Berichte aus der Luft- und Raumfahrttechnik

Johannes Lux

Flammenstabilisierung in einer Hochdruck-Raketenbrennkammer bei koaxialer Injektion von LOX/Methan

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2008)

Shaker Verlag
Aachen 2008

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.: RWTH Aachen University, Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7772-7
ISSN 0945-2214

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

Flammenstabilisierung in einer Hochdruck-Raketenbrennkammer bei koaxialer Injektion von LOX/Methan

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden umfangreiche experimentelle Untersuchungen zur Flammenstabilisierung und Strömungsentwicklung im Injektornahbereich einer LOX/Methan-Hochdruck-Raketenbrennkammer bei Verwendung eines Koaxialinjektors durchgeführt. Die dabei auftretenden Effekte wurden im Hinblick auf verschiedene Einflussfaktoren phänomenologisch erfasst.

Hauptaugenmerk wurde bei den experimentellen Untersuchungen auf die umfangreiche optische Diagnostik gelegt, die einzigartige Rückschlüsse auf die Flammenstabilisierung im Bereich des Injektors erlaubt. Es konnte gezeigt werden, dass die Flammenstrukturen bei Verbrennung von LOX/CH_4 denen von LOX/H_2 ähneln. Die Flamme ankert bei sämtlichen Betriebspunkten am LOX-post und ist zu keiner Zeit abgehoben. Sie erstreckt sich, ausgehend vom Ende des LOX-Röhrchens, zunächst eng anliegend entlang des LOX-Strahls. Im weiteren Verlauf weitet sie sich stark auf, um weiter stromab wieder leicht zu konvergieren.

Bei der Untersuchung der Zündung stellte sich heraus, dass die Flamme zunächst eine sehr große axiale Ausdehnung besitzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zu Beginn der Dampfdruck des Sauerstoffs unterschritten wird. In der Folge kommt es zu sehr hohen Einspritzgeschwindigkeiten des Sauerstoffs. Durch den anfänglich niedrigen Druck in der Brennkammer erfährt zudem das Methan einen Schalldurchgang im Injektor. In Kombination kommt es zu sehr niedrigen Impulsstromverhältnissen und einer hohen Quenchingrate, was zu der besagten großen Ausdehnung der Flamme in axialer Richtung sowie einem teilweisen Abreißen einzelner Reaktionszonen führt. Im weiteren Verlauf des Anfahrvorgangs wird die Flamme auf den unmittelbaren Nahbereich hinter dem Injektor gestaucht bevor sie langsam wieder an Ausdehnung gewinnt. Dieses Zündszenario erlaubt Rückschlüsse auf eine optimierte Auslegung sowohl der Koaxialinjektoren als auch der entsprechenden Betriebssequenzen im Hinblick auf eine sichere Zündung des Treibstoffgemischs LOX/Methan.

Die optische Untersuchung des injektornahen Bereichs beim Einsatz eines Injektorelementes mit Recess zeigte, dass insbesondere im überkritischen Druckbereich pilzförmige Strukturen auf der Oberfläche des LOX-Strahls auftreten. In der Folge vergrößern sich sowohl der Öffnungswinkel als auch die absolute radiale Ausdehnung der Flamme. Des Weiteren führt der Einsatz eines solchen Injektors mit zurückversetztem LOX-post zu einer weicheren Verbrennung, was im Einklang mit früheren Untersuchungen der Verbrennung von LOX/GH_2 steht. Generell steigt auf der Sauerstoffseite der Druckverlust über den Injektor beim Einsatz von Recess. Auf der Methanseite hingegen kann es bei sehr hohen Methan-Einspritzgeschwindigkeiten auch zu einer Verringerung des Druckverlustes kommen. Weiterhin konnte ein Einfluss des zurückversetzten LOX-posts auf das Leistungsdichtespektrum der Brennkammer nachgewiesen werden. Je nach Einspritzbedingungen und Injektorgeometrie werden Frequenzen im Bereich von 5,6 kHz bis 8,1 kHz resonant angeregt.

Eine Analyse des LOX/CH_4-Emissionsspektrums sowie die optische Ermittlung des Geschwindigkeitsverlaufs im Injektornahbereich mit Hilfe einer modifizierten PIV-Technik runden die Untersuchungen ab.