

Engineered Solutions for Boosting the Performance of Existing WtE Plants

Oliver Gohlke

Smart engineered solutions have the capacity to boost the performance of waste incineration or waste-to-energy plants (WtE). The focus of this paper is on the existing more than 1,600 WtE [10], which operate sometimes with quite old or even outdated equipment. The operation allows to generate relevant amounts of power and heat from mixed municipal waste. A treatment capacity of over 200 million tons of waste per year is at stake.

The potential for performance increase is important and, in many cases, more sustainable than complete new construction. Examples are given of how the performance and availability of existing plants are improved: High level combustion control, combustion grate upgrades, water-jet cleaning of open boiler passes, sulfation generator (removing chloride from fly ash) and pressure wave cleaning (or micro-explosions). The focus is on the combustion system and boiler, which are the core component and most critical part of the WtE process.

Verfahrenstechnische Lösungen zum *Tuning* von bestehenden Abfallverbrennungsanlagen

Oliver Gohlke

1.	Optimierungspotential von Müllverbrennungsanlagen	499
1.1.	Implementierungszyklus.....	500
1.2.	<i>Tuning</i> von bestehenden MVAs – Übersicht.....	501
2.	Beispiele der Optimierung bestehender MVAs.....	502
2.1.	Optimierungs-Software für Feuerungsregelung.....	503
2.2.	Modernisierung des Verbrennungsrostes.....	504
2.3.	Effizienz der Sekundärverbrennung.....	505
2.4.	Sulfatierung der Flugasche.....	506
2.5.	Wasserstrahlreinigung der Leerzüge	511
2.6.	Kesselreinigung mit automatisierten Mikroexplosionen oder Druckwellen	513
3.	Literatur.....	515

1. Optimierungspotential von Müllverbrennungsanlagen

Die energetische Nutzung von Abfällen betrifft vielfältige Aufgaben und Industrien. Seit den 70er Jahren stand die Projektentwicklung und der Anlagenbau von Müllverbrennungsanlagen (MVAs) im Vordergrund. Heute gibt es einen gut ausgebauten Anlagenpark und somit eine größere Bedeutung für Themen wie

- Effizienz bei Betrieb und Wartung/Instandhaltung,
- Optimierung Mülldurchsatz und Energieeffizienz,
- Modernisierungen und
- Lebensdauer Verlängerung.

In diesem Artikel liegt der Fokus, auf der Optimierung (*Tuning*) von Betrieb und Wartung bestehende MVAs. Im Folgenden wird dies mit O&M abgekürzt (aus dem englischen *Operations and Maintenance*).

1.1. Implementierungszyklus

Die Lebens- oder Implementierungsphasen von Müllverbrennungsanlagen könne wie folgt beschrieben werden (Bild 1):

- Projektentwicklung,
- Herstellung und Montage (EPC),
- Betrieb und Wartung (O&M),
- Modernisierung und Lebensdauerverlängerung.



Bild 1: Zyklus der Implementierungsphasen von Müllverbrennungsanlagen

angepasst von: Rogoff, M., & Screve, F.: Waste-to-Energy: Technologies and Project Implementation. Waltham MA: William Andrew / Elsevier, 2011

auch in: Gohlke, O.: Alternative Konzepte der Betriebsführung und Instandhaltung von Müllverbrennungsanlagen. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Strategie – Planung – Umweltrecht, Band 11, ISBN 978-3-944310-33-6, 2017, S. 123 – 139

Diese Unterteilung ist angelehnt an die detailliertere Beschreibung der Implementierungsphasen bei MVA Neuanlagen aus [10]. Die erste Phase ist die Projektentwicklung mit Standortsuche und Durchfahrung aller Planungsprozesse. Danach kommt die Capex intensive EPC Phase mit Engineering, Beschaffung, Herstellung und Montage (Englisch: EPC – Engineering Procurement Construction). Die dritte Phase ist dann der eigentliche Betrieb mit Wartung/Instandhaltung (Englisch: O&M-Operations & Maintenance). Die O&M Phase von Müllverbrennungsanlagen beträgt typischerweise 20 bis 40 Jahre. Deswegen ist es wichtig, dass O&M-Belange unter Berücksichtigung der Notwendigkeit eines langfristigen Betriebes, schon während der Projektentwicklung und EPC Phase im Detail Berücksichtigung finden.

Ältere Anlagen können hinsichtlich der Notwendigkeit von Nachrüstungen und Maßnahmen zur Lebenszeitverlängerung auditiert werden. In Frankreich wird zum Beispiel das O&M von vielen Anlagen an private Betreiber delegiert. Dies wird typischerweise für einen Zeitraum von 20 Jahre vergeben. Nach diesen 20 Jahren ist dann der richtige Zeitpunkt, um größere Investitionen zur Modernisierung und Lebenszeit-Verlängerung auszuschreiben. Dies kann auch gemeinsam mit einem neuen O&M Vertrag gemacht werden. In kleinerem Maßstab für die Modernisierung/ *Revamping* beginnt dann wieder der typische Kreislauf von Projektentwicklung, EPC und O&M.

Die Optimierungslösungen aus diesem Beitrag beschränken sich auf die Phasen *Betrieb und Wartung* sowie *Modernisierung/Lebensdauererlängerung* im Bereich der Feuerung und Kessel von Müllverbrennungsanlagen. Es werden hierzu unterschiedliche technologische Lösungen aufgezeigt, wie diese möglichst effizient gestaltet werden können. Die Optimierung bestehender Organisationsstrukturen sowie gängiger Verfahrensabläufe und Werkzeuge wird hier nicht berücksichtigt, hingegen in [4] erläutert. Für die Optimierung der Abgasreinigung auf die hier nicht eingegangen wird siehe [8].

1.2. Tuning von bestehenden MVAs – Übersicht

Mit intelligenten technologischen Lösungen kann man die Leistung, Verfügbarkeit und Effizienz von MVAs erhöhen. Hierbei geht es vor allem um die bestehenden weltweit mehr als 1.600 MVAs [2], die teilweise mit recht alten oder sogar veralteten Anlagenkomponenten arbeiten.

Das *Tuning* ist in vielen Fällen nachhaltiger als ein kompletter Neubau. In Tabelle 1 und Bild 2 sind einige Beispiele aufgeführt. Der Fokus liegt auf dem Verbrennungssystem/ Feuerung und dem Kessel. Diese sind die Kernkomponenten und der kritischste Teil des MVA Prozesses.

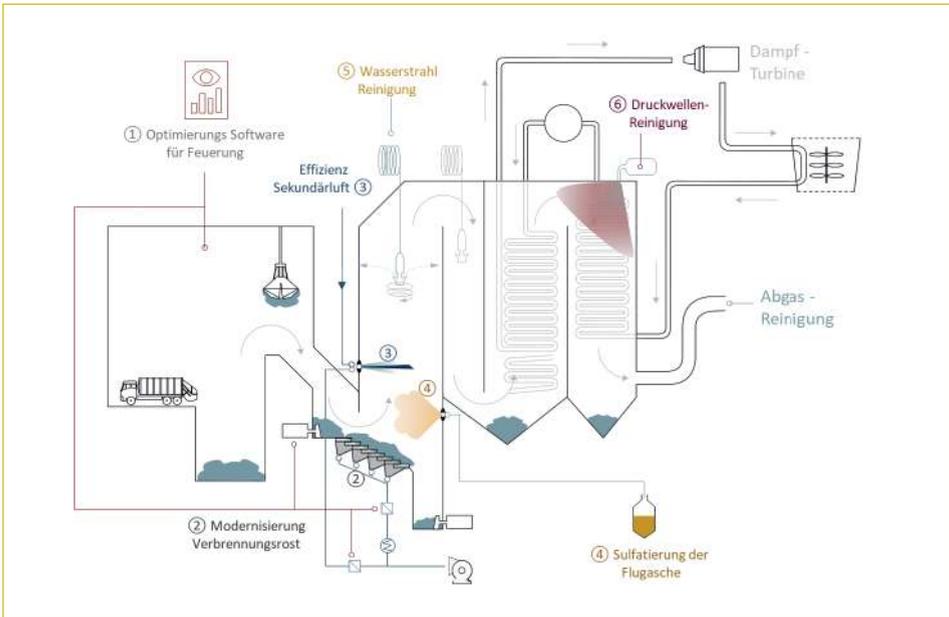


Bild 2: Tuning von MVAs – Übersicht der Komponenten und Optimierungspotential (Feuerung und Kessel von bestehenden Anlagen)

2. Beispiele der Optimierung bestehender MVAs

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten unterschiedlicher Hersteller für die Optimierung. Angelehnt an die in Bild 2 gezeigten Komponenten einer MVA werden in der folgenden Tabelle 1 Beispiele aufgezeigt.

Tabelle 1: Übersicht von technischen Lösungen, Auswirkungen/Effekten und Beispielen zur Optimierung von bestehenden MVAs

Technische Lösungen/ Komponenten	Effekt	Beispiele
1. Optimierungs-Software für Feuerungsregelung	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Stabilität der Verbrennung (Reduzierung der Standardabweichung der Fluktuation Dampfmenge; weniger <i>Einbrüche</i> der Dampfleistung) • Reduzierung der CO- und NO_x-Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelung basierend auf Index-Tabellen • Fuzzy-Logik • Neuronale Netze • Modellbasierte prädiktive Regler • Machinelles Lernen / Artificial Intelligence (AI) • Feuerungsregelung mit programmierten Reglern (Fuzevent)
2. Modernisierung Verbrennungsrost	<ul style="list-style-type: none"> • Steigerung Verfügbarkeit • Längerer Zeitraum zwischen Revisions-Stillständen • Verkürzung Stillstandzeiten für Revision • Verbesserung Schlacke-Ausbrand • Vermeidung Wasserkühlung des Rostes 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Form/Design des Roststabes (DUB-3 für Roste nach klassischem Volund-Typ) • Neue Materialien und Composite-Roststäbe

Tabelle 1: Übersicht von technischen Lösungen, Auswirkungen/Effekten und Beispielen zur Optimierung von bestehenden MVAs – Fortsetzung

Technische Lösungen/ Komponenten	Effekt	Beispiele
3. Effizienz der Sekundärverbrennung	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierte CO- und NO_x-Emissionen • Gleichmäßige Strömung im Feuerraum • Vermeidung der Verschlackung von Sekundärluftdüsen (<i>Elefanten-Rüssel</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Abgas-Rezirkulation • Zusätzliche Sekundärluft-Ebenen • Einbauten/Prisma • Doppelstrahl Sekundärluftsystem mit Überschalldampf (Boostersteam)
4. Sulfatierung der Flugasche	<ul style="list-style-type: none"> • Umwandlung der Chloride in Sulfate • Verringerte Kesselverschmutzung durch weniger anhaftende Flugasche (Erhöhung Schmelzpunkt) • Reduzierung Korrosionsraten 	<ul style="list-style-type: none"> • Zugabe von Ammoniumsulfat im oberen Feuerraum • Oxidation von Sulfiten des Nasswäschers (Peroxid) mit Rückführung der Sulfate in den Feuerraum • Sulfatierungs-Generator: Zugabe von Schwefel zur Sekundärluft (SulfGen)
5. Wasserstrahlreinigung der Leerzüge (mit flexiblem Edelstahlschlauch durch die Kesseldecke)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung der Temperatur am Einlass des konvektiven Kesselzuges • Vermeidung Verschmutzung/ Korrosion der Überhitzer • Manuelle Explosionsreinigung vermeiden 	<ul style="list-style-type: none"> • Shower Cleaning mit Rundspalt-Düse • Wasserstrahl mit schwenkender Schlauchtrommel • Wasserstrahlreinigung mit selbstdrehendem Düsenkopf (angetrieben durch Wasserdruck; DD-JET)
6. Automatisierte Generierung von Druckwellen oder Mikroexplosionen zur Reinigung des konvektiven Teil des Kessels	<ul style="list-style-type: none"> • Entfernen von Ablagerungen • Verringerung Temperaturen und Druckverlust des Abgases an den Überhitzern • Vermeidung von manueller Explosionsreinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroexplosionen (Detonationen) • Zündung von Methan und Sauerstoff unter Druck • Zündung von Acetylen und Luft (bei atmosphärischem Druck) • Druckwellenreinigung (Propan und Luft bei bis zu 900 bar; ohne Detonation)

Betriebsoptimierung

Im Folgenden werden einzelne Beispiele genauer beschrieben. Hierbei werden bevorzugt Lösungen der Dublix Technoogy ApS des Autors aufgezeigt (außer bei der Komponente 6 *Druckwellen-Reinigung*, wo Dublix keine eigene Lösung hat).

2.1. Optimierungs-Software für Feuerungsregelung

Die effiziente Feuerungsregelung von MVAs ist eine große Herausforderung aufgrund des Brennstoffes, der in Zusammensetzung und Heizwert nicht voraussehbar ist. Besonders kritisch sind außerdem lange Verzögerungszeiten. Klassische PID-Regler sind nicht effizient, um solche Herausforderungen an die Feuerungsregelung zu bewältigen. Folglich kommt es vor, dass die Feuerung von MVAs zeitweise im Handbetrieb gefahren wird. Dies erfordert eine große Aufmerksamkeit und Erfahrung der Kesselfahrer/Operator.

Upgrades der PID basierten Feuerungsregelung werden gemacht auf der Basis von

- Index-Tabellen,
- Fuzzy-Logik,
- neuronale Netze,
- modellprädiktive Regler,
- maschinelles Lernen/Artificial Intelligence (AI) und
- programmierte Regler.

Ein Beispiel für ein Upgrade der Feuerungsregelung mit programmierten Reglern und Fuzzy-Komponenten ist die Fuzevent Software.

In der IVOO-Anlage in Oostende (Belgien) konnte die registrierte jährliche Abfallbehandlungskapazität durch den Einsatz dieser Software um 6,5 % erhöht werden [3].

In einem weiteren typischen Beispiel führte die Software zu weniger Schwankungen der Dampfmenge sowie zu erhöhter tatsächlicher Dampfproduktion (bei gleichem Dampf-Sollwert). Die Trenddaten in Bild 3 zeigen: Die Feuerung mit klassischen PID-Reglern des Kessels A hat eine relativ hohe Schwankungsbreite. Außerdem sind die Schwankungen nach unten (Dampfeinbrüche) stärker als nach oben (Dampfspitzen). Dies führt dazu, dass über den Tag die mittlere Dampferzeugung kleiner als der Sollwert ist. Durch die Optimierungs-Software können diese negativen Auswirkungen leicht korrigiert werden – Kessel B mit verringerter Dampfschwankung *symmetrisch* um den Sollwert).

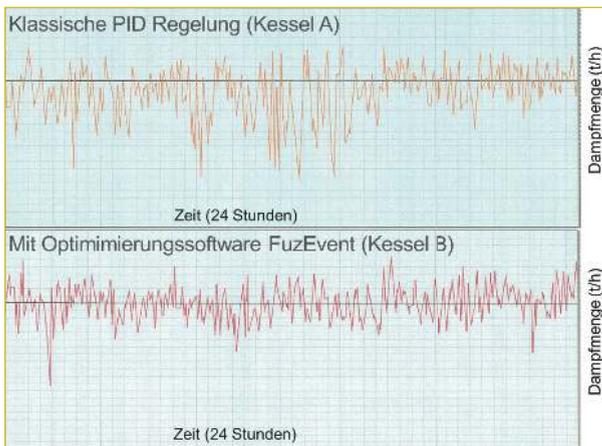


Bild 3:

Optimierung der Feuerungs-Regelung am Kessel B mit programmierten Reglern (Fuz Event); reduzierte Schwankung der Dampfmenge und erhöhte Dampferzeugung (Tagesmittelwert) bei gleichem Sollwert

2.2. Modernisierung des Verbrennungsrostes

Kernbestandteil der meisten MVAs ist der Verbrennungsrost. Viele ältere Anlagen haben das Problem, dass der Rost nicht für die gestiegenen Heizwerte und Chloridgehalte des Brennstoffes ausgelegt ist. Verbrennungsroste können durch Verbesserungen im Roststab-Design oder in der Materialauswahl aufgerüstet werden. Im Beispiel von Bild 4 führt die Modernisierung des Rostes zu reduzierten Mengen an Rostdurchfall und verminderten Stillstandzeiten für Wartung.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Lebensdauer der Roststäbe bei hohen Heizwerten ist die Installation von wassergekühlten Rostsystemen. Hierbei überwiegen aber häufig die Probleme – insbesondere Undichtigkeit der Schläuche und Verbindungen – gegenüber dem Vorteil des reduzierten thermischen Verschleißes. Es gibt deswegen auch zahlreiche Projekte, wo Wasserkühlungen von Verbrennungsrosten wieder zurückgebaut wurden. Weitere Innovationen der Anpassung von Rostsystemen an

steigende Heizwerte sind zum Beispiel Rostsysteme mit austauschbarem Kopfstück [5] oder Komposit-Roststäbe mit besonders temperaturbeständigem Gussmaterial für die Oberseite des Roststabes [13].



Bild 4:

Beispiel für ein verbessertes Roststab-Design; dies führt zu einer Reduzierung der Rostdurchfall-Mengen um 80 % und der Stillstandzeiten für Wartung um 60 % (Beispiel: Nachrüstung von DUB-3 in Arezzo/Italien; www.dublix.com/solutions/com-bustion-grate)

2.3. Effizienz der Sekundärverbrennung

Eine viel verwendete Maßnahme zur Verbesserung der Sekundärverbrennung ist die Abgasrückführung (*Rezi*). Mit dem rückgeführten Abgas kann Turbulenz auf der Sekundärgas Ebene erzeugt werden ohne Zugabe von Verbrennungsluft. Dies ermöglicht die Reduzierung der Luftüberschusses und damit der Abgasmengen (nach *Rezi*-Abzweigung). Außerdem führt die Abgasrezirkulation indirekt zu einer Verringerung der Feuerraumtemperatur und NO_x Bildung.

Mit modernen Feuerungssystemen kann aber der Luftüberschuss auch ohne *Rezi* auf Werte unter 1,4 gesenkt werden. Dies führt zwar zu erhöhten Feuerraumtemperaturen, aber dies ist heutzutage durch den bei Einsatz von Inconel gecladdeten Membranwänden statt Feuerfestmaterial nicht mehr kritisch.

Deshalb wird die Abgasrückführung häufig nicht mehr als eine bevorzugte Lösung angesehen. Ein wesentlicher Grund hierfür ist auch das inhärente Risiko, dass auf der Druckseite des *Rezi* Gebläses bei Undichtigkeiten Abgas in das Kesselhaus geblasen wird und dort Kontaminationen verursacht sowie das Anlagenpersonal gefährdet.

Bei Rückbau von Abgasrückführungssystemen sind häufig Modifikationen des Sekundärluftsystems nötig. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung des *Kesselprisma* oder *Kümmel-Balken*. Diese Maßnahmen sind effektiv, aber ziemlich aufwendig zu installieren und zu warten. Zur weiteren Beschreibung dieser Systeme und Wirksamkeit siehe [14].

Eine weitere Option, um bei bestehenden Anlagen die Sekundärverbrennung zu verbessern – und Abgasrezirkulation rückzubauen – ist der Einsatz von Doppelstrahl-Sekundärluftdüsen.

Hierbei wird zentrisch in die bestehenden Sekundärluftdüsen eine kleine Überschall-Dampfdüse eingebaut. Die Überschall-Eindüsung von Dampf bewirkt einen sehr

intensiven Mischeffekt bei geringer Sekundärluftmenge. Die führt zu einem verbesserten Ausbrand mit reduzierten CO Emissionen bei weiterer Absenkung der Abgasmenge – auch ohne Abgasrückführung.

Diese *BoosterSteam* Technologie wurde am Müllkraftwerk Schwandorf von Dr. Jörg Krüger entwickelt und wird dort seit vielen Jahren erfolgreich betrieben [7].



Bild 5: Ausführung eines Doppelstrahl-Sekundärluft-Systems mit Überschall-Dampf (Boostersteam)

Tabelle 2: Kennzahlen zum Doppelstrahl-Sekundärluftsystem (Boostersteam)

Doppelstrahl-Sekundärluft-System		<ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeit des Kernstrahls x 10 • Misch-Energie x 5 • Sekundärluftmenge x 0,5
Feuerungsgüte		<ul style="list-style-type: none"> • reduzierter Luftüberschuss • bessere Durchmischung und Vermeidung von kalt-CO • Erhöhung Feuerraumtemperaturen • reduziertes CO
Verringerung der Stillstandszeiten		<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung Abgasgeschwindigkeit und somit Flugascheeintrag in Kesselzüge • keine Verschlackung der Sekundärluftdüsen • Verlängerung der Kessel-Reisezeiten
Vereinfachte Wartung		<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau, Abgasrezirkulation • Erhöhung Feuerraumtemperatur und mehr Spielraum für 850 °C / 2 s

2.4. Sulfatierung der Flugasche

Es ist bekannt, dass die Verschmutzungs- und Korrosionsraten von MVA Kesseln viel höher sind als in Kohlekraftwerken. Hauptgrund dafür ist der Chlorgehalt im Abfall. Dieser findet sich zu großem Teil nach der Verbrennung desublimiert als Chlorid auf den Flugaschepartikeln wieder. Diese Chloride bestehen aus Alkali- und Erdalkalimetallen und noch kritischer zum Teil auch aus Schwermetallen (am relevantesten Zink und Blei; besonders gravierend bei der Mitverbrennung von Carshredder Rückständen).

Es ist aus Laborversuchen und der Praxis bekannt, dass SO_3 im Abgas zu einer schnellen *Sulfatierung* der Chloride führt: Das SO_3 reagiert mit dem Chlorid zu Sulfat. Dabei entsteht HCl und Wasserdampf, die in das Abgas gehen. Die Sulfate haben deutlich

höhere Schmelzpunkte als die entsprechenden Chloride. Entsprechend verringert sich die Anhaftung an den Kesselrohren, der Belag wird lockerer und ist leichter abzuräumen. Außerdem verringern sich drastisch die Korrosionsraten.

Der SO_3 -Gehalt im MVA Abgas ist jedoch normalerweise sehr gering. Mehr als 99 % des im Abfall/ Brennstoff enthaltenen Schwefels verbrennt zu SO_2 , das viel langsamer mit den Chloriden reagiert.

Die Sulfatierung der Flugasche kann durch Zugabe einer Ammoniumsulfat Lösung in den Feuerraum gefördert werden. Dies wird typischerweise bei Temperaturen um die $950\text{ }^\circ\text{C}$ im oberen Feuerraum gemacht. Das Ammoniumsulfat zersetzt sich zu SO_3 , was zu dem erwünschten Effekt führt. Eine weitere Möglichkeit der Sulfatierung ist die Oxidation von Sulfiten aus dem Nasswäscher mit Peroxid und die Rückführung in den Ofen (Eindüsung von in Wasser gelösten Sulfaten).

Die hier als Beispiel verwendete Variante der Sulfatierung von MVA Flugaschen ist der Sulfatierungs-Generator (SulfGen; auch *Schwefel-Brenner* oder *Krueger-Sulfatierung* genannt). Hierbei wird schwefelbasiertes pulverförmiges Reagenz über die Sekundärluft dem Feuerraum zugeführt. Erste Anlagen, die mit dieser Technologie erfolgreich ausgerüstet wurden, befinden sich in Weener / D, Wiesbaden / D, Sarpsborg / NOR, Bremen / D, Wijster / NL und Dordrecht / NL. Weitere Informationen zu SulfGen siehe [7, 9, 15].

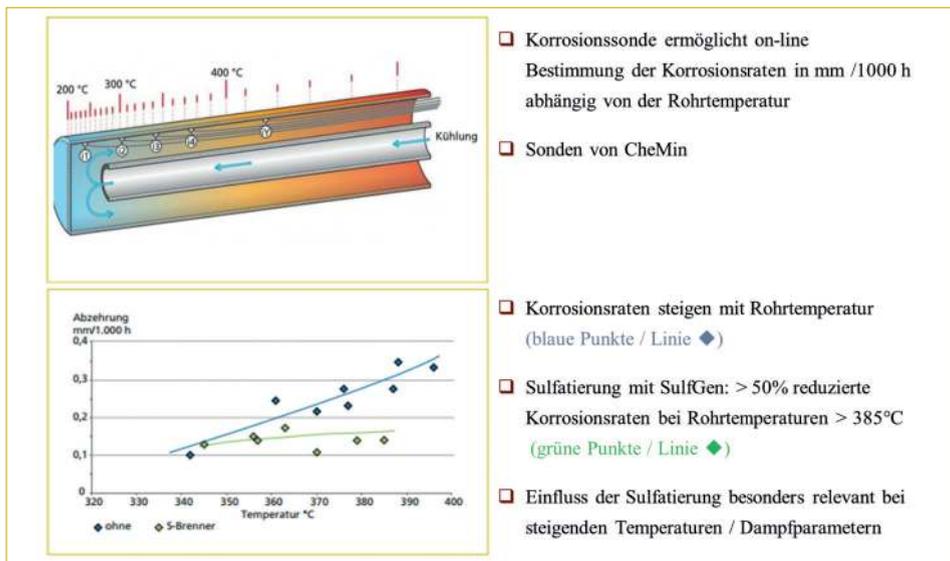


Bild 6: Reduzierung der Korrosionsraten durch Sulfatierung der Flugaschen mittels Zugabe eines schwefelhaltigen Reagenz zur Sekundärluft – SulfGen-Verfahren (identisch mit *Schwefel-Brenner*)

Quellen: Magel, G.: Auswertung der Korrosionssondenversuche im BMHKW Wiesbaden. Augsburg: Bericht Nr.: 10407 der Fa. CheMin GmbH, 2018

Zieger, W.: Einsatz von Tonschichtmineral, Flüssigsulfaten und Schwefelbrenner als Additive zur Belags- und Korrosionsreduzierung im Biomasseheizkraftwerk. In: Thiel, S.; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P.; Gosten, A. (Hrsg.): Energie aus Abfall 17, 2020. Abgerufen am 19.04.2022: https://www.vivis.de/wp-content/uploads/EaA17/2020_EaA_497-542_Zieger.pdf

In der Referenzanlage Dordrecht /NL werden bei einem großen MVA Kessel mit 85 t/h Dampfproduktion mit folgenden Einstellungen der Sulfatierungs Generator eingesetzt:

- Eindüsung 3 Mal pro Tag
- Jeweils ½ Stunde mit 10 kg schwefelhaltigem Reagenz (20 kg /h)
- Gesamtverbrauch an Reagenz etwa 30 kg/Tag oder 0,05 kg/t Müll (entspricht 0,005 % oder 50 ppm)



Bild 7:

Automatisierter Sulfatierungs-Generator (SulfGen) an der Referenzanlage Dordrecht /NL (links: Dosierstation mit Armaturen, oben: Schaltkasten und Bedieneinheit, unten: Splitter zur Verteilung auf Sekundärluftdüsen)

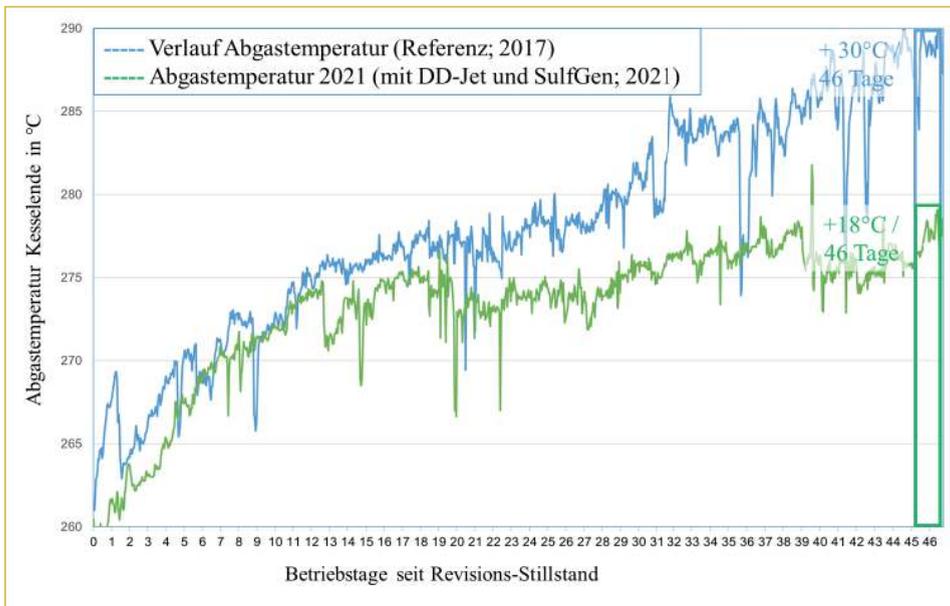


Bild 8: Verringerung der Kessel-Verschmutzung mit Sulfatierungs-Generator (SulfGen) an der Referenzanlage Dordrecht/NL; Temperaturanstieg Kesselende jeweils 46 Tage nach Revisions-Stillstand von +30 °C auf +18 °C reduziert (um 40 %); Nachrüstung Wasserstrahlreinigung DD-Jet in 2019 und SulfGen in 2021

DAS CO₂-neutrale Additiv
zur Reduzierung von
Kesselverschmutzung,
Chemikalienverbrauch
und Korrosion.

Ohne MinPlus



Mit MinPlus

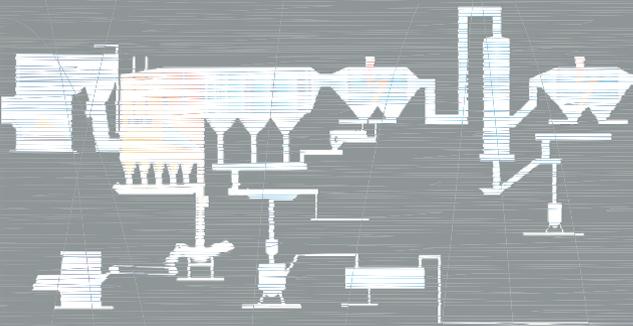


Mobil testen





IHR ANSPRUCH. UNSERE LÖSUNG.



- Stahlbau
- Anlagenbau
- Maschinenbau
- Entstaubungstechnik
- Dienstleistungen
- Montagen
- Instandhaltung
- Reparaturen

➔ 24/7 HOTLINE 0800 2388 330

➔ HOFFMEIER.DE

2.5. Wasserstrahlreinigung der Leerzüge

MVA Kessel sind typischerweise mit Klopferwerken (Horizontal oder *Dackelkessel*) oder Rußbläsern (Vertikalkessel) zur Reinigung ausgerüstet. Damit sind typischerweise Reisezeiten von bis zu einem Jahr möglich, bevor die Anlagen zur Kesselreinigung und Revision abgefahren werden müssen.

Anfang der 2000er Jahre wurde insbesondere in Europa begonnen die MVAs mit Wasserstrahl-Reinigungen für die Leerzüge auszurüsten. Das Prinzip wird auch im deutschen häufig als *Shower Cleaning* bezeichnet. Hierbei wird durch die Kesseldecke an einem flexiblen Stahlschlauch eine Waschdüse in den Kessel eingeführt. Dies ist besonders effizient in den Leerzügen – typischerweise der 2. und 3. Kesselzug. Aber auch der Feuerraum – insbesondere der obere Teil ohne Feuerfest/SiC Platten kann effizient gereinigt werden.

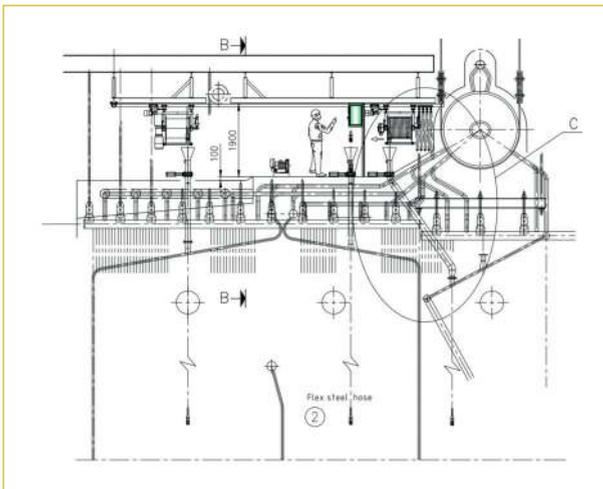


Bild 9:

Seitenansicht eines Kessels mit Wasserstrahlreinigung im 2. und 3. Kesselzug sowie Feuerraum (1. Kesselzug)

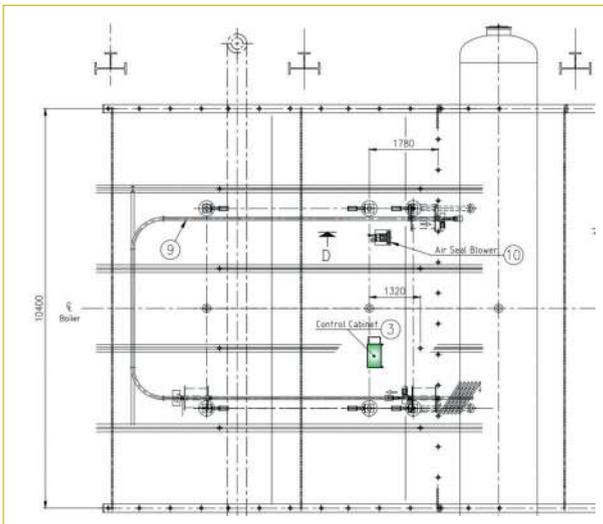


Bild 10:

Draufsicht desselben Kessels (Kesselbreite 10,8 m mit zwei Reinigungsöffnungen pro Kesseldurchgang); an allen sechs Öffnungen (zwei pro Kesselzug) kann mit einem einzigen auf Monorail gehängten verfahrenbaren System gereinigt werden

Das Ergebnis ist, dass mit der Reinigung eine sehr deutliche Reduzierung der Abgaseintrittstemperaturen in den konvektiven Kesselzug erreicht wird. Oder anders gesagt, dass mit regelmäßiger Reinigung von zum Beispiel ein Mal pro Schicht (alle 8 Stunden) – oder in manchen Fällen auch nur ein Mal pro Woche – der Anstieg der Abgastemperatur über die Reisezeit deutlich reduziert wird.

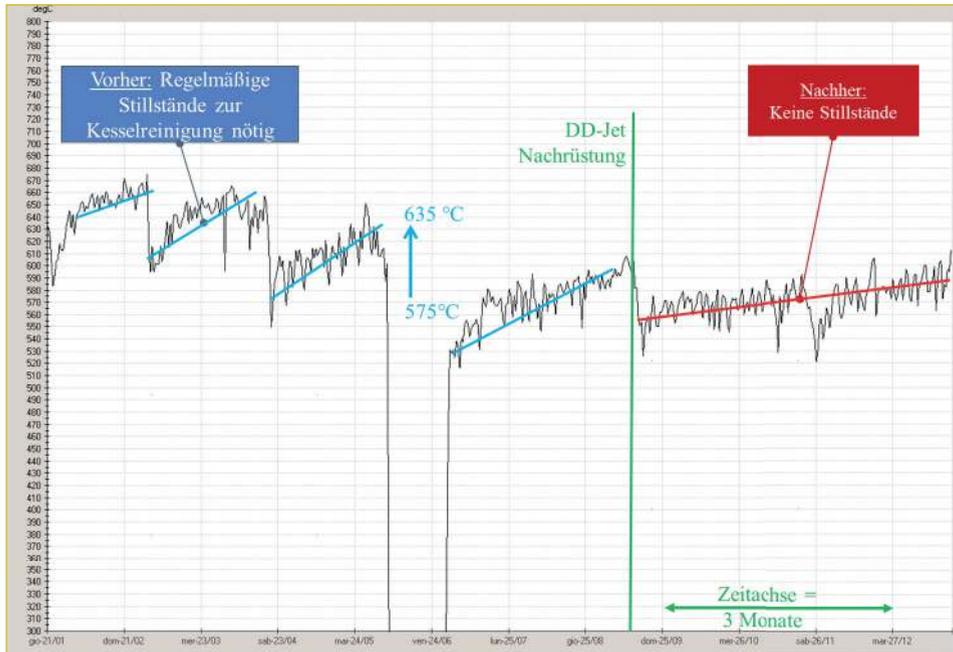


Bild 11: Einfluss der Wasserstrahlreinigung auf die Abgastemperatur und Kesselverfügbarkeit; Beispiel MVA Como/Italien; Temperaturanstieg über die Reisezeit ist deutlich reduziert und Reinigungs-Stillstände können vermieden werden

Für das Waschen von leeren Kesseldurchgängen werden verschiedene Düsentypen verwendet:

- Runddüse mit variabel einstellbarer Spaltbreite (Patent von Jörg Krüger von 2001 [6]; *Shower Cleaning* oder SCS von Clyde Bergemann GmbH)
- Düsenkopf mit Einzeldüsen für gerichteten Wasserstrahl und Schwenken der Trommel (*Wassersprühanlage RWS* von Rosink Werkstätten GmbH)
- Drehender Düsenkopf mit Einzeldüsen und kontinuierlich langsam rotierenden Wasserstrahl – angetrieben über den Wasserdruck/Turbine (DD-JET der Dublix Technology ApS).

Besonders effizient sind Systeme mit einem kontinuierlich rotierenden Düsenkopf. Hierbei ist eine langsame Rotationsgeschwindigkeit von 10 bis 20 Umdrehungen pro Minute wichtig, um einen gerichteten Wasserstrahl zu erzeugen. Der Wasserstrahl

erreicht die Kesselwände mit niedrigem Druck. Kesselwände bis zu 6 m Entfernung vom Düsenkopf können gut gereinigt werden. Beispiele für die erfolgreiche Umsetzung solcher Upgrades sind Como / I, Weener / D, Wijster / NL, Dordrecht / NL, Shinseung / KOR und Zhuhai / CN.

Es hat sich auch bewährt Systeme zur Wasserstrahl-Reinigung mit einer Kamera auszurüsten, die oberhalb vom Düsenkopf befestigt ist. Diese Kamera wird über das zugeführte Reinigungs-Wasser gekühlt. Die Linse wird mit Druckluft gespült, die über einen Schlauch zugeführt wird, der im Edelstahl Wasserschlauch liegt. Im Druckluft-Schlauch wiederum liegt das Kabel für die Strom und Datenverbindung zur Kamera. Das System hat sich gut zur Einstellung der Parameter der Wasserstrahl-Reinigung bewährt. Insbesondere bei der Reinigung des Feuerraums liegt der Nutzen auch in der Kontrolle des Feuerfestmaterials bzw. der SiC Platten.

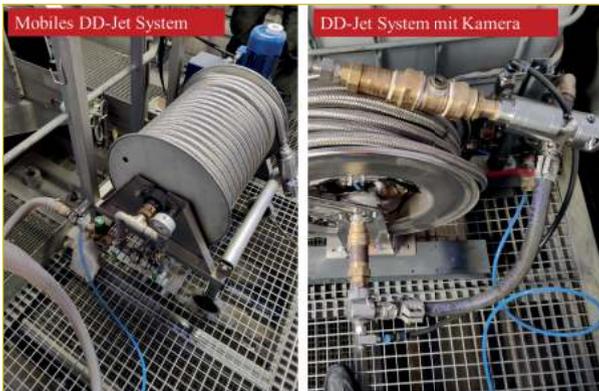


Bild 12:

Wasserstrahlreinigung mit mobilem System für Versuche (links) und in einer besonderen Ausführung mit Kamera (rechts) für Videoaufnahmen eines Feuerraums mit Reinigung von SiC Platten im ersten Zug

Quelle: <https://youtu.be/nmQ4xTKguaw>

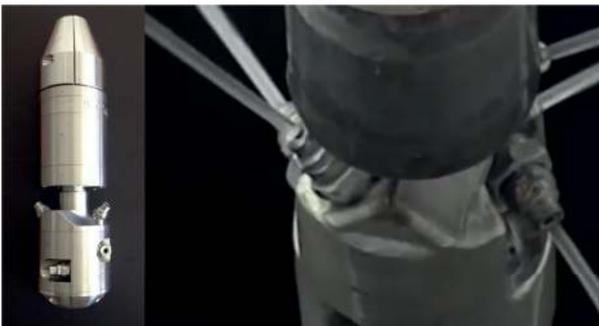


Bild 13:

Gerichteter Wasserstrahl aus drehender Düse für optimierte Reinigung von Leerzügen in Kesseln von Müllverbrennungsanlagen

Quelle: DD-Jet introduction. Abgerufen am 23.5.22: <https://www.dublix.com/solutions/boiler-cleaning#intro> oder <https://youtu.be/I2LyOPJNguo>

2.6. Kesselreinigung mit automatisierten Mikroexplosionen oder Druckwellen

Die konvektiven Kesselzüge von MVA-Kesseln sind typischerweise mit Dampfrußbläsern oder Klopfwerken (Hämmer) ausgestattet. Trotzdem treten häufig im Laufe der Reisezeit gravierende Kesselverschmutzungen auf. Dies führen zu erhöhten Abgastemperaturen oder im Extremfall einem vollständigen Zusetzen der Rohrbündel.

Dies ist ein kritischer Faktor für die Verfügbarkeit und die Wartungsintervalle von MVAs. Die Ursache ist hauptsächlich die schwierige Beschaffenheit von MVA Flugasche (Schwermetall-Chloride) und manchmal in älteren Anlagen auch auf ein schlechtes Kesseldesign. Mangelhafte Funktionalität von Rußbläsern oder Klopferwerken ist häufig ein zusätzliches Problem.

Aus diesem Grund ist es insbesondere in Europa Praxis, dass regelmäßig Explosionsreinigungen in MVA-Kesseln durchgeführt werden. In den meisten Fällen geschieht dies manuell mit Lanzen. Diese Lanzen tragen entweder Sprengladungen oder Säcke, die mit explosiven Gasen gefüllt sind. Sie werden über die Türen/*Mannlöcher* im laufenden Betrieb eingeführt.

Die Effektivität solcher manuellen Explosionsreinigungen kann recht gut sein. Aber sie sind teuer, weil personalintensiv. Häufig müssen die Explosionsreinigungs-Teams für jede Kampagne extra anreisen. Darüber hinaus sind manuelle Explosionsreinigungen sicherheitstechnisch kritisch.

Eine Alternative sind automatisierte Explosions-Reinigungssysteme.

In China sind solche Systeme in Müllverbrennungsanlagen weit verbreitet. Diese arbeiten mit Acetylen ohne Überdruck (atmosphärisch). Die Kammer wird langsam mit einem Acetylen-Luft Gemisch gefüllt. Die Kammer ist zum Kesselzug hin offen und benötigt kein Entriegelungsventil. Das System wird durch Sperrluft vom Abgas isoliert. Mit der Zündung entsteht eine Mikroexplosion, die eine Druckwelle erzeugt und im Kessel die Reinigung der Rohre bewirkt. [1]

In Europa sind in MVAs Systeme verbreitet, bei denen explosive Gase mit reinem Sauerstoff unter hohem Druck komprimiert und gezündet werden. Dies wird von der ExplosionPower AG als *SPG – Shock Pulse Generator* bezeichnet [11]. Mit diesen Systemen sind deutlich stärkerer Druckwellen und bessere Effektivität der Abreinigung möglich. Dies erfordert jedoch aufgrund der mechanischen Komplexität und der großen Druck-/Temperatur-Spitzen eine regelmäßige Wartung.

Mit einer neuen Generation von Druckwellen-Generatoren [12], die von der P-Wave AG (p-wave.ch; identisch mit früherer Explotechnik AG) angeboten werden, kann man sehr starke Druckwellen ohne Detonation erzeugen. Hierbei wird in einer Druckkammer ein Propan-Luft Gemisch stark komprimiert mit über 60 bar befüllt. Nach Zündung – aber ohne Detonation – erhöht sich der Druck auf bis zu 900 bar. Eine besondere Vorkehrung ermöglicht eine sehr schnelle und über eine Steuerung kontrollierbare Öffnung der Druckkammer zum Kessel. Hierbei entsteht eine sehr starke Druckwelle, die effektiv den Kessel reinigt. Wesentliche Vorteile sind die Sicherheit und Verfügbarkeit der verwendeten Gase (Propan und Luft) sowie eine relativ geringe mechanische Komplexität mit wenig Wartungsaufwand.

3. Literatur

- [1] Beijing Gaozhan Science and technology Co Ltd: Patentanmeldung für *Thermal explosion pulse blower*. Abgerufen am 19.04.2022: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6e/a8/5b/3ec4f27c07625d/CN201277572Y.pdf>, 2008
- [2] Columbia University, Waste to Energy Research and Technology Council: 1600 Waste to Energy-facilities in the World. Abgerufen am 19.04.2022: http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/WTE_Plants.xlsx
- [3] Dublix Technology ApS: Homepage. Abgerufen am 19.04.2022: <https://www.dublix.com/solutions/combustion-control#testimonials>, 2022
- [4] Gohlke, O.: Alternative Konzepte der Betriebsführung und Instandhaltung von Müllverbrennungsanlagen. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Strategie – Planung – Umweltrecht, Band 11, ISBN 978-3-944310-33-6, 2017, S. 123-139
- [5] ICE AG: Kostenersparnis durch das Flexi Long Life Rostblocksystem, https://www.iceag.com/files/content/dokumente/PDF/GzD_A78004_Flyer_Flexi_Long_Life_DE.pdf
- [6] Krüger, J., Merl, P., Vorrichtung zur Online-Kesselreinigung von Abfallverbrennungsanlagen, Patentschrift DE 101 20 338, 26.4. 2001. Abgerufen am 19.04.2022: <https://patentimages.storage.googleapis.com/1d/9f/e0/7be96bdeb28d76/DE10120338B4.pdf>
- [7] Krüger, S., Krüger, J.: Optimierung von Verbrennungsanlagen – Praxiserfahrungen bei der Verbrennung von Abfällen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. et al. (Eds.) Energie aus Abfall 12, ISBN: 978-3-944310-18-3, 2015. http://www.ecoenergy.de/go_public/freigegeben/BiFuelCycle_Vivis_Maerz%202006.pdf
- [8] Löschau, M., Karpf, R.: Flue Gas Treatment – State of the Art. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Thiel, S. (Eds.): Waste Management, Volume 5, Waste-to-Energy, ISBN 978-3-944310-22-0, 2005, S. 193-220
- [9] Magel, G.: Auswertung der Korrosionssondenversuche im BMHKW Wiesbaden. Augsburg: Bericht Nr.: 10407 der Fa. CheMin GmbH, 2018
- [10] Rogoff, M., & Screve, F.: Waste-to-Energy: Technologies and Project Implementation. Waltham MA: William Andrew / Elsevier, 2011
- [11] Rüegg, H.: Druckwellengenerator und Verfahren zum Betreiben eines Druckwellengenerators, Patentanmeldung WO 2021/078754, 23.10.2019, Abgerufen am 19.04.2022: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f0/d1/35/a6f25bbb09c20b/WO2021078754A1.pdf>
- [12] Rüegg, H.: Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von Druckwellen, Europäische Patentschrift EP 1 922 568 B1, 5.9.2005, <https://patentimages.storage.googleapis.com/82/c9/8d/8d6f5433cf15cf/EP1922568B1.pdf>
- [13] Schmid, W.: Europäische Patentanmeldung Komposit-Roststab, EP 3 754 257 A1, 2019. Abgerufen am 19.04.2022: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=pn%3DE-P3754257A1>
- [14] Schu, R.; Born, M.: Erhöhung der Energieeffizienz bei Abfallverbrennungsanlagen durch Prozessführung und Anlagenschaltung, In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Ed.): Optimierung Abfallverbrennung 3, ISBN: 978-3-935317-21-4, 2006. Abgerufen am 19.04.2022: http://www.ecoenergy.de/go_public/freigegeben/BiFuelCycle_Vivis_Maerz%202006.pdf
- [15] Zieger, W.: Einsatz von Tonschichtmineral, Flüssigsulfaten und Schwefelbrenner als Additive zur Belags- und Korrosionsreduzierung im Biomasseheizkraftwerk. In: Thiel, S.; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P.; Gosten, A. (Hrsg.): Energie aus Abfall 17, 2020. Abgerufen am 19.04.2022: https://www.vivis.de/wp-content/uploads/EaA17/2020_EaA_497-542_Zieger.pdf

Ansprechpartner



Dr. Oliver Gohlke

Dublix Technology ApS

Technology Director / Chairman

Grusbakken 10,1

2820 Gentofte (Kopenhagen), Dänemark

+49 89 32881668

oliver@gohlke.fr



Ihre Anlage ist bei uns in guten Händen.

STEAG Technischer Service GmbH

www.steag-technischerservice.com

steag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Alexander Gosten (Hrsg.):

Energie aus Abfall, Band 19

ISBN 978-3-944310-59-6 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2022
Redaktion: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Claudia Naumann-Deppe,
Martin Graß, Janin Burbott-Seidel, Roland Richter, Cordula Müller,
Dr.-Ing. Olaf Holm
Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.