

# **Kritische Bemerkungen zu den derzeit diskutierten Modellen zu rauchgasseitigen Korrosionen in MVA**

**Prof. Dr. Karl Kautz, Martinsheim**

VDI-Wissensforum (Hrsg.): Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanlagen  
(Seminar 430505),  
Hannover, 14.-15. Juni 2005

## **Inhalt**

### **1. Einleitung**

### **2. Arbeitshypothesen**

2.1 Die chemischen Analysen

2.2 Die thermodynamischen Berechnungen

2.3 Die umfassende Untersuchung und Betrachtung der Ursachen von Schadensfällen

2.4 Korrosionsmodelle über Laborversuche

2.5 „Literaturanalyse“ verbunden mit Beobachtung an eigener Anlage

2.5.1 Bezüglich der „Literaturanalyse“

2.5.2 Interpretation „eigener“ Erfahrungen

### **3. Einstimmigkeit und konträre Modelle**

3.1 Einstimmigkeit bei den Korrosionsmechanismen

3.2 Unterschiedliche oder z. T. gegensätzliche Auffassungen zur Bedeutung der jeweiligen „Teil“-einflüsse

3.2.1 Schadstoffinhalt des Mülls versus Auslegung der Feuerung

3.2.2 Unterschiedliche Auffassungen bezüglich des Einflusses von Rauchgasströmung am und im Wärmetauscher-Bündel und des Wärmeflusses am Rohr

3.2.3 Zur Bedeutung einer „Sperrschicht“ über der Korrosion

3.2.4 Zum Einfluß der Rohrwandtemperatur auf die jeweilige Stärke der Korrosion

3.2.5 Zur Häufigkeit des Auftretens von Salzschnmelzen als Ursache der Korrosion

### **4. Versuch einer Bewertung der konträren Aussagen**

### **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Literatur

## **1. Einleitung**

Seit dem Jahr 2000 etwa haben sich in Deutschland verschiedene „Arbeitsgruppen“ herausgebildet, welche sich mit den Ursachen der und z.T. auch Abhilfemaßnahmen zu den rauchgasseitigen Korrosionen in Hausmüllverbrennungsanlagen befassen. Diese Gruppen ergänzen bzw. bestätigen z.T. einander, z.T. kommen sie auch zu konträren Aussagen.

Daher besteht derzeit die Gefahr, dass Hersteller und Betreiber bezüglich konstruktiver und betrieblicher Folgemaßnahmen nach rauchgasseitigen Schäden sowie bei Planungen von Neuanlagen „verunsichert“ werden und eventuell zu falschen, kosten-trächtigen Entscheidungen kommen.

Es ist aus diesem Grunde erforderlich, die:

- unterschiedlichen Theorien/Hypothesen zu erfassen und zu analysieren,
- die Unterschiede in der Interpretation der Schadensursachen herauszuarbeiten,
- sie kritisch auf ihren Wahrscheinlichkeitsgrad zu überprüfen und
- die auf dieser Basis und den allgemeinen Erfahrungen aus der Praxis wahrscheinlichsten Ursachen zu den rauchgasseitigen Schäden darzustellen.

Eine besondere Bedeutung bekommt diese kritische Stellungnahme durch die Veröffentlichung von Albert (2004), in welcher:

- inzwischen überholte Korrosionsmodelle als derzeitig (noch) gültig dargestellt werden, welche dazu damals ausschließlich auf (theoretischen) Überlegungen beruhten,
- bekannte Literatur (selbst aus VGB-Veröffentlichungen) nicht beachtet/erwähnt wird, dafür
- Sekundärliteratur hinzugezogen wird, welche die Originalliteratur ohne ihre Erwähnung nicht richtig verwertet,
- Empfehlungen zu Anlagenauslegungen ausgesprochen werden, welche so nicht akzeptiert werden können, da sie der derzeitigen Kenntnisbasis nicht entsprechen.

## **2. Die Arbeitshypothesen**

Es haben sich im Laufe der letzten Jahre über Veröffentlichungen und Vorträge (in der Hauptsache über VDI und VGB) neben einer Reihe von „Einzelkämpfern“ mehrere Arbeitsgruppen herausgebildet, welche sich über unterschiedliche Verfahrensweisen mit den rauchgasseitigen Problemen in MVA befassen und Korrosionsmodelle vorgestellt haben, welche helfen sollten zukünftige Schäden zu vermeiden.

## **2.1 Die chemische Analyse von Schadensfällen**

Diese Verfahrensweise versucht, über die sehr sorgfältige chemische Analyse von Proben aus rauchgasseitigen Schadensfällen zu Ansätzen einer Systematik der Korrosionsphänomene für MVA zu kommen. Betriebliche Faktoren werden jeweils ansatzweise berücksichtigt, Verfahrenstechnik und Konstruktion spielen eine untergeordnete Rolle (Spiegel, W.).

Schwerpunkt ist hier die Dokumentation von Schadensfällen und Messgrößen.

## **2.2 Die thermodynamischen Berechnungen**

Hier hat man es zum Ziel, über thermodynamische Berechnungen und neuerdings auch über die Betrachtung der Grob-Kinetik der Korrosionsreaktionen, die Kenntnisse über die Mechanismen zu verbessern und verstärkt zur Prognose der „Korrosionspotenziale“ der Brennstoffmischungen und so zur Minimierung der Korrosionsgefahr beizutragen (Born, Hohmann).

Schwerpunkt liegt auf der Bewertung des Brennstoffeinflusses.

## **2.3 Die umfassende Untersuchung und Betrachtung der Ursachen von Schadensfällen**

Dieser Weg betrachtet die rauchgasseitigen Korrosionen als elektrochemischen Vorgang, dessen Weg zu den Endzuständen durch Kinetik (Chemie und Stoffaustausch) beschrieben wird (Warnecke).

Die Schritte dazu sind zu sehen in der Schadstoffbildung hauptsächlich im Brennraum, den Reaktionen in der Gasphase (im Rauchgasweg), der Bildung von Aerosolen, sowie in der Kondensation/Desublimation am Rohr und den im Belag stattfindenden Reaktionen und Enthalpie-Freisetzungen.

In diesem Zusammenhang wird Wert gelegt auf on-line-Probenahme, Analyse der geschädigten Rohre und der Beläge sowie Einbeziehung der Einflüsse von Rauchgasströmungen (CFD) und der chemischen Reaktionen im Belag im Bereich rauchgasseitig korrodierter Rohre.

Neben der on-line-Probenahme und der Untersuchung von Schadensfällen werden auch umfangreiche Laborversuche durchgeführt.

Schwerpunkte sind neben den Grundlagen vor Allem verfahrenstechnische und konstruktive Fragestellungen.

## **2.4 Korrosionsmodelle über Laborversuche**

Ausgehend von der Annahme, dass rauchgasseitige Korrosionen in Müllverbrennungsanlagen weitgehend auf den Angriff von Salzschmelzen zurückgeführt werden

können, wurden und werden umfangreiche Laborversuche zu dieser Problematik durchgeführt, welche zumindest für diesen Problemfall, zu belastbaren Aussagen geführt haben (Spiegel, M., 2004/Bild 1).

Schwerpunkt ist die mechanistische Aufklärung der Korrosionsvorgänge.

## **2.5 „Literatur-Analyse“ verbunden mit Beobachtungen an eigener Anlage**

Als jüngstes Beispiel für ein recht häufig festzustellendes Vorgehen kann die Veröffentlichung von Albert (2004) angesehen werden, welches im folgenden (exemplarisch) diskutiert werden soll.

Schwerpunkt ist die zur Diskussion-Stellung von Beobachtungen.

### **2.5.1 Bezüglich der „Literaturanalyse“**

In o. a. Veröffentlichung wird ein Korrosionsdiagramm (Bild 2) aus dem Jahr 1968 als „historisch“ dargestellt, welches damals auf „theoretischen“ Überlegungen beruhte, nicht auf sorgfältigen Analysen und breit angelegten Untersuchungen und heute als nicht (mehr) verwendbar angesehen werden muß: sowohl HCl-Korrosion an Überhitzerrohren als auch Korrosion durch  $ZnCl_2$  fanden und finden nicht statt. Ähnliches gilt für das dort wiedergegebene inzwischen veraltete Diagramm (Bild 3), welche heutzutage in modifizierter Form (Bild 4) „gültig“ ist.

Auch zum Thema „Salzschmelzen-Korrosion“ wird einseitig und damit unvollständig zitiert, die wesentlichen Arbeiten von u. a. M. Spiegel (15) werden nicht erwähnt.

In Bezug auf den Begriff „Fingerprint“ fehlt hier jegliche kritische Bewertung bezüglich seiner Aussagekraft und entsprechende Vergleiche mit anderen Bewertungsverfahren (5 und 16) für Belag- bzw. Flugstaubanalysen.

Dem allgemeinen Kenntnisstand entspricht auch nicht die Aussage bezüglich des HCl-Gehaltes im Rauchgas:  $< 1.500 \text{ mg/m}^3$  = günstige Korrosionsprognose. Auch sein „Flingersches Korrosionsdiagramm“ ist nicht mehr gültig.

### **2.5.2 Interpretation „eigener“ Erfahrungen**

Auf Grund seiner „eigenen“ betrieblichen Erfahrungen empfiehlt Albert am Ende seiner z.T. philosophischen (Müllverbrennung ist eine Aufgabe für Erwachsene) Überlegungen eine Anlage mit:

niedrigem Druck (47 bar) und niedriger Frischdampf-Temperatur (268° C)  
in Horizontalbauweise mit Prismenbalken.

Wenn man dieser „Empfehlung“ folgt, ist jede Korrosionsdiskussion überflüssig geworden, resigniert aber auch bezüglich der durchaus möglichen technischen Lösung der Probleme für Anlagen mit anderen Dampfparametern und Bauweise (5).

### **3. Einstimmigkeit und konträre Modelle**

In Bezug auf z. B. die in MVA möglichen/auftretenden Korrosionsmechanismen herrscht weitestgehend Einstimmigkeit. Unterschiedliche Auffassungen sind aber deutlich zu erkennen bezüglich der chemischen und physikalischen Vorgänge im Rauchgas und im Belag vor dem Beginn des korrosiven Angriffs auf den Rohrwandstahl und die Gewichtung der örtlich auftretenden Korrosionsmechanismen.

#### **3.1 Einstimmigkeit bei den Korrosionsmechanismen**

Allgemein akzeptiert (Warnecke und Kautz, 2004) werden die folgenden fünf Korrosionsmechanismen:

- I.  $\text{FeCl}_2$ -Bildung durch  $\text{HCl}$ -Angriff am „blanken“ Stahl bei Inbetriebnahme einer Anlage; „heilt“ zumeist aus, wenn:
  - a) genügend  $\text{O}_2$  im Rauchgas vorhanden ist,
  - b) der Belagaufbau genügend langsam erfolgt.
- II.  $\text{FeCl}_2$ -Bildung durch  $\text{HCl}$ -Angriff in sauerstofffreier Rauchgasatmosphäre (häufig anzutreffen im 1. Zug an den Verdampferwänden)
- III. Korrosion durch den Angriff von Chlor (ggf. in statu nascendi oder als  $\text{Cl}_2$ ) welches bei der Sulfatisierung von (zumeist) Alkali- und Metallchloriden im Rohrbelag (nahe der Rohrwand) freigesetzt wird:
  - die wohl häufigste Art der Überhitzerkorrosion, besonders gefährlich bei Rohrwandtemperaturen oberhalb von  $350^\circ\text{C}$ , besonders ab  $400^\circ\text{C}$
- IV. Korrosion durch eutektische Chloridschmelzen (Alkali- und Metallchloride, ab Chloridgehalten von 8 – 10 Gew.-% im Belag), möglich bereits ab Temperaturen von ca.  $200^\circ\text{C}$  (z. T. unter Beteiligung von Sulfaten) aufwärts.
- V. Korrosion durch Alkalisulfatschmelzen (z. B. an Überhitzern mit Rohrwandtemperaturen oberhalb von ca.  $550^\circ\text{C}$ .)

Eine Verstärkung der Überhitzerkorrosion ist möglich durch das Freisetzen von Chlor bei wechselnden Rauchgasbedingungen bezüglich der  $\text{HCl-SO}_3$ -Partikaldrücke aus Mischsulfaten.

#### **3.2 Unterschiedliche oder z.T. gegensätzliche Auffassungen zur Bedeutung der jeweiligen „Teil“-einflüsse**

Z.T. sehr gegensätzlich werden diskutiert:

- die Bedeutung des „Schadstoffinhaltes“ im verfeuerten Müll auf Korrosionsarten und ihre Stärke,
- der Reaktionsablauf im Feuerraum zusammen mit dem Einfluss der Auslegung der Feuerung,

- die Bedeutung der Rauchgasströmung an korrodierten Rohren,
- der Einfluss der jeweiligen Rohrwandtemperatur auf die Korrosion und ihre Stärke,
- die Bedeutung/der Einfluss von Belag-„Sperrschichten“ für den Korrosionsangriff,
- die Häufigkeit des Auftretens von Salzschnmelzen als Ursache der Rohrwandkorrosionen,
- der Einfluss von festen Chloriden als Ursache der Rohrwand-Korrosion.

### **3.2.1 Schadstoffinhalt des Mülls versus Einfluss der Auslegung der Feuerung**

Born (2003) schreibt:

„Für die Abschätzung des Korrosionsrisikos einer Rauchgasatmosphäre können in Abhängigkeit von den Gehalten an Cl, S und Alkalien im Brennstoff Kennwerte gebildet werden“,

„das Korrosionspotential des Chlors wird nicht ausschließlich von dessen Höhe im Brennstoff bestimmt, sondern ist in entschiedenem Maße vom Verhältnis zum S-Gehalt im Rauchgas abhängig“.

Demgegenüber weisen Warnecke (2004) und Kautz und Warnecke (2004) darauf hin, dass auch anderen Faktoren eine wichtige Rolle spielen:

„Auf die Korrosions- und Verschmutzungsgefährdung von Wärmetauschern hat die Feuerung einen deutlichen Einfluss“,

„Schäden in der Auslegung der Feuerung können nur dann durch die Auslegung des Dampferzeugers korrigiert werden, wenn der Primär-Chlorid-Gehalt (d. h. ohne Berücksichtigung des HCl-Gehaltes) im Rauchgas nicht zu hoch ist“,

„durch erhöhte Normal-Strömungsgeschwindigkeiten können vermehrt Chlor-Frachten am und im Belag umgesetzt werden. Es ist vorstellbar, dass dadurch die Korrosion erheblich unterstützt werden kann“.

Hieraus ergibt sich die wichtige und zu entscheidende Frage nach der Gewichtung der o. a. aufgeführten Einflüsse auf die rauchgasseitigen Probleme in MVA.

### **3.2.2 Unterschiedliche Auffassungen bezüglich des Einflusses von Rauchgas-Strömung am und im Wärmetauscher-.Bündel und vom Wärmefluß am Rohr**

2004 schreibt Warnecke:

„Die Anströmung von Rohre beeinflusst wesentlich den Wärme- und Stoffübergang“,  
„... erscheint die Anströmseite von Rohren in der Regel deutlich stärker von Korrosionen befallen, als die Abströmseite“,

„Der Wärmeübergang kann durch einen höheren Konvektionsanteil und durch eine höhere Anströmtemperatur gesteigert werden“,

„Berechnungen zeigen eindeutig, dass selbst bei einer Erhöhung der Gastemperatur und der Konvektion die Zone der höchsten Anströmgeschwindigkeit und Korrosion den geringsten Wärmeübergang aufweist“.

Demgegenüber fordert Herzog et al 2004:

„Ort des relativ höchsten Wärmeflusses korreliert mit dem bevorzugten Ort der wannenförmigen Korrosion“,

„Die lokale Position der Wannenbildung am Rohr wird begünstigt durch:

- relativ höchsten Wärmefluss,
- relativ hoher Anteil an feinen Partikeln“.

### **3.2.3 Zur Bedeutung einer „Sperrschicht“ über der Korrosion**

Sowohl Hohmann (2003) als auch Herzog et al. (2004) fordern die Existenz einer „Sperrschicht“ über Chlor-korrodierten Rohrwandbereichen, welche „nur“ durch eine Schicht schmelzflüssiger Chloride die für eine Chlorkorrosion erforderliche „geringe“ Sauerstoffzufuhr gewährleisten kann und ebenfalls eine Sperrschicht für die Chlorabfuhr darstellt.

Dem gegenüber steht aber die Beobachtung aus der Praxis, dass die Existenz einer derartigen Sperrschicht stets nur indirekt hergeleitet, aber noch nicht explizit in der notwendigen Form nachgewiesen werden konnte (obwohl eine Sperrschicht nicht wirklich bezweifelt wird).

### **3.2.4 Zum Einfluss der Rohrwandtemperatur auf die jeweilige Stärke der Korrosion**

Zum Ablauf der „wannenförmigen“ Korrosion nach Aufbau der (o. a.) Sperrschicht schreibt Herzog et al. (2004):

„kein Phänomen besonderer (hoher) Temperaturmilieus; durch moderate Temperaturwahl kann dieses Phänomen nicht sicher vermieden werden“.

Demgegenüber weisen Warnecke und Kautz (u. a. 2004) nach, dass es u.U. einen deutlichen, wenn auch „diffusen“ Temperatureinfluss geben kann, welcher allerdings von anderen physikalischen Rauchgasbedingungen bestimmt wird.

### **3.2.5 Zur Häufigkeit des Auftretens von Salzschnmelzen als Ursache der Korrosion**

Liest man die Veröffentlichungen von W. Spiegel (2003), Herzog (2003 und 2004) und M. Spiegel (2004), so gewinnt man den Eindruck, dass das Auftreten von Salzschnmelzen auf MVA-Rohren die häufigste Ursache der rauchgasseitigen Korrosionen ist.

Demgegenüber zeigt jedoch die praxisnahe Erfassung der Schadensfälle, dass selbst Salzschnmelzenbeteiligung in den seltensten Korrosionsfällen eindeutig nachgewiesen werden kann (Warnecke, 2004). Der Fragestellung, ob Salzschnmelzen, die

nach der Probenahme möglicherweise festgestellt werden (die Aussage basieren meist lediglich auf augenscheinlichen Vermutungen), auch im Betrieb vorhanden sind, werden nicht versucht zu beantworten.

#### **4. Versuch einer Bewertung der konträren Aussagen**

Wenn die wenig hilfreichen Aussagen phänomenologischer Betrachtungen außen vorgelassen werden, zeichnet sich folgendes Bild ab, welches offene, zu klärende Fragen beinhaltet:

1. Schadstoffinhalt im verfeuerten Müll:  
- es sieht so aus, dass hier nicht der wesentliche Einfluss vorliegt; für endgültige Aussagen fehlen noch Daten;
2. Einfluß der Auslegung der Feuerung:  
- dieser erscheint wesentlich bezüglich der primären Bildung von Schadstoffkomponenten: es müssen aber noch ergänzende Untersuchungen / Beweise für endgültige Aussagen erbracht werden, ebenfalls in Bezug auf die „heilende“ Rolle der Auslegung der Dampferzeuger.
3. Bedeutung der Rauchgasbedingungen in den kritischen Rohrwandbereichen:  
hier handelt es sich (fast) nur noch um akademische Fragen, deren Beantwortung aber möglicherweise Verbesserungsmöglichkeiten bezüglich der Auslegung der Wärmetauscher ermöglichen könnte.
4. Bedeutung der Rohrwandtemperatur:  
- es sieht derzeit so aus, dass bei „optimalen“ Rauchgasbedingungen diese eine vernachlässigbare Rolle spielt, bei ungünstigen Bedingungen jedoch eine wesentliche;
5. Die Frage der Sperrschichten: hierzu liegen eindeutig noch zu wenige koordinierte Untersuchungsergebnisse vor;
6. Die Bedeutung von Salzschmelzen:  
hierzu gilt das gleiche wie zu 5.

Allgemein ist auch die Darstellung der jeweils vorgetragenen Ergebnisse anzuprangern. Vielfach werden Einzelbeobachtungen als die belegte Wahrheit dargestellt. Eine Bewertung hinsichtlich Reproduzierbarkeit und Übertragbarkeit wäre mindestens angemessen.

#### **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Es erscheint im ersten Blick einfach, die in Abschnitt 3.2 aufgeführten und gegensätzlich diskutierten Fragen zu beantworten:

- man bräuchte sich nur zusammensetzen und zu prüfen, ob:

- es sich „nur“ um z. B. Unterschiede in den Untersuchungsmethoden oder z.B.
- um Ergebnisse aus unterschiedlich ausgelegten oder betriebenen Anlagen handelt, oder
- um „überbewertete“ Einzelfälle und wo
- Forschungsergebnisse bewusst oder unbewusst ignoriert werden

und gemeinsam über den evtl. Forschungsbedarf zu entscheiden.

Das Problem jedoch ist darin zu sehen, dass die Vertreter der unterschiedlichen Auffassung wohl aufgrund ihrer „privaten“ Interessenlage (auch wirtschaftliche) derzeit nicht zu einem derartigen, klärenden Gespräch bereit sind und keine Organisation einen „gemeinsamen Tisch“ zustande bringt.

Aus einem solchen Gespräch würde es sich aber wohl ergeben, dass zwar noch wesentliche Untersuchungsergebnisse fehlen, welche dann gemeinsam erarbeitet und ausgewertet werden müssten, derzeit aber keine Bereitschaft vorhanden ist. .

Abschließend bleibt an dieser Stelle nur der Ruf nach einer „konzertierten“ Aktion, damit Herstellern und Betreiber von MVA wirklich geholfen wird, was auf der derzeitigen Diskussionsbasis nicht möglich erscheint.

Die Aufgabe einer „konzertierten Aktion“ möchte auch diese VDI-Veranstaltung „Beläge und Korrosion“ leisten. Daher wird bei jeder dieser Veranstaltungen zur Diskussion aufgerufen und diese in diesem Rahmen unterstützt.

### Literatur:

1. Albert, F. W.: Betriebserfahrung führt zu einfachen Lösungen, VGB Power Tech 12/2004.
2. Warnecke, R., Kautz, K.: Übersicht über die verschiedenen Modelle zur HT-Korrosion, VDI-Seminar 430504, Göttingen, 2004.
3. Warnecke, R.: Einfluß von Strömung und chemischen Reaktionen in rauchgasseitigem Belag auf Korrosionen an Überhitzer-Rohren in Müllverbrennungsanlagen, VGB Power Tech, 9/2004.
4. Warnecke, R.: Korrosion unter Berücksichtigung von Strömungsgeschwindigkeit und Reaktionsenthalpie, In: Born, M.: Rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion, Verlag SAXONIA, Freiberg/2003.
5. Kautz, K., Warnecke, R.: Belagkennwerte in Müllverbrennungsanlagen – Einfluß der Feuerungs- und Dampferzeugergestaltung auf Beläge und Korrosion, VDI-Seminar 430504, Göttingen, 2004.
6. Herzog, T., Magel, G., Müller, W., Schmidl, W., Spiegel, W.: Korrosion von niedrig legiertem Stahl, - Auswertung zu aktuellen Schädigungen, Fachtagung Thermische Abfallverwertung, Mannheim, 2004.
7. Hohmann, U.: Kinetische Betrachtungen zur chlorinduzierten Hochtemperaturkorrosion, in: Born, M.: Rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion, Verlag SAXONIA, Freiberg, 2003 (ISBN 3-934409-20-2)

8. Spiegel, W.: Analyse von Schadensfällen rauchgasseitiger Dampferzeugerkorrosion; in: Rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion, Verlag SAXONIA, Freiberg, 2003.
9. Herzog, T., Schmidl, W.: Ansätze einer Systematik der Korrosionsphänomene für MVA, in: Rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion, Verlag SAXONIA, Freiberg, 2003.
10. Fässler, K., Leib, H., Spähn, H.: Korrosion an Müllverbrennungskesseln, Mitt. VGB, 48, 1968.
11. Krause, H.H., High Temperature Corrosion Problems in Waste Incineration Systems, Batelle Memorial Institute, Columbus/Ohio.
12. Miller, P.D., Krause, H.H.: Corrosion of Carbon and Stainless Steels in Flue Gases from Municipal Incinerators, Proceedings of the 1972 National Incinerator Conference, Anr. Soc. Mech. Engin., (1972),
13. Bossmann, H.P., Singheiser, L.: Hochtemperaturkorrosion von Wärmetauschern in Müllverbrennungsanlagen, 11. VGB-Konf. „Korrosionsschutz in der Kraftwerkstechnik (1998).
14. Kautz, K.: Korrosionsursachen in Hausmüllverbrennungsanlagen, Mitt. VGB, 57 (1971).
15. Spiegel, M.: Salzschnmelzkorrosion an Überhitzern und Verdampfern, VDI—Seminar 430504, Göttingen, 2004.
16. Linnenberg, J. Schallert, B., Böske, J., Körte, H.: Rauchgasseitige Vorgänge im Kessel bei der Anfahrt einer Müllverbrennungslinie, VDI-Seminar 430503, Göttingen, 2003.