

Kaiser, M.; Brell, J.; Spiegel, W. (2022)

In-Situ-Brennstoffdiagnose

In: Beckmann, M. und Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik 2022
Power Plant Technology, Freiberg: Innovation- und
Kreislaufwirtschaft Sachsen e. V., 2022
S. 407-417

In-Situ-Brennstoffdiagnose

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Marie Kaiser, Dipl.-Ing. (FH) Joos Brell, Dr. Wolfgang Spiegel

1.	Die großtechnische Anlage als In-Situ-Labor zur Brennstoffdiagnose	1
2.	Methoden zur In-Situ-Brennstoffdiagnose.....	4
2.1.	Generierung von Metadaten durch Bilanzierung und Modellierung	4
2.2.	Sensorische Hilfsmittel.....	4
3.	Perspektive der In-Situ-Brennstoffdiagnose.....	8
4.	Literatur.....	8

Die Inhalte des vorliegenden Beitrags wurden auch auf der Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz im Juni 2022, vorgestellt [1].

Die In-Situ-Brennstoffdiagnose wurde in Kooperation der Firmen ENVERUM GmbH und CheMin GmbH entwickelt und wird von beiden Firmen gemeinsam dem Markt zur Verfügung gestellt.

1. Die großtechnische Anlage als In-Situ-Labor zur Brennstoffdiagnose

Bestimmte, in Feuerungen eingesetzte Brennstoffe sind durch Heterogenität und/oder komplexe chemische Zusammensetzung und/oder schwankende Stückigkeit geprägt. Dies betrifft insbesondere abfallbürtige Brennstoffe, Ersatzbrennstoffe und auch viele Biomassebrennstoffe.

Die Feuerungen für derartige Brennstoffe sind überwiegend Rost-basiert und dafür konzipiert, als *Allesschlucker* zu arbeiten, also nahezu jeden Brennstoff, so wie er *summativ* vorliegt, verarbeiten zu können. Die energetischen Grenzen dieser Eigenschaften werden durch das Feuerungsleistungsdiagramm vorgegeben. Grenzen der Stofflichkeit und der Stückigkeit gibt es nicht explizit. Primäres Ziel der Feuerung ist der vollständige Ausbrand aller feststofflichen und gasförmigen Komponenten des Brennstoffs.

Die Charakteristik von Brennstoffen für Rostfeuerungen, im Sinne deren Heterogenität in Bezug auf fast alle Eigenschaften, erschwert es, den Brennstoff in seinen Auswirkungen auf die Feuerung und den Dampferzeuger im Vorfeld der Verbrennung so zu diagnostizieren, dass diese Auswirkungen vorhersehbar oder zumindest unmittelbar einschätzbar sind bzw. für Regelungsprozesse nutzbar werden.

Sobald die summativen Brennstoffmerkmale, z. B. eines Greiferinhalts, den Beginn des Rostes erreichen, entstehen Auswirkungen dieses Brennstoffpakets, unter anderem auf die jeweiligen Orte der Energiefreisetzung, der Energieverteilung innerhalb der Feuerung(en), der stofflichen Merkmale der Schlacke, der thermischen und stofflichen Merkmale des Rauchgases, sowie der Wärmeübertragung im Dampferzeuger.

Die Feuerung in MVA/EBS-Anlagen und Biomasseanlagen wird durch Parameter der Feuerungsleistungsregelung gesteuert, die ihre Informationen aus bestimmten integrativen Messgrößen erhält (unter anderem Dampfmenge, O₂-Gehalt im Rauchgas, Deckentemperaturen Rauchgas 1. Zug, Kamerainformationen zur Feuerlage) und über Algorithmen den Prozess regelt.

Zudem gibt es umfangreiche Fachliteratur zur Modellierung der Feuerungsprozesse, also die Bereitstellung von Informationen über die Auswirkungen regelbarer Merkmale der Feuerung/Feuerführung, wie z. B. Verteilung der Lüfte, Roststabgeschwindigkeiten, Brennstoffdurchsatz, rezirkuliertes Abgas. Auch zu den Transferfaktoren von stofflichen Frachten des Brennstoffs aus dem Gutbett in das Rauchgas gibt es Modellierungen und empirisch basierte Informationen. Zudem gibt es Modellierungen und empirische Tests zu den Auswirkungen von Zusatz- bzw. Hilfsstoffen, die vor, in oder nach der Feuerung in den Prozessablauf eingebracht werden. Diese sogenannten Additive sollen bestimmte Prozessauswirkungen günstig beeinflussen. Hierbei kann es z. B. um Stickoxide, Verschmutzung oder Korrosion gehen. Hilfsstoffe sind unter anderem Harnstoff/Ammoniak, Schwefel, Wasser oder Mineralstoffe.

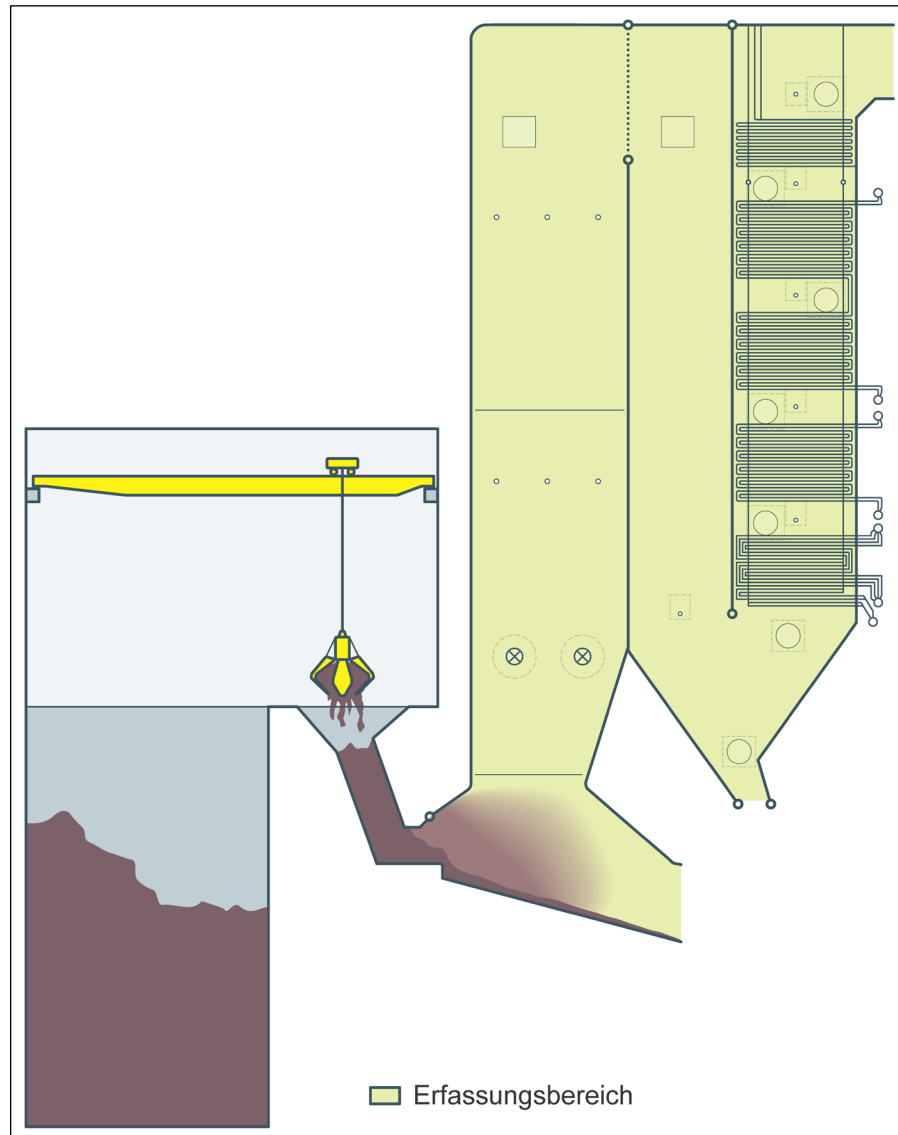


Abbildung 1: In-Situ-Labor, bestehend aus dem Brennstoffvorrat, dem Aufgabesystem, der Feuerung und dem Dampferzeuger.

Wenn zu akzeptieren ist, dass heterogene Brennstoffe zum Zeitpunkt der Verbrennung in einer Rostfeuerungs weitgehend unbekannte Brennstoffmerkmale aufweisen, bietet es sich an, den thermischen Prozess selbst zu einer möglichst aussagekräftigen In-Situ-Brennstoffdiagnose zu entwickeln, das heißt, den Prozessen in Feuerung und Dampferzeuger werden zusätzliche

Informationen entnommen, sodass – bildlich gesprochen – ein In-Situ-Labor entsteht, das die relevanten Brennstoffmerkmale ermittelt. Abbildung 1 zeigt dieses In-Situ-Labor, bestehend aus dem Brennstoffvorrat, dem Aufgabesystem, der Feuerung und dem Dampferzeuger. Bereiche, in denen keine (bzw. nur geringe) Informationen zu den Brennstoffmerkmalen vorliegen oder ermittelt werden, sind braun gefärbt. Bereiche, in denen Informationen zu den Brennstoffmerkmalen ermittelt werden und damit auch verfügbar sind, sind hellgrün gefärbt. Der gesamte Bereich der Feuerung und des Dampferzeugers eignen sich, Informationen für die In-Situ-Brennstoffdiagnose bereitzustellen.

Dieses In-Situ-Labor hat damit die Funktion einer *permanenten Testverbrennung*. Gleichzeitig mit der thermischen Umsetzung und energetischen Nutzung des Brennstoffs werden dessen Eigenschaften ermittelt. Mit anderen Worten, Feuerung und Dampferzeuger erhalten eine zusätzliche Verfahrenskomponente, nämlich die Brennstoffdiagnose. Die Informationen aus der Brennstoffdiagnose verflechten sich dabei unmittelbar mit den verschiedenen Prozessen der thermischen Umsetzung und energetischen Nutzung. Hierzu gehören insbesondere die Feuerungsprozesse, sowie Emissionsminderungsprozesse (z. B. Stickoxidminderung mittels SNCR) und Maßnahmen zur Optimierung der Wärmeübertragung (Online-Reinigungsverfahren).

Welche zusätzlichen Informationen können erhoben werden, um den Brennstoff zu charakterisieren? Welche sensorischen Hilfsmittel stehen zur Verfügung? An welchen Orten in der Prozessabfolge von Feuerung, Dampferzeuger und Rauchgasreinigung liegen relevante Informationen an und können abgegriffen werden? Welche Wirkungen bzw. Verbesserungen lassen sich mit dieser Art der Brennstoffdiagnose verfolgen? Die Hilfsmittel der In-Situ-Brennstoffdiagnose werden nachfolgend in Abschnitt 2 näher beschrieben.

Im Kern ermöglicht die In-Situ-Brennstoffdiagnose eine höhere Prozesstransparenz. Davon leiten sich mehrere Wirkungsebenen ab:

- Einerseits werden Brennstoffmerkmale „sichtbar“, die dazu genutzt werden können, Einfluss auf die vor- und nachgelagerten Schritte der Abfallverbrennung zu nehmen. Hierzu gehört u.a. Lieferantenkontrolle, Brennstoffeinkauf, Brennstoffmix, Additiveinsatz, Einhaltung der Emissionsgrenzwerte und Kenngrößen für die CO₂-Herkunft im Abgas.
- Andererseits ermöglichen die Informationen der In-Situ-Brennstoffdiagnose eine unmittelbare Einflussnahme auf die Prozessabläufe in der Feuerung (unter anderem Ausbrand der Schlacke und des Rauchgases) und im Dampferzeuger (unter anderem SNCR und Online-Reinigung).
- Vergleichmäßigung der Prozessmerkmale: Auch auf längeren Zeitachsen ergeben sich aus den Informationen der In-Situ-Brennstoffdiagnose Möglichkeiten der Prozessoptimierung. Die entscheidende verfahrenstechnische Wirkung ist hierbei eine räumliche und zeitliche Homogenisierung der Rauchgaseigenschaften an den jeweiligen Orten im Dampferzeuger, also insbesondere das Vermeiden von Strähnen und starken Schwankungen der Energieverteilung im Rauchgas. Diese Vergleichmäßigung der Prozessmerkmale wirkt mindernd auf Verschlackung, Verschmutzung und Korrosion.
- Energieeffizienz: Bedeutsame betriebswirtschaftliche Auswirkungen dieser Optimierung ergeben sich letztlich auch im Bereich der Energieeffizienz (längere Reisezeit, bessere Verfügbarkeit, höherer Wirkungsgrad), sowie bei den Kosten für Instandhaltung, Hilfsstoffe und den gegebenenfalls zukünftig zu entrichtenden CO₂-Abgaben [2].

Angesichts der aktuellen Anforderung, möglichst alle im Inland generierbare Nutzenergie vollumfänglich und optimal anzuwenden, ist die Option einer Anhebung der Energieeffizienz für MVA/EBS-Kraftwerke von hoher Relevanz.

2. Methoden zur In-Situ-Brennstoffdiagnose

Die nachfolgend beschriebenen Methoden der In-Situ-Brennstoffdiagnose teilen sich in zwei Maßnahmenbereiche auf:

- a) Ein Maßnahmenbereich ist, alle typischerweise vorhandenen Prozessinformationen (Betriebsdaten) durch Bilanzierung und Modellierung zu Metadaten zu verarbeiten.
- b) Ein zweiter Maßnahmenbereich ist, dem Verbrennungsprozess (inkl. Dampferzeuger) zusätzliche Informationen zu entnehmen. Dies erfolgt durch den Einsatz von Sensorik und Sonden. Dieser Maßnahmenbereich führt insbesondere zu orts aufgelösten Informationen.

2.1. Generierung von Metadaten durch Bilanzierung und Modellierung

Mit Hilfe der Bilanzierung können auf Grundlage von in der Anlage gemessenen Betriebsdaten unbekannte Größen berechnet werden bzw. gemessene Größen hinsichtlich der Plausibilität geprüft werden. Auf Grundlage der Erhaltungssätze existieren in der Verfahrenstechnik Bilanzierungsansätze, unter anderem für den Verbrennungsprozess, die Wärmeübertragung, für Trocknungs- und Befeuchtungsvorgänge usw., welche insbesondere zur Modellierung von Kraftwerksprozessen Anwendung finden. Die Verknüpfung dieser Bilanzierungsansätze ermöglicht es, Modelle einzelner Apparate oder Verfahrensbausteine bzw. Modelle einer Gesamtanlage zu erstellen und diese gekoppelt mit den Betriebsdaten im Sinne von Assistenz- bzw. Anlagen-Monitoringsystemen [3] zu analysieren. Dies ermöglicht es, Informationen und Wirkungen aus den vorliegenden, in den Anlagen gemessenen Betriebsdaten ableiten zu können.

Die heute in den Anlagen eingesetzten Prozessleitsysteme erlauben es in Verbindung mit Datenbanksystemen (Schnittstelle) und softwaregestützten spezifischen Anlagenmodellen (verfahrenstechnische Modellierung) die unterschiedlichen Prozesszustände online, das heißt kontinuierlich zu ermitteln und entsprechende Bewertungen durchzuführen sowie entsprechend informativ und nutzbringend zu visualisieren ([3] bis [8]).

Im Sinne der In-Situ-Brennstoffdiagnose können diese Bewertungen entsprechend um den Einfluss der Abfallqualität ergänzt werden. Insbesondere in Anlagen, in welchen die Brennstoffqualitäten nur begrenzt bei der Anlieferung betrachtet werden können, erscheint dieser Ansatz zielführend, gerade vor dem Hintergrund der sich zukünftig weiter verändernden Abfallqualitäten.

2.2. Sensorische Hilfsmittel

Die sensorischen Hilfsmittel der In-Situ-Brennstoffdiagnose werden vor allem im Bereich der Feuerung und der Nachverbrennung dauerhaft installiert. Zudem werden die gleichen sensorischen Hilfsmittel auch entlang des Rauchgasweges eingesetzt, unterstützt durch den temporären Einsatz von Sonden. Damit lässt sich der Brennstoff in seinen energetischen und stofflichen Eigenschaften charakterisieren. Dies kann z. B. sehr schnelle Prozesse einbeziehen (Feuerung) oder auch sehr langachsige Prozesse (Verteilung von Stofffrachten des Brennstoffs auf bestimmte Stoffströme und Spezies im Verlauf einer Reisezeit).

Die Sensoren und Sonden der In-Situ-Brennstoffdiagnose nutzen gezielt Wärme- und Stoffinformationen, die in der Feuerung und entlang des Rauchgasweges verfügbar sind.

Die im Bereich der Feuerung und Nachverbrennung ermittelten Wärmeinformationen charakterisieren die Energiefreisetzung unmittelbar, also ohne Zeitverzug, und orts aufgelöst, also entlang des Rostes und über die Höhe der gestuften Feuerung. Die eingesetzte Sensortechnik erlaubt die Erfassung der eingetragenen Wärmemenge in Bezug auf nahezu beliebig kleine

Wärmeübertragerabschnitte. Daraus ergibt sich eine hochaufgelöste Information über den Feuerungsprozess. Dies ist insbesondere im Bereich der einzelnen Verbrennungszonen von Interesse, da es damit möglich ist, die Teilprozesse der Feuerung (Zünden, Haupt- und Nachverbrennung sowie Ausbrand) separat zu bewerten.

Zudem werden Wärme- bzw. Temperaturinformationen auch in den verschiedenen Bereichen des Dampferzeugers erfasst. Es wird im Grundsatz die gleiche Sensoren-Technik eingesetzt, wie oben bei der Feuerung beschrieben, unterstützt durch den Einsatz von Sonden. Die Sonden sammeln stoffliche Informationen (unter anderem Belagseigenschaften, Aerosole, SO_3 -Fracht, Korrosionsprozesse) oder liefern optische Informationen (Hochtemperatur-Kamera-sonde).

Sensoren und Sonden wurden bereits in früheren Tagungsbeiträgen und Veröffentlichungen ausführlich vorgestellt ([9], [10], [11], [12] und [13]) und über die letzten Jahre kontinuierlich weiterentwickelt.

Eine beispielhafte Anordnung der Sensorik und der Sonden in der Feuerung und im Dampferzeuger zeigt Abbildung 2. Die Lage und Anzahl der Sensoren und Sonden ist abhängig vom Informationsbedarf und dem gewünschten Grad an Prozesstransparenz.

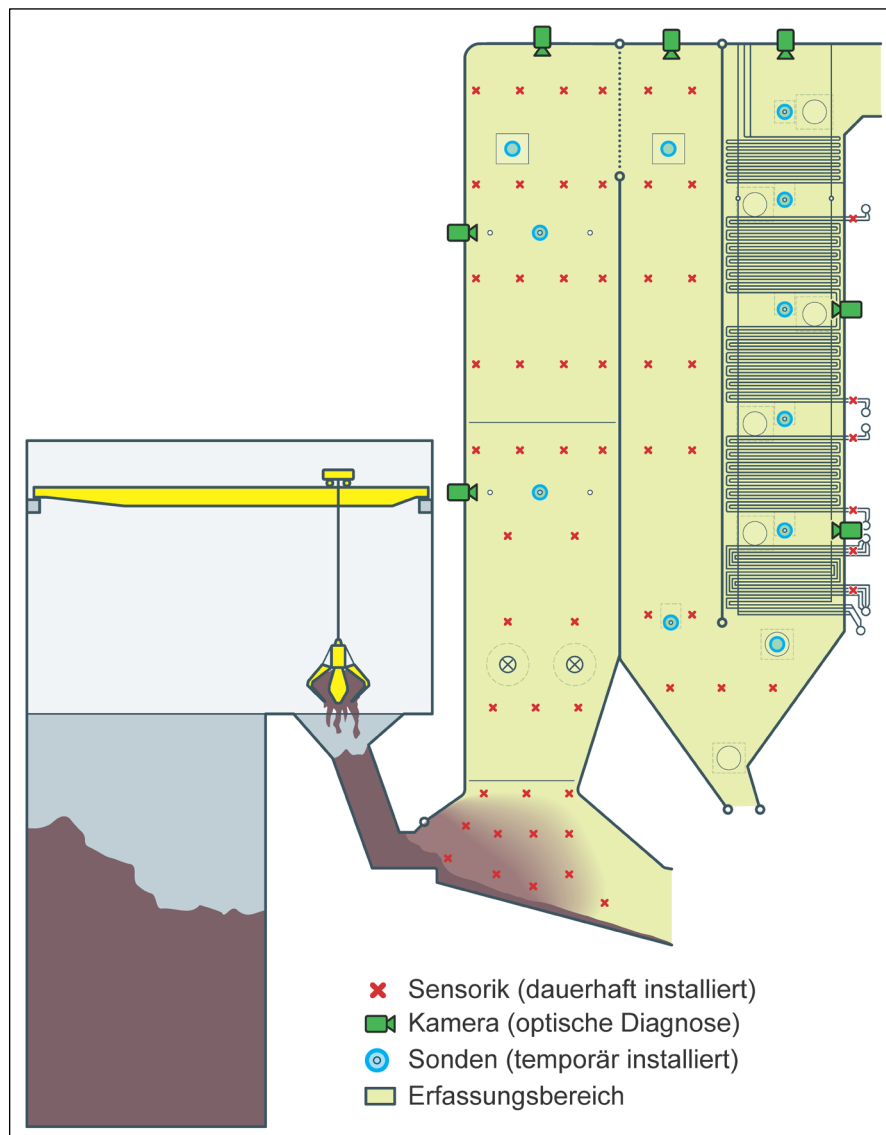


Abbildung 2: Beispielhafte Anordnung der Sensorik und der Sonden in der Feuerung und im Dampferzeuger.

Es ist leicht nachvollziehbar, dass die Informationen der In-Situ-Brennstoffdiagnose auch für spezifische Verfahrensschritte genutzt werden können, um diese zu optimieren, u.a. die SNCR Technik, Online-Reinigungsverfahren und den Einsatz von Additiven. Hierzu nachfolgend noch einige Anmerkungen und Beispiele.

Die Frachten an NO_x im Rauchgas und das Verschmutzungsverhalten des Dampferzeugers sind ein Abbild von stofflichen Brennstoffmerkmalen, die im Zuge der Feuerung in thermische und stoffliche Merkmale des Rauchgases übertragen werden. Für die Verschmutzung relevant sind hier vor allem die Anteile und Proportionen bestimmter Spezies im Brennstoff, wie z.B. Chlorverbindungen, Schwefelverbindungen, Alkaliverbindungen, Erdalkaliverbindungen und Schwermetallverbindungen, sowie das Verhältnis von inerten Stoffen und Salzen. Eng gekoppelt mit dem Verschmutzungsverhalten ist auch das Korrosionsverhalten der Wärmeübertragflächen.

Bezüglich der Wirkung der SNCR-Technik ist die im Bereich der Nachverbrennung installierte Sensorik relevant. Bezüglich Online-Reinigung ist die Sensorik dort positioniert, wo diese Technik angewendet wird, also sowohl im Strahlungsteil als auch im Berührungsteil.

Die Wirksamkeit der durch die Sensorik verfügbaren Informationen zur Wärmeverteilung und Wärmeauskopplung in Bezug auf die optimale Betriebsweise der SNCR- und der Online-Reinigungstechnik beruht darauf, dass sowohl diese Technik der Entstickung als auch die Belagsbildung durch die Temperaturniveaus und die Temperaturverteilung im Rauchgas stark beeinflusst werden. Inhomogene Wärmeverteilungen im Rauchgas (z. B. Schief lagen) bzw. starke zeitliche Schwankungen der Rauchgastemperaturen sind grundsätzlich nachteilig.

Abbildung 3 zeigt am Beispiel einer MVA, wie die installierte Sensorik zu Informationen der Prozessführung der (Spreng-)Reinigung von Verdampferheizflächen genutzt werden kann. Die Signale der Wärmestromsensorik zeigen präzise die Wirkung der Online-Reinigung für jeden Sensorik-Ort, aufgelöst für jeden der Reinigungsschritte. Eine parallel zur Reinigung durchgeführte Inspektion mit der Hochtemperatur-Kamerasonde bestätigt diese Befunde. Vorteil der dauerhaft installierten Sensorik ist hier die Möglichkeit der frühzeitigen Einschätzung des Reinigungsbedarfs. Zudem bietet die Sensorik eine detaillierte Information zum Reinigungserfolg (Ortsbezug).

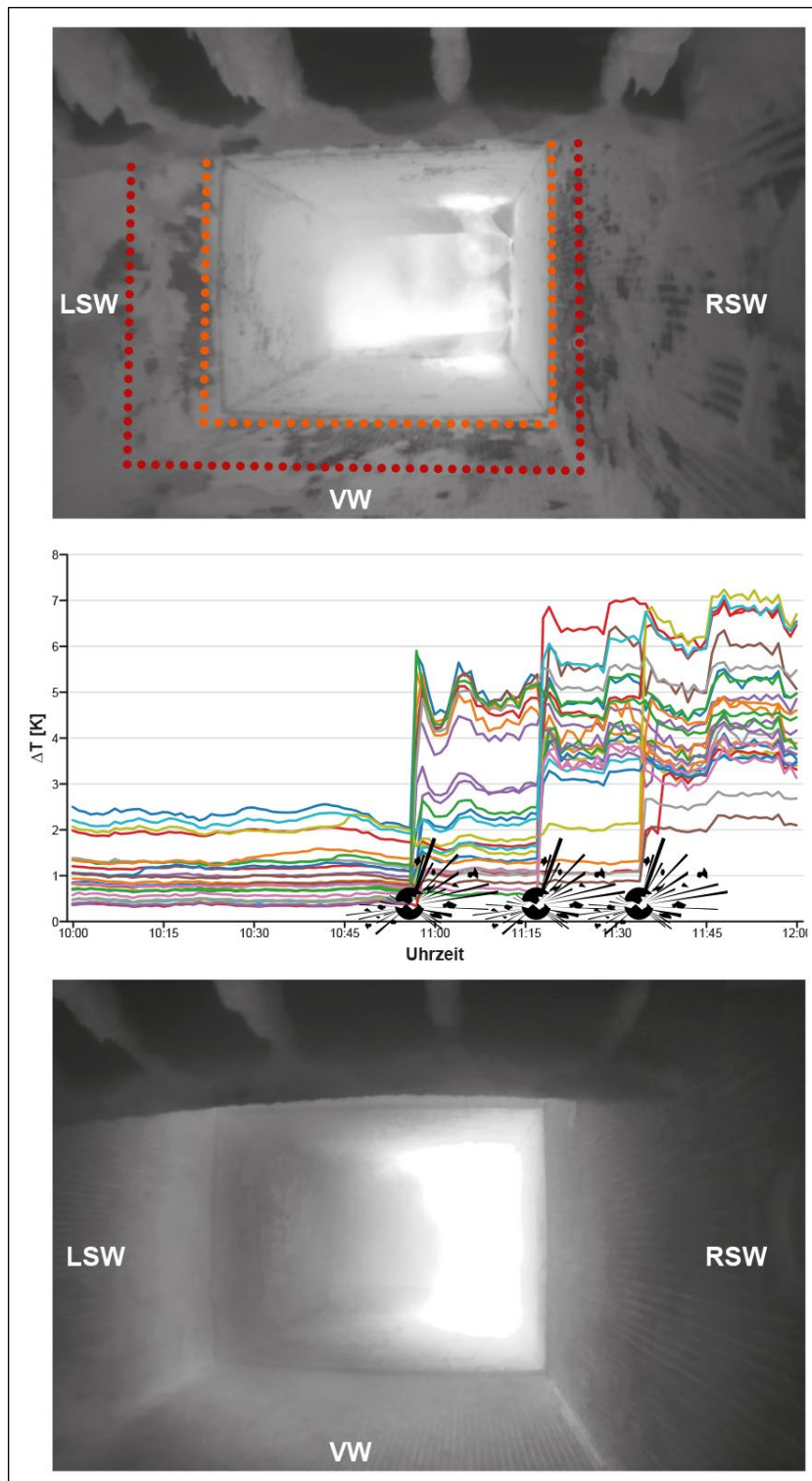


Abbildung 3: Dargestellt ist eine Verdampferwand vor (oben) und nach (unten) Abreinigung mittels Sprengung.

Überwacht wird die Reinigung ergänzend zur visuellen Beobachtung mittels Hochtemperaturkamera mit Sensorik. Diese ist auf Höhe der roten und orangenen Linie von außen an der Verdampferwand installiert. Anhand der Sensorikdaten sind deutlich die drei durchgeführten Sprengreinigungen zur Belagsabreinigung zu erkennen (Sprungantwort). An allen Messorten konnte eine Reinigungswirkung erzielt werden. Die Wärmeauskopplung der gereinigten Flächen wurde dadurch deutlich verbessert.

3. Perspektive der In-Situ-Brennstoffdiagnose

Für den Markt der Abfall-, EBS- und Biomasseanlagen ergeben sich aus aktueller Sicht vielfältige Anpassungs- und Optimierungsanforderungen. Dies ist unter anderem ausgelöst durch nationale Vorgaben und EU-Regelungen, den Wunsch nach Energieeffizienz und die Bemühungen im Kontext von Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz.

Der vorliegende Beitrag stellt die Option ins Zentrum, dass sich bei heterogenen und stofflich komplexen Brennstoffen durch die Beschaffung von zusätzlichen Informationen aus den Prozessen der Feuerung und des Dampferzeugers ein betriebswirtschaftlicher und gesellschaftlicher Vorteil generieren lässt. Die dabei wirksamen Hebel sind geringere Instandhaltungsaufwendungen, höhere Energieeffizienz, flexiblerer Brennstoffeinsatz (also Nutzung des Energieinhalts diverser Stoffströme, unter anderem aus der Landwirtschaft).

Die In-Situ-Brennstoffdiagnose ist in Teilanwendungen bereits mehrfach im Markt realisiert und die damit erzielbaren Wirkungen sind belegt. Im nächsten Schritt wird die Gesamtkonzeption der Metadaten und der Sensorik/Sonden-Daten an Anlagenstandorten umgesetzt. Dies erfolgt nicht als F+E-Maßnahme, sondern wird direkt im und für den Markt (Anlagenbau und Betreiber) entwickelt. So ergibt sich z. B. im Bereich der altholzgefeuerten Kraftwerke an vielen Standorten in den kommenden Jahren eine Chance und auch ein gewisser Zwang zur Flexibilisierung des Brennstoffmix, sobald die EEG-Bindung entfällt. In diesen Kraftwerken liegen für solch komplexe Brennstoffe keine ausreichenden Erfahrungen vor. Die In-Situ-Brennstoffdiagnose kann die notwendigen operativen Anpassungen schnell aufzeigen und die Prozessführung optimieren. Ähnliche Anforderungen ergeben sich bei Brenner-gestützten Feuerungen im Zuge der Umstellung von Kohle auf Biomassebrennstoffe. Auch bei den Abfallverbrennungsanlagen und EBS-Kraftwerken ändern sich aktuell gehäuft die Eigenschaften der Brennstoffe und der Brennstoffmix.

Der Grundgedanke der In-Situ-Brennstoffdiagnose, also die Überlagerung des Prozesses der thermischen Nutzung mit einem gleichzeitigen Prozess der Erfassung von Brennstoffmerkmalen, ist naheliegend, denn erprobte Informationstechnologie und Sensorik steht für diese Zwecke zur Verfügung und kann als stabile Prozesskomponente eingesetzt werden.

Die In-Situ-Brennstoffdiagnose unterstützt die Bewältigung der aktuell dynamischen Umbrüche in Bezug auf die thermische Nutzung/Verwertung von Energieinhalten diverser Stoffströme.

4. Literatur

- [1] Pohl, M.; Wen, T.; Jentschke, L.; Kaiser, M.; Brell, J.; Spiegel, W.: Möglichkeiten zur In-Situ Brennstoffdiagnose für heterogene Abfallströme. In: Thiel, S; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P; Gosten, A. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 19. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2022, S. 534-551
- [2] Pohl, M.; Becker, G.; Heller, N.; Birnstengel, B.; Zotz, F.: Auswirkungen des nationalen Brennstoffemissionshandels auf die Abfallwirtschaft. Studie im Auftrag des BMWK, März 2022
- [3] Pohl, M.; Wen, T.: Modellbasierte Betriebsdatenanalyse zur Effizienzsteigerung – Verknüpfung von verfahrenstechnischem Modell und Sensor-Daten eines Kraftwerks. In: Beckmann M., Hurtado A. (Hrsg.): KRAFTWERKSTECHNIK 2018. Power Plant Technology. Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, 2018, S. 87-97.

- [4] Beckmann, M.; Horeni, M.; Metschke, J.; Krüger, J.; Papa, G.; Englmaier, L.; Busch, M.: Optimierung von Müllheizkraftwerken durch Einsatz eines Online-Bilanzierungsprogramms. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Optimierung der Abfallverbrennung 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2005, S. 219-240.
- [5] Horeni, M.: Möglichkeiten für die energetische Optimierung von Müllverbrennungsanlagen - Entwicklung, Erprobung und Validierung eines Online-Bilanzierungsprogramms. Papierflieger, 2007. – Dissertation an der Bauhaus Universität Weimar, ISBN 3-89720-889-X.
- [6] Zeltner, S.: Senkung stickstoffbasierter Emissionen in Wirbelschichtanlagen durch den Einsatz von Onlinebilanzierungsmethoden. Schriftenreihe: des Fachgebietes Abfalltechnik Dissertationen, Band 23, 2020. ISBN: 978-3-7376-0868-8
- [7] Pohl, M.; Wen, T.; Jentschke, L.; Bernhardt, D.; Beckmann, M.: CO₂-Sensor - Vom Abgas zum Brennstoff. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik 2021 - Power Plant Technology, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, 2021, S. 231-246, ISBN 978-3-949169-01-4, E-Book: ISBN 978-3-949169-02-1.
- [8] Pohl, M.; Wen, T.; Jentschke, L.; Kaiser, M.; Brell, J.; Spiegel, W.; Bernhardt, D.; Graube-Kühne, F.; Kehr, T.; Beckmann, M.; Geese, B.; Durwen, M.; Sauer, S.: Assistenz- und Monitoringsystem zur intelligenten Kesselreinigung im Kraftwerk Schkopau. 52. Kraftwerktechnisches Kolloquium, 06.-07. Oktober, Dresden, In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik 2020, Power Plant Technology, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, S. 623-632
- [9] Kaiser, M.; Spiegel, W.: Corrosion/Fouling Environment Evaluation in MVA und Biomasseanlagen. In: Beckmann, M. und Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik 2021 Power Plant Technology, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft mbH, S. 119–129
- [10] Brell, J.; Kaiser, M.; Schneider, D.; Hohmuth, S.; Taubner, S.: Temperatursensorik an realen und temporär eingebauten Bauteilen in Dampferzeugern mit schwierigen Brennstoffen. In: VGB PowerTech, Ausgabe 6/2017, S. 33–36.
- [11] Brell, J.; Kaiser, M.; Schneider, D.; Taubner, S.: Prozessdiagnose und -optimierung mit Sonden und Sensoren. VGB-Fachtagung „Thermische Abfallverwertung und Wirbelschichtfeuerungen 2016“, 15. – 16. November, Berlin
- [12] Brell, J.; Taubner, S. (2015): Temperatursensorik: Neue Wege zur Prozessoptimierung. In: Pohl, M. (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion 2015. Wechselwirkungen – Diagnosemethoden – Minderungsstrategien – Erfahrungen, Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft mbH, S. 41–50
- [13] Kaiser, M.; Schneider, D.; Brell, J.; Molitor, D.; Kuttner, T.: Effizienzsteigerung – Anwendung der Temperature-Range-Probe zur Optimierung der Werkstoffwahl in MVA. VGB PowerTech, Ausgabe 10/2015, S. 53–58.