

Automatisiertes Explosionsreinigen – die Alternative zu Russbläsern und anderen Kesselreinigungssystemen

Autor: A. Pajarskas , Co-Autoren: Dr. H. Gablinger, Dr. C Steiner

Zusammenfassung

Die Abreinigung von Kesseln zur Erhöhung von Wirkungsgrad und Reisezeit und zur Verminderung von Korrosion ist eine Daueraufgabe beim Betrieb von Müllverbrennungsanlagen. Gut bekannt neben den herkömmlichen Technologien wie Russbläsern, Klopfwerken und anderen am Kessel angebrachten Systemen ist die manuelle Online-Sprengreinigung mit gasgefüllten Säcken. Die Idee der Automatisierung dieser Art der Reinigung hat beachtliche Resonanz im Markt gefunden. Seit der Markteinführung der Explosionsgeneratoren vor rund 3 Jahren sind nun 46 Generatoren in Betrieb und mindestens weitere 37 werden noch 2011 in Betrieb gehen. Dabei werden Betriebserfahrungen in den unterschiedlichsten Kesseltypen gesammelt. Es zeigt sich, dass die Reinigungswirkung auch gegen die Strömungsrichtung der Rauchgase erfolgt.

Entstehung der Explosionsreinigung

Der Explosionsgenerator ist eine Entwicklung der Firma Explosion Power GmbH. Wie schon beim manuellen Bang & Clean Reinigungsverfahren der Kesselreinigung Rüegg GmbH (M.Bürgin et al, 2005) wird der Kessel durch Druckwellen gereinigt, welche durch die Explosion einer Mischung aus einem brennbaren Gas (Erdgas oder Methan) und reinem Sauerstoff ausgelöst werden. Bang & Clean kommt meist zur Reinigung und Deblockierung von bereits stark verschmutzten Kesseln zum Einsatz, während im Gegensatz dazu die Explosionsgeneratoren fest am Kessel installiert werden und die Heizflächen mit automatisierten regelmäßigen, periodischen Explosionen sauber halten.

Beim Bang & Clean Verfahren werden Säcke mit der explosiven Gasmischung im Kessel aufgeblasen und gezündet, beim Explosionsgenerator finden die Explosionen außerhalb des Kessels in einem stabilen, explosionssicheren Behälter statt und die erzeugte Explosionsdruckwelle wird über ein Ventil und ein Rohrstück in den Kessel geleitet, wo sie Kesselrohre und Wände derart in Schwingung versetzt, dass dadurch die Beläge abfallen.

Funktion des Explosionsgenerators

Durch Explosionsgeneratoren werden die Ascheanbackungen z.B. stündlich durch Explosionen abgereinigt. Im Gegensatz zu den Dampfstrahlen von Russbläsern wirken

23. VDI Fachkonferenz „Thermische Abfallbehandlung“

13./14. Oktober 2011, Würzburg

die Explosionsdruckwellen nicht nur im unmittelbar beaufschlagten Bereich, sondern auf einen grösseren Bereich des Kessels, auch durch Bündel hindurch. Im Unterschied zu Russbläsern sind die Kesselrohre durch die Druckwellen des Explosionsgenerators keiner zusätzlichen Abrasion ausgesetzt.

Der Explosionsgenerator eignet sich sowohl für die Nachrüstung in bestehenden Anlagen, als auch für Neuanlagen, wo insbesondere die geringe Einbaugrösse grosse Einsparungen im Stahlbau und im Gebäudevolumen ermöglicht.

Mittelfristig ist ein Einsatz in Kohlekraftwerken geplant, um auch dort durch Explosionsgeneratoren eine Erhöhung des Wirkungsgrades, eine Verminderung der CO₂-Emissionen und eine Verlängerung der Reisezeiten zu ermöglichen.

Wie bereits in VGB PowerTech (Dr. C. Steiner et al., 2011) ausführlich beschrieben, fassen wir die Funktionsweise wie folgt zusammen:

Füllen der Dosierbehälter

Nach Freigabe durch die Steuerung werden die Dosierbehälter bis zum eingestellten Druck mit den notwendigen festen Kleinmengen Erdgas und Sauerstoff gefüllt. Die beiden Gase sind immer noch vollständig voneinander getrennt und deshalb nicht explosionsfähig.

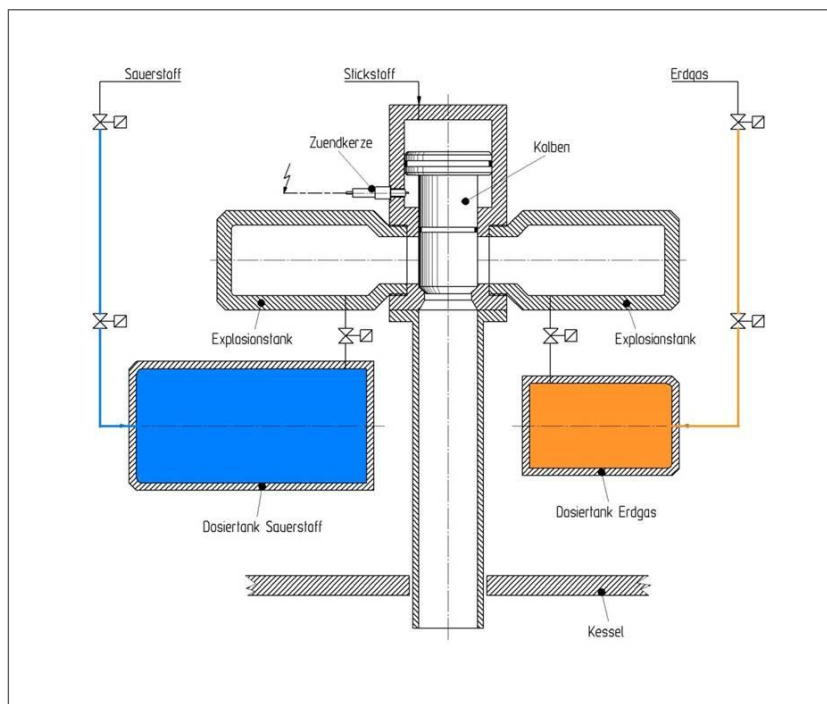


Abbildung 1: Füllen der Dosierbehälter

Überströmen und Mischen

Der frei bewegliche Kolben verschließt die Austrittsöffnung gasdicht (Abbildung 2). Die Überströmmagnetventile werden für Erdgas und Sauerstoff geöffnet und die beiden Gase strömen in die Explosionstanks, wo sie miteinander vermischt werden und nun zündfähig sind.

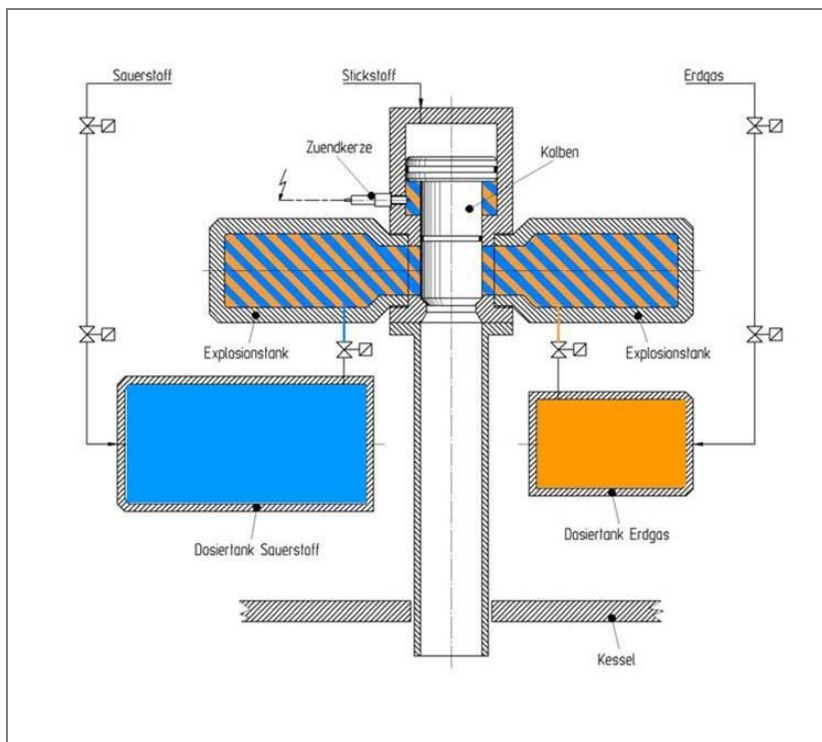


Abbildung 2: Überströmen und Mischen

Explosion und Einleitung der Druckwelle in die Anlage

Die Zündkerze wird gezündet und löst die Explosion aus (Abbildung 3). Durch den schlagartigen Druckanstieg im Explosionsraum auf ca. 350 bar wird der Kolben nach hinten geschossen und die Austrittsöffnung freigegeben, sodass die Druckwelle über das Austrittsrohr in den Kessel geleitet wird und sich dort zuerst linear, dann kugelförmig ausbreitet. Die Druckwelle versetzt die Wände und Rohrbündel in kurze Schwingungen, ähnlich denjenigen von Klopferwerken, wodurch Stäube und Anbackungen abgereinigt werden. Es kann mit einer Eindringtiefe und Reinigungswirkung in Leerzügen von bis zu 10 m gerechnet werden, wobei die beste Reinigungswirkung mit schwingungsfähigen Kesselrohren erreicht wird.

Nachdem die Druckwelle das Gerät verlassen hat, wird der Kolben vom Stickstoffdruck wieder gegen die Austrittsöffnung gedrückt und verschliesst diese. Der Explosionsgenerator ist damit bereit für die nächste Explosion.

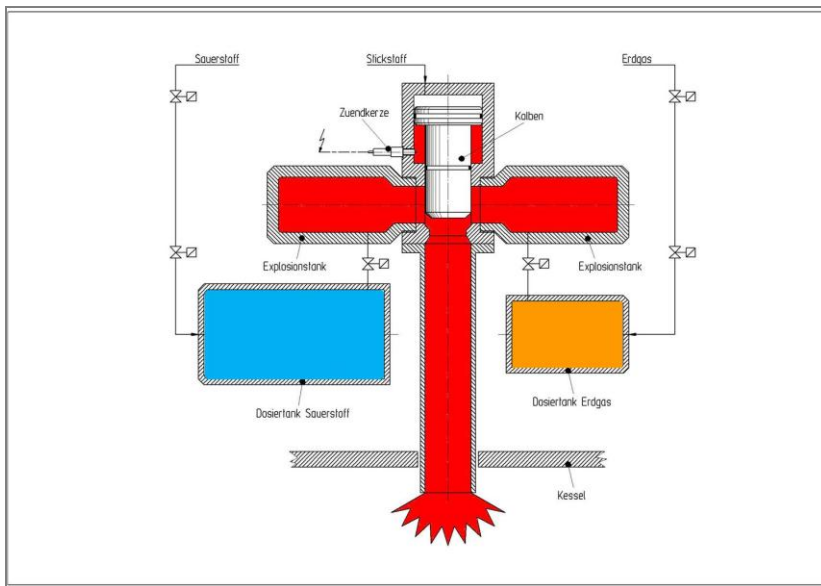


Abbildung 3: Explosion und Einleitung der Druckwelle

Gasversorgung und Sicherheit

Der Explosionsgenerator wird mit Erdgas resp. Methan und Sauerstoff betrieben. Die beiden Gase werden üblicherweise in Einzelflaschen oder Kleinbündeln von 200 bar gelagert und mittels Rohrleitungen DN10 zu den Generatoren geleitet (Abbildung 5). Der Leitungsdruck beträgt 40 bar. Damit ist der Rohrleitungsbau wesentlich einfacher als bei Dampfzuleitungen für Russbläser. Für Erdgas kann bei vorhandenem Netzanschluss auch ein Kleinkompressor verwendet werden, wie er für die Betankung von Gasfahrzeugen standardisiert erhältlich ist. Zusätzlich wird noch eine einzelne Stickstoffflasche für die Gasfeder des Kolbens des Explosionsgenerators benötigt.

Die Explosionsgeneratoren in den zwei Größen EG10 und EG10L sind baumustergeprüft und CE-zertifiziert als Druckgeräte Kat. II resp. Kat. III.

Im Rahmen der Zertifizierung wurde durch die Dekra Exam GmbH, Fachstelle für Explosionsschutz – Bergbau- Versuchsstrecke, Bochum, eine gutachtliche Stellungnahme zum sicheren Betrieb des Explosionsgenerators erstellt. Die Auflagen aus dieser Stellungnahme müssen bei Einbau und Betrieb eingehalten werden. Es handelt sich beim Explosionsgenerator nicht um ein Gerät im Sinne der Richtlinie 94/9/EG („Atex“-Richtlinie). Die Umgebung des Explosionsgenerators sowie der Gaszuleitungen werden nicht zu explosionsgefährdeten Bereichen. Einzig die Erdgasflaschen resp. - Kleinbündel stellen einen explosionsgefährdeten Bereich dar.

23. VDI Fachkonferenz „Thermische Abfallbehandlung“

13./14. Oktober 2011, Würzburg

Einbaubeschränkungen

Folgende Einschränkungen beim Einbau müssen beachtet werden:

- Der Kessel oder Behälter muss beim Einsatz des EG10 ein Volumen $> 10 \text{ m}^3$, (EG10L $> 15 \text{ m}^3$) aufweisen.
- In gerader Verlängerung zum Austrittsrohr (DN80) darf sich in einem Radius von 120 mm um die Austrittsrohrachse bis zu einem Abstand von 1'700 mm kein Kesselrohr befinden. (EG10L $< 2000 \text{ mm}$)
- Es sollten sich keine vibrationsempfindlichen Instrumente in unmittelbarer Nähe ($< 1 \text{ m}$) befinden
- Bei nicht fluchtend angelegten Bündeln muss der Austrag von abgereinigtem Material überprüft werden.

Die beiden Generortypen EG10 und EG10L

Für grössere und/oder stärker verschmutzende Kessel wurde der EG10L entwickelt. Nach umfangreichen Tests konnte im Dauerbetrieb die Wirksamkeit nachgewiesen und der Zertifizierungsprozess abgeschlossen werden. Die Geräte haben ca. 1.3-fache Explosionsstärke gegenüber den EG10. Sie sind annähernd baugleich zu den EG10, nur breiter (1240 mm statt 1100 mm). Für den EG10L gelten dieselben Verfahrensabläufe und Schnittstellen wie für den EG10.

Übersicht Explosionsgeneratoren

Spezifikation Explosionsgenerator	EG10		EG10L	
-Gasverbrauch pro Explosion:	Erdgas:	ca. 13 g	Erdgas:	ca. 18 g
	Sauerstoff:	ca. 45 g	Sauerstoff:	ca. 62 g
-Volumen Explosionstank:	2 x 1l		2 x 1,5 l	
-Fülldruck Sauerstoff, Erdgas:	30 bar		33 bar	
-Ventil-Auslass Durchmesser:	70 mm		70 mm	
-Explosionsdruck:	ca. 350 bar		ca. 350 bar	
-Max. Explosionsfrequenz pro Explosionsgenerator:	max. 4 Explosionen pro Stunde		max. 4 Explosionen pro Stunde	

Betriebserfahrungen in verschiedenen Müllverbrennungsanlagen

Der Einsatz der Generatoren in verschiedenen Kesseltypen, an verschiedenen Einbauorten ist in der Aufstellung auf der folgenden Seite dokumentiert.

Anschließend möchten wir die Betriebserfahrung bei drei Anlagen vertiefter darstellen: Breisgau, Offenbach und Luzern

Referent: Arno Pajarskas Explosion Power DE GmbH | Vortrag: Automatisiertes Explosionsreinigen

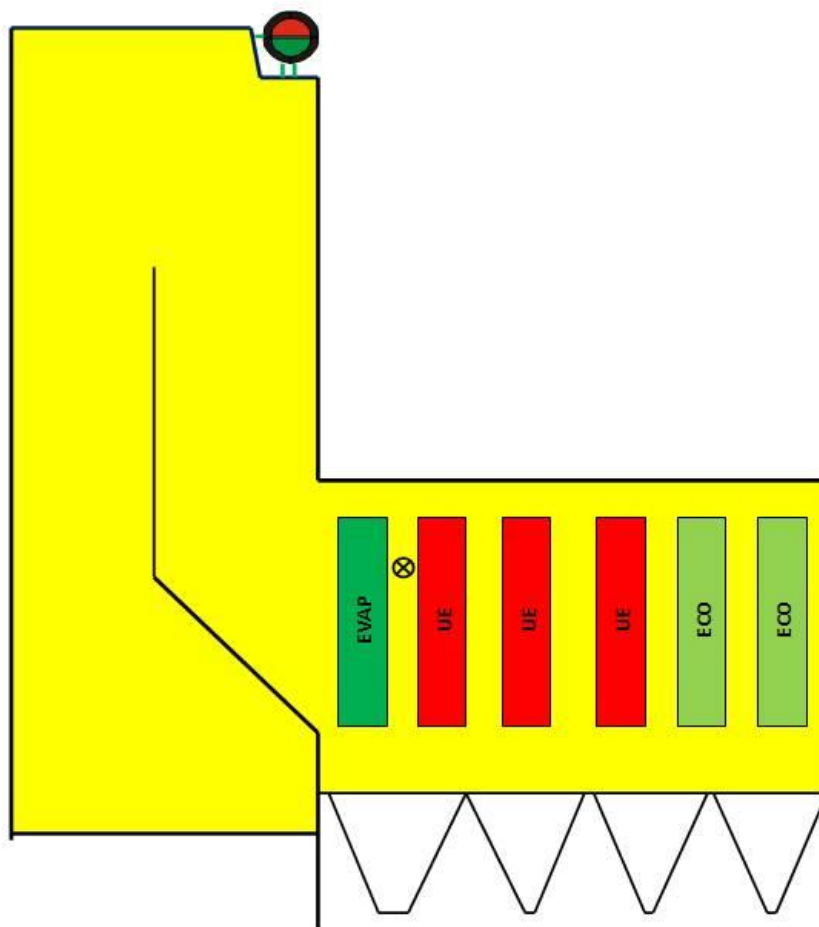
23. VDI Fachkonferenz „Thermische Abfallbehandlung“

13./14. Oktober 2011, Würzburg

Anlage	Brennstoff	Linie Nr.	Dampfmenge t/h	Anzahl EG10	Kesseltyp	Einbauort	In Betrieb seit	Kommentar
CH – Luzern	Kehricht	2	12	2	3-Zug vertikal	2 im 3. Zug (ÜH und Eco)	11.02.2009	Anstatt 6 Russbläsern; Dauerbetrieb
CH – Luzern	Kehricht	3	16	4	4-Zug vertikal	3 im 3. Zug, 1 im 4. (Eco)	11.06.2009 (2); 24.11.2009 (3) 24.02.2010 (4)	Anstatt 8 Russbläsern +1 Kugelregen; Dauerbetrieb
CH – Luzern	Kehricht	1	12	2	3-Zug vertikal	2 im 3. Zug (ÜH und Eco)	09.07.2009	Anstatt 6 Russbläsern; Dauerbetrieb
FI – Kotka	Müll	1	39	2	4-Zug horizontal	2. und 3. Zug (leer)	29.01.2010	Dauerbetrieb
DE – Lünen	Biomasse	1	80	6	4-Zug vertikal	5 im 3. Zug, 2 im 4. Zug (Eco)	15.03.2010 (1+2) 22.04.2010 (3+4) 25.08.2010 (5+6)	Testbetrieb 1. Phase
DE – Lünen	Biomasse	1	80	2	4-Zug vertikal	2 im 3. Zug	Nov. 2011	Testbetrieb 2. Phase mit stärkeren Geräten
UK – Tyseley	Müll	1	65	2	4-Zug horizontal	Im 4. Zug, 1 zwischen ÜH + Verdampfer, 1 im Eco	08.04.2010	Dauerbetrieb
UK – Tyseley	Müll	1	65	2	4-Zug horizontal	Im 4. Zug, 2 zwischen ÜH	31.03.2011	Zusätzliche EGs für Dauerbetrieb; Ersatz Klopferwerk
UK – Tyseley	Müll	2	65	4	4-Zug hor.	Im 4. Zug, 2 zwischen ÜH, 1 zwischen ÜH + VERD., 1 im Eco	25.03.2011	Zusätzliche EGs für Dauerbetrieb; Ersatz Klopferwerk
DE – Breisgau	Müll	1	71	1	3-Zug hor.	Im 3. Zug vor ÜH 3	13.04.2010	Dauerbetrieb
SE – Kumla	Müll	2	48	2	4-Zug hor.	2 im 3. Zug (Schutzverd)	19.07.2010	Dauerbetrieb
UK – Portsmouth	Müll	2	38	1	4-Zug verti (2-Trommeldesign)	3.Zug mit vertikalem Bündel	20.07.2010	Dauerbetrieb
UK – Portsmouth	Müll	1	38	3	4-Zug verti (2-Trommeldesign)	2 im 3.Zug mit vertikalem Bündel, 1 am Eintritt in den 4. Zug	24.07.2011	Dauerbetrieb
DE – Mannheim	Biomasse	1	80	3	4-Zug verti	1 im 2. Zug, 2 im 3. Zug	18.11.2010	Testbetrieb
DE - Offenbach	Müll	2	27	1	2-Zug hor.	vor ÜH3	01.12.2010	Testbetrieb
UK – Tees Valley	Müll	3	50	2	4-Zug verti	2 im 4. Zug (Eco)	06.01.2011	Dauerbetrieb
DE - Herten	Müll	2	59	1	4-Zug hor.	Austrag 3.Zug (leer)	24.03.2011	Testbetrieb
AT – Arnoldstein	Müll	1	40	4	4-Zug-verti	2 vor Schutzv. , 1 vor ÜH 3, 1 zwischen ÜH 2+3	20.04.2011	Dauerbetrieb
UK – Marchwood	Müll	1	38	4	4-Zug verti (2-Trommeldesign)	3 in 3.Zug mit vertikalem Bündel, 1 am Eintritt in den 4. Zug	20.04.2011	Dauerbetrieb

TREA Breisgau

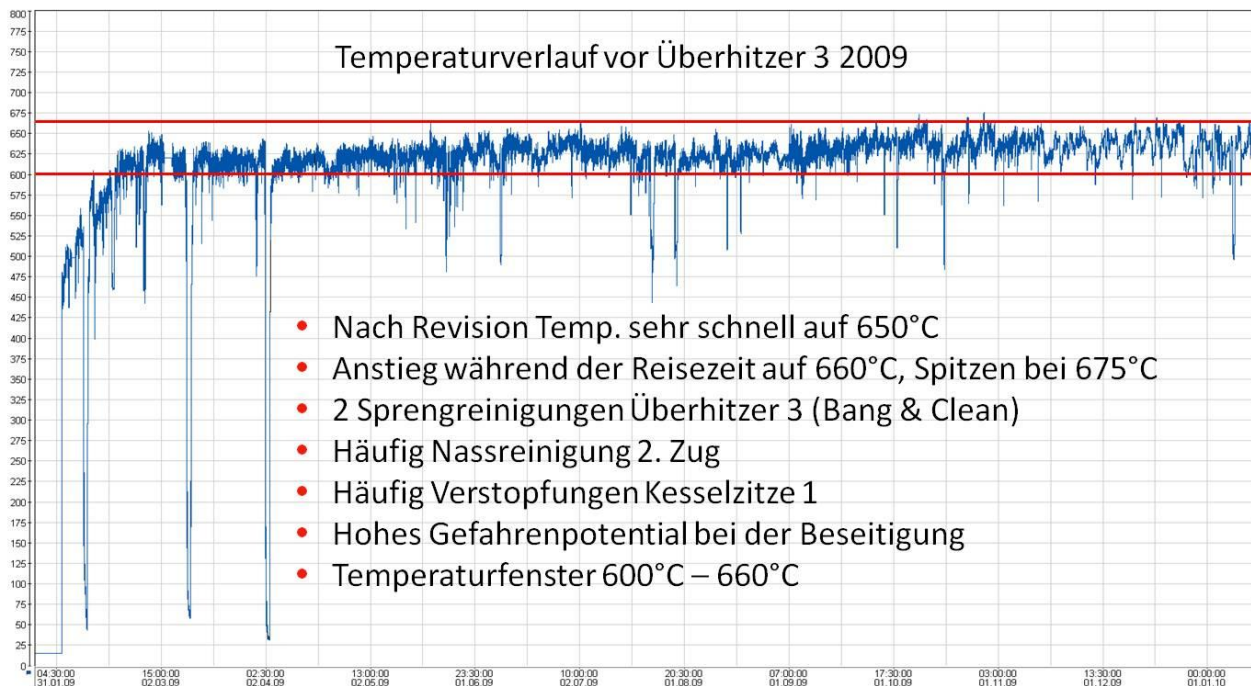
TREA Breisgau hatte als Ziele eine Verbesserung der Überhitzer-Abreinigung und der zugehörigen Entaschung sowie die Vermeidung von Nassabreinigung im Leerzug (2.Zug) formuliert. Nach Tests mit Explosionsgeneratoren an unterschiedlichen Positionen zeigte sich, dass ein einziges Gerät an der richtigen Stelle die geplante Verbesserung bringen konnte.



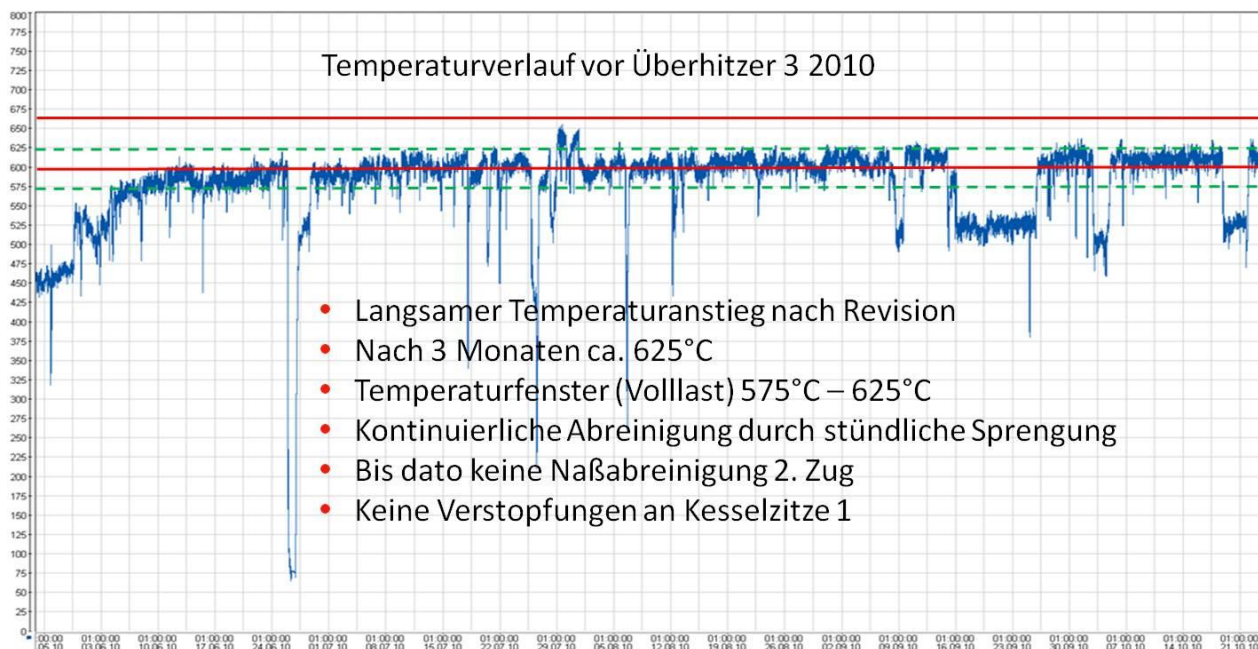
⊗ Definitive Position EG 10 nach Tests

TREA Breisgau konnte u. a. über eine Messung der Wärmedurchgangszahl folgende Aussagen treffen: die Effizienz stieg im Kessel insgesamt stark an, die Betriebstemperatur vor Überhitzer 3 konnte wesentlich besser im gewünschten Temperaturfenster gehalten werden, es traten keine Verstopfungen mehr im Austrag von Kesselzitze 1 auf und die Klopfintervalle des Klopfwerks konnten reduziert werden.

Vor Einsatz des Explosionsgenerators:

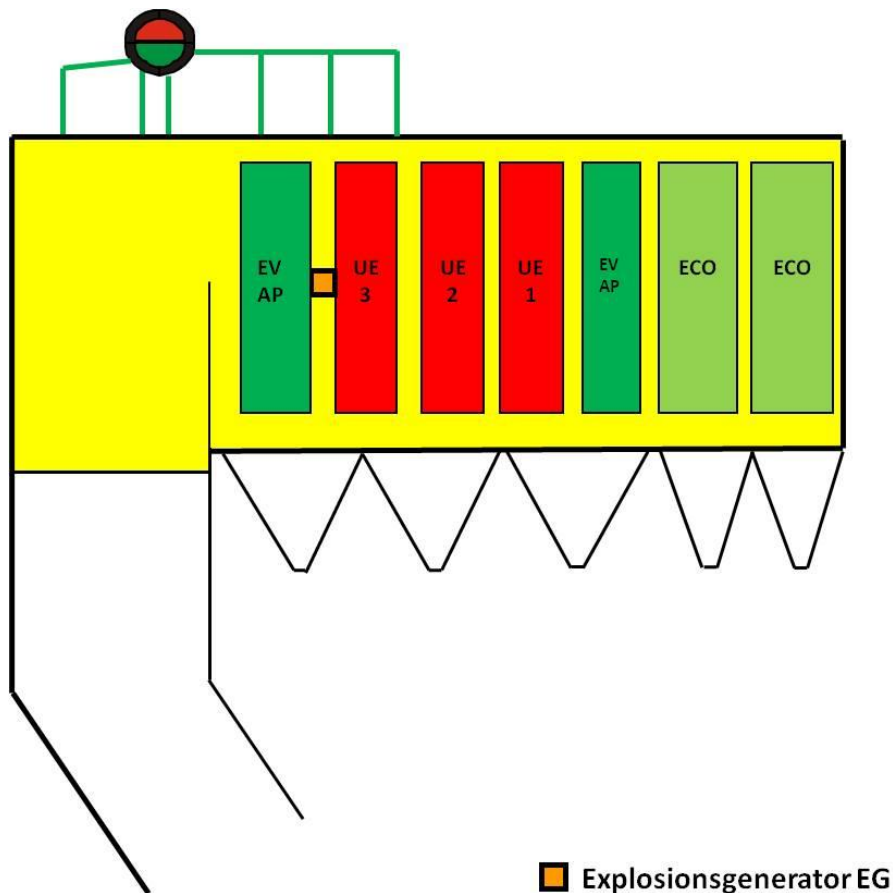


nach Inbetriebnahme des Explosionsgenerators:



Offenbach

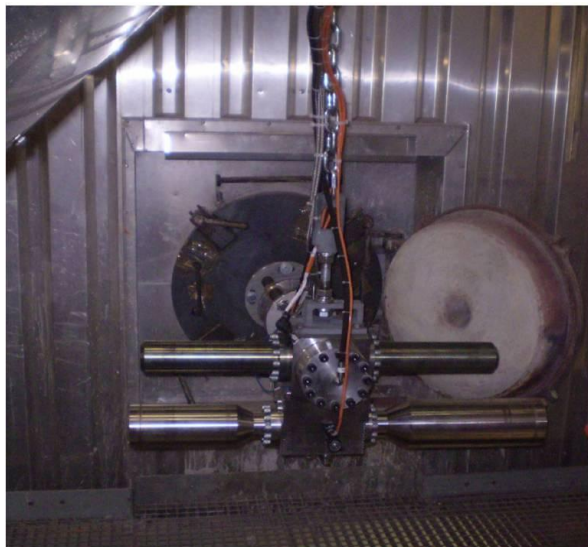
EVO Offenbach wollte die Reisezeitbeschränkung an Kessel 2 vermindern, die sich aus relativ hohen Druckverlusten über diesen Kessel ergab. Manuelle Online- Sprengreinigungen waren an dieser Linie relativ oft erforderlich. EVO startete einen Testbetrieb mit einem Explosionsgenerator an der am stärksten verschmutzenden Stelle. Für andere Einbauorte wären bauliche Änderungen am Kessel erforderlich gewesen.



Nach über einem halben Jahr Betriebserfahrung liegen folgende Ergebnisse vor:

Die Reisezeit konnte rund verdreifacht werden. Es sind keine Beanspruchungen der Kesselanlage festgestellt worden. Das Gerät wurde als sehr sicher in Bezug auf Arbeits- und Explosionschutz begutachtet. Die Arbeitssicherheit konnte gegenüber dem Betrieb mit manuellen Dynamit-Sprengreinigungen deutlich verbessert werden, da keine Arbeiten an offenen Luken im Bereich der Sprengreinigungen stattfinden, keine nachfolgenden Verstopfungen im Aschefördersystem, verursacht durch große Mengen an gelöstem Anbackungsmaterial vorkommen und daher kein manueller Kontakt mit Flugasche und Anbackungsmaterial erforderlich ist. Die Einsparungen durch die Vermeidung von manuellen Reinigungen sind beachtlich.

23. VDI Fachkonferenz „Thermische Abfallbehandlung“
 13./14. Oktober 2011, Würzburg



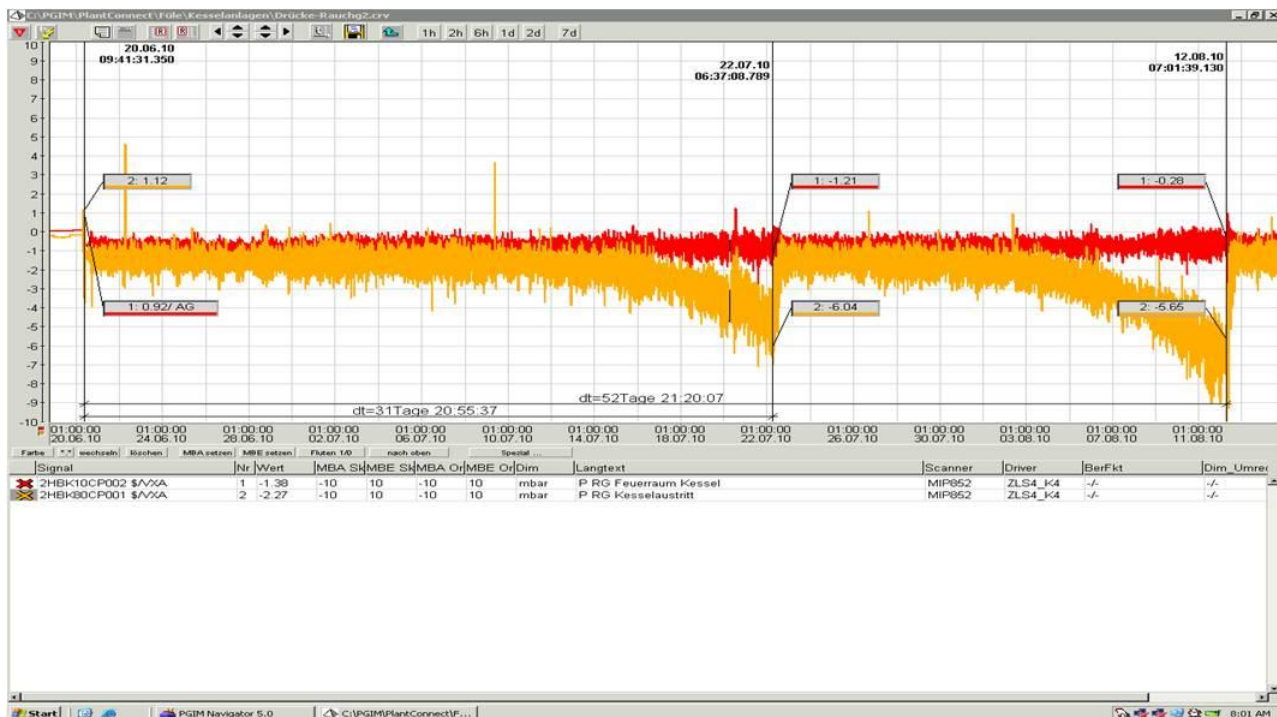
*Einbausituation des
 Explosionsgenerators in Offenbach*

Kesselverschmutzung Kessel 2 (Druckverlust) vor Einsatz des Explosionsgenerators:

Nach einer Reisezeit von 31 Tagen erreichte der Druckverlust über Kessel einen Wert von über 4.8 mbar, daher erfolgte die Durchführung von manueller Sprengreinigung

(Spätestens bei 7 mbar wird wegen Leistungsbegrenzung des Gebläses der Kessel abgeschaltet)

Nach weiteren 22 Tagen stieg der Druckverlust erneut auf 5.4 mbar an und es erfolgte eine weitere Reinigung.

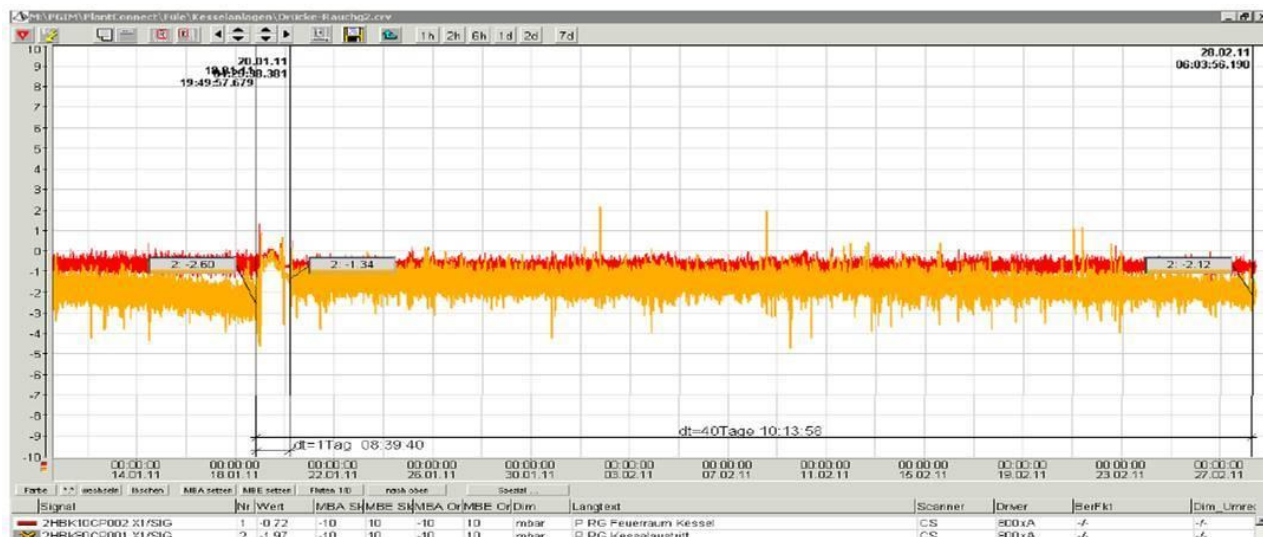
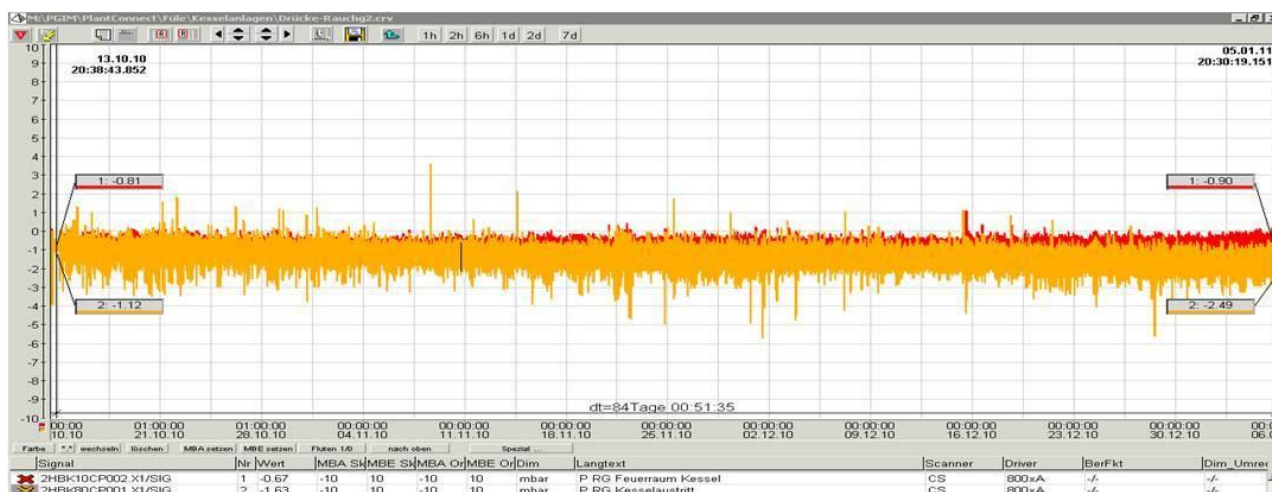


23. VDI Fachkonferenz „Thermische Abfallbehandlung“ 13./14. Oktober 2011, Würzburg

Kesselverschmutzung Kessel 2 (Druckverlust) nach Inbetriebnahme des EG10:

Nach Revision und Einbau des EG10 wurde nach 84 Tagen ein Anstieg des Druckverlustes über Kessel auf ca. 2.4 mbar festgestellt

Nach einem kurzen betrieblichen Unterbruch ist bisher noch kein Ende erreicht.



Luzern

Mit Abstand die längste Betriebserfahrung liegt in der Anlage Luzern vor, über die bereits an anderer Stelle berichtet wurde (Dr. C. Steiner et al., 2011) und die ihre 3 Kessel nach wie vor ausschliesslich mit Explosionsgeneratoren abreinigen.

Beispielhaft soll hier nur die Verschmutzungssituation von Kessel 2 erläutert werden. Im Februar 2009 wurden am Kessel 2 die 6 Druckluft-Russbläser des vertikalen 3. Zugs durch 2 Explosionsgeneratoren ersetzt (s. untenstehende Abbildung). Die Explosionshäufigkeit wird vom Betreiber nach aktuellem Bedarf im Bereich von 30-120 Minuten eingestellt.

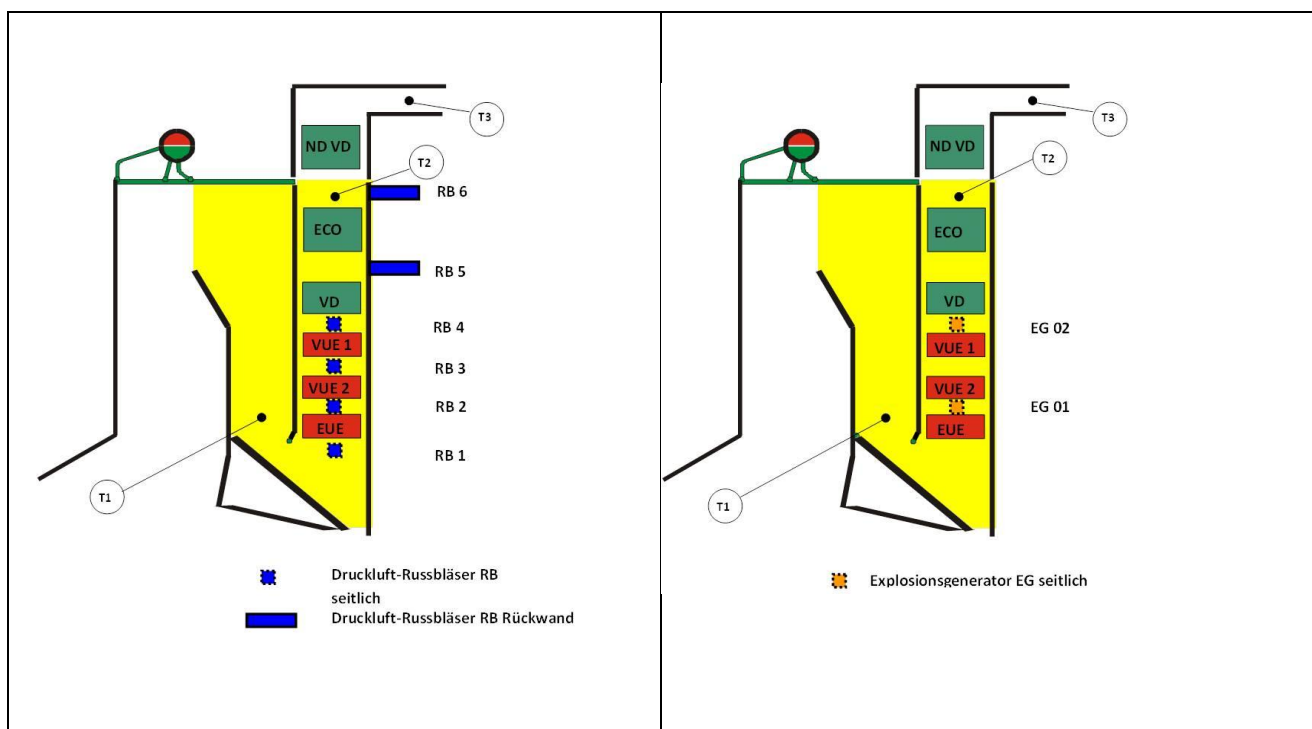


Abbildung 7: Einbauposition der Russbläser (bis 02/2009) und der Explosionsgeneratoren (ab 02/2009) am Kessel 2 der KVA Luzern

Die nachfolgende Trendkurve zeigt die letzten rund 4.5 Jahre Betrieb des Kessels 2. Man sieht, dass bis Februar 2009 beim Betrieb mit 6 Russbläsern die Rauchgastemperatur am Eintritt in den 3. Zug durch die Verschmutzung des 2. Zugs periodisch jeweils stark anstieg, da dort keine Reinigungseinrichtungen vorhanden waren und die Russbläser aus dem 3. Zug keinen Einfluss auf diesen Bereich hatten.

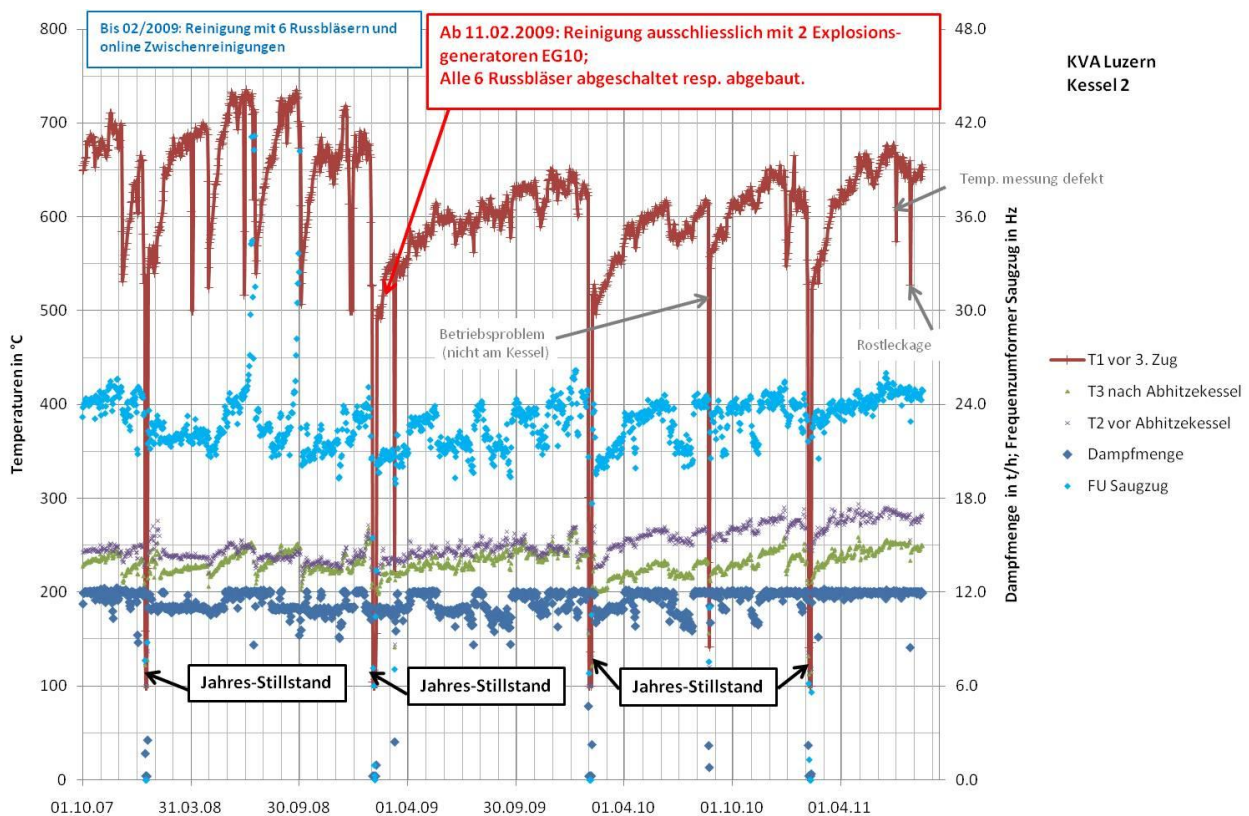
Der Anstieg der Eintrittstemperatur in den 3. Zug war immer auch verbunden mit einem Anstieg der Kessel-Austrittstemperatur und der Saugzugfrequenz, da die Ablagerungen in den Bündelbereichen zu einer starken Verringerung des freien Querschnitts führten.

23. VDI Fachkonferenz „Thermische Abfallbehandlung“

13./14. Oktober 2011, Würzburg

Um trotz dieser Probleme 8500 Stunden Reisezeit erreichen zu können und zur Verminderung der Überhitzerkorrosionen behalf sich der Betreiber damals mit 3–4 Bang & Clean Online-Zwischenreinigungen pro Jahr, was jeweils zu starken Temperaturabsenkungen am Ein- und Austritt des 3. Zuges führte.

Seit 11.02.2009 erfolgt die Kesselreinigung mittels 2 Explosionsgeneratoren EG10. Es ist ersichtlich, dass insbesondere die Rauchgastemperatur am Eintritt in den 3. Zug, aufgrund reduzierter Verschmutzung des 2. Zugs, wesentlich niedriger gehalten werden kann. Dies bedeutet, dass die Druckwelle der im 3. Kesselzug eingebauten Generatoren auch entgegen der Strömungsrichtung zurück in den zweiten Zug wirkt und dort Anbackungen absprengt. Da es in den Bündelheizflächen nur noch zu geringen Ablagerungen kommt, bleibt der freie Querschnitt offen und es werden keine erhöhten Saugzugfrequenzen mehr festgestellt. Auch die Rauchgastemperatur am Kesselende kann über das ganze Jahr im gewünschten Bereich gehalten werden. Der Kessel kann



dadurch 12 Monate im Dauerbetrieb gefahren werden, bis der nächste Jahresunterhaltsstillstand durchgeführt wird. Durch die fortlaufende Optimierung der Fahrweise mit Explosionsgeneratoren kann die Produktion von Frischdampf in 2011 nun bemerkenswert stabil gehalten werden.

Der Betreiber der KVA Luzern hat aufgrund dieser positiven Ergebnisse weitere Massnahmen eingeleitet, welche die Unterhaltskosten reduzieren. So wurden die Schutzschalen von den Wärmetauscherbündeln entfernt, da dieser Schutz der Rohre bei Druckwellenreinigung nicht mehr notwendig ist. Zu Beginn des geplanten Jahresunter-

23. VDI Fachkonferenz „Thermische Abfallbehandlung“

13./14. Oktober 2011, Würzburg

haltsstillstands sind deutlich weniger Arbeiten notwendig für die zusätzliche Reinigung des Kessels, wodurch Arbeiten eingespart und die Zeitdauer des Unterhaltsstillstands verkürzt werden kann.

Ausblick

Mit zunehmender Betriebserfahrung wächst unsere Sicherheit, an welchen Stellen und in welcher Anzahl der Einsatz von Explosionsgeneratoren zu einer ausreichenden Kesselabreinigung führt. Dabei können bei den meisten bestehenden Kesseln relativ gute, einfache Einbaustellen gefunden werden, so dass die Explosionsgeneratoren auf vielen Anlagen innert kurzer Zeit zu einem verbesserten Betrieb beitragen. Dabei sind die notwendigen Umbaumaßnahmen minimal und beschränken sich oft auf das Anbringen eines Flansches auf ein Mannloch. Die Einspar- und Verbesserungsmöglichkeiten bei einem nachträglichen Einbau sind vielfach:

- Verbesserter Wirkungsgrad durch erhöhten Wärmeübergang
- Dampfeinsparung beim Ersatz von Russbläsern
- Weniger Verschleiss, Abrasion, Verzicht auf Schutzschalen
- Längere Reisezeit, weniger Stillstände
- Kürzere Stillstandszeiten durch minimierte Kesselreinigung im Stillstand

Darüber hinaus bietet der Einsatz in neuen Anlagen weitere Einsparmöglichkeiten, sofern dies bei der Planung des Kesselkonzepts entsprechend berücksichtigt wird. Unsere zunehmende Erfahrung in der Wahl geeigneter Einbaupositionen bei verschiedenen Kesseltypen kann den Einsatz von Russbläsern mit den entsprechenden benötigten grossen Bauvolumen verringern und kann es auch ermöglichen die Heizflächen zu reduzieren.

An dieser Stelle möchten wir den Anlagen Breisgau, Offenbach und Luzern für die Zurverfügungstellung der Daten und die Erlaubnis zur Veröffentlichung herzlich danken.

Literatur:

M. Bürgin, H. Rüegg, „Increased Plant Safety and Plant Availability by Cleaning with Dosed Gas Explosions“; VGB Power Tech 12/2005, p. 82-85

Dr. sc. C. Steiner, H. Rüegg, A. Pajarskas, „Heizflächenabreinigung mit Explosionsgeneratoren – die Alternative zu Russbläsern“; VGB Power Tech 03/2011, p. 58-64

Referent: Arno Pajarskas Explosion Power DE GmbH | Vortrag: Automatisiertes Explosionsreinigen