterschiedlichen Anwendungen belegen die Vielseitigkeit der Einsatzmöglichkeiten. Aufgrund dieser Erfahrungen wird das System kontinuierlich weiterentwickelt. Schwerpunkte sind insbesondere die automatisierte Erkennung und Einbindung in die Frühwarn- und Reinigungsprozesse des Kraftwerks sowie der Einsatz von Sensorköpfen, die neben der Beobachtung auch die Temperatur- oder Gaskonzentrationsmessung ermöglichen.



Abbildung 1: Fahrträger Gesamtsystem



Abbildung 2: Kamerakopf



Abbildung 3: Medienversorgung

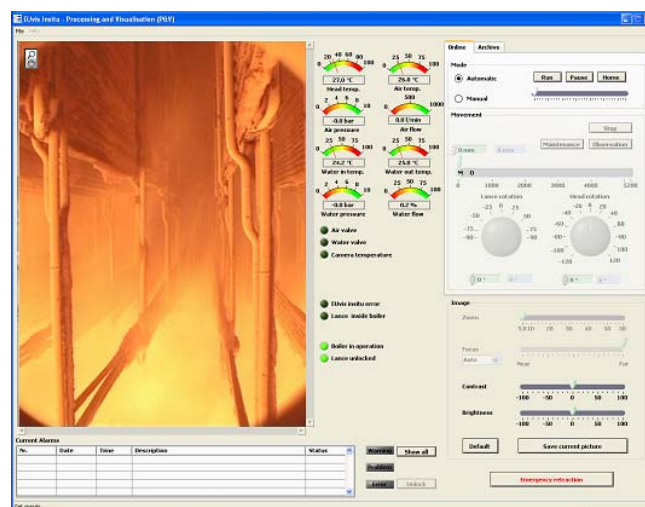


Abbildung 4: Screenshot Process & Visualization



Abbildung 5: Verschmutzung im Bereich der Überhitzer (Braunkohle)

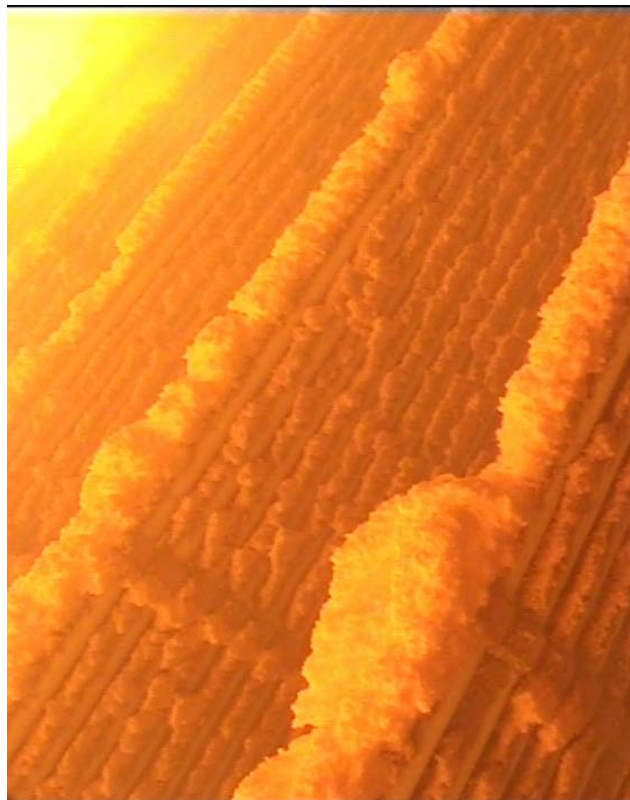


Abbildung 6: Verschmutzungsverhalten eines Zwischenüberhitzers (Steinkohle)

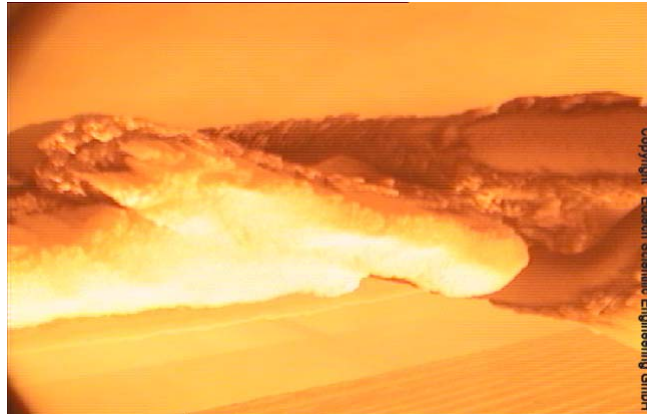


Abbildung 7: Detailaufnahme Tragrohr

Kontaktinformationen zu den Autoren:

Dr. Michael Haug, Dr. Michael Schreiber, Hans-Joachim Schulpin

EUtech Scientific Engineering GmbH

Dennewartstraße 25-27, 52068 Aachen

haug@eutech.de, schulpin@eutech.de, schreiber@eutech.de

<http://www.eutech-scientific.de>

Dr. Willy Derichs

RWE Power AG, Kraftwerk Niederaußem

Postfach 1461, 50129 Bergheim

willy.derichs@rwe.com

<http://www.rwe.de>