

SICHERER BETRIEB UND ZUSTANDSORIENTIERTE INSTANDHALTUNG – WIE DIE DIGITALISIERUNG VON DIAGNOSELÖSUNGEN EINE FLEXIBLE UND STABILERE ENERGIEVERSORGUNG SICHERSTELLT

Enno Trennert¹, Luca Fehler¹, Alexander Hlawenka¹, Dr. Francesco Turoni¹, Dr. Michael Haug¹

1	EINLEITUNG	1
2	AUSGANGSLAGE	2
3	UMSETZUNG DER MESSUNG BETRIEBSSPEZIFISCHER KENNGRÖßEN	3
3.1	Bestimmung der Feuerraumendtemperatur (FET)	3
3.2	Automatische Erfassung von Ablagerungen	5
3.3	Virtuelle Sensorik zur Heißluft-Venturi-Messung.....	7
3.4	Dampfleckagemessung	8
3.5	Datenmanagement- und Analysesysteme	8
4	BETRIEBSRESULTATE	9
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	10
6	LITERATURVERZEICHNIS	11

1 EINLEITUNG

Die Herausforderungen der Energiebranche sind vielseitig. Aufgrund der stark fluktuierenden Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien liegt es an den Betreibern konventioneller Kraftwerke die sichere Energieversorgung zu gewährleisten und den Bedarf im Stromnetz zu decken. Flexibilität und schnelle Regelung sind dafür essenziell. Gleichzeitig nimmt der soziale und wirtschaftliche Druck weiter zu, was mehr denn je eine optimale und gezielte Nutzung der verfügbaren Energieressourcen erfordert [1]. Der dauerhafte, flexible und einwandfreie Betrieb von Kraftwerken, welcher gerade in Zeiten der

¹ EUtech Scientific Engineering GmbH, Aachen, Germany

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

Energiewende höchste Priorität hat, ist nur durch ein exaktes Monitoring und das Zusammentragen der Schlüsselbetriebsparameter erreichbar.

Qualität, Informationsgehalt und Verfügbarkeit von relevanten Prozessgrößen werden durch fortschrittliche digitale Lösungen erhöht. Diese ermöglichen die Ableitung von verwertbaren Kenngrößen für den optimalen Betrieb über den gesamten Lastbereich eines Dampferzeugers. Die Aufbereitung verschiedenster Datenformate und Datenquellen führen schnell zu einer großen Komplexität. Digitale Datenmanagement- und Analysesysteme wirken dem entgegen und helfen durch standardisierte Strukturen bei der automatischen Prozessierung der Daten. Dies ermöglicht eine einheitliche Datenaufbereitung, moderne Datenanalyse, Simulation und die Erstellung von Reports.

Der Ausfall prozesskritischer Parameter sowie der damit einhergehenden Reduktion der Prozesskontrolle und die Auswirkungen auf Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit sind in einem Kraftwerk nicht akzeptabel. Folglich sind die Wartung und Instandhaltung der Anlagenkomponenten und der Diagnosesysteme, die diese Parameter generieren, unabdingbar. Ein Ansatz, um den einwandfreien und optimalen Betrieb zu gewährleisten, ist die zustandsorientierte Instandhaltung. Die Methodik erlaubt, im Gegensatz zu präventiven und reaktiven Instandhaltungsstrategien, eine dauerhafte Überprüfung des Komponentenzustands und die Durchführung von nur erforderlichen Maßnahmen. Der Zeitpunkt einer Wartung wird in Abhängigkeit des vorliegenden Zustands und eines prognostizierten Abnutzungsverlaufs des Systems gewählt. Fortschrittliche digitale Lösungen verbessern den Einsatz und Nutzen von Diagnosesystemen, welche die dafür notwendigen Informationen liefern. Die digitalen Lösungen bieten nachweisliche Vorteile in Bezug auf die Qualität des Informationsgehalts und der Verfügbarkeit von relevanten Prozessgrößen und ermöglichen darüber hinaus die Ableitung von verwertbaren Kenngrößen für den optimalen Betrieb eines Dampferzeugers.

Am Beispiel mehrerer Kessel im rheinischen Revier, bei welchen sich der optimale Betrieb sowie die Instandhaltung bereits auf derart ermittelte handlungsrelevante Betriebsinformationen stützt, soll nachfolgend das Potential dieser digitalen Datenmanagement- und Analysesysteme veranschaulicht werden.

2 AUSGANGSLAGE

Der Betrieb in einem Kraftwerk zeichnet sich in hohem Maße durch den ständigen Einsatz der Maschinen und Anlagen aus. Da gleichzeitig der Markt hohe Flexibilität und Verfügbarkeit erfordert, ist eine reaktive oder präventive Instandhaltungsstrategie oft nicht ausreichend. Bei der reaktiven Instandhaltung wird ausschließlich auf bereits aufgetretene Fehlfunktionen reagiert, was Ausfälle und Folgeschäden bewirken kann. Im Gegensatz dazu steht die präventive Instandhaltung. Durch den frühzeitigen Austausch des Materials, wird dieses jedoch nicht optimal ausgenutzt. Die zustandsorientierte Instandhaltung ermöglicht Prognosen und Eingriffe, und eine Einschätzung scheinbarer Zufallsentwicklungen [2]. Eine Grundvoraussetzung für die Nutzbarkeit der zustandsorientierten Wartung ist die Verfügbarkeit und die Qualität der betriebsspezifischen Kenngrößen. Einige von diesen sollen nachfolgend erläutert werden.

Die Feuerraumendtemperatur (FET) ist ein wichtiger Parameter für den optimalen Betrieb eines Kessels. Aus der Feuerraumendtemperatur lassen sich unter anderem Aussagen über die Entstehung von

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

Emissionen wie Stickoxiden (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO) treffen [3]. Auch lassen sich primäre und sekundäre Maßnahmen für die Reduktion dieser Emissionen ableiten. Die FET resultiert aus der übertragenden Wärmemenge an die Verdampfer im Brennraum. Dadurch lässt sich das Verhältnis von absorbierter Wärme im Brennraum zu absorbierter Wärme im späteren Verlauf des Kessels bestimmen [4]. Eine niedrige FET vermindert das Risiko von Verschlackung und Verschmutzung an den Konvektionswärmetauschern. Aus diesem Grund wird die FET oft mit der Schmelztemperatur der Asche verglichen. Die räumliche Verteilung der FET über den Querschnitt des gesamten Kessels lässt Rückschlüsse auf die Position der Flamme und auf lokale Maxima der Temperatur zu. Eine nicht zentrierte Flamme und große Schwankungen der Temperaturspitzen können zu einer ungleichmäßigen Verteilung des Wärmestroms an den Kesselwänden und zu Rohrbrüchen führen.

Wird von einem typischen 700 MW-Kohlekraftwerk ausgegangen, werden pro Stunde 200 t Kohle mit einem Luftstrom von $1,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ verfeuert. Zurück bleiben 10-20 t Asche pro Stunde in Form von Flugstaub oder Schlacke [5]. Diese Schlacke kühlt in den höher gelegenen Bereichen des Kessels ab. An den Überhitzerrohren und anderen Wärmetauschern setzt sich unter suboptimalen Bedingungen die Schlacke ab und versintert zu einer festen, gesteinsartigen Masse. Diese Ablagerungen behindern den Wärmedurchgang an den Überhitzerrohren. Zusätzlich bedingt die resultierende Zunahme des Außendurchmessers und der Rauheit einen Druckverlust der Feuerung. Herunterfallende Ablagerungen können zur Gefährdung des Materials und des Anlagebetriebs führen und stellen ein allgemeines Sicherheitsrisiko da. Die Ablagerungen werden meist zyklisch mit Rußbläsern entfernt. Der Zeitpunkt der Abreinigung der Wärmeübertrager hat somit nichts mit dem eigentlichen Verschmutzungszustand zu tun.

Darüber hinaus arbeitet das selektive nichtkatalytische Entstickungsverfahren (SNCR-Verfahren) nur in einem schmalen Temperaturbereich effektiv. Das Reduktionsmittel sollte daher nur bei der optimalen Temperatur in den Kessel eingebracht werden. Ist diese zu hoch, wird NO und Wasser aus Ammoniak und Sauerstoff gebildet. Eine zu niedrige Temperatur resultiert in Schlupf von Ammoniak, welches in kälteren Bereichen zu der Bildung von Ammoniumsalzen führen kann [6].

3 UMSETZUNG DER MESSUNG BETRIEBSSPEZIFISCHER KENNGRÖßEN

3.1 BESTIMMUNG DER FEUERRAUMENDTEMPERATUR (FET)

Die Kombination mehrerer Sensoren erlaubt die Bestimmung der Feuerraumendtemperatur. Diese wird am Ende der Brennkammer gemessen und ist ein Parameter von großer Bedeutung für die Verbrennung in einem Dampferzeuger [3]. Je nach Kesselgröße und Feuerungsart variiert die Anzahl der Sensoren, die um den Kessel herum angebracht sind.

Unabhängig vom Kesseltyp und Brennstoff kann das EUflame System in Echtzeit die FET und dessen zweidimensionale Verteilung mithilfe von optischen Pyrometern ermitteln. Diese messen die starken Infrarotemissionen des CO_2 , welche über das Gesetz von Stefan-Boltzmann die Berechnung der Temperatur des Gases ermöglichen. Die Installation der optischen Pyrometer am Kessel ist aufgrund der Messmethode sehr kompakt. Optische Pyrometer werden zudem anders als akustische Pyrometer nicht von Prozessgeräuschen gestört. Eine aufwendige Kalibrierung am Kessel ist ebenfalls nicht nötig.

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

Die Visualisierung der Temperaturverteilung im Kesselquerschnitt hilft einfach und anschaulich Rückschlüsse auf die Flammenposition zu treffen. Diese sowie weitere statistische Größen können auch ohne Visualisierung in die Kesselsteuerung eingebunden werden. Die Funktion des Systems geht jedoch über die einfache Messung und Visualisierung der Temperaturverteilung hinaus. Die Homogenisierung der Verbrennung ist für einen schonenden Kesselbetrieb unerlässlich, da bei einer Schiefelage die Korrosion und die thermische Belastung der Seitenwände stark zunimmt. Sollte die maximale Feuerraumtemperatur zu weit von der Mitte abweichen, wird ein Alarm an den Leitstand herausgegeben. Auch kann der zeitliche Verlauf von der Position der maximalen Feuerraumtemperatur (FET_{max}) dargestellt und übertragen werden. Diese Informationen erlauben eine optimale Betriebsführung.

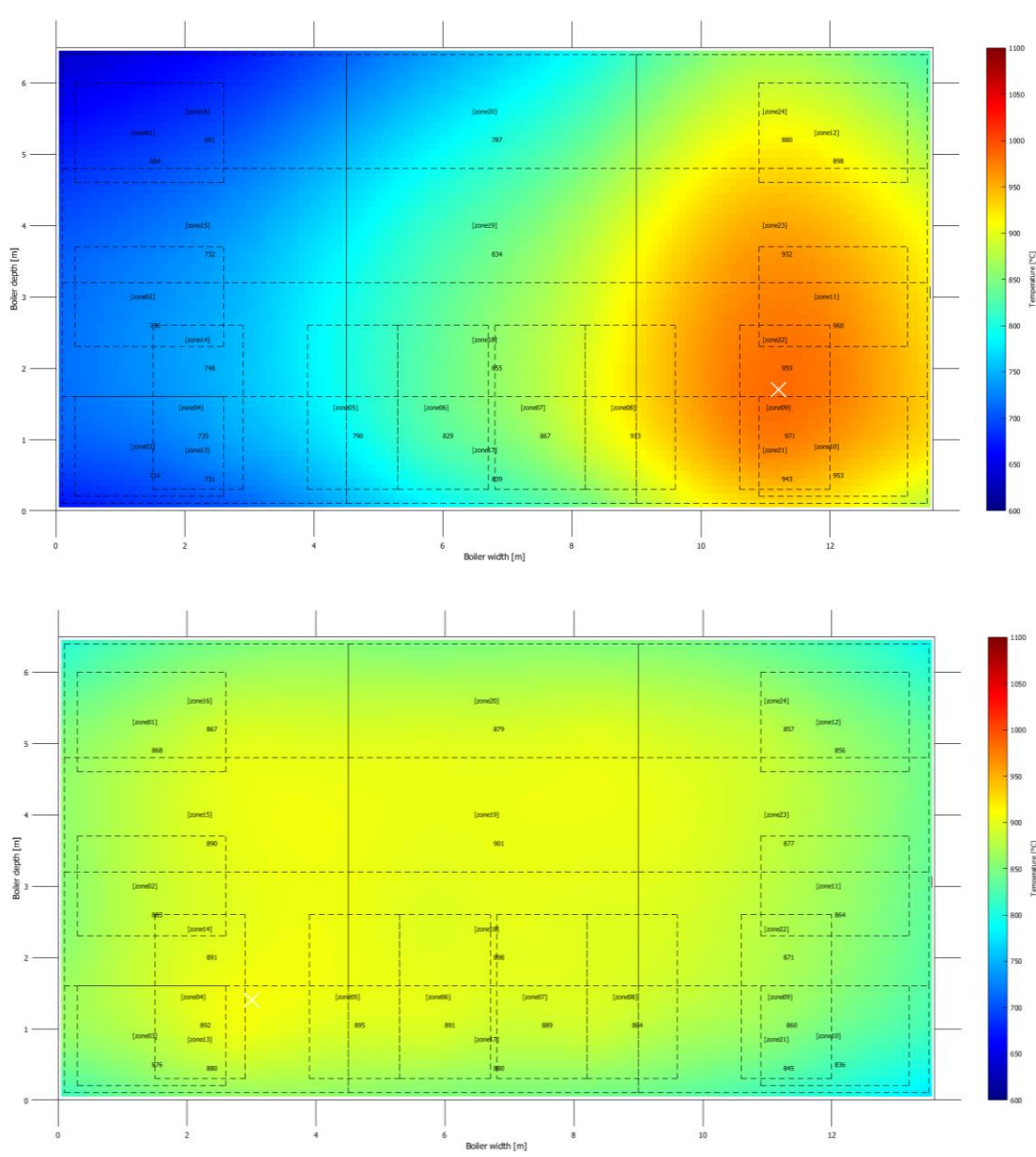


Abbildung 1: Verteilungen der Feuerraumtemperatur mit Schiefelage (oben) und homogener Feuerung (unten)

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

Die Bestimmung der zweidimensionalen (2D) Verteilung erfolgt durch die Kombination mehrerer, über den Kesselumfang verteilter Pyrometer, die ein Gitter in einer oder mehreren Ebenen bilden, und der Anwendung eines fortschrittlichen, tomographischen Algorithmus, ähnlich dem, der im Bereich der medizinischen Computertomografie (CT) verwendet wird. Aus den einzelnen Durchschnittsmessungen (Integralwerte entlang der Pfade, an denen jeder Sensor angebracht ist) werden die verschiedenen Schnittpunkte des Gitters mit dem Algorithmus berechnet.

Für das überbestimmte lineare Gleichungssystem ist der grundlegende Algorithmus darauf ausgelegt, die Differenzen zwischen den zweidimensionalen Mittelwerten der Gitterpunkte und allen Mittelwerten im Pfad durch eine geeignete Norm, z. B. den Effektivwert, zu minimieren. Bei Verbrennungsprozessen ist die korrekte Berücksichtigung der Randbedingungen von größter Bedeutung. Diese müssen die physikalischen Randbedingungen des Prozesses (z. B. die Eigenschaften der thermischen Grenzschichten zur Ableitung des nichtdimensionalen parametrischen Ausdrucks der Randapproximation) mit den Messdaten in Einklang bringen, ohne die Qualität der Ergebnisse zu beeinträchtigen. [7]

Ein optimiertes algorithmisches Verfahren ermöglicht es, den realen Temperaturen des gesamten Kesselquerschnittes so nah wie möglich zu kommen. [7]

3.2 AUTOMATISCHE ERFASSUNG VON ABLAGERUNGEN

Um Ablagerungen an Überhitzerrohren zu erfassen und unter Kontrolle zu halten, ist eine Überwachung des Kesselinnenraum während aller Betriebszustände von großer Bedeutung. Das verfahrbare Kamerasystem EUvis insitu ermöglicht dank einer kombinierten Kühlung aus Wasser und Druckluft den Aufenthalt des Kamerasystem im laufenden Kesselbetrieb, trotz Temperaturen von bis zu 1200°C. Dabei kann die Kameraeinheit bis zu 5,5 m in das Kesselinnere gefahren werden. Sowohl die Lanze, als auch der Kamerakopf können gedreht werden. Dies erlaubt es Bilder in alle Richtungen des Kessels aufzunehmen. Zusätzlich wird ein Livebild kontinuierlich auf die Benutzeroberfläche und zum Leitstand übertragen. Das Kamerasystem wird vom zuständigen Personal dazu genutzt, um sich eine Übersicht über den aktuellen Verbrennungsprozess anhand der Verschlackung zu machen. Sind die Rußbläser auf der Ebene des Kamerasystems aktiv, wird das System zurückgefahren. Aus der Ruheposition, welche sich bündig zum Kessel befindet, kann jedoch ungehindert die Wirkung der Rußbläser bewertet werden. Die Praxis zeigt, dass EUvis insitu auch bei außerplanmäßigen Ereignissen zur Anwendung kommt. Defekte Rohrverbindungen oder andere Schäden im Kessel können ohne großen Mehraufwand präzise bewertet werden. Die Software erlaubt vollautomatische Fahrten des Systems zu vorher definierten Zeitpunkten und Positionen durchzuführen. Die aufgenommenen Bilder können dazu dienen, die Entwicklung des Verschmutzungszustands über einen längeren Zeitraum zu beobachten und dann zum richtigen Zeitpunkt Maßnahmen abzuleiten.

Die kontinuierliche Freigängigkeit von Sensor und Linsen ist für ein optisches Überwachungssystem wichtig. EUvis insitu stellt das durch den Einsatz von Spülluft sicher. Darüber hinaus kann der Verschmutzungsgrad der Kameralinse automatisch ausgewertet werden, um die zustandsorientierte

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

Wartung in diesem Bereich zu verbessern und zu verhindern, dass eine Reinigung zu spät oder überflüssigerweise stattfindet.

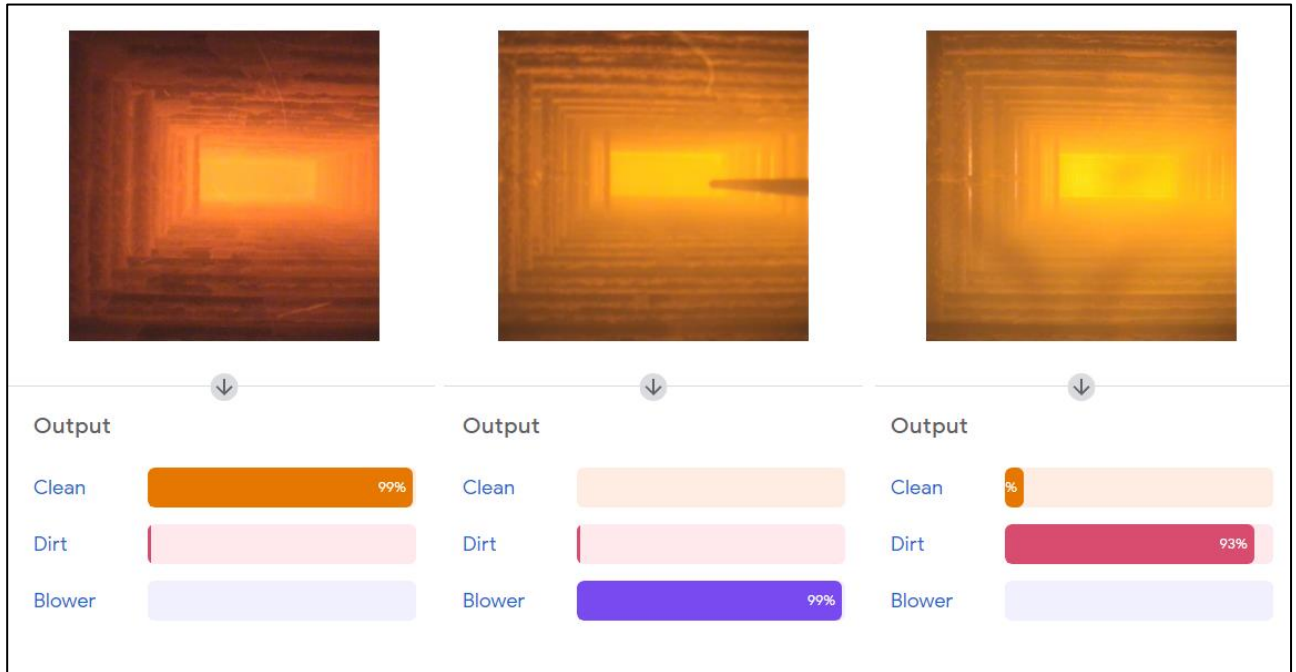


Abbildung 2: Bildklassifizierung der Kameraverunreinigung

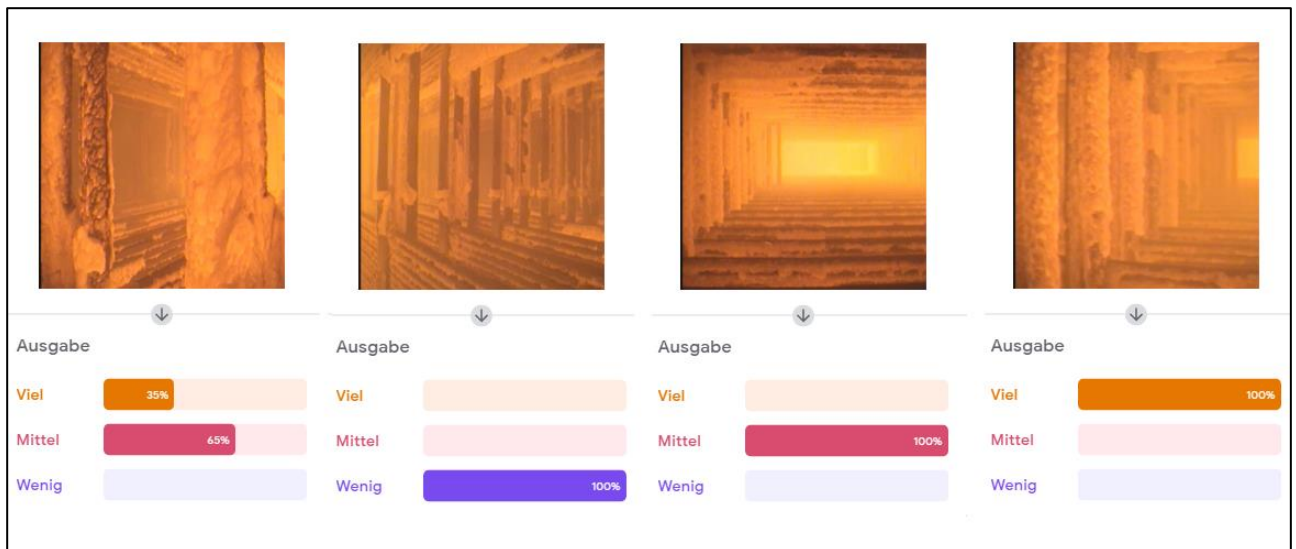


Abbildung 3: Bildklassifizierung der Verschlackung

Mithilfe von Machine-Learning (ML) wurde ein Modell für die Klassifizierung mit Bildern aus verschiedenen Betriebssituationen trainiert. Dabei wurden anhand der Informationen über den Einsatz von Rußbläsern Zeiträume ausgewählt und einer von mehreren Kategorien zugeordnet. Wie Abbildung 2 zeigt, kann das Modell anschließend nicht nur zwischen einer sauberen und verschmutzten Optik differenzieren, sondern erkennt auch andere wichtige Zustände, wie zum Beispiel den Einsatz von Rußbläsern.

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

Ein weiteres Modell wurde trainiert, um die automatisierte Bestimmung der Schlacke-Schicht zu ermöglichen. Dies hilft effektive Vorteile für das Monitoring der Rohrzustände zu erzielen. In diesem Beispiel wurden drei Klassen definiert, die den Verschmutzungszustand der Heizflächen beschreiben. Verschiedene Verschlackungszustände innerhalb eines Bildes (viel und mittel) können über diese Methode ebenfalls erfasst werden. In Verbindung mit automatischen Kamerafahrten wird so eine Bewertung der Verunreinigung ermöglicht und die manuelle Begutachtung unterstützt.

3.3 VIRTUELLE SENSORIK ZUR HEIßLUFT-VENTURI-MESSUNG

Verfügbare Luftmengensensoren sind sensitiv hinsichtlich der Einbaulage und Strömungsverhältnisse. Dadurch können relevante Prozessgrößen und Messwerte nicht verlässlich bereitgestellt werden. Dies kann dazu führen, dass durch zunehmende Laständerungen, der optimale Betrieb der Anlage nicht mehr gewährleistet ist. Folglich muss mittels einer optimalen Wartung die präzise Messung der essenziellen Kennwerte zu jeder Zeit sichergestellt sein.

Ein Lösungsansatz, der sich in der Vergangenheit bereits bewährte, ist die Anwendung von virtuellen Sensoren. Ein virtueller Sensor ist ein aus anderen Prozessdaten unter Anwendung eines trainierten oder physikalisch motivierten Prozessmodells abgeleitetes Signal. Die Steuerung oder Regelung hat, durch das in Echtzeit generierte Signal, eine breitere Datenlage zur Verfügung. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig. Es kann ein Ersatzwert gebildet werden, der dem gleichen Zweck dient, wie die häufig alternativ eingesetzte redundante Auslegung der Hardware. Der Einsatz als eigenständiges Signal ohne weitere Sensor-Hardware, zur Überwachung der realen Sensorik und des Prozesses und zur Prädiktion eines Signals ist ebenfalls möglich.

Für die Implementierung eines virtuellen Sensors sind die nachfolgenden Voraussetzungen zu erfüllen:

- Die verfügbaren Prozessdaten enthalten (implizit) genügend Informationen, um das gewünschte Signal zu extrahieren und zu modellieren.
- Die Berechnung und Bereitstellung des virtuellen Signals in notwendiger Qualität erfolgen hinreichend schnell, zumeist in Echtzeit.
- Zusätzliche Hard- und/oder Software zur Berechnung und Bereitstellung kann integriert werden.

Diese Voraussetzungen sind heute jedoch fast immer erfüllt und eine Realisierung ist ohne Eingriffe in den Prozess und der Leittechnik möglich.

Ein Anwendungsbeispiel, bei dem virtuelle Sensoren bereits genutzt werden, ist die Heißluft-Venturi-Messung. Dabei werden virtuelle Signale der einzelnen Heißluft-Venturi-Messungen, die vom implementierten System generiert werden, mit den realen gemessenen Signalen verglichen. Die Güte der physikalischen Messsignale wird durch den zeitlichen Anteil der Signalabweichung innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraums bestimmt. Weicht ein Messsignal außerhalb einer definierten Toleranz ab, wird eine Anomalie erkannt. Durch den Vergleich der generierten Signalgüte mit dem Normzustand, können folgende Symptome und Zustände der Messung identifiziert werden:

- Messung OK
- Abweichung festgestellt
- Wartung Notwendig

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

- Fehlende Daten

Durch den Zustand „Fehlende Daten“ können Fehlalarme vermieden werden, sollten einzelne Signale vorübergehend nicht zu Verfügung stehen. Eine festgestellte Abweichung ist nicht gleichbedeutend mit einer notwendigen Wartung, da durch Wartungs- und Reparaturarbeiten selbst eine Abweichung auftreten kann. Aus einem automatisierten Report kann die Notwendigkeit zustandsorientierter Wartungsarbeiten abgeleitet werden. [8]

3.4 DAMPFLECKAGEMESSUNG

Leckagen an Verdampfer- und Überhitzerrohren im Kessel verringern nicht nur die Effizienz der Dampferzeugung, sondern stellen auch ein großes Risiko für die Anlage und Personal dar. Die Aufdeckung und Beseitigung der Leckagen sollte daher große Priorität haben.

Über ein akustisches Verfahren kann der Prozess auf Leckagen überprüft werden. Eine Vielzahl an Sensoren wird dabei an verschiedenen Positionen auf mehreren Ebenen verteilt angebracht. Grundgeräusche eines Dampferzeugers liegen zwischen 60-80 dB. Bei einer Leckage hingegen können Schallgeräusche von 130 dB und mehr entstehen. Beachtet man den exponentiellen Verlauf der Schalldruckkurve, stellt schon eine Abweichung um 20 dB etwa eine Vervierfachung der Lautstärke dar [9]. Rußbläser und Wasserlanzenbläser erzeugen ein Schallgeräusch, welches dem Geräusch einer Leckage ähnelt. Das System nutzt weitere Betriebsinformationen, wie zum Beispiel den Einsatz der Rußbläser und Wasserlanzenbläser, um die Erkennung des Betriebszustandes zu verbessern. Bei der Aufbereitung und Auswertung der Messergebnisse wird zusätzlich beachtet, dass die gemessene Schalldruckstärke stets auch von der Entfernung zur Quelle abhängt. Zum Einsatz kommen dabei sowohl Körperschallsensoren als auch Luftschallsensoren. Bei der Luftschallmessung wird direkt in den Kessel hineingehorcht. Die Körperschallmessung hingegen erfolgt indirekt über die Kesselwand. Zusammen mit Frequenzbild und Schallpegel ergibt sich ein umfassendes Lagebild. Durch die zusätzliche Anbindung an ein Datenmanagementsystem, in dem Einbauorte der Sensoren, sowie Kesselgeometrie hinterlegt sind, können Leckagen korrekt detektiert, geortet und bewertet werden.

So können Folgeschäden und Gefährdung von Mitarbeitern minimiert werden. In der Konsequenz trägt das zur erhöhten Verfügbarkeit der Anlage bei.

3.5 DATENMANAGEMENT- UND ANALYSESYSTEME

Während klassische Datenarchive in Kraftwerken vor allem auf die Archivierung und Anzeige von Zeitseriendaten fokussiert sind, fehlen häufig leistungsstarke Datenaufbereitungs- und Analyseplattformen. Das Messdatenmanagementsystem EU-MDM bietet für die Verarbeitung von Messdaten und die Anwendung von Analysewerkzeugen die entsprechende Plattform. Die Software ist in der Lage große Mengen an Daten zu verarbeiten. Das beschränkt sich nicht auf einfache Signale, sondern schließt auch Bild und Videoinformationen mit ein. Das System bietet eine anwenderfreundliche und übersichtliche Benutzeroberfläche, die auch von Prozessingenieuren ohne detaillierte Data-Science-Vorbildung gewinnbringend eingesetzt werden kann. Die Komplexität des Managements der Vielzahl an Daten aus unterschiedlichsten Quellen wird dem Nutzer abgenommen. Die Messdatenanalyse ist vom

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

Datenimport bis zum Erstellen von Reports bereits vollständig automatisiert. Die einzelnen Systembausteine können jedoch speziell für den jeweiligen Anwendungsfall konfiguriert werden. Damit können auch Ad-hoc Prozessanalysen, die eher explorativen Charakter haben abgebildet werden.

Beim Import der Daten verarbeitet das EU-MDM flexibel Daten gleichzeitig aus mehreren Quellen. Die Daten werden der betreffenden Anlage zugeordnet und automatisch konsolidiert, verifiziert und entsprechend aufbereitet und innerhalb von EU-MDM archiviert. Für eine übersichtliche Darstellung und zur Gewährleistung späterer Durchsuchbarkeit können die Daten hinsichtlich bestimmter Ereignisse und Datenmuster markiert werden. Beispiele für typische Ereigniskategorien sind Alarmer, Lastzustände, Anomalien und Wartungsnotwendigkeiten. Die Auswertung und Visualisierung der Daten wird üblicherweise zielgruppenorientiert angepasst. Über ein integriertes Benachrichtigungssystem können betroffene Personen über aufgetretene Ereignisse aktiv informiert werden oder nachgelagerte Planungssysteme (z. B. zur Lasteinsatzplanung oder Wartungsplanung) mit Zustandsinformationen versorgt werden.

Durch dieses Schließen von Informationsketten trägt ein solches System ebenfalls zum sicheren Betrieb von Anlagen bei.

4 BETRIEBSRESULTATE

Die Digitalisierung der Diagnosesysteme hat den Betreibern, unabhängig von Brennstoff, Betriebszustand, Kesseltyp und Kesselgröße, jederzeit eine Regelung des Betriebs anhand von Schlüsselparametern erlaubt. Seit Anwendung der EUflame-Software zur Messung der Feuerraumendtemperatur kam es zu keinen außergewöhnlichen Schiefagen der Flamme. Außerdem ermöglichte dies eine effizientere Steuerung der relevanten Prozessparameter zur Belagbildungskontrolle am Feuerraumende und im Konvektivteil des Kessels. [7]

Sind solche Diagnoselösungen erfolgreich implementiert, wird deren Status mit Health-Monitoring-Funktionen fortlaufend überprüft. In regelmäßig oder zustandsabhängig erzeugten Reports werden gezielte empfohlene Maßnahmen aufgelistet, um die Systemverfügbarkeit zu erhöhen. Der Betrieb des Kessels stützt sich auf diese Weise immer auf genügend Informationen.

Für das System EUflame liefert der Report eine Übersicht der Verfügbarkeit des Systems, abgeleitet aus den Status der einzelnen Komponenten. Sollte eine der Komponenten Auffälligkeiten aufweisen, kann eine gezielte Wartung der betroffenen Komponente eingeleitet werden, ohne dass es zum totalen Ausfall des Systems kommt. Besonders interessant für den Betreiber ist, dass aus dem Report auch Rückschlüsse auf den Betrieb des Kessels gezogen werden können. Kritische Lagen der maximalen Feuerraumendtemperatur werden erkannt und zusammen mit statistischen Kenngrößen (z.B. Position der FET_{max}) evaluiert und graphisch aufbereitet.

Für die Diagnosesysteme werden die Komponentenlaufzeiten überwacht. Dadurch, dass die Häufigkeit der Ereignisse aufgezeichnet wird, steht die verbleibende Lebensdauer als Information zur Verfügung. Der Austausch der betroffenen Komponenten kann so zu einem günstigen Zeitpunkt stattfinden, bevor Materialversagen auftritt.

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

An unterschiedlichen Kesseln stützt sich die zustandsorientierte Wartung der Heißluft-Venturi-Messungen auf den vorab erläuterten Lösungsansatz. Bereits 2017 wurde die virtuelle Sensorlösung EUsoft Air mit dem EU-MDM erweitert, um den jeweiligen Zeitpunkt der Wartung zu optimieren. Ohne signifikante Veränderungen im etablierten Betriebsablauf, konnte durch diese Lösung eine Optimierung des Ressourceneinsatzes erzielt werden. [8]

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Messung wichtiger betriebspezifischer Parameter erfolgt über die Kombination mehrerer digitaler Systeme. Die EUflame-Software liefert die maximale der Feuerungsraumendtemperatur sowie deren 2D-Verteilung. Diese ermöglichen eine effizientere Steuerung der relevanten Prozessparameter zur Belagsbildungskontrolle am Feuerraumende und im Konvektivteil des Kessels. Neben der Kontrolle der Belagsbildung wird durch das Verhindern von Temperaturspitzen Hochtemperaturkorrosion auch besser gesteuert/kontrolliert. Reale Temperaturen im Kessel sind darüber hinaus wichtige Parameter für die Steuerung sekundärer Maßnahmen wie die Steuerung einer DeNO_x-Anlage. Das EUvis insitu System hilft bei der Terminierung und Bewertung von Abreinigungen der Ablagerungen auf Wärmetauschern.

Einsatz und Nutzen verschiedener Mess- und Diagnosesysteme kann durch digitale Lösungen voll ausgeschöpft werden. Alle Systeme zeichnet ein hoher Automatisierungsgrad aus. Automatisch generierte Reports ermöglichen ein genaues Monitoring des Systemstatus und die rechtzeitige Auslösung von Wartungsarbeiten. Die Verfügbarkeit der Systeme kann dadurch maximiert werden. Dies hat zu Folge, dass der Betrieb der Kessel zu jederzeit auf optimale betriebspezifische Parameter gestützt ist. Um den Übergang zu erneuerbaren Energien erfolgreich zu gestalten ist es unumgänglich, die konventionellen Kraftwerke für schnelles An- und Abfahren vorzubereiten, was zwangsläufig eine höhere Materialbelastung mit sich bringt. Um einerseits die somit nötige Diagnose bereitzustellen und andererseits einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, ist eine zustandsorientierte Instandhaltung wichtiger denn je.

Um Wartungsarbeiten in Zukunft weiter zu optimieren ist eine Weiterentwicklung zur prädiktiven Instandhaltung möglich. Aktuell handelt es sich bei den beschriebenen Komponenten um Einzelsysteme. Die Informationen und Messdaten laufen erst in der Leittechnik des Betreibers zusammen. Wenn die technischen Möglichkeiten von EUflame, EUvis insitu und anderen Systemen für eine noch genauere real-time Diagnose des Kraftwerkbetriebs eingesetzt werden sollen, muss auch über eine Kommunikation aus der Leittechnik in Richtung dieser Systeme nachgedacht werden. Die bidirektionale Kommunikation bringt Vorteile mit sich, dass Diagnose-Systeme nicht nur beispielsweise Leistungsdaten des Kessels in eine Auswertung einbeziehen können, sondern auch untereinander kommunizieren können.

Ein denkbare Beispiel wäre die Überwachung der Temperaturverteilung im Kessel mithilfe eines EUflame, welches durch Informationen einer Leckagemessung die Auswirkungen der Dampfaustritte analysieren kann.

Der gezielte automatisierte Einsatz von Rußbläsern ist möglich, wenn durch ein EUvis insitu-Kamerasystem stark belegte Rohre im Kessel identifiziert werden. Durch ML-Bildauswertung kann das System Verschlackung erkennen und die Metadaten von Verschmutzungsgrad und dessen Position

Sicherer Betrieb und zustandsorientierte Instandhaltung:

Wie die Digitalisierung von Diagnoselösungen eine flexible und stabile Energieversorgung sicherstellt

übertragen. Anhand der Daten über die Wärmeübertragereffizienz aus der Leittechnik könnte auch eine Datenbank gefüllt werden, welche die Einflüsse der Verschlackung auswertet und den Bereichen im Kessel damit Prioritäten zuordnen kann für zukünftige Reinigungen.

Die intelligente Zusammenarbeit der Diagnosesysteme in konventionellen thermischen Energieerzeugern kann wegweisend für eine effiziente und wirtschaftliche Fahrweise sein. Zusammen mit den aktuell im Mittelpunkt der Weiterentwicklung stehenden erneuerbaren Energien darf auch hier kein technologischer Stillstand eintreten, damit weiterhin eine flexible und stabile Energieversorgung sichergestellt werden kann.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] H. Schiffer, „Zur energiewirtschaftlichen Notwendigkeit der Braunkohle für die Energieversorgung in Deutschland,“ *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 43, pp. 71-84, 2019.
- [2] W. Hodapp, „Die Bedeutung einer zustandsorientierten Instandhaltung - Einsatz und Nutzen in der Investitionsgüterindustrie,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, Springer, 2009, pp. 135-149.
- [3] J. S. Chandok, I. N. Kar und S. Tuli, „Estimation of furnace exit gas temperature (FEGT) using optimized radial basis and back-propagation neural networks,“ in *Energy Conversation and Management*, Elsevier, 2008, pp. 1989-1998.
- [4] P. Basu, C. Kefa und L. Jestin, *Boilers and burners*, New York: Springer, 2000.
- [5] K. Strauss, in *Kraftwerkstechnik zur Nutzung fossiler, nuklearer und regenerativer Energiequellen*, 2016, pp. 107-108.
- [6] C. Locci, L. Vervisch und B. Farcy, „Selective Non-catalytic Reduction (SNCR) of Nitrogen Oxide Emissions: A Perspective from Numerical Modeling,“ in *Flow Turbulence Combust* 100, Springer Science+Business Media B.V., 2018, pp. 301-340.
- [7] T. Richter, F. Turoni, M. Skomrock, D. Bär und P. Olkowski, „Sichere und moderne Versorgung: Smarte FEGT erhöht die Anlagenverfügbarkeit am Standort Neurath,“ *53. Kraftwerkstechnisches Kolloquium*, 2021.
- [8] M. Skomrock, A. Loup, J. Brandt, E. Martensen, F. Binder und F. Turoni, „Nachhaltigkeit am Standort Neurath,“ *51. Kraftwerkstechnisches Kolloquium*, 2019.
- [9] K. Stroh und M. Gerke, „Lärm – Hören, messen und bewerten,“ *Bayerisches Landesamt für Umwelt*, Nr. 1, p. 2, 2017.