

Experimentelle und theoretische Analyse der NO_x-Emissionen bei Airblast-Zerstäuber-Düsen

DIPLOMARBEIT

von

cand. chem. ing. Plamen Kasabov

ENGLER BUNTE INSTITUT
DER UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
LEHRSTUHL UND BEREICH VERBRENNUNGSTECHNIK

10.12.2004

Aufgabenstellung für die Diplomarbeit Nr. 446

von

Herrn Plamen Kasabov

Thema: Experimentelle und theoretische Analyse der NO_x-Emissionen bei Airblast-Zerstäuber-Düsen

Bei Airblast-Zerstäuberdüsen, wie diese in der Triebwerkstechnik eingesetzt werden, wird der flüssige Brennstoff in der Scherschicht zweier Luftströme zerstäubt. Die Luftströme werden stromaufwärts durch Luftkanäle verdrallt, so dass stromabwärts ein Rezirkulationswirbel generiert wird, welcher für die Stabilität der Verbrennung notwendig ist. Solche Airblast-Düsen sollen in Rohrbrennkammern untersucht werden. Dabei interessieren hauptsächlich die Abgasemissionen (CO, UHC, NO_x) und die magere Erlöschgrenze (Lean Blow Out - LBO).

Aufgabe von Herrn Kasabov ist es, solche Airblast-Zerstäuber-Düsen in einem atmosphärischen und in einem Druckprüfstand zu untersuchen. Im atmosphärischen Prüfstand soll die Mie-Streuung an Brennstoffpartikeln erfasst und Abgasanalysen durchgeführt werden. Anschließend soll in der Druckbrennkammer die Druckabhängigkeit der NO_x-Emissionen experimentell ermittelt werden.

Die Arbeit soll in folgenden Teilschritten durchgeführt werden:

1. Erfassung der Mie-Streuung in der atmosphärischen Brennkammer. Nach einer Einarbeitung in die physikalischen Grundlagen wird der Kandidat mit der atmosphärischen Brennkammer vertraut gemacht. Anschließend soll die Messtechnik zur Erfassung der Mie-Streuung verbessert und auf den vorliegenden Fall angewandt werden. Als Parameter sollen dabei die Brennkammereintrittstemperatur und der Düsendruckverlust variiert werden.
2. Nach der Mie-Streuung sollen die LBO Grenzen ermittelt und Abgasanalysen für unterschiedliche Brennkammereintrittstemperaturen durchgeführt werden.
3. Nach der Durchführung der Abgasanalysen unter atmosphärischem Druck sollen die Abgasanalysen unter erhöhtem Brennkammerdruck (bis 14 bar) durchgeführt werden. Zu diesem Zweck soll die dafür gefertigte Brennkammer in Betrieb genommen werden. Anhand der erhaltenen Ergebnisse soll eine Korrelation, die die NO_x-Emissionen als Funktion sowohl der Stöchiometrie als auch des thermodynamischen Zustandes (Eintritts-Druck und –Temperatur) wiedergibt, hergeleitet werden.
4. Abschließend sind die gewonnenen Ergebnisse zu diskutieren und anhand theoretischer Modelle zu bewerten.

Die gesamte Arbeit ist in schriftlicher Form darzustellen und in einem Vortrag im „Seminar Verbrennungstechnik“ zu präsentieren.

Aufgabensteller: Prof. Dr.-Ing. Nikolaos Zarzalis

Betreuer: Dipl.–Ing. Paris Fokaides

Beginn: 10. Mai 2004

Abgabe: 10. Dezember 2004

Hiermit versichere ich, dass ich die Diplomarbeit allein unter Anleitung meines Betreuers Dipl.-Ing. Paris Fokaides angefertigt habe und keine unerlaubten Hilfsmittel verwendet habe. Alle verwendeten Hilfsmitteln und Quellen sind in der Diplomarbeit angegeben.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Diplomarbeit in die Bibliothek eingestellt und kopiert werden darf.

Karlsruhe, den 10.12.2004

/ Plamen Kasabov /

Hiermit möchte ich mich bei den Menschen bedanken, die diese Diplomarbeit ermöglicht haben.

Zuerst danke ich Herrn Prof. Nikolaos Zarzalis für die interessante und praxisorientierte Aufgabenstellung sowie die Betreuung dieser Arbeit.

Weiterhin gilt mein Dank meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Paris Fokaides. Er stand mir jederzeit hilfreich zur Seite.

Danken möchte ich an dieser Stelle auch Dipl.-Ing. Thomas Lischer für die Hilfe bei der theoretischen Modellierung des Verbrennungsvorgangs.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Mechanismen zur Bildung von Stickoxiden	5
2.1.1	Thermisches NO (Zeldovich-NO)	5
2.1.2	Promptes NO (Fenimore-NO)	6
2.1.3	NO-Recycle (NO-Reburning)	7
2.2	Druckabhängigkeit der Stickoxidemissionen	7
2.3	Charakterisierung der Drallströmung	10
2.3.1	Drallzahl	10
2.3.2	Vortex-Breakdown	11
2.3.3	Rayleigh-Kriterium	13
2.4	Grundlagen der numerischen Simulation einer Brennkammer. Ideale Reaktortypen	14
2.4.1	Idealer Rührkesselreaktor	14
2.4.2	Idealer Kolbenstromreaktor	16
2.4.3	Mischer	17
2.4.4	Verzweiger	17
3	Aufbau der Anlage und Messtechnik	18
3.1	Versuchsanlage	18
3.1.1	Versuchsprüfstand	18
3.1.2	Versuchssperipherie	19
3.1.3	Beschreibung der Airblast-Düse	20
3.1.4	Bedienung der Hochdruckanlage	21
3.2	Messtechnik	22
3.2.1	Aufbau des Abgasanalysensystems	22
3.2.2	FT-IR Spektrometer	23
4	Ergebnisse und Diskussion	25
4.1	Charakterisierung der Düse unter atmosphärischen Bedingungen	25
4.1.1	Stabilitätsmessungen	25
4.1.2	Visualisierung flüssiger Tropfen – Mie Spektroskopie	27
4.2	NO _x -Emissionsmessungen unter Druck	30
4.2.1	Versuchsparameter	30
4.2.2	Der Emissionsindex (EI)	30
4.2.3	Einfluss des Drucks auf die Stickoxidkonzentrationen im Rauchgas	30
4.2.4	Rolle der Vorwärmtemperatur der Verbrennungsluft für die NO _x -Emissionen	33
4.2.5	Auswirkung der Verweilzeit auf die NO _x -Bildung	35
4.2.6	Vergleich der Emissionen WA und AL Düse	36
4.2.7	Ermittlung des Verbrennungswirkungsgrads der beiden Düsen	38
4.3	Numerische Simulation der wandanliegenden Düse	39
5	Zusammenfassung und Ausblick	42
	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	43

Literaturverzeichnis	46
Abbildungsverzeichnis	47
Tabellenverzeichnis	50
Anhang	51
Anhang A. Numerische Simulation eines Gleichgewichtsreaktors	51
Anhang B. Numerische-Simulation eines idealen Rührkesselreaktors	54
Anhang C. EI_{NO_x}-bezogener Vergleich einer wandanliegenden mit einer abgelösten Düse	66
Anhang D. Vergleich der Eckdaten der beiden untersuchten Düsen	71
Anhang E. Ergebnisse aus den Messungen der mageren Abblasegrenzen	72