

## **Heizflächenabreinigung mit Explosionsgeneratoren Die Alternative zu Russbläsern**

### **Continuous boiler cleaning with Explosion Generators The alternative to soot blowers**

Dr. sc. techn. Dipl. Ing. Christian Steiner<sup>1)</sup>, Dipl. Ing. Hans Rüegg<sup>1)</sup>, Arno Pajarskas<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Explosion Power GmbH, CH-5600 Lenzburg, [www.explosionpower.ch](http://www.explosionpower.ch)

<sup>2)</sup> Explosion Power DE GmbH, 40221 Düsseldorf, [www.explosionpower.de](http://www.explosionpower.de)

#### **Kurzfassung**

Der Explosionsgenerator ist eine Neuentwicklung der Firma Explosion Power GmbH.

Die Explosionsgeneratoren reinigen den Kessel mittels Druckwellen, welche durch die Explosion einer Mischung aus Erdgas und reinem Sauerstoff ausgelöst werden. Die Geräte werden aussen am Kessel installiert um die Heizflächen online mit periodischen, z.B. stündlichen Explosionen sauberzuhalten.

Der Explosionsgenerator besteht aus einem explosionsfesten Behälter, der von einem Ventil verschlossen wird, welches beim Zünden der Explosion aufreißt und die erzeugte Explosionsdruckwelle über ein Rohrstück in den Kessel leitet. Dort werden die Kesselrohre und -wände derart in Schwingung versetzt, dass die Beläge abfallen.

Die Erfahrungen eines über 22 monatigen Betriebs in der KVA Luzern zeigen, dass die Wirkung der Explosionsgeneratoren diejenige von Russbläsern bei weitem übertrifft. Insgesamt sind in Luzern an 3 Kesseln 8 Explosionsgeneratoren EG10 im Einsatz, welche bisher über 100'000 Explosionen durchgeführt haben. Die Geräte sind mittlerweile europaweit in mehr als 13 verschiedenen Kessellinien installiert. Der Explosionsgenerator eignet sich für das Sauberhalten von Dampfkesseln jeglicher Art, unabhängig von Brennstoff und Grösse.

Die Hauptvorteile gegenüber anderen Reinigungseinrichtungen sind:

- Bessere Reinigungswirkung
- Fernwirkung auch durch Bündel hindurch
- Keine Rohrschäden durch Dampferosion
- Tiefere Betriebskosten
- Tiefere Investitionskosten bei Neuanlagen

## Summary

The Explosion Generator was recently developed by Explosion Power GmbH.

With Explosion Generators, the boiler is cleaned by pressure waves, which are created by controlled gas explosions of natural gas and oxygen. The Explosion Generator is mounted at the outside of the boiler and keeps the heat transfer surfaces clean during continuous operation of the boiler, by periodic explosions, e.g. every hour.

The Explosion Generator consists of an explosion resistant case, which is closed by a valve. At the ignition of the explosion, the valve opens rapidly and the created explosion pressure wave is directed into the boiler via the discharge tube. Within the boiler, the walls and bundles are put into a short oscillation, so that deposits fall off.

The experience of 22 months operation in the WtE plant in Lucerne shows, that the cleaning efficiency of the Explosion Generators is much higher than that of sootblowers. The 8 Explosion Generators in operation at 3 boilers in the WtE plant in Lucerne have carried out more than 100'000 explosions.

Explosion Generators are installed Europe wide in more than 13 different boiler lines. Explosion Generators are capable to keep all types of boilers clean, independent of fuel type and boiler size.

The main advantages compared with other boiler cleaning equipment are:

- Improved cleaning efficiency
- Larger impact distance, also through tube bundles
- No tube leakages due to steam erosion
- Lower operating cost
- Lower invest cost for new plants

## Einleitung

Der Explosionsgenerator ist eine Neuentwicklung der Firma Explosion Power GmbH.

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

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.

Die Erfahrungen eines bis heute über 22 monatigen Betriebs im Kessel 2 der Kehrichtverwertungsanlage KVA Luzern haben gezeigt, dass die Wirkung der Explosionsgeneratoren diejenige von Russbläsern bei weitem übertrifft. Insgesamt sind in Luzern an 3 Kesseln 8 Explosionsgeneratoren EG10 im Einsatz, welche bisher über 100'000 Explosionen durchgeführt haben.

Mittlerweile konnte mit rund 30 Explosionsgeneratoren an 13 Kessellinien gezeigt werden, dass mit Explosionsgeneratoren die Heizflächen-Verschmutzung in Müllverwertungsanlagen und Biomassekraftwerken dauerhaft deutlich reduziert und eine längere Reisezeit sichergestellt werden kann.

Durch Explosionsgeneratoren werden die Ascheanbackungen z.B. stündlich durch Explosionen abgereinigt. Im Gegensatz zu den Dampfstrahlen von Russbläsern wirken 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 auch ein Einsatz in Kohlekraftwerken geplant, um auch dort durch Explosionsgeneratoren eine Erhöhung des Wirkungsgrades, eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und eine Verlängerung der Reisezeiten zu ermöglichen.

## Funktion

*Füllen der Dosierbehälter:* Nach Freigabe durch die Steuerung werden die Magnetventile der Gasversorgung und der Dosierbehälter (Abbildung 1) geöffnet und die Dosierbehälter bis zum eingestellten Druck mit Erdgas und Sauerstoff gefüllt. Anschliessend werden die Magnetventile geschlossen. Die beiden Gase sind immer noch vollständig voneinander getrennt und deshalb nicht explosionsfähig.

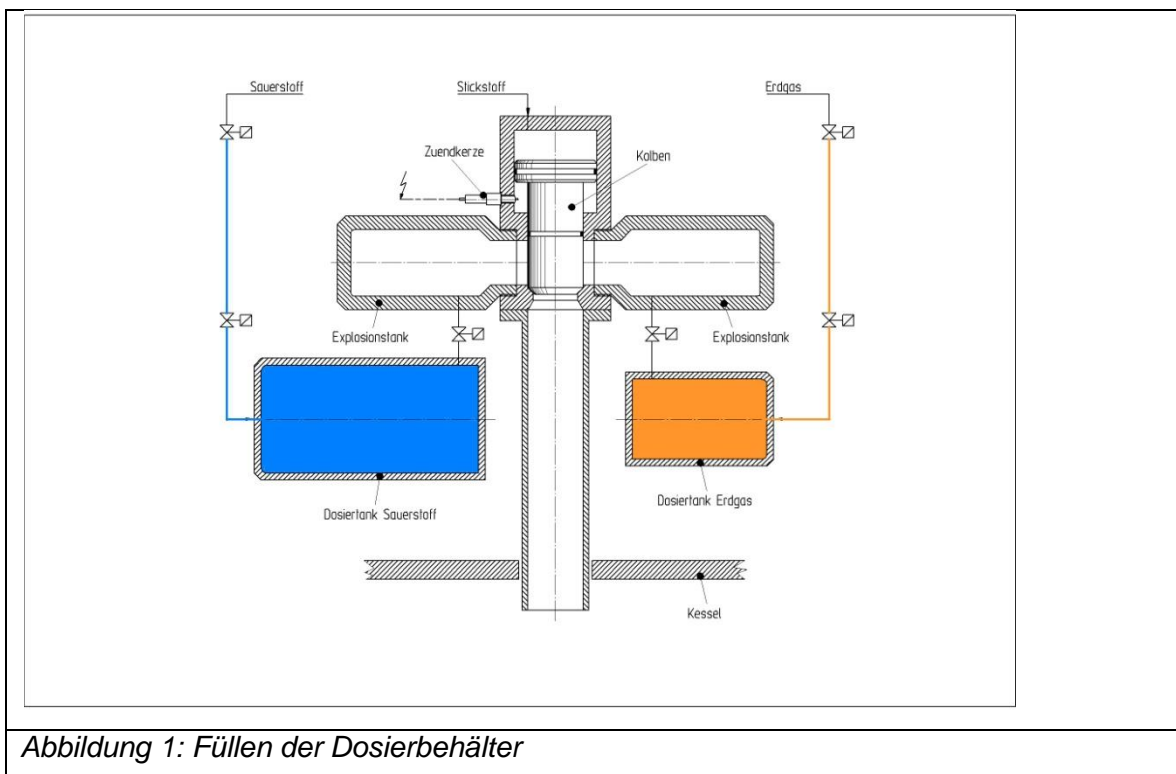


Abbildung 1: Füllen der Dosierbehälter

*Überströmen und Mischen:* Der frei bewegliche Kolben wird mittels Stickstoffdruck gegen die Austrittsöffnung gedrückt und verschliesst diese gasdicht (Abbildung 2). Jetzt werden die Überströmmagnetventile für Erdgas und Sauerstoff geöffnet und die beiden Gase strömen in die Explosions-tanks wo sie miteinander vermischt werden und nun zündfähig sind. Die Magnetventile werden wieder geschlossen.

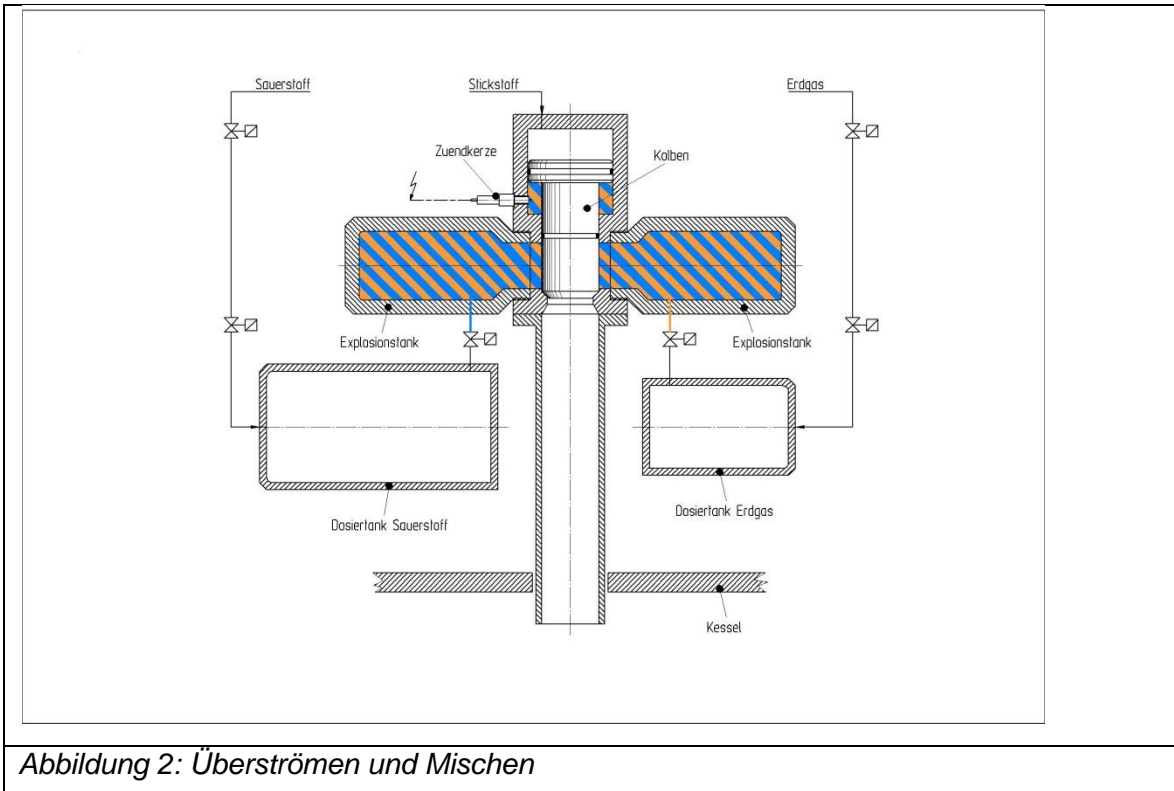
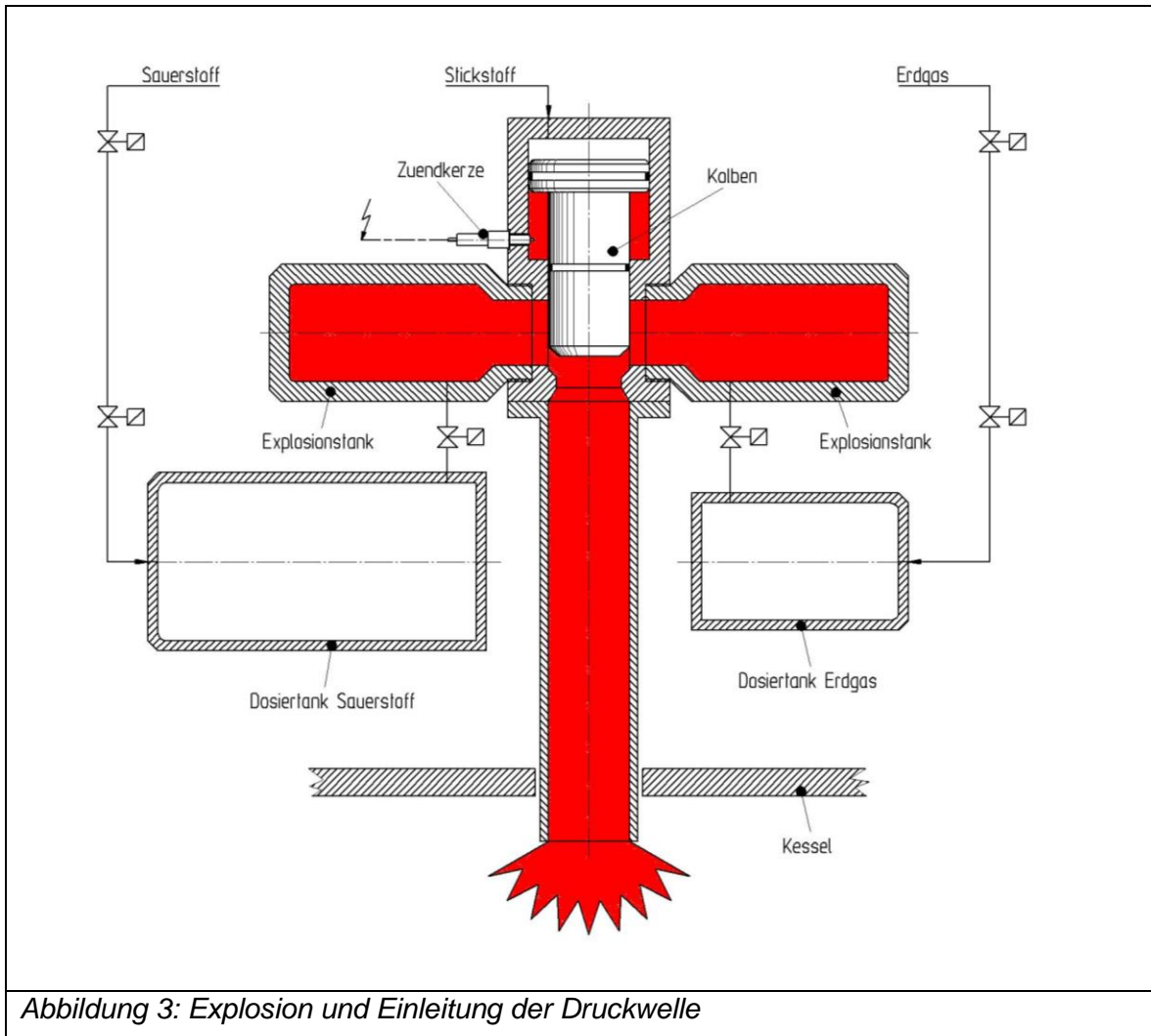


Abbildung 2: Überströmen und Mischen

*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.

In unmittelbarer Austrittsrichtung werden Stäube und Anbackungen direkt weggeblasen, in weiter entfernten Bereichen versetzt die Druckwelle die Wände und Rohrbündel in kurze Schwingungen, ähnlich denjenigen von Klopferwerken. Es kann mit einer Eindringtiefe und Reinigungswirkung in Leerzügen von bis zu 10m 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.



### Installation des Explosionsgenerators

Die Installation am Kessel erfolgt mittels federnder oder fixer Befestigung aussen an der Kesselwand (Abbildung 4); das Austrittsrohr ragt ca 50mm in den Kessel. Bei fixem Anbau wirkt der Explosionsgenerator durch den Rückstoss des Kolbens noch zusätzlich als äusserst wirksamer Wandklopfer.

Für Service und Ausserbetriebnahme wird der Explosionsgenerator an einer Schiene verschiebbar aufgehängt.

Der Platzbedarf der gesamten Einrichtung beträgt ca 1 m<sup>3</sup>.

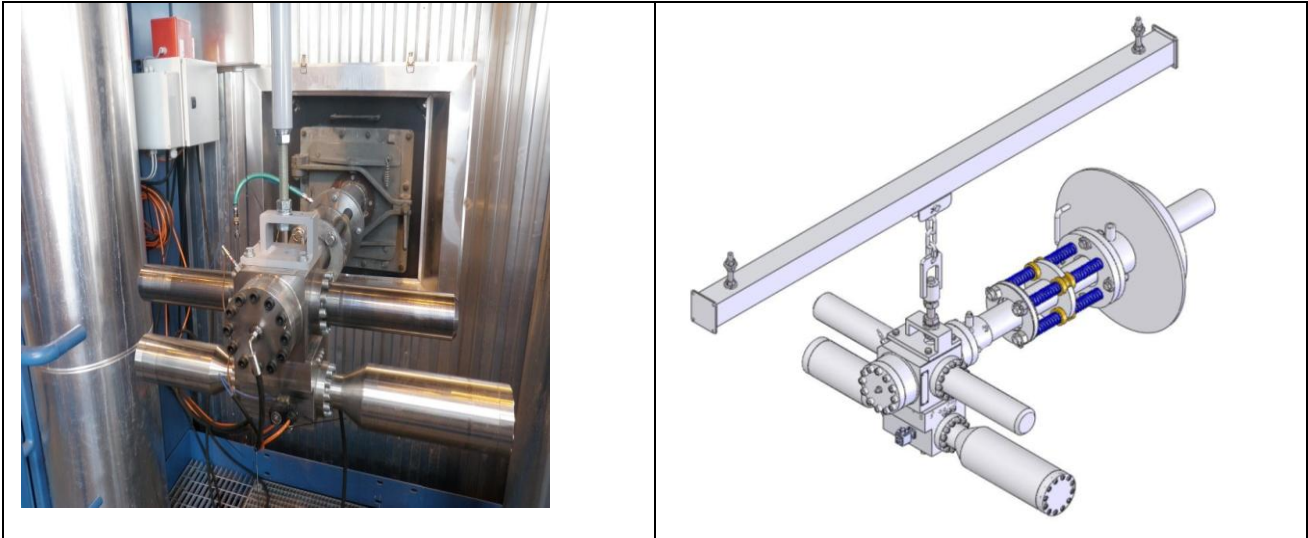


Abbildung 4: Einbau mit Federpaket

## Gasversorgung

Der Explosionsgenerator wird mit Erdgas resp. Methan und Sauerstoff betrieben. Die beiden Gase werden üblicherweise in Einzelflaschen resp. 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 Dampfleitungen 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 benötigt für die Gasfeder des Kolbens des Explosionsgenerators.



Abbildung 5: Komponenten der Gasversorgung: Kleinbündel; Druckreduzierarmatur; Absperrung beim einzelnen Generator

Die Betriebskosten eines Explosionsgenerators sind stark abhängig von der Anlieferungsart der verwendeten Gase (Tabelle 1), betragen jedoch nur einen Bruchteil derjenigen von Russbläsern.



			<b>Erdgas</b>	<b>Sauerstoff</b>
Gasverbrauch pro Explosion	kg		0.011	0.044
Gaspreise (Annahmen)	€/kg		1 - 7	1.95
Gaskosten pro Explosion	€	0.16	0.01 - 0.08	0.09
Anzahl Explosionen pro Tag		24		
<b>Gaskosten in 8000 Std</b>	<b>€/a</b>	<b>800 - 1302</b>		
Zum Vergleich:				
<b>Dampf-Russbläser</b>	10m Fahrweg			
Dampfpreis (Annahme)	€/t	10		
Anzahl Reinigungen pro Tag		3		
<b>Dampfkosten in 8000 Std</b>	<b>€/a</b>	<b>3514</b>		

Tabelle 1: Jahresbetriebskosten eines Explosionsgenerators im Vergleich mit einem Russbläser

## Sicherheit

Der Explosionsgenerator EG10 ist baumustergeprüft und CE-zertifiziert als Druckgerät Kat. II.

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.

## Referenz Kehrichtverwertungsanlage Luzern

Die längste Betriebserfahrung mit Explosionsgeneratoren hat die Kehrichtverwertungsanlage KVA Luzern. Dort sind an 3 Kessellinien 8 Explosionsgeneratoren EG10 installiert. Bis November 2010 wurden über 100'000 Explosionen durchgeführt. Ausser den Explosionsgeneratoren sind keine anderen Reinigungseinrichtungen mehr in Betrieb. Insgesamt wurden 20 Russbläser abgebaut und 1 Kugelregenanlage abgestellt.

### Detailinformation zu Kessel 1 und 2 (Leistung je 10 MW):

Vorversuche mit Explosionsgeneratoren fanden seit Sommer 2008 statt. Im Februar 2009 wurden am Kessel 2 die 6 Druckluft-Russbläser des vertikalen 3. Zugs durch 2 Explosionsgeneratoren ersetzt (Abbildung 6). Im Juli 2009 wurde derselbe Umbau am Kessel 1 durchgeführt. Die Explosionshäufigkeit wird vom Betreiber nach aktuellem Bedarf im Bereich von 30-120 Minuten eingestellt.

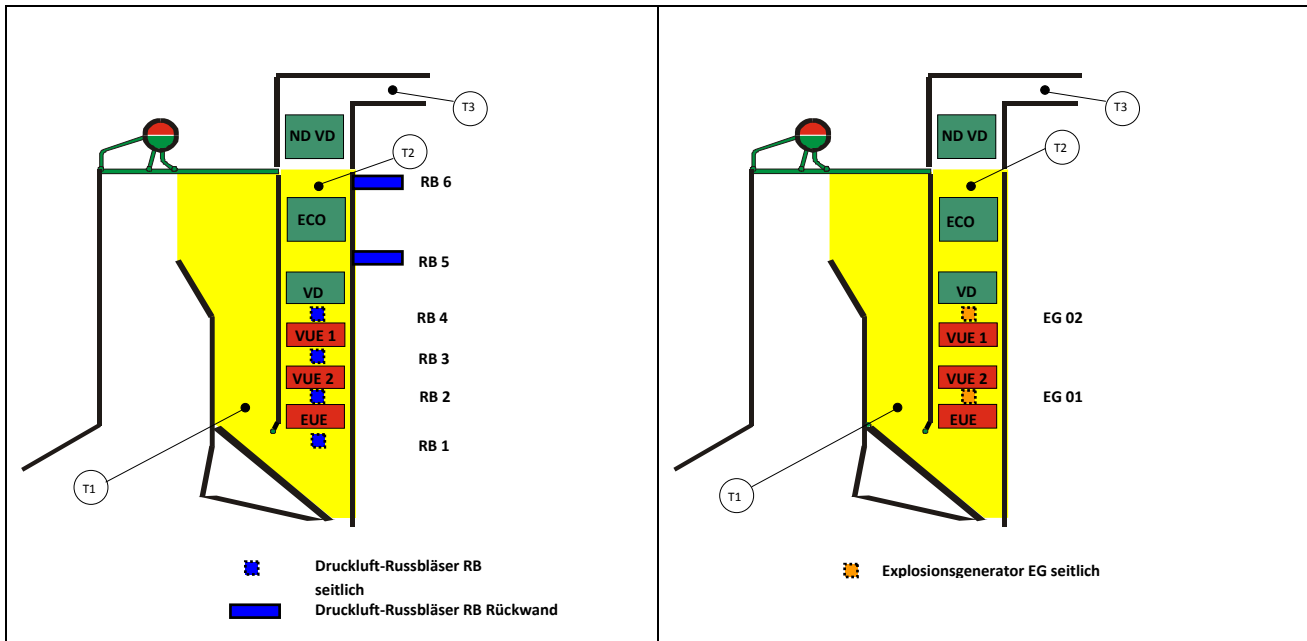


Abbildung 6: Einbauposition der Russbläser (bis 02/2009) und der Explosionsgeneratoren (ab 02/2009) am Kessel 2 der KVA Luzern

Die Trendkurve (Abbildung 7) zeigt die letzten 3,5 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.

Um trotz dieser Probleme 8500 Stunden Reisezeit erreichen zu können und zur Verminderung der Überhitzerkorrosionen behalf sich der Betreiber 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.



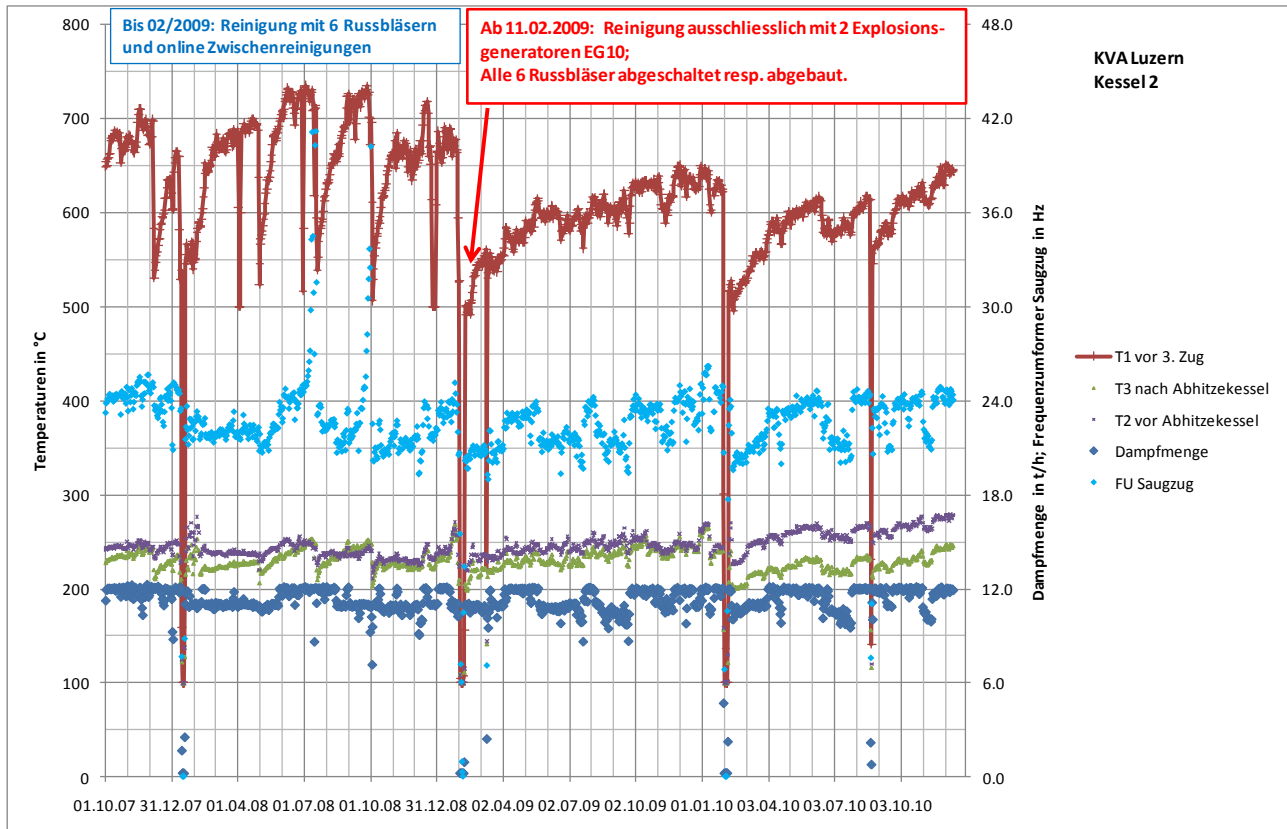


Abbildung 7: Trendkurve KVA Luzern, Kessel 2

Detailinformation zu Kessel 3 (Leistung 16 MW):

Im Juni 2009 wurden die 8 Druckluft-Russbläser des vertikalen 3. Zugs durch 2 Explosionsgeneratoren ersetzt (Abbildung 8). Im November 2009 und im Februar 2010 wurden 2 weitere Explosionsgeneratoren nachgerüstet, um die Reinigungseffizienz weiter zu erhöhen. Der Kugelregen im externen Economizer wurde abgestellt. Die Explosionshäufigkeit wird jeweils nach aktuellem Bedarf im Bereich von 30-240 Minuten eingestellt.

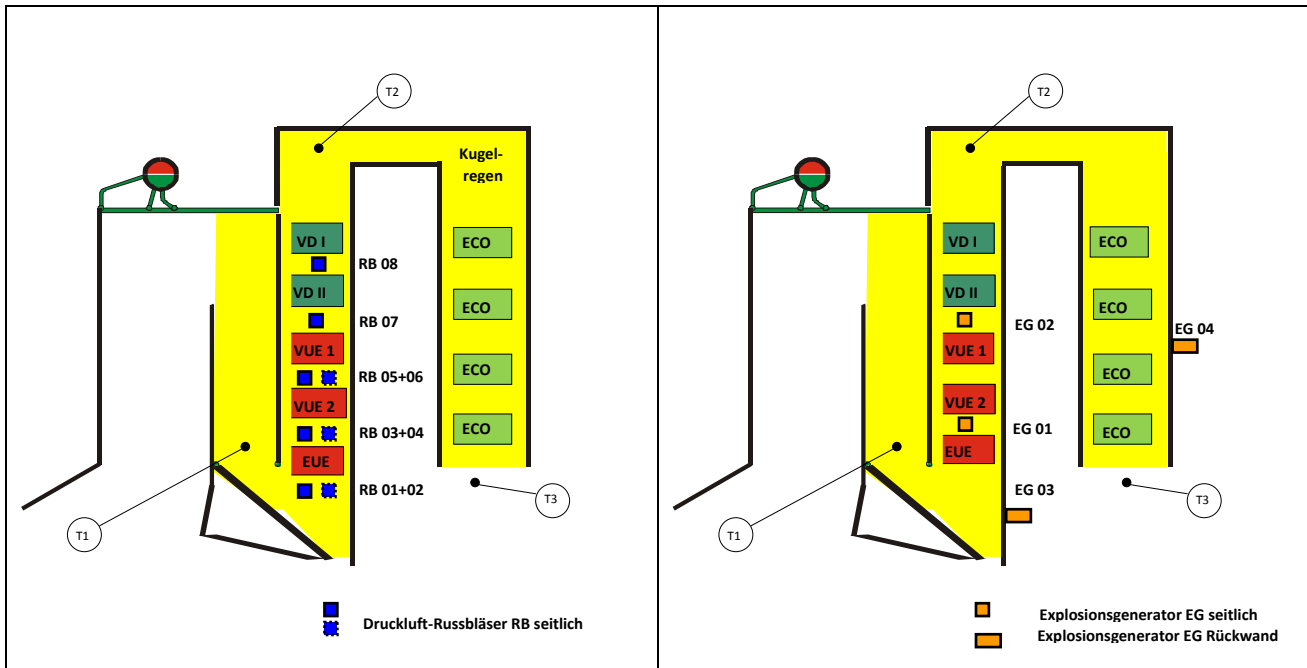


Abbildung 8: Einbauposition der Russbläser (bis 06/2009) und der Explosionsgeneratoren (ab 06/2009; sowie 11/2009 und 02/2010) am Kessel 3 der KVA Luzern

Die Trendkurve (Abbildung 9) zeigt die letzten 3 Jahre Betrieb des Kessels 3. Bis Juni 2009 erfolgte die Kesselreinigung mittels 8 Russbläsern im 3. Zug sowie dem Kugelregen im Eco. Wie oben für Kessel 2 beschrieben, ist wiederum ein regelmässiger starker Anstieg der Eintrittstemperaturen in den 3. Zug und von Zeit zu Zeit hohe Saugzugfrequenzen ersichtlic. Durch zusätzliche Bang&Clean Online-Zwischenreinigungen alle 2-4 Monate konnte trotzdem eine Reisezeit von einem Jahr erreicht werden.

Die im Juni 2009 eingebauten 2 Explosionsgeneratoren EG10 konnten den Anstieg der Rauchgastemperatur am Eintritt in den 3. Zug reduzieren, aber nicht unterhalb 650°C halten. Der Grund hierfür liegt in der, gegenüber Kessel 1 und 2, grösseren Kesselleistung und der unterschiedlichen Bauart mit Schottenverdampfer im 2. Zug. Mit Einbau eines 3. Explosionsgenerators im November 2009 auf der Rückwand des 3. Zuges, konnte die Temperatur schlagartig um mehr als 100°C gesenkt werden und kann nun permanent unterhalb 650°C gehalten werden. Dies bedeutet, dass die Druckwelle dieses Generators entgegen der Strömungsrichtung optimal zurück in den 2. Zug wirkt und dort effektiv zur Reinhaltung beiträgt. Ein 4. Explosionsgenerator ersetzt seit Februar 2010 im externen Eco den Kugelregen und hält seitdem auch die Rauchgastemperatur am Kesselende über das ganze Jahr niedriger als früher. Damit kann dieser Kessel 12 Monate im Dauerbetrieb auf nahezu sauberem Kesselzustand gehalten werden.

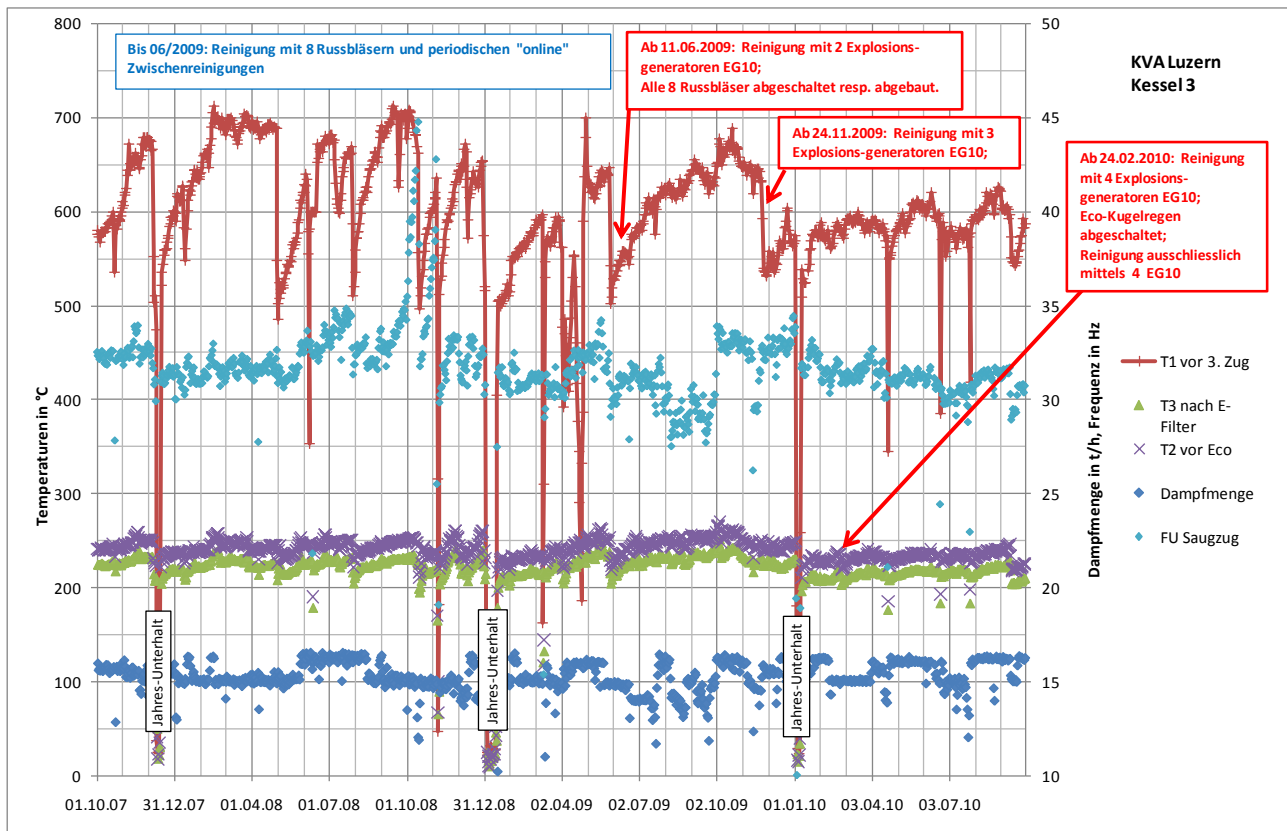


Abbildung 9: Trendkurve KVA Luzern, Kessel 3

Der Betreiber der KVA Luzern hat aufgrund dieser positiven Ergebnisse weitere Massnahmen eingeleitet, welche die Unterhaltskosten zukünftig reduzieren werden. So wurden die Schutzschalen von den Wärmetauscherbündeln entfernt, da dieser Schutz der Rohre bei Druckwellenreinigung nicht mehr notwendig ist. Zu Beginn des geplanten Jahresunterhaltsstillstands sind deutlich weniger Arbeiten notwendig für die zusätzliche Reinigung des Kessels, wodurch Arbeiten eingespart und die Zeitdauer des Unterhaltsstillstands verkürzt werden kann.

## Andere Referenzen und Einbauorte

Gute Resultate wurden auch bei grösseren Müll- und Biomassebefeuerten Kesseln (Tabelle 2) und anderen Einbaupositionen, z.B. im Leerzug sowie im Horizontalzug festgestellt (Abbildung 10).

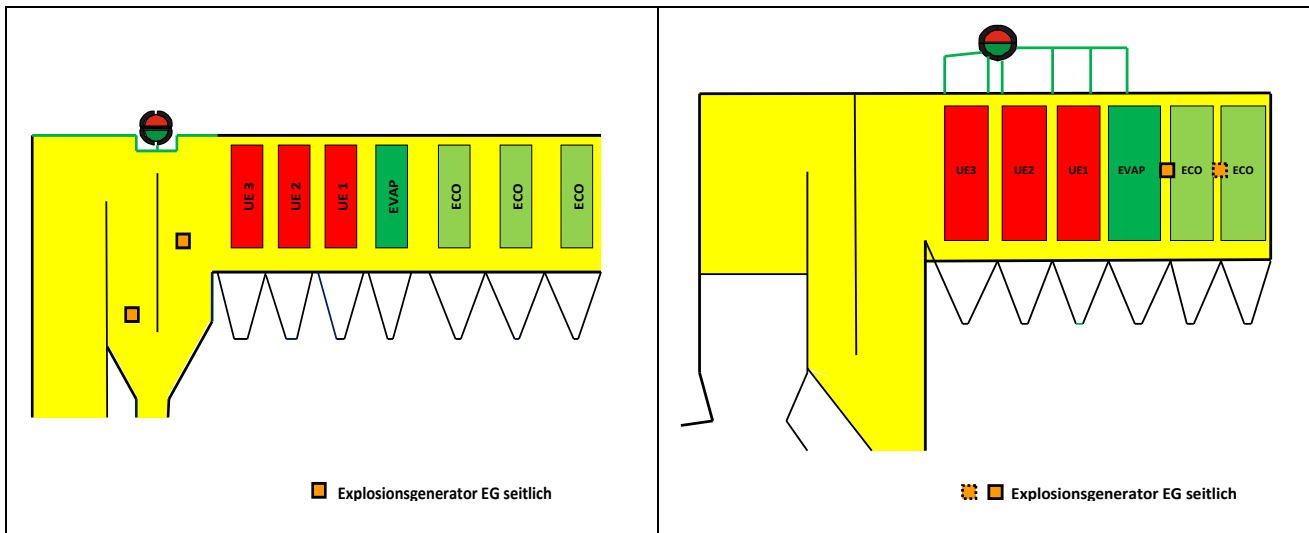


Abbildung 10: Einbaupositionen im Leerzug resp. im Horizontalzug

Bei Einbau im Leerzug kann der Explosionsgenerator beispielsweise Schlauchreinigungssysteme oder Wasserbläser ersetzen. Üblicherweise verfügen die Flossenrohrwände innerhalb der Bandagen über eine gewisse Beweglichkeit, welche dazu führt, dass die Beläge von sämtlichen Bereichen des Leerzuges abfallen können, wenn die Druckwelle auf die Wände auftrifft und diese in kurze Schwingungen versetzt. Entsprechend kann pro Explosionsgenerator ein grosses Kesselvolumen beaufschlagt werden. Da dadurch der Verschmutzungsgrad des Leerzuges dauerhaft sehr niedrig gehalten werden kann, resultiert eine nahezu konstante Eintrittstemperatur in die Nachschaltheizflächen. Dadurch wird verhindert, dass die Flugasche in diesen nachgeschalteten Bereichen wegen höheren Temperaturen mit zunehmender Reisezeit klebriger wird, und entsprechend werden Probleme in den Nachschaltheizflächen vermieden. Gegenüber Reinigungssystemen, welche Wasser eintragen, resultiert ein zusätzlicher Vorteil, da die Ecoasche staubförmig bleibt und keine aushärtenden Schichten bildet.

Bei Einbau im Horizontalzug kann der Explosionsgenerator Klopferwerke ersetzen. Auf einer der Referenzanlagen wurde die Klopfung bei denjenigen Bündeln, wo Explosionsgeneratoren montiert wurden, über mehr als 6 Monate abgestellt. Die Austrittstemperatur aus dem Horizontalzug konnte tiefer gehalten werden als vor Einbau der Explosionsgeneratoren. Während bei der Klopfung der gesamte Impuls über den angeklopften Sammler eingebracht werden muss, trifft die Druckwelle des Explosionsgenerators das gesamte Rohrbündel.

Anlage	Festbrennstoff	Dampfmenge t/h	Anzahl EG10	In Betrieb seit	
CH – Luzern	Kehricht	12	2	11.02.2009	DB
CH – Luzern	Kehricht	16	4	11.06.2009 (2); 24.11.2009 (3) 24.02.2010 (4)	DB
CH – Luzern	Kehricht	12	2	09.07.2009	DB
FI – (not disclosed)	Müll	39	2	29.01.2010	DB
DE – Lünen	Biomasse	80	6	15.03.2010 (1+2) 22.04.2010 (3+4) 25.08.2010 (5+6)	TB
UK – Tyseley	Müll	65	2	08.04.2010	DB
DE – Breisgau	Müll	71	2	13.04.2010 (1) 27.04.2010 (2)	TB
SE – Kumla	Müll	48	2	19.07.2010	DB
UK – Portsmouth	Müll	38	1	20.07.2010	DB
DE – Hagen	Biomasse	45	2	06.08.2010	TB
DE – Leuna	Müll	91	3	19.10.2010	TB
DE – Mannheim	Biomasse	80	2	18.11.2010	TB
DE - Offenbach	Müll	27	1	01.12.2010	TB
Total			31		

Tabelle 2: Referenzliste (DB = Dauerbetrieb, TB = Testbetrieb)

## Vorteile für den Kraftwerksbetrieb

Für den Kraftwerksbetrieb ergeben sich wesentliche Vorteile:

- Verbesserte Reinhaltewirkung gegenüber herkömmlichen Technologien, dank Explosionsdruck von 350 bar
- Höherer Kessel-Wirkungsgrad dank reduzierter Verschmutzung und tieferen Rauchgastemperaturen
- Längere Reisezeit
- Höhere Anlageverfügbarkeit durch reduzierte Stillstandszeiten, da niedrigerer Reinigungsaufwand während Stillständen
- Niedrigere Betriebskosten und kein Dampfverbrauch
- Niedrigere Unterhaltskosten
- Bessere CO2-Anlagebilanz
- keine Rohr-Erosionen durch Dampf, dadurch weniger Rohrreisser
- keine Schädigung des Explosionsgenerators durch RG-Temperatur und RG-Korrosionen möglich
- tiefere Betriebskosten

Bei Neuanlagen kommen zudem folgende zusätzliche Vorteile zum Tragen:

- Reduzierung der Heizflächen bei gleicher Leistung, dadurch reduzierte Kesselgrösse
- Niedrigerer Platzbedarf seitlich des Kessels, insbesondere bei mehrlinigen Anlagen (Einsparung umbauter Raum), einfachere Leitungsführung
- Niedrigere Investitionskosten
- reduzierte Anzahl Geräte wegen Fernwirkung

## **Zusammenfassung**

Die bisher eingebauten Explosionsgeneratoren zeigen sehr gute Resultate bezüglich einer Verbesserung der Kesselreinigungsmöglichkeiten bei gleichzeitiger Reduktion der Kesselschäden. Diese Erkenntnisse werden sich zukünftig bei Neuanlagen in einer geänderten Kesselauslegung niederschlagen. Hierzu wird die detaillierte Auswertung der Resultate zusätzlicher Referenzanlagen und der wachsende Erfahrungsschatz wesentlich beitragen. Gegenwärtig entwickelt Explosion Power GmbH einen leistungsstärkeren Typ Explosionsgenerator, um auch bei sehr grossen Feuerraumdimensionen von Kohlekraftwerken genügend Reinigungswirkung zu erzielen.

## **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.