

# *Abstract of the doctoral thesis*

”Experimental investigation on turbulent transport in Taylor-Couette flow”

by

Sebastian Merbold

A famous example of flow instability occurs between two concentric cylinders, rotating independently. In case of differential rotation angular momentum is transported between the cylinders. The so called Taylor-Couette (TC) flow is of fundamental interest in terms of transport properties in rotating systems, as Earth’s atmosphere or accretion disks in case of Rayleigh stable flows or industrial applications such as journal bearings, separation and mixing for Rayleigh instable flows. A better understanding of the transport processes and the turbulent structures and a uniform description of these complex aspects, these are tasks of great importance for many research areas. The aim of this thesis is to experimentally investigate the turbulent Taylor-Couette flow for radius ratio  $\eta = 0.5$  at high shear Reynolds numbers and rotation of inner as well as outer cylinder.

For the present investigation fundamental scientific questions were raised on the topic of turbulent Taylor-Couette flow. *How large is the angular momentum flux for given flow conditions? Does the angular momentum flux scale with Reynolds number comparable with other canonical flows? Do Taylor-vortices exist for large Reynolds numbers? How does the counter-rotation affects the turbulent Taylor-Couette flow?* The investigations on the flow revealed interesting behaviour and opened even more questions: *What drives the torque to be maximal for counter rotation? Which flow structures dominate the counter rotation? Can the torque be predicted by a formula?*

Two experimental setups were realized allowing a precise torque measurement inside the inner cylinder and Laser-optical measurement techniques, while the systems high rotation rates achieve turbulent flows in the classical and ultimate turbulent regime. The angular momentum flux is precisely measured by torque measurements, its scaling and dependencies are determined and discussed, an empirical prediction is revealed. For counter rotation the transport increases, which is against classical expectations. The turbulent Taylor-vortices disappear in the turbulent flow for the ultimate turbulent regime, when the outer cylinder is at rest. For the case of counter rotation the large-scale circulation (LSC) is given the freedom to enhance in the gap. The flow measurements reveal that in these cases the transport process is dominated by the LSC while the turbulent transport decreases - the enlargement of the LSC leads to a total increase of the transport. The measurements are in good agreement with numerical studies and verify theoretical predictions on the transport by the enhanced LSC.

# *Zusammenfassung zur Dissertation*

”Experimentelle Untersuchung des turbulenten Transports in der Taylor-Couette Strömung”

von

Sebastian Merbold

Ein berühmtes Beispiel für Strömungsinstabilitäten kommt zwischen zwei konzentrischen, unabhängig rotierenden Zylindern vor. Drehimpuls wird im Falle einer differentiellen Rotation zwischen den Zylindern transportiert. Die so genannte Taylor-Couette (TC) Strömung ist von grundlegender Bedeutung für Transportprozesse in rotierenden Systemen, wie der Erdatmosphäre und Akkretionsscheiben oder industriellen Anwendungen, wie Gleitlagerung, Separation oder Mischungen. Ein besseres Verständnis der Transportprozesse und turbulenten Strukturen sowie eine einheitliche Beschreibung der komplexen Aspekte sind Aufgaben großer Tragweite vieler Forschungsgebiete. Die Absicht dieser Arbeit ist die experimentelle Untersuchung der turbulenten Taylor-Couette Strömung des Radienverhältnisses  $\eta = 0.5$  bei hohen Scher-Reynoldszahlen und der Rotation des Innen- sowie Außenzylinders.

Der vorliegenden Studie wurden grundsätzliche wissenschaftliche Fragen zur turbulenten Taylor-Couette Strömung gestellt. *Wie hoch ist der Drehimpulstransport bei bestimmten Strömungsverhältnissen? Skaliert der Drehimpulstransport mit der Reynoldszahl vergleichbar mit anderen kanonischen Strömungen? Existieren die Taylor-Wirbel bei hohen Reynoldszahlen? Wie beeinflusst die Gegenrotation die turbulente TC Strömung?* Die Untersuchungen haben interessante Strömungsverhalten offengelegt und weitere offene Fragen aufgeworfen: *Was treibt das Maximum des Drehimpulstransports bei Gegenrotation an? Welche Strömungsstrukturen dominieren die Gegenrotation? Kann der Drehimpulstransport vorhergesagt werden?*

Zwei experimentelle Aufbauten wurden realisiert, die eine präzise Bestimmung des Drehmoments im Innenzylinder sowie Laser-optische Messungen erlauben, während die hohen Rotationszahlen Strömung im klassischen und ultimativen turbulenten Regime erlauben. Der Drehimpulstransport wird präzise durch die Drehmomentmesseinrichtung gemessen, die Skalierung und Abhängigkeiten bestimmt und diskutiert sowie eine empirische Vorhersage aufgedeckt. Entgegen klassischen Vermutungen steigt der Transport bei Gegenrotation. Wenn der Außenzylinder steht, verschwinden die Taylor-Wirbel in der turbulenten Strömung im ultimativen turbulenten Regime. Bei Gegenrotation wird der großskaligen Zirkulation (LSC) die Freiheit gegeben sich im Spalt auszubreiten. Die Strömungsmessungen zeigen auf, dass dann die Transportprozesse durch die LSC dominiert werden, während der turbulente Transport sinkt - die Ausdehnung der LSC führt zu einem steigendem Gesamttransport. Die Messungen sind in hervorragender Übereinstimmung mit numerischen Untersuchungen und bestätigen theoretische Vorhersagen des Transports durch die verstärkte LSC.