

Kurzfassung

Mit dieser Arbeit wird erstmalig das optische Verfahren der *Particle Image Velocimetry* (PIV) in einem Flugversuch angewendet, um berührungslos und mit einer hohen räumlichen Auflösung Geschwindigkeitsfelder in einer rumpfnahen Grenzschicht bei unterschiedlichen Flugeschwindigkeiten und Klappenstellungen zu bestimmen. Die Geschwindigkeitsinformationen werden aus dem Streupartikelversatz innerhalb zweier wandparalleler Messebenen mit unterschiedlichen Wandabständen abgeleitet. Anstatt die Strömung künstlich mit Streupartikeln zu impfen, werden natürlich vorkommende Wolkentropfen durch das PIV-System erfasst. Dieser Ansatz bedeutet zum einen eine wesentliche Vereinfachung der Flugexperimente. Zum anderen werden zusätzliche Messunsicherheiten durch Unregelmäßigkeiten in der Streupartikeldichte und –größenverteilung eingeführt. Um die PIV-Methode vor diesem Hintergrund für Flugversuchsanwendungen zu bewerten, werden zwei weitere Messsysteme integriert. Zwei traversierbare Differenzdrucksonden erfassen simultan zu dem PIV-System die Charakteristik der Grenzschicht und erlaubten damit direkte Vergleiche der vorliegenden Methoden zur Geschwindigkeitsbestimmung. Über eine *Interferometric Laser Imaging for Droplet Sizing* (ILIDS)-Installation können die Durchmesser der Wolkentropfen bestimmt und ihre Partikeldynamik in einer turbulenten Grenzschichtströmung analytisch bewertet werden. Mit Hilfe der PIV-Methode und den Differenzdrucksonden werden gemittelte und momentane Strömungsstrukturen, REYNOLDS-Schubspannungen sowie Schwankungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Flugzeugkonfiguration hergeleitet. Es liegen experimentelle Hinweise vor die zeigen, dass Turbulenzen in der Anströmung insbesondere bei Wolkendurchflügen eine signifikante Abwandlung des Grenzschichtprofils in den wandfernen Bereichen verursachen.

Abstract

The application of Particle Image Velocimetry (PIV) for the investigation of turbulent boundary layers under free-flight conditions is demonstrated for the first time with the present study. The wall-bounded flow close to the fuselage of a research aircraft is analyzed by means of this non-intrusive, particle-based, optical technique which enables the determination of spatially highly resolved flow fields. The derivation of the velocity is based on the displacement of cloud droplets within interrogation windows of two measurement planes that are aligned parallel to the fuselage. The usage of naturally occurring hydrometeors seems feasible due to significant reductions of flight test preparation and modification efforts as well as the avoidance of upstream flow disturbances. However, this novelty also introduces measurement uncertainties caused by severe and abrupt changes of the seeding density and size distribution. To assess the impact of the atmosphere on the PIV method two additional measurement techniques are designed and certified for this flight test campaign. A traversing boundary layer rake measures the velocities at different positions inside the wall-bounded flow simultaneous to the PIV system. This allows a comprehensive characterization of the flow structure and a comparison of the velocities derived by means of pressure probes and PIV. A particle sizing technique ILIDS (Interferometric Laser Imaging for Droplet Sizing) is also implemented to measure the cloud droplet diameters. This data is used to analytically estimate the particle dynamics and to estimate the impact on the PIV results. As an outcome, averaged and instantaneous velocity fields as well as turbulence intensities and REYNOLDS-stresses are evaluated for different flight configurations and measurement planes. Experimental evidence indicates a significant deviation of the law of the wake due to atmospheric turbulences.