

Abstract

The need to increase efficiency is pushing the limits to extreme conditions. Elevated loads by the increase of operating pressure or speed as well as new materials enhance the requirements on fluids as a design element. Viscosity, as the primary factor influencing hydrostatic and dynamic fluid properties, plays a decisive role. Particularly at high operating pressures, viscosity can increase by several orders of magnitude. It is therefore of great interest to be able to determine the viscosity over the entire operational range.

In this work, the reproducibility of falling body viscometry is investigated. For this purpose, a new continuous measuring method for pressure ranges up to 8,000 bar is developed, which is able to identify stationary falling conditions. In an analysis all influences acting on the falling body are investigated and promising falling body shapes are identified. With the aid of a numerical flow simulation and coupled adjoint optimisation, a falling body is developed for increased Stokes flow performance. By using a ferritic, corrosion-resistant steel, an inductive velocity detection over the complete measuring length as well as an active lifting of the falling body is made possible.

The newly developed method is suitable for the automated viscosity measurement of high- as well as low-viscosity fluids and thus covers the range from bio-fuels to hydraulic oil. Due to the innovative measuring principle, the velocity of the falling body can be continuously recorded and thus stationary conditions can be identified. By means of analytical and numerical methods, it can be shown that a falling body tends towards large eccentricities during the fall in a tube, which significantly increases its fall velocity. Furthermore, a variation of the falling body geometry shows that the falling body shape has a significant influence on the reproducibility of the measurements. The adjoint optimised body provides very good reproducibility and is suitable for the use with low-viscosity fluids. For high viscosity fluids it can be shown that fins on the lateral surface of the falling body have a small influence on the flow and a concentric fall can be realised.

Zusammenfassung

Der Bedarf nach Effizienzsteigerung verschiebt Einsatzgrenzen hin zu immer extremeren Bedingungen. Höhere Belastungen in Form von Druck- oder Drehzahlsteigerungen oder der Einsatz neuer Materialien stellen hohe Anforderungen an das Konstruktionselement Fluid. Der Viskosität, als primärer Einflussfaktor hydrostatischer und -dynamischer Fluideigenschaften, kommt hierbei eine entscheidende Rolle zu. Gerade bei hohen Betriebsdrücken steigt die Viskosität teilweise um mehrere Größenordnungen an. Es ist von großem Interesse, die Viskosität über den kompletten Betriebsbereich zu bestimmen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Reproduzierbarkeit der Fallkörperviskosimetrie untersucht. Hierfür wird ein neues kontinuierliches Messverfahren für Druckbereiche bis 8.000 bar entwickelt, welches in der Lage ist, den Bereich stationärer Fallzustände zu erfassen. In einer Analyse werden alle auf den Fallkörper wirkenden Einflüsse untersucht und vielversprechende Fallkörperformen identifiziert. Mit Hilfe einer numerischen Strömungssimulation und gekoppelter Adjoint-Optimierung wird ein Fallkörper entwickelt, welcher für schleichende Strömungen geeignet ist. Durch den Einsatz eines ferritischen, korrosionsbeständigen Stahls wird eine induktive Geschwindigkeitserfassung über den kompletten Messweg sowie ein aktives Heben des Fallkörpers ermöglicht.

Das entwickelte Verfahren eignet sich für die automatisierte Viskositätsmessung von hoch- sowie niedrigviskosen Fluiden und somit für Bio-Kraftstoffe bis hin zu Hydrauliköl. Durch das innovative Messprinzip kann die Geschwindigkeit des Fallkörpers kontinuierlich erfasst und stationäre Zustände identifiziert werden. Es kann gezeigt werden, dass ein Fallkörper während des Falls in einem Rohr grundsätzlich zu großen Exzentrizitäten strebt. Eine Variation der Fallkörpergeometrie zeigt darüber hinaus, dass die Fallkörperform einen deutlichen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit von Viskositätsmessungen hat. Der Adjoint-Fallkörper bietet sehr gute Wiederholgenauigkeit und ist für einen Einsatz bei niederviskosen Fluiden geeignet. Für hochviskose Fluide kann gezeigt werden, dass Finnen an der Mantelfläche des Fallkörpers einen geringen Einfluss auf die Strömung haben und damit ein konzentrischer Fall realisiert werden kann.