

## Online-Reinigung mit Shock Pulse Generatoren – Stand der Erfahrungen

*Dr. sc. techn. Christian Steiner , Dr.-Ing. Manfred Napp*

Explosion Power GmbH, Lenzburg/Schweiz

### **Zusammenfassung**

Die durch das Schweizer Unternehmen Explosion Power GmbH entwickelten und produzierten Shock Pulse Generatoren (SPG) sind Online-Dampferzeuger-Reinigungsgeräte, welche automatisierte Shock Pulse durch Verbrennung von Gasgemischen unter Vordruck erzeugen. Die innovative Technologie hat sich seit 2009 bei weltweit mehr als 220 Installationen bewährt. Der Anwendungsbereich der Shock Pulse Generatoren erstreckt sich über unterschiedliche Dampferzeugerdesigns und über verschiedenste Festbrennstoffe. Shock Pulse Generatoren gelangen dabei vom Feuerraum als heissester Dampferzeugerzone, über die Strahlungs- und Berührungszüge bis hin zu den kältesten Dampferzeugerzonen der Economizer zum Einsatz. Anlagebetreiber bestätigen signifikant verlängerte Dampferzeugerbetriebszeiten, eine höhere Effizienz, längere Standzeiten der Dampferzeugerrohre und dadurch einen nachhaltigen und wirtschaftlichen Anlagenbetrieb. Führende Anlagelieferanten entscheiden sich regelmässig die SPG-Technologie in Neuanlagen einzubauen, um dadurch zusätzlich von der modularen Systemkonfiguration und der kompakten Bauweise zu profitieren.

### **Übersicht über die Referenzanlagen**

Im Mai 2015, 6 Jahre nach der Markteinführung des Shock Pulse Generators, sind rund 220 Einheiten dauerhaft in Betrieb resp. befinden sich hierfür in der Auslieferung. Bezüglich der regionalen Verteilung der Referenzanlagen ist deutlich sichtbar, dass die Markteinführung zu Beginn ausschliesslich auf Europa begrenzt wurde. Mittlerweile kann die innovative Technologie über die entsprechenden Partnerschaften, z.B. durch die nicht-exklusive Zusammenarbeit mit der Clyde Bergemann Power Group und in naher Zukunft über eine im Gründungsprozess befindliche Joint-Venture Gesellschaft in China, praktisch weltweit verfügbar gemacht werden.

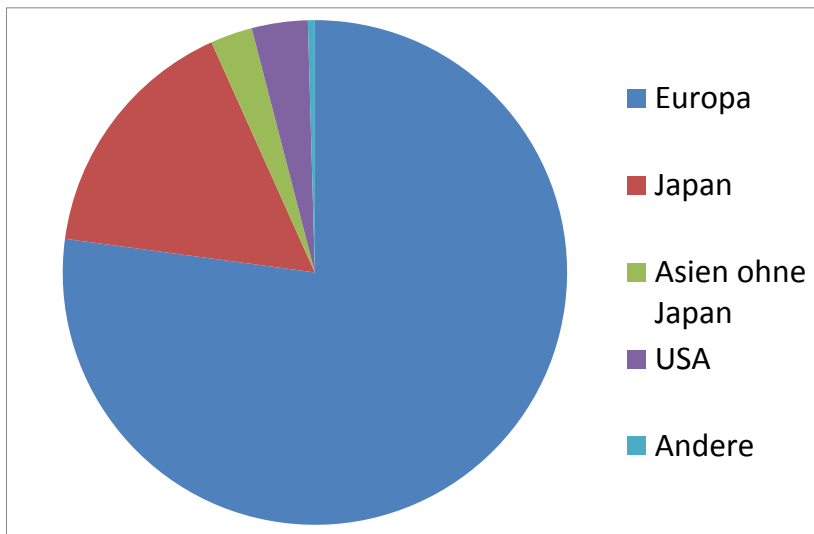


Abb. 1: Regionale Verteilung der Referenzanlagen

Bezüglich der festen Brennstoffe, welche in den Referenzanlagen verwendet werden, ist der bei der Markteinführung gelegte Schwerpunkt des Siedlungsabfalls nach wie vor deutlich sichtbar. Es findet aber eine Ausweitung in die Bereiche Industrieabfälle, Biomasse, Sonderabfälle und Kohle statt. Gerade im Bereich der Kohlekraftwerke wird für die kommenden Jahre ein starker Anstieg der Zahl der Referenzanlagen erwartet, welche Shock Pulse Generatoren einsetzen.

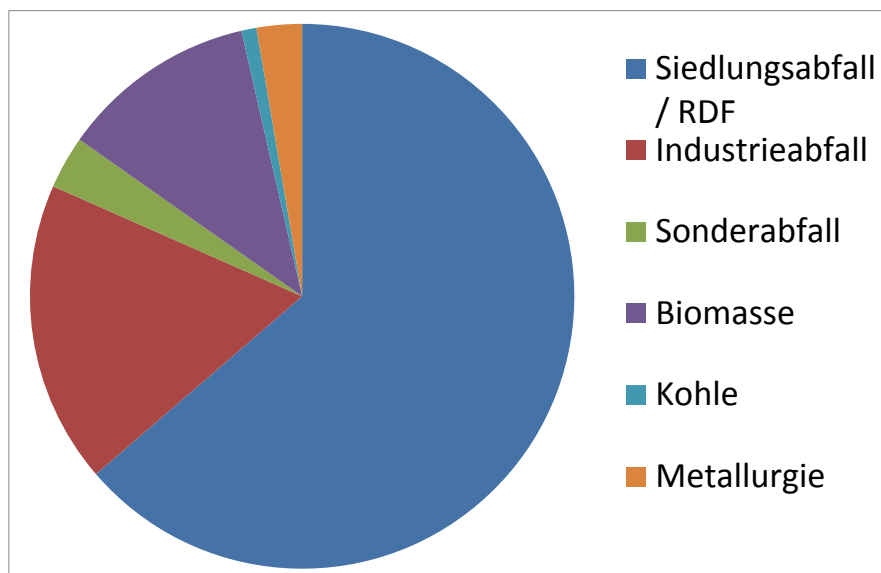


Abb. 2: Verteilung der Referenzanlagen nach Festbrennstoffen (resp. Industriebereich)

Nebst den dauerhaft installierten 220 Einheiten sind aktuell 26 Einheiten als Miet- resp. Testgeräte im Einsatz. Aufgrund der hohen Standardisierung des Shock Pulse Generators hat Explosion Power GmbH die Möglichkeit geschaffen, Shock Pulse Generatoren zu mieten. Im Anschluss an die Mietphase wird dem Betreiber eine Kaufoption eingeräumt, wobei ein grosser Anteil der Mietgebühr an der Kaufoption angerechnet wird. Auf diese Weise kann ein Betreiber die positiven Betriebsauswirkungen an seiner eigenen Anlage verifizieren, bevor ein Kaufentscheid gefällt werden muss. Dies ist insbesondere für Brennstoffe, für die noch keine Erfahrung mit Shock Pulse Generatoren verfügbar ist, oder für Dampferzeugerdesigns resp. Dampferzeugergrössen, welche sich signifikant von den bisherigen Referenzen unterscheiden, eine sehr interessante und häufig genutzte Möglichkeit.

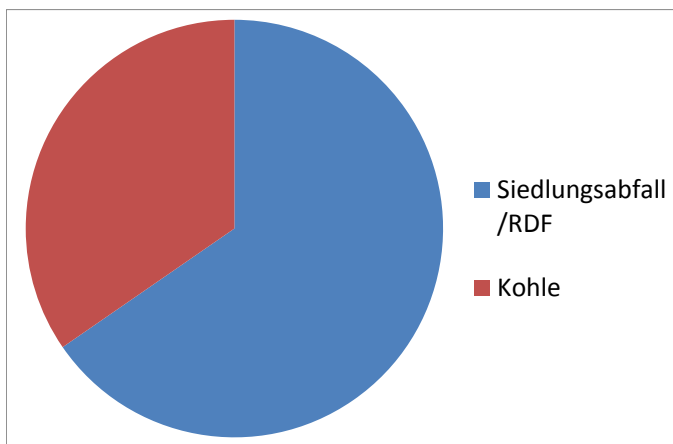


Abb. 3: Verteilung der aktuellen Vermietungen nach Festbrennstoffen

Darüber hinaus kann der Kunde die Geräte auch dauerhaft mieten, was z.B. für Anlagen mit begrenzter Restlaufzeit oder auch für Konstellationen, in denen Anlagenbesitzer und –betreiber nicht identisch sind, eine interessante Alternative darstellt.

### Systemübersicht

Das Shock Pulse Generator System besteht aus folgenden Komponenten:

- Shock Pulse Generator, montiert auf der Dampferzeugeraussenwand. Die Shock Pulse werden mittels Austrittsdüse durch einen Stutzen oder durch ein Mannloch ins Dampferzeugerinnere geführt.
- Steuerschrank, steuert die Shock Pulse und ist verbunden mit dem Prozessleitsystem (PLS).
- Druckregelstrecken, reduzieren die Flaschendrucke von Erdgas/Methan, Sauerstoff und Stickstoff auf 40 bar
- Ventilpanel, als Baugruppe aus Ventilen, Drucktransmitter und Klemmenkasten.

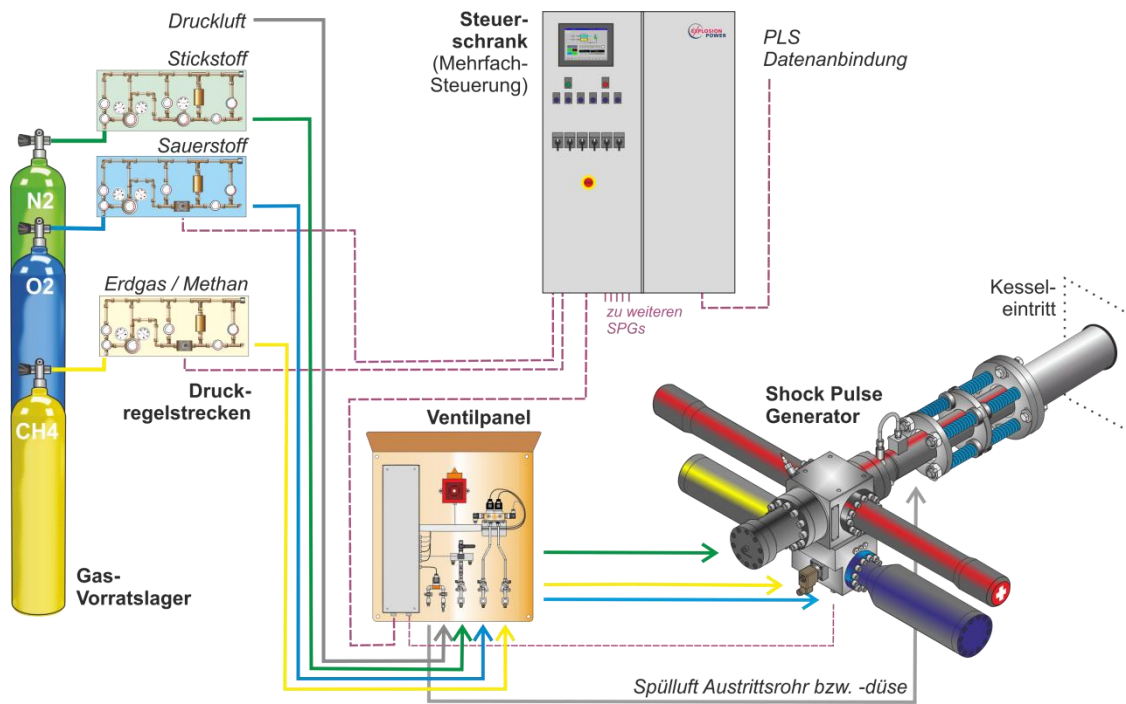


Abb. 4: Systemübersicht der Shock Pulse Generator Technologie

### Funktion, Spezifikation und Einbauart

Beim Shock Pulse Generator finden die automatisch ausgelösten Verbrennungsreaktionen ausserhalb des Dampferzeugers in einem stabilen, druckfesten Behälter statt und die erzeugte Druckwelle wird über eine Lavaldüse in den Dampferzeuger geleitet. Die Druckwelle 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 der Druckwelle ist abhängig vom Gerätetyp und beträgt bis über 10 m.

Während eines Zyklus werden folgende Schritte durchlaufen:

1. Der Shock Pulse Generator 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 festen 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 vermisch werden und nun zündfähig sind.
4. Die Glühkerze wird gezündet und löst die Verbrennung aus. Durch den schlagartigen Druckanstieg im Verbrennungsraum auf ca. 350 bar wird der Kolben nach hinten geschossen und die Austrittsöffnung freigegeben,
5. Die Druckwelle wird über die Austrittsdüse in den Dampferzeuger geleitet und breitet sich dort zuerst linear, dann kugelförmig aus.
6. Nachdem die Druckwelle das Gerät verlassen hat, wird der Kolben vom Stickstoffdruck wieder gegen die Austrittsöffnung gedrückt und verschliesst diese. Der Shock Pulse Generator ist damit bereit für den nächsten Zyklus.

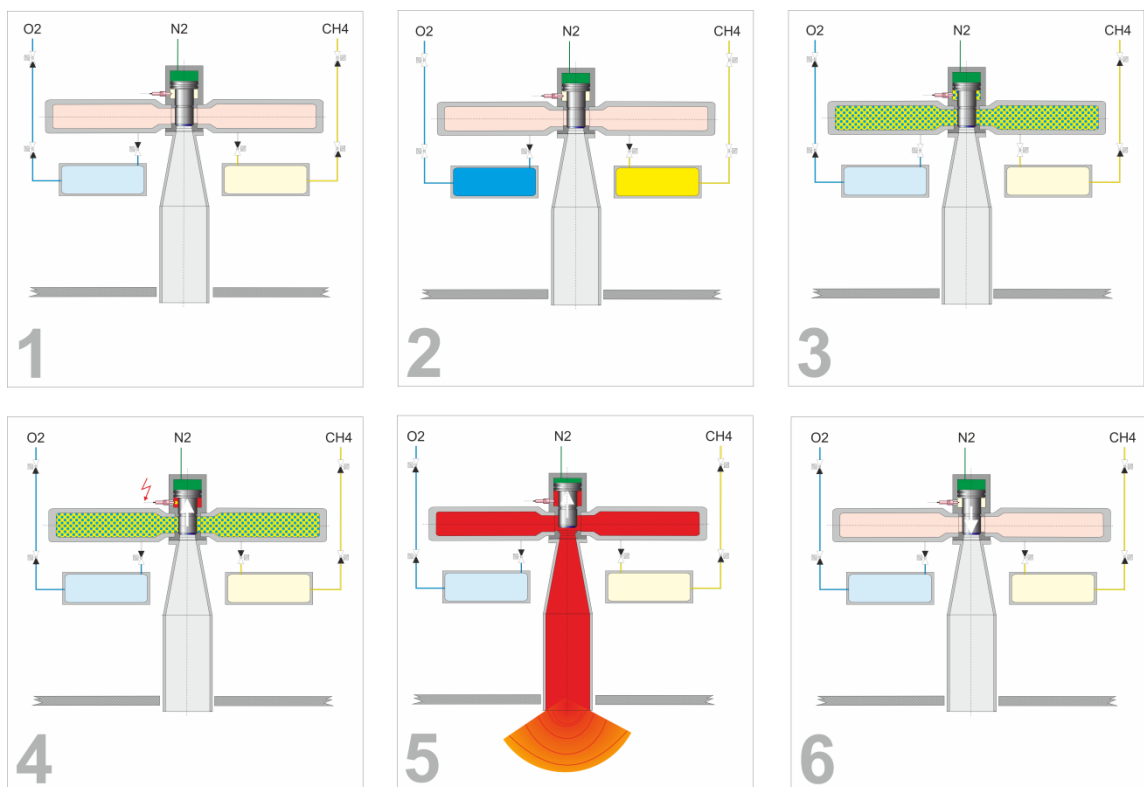


Abb. 5: Ablauf eines Zyklus

Aktuell sind 4 Typen von Shock Pulse Generatoren mit den folgenden Spezifikationen verfügbar.

Shock Pulse Generator		EG10	EG10L	EG10XL	TwinL
Volumen Verbrennungskammer	l	2.5	3.5	4.4	2 x 3.5
Volumen Dosiertanks CH <sub>4</sub> / O <sub>2</sub>	l	3.1 / 3.4	3.1 / 3.4	3.1 / 3.4	Direktfüllung
Fülldruck Dosiertanks CH <sub>4</sub> und O <sub>2</sub>	bar	29	32	35	Direktfüllung
Reaktionsdruck	bar	350	350	350	350
Max. Shock Pulse (SP) Frequenz pro SPG	SP/h	4	4	4	4
Verbrauch CH <sub>4</sub> / O <sub>2</sub>	g/SP	16 / 34	22 / 48	28 / 61	44 / 96
Verbrauch N <sub>2</sub>	g/SP	1	1	1	2

Welcher Typ zum Einsatz kommt, richtet sich nach Grösse und Konstruktion des Dampferzeugers sowie der Art der Verschmutzung.

Die Gasversorgung der Shock Pulse Generatoren lässt sich einfach durch Einzelflaschen oder Kleinbündel von 200 oder 300 bar realisieren. Die Rohrleitungen zu den Generatoren weisen einen Nenndurchmesser von 12 mm und einen Leitungsdruck von 40 bar auf. Für Erdgas kann bei vorhandenem Netzanschluss auch ein Kleinkompressor verwendet werden. Zusätzlich wird noch eine einzelne Stickstoffflasche für die Gasfeder des Kolbens im Generator benötigt.

Der Shock Pulse Generator kann horizontal an der Dampferzeugerwand oder vertikal an der Decke montiert werden.



Abb. 6: Horizontal eingebaute Shock Pulse Generatoren

### Einsatzgebiet der Shock Pulse Generatoren

Die Generatoren werden sowohl bei bestehenden Anlagen als Ersatz oder Ergänzung vorgängig installierter Reinigungstechnologien als auch zunehmend bei Neuanlagen eingesetzt, wo sie zusätzlich zu einer deutlichen Reduktion von Stahlbau und umbautem Gebäudevolumen und damit zu verringerten Anlagenkosten führen. Das geringe Bauvolumen von ca. 1m<sup>3</sup> je Generator ermöglicht den Einbau auch bei beengten bzw. schwierig zugänglichen Platzverhältnissen.

Im Folgenden werden Referenzbeispiele für unterschiedliche Brennstoffe und Einbaupositionen erläutert.

#### Einsatzbeispiel Biomassekraftwerk Silbitz, gesamter Dampferzeugerbereich

Das Biomassekraftwerk Silbitz wird durch PNE Biomasse GmbH betrieben und erzeugt aus Holz der Kategorien A1 und A2 rund 5.5 MWel und max. 3 MW Fernwärme. Die Inbetriebnahme fand im Jahr 2003 statt.

Der Dampferzeuger zeigte sich als kritische Komponente bezüglich der Erzielung von hohen Jahresbetriebsstunden und ausreichend langen Reisezeiten. Es kam zu starken Verschmutzungen insbesondere im Feuerraum (erster Zug) sowie in den Überhitzerbündeln (dritter Zug), welche zu kurzen Reisezeiten führten und häufige Stillstände notwendig machten. In späteren Betriebsjahren wurde die Anzahl Stillstände teilweise durch manuelle Zwischensprengungen reduziert.

Seit Oktober 2011 sind zusätzlich oder anstatt den vorgängig benutzten Dampferzeugerreinigungseinrichtungen vier Shock Pulse Generatoren EG10 in Betrieb. Diese haben in den verschiedenen Bereichen des Dampferzeugers zu deutlichen Verbesserungen im Dauerbetrieb geführt.

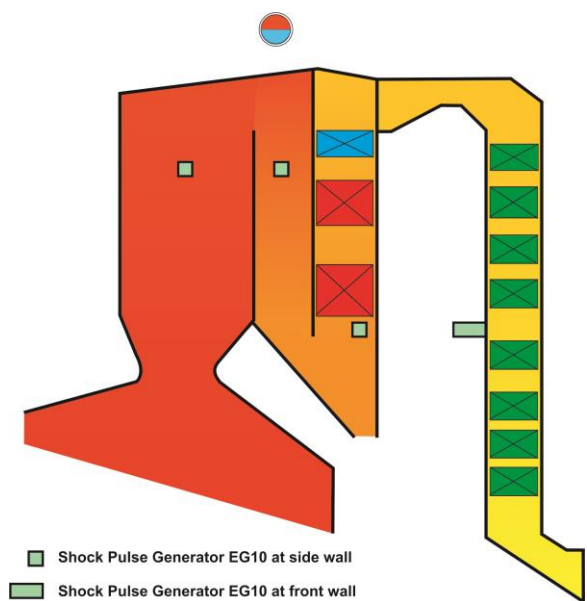


Abb. 7: Einbaupositionen der Shock Pulse Generatoren im Biomassekraftwerk Silbitz



Im Feuerraum wird der Shock Pulse Generator mit einem Intervall von 4 Stunden betrieben. Die eingeleitete Druckwelle verhindert, dass sich an den Feuerraumwänden grosse Wächten aufbauen, da die Ablagerungen in diesen regelmässigen Zeitabständen abgereinigt werden und auf den Rost fallen, solange sie keine kritische Grösse erreicht haben. Vor der Installation des Shock Pulse Generators hatten die Wächten oft eine solche Grösse erreicht, dass der Austrag über den Entschlacker nicht mehr möglich war, falls sich eine Wächte aufgrund des Eigengewichtes oder aufgrund von Spannungen gelöst hatte. In diesen Fällen musste die Anlage abgefahren und abgekühlt werden, damit Anlagepersonal in Schutzausrüstung die Wächten mittels Pressluftschlämmern zerkleinern konnte. In gewissen Fällen wurde durch das Herabfallen der Wächten sogar der Rost beschädigt.



Abb. 8a:  
Zustand des Feuerraums nach 10 Wochen Reisezeit, im Jahr 2010, ohne Betrieb von Shock Pulse Generatoren.

Abb. 8b:  
Zustand des Feuerraums nach 12 Wochen Reisezeit, im Jahr 2015, mit Betrieb von Shock Pulse Generatoren

Sowohl der Shock Pulse Generator im ersten Zug, als auch derjenige im zweiten Zug, welcher ebenfalls in einem vier Stunden Intervall betrieben wird, tragen dazu bei, dass die beiden Strahlungszüge besser abgereinigt werden und entsprechend eine höhere Effizienz behalten. Dadurch gelangt das Rauchgas mit einer niedrigeren Temperatur in die Überhitzerbündel im dritten Zug. Durch diese niedrigere Rauchgastemperatur ändert sich die Qualität der Ablagerungen, so dass diese weniger klebrig und dadurch besser abreinigbar sind.

Der Überhitzer 1 wird mittels eines Shock Pulse Generators im Intervall von drei Stunden abgereinigt. Der Einsatz der Russbläser im dritten Zug konnte durch die verringerte Rauchgastemperatur deutlich reduziert werden. Vor Einbau der Shock Pulse Generatoren wurden die Russbläser dreimal täglich betrieben. Seit Einbau der Shock Pulse Generatoren bleiben die Russbläser die ersten sechs Betriebs-

wochen nach einer Grundreinigung abgeschaltet. Anschliessend werden sie einmal täglich betrieben. Der Russbläser oberhalb des Verdampferbündels wurde komplett abgestellt. Die Elektrizitätsproduktion kann durch den verminderten Betrieb der Russbläser um rund 2% gesteigert werden, respektive muss für dieselbe Elektrizitätsproduktion weniger Holz verbrannt werden.

Im Economizer wird der Shock Pulse Generator lediglich mit einem Intervall von 24 Stunden betrieben. Sechs Drehrohrussbläser wurden komplett ausgebaut, zwei weitere werden nur noch in seltenen Fällen betrieben.

Der reduzierte Betrieb der Russbläser führt zudem dazu, dass weniger VE-Wasser aufbereitet werden muss, dass die Rauchgasfeuchte abnimmt und der Saugzug weniger Leistung benötigt. Es konnte auch festgestellt werden, dass die Standzeit der Wand- und Bündelflächen verlängert wurde und weniger Dampferzeugerschäden aufgetreten sind.

Anhand der langjährigen Betriebserfahrung wurden die zusätzlichen manuellen Dampferzeugerreinigungen so optimiert, dass sie während Unterhaltsarbeiten an anderen Komponenten durchgeführt werden und die Gesamtbetriebsdauer nicht reduzieren. Alle acht bis zwölf Wochen erfolgt im dritten und vierten Zug eine Kurzreinigung mittels Rüttelflaschen und Druckluft. Alle vier Monate wird zusätzlich der erste und zweite Zug grob sandgestrahlt. In der Jahresrevision werden der erste und zweite, sowie die zugänglichen Stellen des dritten Zugs sandgestrahlt.

#### Einsatzbeispiel Abfallheizkraftwerk Luzern, 3 Dampferzeuger, gesamter Dampferzeugerbereich

Die längsten Betriebserfahrungen mit Shock Pulse Generatoren wurden bisher im Abfallheizkraftwerk Luzern erzielt, welches im Jahr 2015 durch eine Neuanlage ersetzt wurde. Das Kraftwerk verfügte über drei Kessellinien, welche ursprünglich durch druckluftbetriebene Russbläser und Kugelregen gereinigt wurden. Im Verlauf des Jahres 2009 wurden an den drei Kessellinien insgesamt acht Shock Pulse Generatoren eingebaut und zwanzig Russbläser sowie ein Kugelregen zuerst abgeschaltet und später ausgebaut.

In den vergangenen fünfzehn Jahren erfolgte die Kesselreinigung ausschliesslich durch die Shock Pulse Generatoren. Da in dieser Zeit auch Versuche zur Reinigungsleistung verschiedener Generatortypen sowie zu unterschiedlichen Betriebsbedingungen der Shock Pulse Generatoren durchgeführt wurden, ergaben sich mehr Shock Pulse als für die Reinigung der Kessel notwendig gewesen wären. Insgesamt wurden an den drei Kesseln rund 500'000 Shock Pulse durchgeführt, ohne dass irgendwelche Schäden auftraten. Dies verdeutlicht, dass die Wirkung der Shock Pulse keine Belastung für Kesselbauteile darstellt.

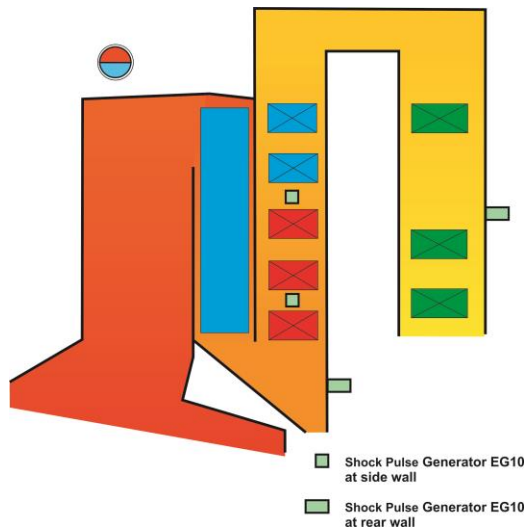


Abb. 9: Einbaupositionen der Shock Pulse Generatoren im Abfallheizkraftwerk Luzern, Kessel 3

Der Kessel 3 verfügte im zweiten Zug über Schottenverdampfer. In Abbildung 10 ist ersichtlich, dass die Rauchgastemperatur am Austritt des zweiten Zugs durch den Einbau der Shock Pulse Generatoren dauerhaft deutlich gesenkt werden konnte. Vor Juni 2009 stieg die Rauchgastemperatur am Austritt des zweiten Zugs jeweils innerhalb von wenigen Monaten auf Werte über 700°C an, was zu einer hohen Korrosionsrate im Endüberhitzer führte. Der Kessel wurde damals jeweils mit manuellen Sprengreinigungen zwischengereinigt, was die Temperatur vorübergehend senkte.

Anhand der Resultate am Kessel 3 kann, wie auch an anderen Anlagen, deutlich aufgezeigt werden, dass die Wirkung des Shock Pulses auch entgegen der Rauchgasströmung vorhanden ist. Obwohl kein Shock Pulse Generator im zweiten Zug installiert war, konnte die Austrittstemperatur des zweiten Zugs massiv reduziert werden und dieser praktisch auf sauberen Kesselbedingungen gehalten werden.

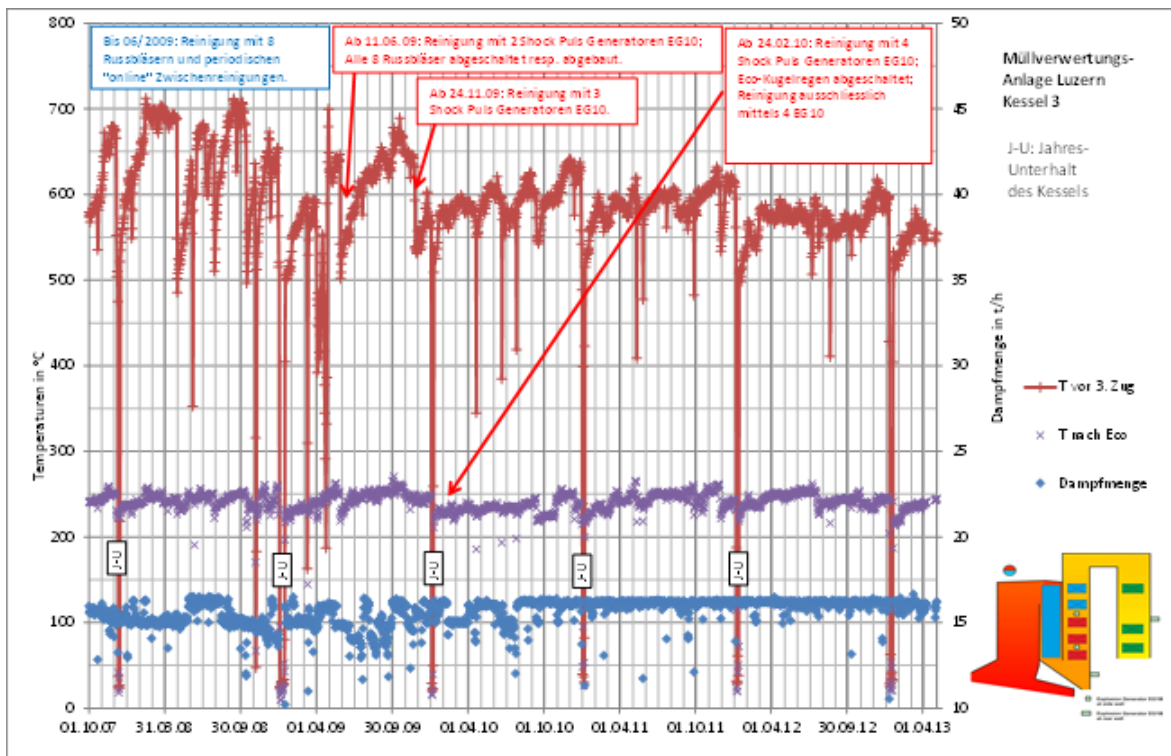


Abb. 10: Betriebsbedingungen des Kessels 3 vor und nach Einbau der Shock Pulse Generatoren

Das Abfallheizkraftwerk Luzern wurde Anfang 2015 abgeschaltet, da es durch ein neues Abfallheizkraftwerk am Standort Perlen ersetzt wurde. Im Abfallheizkraftwerk Perlen werden die drei Strahlungszüge durch drei Shock Pulse Generatoren EG10L gereinigt.

#### Einsatzbeispiel Kohlekraftwerk Werdohl Elverlingsen, Kessel Block E4, Zwischenüberhitzer 1

Das Kohlekraftwerk Elverlingsen wird von der Mark-E, ein Unternehmen der ENERVIE - Gruppe, betrieben. Der Kessel Block E4 weist eine elektrische Leistung von 321 MW auf. Es handelt sich um einen Bensonkessel (Zwangsdurchlauf) 2 Kammern, Doppel U – Feuerung. Die Kesselabmessungen betragen rund 11 x 13 x 80 Meter.

Seit September 2011 wird der Zwischenüberhitzer 1 mittels zwei Shock Pulse Generatoren gereinigt. Dadurch konnten drei Russbläser stillgelegt werden. Nebst der Dampfeinsparung konnte die Standzeit des Zwischenüberhitzers 1 deutlich verlängert werden, da die abrasions- resp. erosionsbedingten Schäden reduziert werden konnten.

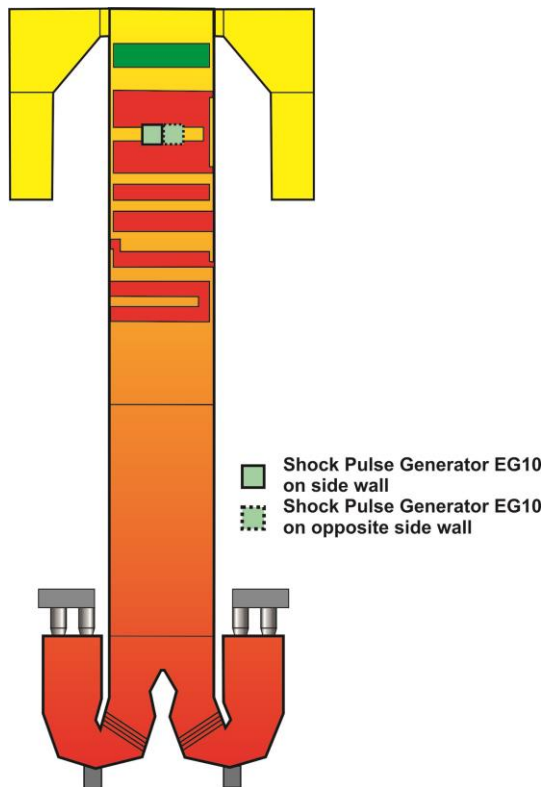


Abb. 11: Einbaupositionen der Shock Pulse Generatoren im Kraftwerk Elverlingen, Kessel E4

Informationen zu weiteren Referenzanlagen finden sich in [1] -[4] sowie auf [www.explosionpower.ch](http://www.explosionpower.ch).

### Danksagung

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

### Literaturverzeichnis

- [1] Dr. sc. techn. C. Steiner, H. Rüegg, „Heizflächenabreinigung mit Explosionsgeneratoren – die Alternative zu Russbläsern“; VGB Power Tech 03/2011, p. 58-64
- [2] Dr. sc. techn. C. Steiner, Dr.-Ing. M. Napp, Dr. sc. techn. H. Gablinger, „Effizientere Heizflächenabreinigung durch Explosionsgeneratoren“, Energie aus Abfall, Band 9, Vivis TK-Verlag, 2012
- [3] T. Füle, „Belagsentfernung durch Explosionsgeneratoren und Schall im MHKW Offenbach“, VDI-Konferenz Feuerung und Kessel, 2012
- [4] Prof. Dr. Dr.-Ing. H. Müller-Steinhagen, „Wärmeübertrager-Reinigungssysteme“, 2. Aufl., 2013, PP Publico Publications