Untersuchung zur adiabaten laminaren Brenngeschwindigkeit von Ethanol-Wasser-Gemischen mit der Heat Flux Methode

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation
vorgelegt von **Dipl.-Ing.**

Hans Richard Haas-Wittmüß

aus Heidelberg

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer
Prof. Dr. L.P.H. de Goey

Tag der mündlichen Prüfung: 16.06.2016

Berichte aus der Verbrennungstechnik

Band 37

Hans Richard Haas-Wittmüß

Untersuchung zur adiabaten laminaren Brenngeschwindigkeit von Ethanol-Wasser-Gemischen mit der Heat Flux Methode

Shaker Verlag
Aachen 2017

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2016)

Copyright Shaker Verlag 2017
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5019-6
ISSN 1430-9629

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Untersuchung zur adiabaten laminaren Brenngeschwindigkeit von Ethanol-Wasser-Gemischen mit der Heat Flux Methode

Kurzfassung

Die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Substitution fossiler Brennstoffe ist technischer Standard. Die Substitution des fossilen Brennstoffes geht mit einer Veränderung der Verbrennungseigenschaften wie der adiabaten laminaren Brenngeschwindigkeit einher. Ethanol ist ein bekanntes Beispiel als sogenannte Blendkomponente in Benzinkraftstoffen. Die Eigenschaft von Ethanol Wasser aufzunehmen macht es notwendig diesen Einfluss auf die Verbrennungscharakteristik zu untersuchen.

In dieser Arbeit wird ein bestehendes System zur Messung der adiabaten laminaren Brenngeschwindigkeit von gasförmigen Brennstoffen für die Untersuchung von flüssigen Brennstoffen adaptiert. Die wesentlichen Anpassungen fokussieren sich auf den Verdampfer und die Dosiereinrichtung für die flüssigen Brennstoffe. Die Brenngeschwindigkeit von Ethanol-Wasser-Gemischen, mit einem Wassergehalt von bis zu 20 Volumenprozent, wurden bei unterschiedlichen Gemischtemperaturen im Bereich zwischen 45 °C und 110 °C untersucht.

Die Heat Flux Methode wurde hierbei zur Bestimmung der adiabaten laminaren Brenngeschwindigkeit verwendet. Die für die Verwendung von flüssigen Brennstoffen angepasste Methode wird detailliert untersucht, inklusive einer Fehlerbetrachtung. Das Prinzip der Methode ist die Stabilisierung einer flachen Flamme auf einer beheizten Brennerplatte. Eine eingestellte Temperaturdifferenz zwischen Brennerplatte und unverbrannten Gemisch führt zu einer Vorwärmung des Gemischs beim Durchströmen der gelochten Brennerplatte. Bei unterschiedlichen Gasgeschwindigkeiten des Brennstoffgemisches verändert sich die Position der Flamme oberhalb der Brennerplatte minimal. Die Vorwärmung kompensiert idealerweise die Wärmeverluste der Flamme an die Brennerplatte. Die Erfassung des radialen Temperaturprofils der Brennerplatte erlaubt es die Gasgeschwindigkeit zu ermitteln, bei der ein adiabater Zustand herrscht.

Ein Vergleich von unterschiedlichen Reaktionsmechanismen für die Ethanoloxidation und den experimentellen Ergebnissen dient als Bewertungsgrundlage für die Aussage, ob die einzelnen Mechanismen für die Berechnung von Wasser-Ethanol-Gemischen verwendbar sind. Hierbei wird auf die unterschiedlichen Gemischtemperaturen und den Wassergehalt im Brennstoffgemisch eingegangen. Eine Korrelation der Ergebnisse wird genutzt zur Darstellung der Abhängigkeit der Brenngeschwindigkeit von den Eingangsparametern. Weiterhin wurde Bioethanol, aus nachwachsenden Rohstoffen, mit Ethanol aus fossilen Quellen verglichen. Der erhöhte Wassergehalt im Bioethanol korreliert gut mit dem erstellten Modell für die Brenngeschwindigkeit von Ethanol-Wasser-Gemischen. Eine Betrachtung der effektiven Aktivierungsenergie für die unterschiedlichen Brennstoffe rundet die Untersuchung ab.

Analysis of the adiabatic laminar burning velocities of ethanol water blends with the Heat Flux method

Abstract

The substitution of fossil fuels with renewable fuels is state of the art. With this substitution the combustion characteristics of the fuel blend is altered. One characteristic is the adiabatic laminar burning velocity. Ethanol is a well known substitute, used as a blend in automotive petrol fuels. Water absorption is a key issue with ethanol; hence it is necessary to characterize the effect of water addition on the combustion characteristics.

In this thesis an existing setup for the measurement of the adiabatic laminar burning velocity of gaseous fuels is adapted for the use with liquid fuels. Essential changes are focused on the evaporator and the dosage unit for the liquid fuel. The burning velocity was determined for ethanol-water-mixtures with up to 20 volumetric percent of water and at different unburned mixture temperatures.

To determine the adiabatic laminar burning velocity the Heat Flux method was used. The influence of the adaptation for liquid fuels was thoroughly investigated including an error analysis. The basic feature of the method is the stabilization of a flat flame on a heated burner plate. The temperature difference between the burner plate and unburned gas mixture leads to a preheating of the gas mixture passing through the holes of the burner plate. At varying gas velocities of the unburned fuel mixture the position of the flame above the burner plate changes slightly. Ideally the preheating of the gas flow compensates the heat loss of the flame to the burner plate. By measuring the radial temperature distribution in the burner plate a gas velocity can be determined at which the adiabatic state is valid.

A comparison of available ethanol oxidation reaction mechanisms and experimental results allows assessing the usability of the mechanisms for ethanol-water-mixtures. The criterion of water content and mixture temperature define the limitations of the mechanisms. A correlation of the experimental results shows the dependency of the adiabatic laminar burning velocity to the input parameters. Further an evaluation of an ethanol from renewable origin in comparison to the water free pure ethanol was performed. The decreased ethanol content of the renewable ethanol led to burning velocities within the range of the correlation model. An evaluation of the effective activation energies of the fuel mixtures concludes the investigations.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
1 Einleitung 3
1.1 Motivation 3
1.2 Zielsetzung und Aufgabenstellung 4
1.3 Gliederung 5
2 Stand der Technik 7
2.1 Grundlegende Begrifflichkeiten der Verbrennungslehre 7
2.2 Adiabate laminare Brenngeschwindigkeit 8
2.2.1 Definition der adiabaten laminaren Brenngeschwindigkeit 8
2.2.2 Motivation zur Messung der Brenngeschwindigkeit 9
2.2.3 Erläuterung von Effekten bei der Messung der Brenngeschwindigkeit 10
2.2.4 Messmethoden zur Bestimmung der Brenngeschwindigkeit 11
2.2.5 Vergleich der unterschiedlichen Methoden 19
2.3 Flüssige Brennstoffe 20
2.3.1 Ethanol und Bioethanol 20
3 Aufbau, Versuchs- und Fehlerbetrachtung 25
3.1 Heat Flux System 25
3.2 Versuchsdurchführung 28
3.3 Versuchsauswertung 29
3.4 Fehlerbetrachtung 31
3.4.1 Unsicherheit der Massenströme 32
3.4.2 Temperaturmessung 34
3.4.3 Zusammenfassung der Fehlerbetrachtung 35
4 Simulation und Berechnungsergebnisse 37
4.1 Reaktionsmechanismen 37
4.2 Simulation mit CHEM1D 38
4.2.1 Parameter der eindimensionalen Berechnung 38
4.2.2 Berechnungsergebnisse 39
4.3 Bestimmung des Einflusses von Wasser im Brennstoff Ethanol 46
4.3.1 Vergleich der Mechanismen 48
4.4 Sensitivitätsanalyse 49
5 Versuchsergebnisse 53
5.1 Beurteilung der Einflüsse auf die Verbrennung 53
5.1.1 Regelung der Verdampfereinheit 53
5.2 Vergleich der Brenngeschwindigkeit mit anderen Messmethoden 57
5.2.1 Vergleich der Methoden 57
5.2.2 Vergleich der unterschiedlichen Heat Flux Systeme 59
5.3 Einfluss von Wasser 62
5.4 Validierung von Berechnungsmodellen 62
5.5 Einfluss der Gemischtemperatur 68
5.6 Korrelation der Ergebnisse für Ethanol-Wasser-Gemische 69
5.7 Vergleich Ethanol und Bioethanol 73

5.8 Weitere Erkenntnisse aus dem Versuchsbetrieb 75
5.8.1 Brennstoffeigenschaften als Funktion der Zeit 75
5.8.2 Bestimmung der effektiven Aktivierungsenergie 76
5.8.3 Anpassung für technische Brennstoffe 78
6 Zusammenfassung 83
Literaturverzeichnis 87
Symbolverzeichnis 95
Anhang A CHEM1D 99
Anhang B Graphische und tabellarische Auflistung der Ergebnisse 102