

Einsatz innovativer Rußblätersysteme zur effizienten Überhitzerreinigung mit Wasser

Dimitri Mousko, Leopold Grosej, Manfred Frach und Christian Mueller

1.	Einführung	418
2.	System- und Funktionsbeschreibung	420
3.	Fallbeispiel	422
4.	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	426
5.	Literatur	426

Kurzfassung

Die in Müllverbrennungsanlagen, Biomassekesseln sowie in Ersatzbrennstoffkesseln eingesetzten Brennstoffe variieren von sortenreinen hochqualitativen Fraktionen bis zu vielfältigen Kombinationen von schwierigen Brennstoffen mit eventuell gefährlichen bzw. unbekanntem Komponenten. Die daraus resultierende Vielzahl an möglichen Brennstoff- und Aschezusammensetzungen ist enorm. Dies ist sehr oft ein Grund für das starke Verschlackungs- und Verschmutzungsverhalten in einem Kessel, das zu reduzierter Wärmeübertragung und unter Umständen auch zu intensiver Korrosion führen kann. Hieraus kann für die Kesselbetreiber die Problematik der begrenzten Anlagenverfügbarkeit, des reduzierten Wirkungsgrades und der damit verbundenen Verluste entstehen.

Dieser Beitrag stellt ein automatisches, hocheffizientes und präzises on-load Kesselreinigungssystem für die Reinigung der konvektiven Heizflächen eines Kessels vor. Das Besondere an diesem System ist das Reinigungsmedium Wasser, welches anstelle von Dampf im Konvektivteil verwendet wird. Eine weitere Besonderheit ist das innovative System zur exakten Positionierung der Wasserdüse in den Gassen der Heizflächen.

Anhand eines aktuellen Falls werden die Herausforderungen für einen Kesselbetreiber aufgrund des schwierigen Brennstoffes beschrieben. Hierzu wird eine Installation in einer mit Haus- und Industriemüll befeuerten Abfallverbrennungsanlage vorgestellt. Es wird aufgezeigt, wie durch den gezielten Einsatz eines innovativen Reinigungsverfahrens in Kombination mit detaillierten Prozesskenntnissen die brennstoffspezifischen Herausforderungen erfolgreich bewältigt werden können.

1. Einführung

Die Verschmutzungen in konvektiven Heizflächen können sich unter Umständen so hartnäckig ausbilden, dass die konventionelle on-load Reinigung mit Dampf-rußbläsern zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis führt. Die Gründe hierfür sind vielschichtig und reichen von komplexen, schwankenden Brennstoffeigenschaften, verfügbarer Qualität des Reinigungsdampfes bis zum Kesselbetrieb weit außerhalb der Auslegungsbedingungen. Die Folgen sind in der Regel eine verringerte Kesselverfügbarkeit und -effizienz.

Zu den problematischen Brennstoffen mit starker Tendenz zu Verschmutzung bzw. Verschlackung gehören einzelne Braunkohlen, Haushalts- und Industriemüll, Biomasse sowie Ersatzbrennstoffe [1 bis 6].

Ablagerungen können sich in allen Kesselbereichen – Feuerraum, Leerzüge (bei MVAs/Biomassekesseln), Konvektivteil – bilden. Im Zuge ständig steigender Anforderungen der Betreiber hinsichtlich Anlagenverfügbarkeit und Brennstoffflexibilität werden unterschiedliche Verfahren zur Erfüllung dieser Forderungen diskutiert. Hierbei sind Verfahren hinsichtlich ihres Entwicklungsstadiums zu unterscheiden.

Neben der Verwendung *guter* Brennstoffe besteht eine Möglichkeit zur Vermeidung intensiver Ablagerungen in der aufwendigen Aufbereitung der Brennstoffe und damit Anpassung der Brennstoffeigenschaften [7]. Hohe Prozesskosten führen hier gegenwärtig noch zur Unwirtschaftlichkeit dieses Verfahrens und bedürfen weiterer Entwicklungsarbeit. Eine andere Methode besteht in der gezielten Mischung von Brennstoffen [8]. Auch wenn diese Methode sich sowohl im Labor als auch in realen Anlagen bereits bewährt hat, ist ein industrieller Einsatz auf Grund mangelnder lokaler Verfügbarkeit von Brennstoffen nicht zu erwarten.

Neben diesen auf den Brennstoff und die Vermeidung von Belägen ausgerichteten Verfahren hat sich ein anderer Ansatz in der Praxis bereits bestens bewährt – die effiziente und bedarfsorientierte on-load Kesselreinigung zur Entfernung von Verschlackung und Verschmutzung. Clyde Bergemann setzt hier auf die SMART CLEAN ISB Plattform. Diese Art der Kesselreinigung basiert auf der Grundidee, flexibel steuerbare Reinigungssysteme mit den aktuellen Prozessbedingungen über Diagnose- und Analysensysteme zu verbinden. Die Diagnose ausgewählter Prozessgrößen erfolgt hierbei über speziell entwickelte Sensorsysteme unterschiedlicher Ausprägung und Komplexität. Die Messwerte der Prozessgrößen werden im Analysezentrum von eigens entwickelten Softwaremodulen interpretiert und bewertet. Hieraus leiten sich dann Empfehlungen für notwendige Reinigungsaktionen ab, die die folgenden Informationen beinhalten:

- **Wo** im Kessel befindet sich der Belag?
- **Wie** intensiv muss die Reinigung zur Belagsentfernung sein?
- **Wann** ist der beste Zeitpunkt zur Auslösung der Reinigungsaktion?

Diese Empfehlungen werden an das Entscheidungszentrum weitergeleitet, das diese unter Erhaltung der Kesseleffizienz und -verfügbarkeit prüft und unter Berücksichtigung verfahrenstechnischer Faktoren ausführt.

Nach erfolgreicher Markteinführung von Reinigungssystemen, die den Feuer- raum [9, 10] und die Leerzüge [11 bis 13] eines Dampferzeugers mittels Wasser reinigen, wird in diesem Beitrag ein weiterentwickeltes Reinigungssystem zur Reinigung des Konvektivteils vorgestellt.

Um den Kesselbetrieb auch im Falle einer schweren Verschmutzungssituation sicher zu gestalten, entschied sich Clyde Bergemann, die Reinigungsintensität im Überhitzerbereich zu erhöhen. Zum einen wird Wasser als Reinigungsmedium eingesetzt und zum anderen ein neuartiges Antriebskonzept zur Ausführung des Reinigungsvorganges verwendet. Bei diesem Antriebskonzept sind Vorschub und Rotation voneinander getrennt, so dass flexible Reinigungsfiguren sowie ein neuartiger Reinigungsbetrieb – Go-Stop-Clean-Go – entstehen.

Reinigungsmedium Wasser

Die Verwendung von Wasser als Reinigungsmedium für den konvektiven Teil des Kessels ist eine relativ neue Reinigungsmethode. Eine thermische Belastung der Metalloberfläche der Rohre durch eine zu häufige Beaufschlagung mit Wasser, eine zu frühe Reinigung oder Überreinigung, muss unbedingt vermieden werden.

Eine eigens von Clyde Bergemann entwickelte Strahlunterbrechungstechnik verfolgt dieses Ziel. Als Ergebnis wurde ein neuartiger Go-Stop-Clean-Go Betrieb in der Kesselreinigungstechnik eingeführt. Das Besondere an dieser Reinigungsweise ist, dass die Reinigung nur in den definierten Bereichen stattfindet, z.B. zwischen den Gassen der Überhitzerheizflächen. Der Wasserstrahl trifft somit nur auf die Beläge und nicht auf die Metalloberflächen der Rohre. Durch den sofortigen Stopp des Wasserstrahls während des Wechsels der Düsenkopfposition gelangt kein überflüssiges Wasser in den Kessel. Stattdessen läuft das Wasser in einem Kühlkreislauf durch das Rußbläserlanzenrohr zurück zur Wasserversorgungsstation.

Der neue Go-Stop-Clean-Go Betrieb des auf der SMART Helix Technologie basierenden Wasserbläsert ermöglicht eine besonders effiziente und gleichzeitig selektive, sowie schonende Reinigung der konvektiven Heizflächen von Dampferzeugern. Diese Technik hat sich bereits in mehreren Installationen erfolgreich bewährt.

Neuartiges Rußbläsersystem

Das neuartige Rußbläsersystem RX-SMART Helix-W basiert auf der SMART Helix Technologie. Das besondere an dieser Technologie ist die Trennung von axialem Vorschub und Rotation über zwei getrennte Antriebe. Dadurch können besonders flexible Helix-Figuren bzw. verschiedene oszillierende Blasfiguren und ein Go-Stop-Clean-Go Modus erzeugt werden.

Im Unterschied zu konventionellen Rußbläsern nutzt der RX-SMART Helix-W Wasser als Reinigungsmedium. Dabei bilden ineinander liegende Rohre zwei separate Wasserkreisläufe.

In Bild 1 wird der Düsenkopf schematisch dargestellt. Das ankommende Wasser (1) kann einen Kühlkreislauf (2) bilden oder durch die spezielle Wasserdüse (3)

in den Kessel als Reinigungsmedium eingebracht werden. Wird aus verfahrenstechnischen Gründen kein Wasserstrahl benötigt, läuft das Wasser über den Kühlkreislauf zurück zum Wasseraustrittsmodul und kann bei Bedarf wiederverwendet werden. Der Reinigungswasserstrahl entsteht, wenn der Systemwasserdruck schlagartig mittels Druckerhöhungspumpe steigt (ohne Erhöhung des Gesamtwasserdurchflusses).

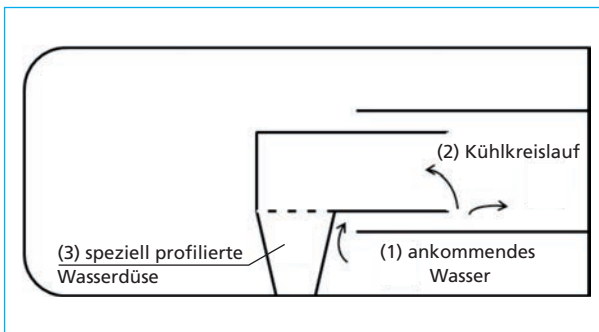


Bild 1:

Düsenkopfskizze (1) – ankommendes Wasser (2) – Kühlkreislauf (3) – speziell profilierte Wasserdüse

2. System- und Funktionsbeschreibung

Bild 2 zeigt die Hauptmodule einer Einzelinstallationsvariante. Eine Medienversorgungsstation besteht im Wesentlichen aus den Instrumentenmodulen Pumpe, Wassereintritt und Wasseraustritt. An einer Medienversorgungsstation können bis zu vier Rußbläser angeschlossen werden. Das Wasser durchläuft diese Module wie folgt:

- **Pumpe:** Hier wird Wasser auf einen konstanten Druck gebracht.
- **Wassereintritt:** Kontrolle und Vermessung des Wasserflusses.
- **Rußbläser:** Wasser fließt im Kühlkreislauf entlang der Rohraußenwand und durch das Innenrohr oder verlässt den Rußbläser durch die spezielle Düse.
- **Wasseraustritt:** Das Wasser aus dem Kühlkreislauf gelangt in das Instrumentenmodul Wasseraustritt. Dort wird der Wasserdurchfluss erneut gemessen und geregelt. Bei Bedarf kann das erwärmte Wasser durch einen Wärmeaustauscher geleitet und anschließend wiederverwendet werden.

Wie in Bild 2 dargestellt, gibt es drei mögliche Wasserflüsse: V1, V2 und V3. Die Wassereintrittsmenge V1 wird definiert als die Summe aus Kühlkreislaufmenge V2 und Reinigungsmenge V3.

Im Reinigungsbetrieb spaltet sich die Wassereintrittsmenge V1 in zwei Durchflüsse: Kühlkreislaufmenge V2 und Reinigungsmenge V3. Diese Entkopplung ermöglicht eine flexible Reinigung unabhängig vom Fahrweg des Rußbläfers und den Rauchgastemperaturen.

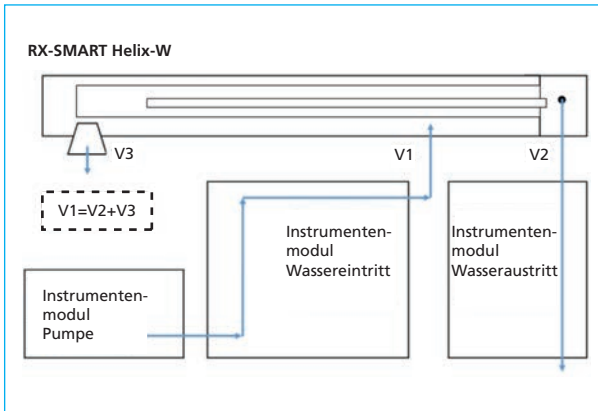


Bild 2:

Überblick über die verwendeten Module

Reinigungsmodus

Folgende Betriebs- und Reinigungsmodi sind mit der SMART Helix Technologie möglich:

- Rotationsmodus (mit und ohne axialen Vorschub)
- Pendelmodus bzw. Oszillationsmodus (mit und ohne axialen Vorschub)
- Axialmodus ohne Rotation
- Kombiniertes Modus (z. B. Go-Stop-Go)

Von großer Bedeutung für das Dampfpußblasen ist der so genannte *Go-Stop-Go* Betriebsmodus. Dabei wird der Rußbläser zuerst im Pendelmodus (bzw. Rotationsmodus) zur Startposition gefahren, reinigt im Oszillationsmodus für eine bestimmte Zeit und fährt anschließend weiter zu nächsten Position. Dabei ist der Dampfstrom kontinuierlich für die Kühlung des Lanzenrohres notwendig (s. Bild 3).

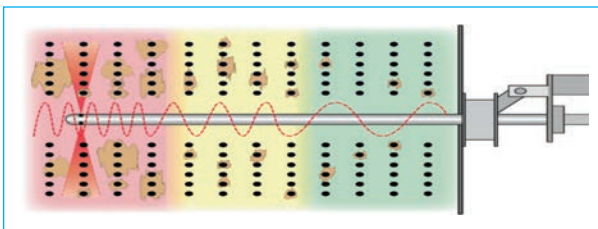


Bild 3:

Schematische Darstellung des Go-Stop-Go Betriebes. Die rote Linie repräsentiert eine Helix-Figur des Dampfstrahls.

Beim neuen RX-SMART Helix-W Rußbläser ist der Kühlprozess vom Reinigungsprozess entkoppelt. Dadurch kann der Go-Stop-Go Modus durch eine zusätzliche Funktionalität, die Unterbrechung des Blasstrahls, erweitert werden. Dieser neue Modus heißt dann *Go-Stop-Clean-Go*. Bild 4 zeigt beispielhaft eine Blasfigur im *Go-Stop-Clean-Go* Modus. Der neue Modus hat Vorteile gegenüber dem Go-Stop-Go Modus. Zum einen können bestimmte Zonen vollkommen von der

Wasserbeaufschlagung ausgespart werden. So wird z.B. nur zwischen den Gassen gereinigt, ohne die Metalloberflächen der Rohre zu treffen (s. Bild 4). Zum anderen kann die Reinigungsintensität durch Variation des Reinigungsdruckes und der Verweilzeit jederzeit und für jede Zone bedarfsorientiert angepasst werden.

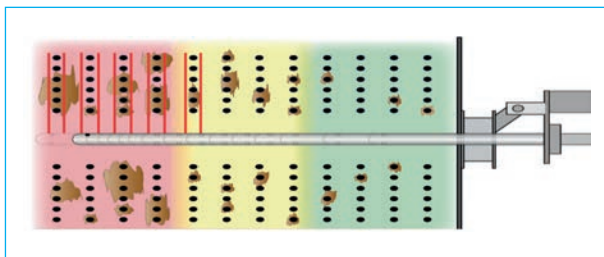


Bild 4:

Schematische Darstellung des Go-Stop-Clean-Go Modus. Der Blasstrahl wird während der axialen Fortbewegung unterbrochen.

Anwendung und Erfahrung

Das vorgestellte Rußbläuersystem ist bereits in mehr als zwanzig Abfall-/Ersatzbrennstoff-Verbrennungsanlagen, Biomassekesseln sowie mit Braunkohle befeuerten Industriekesseln installiert. Folgende Vorteile konnten dabei festgestellt werden:

- Effiziente und schonende Reinigung des Konvektivteils
- Vermeidung ungeplanter Kesselstillstände
- Langfristige Stabilisierung der Rauchgastemperaturen im Konvektivteil
- Stabiler Kesselbetrieb

3. Fallbeispiel

Ausgangssituation

Nachfolgendes Fallbeispiel bezieht sich auf eine Abfallverbrennungsanlage für Industrie- und Haushaltsmüll. Die im Jahr 1988 gebaute Anlage verfügt über eine Linie mit einer Kapazität von 38 t/a. Eine Analyse der Ascheproben aus dem Kessel ergab sehr hohe Konzentrationen von Chlor und Calcium von jeweils etwa 20 % sowie von bis zu 10 % Natrium (Bild 5). Eine solche Aschezusammensetzung hat zu besonders starken Verschmutzungen im Überhitzer geführt.

Weiterhin wurden bei der Kesselauslegung einige prozesstechnisch ungünstige Entscheidungen getroffen. Der Rostfeuerungskessel hat keine Leerzüge, so dass die Rauchgase vor Eintritt in den Überhitzer nicht abgekühlt werden (s. Bild 6).

Somit wird das Verschmutzungsverhalten im Überhitzer gleichzeitig von zwei Faktoren negativ beeinflusst: eine ungünstige chemische Zusammensetzung der Brennstoffasche und die fehlende Abkühlung der Rauchgase vor Eintritt in den Überhitzer. Das führte zu starken Verschmutzungen der Heizflächen mit gravierenden Konsequenzen.

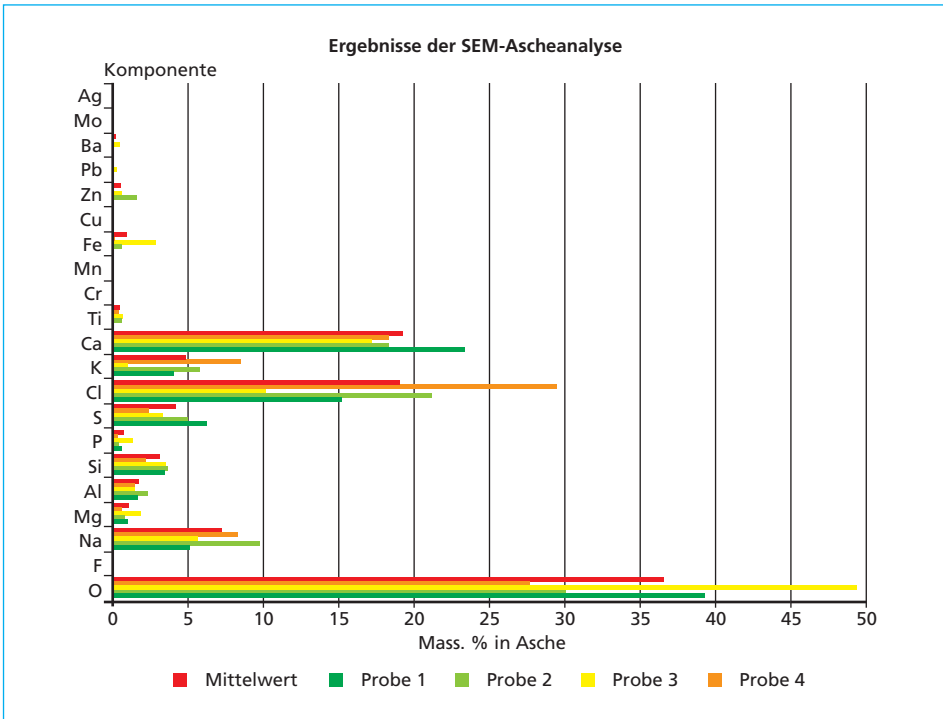


Bild 5: Ergebnisse der SEM Analyse (Scanning Electron Microscopy) der Asche

Sowohl die Rauchgastemperatur nach dem Feuerraum (FEGT), als auch die Temperatur nach dem Konvektivteil des Kessels stiegen kontinuierlich während der Reisezeit auf unzulässig hohe Werte an. Die konventionelle Dampfreinigung brachte keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Die Verschmutzung des ersten

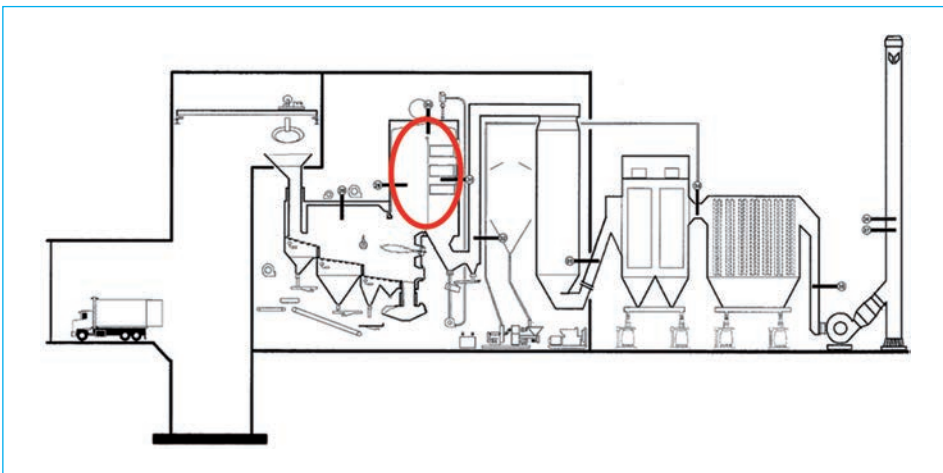


Bild 6: Prinzipielles Schema der MVA

Überhitzers war so stark, dass dieser nach zwei Monaten Betriebszeit komplett mit Ablagerungen zugesetzt war. Die resultierende Kesselreisezeit wurde auf etwa 2.000 h beschränkt. Als Folge kam es zu ungeplanten Kesselstillständen. Bei der erforderlichen manuellen Reinigung wurden mehrere Tonnen Asche entfernt.

Lösung

Clyde Bergemann hat eine Lösung erarbeitet, die aus zwei RX-SMART Helix-W Rußbläsern und einem individuell auf die Anlagenverhältnisse und die -verfahrenstechnik angepassten Rußblaseprogramm bestand. Der Reinigungsablauf der Wasserbläser wurde in das Gesamtkonzept der Kesselreinigung logisch eingebunden. Die Wasserbläser wurden in besonders kritischen Bereichen zur Abreinigung der Kesseldecke und des ersten im Rauchgaszug befindlichen Überhitzers installiert (Bild 7).

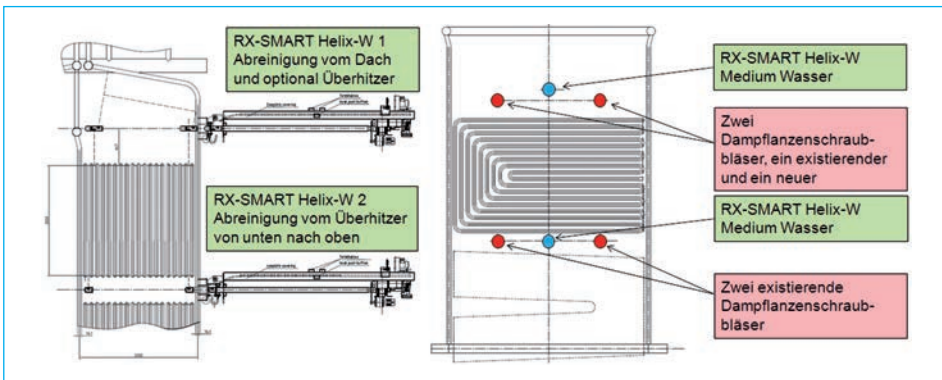


Bild 7: Installationsübersicht der existierenden und der neu installierten Rußbläser

Bild 8 zeigt die Heizflächenverschmutzung vor und nach der Rußbläser-Installation. Es ist zu sehen, dass die Verschmutzungen den Rauchgaszug nahezu vollständig blockierten und daher die Kesselverfügbarkeit negativ beeinflussten.

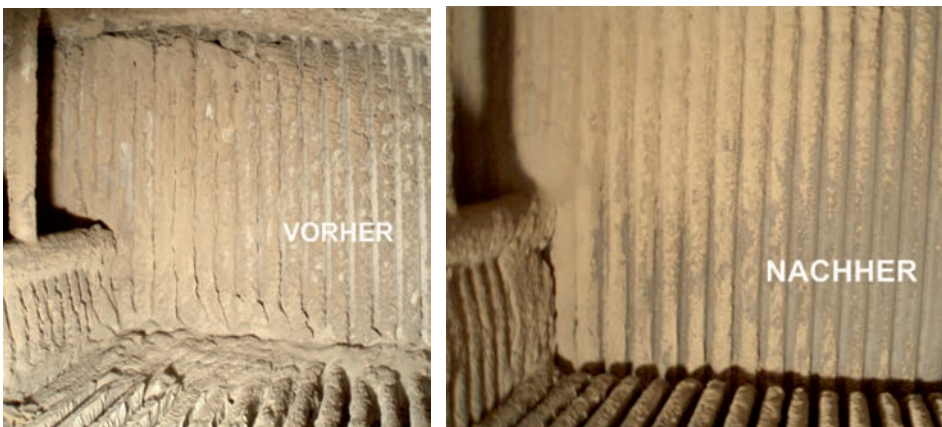


Bild 8: Beispiel einer Überhitzerheizfläche im konvektiven Teil vor und nach der Installation

Nach der Installation konnte dieses Problem komplett beseitigt werden, wodurch sich die Kesselverfügbarkeit entscheidend erhöhte. Während der ersten sechs Monate nach der Installation wurde der Kessel nur für wenige Tage zu Inspektionszwecken abgefahren. Die Inspektion zeigte, dass es keine Ansätze für verschmutzungsbedingte Schwierigkeiten gab. Es konnte eine Verdreifachung der Kesselreisezeit auf etwa 6.000 h mit einem Potenzial zur Steigerung auf 8.000 h erreicht werden.

Die signifikante Verbesserung der Verschmutzungssituation führte auch zur langfristigen Senkung der Rauchgastemperaturen nach dem Überhitzer. Bild 9 zeigt die Rauchgastemperaturen über eine Periode von vier Monaten nach der Installation. Die obere Linie repräsentiert die Rauchgastemperatur im Feuerraum, die mittlere Linie die Temperatur am Feuerraumaustritt und die untere Linie die Temperatur vor dem Economizer, d.h. nach dem Überhitzer.

Es ist offensichtlich, dass die Rauchgastemperatur am Feuerraumaustritt kontinuierlich von etwa 700 °C auf bis zu 730 °C nach zwei Monaten Kesselbetrieb steigt. Dies repräsentiert die Bildung der Grundverschmutzung. Danach bleibt die Temperatur mit leicht steigender Tendenz konstant.

Die Rauchgastemperatur nach dem Überhitzer bzw. vor dem Economizer hat während des dargestellten Zeitraums einen konstanten Verlauf und liegt im Bereich von etwa 270 °C bis 280 °C. Ein solch stabiler Temperaturverlauf ist das Ergebnis der effizienten Reinigung des Überhitzers.

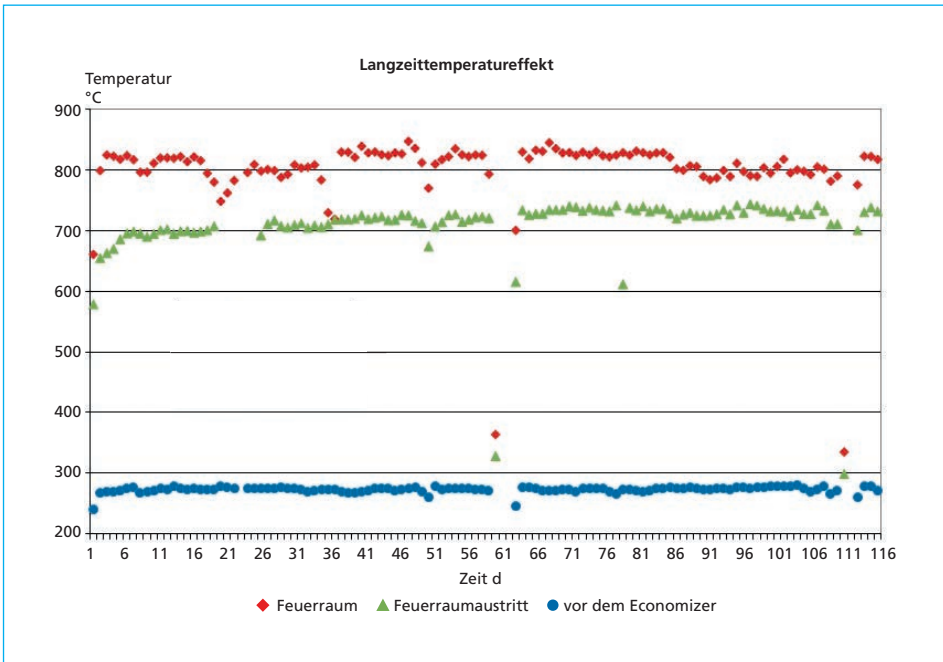


Bild 9: Rauchgastemperaturverlauf über eine Periode von 3.000 Stunden nach der Installation

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein neuartiges, vollautomatisches und hocheffizientes Reinigungssystem zur Entfernung von Belägen im konvektiven Bereich eines Dampferzeugers wurde vorgestellt. Das Neue an diesem System ist zum einen die Verwendung von Wasser anstelle von Dampf als Reinigungsmedium und zum anderen die präzise Positionierung der Wasserdüse.

Dank der Anwendung der Wasserreinigung erhöht sich die Reinigungsintensität signifikant. Dadurch werden der Wärmeaustausch und damit auch die Rauchgastemperaturen (über einen längeren Zeitraum) positiv beeinflusst.

Die neue Technik zur Wasserstrahlpositionierung ermöglicht eine exakte Ausrichtung des Wasserstrahls, so dass nur die zu reinigenden Kesselzonen mit Wasser beaufschlagt werden – der Go-Stop-Clean-Go Reinigungsmodus.

Die Kombination dieser beiden Neuheiten in einem Reinigungssystem ermöglicht eine intensive und selektive on-load Reinigung von Industriekesseln, Abfallverbrennungs-, Biomasse- und Ersatzbrennstoff-Anlagen. Durch Vermeidung unkontrolliert entstehender Verschmutzungen im Konvektivbereich können die Reisezeiten der Anlagen signifikant um bis zu einige tausend Stunden erhöht und die Rauchgastemperaturen langfristig stabilisiert werden.

Zusätzliche positive Effekte auf den allgemeinen Anlagenbetrieb, z.B. eine verminderte Korrosion, ein flexibleres Brennstoffband und die Reduktion von Schadstoffemissionen, sind zu erwarten. Die Ressource Dampf kann zudem ausschließlich zur Gewinnung von elektrischer Energie bzw. als Prozessdampf genutzt werden.

5. Literatur

- [1] Demirbas, A.: Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 31, 2, 2005, pp. 171-192
- [2] Vamvuka, D.; Zografos, D.; Alevizos, G.: Control methods for mitigating biomass ash-related problems in fluidized beds. *Bioresource Technology*, Vol. 99, 9, 2008, pp. 3534-3544
- [3] Annamalai, K.; Sweeten, J.; Freeman, M.; Mathur, M.; O'Dowd, W.; Walbert, G.; Jones, S.: Co-firing of coal and cattle feedlot biomass (FB) Fuels, Part III: fouling results from a 500,000 BTU/h pilot plant scale boiler burner. *Fuel*. Vol. 82, 10, 2003, pp. 1195-1200
- [4] Jenkins, B. M.; Baxter, L. L.; Miles Jr., T. R.; Miles, T. R.: Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*. Vol. 54, 1-3, 1998, pp. 17-46
- [5] Skrifvars, B.-J.; Hupa, M.: Ash chemistry and behavior in advanced co-combustion, Operational problems, trace emissions and by-product management for industrial biomass co-combustion (OPTeB), Final report, Åbo Akademi University, Turku, 1999
- [6] Barnes, I.: Slagging and fouling in coal-fired boilers. IEA Report CCC/147, IEA Clean Coal Centre, 2009
- [7] Aho, M.; Ferrer, E.: Importance of coal ash composition in protecting the boiler against chlorine deposition during combustion of chlorine-rich biomass. *Fuel*. Vol. 84, 2-3, 2005, pp. 201-212

- [8] Theis, M.; Mueller, C.; Skrifvars, B.-J.; Hupa, M.; Tran, H.: Deposition behavior of model biofuel ash in mixtures with quartz sand. Part 1: Experimental data. *Fuel*. Vol. 85, 2006, pp. 1970-1978
- [9] Schäfers, W.; Fey, W.; Simon, S.; Kahle, F.-D.: *Installation of Water Cannon in Waste Incineration Plants*. Brennstoff, Wärme, Kraft, VDI Verlag. 1999
- [10] Madsen, O. H.: *New Technologies for Waste to Energy Plants*. Sheffield, UK: 4th International Symposium on Waste Treatment Technologies, 29 June – 2 July 2003
- [11] Bruggeman, J.; Simon, S.: Improved production capacity for waste to energy plants and biomass boilers using advanced On-Load cleaning technology. *VGB PowerTech*. 85, 2005
- [12] Nijkamp, H.; Bruggeman, J.; Simon, S.; Inglis, N.: *Emerging Technologies and Water Cleaning for Online Cleaning of Waste to Energy Facilities*. Paignton, UK: CIWM Conference 2006, 12-16 June, 2006
- [13] Mueller, C.; Frach, M.; Tirkschleit, M.; Mousko, D.: Fuel-specific on-load boiler cleaning solutions in waste incineration plants, *Aufbereitungstechnik*, 49-4, 2008

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 8

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

ISBN 978-3-935317-60-3

ISBN 978-3-935317-60-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2011

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dipl.-Ing. Ernst Thomé, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc. und Dr.-Ing. Stephanie Thiel

Erfassung und Layout: Janin Burbott, Dipl.-Kffr. Elke Czaplewski, Petra Dittmann,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.