

# **Kritische Betrachtungen zu möglichen Erfolgen mit rauchgasseitigen Additiven unter Einbeziehung konstruktiver Randbedingungen**

Prof. Dr. Karl Kautz, Martinsheim  
Dr.-Ing. Ragnar Warnecke, Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH (GKS)

1. Einleitung
2. Ursprung der feuerraum- und rauchgasseitigen Probleme
  - 2.1 Brennstoffzusammensetzung
  - 2.2 Auslegung der Feuerung
  - 2.3 Auslegung des Kessels
3. Mögliche feuerraum- und rauchgasseitige Probleme
  - 3.1 Verschlackung
  - 3.2 Verschmutzung
  - 3.3 Hochtemperaturkorrosion
  - 3.4 Tieftemperaturkorrosion
4. Mögliche Abhilfemaßnahmen
  - 4.1 Konstruktive Änderungen
  - 4.2 Additiv-Einsatz
5. Empfohlene Vorgehensweise
6. Literatur

# 1. Einleitung

Feuerraum- und rauchgasseitige Probleme, verursacht durch Bestandteile des Brennstoffes, sind seit Langem aus Müllheizkraftwerken bekannt und in ähnlichem Auftreten auch aus Biomasseheizkraftwerken und Ersatzbrennstofffeuerungen. Über Abhilfemaßnahmen ist bereits viel veröffentlicht worden; es fehlt derzeit offensichtlich aber noch eine kritische Bewertung, wie unter Berücksichtigung der jeweiligen Anlagenauslegung eine optimale entweder konstruktive Lösung oder eine chemische (Einsatz von Additiven) wirtschaftlich möglich und sinnvoll ist.

Kurz nach den ersten Inbetriebnahmen von Hausmüllverbrennungsanlagen (in der Hauptsache Rostfeuerungen) wurden starke Abzehrungen an den Wärmetauscherrohren sowohl im 1. Zug, als besonders auch an den Endüberhitzern (mit Mediumbedingungen bis 535°C und 75 bar) festgestellt. Aufgrund von Analysen der Korrosionsprodukte konnte als Ursache der Angriff von „Chlor“ ermittelt werden (1). In der Folge konnten auf der Basis von umfangreichen Belag- und Korrosionsproduktanalysen von Wärmetauscherrohren und Korrosionssonden (2) Hinweise auf die Mechanismen der Korrosionen und Belagsbildungen erarbeitet werden. Diese Erkenntnisse führten letztendlich zu wesentlichen Änderungen in der Auslegung von MHKW wie z. B.:

- Verbesserung der O<sub>2</sub>-Verteilung im Feuerraum und 1. Zug,
- Begrenzung der Mediumtemperatur auf maximal 400°C,
- Auskleidung und Cladding ab dem 1. Zug.

Bezüglich des Auftretens von Verschlackungen und Verschmutzungen wurde auf die aus Kohlefeuerungen bekannten Maßnahmen zurückgegriffen, mit wirtschaftlich gesehen ausreichenden Erfolgen.

Dass in bestimmten Anlagen „trotzdem“ Korrosionen auftraten, konnte im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Auslegungen der Feuerungen zurückgeführt werden (3-6).

Mit der Inbetriebnahme der ersten Biomasseheizkraftwerke wurden verstärkt Korrosionen, besonders an den Endüberhitzern, festgestellt (7-9), sowie starke, schwer abreinigbare Verschmutzungen, besonders im Überhitzerbereich, aber auch im Feuerraum. Diese Probleme ließen sich auf die aus MHKW bekannten Reaktionsabläufe der Rauchgaskomponenten zurückführen (10).

## **2. Ursprung der feuerraum- und rauchgasseitigen Probleme**

### **2.1 Brennstoffzusammensetzung**

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Faktoren zusammengestellt, welche den Ablauf der Feuerung bereits im Brennstoffbett und im Rauchgasweg beeinflussen können. Bereits die Brennstoffzusammensetzung kann einen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung der o. a. Probleme haben. Das betrifft sowohl den organischen, als auch den anorganischen Anteil. Bezüglich des verbrennbaren Anteils wird durch den Heizwert der unterschiedlichen Brennstoffteile und ihrer Stück-Größe der Ablauf der Verbrennung beeinflusst. Durch die Art und jeweilige Menge des anorganischen Gehalts des Brennstoffes wird das feuerungs- und rauchgasseitige Problempotential beeinflusst, besonders auch durch den Chlorgehalt des Brennstoffes.

### **2.2 Auslegung der Feuerung**

Die Auslegung des Rostes und die Art der Zuführung der Verbrennungsluft können die Art und Stärke der Anlagenprobleme beeinflussen. So ist eine möglichst gleichmäßige Verbrennung auf dem Rost ohne Strähnenbildung und Nachverbrennung von Vorteil. Bezüglich der Bildung der „gefährlichen“ Chloride ist die Auslegung der Feuerung von besonderer Bedeutung (10).

### **2.3 Auslegung des Kessels**

Bei der Auslegung des Kessels, d. h. der Wärmeübertragung ist es wichtig, darauf zu achten, dass:

- die örtlichen Rauchgasgeschwindigkeiten nicht zu hoch sind,
- die Rauchgastemperaturen vor Erreichen der jeweiligen Berührungsheizflächen bestimmte Temperaturen nicht überschreiten,
- die Gassenteilungen der Wärmetauscherbündel genügend groß sind,
- die Mediumtemperaturen im Bereich des Endüberhitzers soweit begrenzt werden, dass die Korrosionsgefährdung minimiert wird,
- die Medium- und Rauchgastemperaturen im Eco-Bereich so hoch bleiben, dass keine Säuretaupunktunterschreitungen möglich werden.

### 3. Mögliche feuerraum- und rauchgasseitige Probleme

Tabelle 2 gibt einen Überblick über mögliche Probleme, welche zu Beeinträchtigungen des Betriebes und sogar zu Stillständen der Anlage führen können.

#### 3.1 Verschlackung

Verschlackungen im Bereich des Feuerraumes können dann auftreten (9), wenn vom Rost Rauchgasströmen austreten, welche mit erhöhter Geschwindigkeit silikatische Schmelztröpfchen und unverbrannte CaO- und MgO-haltige Brennstoffreste mitreißen, die dann zumeist an der Vorderwand des Feuerraumes auftreten. Dort findet Nachverbrennung und Versinterung der Silikate und Erdalkalien unter Knötchenbildung statt. Diese Wechten können sehr groß und so schwer werden, dass sie beim Herunterfallen nicht nur den Betrieb stören, sondern auch die Roststäbe beschädigen.

#### 3.2 Verschmutzung

Die Ursachen von Verschmutzungen sind zu sehen in den Alkali- und Erdalkaligehalten der Brennstoffasche sowie den Reaktionspartnern Sulfat und Chlorid. Diese Komponenten werden weitgehend in der Feuerung freigesetzt und lagern sich am Rauchgasstrom zum großen Teil an den Berührungsheizflächen. Die einzelnen Komponenten kommen je nach Gasdruck und örtlicher Temperatur entweder in Gas- oder Aerosolform oder als feste, einfache Verbindungen auf den Wärmetauscherrohren an und versintern dort zu komplexen Sulfaten (2 u. 7). Die ankommenden Chloride werden zum größten Teil in den ÜH-Belägen zu Sulfaten umgewandelt (10), wobei das freiwerdende Chlorid entweder mit dem Rohrwandstahl reagiert (Korrosionen) oder mit Komponenten des Belages (z. B. Si- oder Fe-Verbindungen), welche aufgrund ihrer Dampfdrücke „abdampfen“. Diese Reaktionen der einzelnen anorganischen Komponenten miteinander führen mit nachfolgender Sammelkristallisation (Versinterung) zu den harten, schwer abreinigbaren Belägen.

#### 3.3 Hochtemperaturkorrosion

Die derzeit im MHKW und BMHKW auftretenden Hochtemperaturkorrosionen sind (fast) ausschließlich auf die (s. o.) Reaktion des durch die Sulfatierung von Chloriden freigesetzten Chlors mit dem Rohrwandstahl der Überhitzer zurückzuführen. Dieses „freie“ Chlor kann aber auch in komplexe Sulfate eingebaut werden bzw. mit Belagskomponenten reagieren bei den herrschenden Rauchgas- und Belagstemperaturen zu flüchtigen Verbindungen (2), welche im Eco-Bereich abgelagert werden können.

#### 3.4 Tieftemperaturkorrosion

Diese Art der Korrosion kann dann auftreten, wenn die Säuretaupunkte von Schwefel- und Salzsäure am kalten Kesselende unterschritten werden oder wenn im Eco-Bereich abgeschiedene Chloride (s. o.) hydrolysiert werden und dadurch Säuren bilden. Da im Allgemeinen die Medium- und Rauchgastemperaturen am Kesselende genügend hoch ausgelegt werden, liegt die Korrosionsgefahr zumeist in zu häufigen An- und Abfahrprozessen mit Säuretaupunktunterschreitungen.

## 4. Mögliche Abhilfemaßnahmen

Wenn nach der Erstinbetriebnahme die o. a. beschriebenen Probleme auftreten, was relativ häufig vorkommt (7), kommen zur Verbesserung der jeweiligen Problemsituation konstruktive Änderungen infrage, bzw. der Einsatz von feuerungs- und rauchgasseitigen Additiven.

Zwar sind Konsistenz und Chemie der Brennstoffe als primäre Ursachen der o. a. Probleme anzusehen, doch kann daraus nur (sehr) begrenzt etwas geändert werden, z. B.:

- Verringerung der Menge eines problematischen Brennstoffanteils,
- Zufeuerung eines problemmindernden Anteils.

### 4.1 Konstruktive Änderungen

Vor dem Hintergrund gesetzlicher Forderungen (17. BImSchV und EEG) können sich konstruktive Änderungen nach dem Auftreten der durch sie verursachten Probleme nur beschränkt durchführen lassen. Das Gleiche gilt für auf bautechnischen oder wirtschaftlichen Gründen basierende Schwächen in den Anlagenauslegungen. Abhilfemöglichkeiten sind in der Hauptsache zu sehen in den Maßnahmen zur Korrosionsbeschränkung, wie z. B. Cladding, Schutzschalen, korrosionsresistenterer Rohrstoß.

### 4.2 Additiv-Einsatz

Vor diesem Hintergrund lohnt es sich, über den Einsatz rauchgasseitiger Additive nachzudenken.

Feuerungs- und rauchgasseitig wirksame Additive sind unter unterschiedlichen Bezeichnungen, z. T. ähnlicher, z. T. anderer Zusammensetzung von diversen Firmen eingesetzt worden und werden noch eingesetzt bzw. es kommen immer wieder neue Produkte und Verfahren auf den Markt.

Die Erfolge bzw. Misserfolge sind in einigen Fällen durch Veröffentlichungen bekannt geworden (11 – 16), z. T. auch aus Firmenbroschüren.

Zu den Gründen für Misserfolge oder „teilweise“ Erfolge mit Additiven muss generell Folgendes gesagt werden:

Es wurden vor Additiv-Einsatz keine oder keine ausreichend umfangreichen Belaganalysen zur Konsistenz und zur chemischen Zusammensetzung der kritischen Beläge gemacht; die jeweiligen konstruktiven und betrieblichen Anlagenparameter wurden nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt (u. a. Vergleiche mit Erfahrungen aus anderen unterschiedlich bzw. gleich ausgelegten Anlagen).

Wenn auch ein Großteil der Erfahrungen mit rauchgasseitigen Additiven in Müllheizkraftwerken gemacht worden ist, können diese auf Biomasseheizwerke übertragen werden, da dort ähnliche chemische Brennstoff- und Rauchgasprobleme herrschen (Tabelle 3). Tabelle 4 gibt einen Überblick über bekannt gewordene Additive und ihre beabsichtigte Wirkung.

Dabei ist es wichtig zu beachten, dass in den meisten Fällen kein für alle Probleme wirksames Additiv eingesetzt werden kann. Es müssen daher zur Lösung aller Probleme unterschiedliche Wirkstoffe mit Eindüsung (Zugabe) an insbesondere verschiedenen Stellen der betroffenen Anlagen in Betracht gezogen werden.

Bilder 1 und 2 zeigen sowohl für Vertikal- als auch Horizontalkessel die Zugabe- bzw. Eindüsenstellen für eine erfolgreich durchgeführte Additiv-Zugabe. Im Falle des Vertikal-Kessels traten Verschlackungen an der Vorderwand des Feuerraums (starke Wechtenbildung) auf, welche erfolgreich mit einem silikatischen Additiv soweit vermindert werden konnten, dass keine betrieblichen Abschaltungen mehr erforderlich wurden. Im Falle des Horizontalkessels traten sowohl Chlorid-Hochtemperaturkorrosion am Endüberhitzer auf, als auch starke, schwer abreinigbare Verschmutzung, welche häufige Sprengreinigungen und Stillstandsreinigungen erforderlich machten. Durch die Aufsprühung von Eisensulfat auf den Brennstoff, Eindüsung von Mg- und Ammoniumnitrat in den unteren Teil des 1. Zuges und Einblasung von Schichtsilikat-Additiv in den 3. Zug konnten die Korrosionen weitgehend reduziert und die Abreinigbarkeit soweit optimiert werden, dass die Zahl der Sprengreinigungen halbiert werden konnten und nur noch eine Stillstandsreinigung im Jahr erforderlich wurde. Um Letzteres zu erreichen, mussten zur gleichmäßigen Beaufschlagung des Additivs auf die Rohrbündel sowohl Lenkbleche in den Übergang in den Horizontalzug eingebaut, als auch die Einblasung der Schichtsilikate von zwei Seiten durchgeführt werden (Tabellen 5 und 6 und Bild 3).

In diesem Zusammenhang muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass insgesamt vier Additive eingesetzt werden mussten, um Erfolg zu haben:

- Bekämpfung von Verschlackungen → Silikat
- Verbesserung des Ausbrandes → Stickoxidverbindungen
- Verringerung der ÜH-Korrosion →  $\text{SO}_3$ -Zugabe
- Verbesserung der Abreinigbarkeit → Schichtsilikat-Dosierung

und dieses an vier verschiedenen Stellen der Anlagen. Dabei hat offensichtlich nicht nur die Sulfat Zugabe, sondern auch das Nitrat einen positiven Einfluss auf die Sulfatierung der Chloride.

## 5. Empfohlene Vorgehensweise

Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen mit Additiven kann folgendes Vorgehen vor einem möglichen Einsatz empfohlen werden, um u. U. einem aussichtslosen Vorgehen vorzubeugen (Tabelle 5):

1. Sorgfältige Analyse der Anlagenprobleme im Zusammenhang mit der Bewertung der Auslegungsparameter der Anlage (siehe Tabelle 1).
2. Analyse von Belagsproben und rauchgasseitigen Schäden auf wissenschaftlicher Basis, sowie Bewertung des Brennstoffs und seiner Ascheanalysen.
3. Diskussion von möglichen Abhilfemaßnahmen:
  - technische, konstruktionsreife Möglichkeiten,
  - chemische (Additiv-)Verfahren,
4. Auswahl von Additiven und Bestimmung des Zugabeortes,
5. Beginn eines Untersuchungsprogrammes mit Einbeziehung von Änderungen; u.
  - a. Optimierung der kontinuierlichen Dosiertechnik.
6. Bei nächstem Anlagestillstand Probennahme und Analyse.
7. Notfalls Änderungen und Ergänzungen.
8. Saubere Dokumentation des Vorgehens und der Ergebnisse!

Diese Schritte sind nur möglich, wenn seitens der Betriebsführung die erforderliche Hilfe und Akzeptanz von Änderungen und Verbesserungen gegeben wird, sowie seitens des Additiv-Lieferanten die Bereitschaft zur Optimierung/Anpassung der Dosier-Technik. Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass jede für einen Additiv-Einsatz infrage kommende Anlage „individuell“ im Voraus analysiert werden muss. In jedem Fall sollte eine Additiv-Behandlung erst nach einer gründlichen Kessel-Reinigung beginnen und kontinuierlich durchgeführt werden. Weiterhin darf nicht ausgeschlossen werden, dass nicht nur ein Additiv ausschließlich an einer Stelle zudosiert werden muss, sondern mehrere an verschiedenen Stellen.

Zudem muss akzeptiert werden, dass aus konstruktiven Gegebenheiten der Einsatz bestimmter Additive nicht wirksam möglich sein kann: der richtige Ort für eine optimale Eindüstertemperatur und die erforderliche Verteilung im Rauchgas sind nicht gegeben, bzw. Öffnungen für eine Eindüsung sind nicht vorhanden.

## 6. Literatur

- (1) Fässler, Kl, Leib, H., Spähn, H.: Korrosionen an Müllverbrennungskesseln, Mitt. VGB, 48 (1968)
- (2) Kautz, K.: Kristallchemische Untersuchungen zu den Ursachen der Korrosionen an Dampferzeugerrohren in Müllverbrennungsanlagen, N. Jf. Miner. Abh. 123,3 (1975)
- (3) Warnecke, R., Kautz, K.: Belagskennwerte zu Müllverbrennungsanlagen, Teil I, Springer-Verlag (2002)
- (4) Kautz, K., Warnecke, R.: Belagskennwerte zu Müllverbrennungsanlagen – Teil II, VDI-Wissensforum 430503 (2003)
- (5) Kautz, K., Warnecke, R.: Belagskennwerte zu Müllverbrennungsanlagen – Teil III, VDI-Seminar
- (6) Kautz, K., Warnecke, R.: Belagskennwerte in Müllverbrennungsanlagen, Teil IV, VDI-Seminar 430505 (2005)
- (7) Müller, W.: Korrosion im Kessel und Schäden in Biomasseheizkraftwerken, VDI-Fachkonferenz, Ulm (2018)
- (8) Kautz, K.: Der Einsatz von rauchgasseitigen Additiven in einem BMHKW, VDI-Fachkonferenz, Ulm (2018)
- (9) Berger, M.: Erfahrungen mit dem Betrieb zweier Biomasseheizkraftwerke, VDI-1. Fachkonferenz, Ulm (2018)
- (10) Warnecke, R.: VGB 20 (Sulfatierung im Belag)
- (11) Müller, M. u. Brunner, Th.: Einsatz von Additiven in Biomassefeuerungen, VDI-GET-Tagung, Salzburg (2001)
- (12) Birkner, F.: Zusätze zur Korrosionsminderung i. rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion, Verlag SAXONIA, Freiberg (2003)
- (13) Kautz, K.: Der Einsatz rauchgasseitiger Additive vor dem Hintergrund der verschieden starken Korrosions- und Verschmutzungsgefährdungen unterschiedlich ausgelegter Müllheizkraftwerke, Verlag SAXONIA, Freiberg (2003)
- (14) Henderson, P., Andersson, Chr. u. Kassmann, H.: The Use of Fuel Additives in Wood and Waste-fired Boilers to Reduce Corrosion and Fouling Processes, VGB Power Tech 6/2004



- (15) Kautz, K. u. Warnecke, R.: Die derzeitigen Möglichkeiten rauchgasseitiger, chemischer Abhilfemaßnahmen zu den unterschiedlichen Korrosions- und Verschmutzungsproblemen, VDI-Wissensforum, Oberhausen 2008
- (16) Kautz, K. u. Warnecke, R.: Der Einsatz rauchgasseitiger Additive vor dem Hintergrund der verschieden starken Korrosions- und Verschmutzungsgefährdungen unterschiedlich ausgelegter Müllheizkraftwerke; in M. Born: Rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion, Verlag SAXONIA, ISBN 3-934409-20-2 (2003)

Tabelle 1: Faktoren, welche die feuerungs- und rauchgasseitigen Probleme beeinflussen können

1.	Brennstoffzusammensetzung
2.	Auslegung des Rostes und Verbrennungsluft-Verteilung
3.	Auskleidung des Feuerraumes
4.	Gestaltung des Kessels <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertikalkessel</li> <li>- Horizontalkessel (Dackelkessel)</li> <li>- Zahl der Leerzüge</li> </ul>
5.	Schaltung der Berührungsheizflächen und Gassenteilungen
6.	Mediumtemperaturen und –Drücke
7.	Rauchgasgeschwindigkeiten

Tabelle 2: Mögliche Reaktionen der Brennstoffasche-Komponenten im Rauchgas und in den Belägen

Silikate und Erdalkalien	Versinterung/Verschlackung im Feuerraum
Erdalkali und Alkalisulfate	Mischkristallbildung und Sammelkristallisation in Belägen = Verschmutzungen
Alkali- und Metallchloride	Sulfatierung in Belägen: Chlor-Freisetzung und HAT-Korrosionen
Alkali- und Metallchloride	Niedrig schmelzende Eutektika-Korrosionen
Salz- und Schwefelsäure	Bei Taupunktunterschreitung – Korrosionen

Tabelle 3: Mögliche Reaktionen der Komponenten in den Belägen

Chloride a. Sulfatisierung	$\text{NaCl/KCl} + \text{SO}_3 = \text{Na}_2\text{SO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{„Cl“}$
Chloride b. Chloridschmelzen (Eutektika)	Alkali- und Metallchloride
Mischkristallbildung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CaSO}_4/\text{MgSO}_4/\text{ZnSO}_4 =</math> [K, Na]<sub>2</sub> [Ca, Mg, Zn]<sub>2</sub> [SO<sub>4</sub>]<sub>3</sub></li> <li>• <math>\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 =</math> [Na, K] [Fe, Al] [SO<sub>4</sub>]<sub>2</sub></li> </ul>
Sammelkristallisation	Zusammenwachsen von kleineren zu größeren Kristallen: → im Wesentlichen der Sulfate
Tieftemperatur- Korrosion	Säuretaupunkt-Probleme [HCl, SO <sub>4</sub> – Korrosion] Hydrolisierung von Salzen

Tabelle 4: Vergleich von Belag-Analysen aus Müllheizkraftwerken und Biomasseheizkraftwerken (Überhitzerbeläge) in Gew.-%

	<b>MHKW</b>	<b>BMHKW</b>
SiO <sub>2</sub>	6,4 – 6,9	5,8 – 8,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5 – 3,2	1,9 – 3,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,5 – 9,2	1,7 – 4,4
CaO	17,2 - 24	15,1 – 34,6
MgO	0,8 – 1,2	1,1 – 1,7
K <sub>2</sub> O	7,1 – 8,3	2,9 – 12,9
Na <sub>2</sub> O	4,7 – 6,1	3,8 – 8,0
SiO <sub>2</sub>	34,5 – 36,1	26,0 – 42,6
Cl	2,3 – 5,0	0,7 – 5,7
Pb	1,3 – 2,5	0,02 – 4,6
Zn	0,8 – 1,3	1,5 – 6,9

Tabelle 5: Komponenten von Rauchgas-Additiven und deren Wirkung

SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verhinderung von Versinterung/Verschlackung
Nitrate	Verbesserung der Nachverbrennung Oxidation von SO <sub>2</sub> zu SO <sub>3</sub>
Eisensulfat	Katalytische Wirkung des Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Zusätzliches SO <sub>3</sub>
Ammoniumsulfat	Verbesserung der Nachverbrennung Sulfatierung der Chloride
Katalysatoren (metallorgan.)	Verbesserung der Nachverbrennung Oxidation von SO <sub>2</sub> zu SO <sub>3</sub>
Schichtsilikate	Auflockerung der Beläge
Oxidmischungen	Auflockerung der Beläge (CaO, MgO, K-Verbindungen)
Behandelte Schichtsilikate	Einbindung der Alkalien der Chloride Korrosionsminderung
Magnesium- Verbindungen	Minderung der Tief-Temperatur-Korrosionen

Tabelle 6: Verteilung der Belagskomponenten SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pb und Zn in den Proben vom 01.09.16 (Eindüsung des Additivs von einer Seite des 3. Leerzuges, vor Eintritt in den Horizontalzug)

	<b>oben links</b>	<b>oben mittig</b>	<b>oben rechts</b>
	Pr. 3	Pr. 2	Pr. 1
SiO <sub>2</sub>	15,2	10,5	11,5
Al <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	3,3	2,3	2,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,2	3,4	3,5
Pb	0,5	0,3	0,2
Zn	1,5	1,7	1,6

	<b>Mitte links</b>	<b>Mitte mittig</b>	<b>Mitte rechts</b>
	Pr. 6	Pr. 5	Pr. 4
SiO <sub>2</sub>	9,1	11,9	11,8
Al <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	2,2	2,7	2,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9	3,4	3,4
Pb	1,6	0,2	2,0
Zn	2,4	1,8	1,8

	<b>unten links</b>	<b>unten mittig</b>	<b>unten rechts</b>
	Pr. 9	Pr. 8	Pr. 7
SiO <sub>2</sub>	8,6	14,0	12,4
Al <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	2,1	3,2	2,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,6	3,8	3,4
Pb	0,7	0,3	0,4
Zn	2,5	1,8	1,9

Tabelle 7: Verteilung der Komponenten SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cl, Zn und K<sub>2</sub>O in den Belagsproben von der Anströmseite des ÜH2 vom 27.01.2017 (Eindüsung des Additivs von 2 Seiten des 3. Leerzuges, vor Eintritt in den Horizontalzug)

	<b>oben links</b>	<b>oben mittig</b>	<b>oben rechts</b>
SiO <sub>2</sub>	7,5	6,9	6,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,4	2,5	2,3
Cl	0,04	0,2	0,06
Zn	4,1	3,2	4,0
K <sub>2</sub> O	16,0	15,8	16,4

	<b>Mitte links</b>	<b>Mitte mittig</b>	<b>Mitte rechts</b>
SiO <sub>2</sub>	5,9	15,0	6,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	4,0	2,3
Cl	0,1	0,06	0,3
Zn	2,1	1,6	2,1
K <sub>2</sub> O	18,8	10,5	18,3

	<b>unten links</b>	<b>unten mittig</b>	<b>unten rechts</b>
SiO <sub>2</sub>	6,1	7,9	6,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	2,7	2,4
Cl	0,3	0,09	0,2
Zn	1,9	1,5	1,9
K <sub>2</sub> O	18,3	15,1	17,7

Tabelle 8: Sinnvoller Verfahrens-Ablauf bzgl. Additiveinsatz

1.	Zusammenstellung der Anlagenparameter
2.	Evaluierung der rauchgasseitigen Probleme und ihrer Bereiche
3.	Ausführliche wissenschaftliche Untersuchung der Problembereiche (Analysen von O-Proben)
4.	Entscheidung, ob Additiv-Einsatz sinnvoll (auch wirtschaftlich) oder ob technische Lösungen vorteilhafter sind
5.	Entscheidung, welche Additive wo sinnvoll einzusetzen sind; ein oder mehrere Produkte; Prüfung, ob Öffnungen für die Zugabestellen im richtigen Bereich vorhanden sind
6.	Probetrieb mit den Additiven; Beginn mit gereinigtem Kessel-Reinigung
7.	Bei nächstem Stillstand Probenahme und Analyse der Ergebnisse zusammen mit Auswertung der Betriebs-Beobachtungen; Vergleich mit den O-Proben; Prüfung, ob die Additiv-Verteilung über den RG-Querschnitt gleichmäßig war
8.	Diskussion und Entscheidung zu evtl. Änderungen der Additiv-Dosierung, gemeinsam mit dem Betrieb. Start ggf. weiterer Erprobung.



Bild 1: Eindüsstellen von ACorTech bei Vertikalkessel

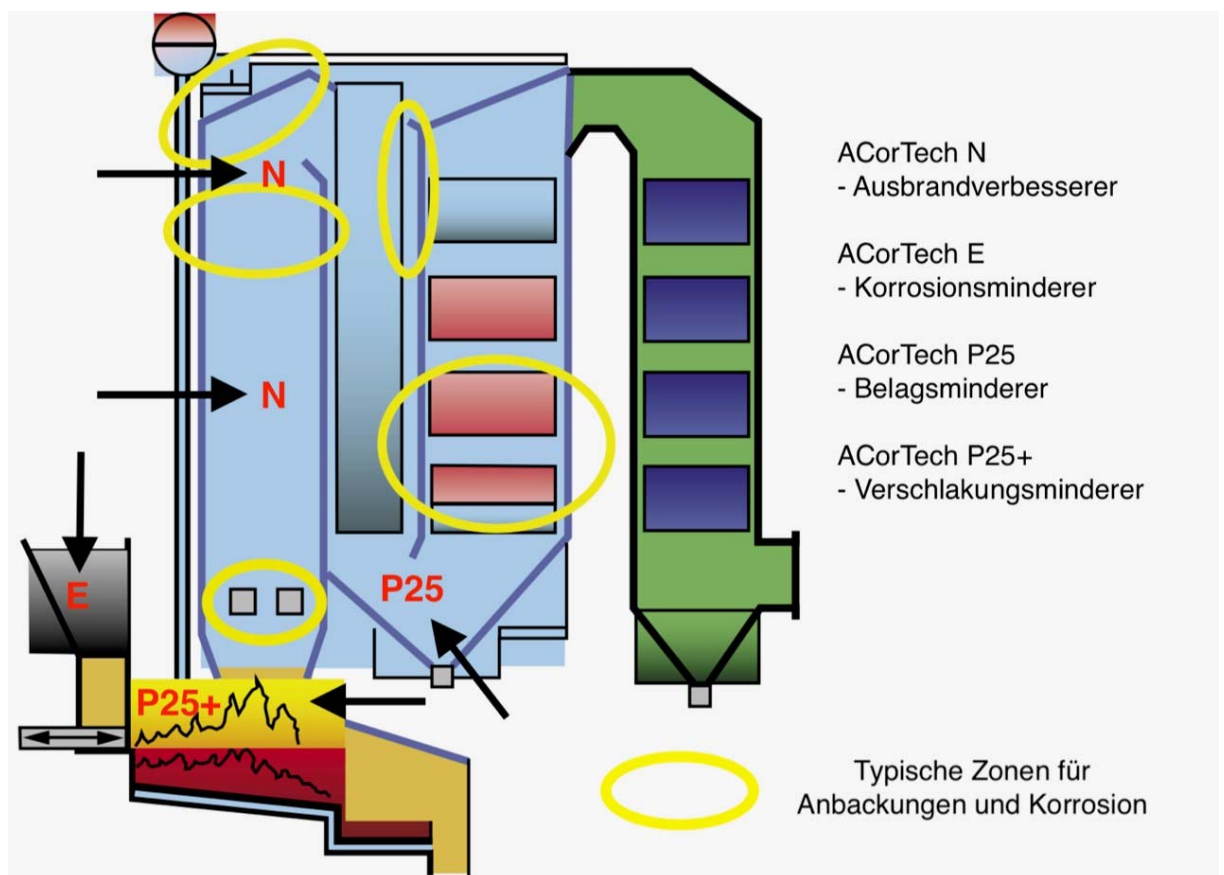


Bild 2 Eindüsstellen von ACorTech bei Horizontalkessel

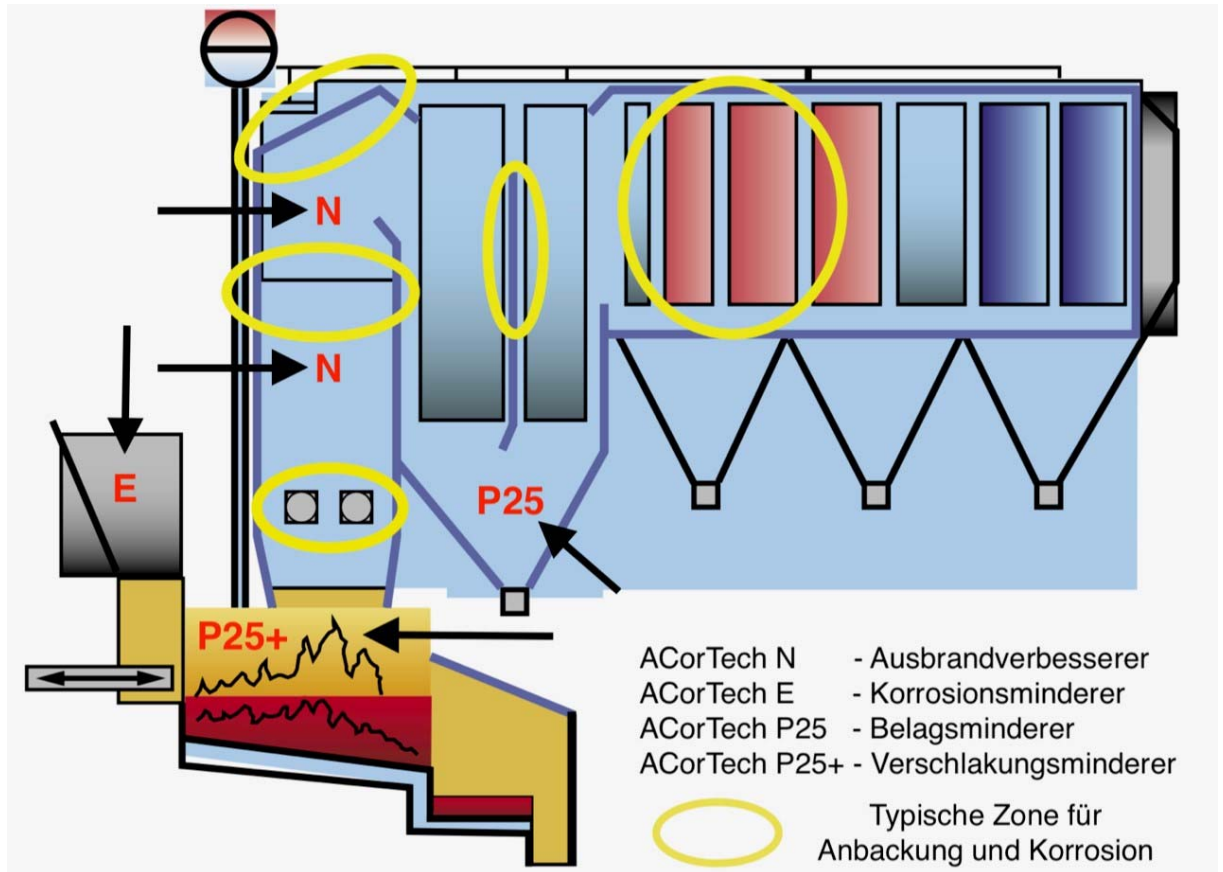


Bild 3 a: Belagsprobe von ÜH2 (Januar 2016)  
SiO<sub>2</sub>: 11,9%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2,7%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 3,4%



Bild 3 b: Belagsprobe von ÜH2 (April 2012)  
SiO<sub>2</sub>: 4,6%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0,9%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2,0%

