

Individual Thesis

Estimation of Fuel Regression Rates in Hybrid Rocket Engines based on Pressure Measurement and Nozzle Throat Cross-section

Henrik Wüstenberg

Supervisor: Prof. Dr.-Ing. habil. Cord-Christian Rossow
M.Sc. Georg Poppe

German Aerospace Center
Institute of Aerodynamics and Flow Technology
Braunschweig

27. November 2020



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**
German Aerospace Center

Abstract

A test campaign for a laboratory-scale hybrid rocket engine is conducted at the German Aerospace Centre (DLR). The rocket engine is tested with 90 % diluted Hydrogen peroxide (H_2O_2) as oxidiser and fuels based on Hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB). The tests aim to study the influence of Polyamide-6 (PA 6) and High-Density Polyethylen (HDPE) additives on the fuel regression rate. The present work applied a regression rate estimation technique which is based on pressure measurements. Moreover, measurements for the nozzle-throat and -exit geometry are conducted and a software is developed which estimates the overall performance of the rocket engine.

Three test cases, including each fuel additive, are evaluated in the present work. The regression rate technique provides spatially-averaged and temporally-resolved rates. The estimated rates are in good agreement with temporally-averaged regression rates, that are determined with optical or weight measurements. However, a qualitative comparison with temporally-resolved regression rates reveals discrepancies in the time-dependent trend. Furthermore, the nozzle geometries are measured by means of Computerized Axial Tomography (CAT) scan. The scans reveal, that the erosion of the nozzle throat is strongly dependent on the duration of a firing. Additionally, the overall performance indicates large combustion efficiencies in the range of 93 % to 96 % which is larger than expected. In contrast, the nozzle efficiencies reach only 78 %.

Zusammenfassung

Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wird eine Versuchsreihe mit einem Hybridraketenantriebwerk durchgeführt. Das Triebwerk verwendet 90 %-iges Wasserstoffperoxid als Oxidator. Der Brennstoff ist Hydroxyl-terminiertes Polybutadien (HT-PB). Die Versuchsreihe untersucht den Einfluss von den Brennstoffzusätzen Polyamid-6 (PA6) und *High-density* Polyethylen (HDPE) auf die Regressionsrate des Brennstoffs. Die vorliegende Arbeit bestimmt die Regressionsrate auf Grundlage von Druckmessungen. Weiterhin wird die Geometrie der Düsen vermessen und eine Software entwickelt, die die Leistungsdaten des Triebwerks berechnet.

Drei Versuche mit unterschiedlichen Brennstoffzusätzen werden ausgewertet. Die druckbasierte Regressionsratenbestimmung ermöglicht es räumlich-gemittelte und zeitlich-aufgelste Raten zu bestimmen. Die zeitliche Mittelung der Regressionsraten zeigt gleichwertige Ergebnisse im Vergleich zu Regressionsraten, die mit optischen Vermessungen und Gewichtsmessung ausgewertet werden. Im Gegensatz besitzen zeitlich-aufgelste Raten deutliche Unterschiede im qualitativen Verlauf verglichen zu den Ergebnissen einer Ultraschalldickenmessung. Die Düsengeometrien wurden mittels axialer Computertomographie (CAT) vermessen. Die Messungen weisen eine deutliche Abhängigkeit zwischen der Vergrößerung des Düsenhalsdurchmessers und der Brenndauer auf. Außerdem deuten die Leistungsdaten auf unerwartet hohe Verbrennungswirkungsgrade im Bereich von 93 % bis 96 % hin. Hingegen erreichen die Düsenwirkungsgrade lediglich 78 %.