

Diss. ETH No. 15259

Optical Density and Velocity Measurements in Cryogenic-Gas Flows

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

Olaf Sven Jensen

Dipl.-Phys. (Humboldt University of Berlin)
born on August 04, 1973
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Thomas Rösgen, examiner
Prof. Dr. Andreas Dillmann, co-examiner
PD Dr. Jean Paul Kunsch, co-examiner
Dr. Ing. habil. Markus Raffel, co-examiner

2003

Abstract

The propagation behavior of cryogenic gas clouds in a heavy-gas channel is studied for different release scenarios with image correlation velocimetry (ICV) and background oriented Schlieren (BOS) in combination with supplemental thermocouple measurements. These cryogenic gas clouds are generated by evaporation of liquid nitrogen. Two different configurations for the generation of the clouds are used. One features the continuous release of cryogenic nitrogen evaporated by electrical heating over a time interval of up to five minutes. The second configuration features the sudden release of a specified amount of evaporated nitrogen. Both release scenarios are investigated in the context of the propagation over a horizontal surface. Additionally, the flow resulting from the scenario for continuous release is studied in the presence of a forward facing step whereas the suddenly released cloud is studied in the vicinity of a backward facing step. With the implemented diagnostics the two important parameters velocity and temperature are determined for the different propagation scenarios at several positions in the channel.

The velocity measurements are conducted with a planar velocimetry system. It makes the extraction of two-dimensional velocity-vector maps possible. For the flow visualization ice-particles are used that are generated during the evaporation process of the liquid nitrogen. Additionally, the surrounding flow is seeded with talcum powder. The combination of a background oriented Schlieren (BOS) system and thermocouples allows the extraction of two-dimensional temperature profiles that are averaged over the width of the heavy-gas channel. Both measurement methods for velocity and temperature are implemented and evaluated for their performance in the experimental context encountered in the heavy-gas channel.

Kurzfassung

Das Ausbreitungsverhalten kryogener Schwergaswolken wird untersucht für verschiedene Freisetzungsszenarien mit unterschiedlichen optischen Methoden. Dabei werden zweidimensionale Geschwindigkeitsmessungen mit einem Image Correlation Velocimetry (ICV) System durchgeführt. Zusätzlich werden mit einem Background Oriented Schlieren (BOS) System Messungen ausgeführt, welche in Kombination mit Thermoelementsmessungen in zweidimensionalen Temperaturprofilen der kryogenen Schwergaswolken resultieren. Die Schwergaswolken werden durch die Verdampfung von flüssigem Stickstoff erzeugt, wobei generell zwei verschiedene Konfigurationen verwendet werden. Bei der ersten Methode wird der flüssige Stickstoff durch elektrische Heizer verdampft und breitet sich dann kontinuierlich im Kanal aus. Die zweite verwendete Methode beinhaltet die Verdampfung einer spezifischen Menge Stickstoff, die dann plötzlich frei gesetzt wird und sich anschliessend ausbreitet. Die mit beiden Verfahren erzeugten Schwergaswolken werden unter horizontaler Ausbreitung untersucht. Zusätzlich werden die kontinuierlich frei gesetzten Wolken bei der Ausbreitung über ein vorspringende Stufe untersucht während die plötzlich frei gesetzten Wolken zusätzlich bei der Ausbreitung über eine rückspringende Stufe untersucht werden. Mit den implementierten Diagnostiken werden für alle Ausbreitungsszenarien die wichtigen Parameter Geschwindigkeit und Temperatur an mehreren Positionen im Kanal bestimmt.

Die Messung der Geschwindigkeiten wird mit optischen Lichtschnittverfahren durchgeführt, womit zweidimensionale Geschwindigkeitsmessungen möglich sind. Die dafür notwendige Sichtbarmachung der Strömung erfolgt mit Eispartikeln, die während der Verdampfung des Stickstoffs automatisch gebildet werden. Zusätzlich wird die Aussenströmung mit Talkpulver markiert. Die Kombination des Background Oriented Schlieren (BOS) Verfahrens mit den Thermoelementsmessungen erlaubt die Extraktion von zweidimensionalen Temperaturprofilen, die über die Breite des Kanals gemittelt sind. Beide Messverfahren werden im experimentellen Kontext im Schwergaskanal auf ihre Leistungsfähigkeit hin evaluiert.