

Belag-Kennwerte zu Müllverbrennungsanlagen

Teil 2: Zusammenhänge zwischen Belag-Kennzahlen für Ver-
schmutzungs- und
Korrosionsgefährdung und Anlagenkonzepten

von

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

Dr. Ragnar Warnecke, GKS, Schweinfurt

Inhalt

1. Ausgangssituation.....	3
2. Weitere untersuchte Anlagen.....	4
3. Anlagen-bedingte Belagkennlinien	5
4. Feuerung bezogene Bewertung der Belagkennlinien.....	5
5. Forderungen an Hersteller und Betreiber	7
6. Kennzahlen als Hilfe zur Anlagenbewertung.....	9
7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	10
Literatur.....	12

1. Ausgangssituation

Im Teil 1 „Belagkennwerte und Empfehlungen zu Belaggrenz- und -garantiewerten“ der Studie "Belag-Kennwerte zu Müllverbrennungsanlagen“ [1] konnten folgende, vorläufige Aussagen zu "Belag-Kennwerte zu Müllverbrennungsanlagen" getroffen werden:

Eine Vielzahl von Untersuchungen nach rauchgasseitigen Störungen und Schadensfällen in Hausmüllverbrennungsanlagen haben gezeigt, dass diese mit bestimmten Gehalten an chemischen Komponenten in den Belägen der betroffenen Kesselbauteile in Verbindung gebracht werden können bzw. müssen. Es sind dieses u. a.:

- Si-Verbindungen in schmelzflüssiger Form (Feuerraum und unterer Teil des ersten Zuges) und gas- und aerosolförmige Verbindungen (z.T. SiCl_4) im Bereich der Konvektionsheizflächen; hierbei geht SiO_2 in den Analysen der Beläge zumeist parallel zu Al_2O_3 ;
- Chloride, die sich aus der Gasphase zumeist als feste oder schmelzflüssige Alkali- und Schwermetallchloride oder als Aerosole auf den Wärmetauscherflächen abscheiden.

Es erschien daher logisch, wenn überhaupt, Anlagenkennlinien zunächst nur auf den beiden Belag-Komponenten Chlorid und SiO_2 basieren zu lassen. Alle anderen Belagkomponenten sind, besonders vor dem "verwirrenden" Hintergrund der Vielzahl der vorhandenen/betriebenen Anlagenkonzepte, mit häufigen Nachinbetriebnahme-Modifikationen als nicht genügend aussagekräftig abzulehnen und auch zu sehr Müll-abhängig [2]. Ferner können Si und Cl auch als Repräsentanten und „Träger“ der anderen Verbindungen gesehen werden. Wenn auf ein Minimum von Stoffen reduziert werden soll, dann sind diese beiden besonders gut geeignet.

Die hier durchgeführte o.a. erste Untersuchung zu Belagkennlinien hat gezeigt, dass deren Anlagen-spezifische Erarbeitung möglich ist und Aussagen in Bezug auf Anlagenprobleme und deren Verbesserbarkeit erlaubt.

Die Anlagenkennlinien erlauben weiterhin auch erste Empfehlungen, besonders für Anlagenhersteller, bezüglich belagseitig einzuhaltender / zu empfehlender Belagwerte als Basis zur Festlegung von Reisezeiten zwischen zwei mechanischen Offline-Reinigungen und von Standzeiten von z. B. Endüberhitzern.

Inzwischen wurden 5 weitere, anders ausgelegte Müllverbrennungsanlagen belagseitig untersucht und interpretiert. Basierend auf den jetzt vorliegenden Analysen zeichnete es sich ab, Kennzahlen für Verschmutzungsgefährdung, Korrosionsgefährdung und Anlagenkonzept-Bewertung belastbar erarbeiten zu können.

Mit diesen 5 weiteren, anders ausgelegten Anlagen (siehe auch [1]) wurde eine so große Anlagenvielfalt untersucht, dass jetzt Untersuchungsergebnisse von:

- 14 Standorten
- 21 Linien
- 9 Rosttypen (Herstellern)

vorliegen, sowie Ergebnisse aus zwei Anlagen mit dem Einsatz von rauchgasseitigem Additiv, eine Basis, welche erste, richtungweisende, wenn auch vorsichtige Aussagen ermöglicht.

2. Weitere untersuchte Anlagen

Daten zu den weiteren 5 untersuchten Anlagen finden sich in **Tabelle 1** (technische Daten) und **Tabelle 2** (chemische Belagwerte). Dabei wird darauf hingewiesen, dass zur Anlage "O" nur eine Probenahme vom Endüberhitzer möglich war. **Abbildungen 1 und 2** geben den Verlauf der Belagkennlinien der Anlagen "M" und "N" wieder. **Abbildungen 7 und 8** dokumentieren die Anlagen P und Q.

In der Anlage "N" wurde zur Zeit der Probenahme ein nicht oxidatives rauchgasseitiges Additiv zur Verbesserung der Abreinigbarkeit eingesetzt, zu welchem aber keine positiven Einwirkungen festgestellt werden konnten.

3. Anlagen-bedingte Belagkennlinien

Abbildungen 3 - 6 zeigen beim Vergleich der Belagkennlinien der untersuchten Anlagen, dass in Abhängigkeit von Rosttyp und Feuerungsauslegung unterschiedliche Belagzusammensetzungen in Bezug auf Chlorid und SiO_2 festgestellt werden können:

- Walzenroste mit Gleichstromfeuerung "erzeugen" generell niedrigere Chloridgehalte als die anderen Rosttypen, allerdings auch (bei entsprechender, nicht optimaler Fahrweise) bis zu sehr hohen SiO_2 -Gehalten in den Belägen (**Abb. 3**). Dass der Rosttyp allein nicht die positiven Ergebnisse hervorruft, zeigen die relativ schlechten Werte der Anlagen I und N aus **Tabelle 7**,
- die danach niedrigsten Chloridgehalte hat die Anlage "C" (Vorschubrost mit Rauchgasrezirkulation), nach dem Linienverlauf aus **Abbildung 4** gegenüber Anlage "F";
- der Vergleich der Belagkennlinien (**Abb. 5**) von Anlagen mit "niedrigem" Unterwindanteil aber zum Einen als Mittelstromfeuerung (Anlage F), zum anderen als Gegenstromfeuerung (Anlage J) ausgelegt, weist darauf hin, dass die Chloridbelastung der Beläge, wenn auch mit gleicher Tendenz, bei der Gegenstromfeuerung im 1. Zug deutlich höher ist, die SiO_2 -Belastung aber niedriger, wobei die Chloridbelastung im 1. Zug auch als Gefährdung bezüglich Hinter-Feuerfest-Korrosion gesehen werden muss.
- bei Vorschubrosten ohne Rauchgasrezirkulation verursacht die Gleichstromfeuerung niedrigere Chlorid- und höhere SiO_2 -Gehalte in den Belägen gegenüber der Gegenstromfeuerung (**Abb. 6**) und zeigt damit die gleiche Tendenz wie bei Walzenrosten auf.

Zusammengefasst kann hier bereits ausgesagt werden, dass die herausgearbeiteten Belagkennlinien deutliche Abhängigkeiten von der Auslegung der Feuerungsanlagen zeigen.

4. Feuerung bezogene Bewertung der Belagkennlinien

Im Folgenden sollen auf der betrieblichen Erfahrungsbasis:

- steigende Chloridgehalte in den Belägen:

= erhöhte Verschmutzungsgefährdung,

= zunehmende Korrosionsgefahr

- hohe SiO_2 -Gehalten in den Belägen:
 - = Verschmutzungsgefahr im 1. Zug,
 - = Verschmutzungs- und Korrosionsgefährdung an den Konvektionsheizflächen,

die unterschiedlichen Feuerungsanlagen auf Art und Grad der o. a. Gefährdungen betrachtet werden.

Nimmt man die Chloridgehalte in den Belägen, so zeigen die Walzenroste mit Gleichstromfeuerung die niedrigsten Werte, die Rückschubroste mit Gegenstrom-/Mittelstromfeuerung liegen im Mittelfeld (**Tabelle 3**). Die Rauchgasrezirkulation verbessert bei Mittelstromfeuerungen die Belag-Werte besonders bei höherem Unterwindanteil. Generell zeigen Gegenstromfeuerungen bezüglich Chlorid Nachteile gegenüber Gleich- und Mittelstromfeuerungen auf. Die Vorteile und Nachteile der verschiedenen Feuerungstypen basieren offensichtlich auf der mit der jeweiligen Bauweise verbundenen Grad der statischen Mischung der Rauchgase. Gleiche Ergebnisse dürften auch mittels dynamischer Mischung (z.B. durch Sekundärluft-Eindüsung) erreichbar sein.

Anders sieht es bei den SiO_2 -Gehalten in den Belägen aus (**Tabelle 4**). Hier sind die Gehalte bei den Walzenrosten und Gleichstromfeuerungen durchschnittlich höher, bei Vorschubrosten mit Mittel- oder Gegenstromfeuerung und Rauchgasrezirkulation am niedrigsten. Es deutet sich aber an, dass Walzenroste mit Gleichstromfeuerung bei "richtiger" Fahrweise akzeptable SiO_2 -Werte haben, d. h. bei nicht zu hoher Last.

Insgesamt muss aber derzeit jede Rostbewertung mit größter Vorsicht betrachtet werden, da einige der untersuchten Anlagen für einen anderen Müll ausgelegt worden waren, als dem heute verfeuerten inhomogenen Gemisch. Dies gilt insbesondere für die beiden untersuchten Rückschubroste der Anlagen L und O.

5. Forderungen an Hersteller und Betreiber

Die in Teil 1 (s.o.) geforderten, zumindest empfohlenen, einzuhaltenden chemischen Belagparameter bezogen auf eine Belaggesamtanalyse (nicht unbedingt die Rohrwand-nächste Belagschicht) für Frischdampf-Temperaturen $> 400\text{ °C}$, Frischdampf-Drücke $> 40\text{ bar}$, erhöhten Anströmgeschwindigkeiten und/oder Rauchgastemperaturen $> 600\text{ °C}$:

- 1. Zug: $\text{SiO}_2 \leq 5\text{ Gew.-%}$; $\text{Cl} \leq 0,5\text{ Gew.-%}$
- Endüberhitzer: $\text{Cl} \leq 0,1\text{ Gew.-%}$
- Eintritt Eco: $\text{SiO}_2 \leq 4,5\text{ Gew.-%}$, $\text{Cl} \leq 2,5\text{ Gew.-%}$

werden bei den untersuchten Anlagen in Bezug auf den Chloridgehalt derzeit nur von einem Walzenrost mit Gleichstromfeuerung eingehalten, in Bezug auf den SiO_2 -Gehalt nur bei bestimmten Anlagen mit Vorschubrosten mit Mittelstromfeuerung sowie Rauchgasrezirkulation. Moderne Rückschubroste (Anlage P) liegen bei den SiO_2 - und Chlorid-Gehalten jeweils im Mittelfeld.

Für Frischdampf-Temperaturen $\leq 400\text{ °C}$, Frischdampf-Drücke $\leq 40\text{ bar}$, moderate Anströmgeschwindigkeiten und Rauchgastemperaturen $\leq 600\text{ °C}$ können höhere Belagparameter akzeptiert werden:

- 1. Zug: $\text{SiO}_2 \leq 5\text{ Gew.-%}$; $\text{Cl} \leq 2\text{ Gew.-%}$
- Endüberhitzer: $\text{Cl} \leq 1,5\text{ Gew.-%}$
- Eintritt Eco: $\text{SiO}_2 \leq 4,5\text{ Gew.-%}$, $\text{Cl} \leq 4\text{ Gew.-%}$

Insbesondere im Hinblick auf die Daten aus Tabelle 7 sind die o.g. Empfehlungen zu überprüfen und zu diskutieren (s.a.: [6]).

Ein Vergleich mit Belagwerten [3 und 4] aus den Jahren 1970/1972, d. h. aus einer Zeit mit niedrigeren Heizwerten des Mülls und höheren Aschegehalten (aus Haushaltsfeuerungen) als heutzutage, zeigt (**Tabelle 5**), dass damals mit 2-Zug-Vertikalkesseln mit Walzenrosten die hier geforderten Chloridwerte in den Belägen problemlos eingehalten wurden; die SiO_2 -Werte

allerdings nicht (siehe Aschegehalt im Müll), was aber aufgrund des alumo-silikatischen Charakters der SiO_2 -Komponente derzeit problemlos war: es handelte sich weniger um SiCl_4 .

Da sich seit damals folgende Parameter geändert haben:

- gesteigener Heizwert des Mülls,
- Verschlechterung der Homogenität des Mülls,
- Verringerung des Wassergehaltes im Müll,
- keramische Auskleidung im 1. Zug infolge der Forderungen der 17. BImSchV,

ist es von besonderer Wichtigkeit, unter Berücksichtigung dieser Änderungen ein völlig neues Anlagenkonzept zu erstellen, welches vom Anlagenbetreiber auch unter finanziellen Langzeit-Betrachtungen (Gesamtwirtschaftlichkeit) akzeptiert werden sollte und die örtlich unterschiedlichen Müllzusammensetzungen berücksichtigen kann [5].

Das bedeutet, dass sich Hersteller und Betreiber zusammensetzen müssen, um durch den Austausch ihrer gesamten Betriebserfahrungen zu einem tragbaren Zukunftskonzept zu kommen. Dabei müssen folgende Anlagen-Parameter besonders berücksichtigt werden (**Tabelle 6**):

- die Konstruktion des Feuerraumes mit Auswahl des Rosttyps und der Luftanordnung und -durchmischung (inklusive Rauchgasrezirkulation),
- die Konstruktion des Kessels mit optimalen Abreinigungsmöglichkeiten und Wärme-fällen vor Erreichung der Konvektionsheizflächen und sinnvoller Begrenzung der Dampfparameter,
- der O_2 -Gehalt, d. h. die erforderliche Luftmenge.

Weiterhin ist, besonders für Altanlagen in Betracht zu ziehen:

- der Einsatz von rauchgasseitigen Additiven,
- Optimierung der Rauchgas-Durchmischung
- die Aufbereitung des Mülls.

6. Kennzahlen als Hilfe zur Anlagenbewertung

Im Folgenden wird versucht, auf der Basis der Chlorid- und SiO₂-Belagwerte der verschiedenen Anlagen unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebserfahrungen Kennzahlen als Hilfe zur Anlagenbewertung, d. h. der jeweiligen Verschmutzungs- und Korrosionsgefährdung herauszuarbeiten.

Bezüglich der Korrosionsgefährdung, welche derzeit weitestgehend durch die Chloridgehalte im Belag bestimmt wird, sind sowohl die Gehalte im 1. Zug - Mitte als auch in Bereich des Endüberhitzers im Rauchgas von Bedeutung. Daher kann die Korrosionsgefährdung wie folgt definiert werden:

Summe Cl 1.Zug Mitte (möglichst oberhalb FF) + End-ÜH (2., 3. oder 4. Zug).

Da die Verschmutzungsgefährdung sowohl durch die Chlorid- als auch die SiO₂-Gehalte bestimmt wird, kann sie folgendermaßen bestimmt werden:

Summe Cl End-ÜH (s.o.) + SiO₂ Eco

(wobei SiO₂ bereits im 3. z. T. und im 4. Zug weitgehend als SiCl₄ vorstellbar ist).

Auf dieser Basis kann eine Bewertung der Anlagengefährdung in Hinsicht auf insgesamt Korrosions- und Verschmutzungsgefährdung auf folgender Basis versucht werden:

Korrosionsgefährdung x 3 + Verschmutzungsgefährdung x 1 .

Eine Betrachtung unter diesen Aspekten der untersuchten Anlagen gibt **Tabelle 7** wieder. Dabei handelt es sich nicht um absolute Zahlen, sondern um Vergleichswerte.

Diese Zahlen dürfen derzeit (auch noch) nicht als endgültige Bewertungen der rauchgasseitigen Gefährdungen der unterschiedlichen Anlagen, sondern nur als eine erste Diskussionsbasis genommen werden. Für genauere Aussagen müssen gezielte Untersuchungen mit Veränderung der Fahrweise und sorgfältiger Belagprobenahme an einer weiteren Anzahl von Anlagen

verschiedener technischer Konzepte parallel durchgeführt werden. Untersucht werden müssen auch die positiven Effekte aus Tailendanlagen mit Wärmefallen und guter Abreinigbarkeit (Anlage D).

Allerdings erlauben die jeweiligen Betriebserfahrungen die Aussage, dass die "vorläufigen" Bewertungen bezüglich Gefährdungen den (ungefährten) Praxis-(Betriebs-)erfahrungen entsprechen und damit eine Basis für weitere, praxisnahe Überlegungen und Untersuchungen darstellen.

7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse erlauben zusammenfassend folgende Aussagen:

- die Erarbeitung von Anlagen-spezifischen Belagkennlinien für die Belagkomponenten Chlorid und SiO₂ ist möglich;
- die Festlegung von bestimmten Belaggrenzwerten ist möglich und sollte seitens der Anlagenhersteller diskutiert und mit in die einzuhaltenden Garantien aufgenommen werden;
- die ermittelten Belagwerte und Belagkennlinien erlauben zumindest einen Hinweis auf Gefährdungen auf der Rauchgasseite sowie Hinweise auf notwendige Korrekturmaßnahmen der Fahrweise, auf mögliche Umbaumaßnahmen und den Sinn des Einsatzes von Additiven;
- auf der Basis der Chlorid- und SiO₂-Werte der Beläge aus den Bereichen:
 - Mitte 1. Zug
 - Endüberhitzer
 - Eingang Economizer

war es möglich, in einer ersten Annäherung Belag basierte Kennzahlen zur Bewertung der rauchgasseitigen Gefährdungen bezüglich Verschmutzung und Korrosion herauszuarbeiten. Diese Kennzahlen berücksichtigen sowohl die Korrosionen (auch Hinterplattenkorrosion) und

die Verschmutzungen im 1. Zug als auch mögliche Probleme im Überhitzer- und Economizerbereich.

Für die "endgültige" Bestätigung der Festlegung von genaueren Werten als hier und damit auch der Präzisierung der o. a. Aussagen sollten gezielte Untersuchungen, auch mit unterschiedlichen Lastfahrweisen in verschiedenen Anlagenkonzepten durchgeführt werden.

Es lässt sich aber jetzt bereits sagen, dass

1. es Anlagenkonzepte mit geringerer rauchgasseitiger Störemfindlichkeit gibt und
2. es möglich ist, dem jeweiligen Müll angepasste optimale Anlagenkonzepte zu entwickeln.

Das wird u.a. dann möglich sein, wenn die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Feuerungsauslegungen (Rosttypen / Feuerung) und Fahrweisen/Regelungen offen diskutiert werden. Weiterhin müssen unter bestimmten Bedingungen Lastbeschränkungen/Beschränkung von Rostbelastungen in Betracht gezogen werden. Dabei wird es hilfreich sein, besonders die Chlorid- und SiO₂-Gehalte der Beläge von der Mitte des 1. Zuges (auf der Rohrwand) im Vergleich zur Auslegung der Feuerung (**Tabelle 8**) zu betrachten, unter Berücksichtigung aller dort aufgeführten technischen Parameter sowie der Geometrie des Feuerraumes und des 1. Zuges. Wichtig ist auch die Untersuchung des Einflusses der Durchmischung des Mülls auf dem Rost während des Ab- und Ausbrandvorganges in Abhängigkeit vom Rosttyp (Walzenrost, Vorschubrost mit unterschiedlicher Stufenzahl und Rückschubrost). Von ebenso großer Bedeutung ist die Untersuchung der Durchmischung der Rauchgase in den Zonen der Aerosolreaktionen.

Abschließend muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass es zu fast exponentiell sich auswirkenden Überlagerungen von negativen korrosionssteigernden Effekten kommen kann, die es zunächst auszuschließen gilt. Beispiele für überlagernde Effekte sind: falscher Rußbläser-einsatz, Lastfahrweise mit Teillast oder Überlast, Einstellung der Einspritzkühler, Ungleichmäßigkeit der Rauchgas-Strömung etc. Danach erst werden o.a. Kennzahlen zu belastbaren Aussagen führen.

Literatur

- [1] Warnecke, R.; Kautz, K.: Belagkennwerte zu Müllverbrennungsanlagen - Teil 1: Belagkennlinien und Empfehlungen zu Belag-Grenz- bzw. Garantie-Werten. In: *Ersatzbrennstoffe – Aufbereitung, Mitverbrennung und Monoverbrennung von festen Siedlungsabfällen*. Düsseldorf: Springer-Verlag, 2002
- [2] Warnecke, R.; Kautz, K.: Die Auswirkungen der Mitverbrennung von Produktionsabfällen in Hausmüllverbrennungsanlagen auf feuerraum-/rauchgasseitige Probleme in unterschiedlichen Anlagen. In: VDI-GET (Hrsg.): *Wege des Abfalls – Tagung in Würzburg am 10.-11.05.2000*; VDI-Berichte Nr. 1540. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2000
- [3] Kautz, K.: *Korrosionsursachen in Hausmüllverbrennungsanlagen*, Mitt. VGB, 57 (1971)
- [4] Kautz, K.: *Kristallchemische Untersuchungen zu den Ursachen der Korrosionen an Dampferzeugerrohren in Müllverbrennungsanlagen*, N. Jb. Miner. Abh. 123, 3, (1975)
- [5] Thömen, K.H.; Tichatschke, J.; Kautz, K.: *Über den Einfluss der verstärkten Verfeuerung von vorzerkleinertem Sperrmüll*, VGB Kraftwerkstechnik, 56 (1976)
- [6] Harpeng, J.; Warnecke, R.: Aussagekraft der Analysen von Belagproben aus MVA-Kesseln. In: VDI-Wissensforum (Hrsg.): *Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanlagen beim Einsatz Heizwert- und Schadstoffreicher Fraktionen*, Tagung in Göttingen am 23.-24.06.2003. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2003

Tab. 1: Anlagen-spezifische Daten von Hausmüllverbrennungsanlagen

Anlage	M	N	O	P	Q
Rost	Vorschubr.	Walzenrost	Rückschubr.	Rückschubr.	Rückschubr.
Feuerung	Mittelstr.	Gegenstr.	Gegenstr.	Mittelstr.	Mittelstr.
% Unterwind - % Sekundär- luft	50-20	70 - 30	70 - 30	60 - 40	76 – 24
Rauchgasrezi- kulation	ja	nein	nein	nein	Nein
Sauerstoffge- halt O ₂ in %	8,5	9	8	8,4	9
Feuerraum - temperatur in °C	mittel	mittel	mittel	mittel	Mittel
Dampferzeu- ger	4 - Zug ver- tikal	3 - Zug ver- tikal	3 - Zug ver- tikal	4 - Zug horizontal	4 - Zug horizontal
Müllart (Land)	Haus (BRD)	Haus (BRD)	Haus (BRD)	Haus (CH)	Haus (CH)

Tab. 2: Chlorid- und SiO₂-Belagwerte (in Gew.-%) für Anlagenkennlinien entlang dem Rauchgasweg; bei Konvektionsheizflächen jeweils vo der 1. Rohrreihe, Rauchgasanströmseite

Anlage	M	N	O	P	Q
	Cloridgehalte				
1. Zug Mitte (auf Rohr)	1,7	3,2	-	7,9	7,2
End - Überhitzer	2,9	0,8	7,7	4,0	3,0
Eintritt Economizer	5,1	0,9	-	8,4	2,9
	SiO ₂ - Gehalte				
1. Zug Mitte (auf Rohr)	13,7	11,6	-	9,4	6,0
End - Überhitzer	8,0	4,4	8,3	7,9	4,1
Eintritt Economizer	6,7	6,5	-	7,6	8,2

Tab. 3: Zusammenhang zwischen den Chloridgehalten in Belägen (in Gew.-%) und dem Rosttyp / der Feuerung

Rost/Feuerung	Cloridgehalte in Belägen		
	1.Zug Mitte	3./4.Zug End-ÜH	4. Zug Eco
Walzenrost/Gleichstrom.	0,1-0,3	0,1-1,0	0,7-1,0
Walzenrost/Gegenstrom.	3,2	0,8	0,9
Vorschub./Mittelstrom./Rauchgasrez.	2,2-8,5	0,1-2,0	2,6-6,5
Vorschub./Gegenstrom./Rauchgasrez.	11,6	3,8-5,0	0,9
Vorschub./Gegenstrom.	7,3	3,2	12,2
Vorschub./Mittelstrom.	1,7-7,0 (12,7+)	0,6-2,9 (7,1+)	3,2-5,3 (8,1+)
Vorschub./Gleichstrom.	5,0	3,0	4,5
Rückschub./Gegen-Mittel-strom.	6,0-9,8	3,0-8,5	2,9-8,4

+) 4 - Zug Horizontalkessel

Tab. 4: Zusammenhang zwischen den SiO₂-Gehalten im Belägen (in Gew.-%) und dem Rosttyp / der Feuerung

Rost/Feuerung	SiO ₂ - Gehalt in Belägen		
	1.Zug Mitte	3.Zug End - ÜH	4.Zug Eco
Walzenrost/Gleichstrom.	16,3-24,9	4,4-10,0	6,2-11,2
Walzenrost/Gegenstrom.	11,6	4,4	6,5
Vorschub./Mittelstrom./Rauchgasrez.	4,5-10,9	2,9-6,9	3,8-17,0
Vorschub./Gegenstrom./Rauchgasrez.	7,6	6,4	5,6
Vorschub./Gegenstrom.	9,6	6,4	8,8
Vorschub./Mittelstrom.	13,7-16,4	6,3-15,1	3,7-5,9
Vorschub./Gleichstrom.	12,0	9,0	16,0
Rückschub./Gegen-Mittelstrom.	9,4-14,9	7,2-15,1	7,6-9,8

Tab. 5: Chlorid- und SiO₂-Werte aus Hausmüllverbrennungsanlagen (2-Zug-Kessel mit Walzenrosten) aus den Jahren 1970/72 [3][4]

	Anlage A-alt			Anlage B-alt			Anlage C-alt		
	1.Zug Mitte	3.Zug End - ÜH	4.Zug Eco	1.Zug Mitte	3.Zug End - ÜH	4.Zug Eco	1.Zug Mitte	3.Zug End - ÜH	4.Zug Eco
SiO ₂	12,8	9,5	11,5	5,5	17	14,2	16,2	16,2	25,3
Cl	4,2	< 0,1	1,2	< 0,1	< 0,1	2,3	< 0,1	< 0,1	0,1
SO ₃	26,2	49,7	36,7	17,8	31,8	23,9	36	33	25,1

Tab. 6: Zu berücksichtigende und beeinflussbare Parameter zur Vermeidung von rauchgasseitigen Problemen

Beeinflussbare Parameter	Lösungen
Verfeuerter Müll	Aufbereitung
Rosttyp	Walzenrost, Vorschubrost, Rückschubrost - Zahl der Primärluftschlitze
Konstruktion Feuerraum	Gegenstrom-, Mittelstrom-, Gleichstromfeuerung - Winkel der Düsen
Gesamtmenge O ₂	< 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

Tab. 7: Zahlen zur Bewertung von Korrosionsgefährdung, Verschmutzungsgefährdung und rauchgasseitiger Anlagengefährdung (niedrig = positiv; hoch = negativ)

Anlage	Korrosions- gefährdung	Verschmutzungs- gefährdung	Anlagen- gefährdung	Bemerkungen	Tatsächliche 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.	mittel
D	8,2	4,3	28,9	+ Tailend / Wärmefalle - Sehr geringer O ₂ - Gehalt	stark
E	4,9	5,2	19,9	- Sehr häufiges An- /Abfahren - Wasserseitige Proble- me	sehr stark
F	10,5	19,0	50,5	-	schwach bis mittel
G	10,5	12,0	43,5	-	mittel
H	8,0	19,0	43,0	-	mittel
I	15,9	15,8	63,5	- Falschluff, 11% O ₂ - Hohe FD-Parameter	stark
J	15,4	10,5	46,7	- Erhöhte FD-Parameter	erhöht
K	13,8	13,7	41,8	- Korrosion 1./2. Zug - Hohe FD-Parameter	schwach
L	18,3	17,8	72,7	-	stark
M	4,6	9,6	23,4	- Sehr niedrige FD- Parameter	kaum
N	4,0	7,3	19,3	- Sehr hohe FD- Parameter	stark
O	n.b.	n.b.	n.b.	- Sehr hohe FD- Parameter	sehr stark
P	11,9	11,6	47,3	- 4-Zug-Tailend	gering
Q	10,2	11,2	41,8	- 4-Zug-Tailend	gering

Tab. 8: Chlorid- und SiO₂-Gehalte (in Gew.-%) in Belägen des 1. Zuges (Mitte auf Rohrwand) in den unterschiedlichen Feuerungstypen

	Gleichstrom				
	Walzenrost				Vor- schub
	ohne RG-Rezirkulation				
	A	B	N	I	H
O ₂	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 ₂	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

Abb. 1: Verlauf der Belagskomponenten Chlorid, SiO₂ und SO₃ im Rauchgasweg, der Anlage M (Vorschubrost / Mittelstromfeuerung)

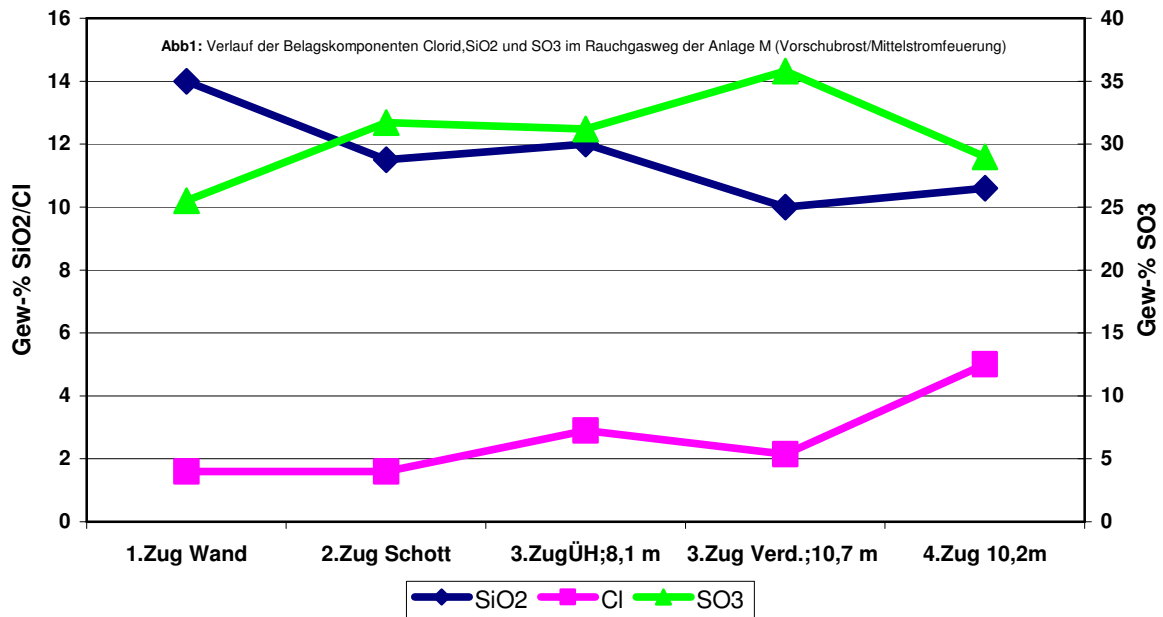


Abb. 2: Verlauf der Belagskomponenten Chlorid, SiO₂ und SO₃ im Rauchgasweg, der Anlage N (Walzenrost / Gegenstromfeuerung)

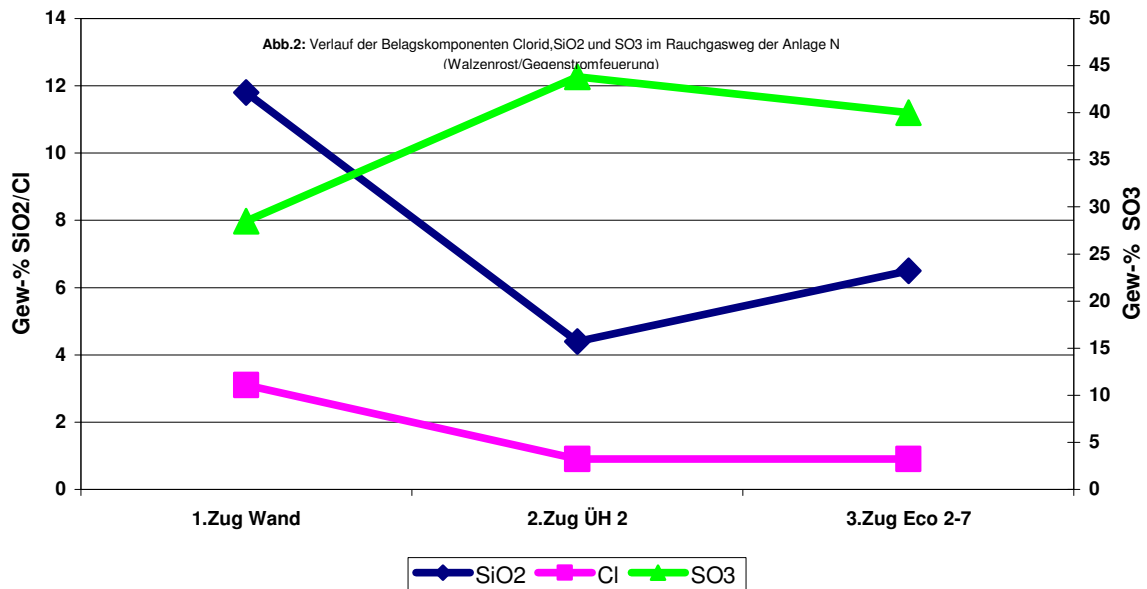


Abb. 3: Belagkennlinien von modernen Walzenrostfeuerungen (mit Gleichstromfeuerung) (Anlage A und B (2 Linien))

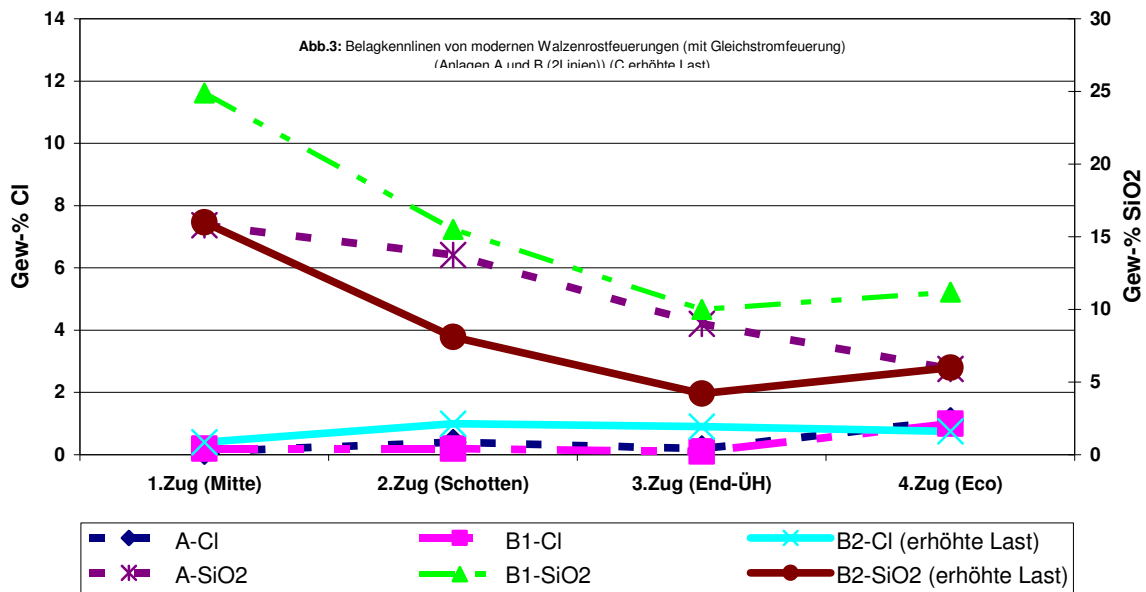


Abb. 4: Belagkennlinien von Vorschubrosten (Anlage C und F) mit Rauchgasrezirkulation / Mittelstromfeuerung

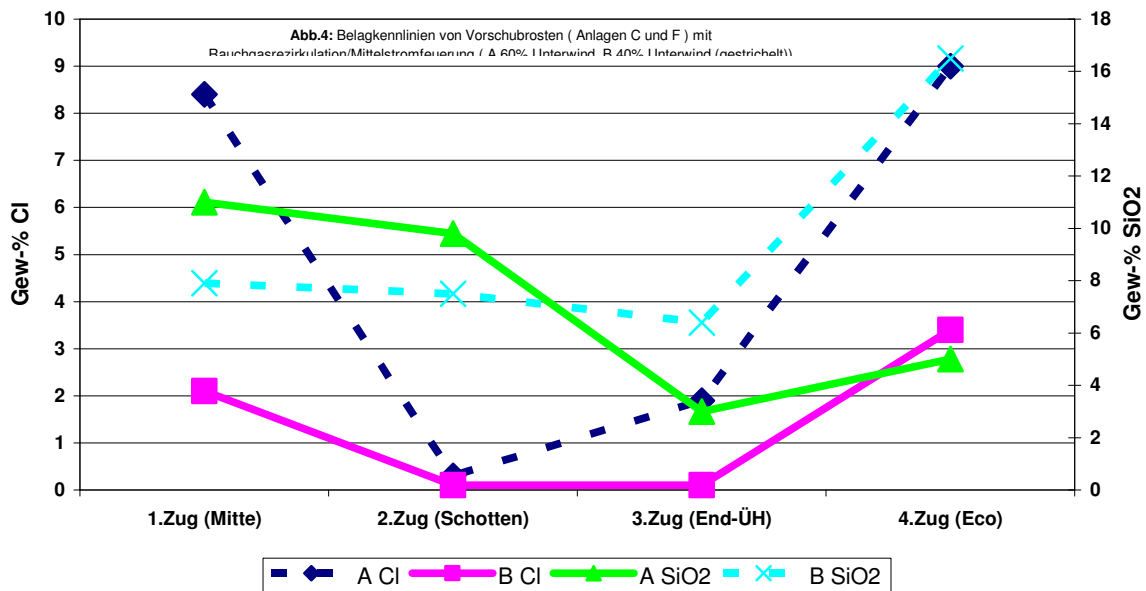


Abb. 5: Belagkennlinien von Vorschubrosten (Anlage F und J) mit 42 und 40 % Unterwind und Rauchgasrezirkulation

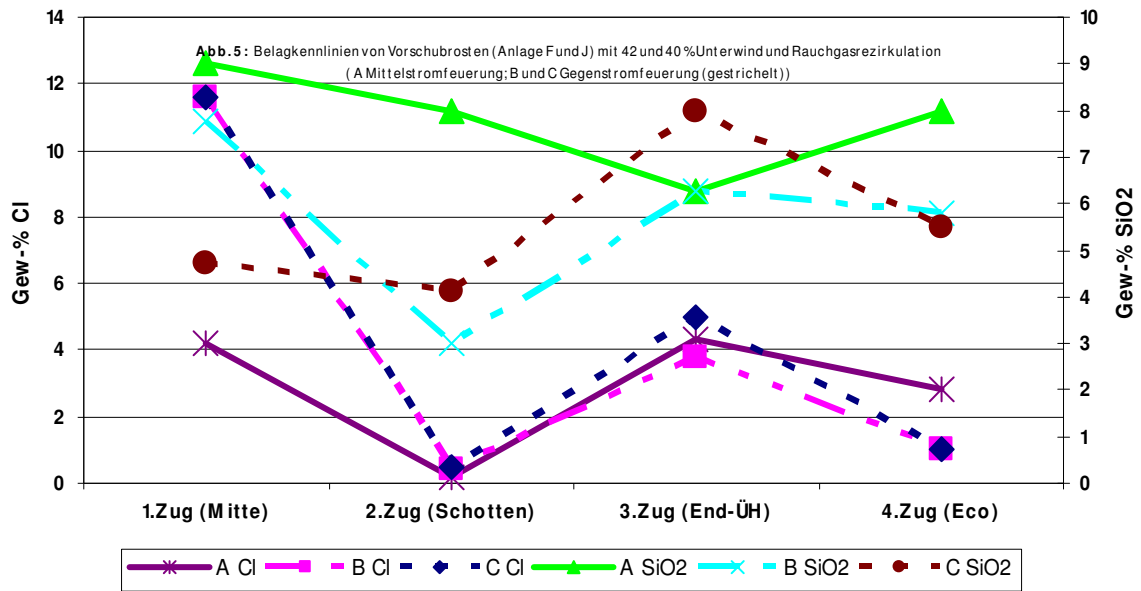


Abb. 6: Belagkennlinien von Vorschubrosten Anlage G (Gegenstromfeuerung; 65 % Unterwind) und Anlage H (Gleichstromfeuerung; 70 % Unterwind)

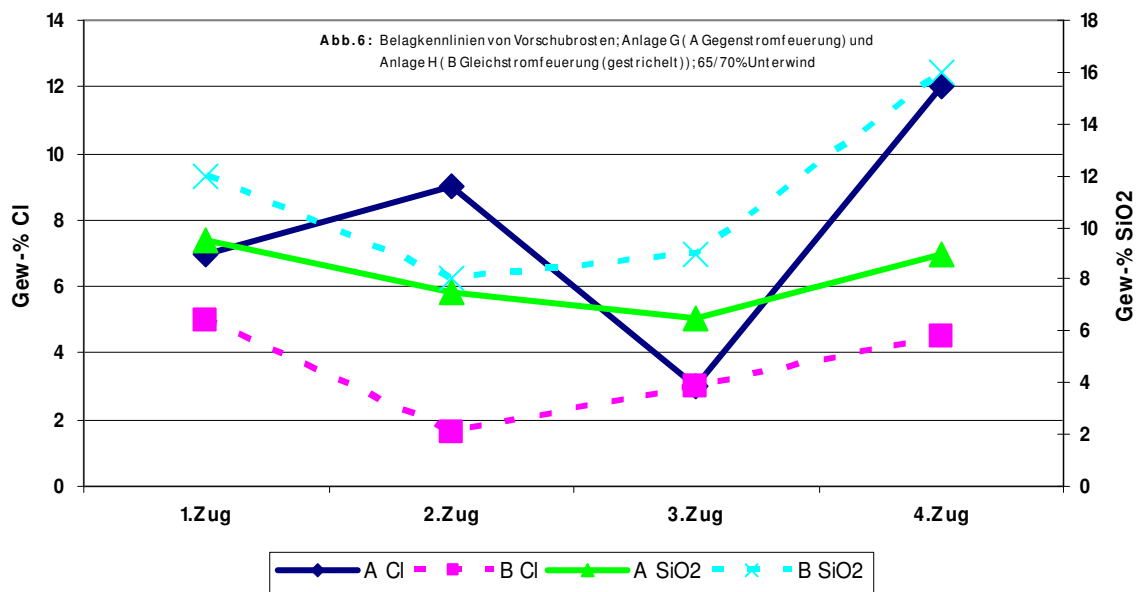


Abb. 7: Belagkennlinien von Rückschubrosten Anlage P

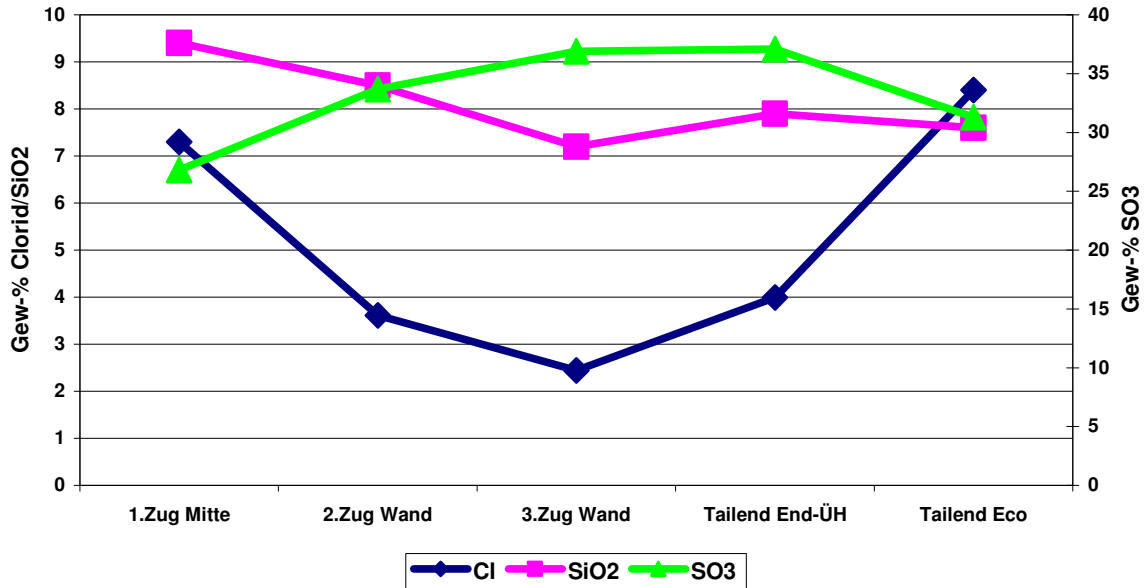


Abb. 8: Belagkennlinien von Rückschubrosten Anlage Q

