

Kontinuierliche Optimierung durch adaptive Kesselreinigung mit Shock Pulse-Generatoren – Vorteile für den Betreiber

Christian Steiner, Simon Knellwolf und Martin Horeni

1.	Einleitung	1
2.	Kesselreinigung mit Explosion Power Shock Pulse-Generatoren	2
2.1.	Grundlagen	2
2.2.	Einsatzbereiche.....	4
2.3.	Adaptive Kesselreinigung mit Shock Pulse-Generatoren	5
3.	Referenzbeispiele	7
3.1.	Waste-to-Energy-Anlage Coriano, Rimini (IT).....	7
3.2.	Kehrichtverbrennungsanlage Perlen (CH)	9
4.	Quellen	11

1. Einleitung

Bei Biomassekraftwerken, thermischen Abfallbehandlungsanlagen und Kohlekraftwerken werden die nicht brennbaren, feinen Anteile des Brennstoffes als Flugasche mit dem Rauchgas mitgerissen und auf den Kesselflächen abgelagert. Durch die regelmäßige Abreinigung der Kesselflächen wird die Wärmeübertragung im Kessel sichergestellt, bei Bündelheizflächen der durchströmte Kesselquerschnitt freigehalten und korrosive Kondensations- und Reaktionsvorgänge begrenzt. Mit einer effizienten Kesselreinigung können hohe Wirkungsgrade aufrechterhalten und lange Betriebszeiten erreicht werden.

Für die Kesselreinigung kommen verschiedene Systeme zum Einsatz, die sich im Wirkprinzip und der Art der Installation unterscheiden. Reinigungsleistung und Wirtschaftlichkeit werden dabei nicht nur von der erzielten Reinigungswirkung, sondern auch von der mechanischen und thermischen Beanspruchung der Kes-

selheizflächen bestimmt. Ursache für die oft starke Beanspruchung der Kesselheizflächen bei vielen Reinigungssystemen ist deren hoher Energieeintrag in kurzer Zeit, mit langen Pausen zwischen zwei Reinigungsvorgängen (oftmals mehrere Stunden bis Tage). Bei den im vorliegenden Beitrag beschriebenen Explosion Power Shock Pulse-Generatoren (SPG) wird der Kessel häufiger, aber mit geringerem Energieeintrag gereinigt und dadurch auf einem konstanten, relativ sauberen Zustand gehalten.

Ein wesentlicher Vorteil der Explosion Power Shock Pulse-Generatoren ist die adaptive Kesselreinigung. Dabei wird der Betrieb der SPG (Häufigkeit und Menge des Energieeintrages) teil- oder vollautomatisiert laufend an den Zustand des Kessels angepasst, in Abhängigkeit von den aktuellen Prozessdaten und dem gewünschten Reinigungszustand. Dazu erstellt Explosion Power eine umfassende Betriebsanalyse des Kessels, bei der alle relevanten Parameter wie Temperaturen, Druckverluste, ausgekoppelte Wärmemengen pro Bündel/Kesselabschnitt usw. berücksichtigt werden. Im Anschluss werden mit dem Betreiber sogenannte Intensitätsstufen definiert und für die Intensitätsstufen-Regelung der Shock Pulse-Generatoren angewendet. Die Auswirkungen der Regelung auf die Reinigungsleistung werden regelmäßig mit dem Betreiber diskutiert und der Anlagenbetrieb so laufend optimiert.

2. Kesselreinigung mit Explosion Power Shock Pulse-Generatoren

2.1. Grundlagen

Die Kesselreinigung mittels Druckwellen hat sich im Markt als effizientes Verfahren etabliert. Die angewendeten Verfahren können hauptsächlich in mobile Anwendungen respektive fix installierte Geräte unterteilt werden. Bei fix installierten Geräten gibt es große Unterschiede in der Erzeugung der Druckwelle und deren Einleitung in den Kessel, welche zu deutlichen Unterschieden in der erzielbaren Reinigungsleistung führen. Etliche Gerätetypen sind auf die Abreinigung von staubförmigen Belägen in Economizern ausgerichtet.

Eine Voraussage der erzielbaren Reinigungsleistung aufgrund eines theoretischen Vergleichs mit einer anderen technologischen Ausführung ist nicht möglich. Hingegen kann die erzielbare Reinigungswirkung jeder technologischen Ausführung eindeutig über die Resultate ihrer Referenzanlagen beurteilt werden. Die nachfolgenden Beschreibungen gelten deshalb ausschließlich für Explosion Power Shock Pulse-Generatoren. Als Weltmarktführer von fix installierten Shock Pulse-Generatoren hat Explosion Power innerhalb von 15 Jahren weltweit über 1.150 Geräte ausgeliefert.

In der patentierten Ausführung von Explosion Power wird die Brennkammer des SPGs durch einen beweglichen Kolben gegen die Austrittsdüse und damit gegen den Kessel verschlossen. Dadurch kann eine Mischung aus gasförmigem Brennstoff und Oxidationsmedium mit einem Überdruck von rund 12 bis 25 bar erstellt werden, bevor die Zündung eingeleitet wird. Nach der Zündung erfolgt eine isochore Verbrennung, durch deren ansteigenden Verbrennungsdruck der Kolben, ohne Schaltvorgänge von Ventilen, geöffnet wird. Die Druckwelle wird mittels Austrittsdüse in den Kessel eingeleitet. Durch diese technologische Ausgestaltung kann die Druckwelle mit hoher Amplitude innerhalb kurzer Zeit und mit geringen Verlusten in den Kessel eingeleitet werden, wodurch eine hohe Reinigungsleistung erzielt wird. Dadurch können auch Anbackungen in Feuerräumen und an Überhitzern effizient abgereinigt werden.

2009 hat Explosion Power erstmalig SPGs der EG-Serie ausgeliefert, bei welcher als Oxidationsmedium technischer Sauerstoff verwendet wird und der Verbrennungsvorgang als Explosion abläuft [1] [2].

Seit 2020 werden mehrheitlich SPGs der SPGr-Serie geliefert, bei welcher als Oxidationsmedium Luft verwendet wird. Der Verbrennungsvorgang ist physikalisch als Deflagration einzuordnen. Bisher wurden rund 270 SPGr bestellt, wovon 160 bereits in Betrieb genommen wurden. Das SPGr-Gesamtsystem besteht aus wenigen, standardisierten Komponenten und kann problemlos nachgerüstet werden, weil Shock Pulse-Generator und Kessel nur im Bereich des Kesselstutzens („Kesseleintritt“ in Abbildung 1) eine Schnittstelle aufweisen und der notwendige Einbauraum gering ist:

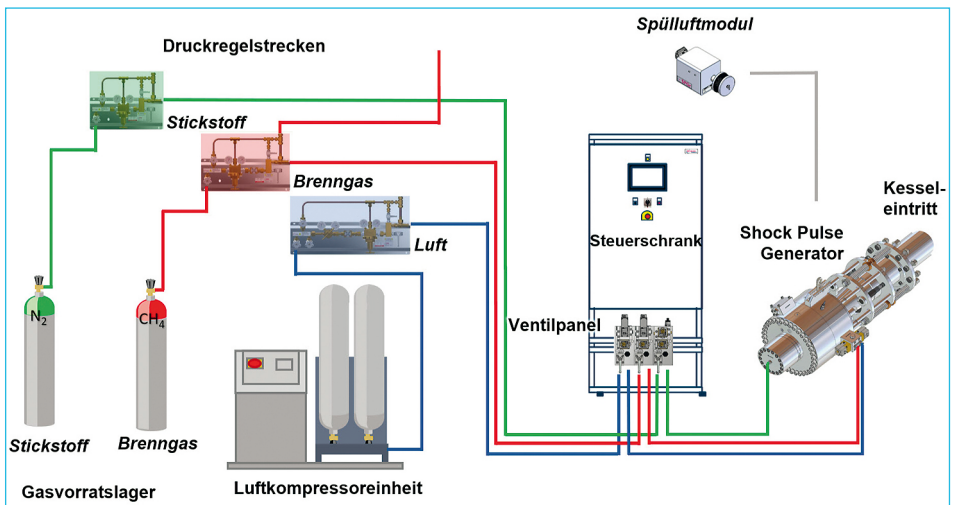


Abb. 1: Explosion Power SPGr-Gesamtsystem



Abb. 2: Shock Pulse-Generator SPGr10 im eingebauten Zustand, hier: Einbau an einem Mannloch

Weil die Kesselreinigung mit Explosion Power Shock Pulse-Generatoren deutlich häufiger, aber mit geringerem Energieeintrag als bei den nachfolgend aufgeführten Verfahren stattfindet, wird der Kessel schonend gereinigt und kann möglichst lange mit einer geringen Verschmutzung betrieben werden. Dies erlaubt eine maximale Ausschöpfung der Kapazität. Bei SPGs treten folgende jeweils systemimmanente, hohe Beanspruchungen des Kessels nicht auf:

- bei Rußbläsern und Kugelregen: Abrasion der Rohre,
- bei Harfen-Klopfwerken: Durchschlagen der Klopfböden,
- bei Shower Cleaning-Systemen (SCS) und Wasserlanzenbläsern: große Temperaturwechselspannungen,
- bei manuellen Sprengreinigungen: großer Asche-/Schlackeanfall innerhalb kurzer Zeit, Verstopfungsgefahr für Trichter und hohe Temperaturbelastung von Förderaggregaten.

2.2. Einsatzbereiche

Ein wesentlicher Vorteil von Explosion Power Shock Pulse-Generatoren ist der breite Einsatzbereich. Dies betrifft sowohl die Größe des Kessels bzw. dessen Leistungsbereich als auch den Ort der Anwendung:

- Reinigung von Strahlungszügen (Membranverdampferflächen),
- Reinigung konvektiver Vertikalzüge (Bündel, Membranverdampferflächen),
- Reinigung konvektiver Horizontalzüge (Bündel, Membranverdampferflächen),
- Reinigung anderer Kesseltypen.

Die folgende Abbildung zeigt dies beispielhaft für Frischdampfmenngen zwischen 24 t/h bei 5 m Kesselbreite in der Anlage Kezo Hinwil (CH) und über 2.000 t/h bei 24 m Kesselbreite in der Anlage Gheco One (TH):

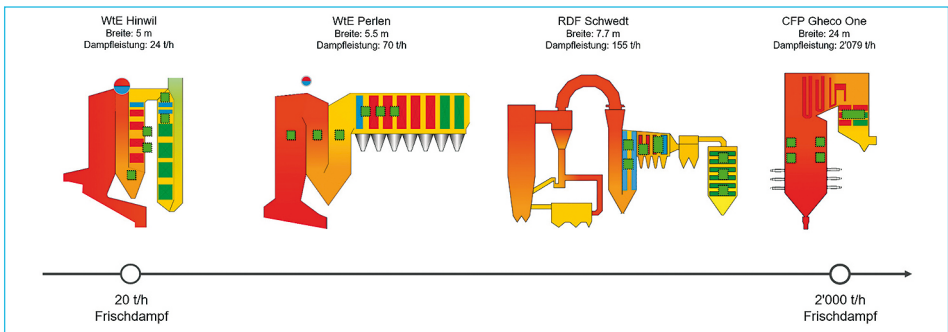


Abb. 3: Verschiedene Anwendungs- und Leistungsbereiche von Explosion Power Shock Pulse-Generatoren (beispielhaft; Anlagengrößen nicht maßstabsgetreu)

Explosion Power Shock Pulse-Generatoren werden dabei entweder alleinig oder zusätzlich zu anderen Reinigungseinrichtungen eingesetzt, sowohl in Retrofit-Projekten als auch zunehmend in Neuanlagen. Gründe für einen zusätzlichen Einsatz in Retrofit-Projekten können sein, dass die bereits vorhandenen Reinigungseinrichtungen für die Kesselreinigung nicht (mehr) ausreichen – beispielsweise, weil eine Leistungssteigerung durchgeführt wurde oder schwierigere Brennstoffe als ausgelegt verbrannt werden – oder weil deren Einsatz begrenzt werden soll. Häufige Retrofit-Anwendungen von Shock Pulse-Generatoren sind der Ersatz von Shower Cleaning-Systemen (SCS) im Bereich von Strahlungszügen [3] oder die Unterstützung von Klopfwerken im Horizontalzug. Die Abflachung bzw. Vermeidung von Spitzen bei den Rauchgastemperaturen oder beim Rauchgasdruckverlust ermöglicht längere Reisezeiten, höhere Ausschöpfung der Anlagekapazität und oftmals auch reduzierte Korrosion.

2.3. Adaptive Kesselreinigung mit Shock Pulse-Generatoren

Adaptive Kesselreinigung bedeutet, dass die Reinigungsintensität abhängig vom Reinigungsziel laufend an den jeweiligen Kesselzustand angepasst wird. Bei der adaptiven Kesselreinigung mit Explosion Power Shock Pulse-Generatoren werden die Shock Pulse pro Tag und das Shock Puls-Muster in vorab definierten

Zeiträumen geändert. Der Zustand des Kessels und das Reinigungsziel für den jeweiligen Anlagenabschnitt werden durch Prozessparameter charakterisiert, die je nach messtechnischer Ausrüstung einer Anlage ganz unterschiedlich sein können. In der Regel sind das einzeln oder in Kombination:

- Rauchgastemperaturen,
- Rauchgasdruckverluste,
- Rauchgasdruckverluste last- und temperaturbereinigt,
- Einspritzwassermengen,
- k-Werte / Wärmemengen / Wirkungsgrade,
- weitere Parameter (Last, Brennstoffmix, Frischdampftemperaturen, Wandtemperaturen, ...).

Für die von Explosion Power als Patent angemeldete Intensitätsstufen-Regelung werden Limits für die relevanten Prozessparameter festgelegt, bei deren Über- oder Unterschreitung die jeweils nächste Intensitätsstufe ausgewählt wird. Zu jeder Intensitätsstufe gehört eine Shock Pulse-Einstellung.

Die Festlegung der jeweils relevanten Prozessparameter und der Intensitätsstufen für die Reinigungsleistung erfolgt im Rahmen einer detaillierten, schrittweisen Kesselauswertung, wie in der folgenden Abbildung 4 dargestellt:

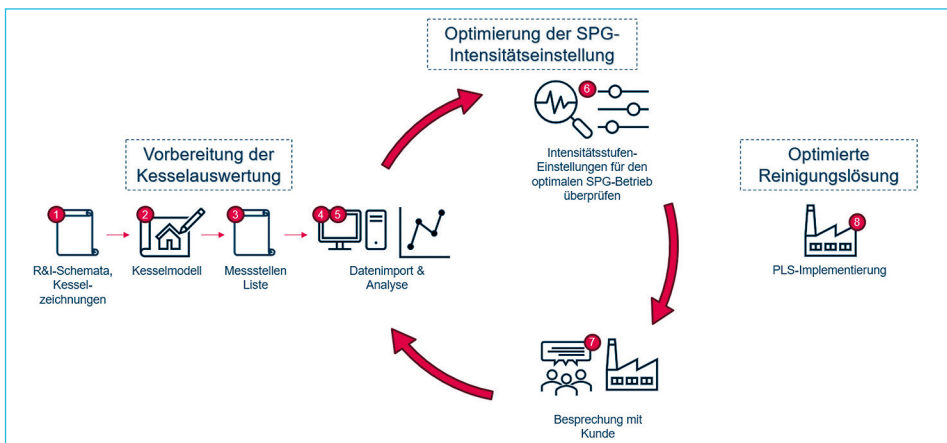


Abb. 4: Schrittweises Vorgehen für die Durchführung von Kesselauswertungen durch Explosion Power

Wesentlich ist, dass zu Beginn vom Anlagenbetreiber R&I Schemata und Kesselzeichnungen zur Verfügung gestellt werden. Mit diesen Unterlagen wird ein Kesselmodell als digitaler Zwilling der Anlage erstellt. Mithilfe des Kesselmodells werden die benötigten Messwerte zusammengestellt und die für die Auswertung erforderlichen verfahrenstechnischen Zusammenhänge dokumentiert.

Die Auswertung selbst erfolgt in der cloudbasierten Auswertungssoftware von Explosion Power. Dort wird das Kesselmodell hinterlegt, die Anlagenmesswerte gespeichert – manuell oder automatisiert – und die Visualisierungen für die Besprechungen mit dem Kunden bereitgestellt. Wiederkehrende Auswertungen des Anlagenbetriebes werden so erheblich vereinfacht. Der Zeitaufwand pro Aktualisierung einer bestehenden Auswertung beträgt wenige Minuten, inkl. Import und Bereitstellung der aktualisierten Diagramme. Gleichzeitig werden Fehler beim Handling der Anlagendaten vermieden.

Aktuell führt Explosion Power regelmäßige Kesselauswertungen für rund 50 Anlagen mit insgesamt über 200 Shock Pulse-Generatoren durch. Weil die Auswertungen wenig aufwendig und sehr transparent sind, können in kurzen Zeitabständen Optimierungsvorschläge diskutiert, in einer Intensitätsstufen-Regelung umgesetzt und diese im PLS implementiert werden. Unmittelbar nach der SPG-Inbetriebnahme erfolgt die Diskussion beispielsweise wöchentlich oder alle zwei Wochen; später monatlich oder nach Bedarf.

3. Referenzbeispiele

3.1. Waste-to-Energy-Anlage Coriano, Rimini (IT)

Die WtE-Anlage Coriano wird von der Gruppo HERA (HERAmbiente) betrieben, Feuerung und Kessel wurden von der Firma Ruths SpA Genova gebaut. Bei der Anlage handelt es sich um eine 1-Linien-Anlage mit vier Strahlungszügen und einem horizontalen Konvektionszug. Die Frischdampfmenge beträgt gemäß Auslegung 53 t/h, die Kesselbreite im Strahlungsteil 7.7 m und im Horizontalzug 3.1 m.

In der Anlage sind zwei SPGr10 installiert, im 3. Strahlungszug und im Horizontalzug (Abbildung 5).

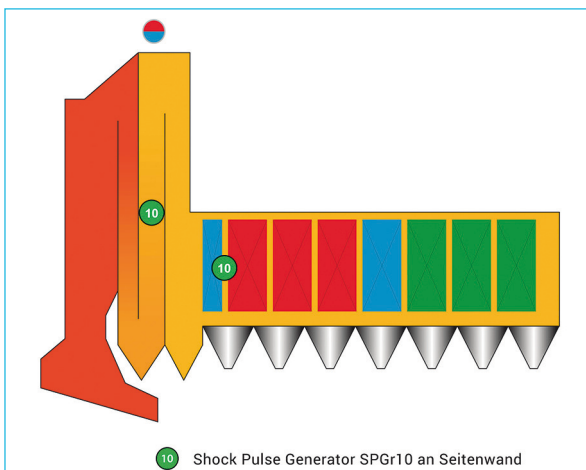


Abb. 5: SPG-Anordnung in der Waste-to-Energy-Anlage Coriano, Rimini (IT)

Der SPGr10 im Horizontalzug ist seit Juni 2022 in Betrieb; der SPGr10 im 3. Zug seit Juli 2024. Die Bündel im Horizontalzug werden zusätzlich mit einem Klopferwerk gereinigt.

Die folgende Abbildung 6 zeigt drei aufeinander folgende Betriebsperioden: ab 03/2020 ohne SPG-Betrieb, ab 07/2022 mit SPG-Betrieb ohne Intensitätsstufen-Regelung und ab 04/2024 mit Intensitätsstufen-Regelung.

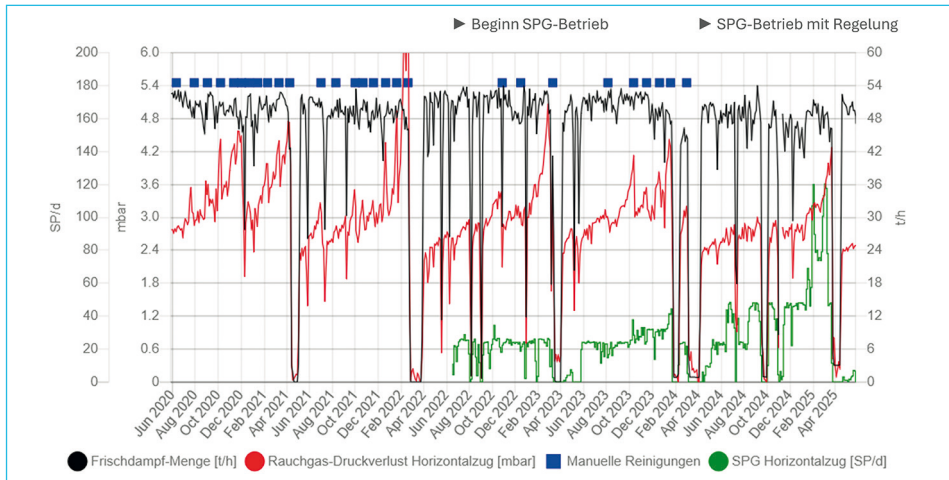


Abb. 6: Betrieb in der Waste-to-Energy-Anlage Coriano, Rimini (IT)

Die früher erforderlichen manuellen Sprengreinigungen wurden mit SPG-Betrieb ab 07/2022 deutlich reduziert und mit SPG-Betrieb in Verbindung mit der Intensitätsstufen-Regelung ab 04/2024 ganz abgeschafft. Weitere Vorteile sind die reduzierte mechanische Belastung der Sammler der Bündelharfen, die stabileren Betriebsbedingungen und der reduzierte Rauchgasdruckverlust über den gesamten Kessel, in dessen Folge auch deutlich weniger elektrische Energie für den Rauchgas-Saugzug benötigt wird:

Tab. 1: Tabellarischer Vergleich zur Beurteilung des SPG-Betriebes in der Waste-to-Energy-Anlage Coriano, Rimini (IT)

Zeitraum	03/2020-06/2022	06/2022-04/2024	04/2024-01/2025
SPG-Betrieb	nein	ja	ja, geregelt
Ø Frischdampf-Menge in t/h	50	50	48 *
Ø Rauchgas-Druckverlust in mbar	3.2	3.1	2.7
Manuelle Reinigungen pro Reisezeit, im Mittel	9	4	0

* Der Rost lief in diesem Zeitraum mechanisch auf Voll-Last; wegen des geringen Heizwertes war die Frischdampf-Menge reduziert

3.2. Kehrichtverbrennungsanlage Perlen (CH)

Die Kehrichtverbrennungsanlage Perlen wird von der Renergia Zentralschweiz AG betrieben, einem Zusammenschluss mehrerer Abfallzweckverbände in der Region. Feuerung und Kessel wurden von der ehemaligen Hitachi Zosen Inova AG, seit 12/2024 Kanadevia Inova AG, gebaut. Die Anlage weist zwei baugleiche Ofenlinien auf, jeweils mit drei Strahlungszügen und einem horizontalen Konvektionszug.

Die Frischdampfmenge pro Linie betrug gemäß ursprünglicher Auslegung 58 t/h und wurde im Rahmen zweier Kapazitätssteigerungen 2017 und 2020 auf heute 70 t/h erhöht. Der Kessel ist im Strahlungsteil 5.5 m breit und im Horizontalzug 4.4 m.

In der Anlage sind pro Linie sechs SPGr10 installiert, d. h. insgesamt werden zwölf SPGs eingesetzt (Abbildung 7).

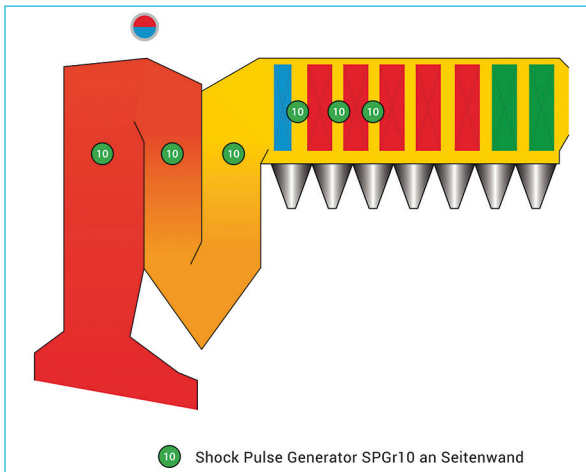


Abb. 7: SPG-Anordnung in der Kehrichtverbrennungsanlage Perlen (CH)

In den drei Strahlungszügen wurden ursprünglich drei SPGs der Typenreihe EG10L eingesetzt (Erstausrüstung). 2023 wurden diese mit drei SPGs der neueren Typenreihe SPGr10 ersetzt. Die anderen drei SPGr10 in den Horizontalzügen wurden nachgerüstet, weil die pneumatischen Einzelklopfer nach der Leistungssteigerung nicht mehr ausgereicht haben.

Die folgende Abbildung 8 zeigt für die Reinigung der Strahlungszüge zwei aufeinander folgende Betriebsperioden; bis 12/2020 ohne Intensitätsstufen-Regelung und anschließend mit Intensitätsstufen-Regelung.

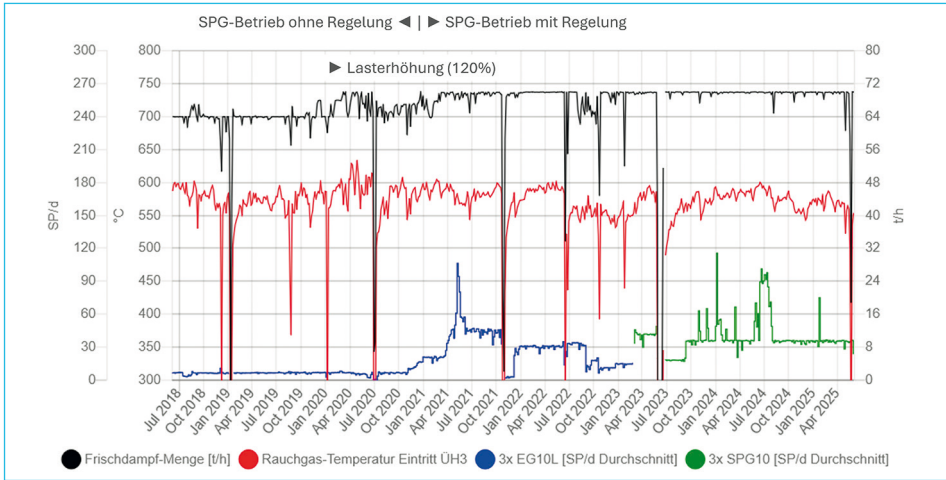


Abb. 8: Betrieb in der Kehrrechtverbrennungsanlage Perlen (CH)

Die Abbildung zeigt, dass vor 2021 die Reinigung der Strahlungszüge mit einer konstanten, vergleichsweise tiefen Anzahl an Shock Pulsen pro Tag durchgeführt wurde. Nach der Leistungssteigerung auf 120 % bzw. 70 t/h wurde die Anzahl erhöht, weil die Rauchgastemperaturen am Eintritt in den Horizontalzug mit der ursprünglichen Einstellung nicht auf dem gewünscht niedrigen Niveau gehalten werden konnten. Die Regelung erfolgt dabei auf die vor dem Endüberhitzer gemessene Rauchgastemperatur, nicht auf jene unmittelbar am Eintritt in den Horizontalzug vor dem Schutzverdampfer. Das ist damit begründet, dass die Messungen im hinteren Teil des Horizontalzugs verlässlicher sind als jene an der heißeren Stelle am Eintritt. Mit dem geregelten SPG-Betrieb können die Rauchgastemperaturen vor dem Endüberhitzer auf dem gewünscht niedrigen Niveau gehalten werden. Dies führt zu stabilen Bedingungen im Horizontalzug und ermöglicht maximale Ausschöpfung der Anlagekapazität.

Tab. 2: Tabellarischer Vergleich zur Beurteilung des SPG-Betriebes in der Kehrrechtverbrennungsanlage Perlen (CH)

Zeitraum	01/2017-12/2020	12/2020-01/2025
SPG-Betrieb	ja	ja, geregelt
Ø Frischdampf-Menge *	64.0 t/h	69.5 t/h
Ø Rauchgas-Temperatur Eintritt Endüberhitzer	567 °C	572 °C

* ursprüngliche Auslegung: 58.0 t/h

4. Quellen

- [1] Steiner, C. et al.: Heizflächenabreinigung mit Explosionsgeneratoren. VGB Power Tech 3/2011, S. 58–64.
- [2] Steiner, C. et al.: Online-Reinigung mit Shock Pulse-Generatoren – Stand der Erfahrungen. 7. Freiburger Fachtagung Dampferzeugerkorrosion 2015, S. 149–159.
- [3] Steiner, C.; Horeni, M.: 4 Jahre Betriebserfahrungen mit Shock Pulse-Generatoren in der KVA Bern Forsthaus: Leistungssteigerung und Effizienzerhöhung. Energie aus Abfall, Band 19, 2022, S. 605–623.

