

**Belagkennwerte in  
Müllverbrennungsanlagen**

**Teil 3:**

**Einflüsse von Feuerraum- und Kessel-  
gestaltung auf Beläge und Korrosion**

**von**

**Prof. Dr. Karl Kautz, Büro für Abfallberatung, Martinsheim**

**Dr. Ragnar Warnecke, GKS, Schweinfurt**

# **Inhalt:**

- 1. Einleitung**
- 2. Anlagen bedingte Belagkennlinien**
- 3. Kennzahlen als Hilfe zur Anlagenbewertung**
- 4. Die Auslegung der Feuerung und deren Wärmeabfuhr sowie die Verbrennungsluftverhältnisse**
  - 4.1 Zum Einfluss auf die Verschlackung im 1. Zug**
  - 4.2 Zum Einfluss auf die Chloridbildung**
- 5. Der Einfluss von Auslegung der Züge, Rauchgasgeschwindigkeiten und Gassenteilungen**
- 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

**Literatur**

# 1 Einleitung

Die Auswertung der Analysen von Belagproben aus dem Rauchgasweg von 17 Müllverbrennungsanlagen (1) und (2) mit unterschiedlichen konstruktiven Auslegungen von Feuerungen und Dampferzeugern (**Tabelle 1**) erlaubten zusammengefasst folgende Aussagen:

- die Erarbeitung von Anlagen-spezifischen Belagkennlinien für die Belagkomponenten Chlorid und  $\text{SiO}_2$  ist möglich,
- die Festlegung von bestimmten Belaggrenzwerten ist möglich und sollte seitens der Anlagenhersteller diskutiert und dann ggf. mit in die einzuhaltenden Garantien aufgenommen werden,
- die ermittelten Belaggrenzwerte und Belagkennlinien ermöglichen zumindest einen Hinweis auf Gefährdungen von Müllverbrennungsanlagen auf der Rauchgasseite sowie Hinweise auf notwendige Korrekturmaßnahmen der Fahrweise, auf mögliche Umbaumaßnahmen und den Sinn des Einsatzes von rauchgasseitigen Additiven,
- auf der Basis der Chlorid- und  $\text{SiO}_2$ -Werte der rauchgasseitigen Beläge aus bestimmten Bereichen des Rauchgasweges ist es möglich, in einer ersten Annäherung Belag-basierte Kennzahlen zur Bewertung der rauchgasseitigen Gefährdungen bezüglich Verschmutzung und Korrosion herauszuarbeiten,
- es gibt Anlagenkonzepte mit geringerer rauchgasseitiger Störempfindlichkeit und solche mit größerer,
- es ist möglich, dem jeweils verfeuerten Müll angepasste optimale Anlagenkonzepte zu entwickeln.

Bei den bisherigen Überlegungen ((1) und (2)) wurde weitestgehend der Einfluss der Feuerung pauschal auf die Bildung (Art und Menge) der in Bezug auf rauchgasseitige Probleme als wichtig erachteten Komponenten Chlorid und  $\text{SiO}_2$  betrachtet. Weitere, ebenfalls Problem beeinflussende Faktoren (**Abbildungen 7 und 8**) wurden in Bezug auf ihre Bedeutung noch nicht genügend analysiert.

Im Folgenden wird auf einige dieser Parameter wie z. B. die Sekundär-/ Primärluftverhältnisse, Rauchgasdurchmischung, Auslegung der Dampferzeuger eingegangen und versucht werden, deren Einfluss auf die Kennzahlen für Korrosion, Verschmutzung und Anlagengefährdung festzulegen. Hierzu soll (vereinfachend) der Hauptver-

ursacher der rauchgasseitigen Probleme, das Chlorid in den Belägen herangezogen werden, sowie für die Verschlackungs-/Verschmutzungsgefahr im unteren Teil der 1. Züge das SiO<sub>2</sub>.

Alle relevanten Parameter zu berücksichtigen ist derzeit aufgrund der großen Vielfalt der Einflussfaktoren (siehe **Abbildungen 7 und 8**) nur annäherungsweise unter Auswahl der am wichtigsten erscheinenden Haupt-Parameter möglich, auch weil einige Parameter noch nicht genügend genau erfasst sind.

## 2 Anlagen-bedingte Belagkennlinien

In (1) und (2) wurde heraus gearbeitet, dass die Chloridgehalte in den Belägen auf den Wärmetauscherrohren entlang des Rauchgasweges (und gegenläufig auch die Sulfatgehalte) deutlich beeinflusst werden von der Auslegung der Feuerung und Anlagen-spezifische Kennlinien darstellen.

Dabei wurden verglichen:

- Feuerungen mit Walzenrosten:
  - mit Gleichstromfeuerung,
  - mit Mittelstromfeuerung,
  - mit Gegenstromfeuerung,
- Feuerungen mit Vorschubrosten:
  - mit Gleichstromfeuerung,
  - mit Mittelstromfeuerung,
    - ohne Rauchgasrezirkulation,
    - mit Rauchgaszirkulation und 60 % Unterwind,
    - mit Rauchgasrezirkulation und 40 % Unterwind,
  - mit Gegenstromfeuerung,
    - mit Rauchgasrezirkulation und 45 % Unterwind,
- Feuerungen mit Rückschubrosten:
  - mit Mittelstromfeuerung,
  - mit Gegenstromfeuerung.

Als Ergebnisse zeichnen sich deutlich ab:

- Gleichstromfeuerungen mit Walzenrost zeigen die niedrigsten Chloridgehalte in den Belägen (**Abb. 1 und 2**);
- diesen Werten am nächsten liegende Chloridgehalte sind in Anlagen mit Mittelstromfeuerung mit Vorschubrost, ca. 60 % Unterwind und Rauchgasrezirkulation (**Abb. 1 und 3**) sowie in Anlagen mit Mittelstromfeuerung und Walzenrost (**Abb. 2**);
- es folgt die Anlage mit Mittelstromfeuerung, Vorschubrost, Rauchgasrezirkulation und 40 % Unterwind (**Abb. 3**);
- schlechtere Chloridwerte treten in Anlagen mit Mittelstromfeuerung und Rückschubrost (**Abb. 1 und 5**) sowie Gleichstromanlagen mit Vorschubrost (**Abb. 4**) auf;
- eine weitere Verschlechterung der Chloridwerte kann in der Anlage mit Gegenstromfeuerung, Vorschubrost, Rauchgasrezirkulation und 45 % Unterwind festgestellt werden (**Abb. 3**);
- die höchsten Chloridgehalte haben die Beläge der Anlage mit Gegenstromfeuerung und Rückschubrost (**Abb. 5**), eine deutliche Verbesserung für Rückschubroste ergibt sich aus der Kombination mit Mittelstromfeuerung und 4-Zug-Tailend (**Abb. 4**).

Es ist zu beachten, dass die Chloridgehalte nicht per se mit hoher Korrosion gleichzusetzen sind. Bei diesem Vergleich wurden zunächst nur die Chloridgehalte der Beläge aus dem 1. Zug und vom Endüberhitzer berücksichtigt, da:

- die Beläge aus dem 1. Zug über ihren Chloridgehalt Indikatoren bezüglich der unterschiedlichen Metall- und Alkalichlorid-Bildung in Abhängigkeit von der „Qualität“ der Verbrennungsvorgänge sind und
- die Beläge von den Endüberhitzern über ihren Chloridgehalt direkt auf den Grad der Korrosionsgefährdung (Hochtemperatur-Chlorkorrosion) hinweisen.

Im Bereich der Economizer, in dem die Höhe der Chloridgehalte in den jeweiligen Belägen in allen bekannten Fällen ein Hinweis auf die Stärke der Verschmutzungsgefährdung durch in der Hauptsache die Ablagerung von Alkali-, Erdalkali-, Metall- und Silizium-Chloriden ist, zeichnet sich folgendes Bild ab:

- außer im Fall der Gegenstromfeuerung mit Vorschubrost, Rauchgasrezirkulation und 40 % Unterwind (**Abb. 3**) zeigen die Chloridgehalte im Eco-Bereich das gleiche Verhalten wie in den ersten Zügen und an den Endüberhitzern der untersuchten Anlagen.

Diese Ergebnisse/Erkenntnisse erlauben den Einfluss der Feuerung insgesamt und z.T. auch detailliert zu analysieren.

### 3 Kennzahlen als Hilfe zur Anlagenwertung

In (2) wurden in einem ersten Versuch Kennzahlen zur:

- Korrosionsgefährdung,
- Verschmutzungsgefährdung,
- Anlagengefährdung

Dargestellt (siehe auch **Tabelle 3**), zu welchen die tatsächlich aufgetretene Korrosion (annäherungsweise) ermittelt werden konnte. Ein Vergleich der Daten zeigt, dass folgende Anlagen spezifische Parameter (siehe hierzu auch **Tabelle 2**) neben denen der Feuerung, einen Einfluss auf die in den Anlagen festgestellten Korrosionen gehabt haben (können):

- höhere Dampfparameter als 400° C und 40 bar: Anlagen C und J sowie insbesondere Anlagen I, N und O;
- deutlich niedrigere Dampfparameter als 400°C und 40 bar: Anlage M;
- der (sehr) niedrige O<sub>2</sub>-Gehalt in der Anlage D;

- eine schlechte Rauchgasdurchmischung infolge Falschlufft in Anlage I;
- Vierzug-Tailend-Konstruktion mit Wärmefalle als positiver Effekt bei Anlagen P und Q;

Jedenfalls wird ersichtlich, dass nur Anlagen mit einer Korrosionsgefährdung deutlich unter 1,0 mit akzeptablen Korrosionsraten gefahren werden können, es sei denn es liegen sehr niedrige Dampfparameter vor.

In etwa parallel zum Auftreten von Korrosionen ist der jeweilige Grad der Verschmutzung dann zu sehen, wenn:

- die Zahl der Verschmutzungsgefährdung unter 10-12 liegt und
- eine gute Abreinigung gewährleistet wird, z.B. durch eine Tailend – Konstruktion mit Klopfen.

Dies steht negativen Erfahrungen bei der Reinigung mit Rußbläsern entgegen (Erosionskorrosion bzw. Primärkorrosion).

Der Einfluss von lokalen Rauchgasgeschwindigkeiten und geometrischer Auslegung der Wärmetauscher (z. B. Gassenteilung) ist aus den Zahlen der **Tabelle 2** (noch) nicht abzuleiten.

Zu den Parametern:

- Gesamtmenge O<sub>2</sub>,
- Verhältnis Unterwind/Sekundärluft

lässt sich Folgendes aussagen:

- der niedrige O<sub>2</sub>-Gehalt von  $\leq 6$  % in Anlage D dürfte einen negativen Einfluss auf die dort ablaufenden Korrosionen haben;
- ein Unterwind von ca. 40 % in den Anlagen E, F und J kann ggf. eine leicht erhöhte Korrosionsgefährdung zur Folge haben.

Eine Rauchgasrezirkulation bei Vorschubrosten mit Mittelstrom- und Gegenstromfeuerung stellt sicherlich einen positiven Faktor bezüglich der Rauchgasdurchmischung dar, besonders bei einem Unterwind/Sekundärluftverhältnis von 60/40 (Vergleich der Anlagen C und M).

## 4 Die Auslegung der Feuerung und deren Wärmeabfuhr sowie die Verbrennungsluftverhältnisse

Von der Vielfalt der technischen Parameter, durch die eine Feuerung definiert werden kann (**Abbildung 7**), sollen und können derzeit auch nur die Einflussfaktoren:

- Anteil Unterwind
- Anteil Sekundärluft
- Anteil Rauchgasrezirkulationsgas
- Anteil Tertiärluft
- O<sub>2</sub>-Konzentration im Rauchgas
- Rosttyp
- Art der Feuerung

bezüglich der rauchgasseitigen Probleme diskutiert werden:

- in Bezug auf die Verschlackungsgefahr durch „SiO<sub>2</sub>“ im unteren Teil des 1. Zuges,
- in Bezug auf die Bildung verschmutzungs- und korrosionsgefährdender Chloride über die Chloridgehalte in den Belägen von der Mitte des 1. Zuges.

#### **4.1 Zum Einfluss auf die Verschlackung im 1. Zug**

Aus **Tabelle 4a und 4b** ist folgende Abhängigkeit der Höhe der SiO<sub>2</sub>-Gehalte in den Belägen von der Mitte des 1. Zuges von der Feuerung insgesamt zu entnehmen:

- die durchschnittlich höchsten SiO<sub>2</sub>-Gehalte sind über Gleichstromfeuerungen mit Walzenrosten zu finden und dort abhängig von der Wärmeabfuhr über ein mehr oder weniger dicht anliegendes keramisches System. Damit haben diese Systeme die höchste Verschlackungsgefährdung im unteren Teil des 1. Zuges;
- die niedrigsten SiO<sub>2</sub>-Gehalte liegen in Anlagen mit Unterwind-Sekundärluftverhältnissen von ca. 40/30 vor; allerdings werden diese Anlagen auch mit Rauchgasrezirkulation gefahren. Hier wurde die geringste Verschlackung im unteren Teil des 1. Zuges festgestellt;
- Anlagen mit Rauchgasrezirkulation und Unterwind-/Sekundärluft-Verhältnissen  $\geq 50/20$  haben SiO<sub>2</sub>-Werte im „Mittelfeld“;
- niedrige SiO<sub>2</sub>-Gehalte sind auch bei Mittelstromfeuerungen mit Rückschubrosten gegeben.

Diese Aussagen lassen darauf schließen, dass:

- Gleichstromfeuerungen, wenn keine sehr gute Wärmeabfuhr über das keramische Auskleidungssystem erfolgt, im unteren Teil des 1. Zuges stark Verschlackungs- und Verschmutzungsgefährdet sind und
- dieses über den Austrag schmelzförmiger Silikate aus der Feuerung erfolgt;
- ein Unterwind-/Sekundärluft-Verhältnis von ca. 40/30 diesen SiO<sub>2</sub>-Austrag niedrig hält.

## 4.2 Zum Einfluss auf die Chloridbildung

**Tabelle 4a und 4b** zeigt die Zusammenhänge zwischen den Chloridgehalten in den Wandbelägen von der Mitte des 1. Zuges als Indikator für die „primäre“ Chloridbildung in der „Feuerung“. Den stärksten Einfluss auf die Höhe der Chlorid-Gehalte in den Belägen von der Mitte des 1. Zuges hat die Kombination des Rosttyps mit der Art der Feuerung:

- a) die niedrigsten Chloridgehalte zeigen Walzenroste mit Gleichstromfeuerungen, danach der Walzenrost mit Mittelstromfeuerungen (außer der „anormalen“ Anlage „I“ (Falschluff)),
- b) die schlechtesten Werte haben Gegenstromfeuerungen, besonders mit Rückschubrost, bei Mittelstromfeuerungen stellt sich der Rückschubrost günstiger dar;
- c) die O<sub>2</sub>-Konzentration ist als Einfluss nicht deutlich erkennbar, sofern nicht unterstöchiometrische Zustände erreicht werden, ebenso
- d) der Einfluss der Rauchgasrezirkulation, außer evtl. im Falle der Anlage „C“, wo das Rezi-Gas, nur 5 %, oberhalb der Sekundärluft zur Rauchgasdurchmischung eingedüst wird;
- e) Tertiärluft-Zugabe lässt sich als Einflussgröße nicht nachweisen, ebenso
- f) nicht das Unterwind-/Sekundärluftverhältnis.

## 5 Der Einfluss von Dimensionierung der Rauchgaszüge, der Rauchgas- und Dampfparameter sowie der Rauchgasgeschwindigkeit

Nachdem im vorhergehenden Kapitel die möglichen Einflüsse der Auslegung der Feuerung betrachtet worden sind, soll im Folgenden auf die Frage der Beeinflussung der Belagzusammensetzung in kritischen Wärmetauscherbereichen durch die Auslegung des Dampferzeugers eingegangen werden. Hierzu sollen in einem 1. Schritt die

Chloridgehalte der Beläge im Zusammenhang mit der Dampferzeugerauslegung der untersuchten Anlagen herausgezogen werden.

Wie aus **Tabelle 4a und 4b** ersichtlich wird, liegen die Chloridgehalte in den Belägen von den Endüberhitzern verglichen mit denen von der Mitte des 1. Zuges, mit einer Ausnahme (Anlage M), bei gleichen bis niedrigeren Werten.

Im Einzelnen betrachtet, zeichnet sich folgendes Bild ab:

- in Anlage „M“, einer Mittelstromfeuerung mit Vorschubrost, 55 % Unterwind, 30 % Plattenluft und ca. 15 % Sekundärluft liegt der Chloridgehalt im Überhitzerbelag mit 2,9 % über dem von der Mitte des 1. Zuges mit 1,7%;
- in den Anlagen „A“ und „B“: Gleichstromfeuerungen mit Walzenrosten, mit sehr niedrigen Chloridgehalten in den Belägen, zeigen sich keine diesbezüglichen Unterschiede zwischen 1. Zug und Endüberhitzer: 0,1/0;3 zu 0,1/0,3 Gew.-% Chlorid);
- bei der Mittelstromfeuerung mit Walzenrost (3) liegt (ebenfalls) nur eine sehr geringe Abnahme des Chloridgehaltes zwischen 1. Zug und Endüberhitzer vor: von 1,2 auf 1,0 Gew.-%;
- eine Chloridreduktion bis zum Endüberhitzer von ca. 1 – 2 Gew.-% findet in folgenden Anlagen statt:
  - „C“: 2,2 auf 0,1 Gew.-%,
  - „E“: 3,5 auf 1,4 Gew.-%,
  - „H“: 5,0 auf 3,0 Gew.-%
  - „L“: 9,8 auf 8,5 Gew.-%
  - „N“: 3,2 auf 0,8 Gew.-%,

d. h., Anlagen mit unterschiedlichen Feuerungen, ohne im ersten Schritt sichtbare Einflüsse.

- Chloridreduktionen von ca. 4 – 6,5 Gew.-% sind zu finden in den Anlagen:
  - „D“: 7,0 auf 0,6 Gew.-%,
  - „F“: 8,5 auf 2,0 Gew.-%,

- „G“: 7,3 auf 3,2 Gew.-%,
- „K“: 12,7 auf 7,1 Gew.-%,
- „P“: 7,9 auf 4,0 Gew.-%,
- „Q“: 7,2 auf 3,0 Gew.-%;

auch hier sind auf den ersten Blick keine eindeutigen Ursachen, insbesondere hinsichtlich der Feuerung, zu erkennen;

- höhere Reduktionen von über 7 Gew.-%:

- „I“: 12,2 auf 3,7 Gew.-%,
- „J“: 11,6 auf 3,8 Gew.-%,

ausgehend natürlich von hohen Chloridgehalten im Belag des 1. Zuges lassen sich am ehesten durch gute „sekundäre“ Rauchgasdurchmischung hinter einem Walzenrost (Anlage I) und „sekundäre“ Rauchgasdurchmischung durch den Einfluss von Wärmefalle und/oder Rauchgasrezirkulation erklären (Anlage „J“).

Eine genaue Analyse der **Tabellen 4a und 4b** mit Erfassung der Ausbildung/Konstruktion der Rauchgaszüge und dem Vorhandensein und der Größe einer Wärmefalle erlaubt über die Reduktion der Chloridgehalte zwischen 1. Zug und Endüberhitzer folgende Aussagen:

1. Den stärksten Einfluss auf eine Korrosion des Endüberhitzers haben die Frischdampfparameter: je höher über 40 bar/400° C, umso größer sind die Probleme (**Abb. 6**).
2. Allerdings sind auch bei 40 bar/400° C Dampfparameter die End-Überhitzer gefährdet, wobei diese Gefährdung deutlich verringert wird durch:
  - die Größe/Länge der Wärmefalle (Zahl der Verdampfer-Rohrreihen) und
  - die Zunahme der Zahl der Züge insgesamt vor Erreichen des End-Überhitzer, sowie
  - eine möglichst geringe Anzahl von Leer-Zügen.
3. Die Tatsache, dass bei Gleichstromfeuerungen mit Walzenrosten die Chloridgehalte zwischen 1. Zug und Endüberhitzer nicht abnehmen, ist eventuell

erklärbar dadurch, dass hier keine sulfatisierbaren Chloride gebildet werden, sondern „korrosionsunschädliches“ Siliciumchlorid.

## 6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Auf der Basis der vergleichenden Belaguntersuchung von inzwischen 18 Hausmüllverbrennungsanlagen können unter Berücksichtigung von Auslegungsparametern folgende Aussagen gemacht werden (**Tabelle 4a und b**):

1. Auf die Korrosions- und Verschmutzungsgefährdung von Wärmetauschern hat (bei gleichem Abfall) die Feuerung einen deutlichen Einfluss.
2. Schwächen in der Auslegung der Feuerung können nur dann durch die Auslegung des Dampferzeugers „korrigiert“ werden, wenn der „Primär-Chloridgehalt“ im Rauchgas nicht zu hoch ist, d. h. nicht größer als ca. 5 Gew.-% im Belag von der Mitte des 1. Zuges.
3. Hilfreich beim Abbau bei der Reduktion der Chloridgehalte im Rauchgas sind jedenfalls, eine höhere Zahl von Rauchgaszügen insgesamt und eine geringe Zahl von Leerzügen vor Erreichen der End-Überhitzer bzw. der Wärmetauscher mit Rohrwandtemperaturen oberhalb von ca. 380° C und entsprechenden Dampfdrücken, sowie eine ausreichend dimensionierte Wärmefalle.
4. Bezüglich einer „optimalen“ Feuerung“ sind „primäre“ Verbrennungs-/ Rauchgasverhältnisse anzustreben, wie sie in Gleichstromfeuerungen herrschen, wobei
5. auf einen frühen Abbau der relativ hohen Feuerraumtemperaturen über eine sehr gute Wärmeabfuhr über die keramische Auskleidung des Feuerraumes zu achten ist
6. Rauchgasrezirkulation kann möglicherweise die korrosive Gefährdung eher erhöhen, zumindest, wenn unterhalb Sekundärluft eingedüst wird, obwohl die Durchmischung durch Rezi verbessert wird.

7. O<sub>2</sub>-Gehalte unter 6 % können Risiken hinsichtlich rauchgasseitiger Probleme mit sich bringen. Steigerungen scheinen keinen prinzipiellen Einfluss zu haben.
8. Zum Einfluss der Rauchgasgeschwindigkeiten, besonders der lokalen können derzeit noch keine endgültigen Aussagen auf der Basis der hier vorliegenden Daten gemacht werden. Gleiches gilt für die Rauchgastemperaturen vor Endüberhitzern (**Abb. 6**).
9. Ein gewisser Zusammenhang zwischen der Stärke der Korrosion und dem Verhältnis zwischen der Rauchgastemperatur und der Dampftemperatur ist **Abbildung 6** zu entnehmen (3). Die Korrosionsgeschwindigkeit steigt ab ca. 650° C Rauchgastemperatur mit zunehmender Frischdampftemperatur.

Abschließend muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass:

1. weitere Auslegungsparameter untersucht/gemessen werden müssen und
2. die Erfassung/Messung der/aller Rauchgaskomponenten spätestens beim Verlassen des Feuerraumes erforderlich ist, um zu endgültigen Aussagen zu kommen, besonders bezüglich der Art der Chloride.

Es kann jedoch jetzt schon gesagt werden, dass bestimmte Feuerungen und Dampferzeugerauslegung geringere Korrosions- und Verschmutzungsgefährdung mit sich bringen als andere. Ungünstige Konstellationen in der Feuerung können kaum mehr vom Kessel ausgeglichen werden, während die positiven Effekte von Feuerungen immer noch im Kessel zunichte gemacht werden können.

## Literatur:

1. Warnecke, R., Kautz, K.: Belagkennwerte zu Müllverbrennungsanlagen – Teil I: Belagkennlinien und Empfehlungen zu Belag-Grenz- bzw. Garantiewerten: in: Ersatzbrennstoffe – Aufbereitung, Mitverbrennung und Monoverbrennung von festen Siedlungsabfällen, Springer-Verlag (2002)
2. Kautz, K., Warnecke, R.: Belagkennwerte zu Müllverbrennungsanlagen – Teil II: Zusammenhänge zwischen Belagkennzahlen für Verschmutzungs- und Korrosionsgefährdung und Anlagenkonzepten, VDI-Wissensforum 430503 – Tagung Göttingen 23./24.06.2003
3. Elsam Report: Waste-Corrosion and Maintenance of Waste Incineration Plants, Report no. 03-33868, Elsam A/S (2003)
4. Warnecke, R.; Nordsieck, H.: Interner Sachstand des durch EFRE und Bayerisches Staatsministerium gefördertes Projekt „Korrosion in Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung - Entwicklung eines Online-Sensorarrays zur Erfassung von Zuständen erhöhter Korrosion“, Schweinfurt, 2004.

# Anhänge

## Definitionen:

**Feuerraum** ist hier abweichend von der VGB-Definition gemeint als:

Bereich oberhalb des Rostes bis zur engsten Stelle im unteren Bereich des 1. Kesselzuges bzw. zur letzten Luftzugabestelle (jenachdem, was höher liegt) zuzüglich einer Höhe, die gleich der mittleren Tiefe des 1. Zuges ist.

**Kessel-Züge** :

Die Kesselbereiche nach dem Feuerraum, die sich durch eine Umlenkung von mindestens 90° von den anderen Kesselbereichen unterscheiden.

## Tabellen:

**Tabelle 1:** Unterschiedliche untersuchte Feuerungstypen (Chlorid- und SiO<sub>2</sub>-Gehalte der Beläge aus dem ersten Zug)

	Gleichstrom				
	Walzenrost				Vor- schub
	ohne RG-Rezirkulation				
	A	B	N	I	H
O <sub>2</sub>	9,0	9,0	9,0	11,5	8,0
UW/SL	70/30	70/30	70/30	70/30	70/30
Cl	0,1	0,3	3,2	12,2	5,0
SiO <sub>2</sub>	24,9	16,3	11,6	13,0	12,0

Mittelstrom								Gegenstrom		
Vorschubrost						Rückschubr.		RückSchub		Vorschub
4 Stufen				2 Stufen						
ohne Rezi			+ RG - Rezi					ohne Rezi		+Rezi
D	K	M	C	E	F	P	Q	G	L	J
6,0	8,0	8,5	7,0	7,5	7,5	8,0	8,0	7,0	7,5	8,5
70/30	65/35	50/20	60/30	40/30	42/38	60/40	76/24	65/35	80/20	40/30
7,0	12,7	1,7	2,2	3,5	8,5	7,3	7,2	7,3	9,8	11,6
16,4	16,3	13,6	10,9	4,5	7,9	9,4	6,0	9,6	14,9	16,3

**Tabelle 2:** Zu berücksichtigende und beeinflussbare Parameter zur Vermeidung von rauchgasseitigen Problemen

<b>Beeinflussbare Parameter</b>	<b>Lösungen</b>
Verfeuerter Müll	Aufbereitung
Rosttyp	Walzenrost, Vorschubrost, Rückschubrost - Zahl der Primärluftschlitze
Konstruktion Feuerraum	Gegenstrom-, Mittelstrom-, Gleichstromfeuerung - Winkel der Düsen
Gesamtmenge O <sub>2</sub>	< 6 - 9 %
Verhältnis Unterwind/Sekundärluft	40/60 - 80/20
Rauchgasdurchmischung	Zahl der Düsen, Anordnung der Düsen, Pressung der Sekundärluft
Rauchgasrezirkulation	ja/nein; Menge; Lage der Düsen
Kesselkonstruktion	Dampfparameter; Vertikal - Tailend - Kessel: Wärmefallen vor Überhitzer
Dampf-Parameter	Dampf Temperatur, Dampfdruck
Rauchgasreaktionen	Mischung, Reaktionszeit, -temperatur, Additiv - Einsatz
Rauchgasgeschwindigkeit (Fracht)	Dimensionierung der Züge, Strömungsvergleichmäßigung

**Tabelle 3:** Kennzahlen zu Anlagengefährdungen und tatsächlich festgestellte ÜH-Korrosionen (niedrig = positiv; hoch = negativ)

Anlage	Korro- sions- gefähr- dung	Verschmut- zungs- gefährdung	Anlagen- gefährdung	Bemerkungen	Tatsächliche ÜH-Korrosion
A	0,2	11,3	11,9	- Einfluß Fahrweise	Schwach
B	0,6	6,6	8,4	+ Lange Züge	Kaum
C	2,3	9,0	15,9	+ Rauchgasrezirk. / erhöhte FD- Parameter	Mittel
D	8,2	4,3	28,9	+ Tailend / Wärmefalle - Sehr geringer O <sub>2</sub> -Gehalt	Stark
E	4,9	5,2	19,9	- Sehr häufiges An-/Abfahren - Wasserseitige Probleme	Sehr stark
F	10,5	19,0	50,5	- Rauchgasrezirkulation - 40 % Unterwind	Schwach bis Mittel
G	10,5	12,0	43,5	- alter Kessel, neuer Rost	Mittel
H	8,0	19,0	43,0	- Gl.-stromf. , Vorschubrost	Mittel
I	15,9	15,8	63,5	- Falschluff, 11% O <sub>2</sub> - sehr hohe FD-Parameter	Stark
J	15,4	10,5	46,7	- Erhöhte FD-Parameter	Mittel
K	13,8	13,7	41,8	- Korrosion 1./2. Zug - Hohe FD-Parameter	Schwach
L	18,3	17,8	72,7	- Altanlage - Rückschubrost	Stark
M	4,6	9,6	23,4	- Sehr niedrige FD-Parameter	Kaum
N	4,0	7,3	19,3	- Sehr hohe FD-Parameter - Altanlage umgebaut	Mittel
O	n.b.	n.b.	n.b.	- Sehr hohe FD-Parameter - Altanlage	Sehr stark
P	11,9	11,6	47,3	- 4-Zug-Tailend - Rückschubrost	Gering bis mit- tel
Q	10,2	11,2	41,8	- 4-Zug-Tailend - Rückschubrost	Gering bis mit- tel
R	2,2	n.b.	n.b.	- Walzenrost, Mittelstromfeue- rung	Gering bis mit- tel

**Tabelle 4a:** Konstruktive und verfahrenstechnische Daten zu den untersuchten Anlagen

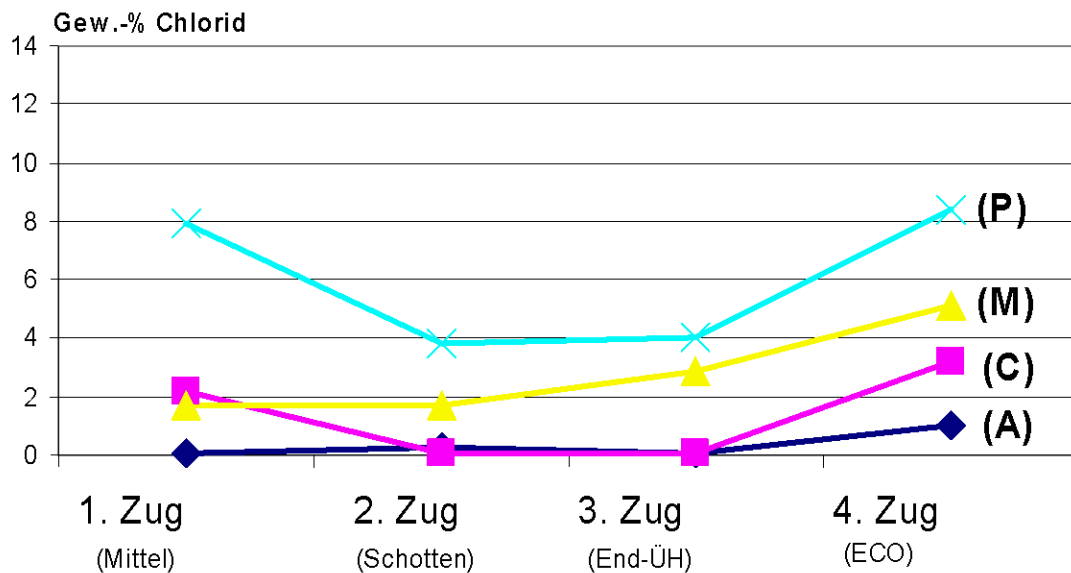
Anlage	Rosttyp	Verhältnis Unterwind / Sekun- därluft	Art der Feuerung	Rauch- gas- rezirkula- tion	Zahl der Leer- züge	Zahl und Art der Züge	Größe der Wärme- falle	Dampf- para- meter (bar / ° C)
A	Walz.	70/30	Gleich.	-	1 leer	4 - Zug - Horiz.	+	40/400
B	Walz.	70/30	Gleich.	-	1 leer	4 - Zug - Vert.	+	40/400
C	Vorsch.	60/30	Mittel.	+	2 leer	4 - Zug - Vert.	-	44/425
D	Vorsch.	70/30	Mittel.	-	1 leer	2 - Zug - Horiz.	++	40/400
E	Vorsch.	40/30	Mittel.	+	1 leer	4 - Zug - Horiz.	+	40/400
F	Vorsch.	42/38	Mittel.	+	1 leer	4 - Zug - Vert.	+	40/400
G	Vorsch.	65/35	Gegen.	-	1 leer	4 - Zug - Vert.	+	40/400
H	Vorsch.	70/30	Gleich.	-	1 leer	4 - Zug - Vert.	+	40/400
I	Walz.	70/30	Gleich.	-	0 leer	4 - Zug - Vert.	-	90/300
J	Vorsch.	40/30	Gegen.	+	1 leer	4 - Zug - Vert.	+	65/435
K	Vorsch.	05/35	Mittel.	-	2 leer	4 - Zug - Horiz.	+	40/400
L	Rücksch.	80/20	Gegen.	-	1 leer	4 - Zug - Vert.	+	40/400
M	Vorsch.	50/20	Mittel.	-	1 leer	4 - Zug - Vert.	-	19/280
N	Walz.	70/30	Gegen.	-	1 leer	3 - Zug - Vert.	-	70/505
O	Rücksch.	70/30	Gegen.	-	0 leer	2 - Zug - Vert.	-	70/505
P	Rücksch.	60/40	Mittel.	-	3 leer	4 - Zug - Horiz.	+	40/400
Q	Rücksch.	76/24	Mittel.	-	3 leer	4 - Zug - Horiz.	+	40/400
R	Walz.	70/30	Mittel.	-	1 leer	4 - Zug - Vert.	+	40/400

**Tabelle 4b:** Betriebs-Daten zu den untersuchten Anlagen

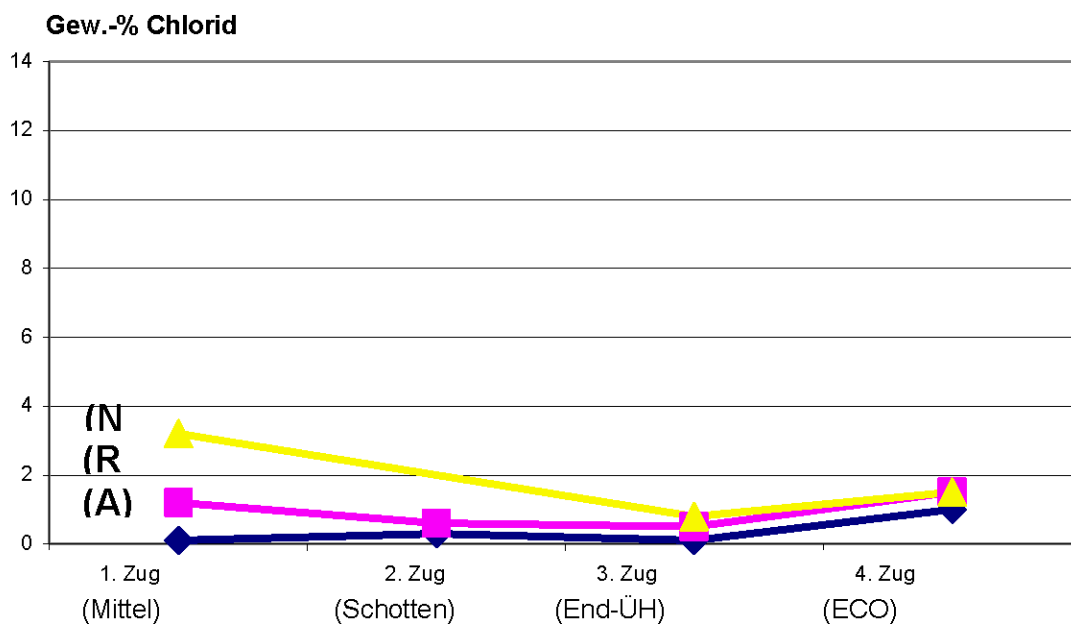
Anlage	% Chlorid im Belag			Cl- Reduktion 1. Zug zu End- ÜH	O2- Gehalt	RG - Temp. vor End-ÜH (°C) (ca. Angaben)	ÜH - Korr.	Ver- schmutzung
	1. Zug	End-ÜH	ECO					
A	0,1	0,1	1,0	± 0	9,0	450	-	-
B	0,3	0,3	0,7	± 0	9,0	550	-	-
C	2,2	0,1	3,2	-2,1	7,0	550	++	+
D	7,0	0,6	3,2	-6,4	6,0	550	+	-
E	3,5	1,4	2,6	-2,1	7,5	600	+	-
F	8,5	2,0	6,5	-6,5	7,5	600	+	+
G	7,3	3,2	12,2	-4,1	7,0	600	+	+
H	5,0	3,0	4,5	-2,0	8,0	600	+	+
I	12,2	3,7	5,8	-8,5	11,5	600	+	+
J	11,6	3,8	0,9	-7,5	8,5	550	++	+
K	12,7	7,1	8,3	-5,6	8,0	640	+	+
L	9,8	8,5	17,6	-1,3	7,5	600	+	+
M	1,7	2,9	5,1	+1,2	8,5	600	-	-
N	3,2	0,8	0,9	-2,4	9,0	650	+	+
O	-	7,7	-	-	8,0	850	+++	++
P	7,9	4,0	8,4	-3,9	8,4	550	+	-
Q	7,2	3,0	2,9	-4,2	9,0	550	+	-
R	1,2	1,0	1,0	-0,2	9,0	500	+	-

## Abbildungen:

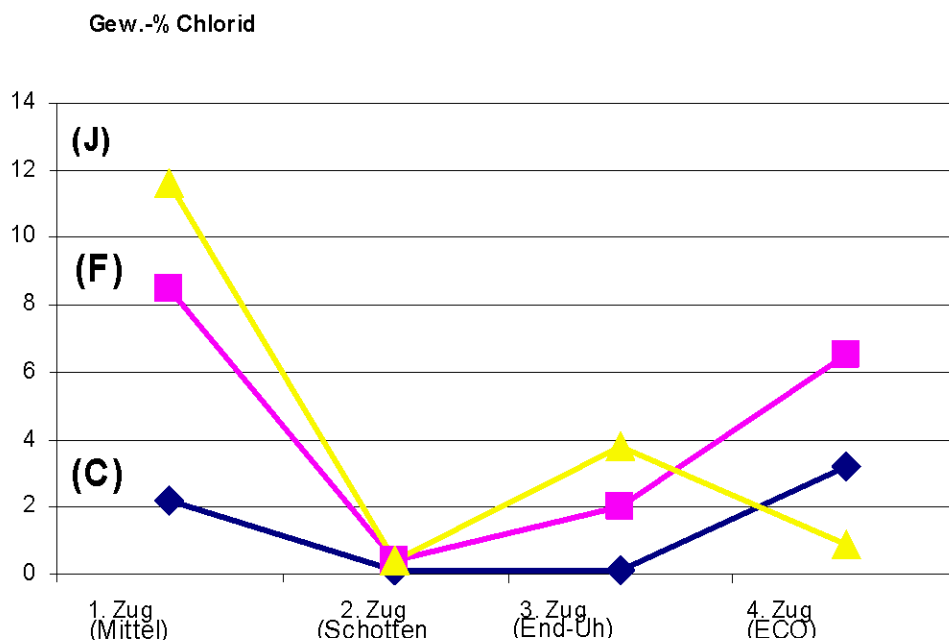
**Abb. 1:** Chloridgehalte in Belägen aus Anlagen mit unterschiedlichen Feuerungen (A = Walzenrost m. GLF, C = Vorschubrost m. MSF, M = Vorschubrost m. MSF, P = Rückschubrost m. MSF)



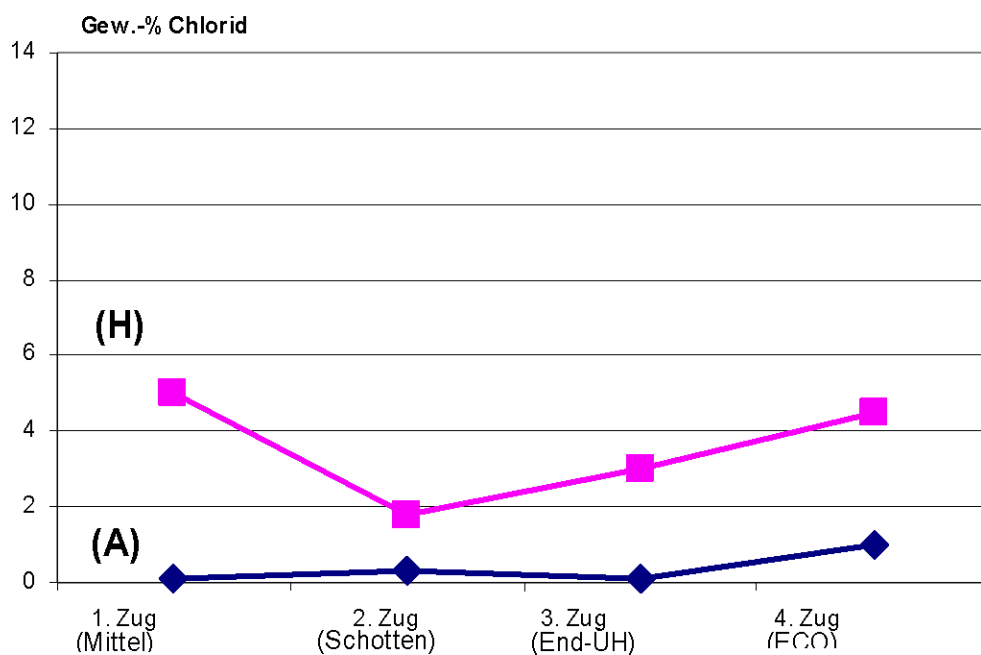
**Abb. 2:** Chloridgehalte in Belägen aus Walzenrost mit Gleichstromfeuerung (A), Mittelstromfeuerung (R) und Gegenstromfeuerung (N)



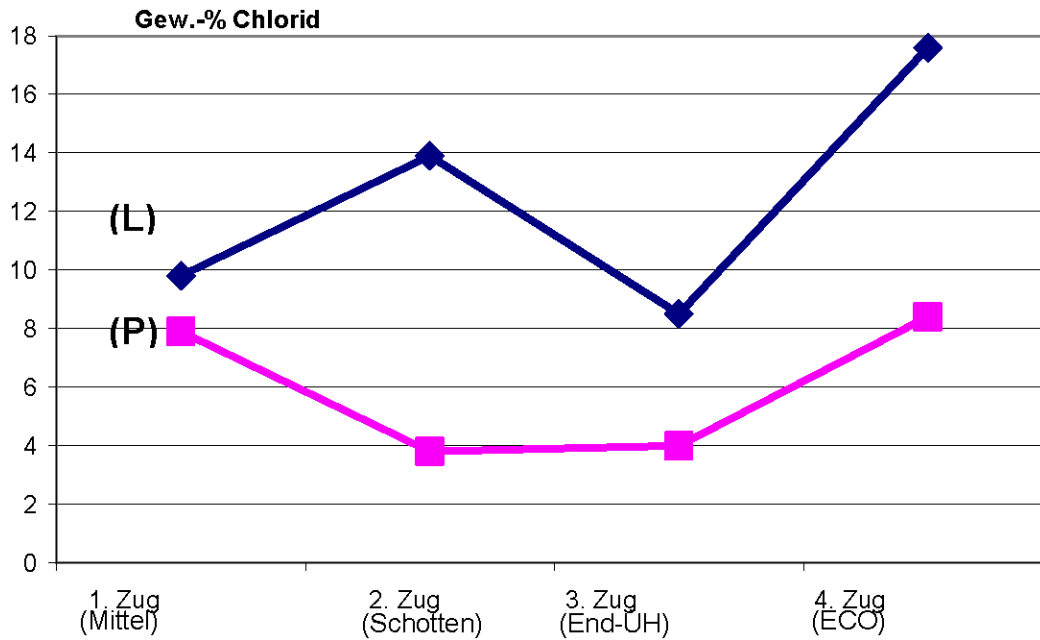
**Abb. 3:** Chloridgehalte in Belägen aus Vorschubrost (C) mit Mittelstromfeuerung (RG-Rezi / 60 % Unterwind), (F) mit Mittelstromfeuerung (RG-Rezi / 40 % Unterwind) und (J) mit Gegenstromfeuerung (RG-Rezi / 40 % Unterwind)



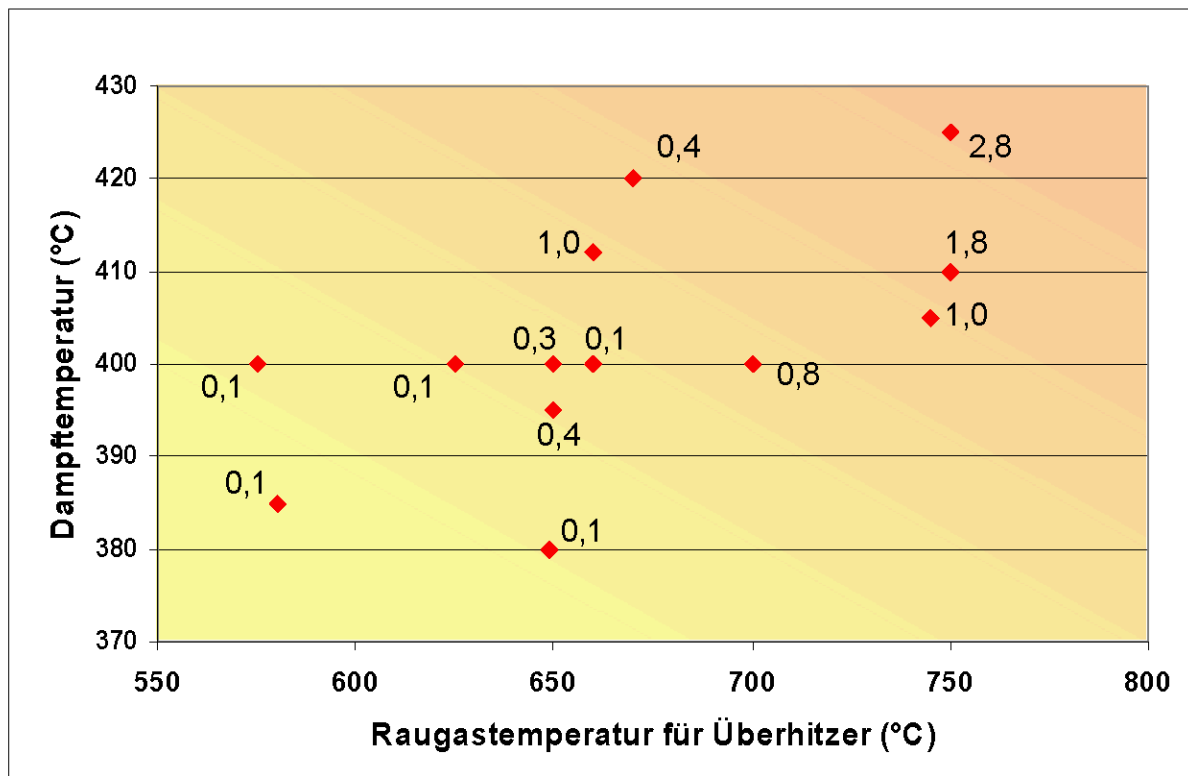
**Abb. 4:** Chloridgehalte in Belägen aus einer Gleichstromfeuerung (H) mit Vorschubrost und einer Gleichstromfeuerung (A) mit Walzenrost



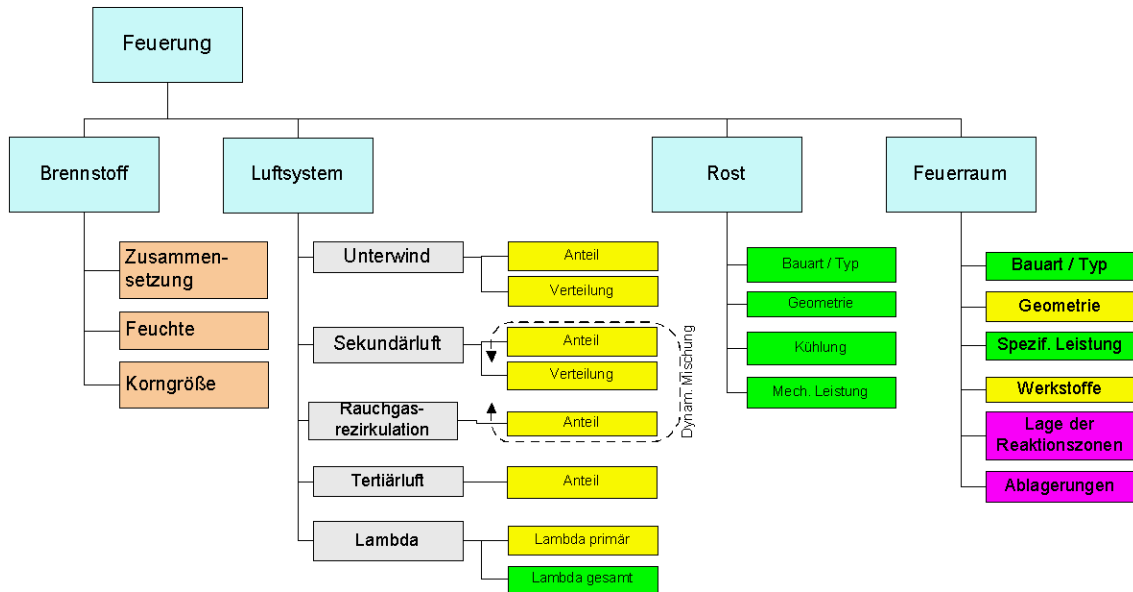
**Abb. 5:** Chloridgehalte in Belägen aus Rückschubrost (P) mit einer Mittelstromfeuerung und (L) mit einer Gegenstromfeuerung (P)



**Abb. 6:** Korrosionsdaten von Überhitzern in mm/Jahr [Elsam, 2003]



**Abb. 7:** Korrosion-beeinflussende Parameter "Feuerung" (Nordsieck, Warnecke, 2004)



**Abb. 8:** Korrosion-beeinflussende Parameter "Kessel" (Nordsieck, Warnecke, 2004)

