Lichtinger, A.; Brell, J. und Hohmuth, S. (2021)

Luftgekühlte mobile Hochtemperatur-Kamerasonde zur Prozessdiagnose

Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Web-Veranstaltung am 10.-11. Juni 2021

Titel:

Luftgekühlte mobile Hochtemperatur-Kamerasonde zur Prozessdiagnose

Autoren: Andreas Lichtinger, Joos Brell, Sabine Hohmuth

1. Einleitung

Bei der thermischen Behandlung von Abfällen in MVA und bei der Energiewandlung durch Verbrennung von Biomassen in Kraftwerken kann es in den zugehörigen Dampferzeugern zur Bildung von Belägen, zur Schädigung der feuerfesten Auskleidung und zu Korrosion der metallischen Werkstoffe kommen. Diese Prozesse haben in der Regel nachteilige Wirkungen, u.a. auf die Verfügbarkeit und/oder die Reisezeit der Anlage, sowie auf die Instandhaltungsaufwendungen oder auf die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten.

Um diesen auch wirtschaftlich ungünstigen Entwicklungen entgegenzuwirken, sind u.a. Optimierungen in der Betriebsweise und eine vorausschauende Instandhaltung wichtig. Um diese Zielsetzungen zu erreichen, müssen die Zustände und Prozesse des Dampferzeugers möglichst transparent erfasst und zu aussagekräftigen Informationen und Handlungsempfehlungen aufbereitet werden. Dies kann einerseits durch Begehungsbefunde während Anlagenstillständen erfolgen (Schadensbereiche, Belagsbildung, etc.). Andererseits können auch während des Betriebs relevante Zustände und Prozesse erfasst werden. Für diesen Zweck können u.a. Sonden, Sensoren und Kamerasysteme eingesetzt werden.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Merkmale und Anwendung einer sondenartigen, mobilen, luftgekühlten Hochtemperaturkamera, die sich insbesondere für Diagnosezwecke eignet.

Im Rahmen einer Studienarbeit wurde zunächst eine Recherche durchgeführt, um einen Überblick über die im Markt vorhandenen Kamerasysteme zu erhalten. Im Ergebnis zeigte sich, dass kein Produkt gefunden werden konnte, das die Merkmale einer flexiblen, mobilen und variablen Anwendung einer Hochtemperaturkamera auf der Basis einer Luftkühlung in sich vereinigte. Daher wurde, aufbauend auf den Vorerfahrungen aus dem Bereich der Temperatursensorik und der Konstruktion von Sonden (u.a. Temperature-Range-Probe), ein neues Kamerasystem entwickelt. Diese Hochtemperatur-Kamerasonde wurde in das vorhandene Sonden-Portfolio der CheMin GmbH integriert, d.h. viele der bewährten Merkmale der Sonden wurden auf das Kamerasystem übertragen [1, 2].

2. Aufbau und Merkmale der Hochtemperatur-Kamerasonde

Ziel der Entwicklung war, eine Kamerasonde zur Verfügung zu haben, die ein möglichst flexibel und variabel einsetzbares Diagnosemittel darstellt. Dazu wurden relevante Kriterien definiert, die durch die technische Ausgestaltung der Hochtemperatur-Kamerasonde als Merkmale verfügbar sein sollen.

- So soll das Kamerasystem eine hohe Flexibilität in Bezug auf Einsatzgebiete aufweisen und damit die betriebsbegleitende Inspektion aller Kesselabschnitte ermöglichen, von der Feuerung bis zur Rauchgasreinigung. Dafür ist u.a. eine Temperaturbeständigkeit bis ca. 1.200 °C erforderlich.
- Zur Kühlung soll ausschließlich Druckluft verwendet werden. Der Einsatz von Wasser als Kühlmedium ist nicht notwendig. Damit minimiert sich der technische Aufwand deutlich und unterstützt so die flexible und mobile Handhabung. Zudem besteht kein Risiko für ungewollten Druckaufbau durch Wasser-Dampf-Übergänge im Kamerasystem.
- Die Lichtempfindlichkeit der Kamera soll sowohl im sichtbaren Bereich liegen, für Aufnahmen im Feuerraum und in den Strahlungszügen, als auch im Bereich des Nahinfrarot, für Aufnahmen im Konvektivbereich.
- Eine in die Kamerasonde integrierbare Beleuchtungseinheit soll den Einsatz in „dunklen“ Bereichen ermöglichen, z.B. unter dem Rost oder in der Rauchgasreinigung. Zudem ergibt sich dadurch die Möglichkeit für Echtfarbenbilder, z.B. im konvektiven Teil.
- Für eine aussagekräftige Bewertung soll zumeist eine großflächige Erfassung des Untersuchungsgegenstands möglich sein. Da an den Kesseln meist nur begrenzt Öffnungen zur Verfügung stehen, soll durch die Eigenschaften der Kamera ein Kesselzug/Bauteil möglichst umfassend von einer Position aus erfasst werden können. Dafür sind variable Blickwinkel der Kamera und unterschiedliche Blickrichtungen der Optik verfügbar. Die Bauform der Kamerasonde (Abb. 1) erlaubt die Kesselinspektion bei vorhandenen Öffnungen ab 65 mm Durchmesser.

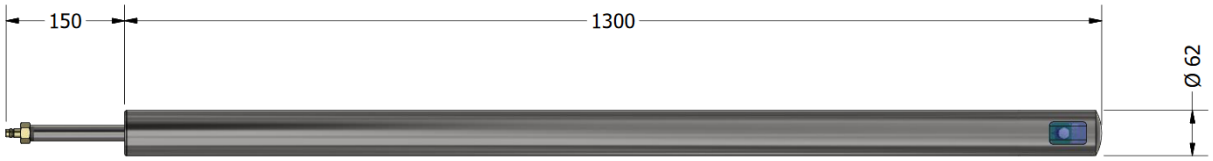

Abb. 1: CAD-Modell der Hochtemperatur-Kamerasonde mit 80 ° Blickrichtung

Das digitale Videosignal wird in Echtzeit auf einem Laptop dargestellt und gespeichert. Zeitgleich können Einstellungen der Kamera vom Rechner aus gesteuert und Darstellungsformen angepasst werden. Durch eine Nachbearbeitung der hochauflösenden Videos (2.560 * 1.440 Pixel) lässt sich der Informationsgewinn maximieren.

Die aus der Entwicklung der Hochtemperatur-Kamerasonde resultierenden Möglichkeiten zu verschiedenen Anwendungsbereichen werden im Folgenden anhand von Beispielen (anonymisiert) genauer dargelegt.

3. Anwendungsbereiche und Potenziale

Die Erfahrungen aus den bisher durchgeführten Anwendungen mit der mobilen Hochtemperatur-Kamerasonde in Kraftwerken zeigen, dass ein breites Nutzungspotenzial vorliegt.

Die Flexibilität der Kamerasonde ermöglicht den kurzfristigen und zielgerichteten Einsatz an verschiedensten Positionen der Anlagen über den gesamten Rauchgasweg hinweg. Die damit entstehenden optischen Informationen geben Entscheidungshilfen für die weitere Herangehensweise zur Optimierung von Prozessmerkmalen. In einigen Fällen erlauben die Aufnahmen das direkte Erkennen von Optimierungspotenzial. In anderen Fällen ergibt sich dies z.B. durch den Vergleich von verschiedenen Betriebszuständen (Vorher/Nachher Vergleich).

Darüber hinaus eignen sich die optischen Befunde auch zur Ausarbeitung von Optimierungsstrategien auf Basis einer Vernetzung unterschiedlicher Informationsquellen. Dabei ist vor allem die Verknüpfung der optischen Informationen mit vorhandenen Messdaten (Luftmengen, Temperaturen, Drücke, Abgaszusammensetzung, Wärmefluss etc.) ein wesentlicher Baustein. Durch diese Verknüpfung können Betriebsdaten gezielter zur optimierten Betriebsführung verwendet werden [3, 4]. Dies bietet insbesondere auch dahingehend einen deutlichen Vorteil, dass die Einbindung von Mess- oder auch Modellierungsdaten in Regelprozesse einfacher erfolgen kann als die „Übersetzung“ von optischen Bildern in verwendbare Signaldaten oder Regelungsparameter.

Die optischen Informationen können zudem genutzt werden, geeignete weitere Werkzeuge/Messtechnik optimal anzuwenden. Beispielsweise ist hier die Installation von Temperatursensoren oder auch der Einsatz von Sonden (u.a. Temperature-Range-Probe) zu nennen [2, 5, 6].

Aus den bisherigen Erfahrungen der Autoren ist für die hier beschriebenen Zwecke der dauerhafte Einsatz von Kamerasystemen meist nicht erforderlich bzw. sinnvoll. Die auf der Basis von optischen Befunden erarbeiteten Optimierungen der Betriebsführung sollten möglichst so in den Betrieb integriert werden (FLR, Arbeitsabläufe etc.), dass erneute Anpassungen im täglichen Anlagenbetrieb nicht notwendig sind. Eine regelmäßige Überprüfung der Betriebsführung (z.B. einmal im Jahr oder halbjährlich) durch den Einsatz der Hochtemperatur-Kamerasonde oder auch die Befundung von Sondersituationen (z. B.: Versuchsfahrten) sind somit ausreichend. Dies vermeidet auch den Effekt der Habituation, sprich der menschlichen Gewöhnung an optische Informationen und das damit verbundene nicht mehr Wahrnehmen von Veränderungen.

Je nach Fragestellung bzw. betrieblichem Interesse liegen die Nutzungspotenziale u.a. in folgenden Bereichen:

- Feuerlageerkennung
- Bewertung von Bauteilen
- Beobachtung von Eindüsungsvorgängen (Sekundärluft, SNCR, Wasser, sonstige Additive etc.)
- Erfassung von Belagsbildungsprozessen

- Bewertung der Wirkungen von Reinigungsverfahren (Wasserlanzenbläser, Wassersprühanlagen, Sprengreinigung, Rußbläser etc.)
- Vergleichende Vorher-Nachher Bewertung zur Validierung von Prozessoptimierungen/-veränderungen

Die nachfolgend aufgeführten Beispiele zeigen exemplarisch die Anwendungsmöglichkeiten der Hochtemperatur-Kamerasonde auf.

3.1 Beispiel A: Erkennen einer Feuerungsschieflage

Belagsbilder aus Kesselbegehungen zeigen regelmäßig unterschiedlich stark ausgeprägte Verschmutzungen (z. B.: Schlackefluss) an verschiedenen Kesselwänden (Abb. 2).

Abb. 2: Deutlich stärkere Verschmutzung der rechten Seitenwand (linkes Bild), verursacht durch eine Feuerungsschieflage.

Solche oder ähnliche Befunde sind typisch. Die Erhebung solcher Informationen kann im Rahmen von sogenannten Schmutzbegehungen erfolgen. Diese Unterschiede im Grad der Verschmutzung bzw. Verschlackung bedingen eine ungleichmäßige Durchströmung und Wärmeverteilung im Dampferzeuger und eine ungleiche und oft übermäßige Werkstoffschädigung (z.B.: Abzehrung der Feuerfestzustellung). Ursache der ungleichen Belastung ist oft eine Feuerungsschieflage. Die Vermutung aus der Stillstandsbegehung kann mit einer Kamerabefahrung überprüft werden. Dazu wird die Hochtemperatur-Kamerasonde für Minuten (evtl. in Abständen über den Zeitraum einiger Stunden) durch eine geeignete Kesselöffnung im 1. Zug auf den Rost gerichtet. Die Bestätigung der Schieflage anhand der kurzzeitigen Beobachtung (Abb. 3) legt z.B. den Einsatz von Temperatursensorik nahe, um eine kontinuierliche Erfassung der Situation im Kessel zu erlangen.

Abb. 3: Aufnahme der Feuerungslage mit der HT-Kamera. Es ist eine Schieflage zur Vorderwand und zur rechten Seitenwand zu erkennen.

Die Analyse und Auswertung dieser Temperatursensorik (Temperaturdifferenz zwischen Rohrscheitel und benachbartem Steg = Wärmestrom) ist technisch leichter zu automatisieren als optische Signale. Zudem lassen sich auf diese Weise Optimierungsansätze quantitativ überprüfen.

Der Einsatz der Hochtemperatur-Kamerasonde leistet in diesem Beispiel also die Diagnose der Zustände im Kessel und zeigt visuell, und damit gut erfassbar, das bestehende Problem im Kessel auf.

Für eine genauere Untersuchung des Kesselverhaltens lassen sich die Temperatursignale der Sensorik mit den Bildern der Kamera kombinieren. So können beispielsweise die Zusammenhänge von Schieflage und Verschlackung auf die Temperatursignale besser verstanden werden. Als Ergänzung der Wärmestrommessung dienen die Kameraaufnahmen im weiteren Verlauf zur Interpretation von Daten und Geschehnissen im Kessel.

3.2 Beispiel B: Onlinereinigung Leerzug

Für eine hohe Wärmeauskopplung werden in Leerzügen oft Schottwände verbaut. Um dort einen hohen Wirkungsgrad aufrecht zu erhalten, werden Online-Reinigungsverfahren wie Showercleaning Systeme (SCS) eingesetzt. Mithilfe einer Düse treffen ein oder mehrere Wasserstrahlen auf die Rohrwände und sollen diese von Belägen reinigen. Dabei entscheiden Parameter wie Wasserdruck und Häufigkeit des Einsatzes über den Erfolg der Abreinigung. Eine Bewertung der Reinigungsleistung wird bisher meist in der Stillstandsbegehung anhand der Belagsausbildung vorgenommen. So können Leerzüge in sauberem Zustand vorliegen, in stark verschmutztem Zustand, oder sogar Bereiche mit vermutlicher Schädigung der Rohrwand durch den Reinigungsprozess (Abb. 4). Eine Optimierung der Reinigungseinrichtung ist damit nur von Stillstand zu Stillstand möglich.

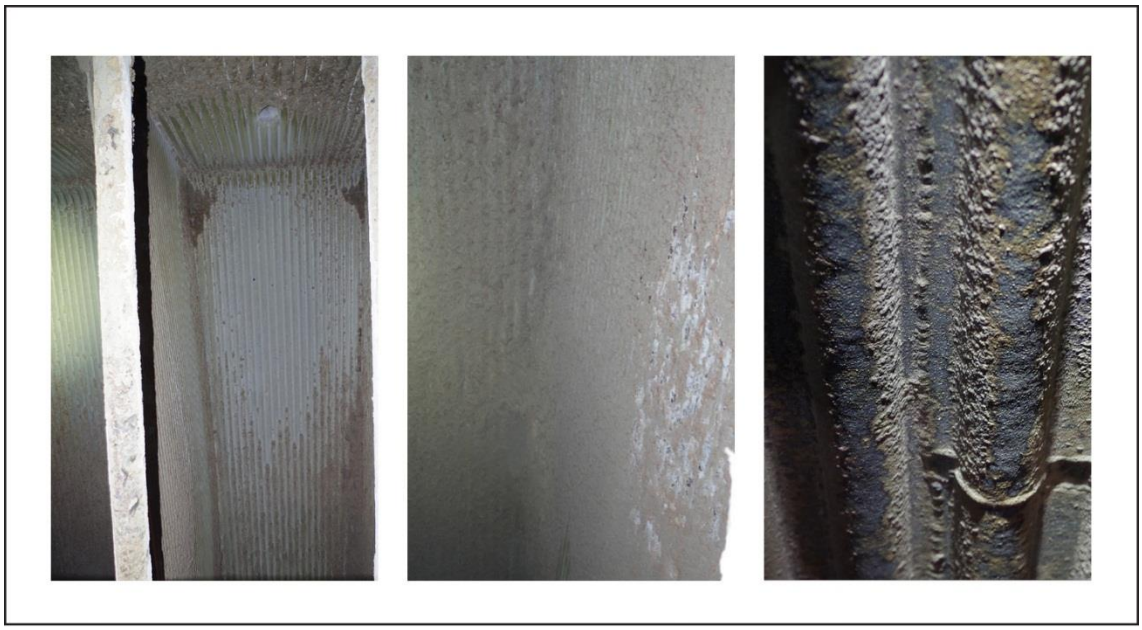

Abb. 4: Bilder von Leerzügen aus Schmutzbegehungen – sauber abgereinigt durch Showercleaning (links), verschmutzt trotz Reinigungseinheit (mitte) und stark abgezehrt durch den Einfluss des Reinigungsmediums (rechts)

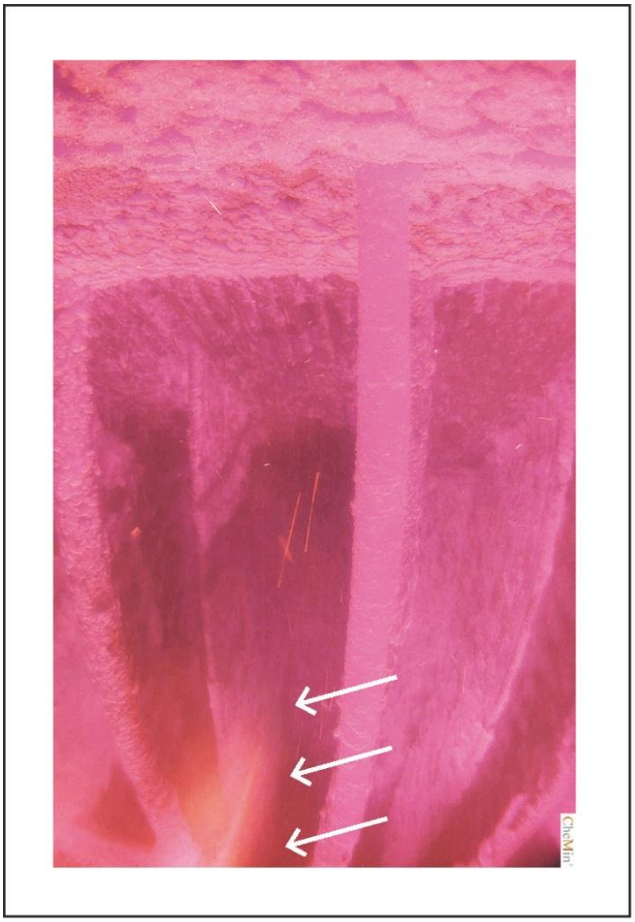

Abb. 5: Standbild aus der Videoaufnahme eines Showercleaning Systems im Betrieb.

Die Hochtemperatur-Kamerasonde kann bei dieser Problemstellung mit Online-Aufnahmen zu einer schnelleren und zielgerichteten Prozessoptimierung beitragen. Es besteht bei

geeigneten Öffnungen die Möglichkeit der direkten Beobachtung des Reinigungsvorgangs, z.B. im 2. Zug von Deckenöffnungen des 1. Zuges aus (Abb. 5).

Dabei lassen sich veränderte Prozessparameter direkt beobachten. Außerdem kann die mobile Kamera für Vorher-Nachher-Aufnahmen der abzureinigenden Rohrwände im betreffenden Leerzug eingesetzt werden (Abb. 6).

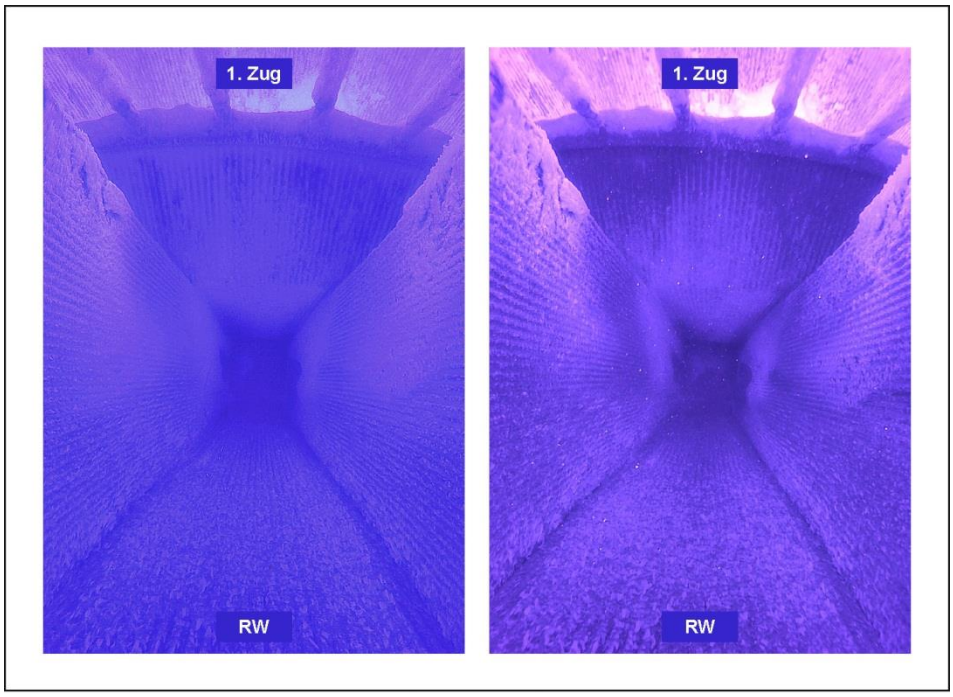

Abb. 6: Blick in die Kammer des 2. Zuges mit der HT-Kamerasonde vor (links) und nach (rechts) dem Einsatz eines Showercleaning Systems.

Zur Inspektion können in solchen Fällen meist die Öffnungen des SCS genutzt werden. Mit diesen Vergleichsaufnahmen kann die Auswirkung eines Reinigungszyklus bewertet werden. Im vorliegenden Beispiel ist nur ein leichter Reinigungseffekt zu erkennen. Die Prozessparameter wurden angepasst und das Ergebnis wiederholt durch eine Kamerabefahrung bewertet. Eine erneute Vorher-Nachher-Aufnahme bei veränderten Prozessparametern bei der nächsten vorgesehenen Reinigung liefert eine gute Vergleichbarkeit und lässt Rückschlüsse auf die Qualität der Optimierungsmaßnahme zu.

3.3 Beispiel C: Onlinereinigung konvektiver Teil

Für einen sicheren und unterbrechungsarmen Betrieb eines Kraftwerks ist u.a. eine möglichst konstante und ungehinderte Wärmeauskopplung über den gesamten Rauchgasweg im Dampferzeuger wichtig. Vor allem bei Kraftwerken mit hoher Staubfracht, wie Müllverbrennungsanlagen, ist die Sauberhaltung der Wärmetauscherflächen, insbesondere auch des konvektiven Teils, von hoher Bedeutung. Dazu werden im konvektiven Teil verschiedene Reinigungsverfahren wie z. B. Klopfwerke, Rußbläser und Sprengreinigungen eingesetzt. Um die gewünschte Wirkung entfalten zu können, müssen

die Maßnahmen für den jeweiligen Einsatzort optimiert sein. Parameter wie beispielsweise der Blasdruck eines Rußbläsers oder die Häufigkeit der Maßnahme sollten so festgelegt werden, dass eine ausreichende Reinhaltung der Bauteile gewährleistet wird, jedoch keine Gefahr der Bauteilschädigung von der Maßnahme ausgeht. In Abb. 7 ist ein Überhitzer vor dem Einsatz eines Rußbläsers zu sehen, Abb. 8 zeigt eine Aufnahme von typischen Belagswechten aus einer Schmutzbegehung.

Abb. 7: Überhitzeraufnahmen mit (links) und ohne zusätzlicher Beleuchtung (rechts) – starke Wechtenbildung erkennbar.

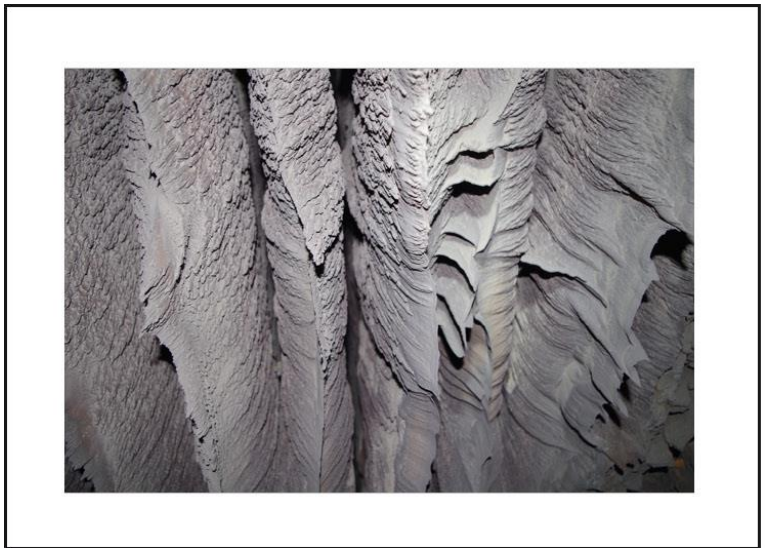

Abb. 8: Zugesetzter Überhitzer in der Stillstandsbegehung – die Rauchgaswegbarkeit und die Wärmeauskopplung sind stark eingeschränkt.

Die Aufnahmen in Abb. 7 stammen von der Hochtemperatur-Kamerasonde und sind einmal mit hohem Infrarotanteil und einmal mit zusätzlicher Beleuchtung aufgenommen. Die zusätzliche Beleuchtung ermöglicht eine reale Darstellung der Farben und hebt die Konturen des Belags besser hervor. Beide Aufnahmen lassen die starke Wechtenbildung gut erkennen. Die Kamera ermöglicht bei geeigneten Kesselöffnungen auch die Beobachtung der Reinigungsmaßnahme selbst (Abb. 9).

Abb. 9: Rußbläser im Einsatz.

Dabei ist in diesem Beispiel zu sehen, dass der Druck und die Häufigkeit des Rußbläsers nicht ausreichen, um eine adäquate Abreinigung der Beläge zu gewährleisten. Durch die Anpassung der Parameter und einer wiederholten Beobachtung der Abreinigungsleistung kann der Reinigungsprozess im Betrieb optimiert werden, sodass die Rohre sauber bleiben, aber nicht durch die Belastung des Rußbläsers abzehren.

Durch den Vergleich von Verschmutzungszuständen mit Vorher-Nachher-Aufnahmen können auch andere Reinigungsverfahren, wie z.B. die Sprengreinigung bewertet werden. In Abb. 10 ist ein Rohrbündel vor, respektive nach einer Sprengreinigung zu sehen. In diesem Fall ist eine gute Reinigungswirkung zu erkennen.

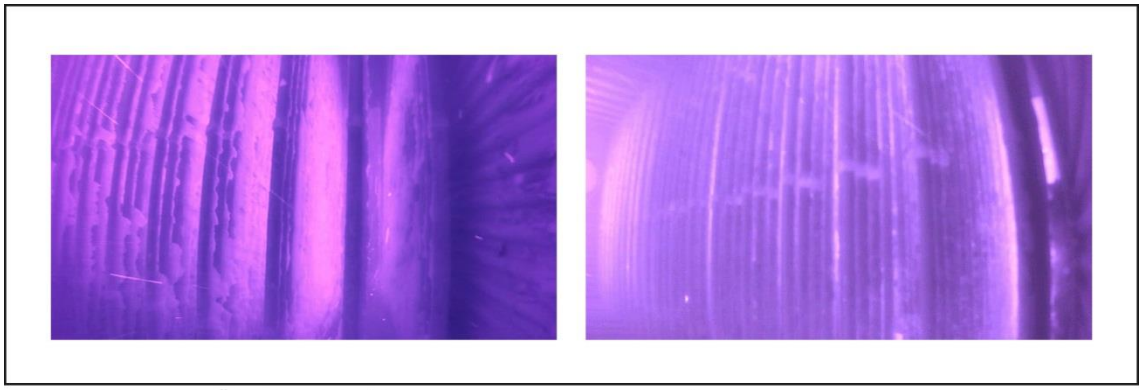

Abb. 10: Blick in ein Überhitzerbündel vor (links) und nach (rechts) der Sprengreinigung.

4. Zusammenfassung

Die hier vorgestellten neuen Wege zur Prozessoptimierung durch Prozessdiagnose, unter Einbindung einer Hochtemperatur-Kamerasonde, sind Bestandteil der aktuellen Entwicklung, Kraftwerksprozesse besser zu verstehen bzw. effizienter zu betreiben und sich ändernden Anforderungen schnell und wirksam anzupassen. Die Treiber dieser Entwicklung liegen u. a. in neuen gesetzlichen Vorgaben, betriebswirtschaftlichen Vorteilen und auch im Streben nach Vorsprung durch Innovation.

Aus der Sicht der Autoren bietet die Hochtemperatur-Kamerasonde auf diesem Weg insbesondere dahingehend erhebliche Potentiale, als dass mit Hilfe der optischen Informationen aus dem Betrieb der Anlagen und deren Einordnung mittels Expertenwissen, neue Interpretationsebenen geschaffen werden können. Hier ist insbesondere die Verknüpfung von Betriebsdaten zu bestimmen Prozessbedingungen zu nennen. Darüber hinaus ermöglicht die optische Bewertung von Anlagenteilen im Betrieb auch Rückschlüsse auf zu erwartenden Instandhaltungsbedarf, dies ist vor allem bei verlängerten Reisezeiten eine wichtige Information um weiterhin vorausschauende Instandhaltung betreiben zu können.

5. Quellen

[1] Schneider, D., Brell, J., Kaiser, M., Molitor, D., Kuttner, T.: Steigerung der Energieeffizienz von Kraftwerken durch gezielt angepassten Korrosionsschutz und Werkstoffwahl. In: Beckmann, M. und Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik 2014 Strategien, Anlagentechnik und Betrieb, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft mbH, 2014, S.477-491

[2] Spiegel, W., Kaiser, M.: Corrosion/Fouling Environment Evaluation in WTE and Biomass Fired Boilers. In: IRRC Waste-to-energy, Wien, 16.10.2020.

[3] Kaiser, M., Brell, J., Molitor, D., Schneider, D.: Effizienzsteigerung durch Einbindung thermochemischer Prozessparameter. In: Thiel, S.; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P.; Gosten, A. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 15. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2018, S. 333-344

[4] Pohl, M., Wen, T.: Effizienzsteigerung durch modellbasierte Betriebsdatenanalyse. In: Thiel, S.; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P.; Gosten, A. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 15. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2018, S. 345-357

[5] Spiegel, W., Brell, J., Taubner, S.: Temperatursensorik: Neue Wege zur Prozessoptimierung. In: Pohl, M. (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion 2015, Wechselwirkungen - Diagnosemethoden - Minderungsstrategien - Erfahrungen, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft mbH, 2015, S. 41-50

[6] Brell, J., Hohmuth, S., Molitor, D, Magel, G.: Transparenz für den heißen Teil des Kessels. In: Pohl, M. (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion 2019, Wechselwirkungen - Diagnosemethoden - Minderungsstrategien - Erfahrungen, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft mbH, 2019, S. 93-106