

Publikation

*Klasen, T., Görner, K., Kümmel, J.
19. Dt. Flammentag (VDI), Dresden, 1999*

*MVA Bonn
Müllverbrennung
CFD-Simulation
Betriebserfahrungen*

InPro-Consult GmbH

SIPREU-TEC

Innovative Prozessoptimierung

AnSimO GmbH

Numerische Berechnung und Optimierung der MVA BONN

19. Deutscher Flammentag
VDI-Fachtagung
14./15. September 1999
Technische Universität Dresden

InPro-Consult GmbH

Gesellschaft zur innovativen
Prozessoptimierung mbH

Geschäftsführer:

Dr.-Ing. Thomas Klasen
Prof. Dr.-Ing. Klaus Görner

Sitz der Gesellschaft:

Kruppstr. 82 (ETEC)
45145 Essen

Handelsregister:

Amtsgericht Essen
HRB 19653

Numerische Berechnung und Optimierung der MVA Bonn

Prof. Dr.-Ing. Klaus **Görner**, Dipl.-Ing. Thomas **Klasen** (LUAT, Universität-GH Essen)

Dipl.-Ing. Joachim **Kümmel** (IBB Engineering GmbH, Neuss)

1. Einleitung

In den letzten Jahren wurden in Müllverbrennungsanlagen parallel mit Einführung der 17. BImSchV und dem Kreislaufwirtschaftsgesetzes tiefgreifende Veränderungen wirksam. Aus den hausmüllbeheizten Kraftwerken mit hoher Auslastung wurden zunehmend Restmüllverbrennungsanlagen mit großen Belastungsschwankungen. Dieser neue, extrem inhomogene Brennstoff Restmüll ist u.a. durch eine große Bandbreite an Eigenschaften gekennzeichnet, die eine gezielte Verbrennungsluftzuführung besonders erschweren. Die Brennstoffeigenschaften verändern sich zusätzlich in Zeitabständen von Minuten und beeinflussen die Abbrenngeschwindigkeiten und somit den "lokalen" Luftbedarf auf dem Verbrennungsrost in entsprechender Weise. Eine Vielzahl der vorhandenen Müllverbrennungsanlagen war für diese neuen Anforderungen nicht ausgelegt, die Folgen dieser Entwicklung wurden in nahezu allen Anlagen sichtbar /1-7/:

- großflächige (HCl-CO-)Korrosionen an den Membranwänden in den Feuerräumen und in der Nachbrennkammer,
- Hochtemperatur-Korrosionen an den Überhitzerheizflächen und
- reduzierte Anlagenverfügbarkeit bzw. geringere Reisezeiten durch starke Verschlackungen und Aschebelegung der Kesselheizflächen.

Um den negativen Auswirkungen dieser Problematik zu begegnen, wurden in den letzten Jahren u.a. folgende Technologien entwickelt und eingesetzt:

- Realisierung von Gleichstrom-Feuerungen,
- Einbau von optischen Temperatur-Sensoren mit dem Ziel, die Verbrennungsluftführung zu verbessern und
- Schutz der gefährdeten Heizflächen durch Auftragsschweißen hochlegierter Materialien.

Die wirkungsvollste Maßnahme gegen Korrosionen und Verschlackungen der Kesselheizflächen stellt eine optimale Verbrennung des Brennstoffes auf dem Verbrennungsrost dar.

Erfahrungsgemäß ist für das Erreichen optimaler Verbrennungsbedingungen die konventionelle Luftaufteilung in einen Primärluftanteil im Rostbereich und in einen Sekundärluftanteil nicht ausreichend. Die Inhomogenität des Brennstoffes Restmüll bedingt höhere Anforderungen an das Rostsystem, wie z.B. Teilflächenkühlung mit Wasser, höhere Luftwiderstände im Rostbelag, eine verbrennungsablaufabhängige Feuerleistungsregelung und besondere Anforderungen an die Sekundärlufteindüsung (z.B. erhöhter Luftanteil, Düsenlage, Düsendurchmesser und Teilung des Rauchgasstromes, d.h. Verbesserung der Luftvermischung mit den nicht ausgebrannten Rauchgasen). Da insbesondere die bisher eingesetzte Technologie der Sekundärlufteindüsung aus der Kesselvorder- und -rückwand die gestellten Anforderungen nur unzureichend erfüllen konnte, wurden neue Wege für die Verbesserung des Ausbrandes durch eine optimierte Sekundärlufteindüsung beschritten.

Die wesentlichen Entwicklungswege sind durch drei Verfahren gekennzeichnet:

- Temelli-Verfahren: Rotierender Düsenbalken, eingesetzt in der MVA Wuppertal
- Krüger-Verfahren: Dampfeindüsung, eingesetzt in der MVA Schwandorf
- IBB-Verfahren: Sekundärluftdüsenbalken, eingesetzt in der MVA Bonn

Die Sekundärluftzuführung erfolgt beim IBB-Verfahren in den geteilten Rauchgasstrom und zwar von der Kesselstirnwand, der Kesselrückwand und von den in diesem Düsenprisma versetzt eingebauten Sekundärluftdüsen, d.h. aus vier Sekundärluft-Düsenreihen /8/.

Die damit verbundene Verbesserung des Verbrennungsprozesses basiert darüber hinaus auf den folgenden verfahrensbedingten Faktoren:

- Eindüsung der Sekundärluft durch „kleine“ Düsen, da die erforderliche Eindringtiefe nur noch ca. $\frac{1}{4}$ der Eindringtiefe gegenüber konventionellen Anlagen beträgt.
- Durch eine entsprechende Lage des Sekundärluft-Düsenprismas werden ca. 30 – 40 % des Rauchgasstromes durch den hinteren Prismendurchtritt geführt (Wirkung: Quasi-Gleichstrom-Feuerung und entsprechende Verbesserung der Ausbrandqualität).
- In Abhängigkeit der vorherrschenden Verbrennungsbedingungen kann die Sekundärluftaufteilung (ohne nachteilige Beeinflussung der Eindringtiefe) zwischen den Lufteindüsen-Ebenen, d.h. in den Rauchgasdurchritten, variiert werden.
- Die Sekundärluftmengen werden in den vorderen und hinteren Rauchgasdurchritten temperaturabhängig geregelt, so dass die Rauchgastemperaturen den vorgegebenen Grenzwert von max. 1.000 °C nicht überschreiten.
- Der Einbau von wassergekühlten Rosten erlaubt darüber hinaus durch Verringerung und/oder Verschiebung des Zonen-Unterwindes, das Wärmeentbindungsprofil so zu beeinflussen, dass der Verbrennungsprozess der Feststoffanteile auf dem Rost weiter optimiert werden kann.

2. Simulationsrechnungen für die MVA Bonn, Linie I

Die Feuerraumgeometrie der MVA Bonn ist in Bild 1 dargestellt. Die für eine Müllverbrennung projektspezifischen Modelle wurden am LUAT entwickelt und bereits mit großem Erfolg angewendet. Durch eine integrale Bilanzierung werden Temperatur-, Geschwindigkeits- und Speziesprofile entlang der Müllbahn bestimmt, die dann als Randbedingungen für eine CFD-Gasphasen-Simulation dienen /9-15/.

3. Simulationsergebnisse

Zunächst wurde der Einfluss des „Bonner Prismas“ untersucht. In den Bildern 2 und 3 sind die Ergebnisse für die Konfigurationen „mit und ohne Prisma“ gegenübergestellt. Auf den Bildern 2a-d sind Oberflächen mit einer konstanten Geschwindigkeit dargestellt, welche die Eindringtiefe der Sekundärluftstrahlen verdeutlichen sollen. Aufgrund des Verdrängungskörpers konnte der relativ große Querschnitt am Anfang des 1. Zuges in zwei kleine unterteilt werden. Die Eindringtiefe ist zwar beim Fall „mit Prisma“ wegen der Umverteilung der gesamten Sekundärluftmenge nicht größer geworden, der gesamte Querschnitt wird aber im Vergleich zum Fall „ohne Prisma“ von den Luftstrahlen völlig abgedeckt.

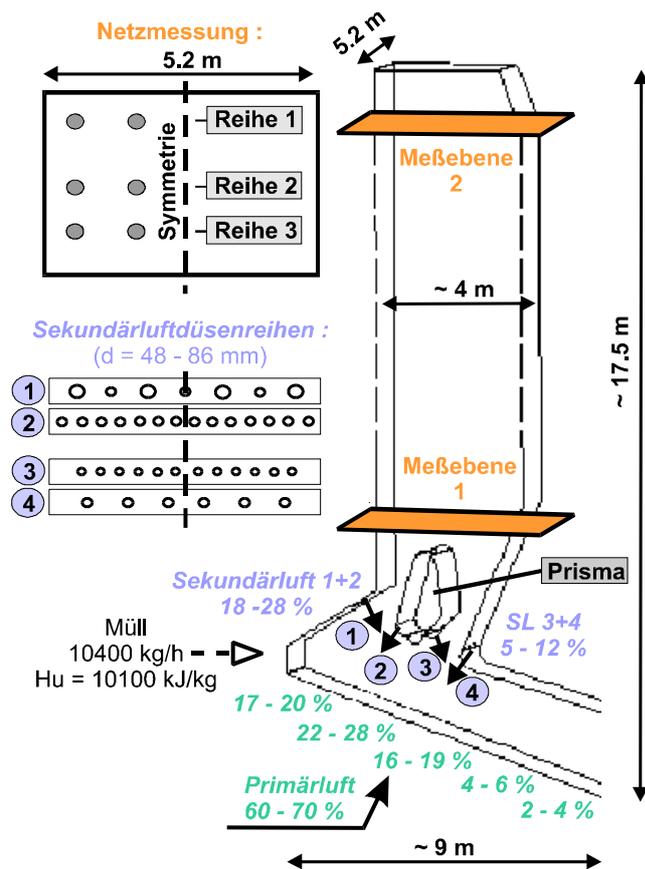


Bild 1 : Geometrie der MVA Bonn und Betriebsdaten für einen Referenzfall

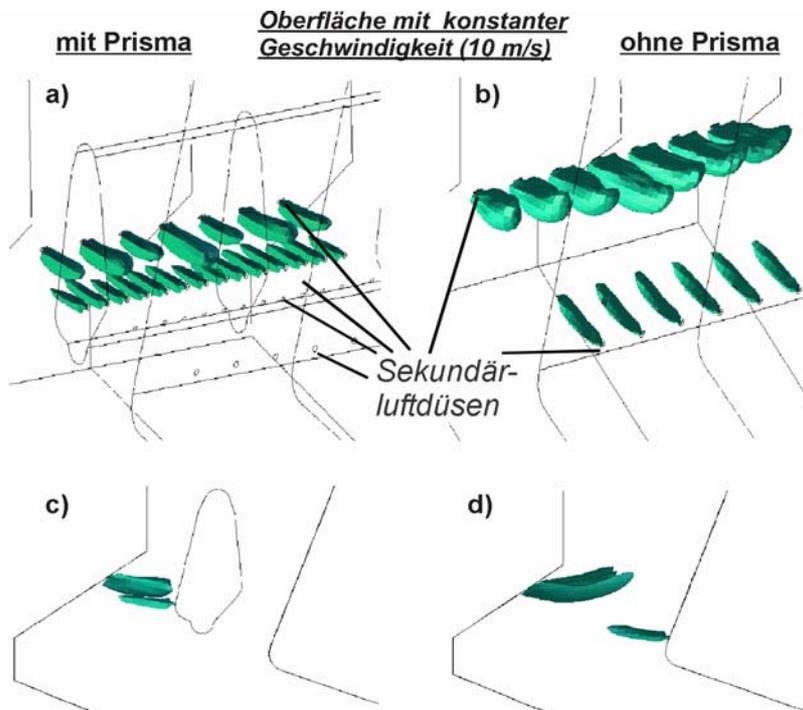
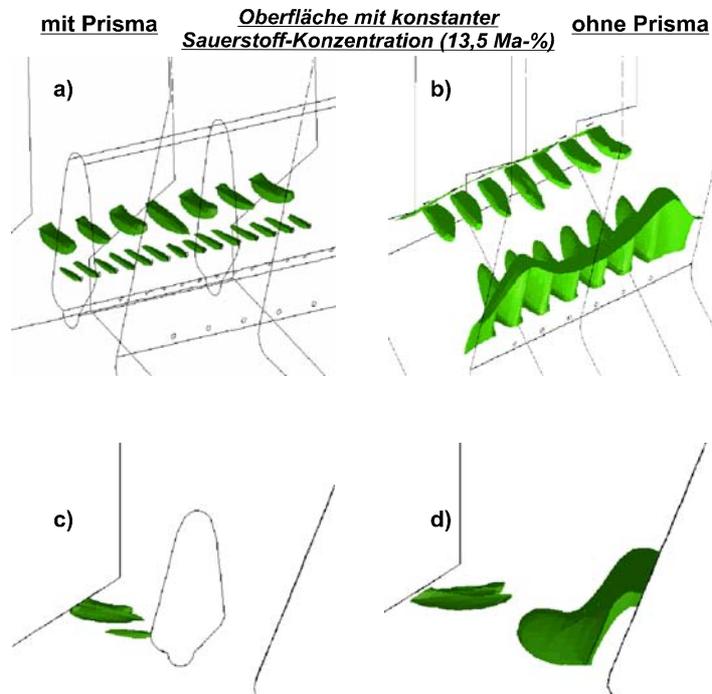


Bild 2 : Einfluss des Prismas auf das Geschwindigkeitsfeld

a - d : Oberfläche einer konstanten Geschwindigkeit (10 m/s), Eindringtiefe

Die damit erzielte Wirkung wird aus der Darstellung der O₂-Isoflächen (Bild 3) deutlich. In seiner Gesamtwirkung führt das Prisma und die damit verbundene gleichmäßigere O₂- und Umsatzverteilung zu einer homogenen Anströmung und Temperaturverteilung im gesamten Bereich der Nachbrennkammer.



Bilder 3 : Einfluss des Prismas auf die O₂-Verteilung

a - d : Oberfläche eines konstanten O₂-Gehaltes (13,5 Ma-%), Eindringtiefe

Dies verdeutlichen auch die Bilder 4 und 5.

Für die Größen Temperatur, O₂ und CO sind die Verteilungen beim Fall „mit Prisma“ wesentlich homogener. Der max. Temperaturunterschied konnte im gewählten Schnitt von über 200 auf unter 100 K gesenkt werden (Bild 5a-b).

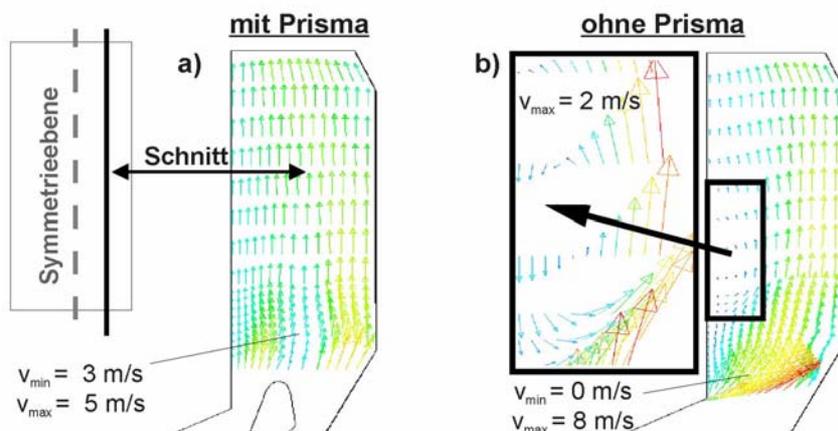


Bild 4 : Einfluss des Prismas auf das Geschwindigkeitsfeld

a - b : Vektordarstellung des Geschwindigkeitsfeldes in einem vertikalen Schnitt

Die Differenz zwischen niedrigster und höchster O₂-Konzentration wurde ebenfalls geringer, wie die Bilder 5c-d zeigen. Der maximale CO-Wert wurde deutlich von 3250 auf 1250 mg/m³ reduziert (Bild 5e-f).

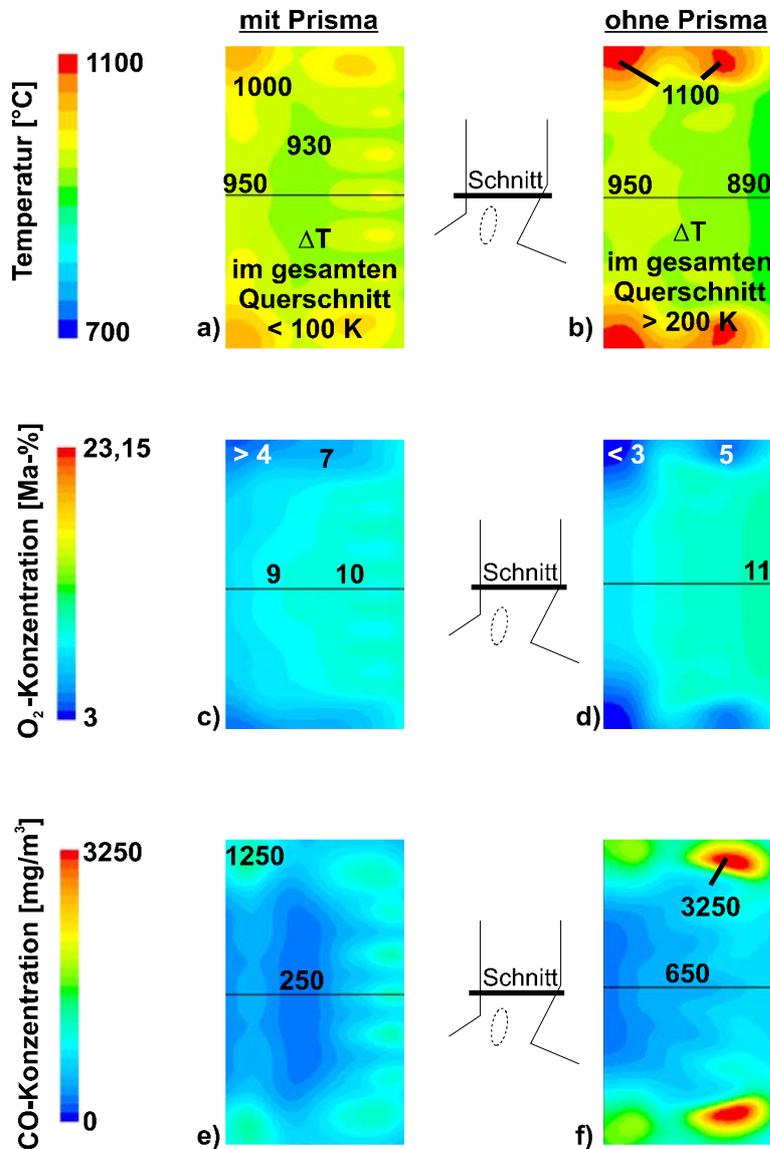


Bild 5 : Einfluss des Prismas auf die Temperatur- u. Speziesverteilungen.

- a - b : Temperaturfeld in einem horizontalen Schnitt
- c - d : O₂-Konzentration in einem horizontalen Schnitt
- e - f : CO-Konzentration in einem horizontalen Schnitt

Mit weiteren Rechnungen sollten die Eindüsungswinkel der im „Bonner Prisma“ zusätzlich geschaffenen Düsenreihen 2 und 3 optimiert werden. In Fall B wurden die Winkel so gewählt, dass sich die Sekundärluftstrahlen 1+2 sowie 3+4 überschneiden. Die Konfiguration mit gekämmten Strahlen wurde bei Fall A untersucht. Die in Fall A gewählten Eindüsungswinkel ergaben gleichmäßigere Temperaturfelder wie in den Teilbildern 6a-b zu ersehen ist. Die mittlere Temperatur betrug in beiden horizontalen Schnitten etwa 1050°C, die Differenz

zwischen T_{\max} und T_{\min} konnte allerdings bei der „optimierten“ Düsenanstellung von über 150 K auf unter 50 K gesenkt werden.

Für einen Referenzfall konnten gemessene und berechnete Werte gegenübergestellt werden. Die vorhergesagten Temperaturen lagen in der ersten Messebene mit Werten zwischen 950°C und 1010°C genau im Messbereich (931-1035°C).

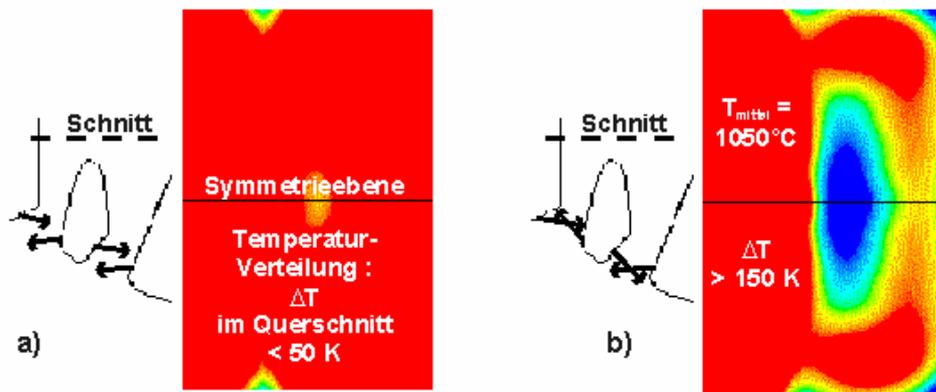


Bild 6 : Optimierung des Eindüsungswinkels der SL-Düsen 2 u. 3 (Fall A links, Fall B rechts)

a - b : Temperaturfeld in einem horizontalen Schnitt oberhalb des „Bonner Prismas“

Die berechnete mittlere Temperatur der zweiten Messebene hatte einen Betrag von 839°C, der gemessene Mittelwert lag bei 833°C. Die vorhergesagten O₂-Gehalte lagen mit Ausnahme von drei sehr hohen gemessenen Konzentrationen ebenfalls nahe an den Messwerten.

4. Zusammenfassung

Durch die CFD-Untersuchungen konnte der positive Effekt des „Bonner Prismas“ aufgezeigt werden. Durch gezielte Veränderung verschiedener Prozess- und Anlagenvarianten wurde der Einsatz des Prismas an einer konkreten Anlage vorbereitet und optimiert. Die Messwerte nach Anlagenumbau bestätigen diese Rechnungen in vollem Umfang und geben Beleg für die Güte des eingesetzten Modells. Die Rechnungen haben den großen Einfluss der Sekundärlufteindüsung auf die Verbrennung verdeutlicht.

Der Unterschied zwischen den Mess- und Simulationen war für einen speziellen Anwendungsfall sehr klein.

Die positiven Betriebsergebnisse, welche deutlich über den Erwartungen lagen (z.B. Reisezeiterhöhung von ca. 3.000 Betriebsstunden vor dem Umbau auf über 9.000 Betriebsstunden nach dem Umbau) veranlaßten die Betriebsleitung der MVA Bonn, 1998 auch die Linie II umzurüsten. Die Umrüstung der Linie III erfolgt noch im Sommer 1999.

5. Literatur

- /1/ Huch, D.R. : Chlorwasserstoffkorrosionen in Müllverbrennungsanlagen, BWK 18(1966)H.2
- /2/ Grubitsch, H. et al: Korrosion von Wärmeaustauscherrohren durch salzsaure Rauchgase der Müllverbrennung, Werkstoffe und Korrosion, 26(1975)H. 6
- /3/ Kerber, G., Plumley, A.L. : Durch Rauchgase verursachte Korrosionen und Verschmutzungen in Dampferzeugern von MVA's am Beispiel des HKW-Würzburg, Müllverbrennung und Reststoffverwertung (1989)
- /4/ Nowak, F. : Korrosionsprobleme bei der Müllverbrennung, Mitteilung der VGB, (1967), Heft 111
- /5/ Rasch, R. : Folgerungen für die Betriebspraxis aus der Theorie der Hochtemperaturkorrosion in Dampferzeugeranlagen, VGB-Kraftwerkstechnik 53(1973) H. 6
- /6/ Krause, H. et al : Corrosion and Deposits from Combustion of Solid Waste, J. Eng. Power (1973)
- /7/ Ganapathy, V. : Solve Waste Fuel Boiler Corrosion Problems in Procurement Power-Engineering/Sept.91
- /8/ Patent der Fa. IBB Engineering GmbH, Nr. : DE 44 01 821 A1, Int. Cl. : F 23 G 5/14
- /9/ Görner, K. : Technische Verbrennungssysteme, Springer Verlag, Berlin, 1991
- /10/ Peters, F.A. et al: Math. Modelling of Swirling Flames of Pulv. Coal, IJmuiden, J. of Fluids Engineering, 1995, Heft 117, 89 - 297
- /11/ Magnussen, B.F., Hjertager, B. H. : On Mathematical Modelling of Turb. Comb. with special Emphasis on Soot Formation and Comb., 16. Symp. on Comb., The Comb. Institute, Pittsburgh, 1977, 719-729
- /12/ Visser, B. et al : Measurements and Predictions of Quarl Zone Properties of Swirl. Pulv. Coal Flames, 23. Symp. on Comb., The Comb. Institute, Pittsburgh, 1991, 289-297
- /13/ Visser, B. et al: Adjustment of the Mixing Rate Constant in the Eddy-Break-Up-Model for a Jet Flame, Combustion and Flame, Pittsburgh, 1990
- /14/ Klasen, Th., Görner, K. : Simulation und Optimierung einer Müllverbrennungsanlage, VDI-Bericht Nr. 1390, 1998
- /15/ Kremer, H. et al: Numerical investigation of a coke firing burner on the operation of a waste incinerator. 2nd Int. Symp. on Incineration and Flue Gas Treatment Technologies, Sheffield University, U.K., 1999