

Effiziente Online-Reinigung mit Shock Pulse Generatoren – Erfahrungsstand aus über 500 Geräten

Christian Mosbeck und Mirek Spicar

1.	Einleitung	133
2.	Weltweite Referenzanlagen	134
3.	Systemübersicht	134
4.	Funktion, Spezifikation und Einbauposition	135
5.	Anwendungsgebiete der Shock Pulse Generatoren	137
5.1.	Einwandfreie Reinigung der Strahlungszüge bei der Neuanlage Renergia, Zentralschweiz AG, CH.....	137
5.2.	Erfolgreiche Glatt- und Rippenrohrreinigung von AbhitzeDampferzeugern bei Cokenergy, US.....	140
5.3.	Einhaltung der Design-Abgastemperatur durch Nachschaltheizflächen-Reinigung in Kohlekraftwerk GHECO-One, TH	143
6.	Literaturverzeichnis.....	144

1. Einleitung

Durch den wachsenden Energiebedarf steigt die Anforderung an den Wirkungsgrad von industriellen Energieerzeugern. Gleichzeitig stellt der zunehmende Einsatz von Alternativbrennstoffen mit hohen Rückstandsanteilen und die daraus resultierende Verschmutzung der Wärmetauscher eine grosse Herausforderung hinsichtlich der Reinigung der Anlagen dar.

Die durch das Schweizer Unternehmen Explosion Power GmbH (EP) entwickelten und produzierten Shock Pulse Generatoren (SPG) bieten dazu eine effiziente und äusserst kesselschonende Lösung. Diese Online-Kessel-Reinigungsgeräte erzeugen automatisierte Shock Pulse durch die Verbrennung von Gasgemischen unter Vordruck. Seit der Unternehmensgründung im Jahr 2009 hat sich diese innovative Technologie bei weltweit mehr als 500 Installationen bewährt. Der Anwendungsbereich der Shock Pulse Generatoren erstreckt sich über

unterschiedliche Dampferzeugerdesigns und über verschiedenste Festbrennstoffe. Shock Pulse Generatoren werden dabei vom Feuerraum, über die Strahlungs- und Konvektionszüge bis hin zu den Economisern eingesetzt. Anlagenbetreiber bestätigen insbesondere signifikant verlängerte Kesselbetriebszeiten, eine höhere Anlageneffizienz, längere Standzeiten der Dampferzeugerrohre und dadurch einen nachhaltigen und wirtschaftlicher Anlagenbetrieb. Immer häufiger entscheiden sich auch führende Anlagelieferanten die SPG-Technologie in Neuanlagen einzubauen, um dadurch zusätzlich von der universellen Einsetzbarkeit und der modularen, kompakten Bauweise zu profitieren.

2. Weltweite Referenzanlagen

Nach der ursprünglichen Markteinführung in Europa für den Brennstoff Siedlungsabfall ist diese innovative Technologie mittlerweile über die entsprechenden Partnerschaften praktisch weltweit verfügbar. Es hat zudem eine Ausweitung in die Bereiche Industrieabfälle, Biomasse, Sonderabfälle und durch die Entwicklung des leistungsstärksten Generators TwinL auch in den Kohlekraftwerksbereich stattgefunden. Ebenso werden die Anwendungsbereiche Prozess- und Wärmerückgewinnungsanlagen stetig ausgebaut.

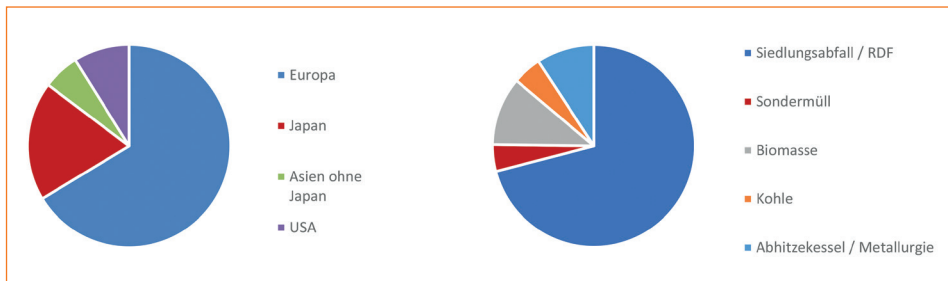


Abb. 1: Verteilung der Referenzanlagen nach Regionen (links) und nach Festbrennstoffen/Industriebereichen (rechts)

Aufgrund der hohen Standardisierung der Shock Pulse Generatoren besteht die Möglichkeit, die Geräte für ausgewählte Anwendungsfälle auch bis zu acht Monate testweise zu mieten. Im Anschluss an diese Testnutzungsphase wird dem Betreiber eine Kaufoption eingeräumt, wobei ein grosser Anteil der Testgebühr der Kaufoption angerechnet wird. Diese Testnutzung bietet insbesondere für neue Anwendungsfälle eine interessante Möglichkeit zur Beurteilung des Reinigungseffektes vor einem Kaufentscheid.

3. Systemübersicht

Das Shock Pulse Generator System (SPG) besteht aus folgenden Komponenten:

- Shock Pulse Generator, montiert auf der Dampferzeugerwand
- Steuerschrank, verbunden mit dem Prozessleitsystem (PLS)

- Druckregelstrecken, reduzieren die Flaschendrücke von Erdgas/Methan, Sauerstoff und Stickstoff auf 40 bar
- Ventilpanel, als vormontierte Baugruppe

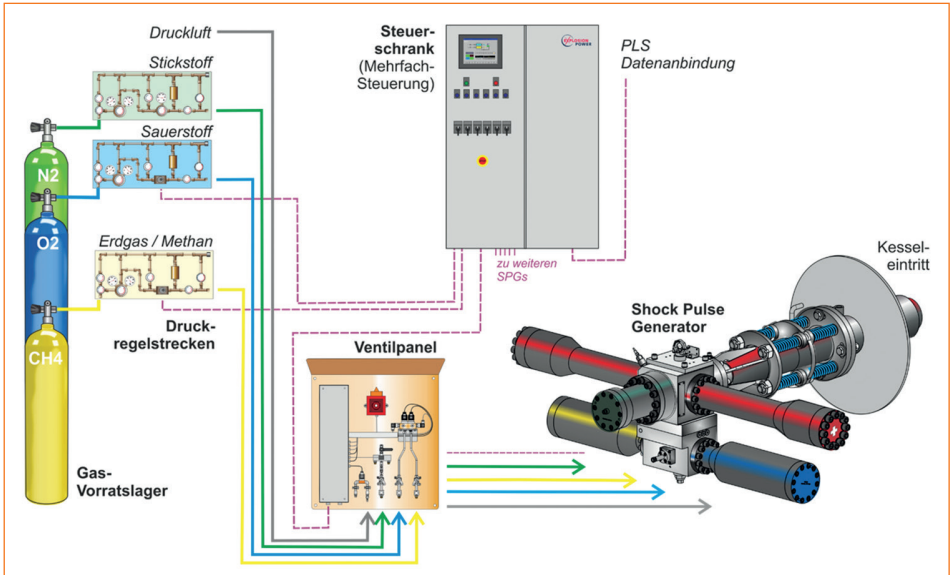


Abb. 2: Systemübersicht der Shock Pulse Generator Technologie

4. Funktion, Spezifikation und Einbauposition

Beim SPG finden die automatisch ausgelösten Verbrennungsreaktionen außerhalb des Dampferzeugers in einem stabilen, druckfesten Behälter statt und der erzeugte Shock Pulse wird über eine Düse in den Dampferzeuger geleitet. Der Shock Pulse versetzt den Rauchgasstrom und die Heizflächen in eine kurze Schwingung und erzeugt eine Körperschallschwingung innerhalb der Anbackungen. Durch diese gleichzeitig wirkenden Mechanismen werden die Verschmutzungen effizient abgereinigt. Die Eindringtiefe des Shock Pulses ist abhängig vom Gerätetyp und beträgt bis zu 15 m Kesselbreite.

Während eines Zyklus werden folgende Schritte durchlaufen:

1. Der SPG befindet sich in der Wartezeit. Der frei bewegliche Kolben verschliesst aufgrund des Stickstoffdrucks die Austrittsöffnung gasdicht.
2. Nach Freigabe durch die Steuerung werden die Dosierbehälter bis zum eingestellten Druck mit den notwendigen Kleinmengen Erdgas und Sauerstoff gefüllt. Die beiden Gase sind immer noch vollständig voneinander getrennt und deshalb nicht zündfähig.
3. Die Transfermagnetventile für Erdgas und Sauerstoff werden geöffnet und die beiden Gase strömen in die Verbrennungszylinder, wo sie miteinander vermischt werden.

4. Die Glühkerze löst die Verbrennung aus. Durch den Druckanstieg in der Vorbrennkammer schießt der Kolben nach hinten und gibt die Austrittsöffnung frei.
5. Der Shock Pulse wird über die Austrittsdüse in den Dampferzeuger geleitet und breitet sich dort zuerst linear, dann kugelförmig aus.
6. Nachdem erfolgten Shock Pulse, wird der Kolben vom Stickstoffdruck wieder gegen die Austrittsöffnung gedrückt und verschliesst diese.

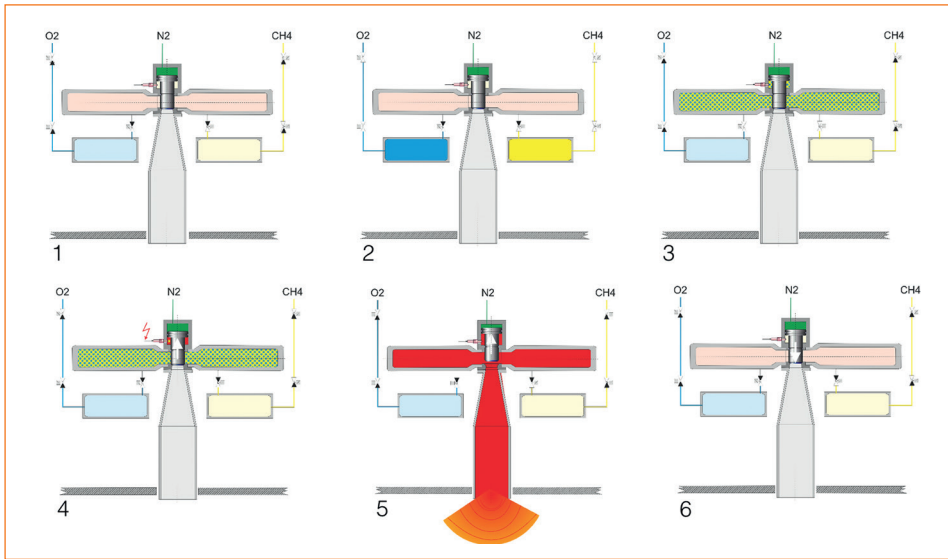


Abb. 3: Ablauf eines Zyklus

Aktuell sind folgende vier SPG-Typen verfügbar, deren Einsatz sich nach Größe und Konstruktion des Dampferzeugers sowie der Art der Verschmutzung richtet:

Tab. 1: SPG-Typen

Shock Pulse Generator		EG10	EG10L	EG10XL	TwinL
Volumen Verbrennungskammer	l	2.5	3.5	4.4	2 x 3.5
Fülldruck Dosiertanks CH ₄ / O ₂	bar	27	30	32.5	Direktfüllung
Max. Shock Pulse (SP) Frequenz pro SPG mit Einzelzyklen	SP/h	4	4	4	4
Verbrauch CH ₄ / O ₂ / N ₂	g/SP	15 / 32 / 1	21 / 45 / 1	26 / 57 / 1	42 / 90 / 2
Anschlussgröße Kesselflansch	DN	125	125	200	2 x 125

Die Gasversorgung der SPGs lässt sich durch Einzelflaschen oder Kleinbündel einfach realisieren. Die Rohrleitungen zu den SPGs können je nach Anforderung einen Nenndurchmesser von bis zu 14 mm aufweisen und haben einen Leitungs-

druck von 40 bar. Für Erdgas kann bei vorhandenem Netzanschluss auch ein Kleinkompressor verwendet werden.

Der SPG wird horizontal an der Dampferzeugerwand oder vertikal an der Decke montiert.



Abb. 4:
Horizontal eingebauter Shock Pulse Generator

5. Anwendungsgebiete der Shock Pulse Generatoren

Die SPGs finden sowohl als Ersatz oder Ergänzung vorgängig installierter Reinigungssysteme, als auch zunehmend bei Neuanlagen Anwendung, wo sie zu einer deutlichen Reduktion des Gebäudevolumens und somit zu einer Kostenreduktion beitragen. Das geringe Bauvolumen von ca. 1 m^3 pro Generator ermöglicht zudem den Einbau bei beengten Platzverhältnissen.

5.1. Einwandfreie Reinigung der Strahlungszüge bei der Neuanlage Renergia, Zentralschweiz AG, CH

Als Ersatz und zur Vergrößerung der Entsorgungskapazität für die inzwischen stillgelegte Müllverbrennungsanlage KVA Luzern wurde 2015 eine Neuanlage des Betreibers Renergia Zentralschweiz AG am Standort der Papierfabrik Perlen in Betrieb genommen. Aufgrund der sehr guten Erfahrungen mit den Shock Pulse Generatoren zur Kesselreinigung in den drei Kesseln der früheren Anlage hat der Betreiber für die Neuanlage wieder Shock Pulse Generatoren zur Abreinigung der ersten drei Kesselzüge eingebaut.

Die neue Anlage besteht aus zwei parallelen Verfahrenslinien mit einer thermischen Leistung von je 47 MW. Der produzierte Dampf dient der Stromerzeugung und der Versorgung der Papierfabrik Perlen mit Prozessdampf. Zusätzlich ist eine Erweiterung der Fernwärme für Haushalte in Bau, wodurch sich eine optimale Synergie der Kehrrechtverwertung ergibt. Eine sehr innovative Abgas-Reststoffbehandlung führt zu einer Emissionsminderung bei einem zugleich ausgezeichneten Gesamtwirkungsgrad.

Konzept der Kesselreinigung

Im ersten, zweiten und dritten Kesselzug des 4-Zugkessels ist je ein SPG vom Typ EG10L einseitig eingebaut. Somit sind die Strahlungszüge der beiden Linien mit total sechs Stück SPGs des gleichen Typs bestückt. Der horizontale vierte Kesselzug, der konvektive Teil, wird mittels pneumatischen Klopfen gereinigt.

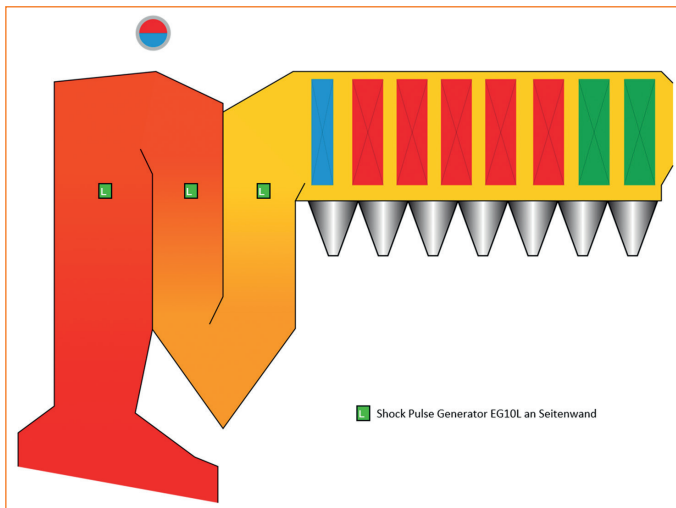


Abb. 5:
Längsschnitt des 4-Zugkessels mit Einbaustellen der SPGs

Die SPGs wurden auf die vorbereiteten Kesselstutzen DN125 angeflanscht. Das Betriebspersonal der Renergia hat neben einer Einschulung bei der Inbetriebnahme eine Schulung absolviert, welche sie berechtigt einen grossen Teil der Wartung selbst auszuführen.

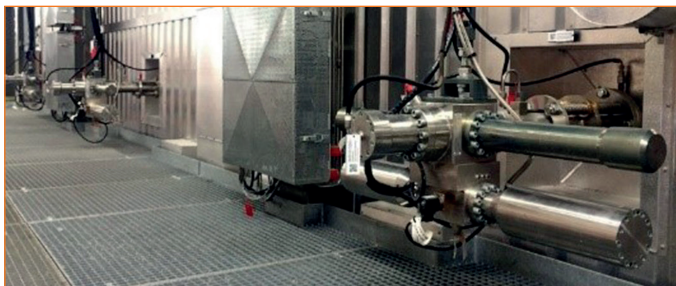


Abb. 6: Gesamtansicht der drei SPGs pro Kessel mit den Ventilpanelen in der Verkleidung

Steuerung der Generatoren

Jedem SPG ist ein Ventilpanel zugeordnet. Die Steuerung der SPGs erfolgt je Dampferzeuger mittels eines gemeinsamen Steuerschranks.



Abb. 7: Ventilpanel je SPG (links) und Steuerschrack EG104 für jeweils 3 SPGs einer Kessellinie

Das Gaslager und die Gasverteilung

Für die Gasversorgung wurden zwei getrennte Kompartimente aus Stahlbeton ausgebildet. In einem sind die Sauerstoffbatterie und eine Stickstoff-Flasche mit den entsprechenden Druckreduzierventilen untergebracht.

Vom bestehenden Erdgasnetz mit ca. 30 bar wird mittels eines Kompressors jeweils eine Erdgasbatterie mit 200 bar Druck gefüllt und in das Erdgaskompartiment transportiert.

Unterschiedliche Shock Pulse (SP) Intervalle in den Kesselzügen

Die Shock Pulse Intervalle der drei Strahlungszüge werden variiert, damit eine konstante Rauchgastemperatur erzielt werden kann. Im Mittel betragen diese für den ersten Zug 8h/SPG, für den 2. Zug 3h/SPG und für den 3. Zug 2.3 h/SPG.

Erfüllen die SPGs die Erwartungen des Betreibers?

Der Betreiber ist mit der Reinigungsleistung, der Funktionalität und dem Wartungsaufwand absolut zufrieden. Dies belegen auch die folgende Aussagen des Anlagenleiters mechanischer Unterhalt:

«Dank der SPGs gibt es nur minimale Anbackungen im ersten bis dritten Zug. Somit sind die Rauchgastemperaturen vor dem Schutzverdampfer deutlich tiefer.

Das ist ein wichtiger Punkt, um das Intervall unserer Revisionszeiten von 12 auf 18 Monate zu steigern»

Die Reinigungsleistung der Kesselwände des ersten bis dritten Kesselzugs durch die SPGs ist einwandfrei und der Revisionszyklus könnte problemlos 24 Monate betragen.

Neben der jährlichen Revision durch einen Servicevertrag mit EP werden etwa zwei Stunden pro Halbjahr für jeden SPG für kleine Inspektionen aufgewendet. Diese Wartung führt der Betreiber selbst aus.

5.2. Erfolgreiche Glatt- und Rippenrohrreinigung von Abhitze-Dampferzeugern bei Cokenergy, US

Cokenergy in East Chicago betreibt zur Kokserzeugung 4 Koksboxen, die mit 16 Abhitze-Dampferzeugern (HRSG=Heat Recovery Steam Generators) ausgestattet sind. Die kombinierte Kokserzeugungs- und Energieanlage nutzt die Abwärme aus den nicht rekuperierbaren Abgasen zur Dampfproduktion von 30 t/h pro HRSG bei 385 °C.

Jeder HRSG besteht aus der in Abbildung 9 dargestellten Abfolge von Wärmetauscherbündeln. Gemäss dem ursprünglichen Projekt wurde jeder HRSG mit jeweils zwölf Russbläsern gereinigt. Aufgrund der Erfahrungen des Betreibers wurden mehrere Optimierungspotenziale wie die Steigerung der Reinigungswirkung, insbesondere bezüglich der Rippenrohre, die Nutzung von zusätzlichem Hochdruckdampf zur Stromerzeugung und die Reduktion des Feuchtigkeitseintrags in das Rauchgas, zwecks Verminderung der Rohrkorrosion, erkannt. Zudem war eine Erneuerung des ursprünglichen Reinigungssystems von 1998 erforderlich.

Unter Berücksichtigung dieses Optimierungspotentials und der verfügbaren Kesselreinigungssysteme fiel die Wahl auf Shock Pulse Generatoren, mit folgenden evaluierten Hauptvorteilen:

- Die Schockpuls-Reinigungswirkung erstreckt sich auch auf Bereiche, welche für andere Reinigungssysteme nicht erreichbar sind
- Es wird kein Dampf für die Reinigung benötigt, der gesamte Dampf steht der Dampfturbine zur Verfügung
- Das Verfahren bringt keine zusätzliche Feuchtigkeit in den Abgasstrom ein
- Der SPG ist aussen am HRSG mit geringem Platzbedarf einfach montierbar und wird von einer Steuereinheit direkt oder indirekt von einem Prozessleitsystem fernbedient
- Positiver Langzeit-Nachweis der SPGs bei schwierigen Reinigungsbedingungen

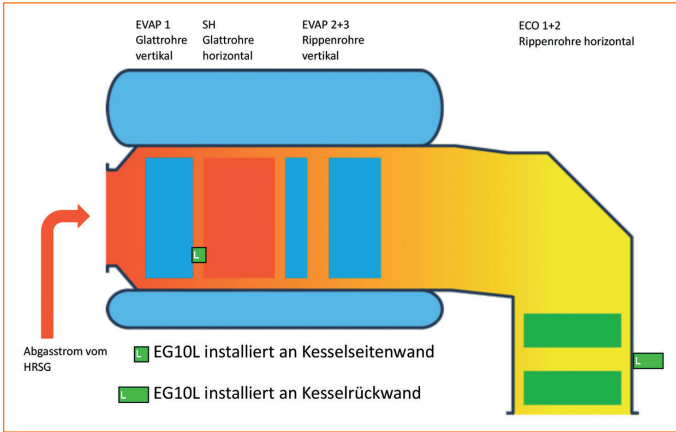


Abb. 8: HRSG: Aufteilung der Abschnitte aus Glatt- und Rippenrohren und SPG-Positionen

Die vorgesehene Anwendung der SPGs zur Reinigung der Wärmeaustauschrohre im HRSG, die mit einem 950 °C heißen und staubeladenen Abgas aus dem Koksofen durchflossen werden, war bisher nicht bekannt. Daher entschied sich Cokenergy, einen sechsmonatigen Probetrieb durchzuführen und die Eignung gründlich zu analysieren, bevor eine Entscheidung für den dauerhaften Einsatz getroffen werden konnte.

Zwei SPGs vom Typ EG10L wurden in die Kesselwand eingebaut. Einer zwischen dem ersten Verdampfer und Glattrohr-Überhitzer, der zweite zwischen den Rippenrohr-Economisern.

Der Probetrieb wurde zwischen November 2016 und April 2017 durchgeführt, d. h. während 136 Tagen und mit einer früheren Betriebszeit ähnlicher Dauer verglichen.

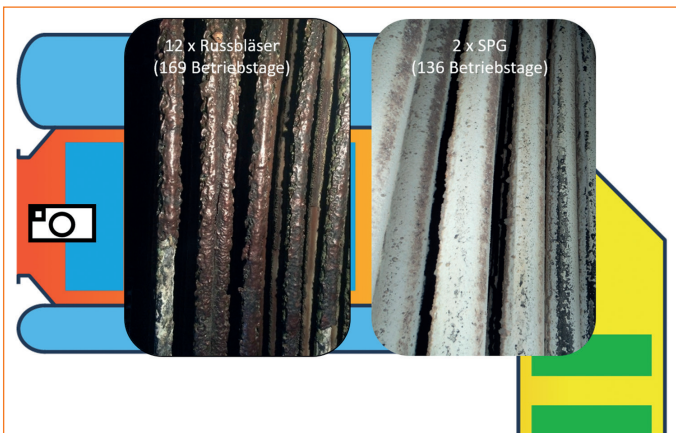


Abb. 9: Zustandsvergleich des Glattrohr-Verdampfers (ursprünglich vs. nach Probetrieb)

Die Position der Kamera (Abbildung 9) vor dem Verdampfer zeigt klar, dass sogar die vertikalen Rohre des Verdampfers durch die räumliche Ausbreitung des Shock Pulses zufriedenstellend gereinigt wurden, während der SPG hinter

dem Verdampfer angeordnet ist, um in erster Linie die Rohre des Überhitzers zu reinigen.

Eine weitere Anforderung war die Verhinderung der raschen Verschmutzung der Rippenrohre des Economisers, wo vorher der freie Durchgang für das Abgas nicht gehalten werden konnte. Durch den Einbauort des SPG zwischen den Economisern können die Rippenrohre über die gesamte Betriebsdauer äusserst zufriedenstellend sauber gehalten werden.

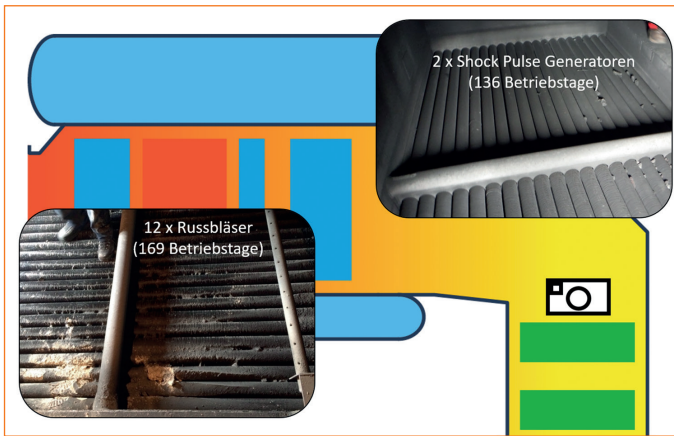


Abb. 10: Zustandvergleich der Rippenrohr-Economisers (ursprünglich vs. nach Probebetrieb)

Die Effizienz der SPGs wird am besten in der Abbildung 11 (HRSG-Druckabfall) ersichtlich. Ursprünglich war nach ca. 150 Tagen Betrieb ein deutlicher Druckanstieg zu verzeichnen, während die Druckverhältnisse bei der SPG-Reinigung nur leicht ansteigen und so eine deutliche Verlängerung der Betriebsdauer erlauben.

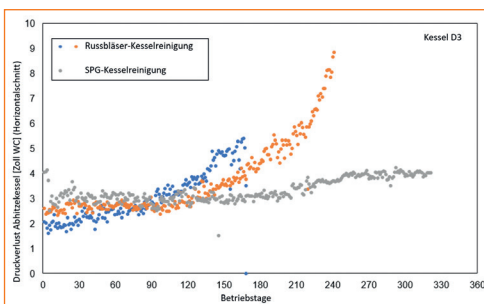


Abb. 11: Druckabfall im Horizontalteil des HRSG (vorher vs. Probebetrieb)



Abb. 12: Gesamtansicht SPG am HRSG
Steuerschrank, Gasflaschenbündel

Aufgrund des eindeutigen Reinigungserfolges durch die SPG und einer Kosten-Nutzen-Bewertung wurden schliesslich insgesamt 192 Russbläser durch 32 SPGs ersetzt.

5.3. Einhaltung der Design-Abgastemperatur durch Nachschaltheizflächen-Reinigung in Kohlekraftwerk GHECO-One, TH

Das Kohlekraftwerk GHECO-One in Rayong, Thailand wird durch Verbrennung von subbituminöser Kohle betrieben und verfügt über modernste umweltfreundliche Technologien wie NO_x -, Staubemissions- und SO_2 -Reduktionssysteme.

Der kohlestaubbefeuerte Kessel mit einer Leistung von 660 MWel produziert 2.079 t/h Dampf von 243 bar bei 568 °C. Zum Schutz der SCR-Katalysatorelemente ist es notwendig, die Kesselabgastemperatur unter 400 °C zu halten. Trotz Betrieb der Russbläser wurde diese Temperatur jeweils überschritten, weshalb manuelle Reinigungen notwendig wurden. Nach den manuellen Reinigungen stieg die Temperatur innerhalb von 7 Tagen aber erneut auf 410 °C an. Dies ist auf die Ascheansammlung auf dem Primär-Zwischenüberhitzer und Economiser zurückzuführen. Der Kessel ist mit 92 Russbläsern ausgestattet. Je nach Kohlequalitäten, und Verschmutzungsverhalten müssen die Russbläser in einem Intervall von acht Stunden, sieben Tage die Woche betrieben werden.

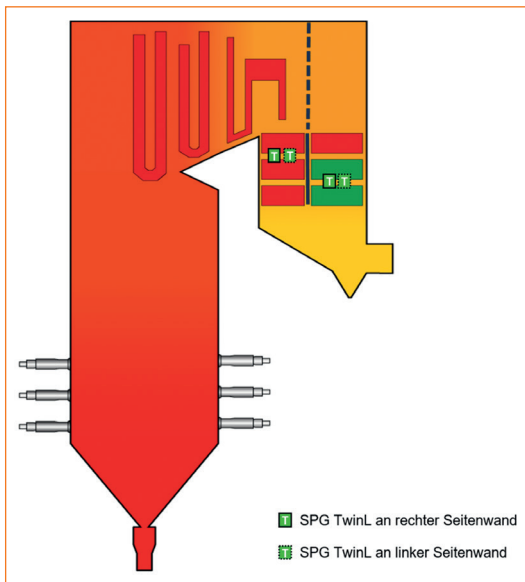


Abb. 13:
Kessel schematisch

Vom Betreiber wurde entschieden durch den Einsatz der Shock Pulse Generator Reinigungstechnologie die ungünstigen Bedingungen in dem 24 m breiten Nachschaltheizflächen vor Eintritt in den SCR zu mildern. GHECO-One installierte dann 4 Shock Pulse Generatoren TwinL, jeweils zwei pro Seite, um das Russbläsesystem zu unterstützen und den Economiser sauber zu halten und dadurch den Wirkungsgrad des Kessels zu verbessern. Der wichtigste Anforderung dabei war die empfindlichen SCR-Elemente vor übermäßiger Hitze zu schützen und somit die beschleunigte Zerstörung zu verhindern. In den Nachschaltheizflächen waren hauptsächlich kleine Ascheteilchen angesam-

melt worden, welche nun von den 4 TwinL ausreichend entfernt werden. Das System wurde im April 2018 installiert und angefahren.

Die Pulsintervalle werden durch das Betriebspersonal zwischen 60 und 120 Minuten auf die am besten geeignete Pulsfrequenz eingestellt, entsprechend den Anforderungen des Kessels, je nachdem, ob der Kessel mit Volllast oder Teillast betrieben wird. Seitdem werden die Rauchgastemperaturen vor dem SCR konstant entsprechend dem Ziel bei 380 °C gehalten.



Abb. 14:
Gesamtansicht mit SPG
TwinL aussen am Kes-
sel, Schaltschrank und
Ventilpanel

Um die Verschlackung und die Ascheablagerungen weiter zu reduzieren, sind in einer nächsten Phase des Projekts zusätzlich 4 TwinL SPGs im Bereich der Nachschaltheizflächen geplant. Ziel ist es, Speisewasser/Dampf einzusparen und die Anzahl der installierten Russbläser zu reduzieren. Dies wird durch die bessere Reinigungsleistung der Shock Pulse Generatoren möglich.

Informationen zu weiteren Referenzanlagen finden sich in [1] [2] oder auf www.explosionpower.ch.

Danksagung

Wir danken den betreffenden Betreibern, dass wir über die Erfahrungen mit Shock Pulse Generatoren in ihren Anlagen berichten dürfen.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Dr. sc. techn. C. Steiner, „Online Reinigung mit Shock Pulse Generatoren – Erfahrungsstand“; Fachtagung Freiberg, Dampferzeuger-Korrosion 2015.
- [2] Dipl. Ing. K. Ninck, „Automatisierte Reinigung von Strahlungszügen in Müllverbrennungsanlagen - Erfahrungen aus über 70 SPG Installationen“, IRRG Wien, 2018.