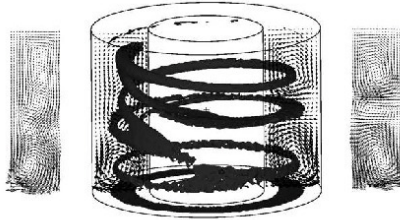





Oliver Meincke (Autor)  
**3D-Strukturen und Dynamik im asymmetrischen  
Taylor-Couette-System**

Oliver Meincke

**3D-Strukturen und Dynamik  
im asymmetrischen Taylor-Couette-System**



---

 Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3570>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Kapitel 1

## Einleitung

Turbulenzbildung ist ein viel beobachtetes Phänomen in der Strömungsphysik. In vielen dissipativen Systemen tritt Turbulenz nach einer Folge von strukturbildenden und symmetriebrechenden Verzweigungen auf. Dabei gilt die Erforschung der Turbulenz als eine der letzten großen Herausforderungen in der klassischen Physik, obwohl die zugrunde liegende Navier–Stokes-Gleichung lange bekannt ist.

Deshalb ist es aber das Ziel aktueller Forschungen, die Instabilitätsmechanismen, die Dynamik und räumliche Struktur der auftretenden Strömungszustände zu verstehen. Trotz starker Bemühungen ist man zur Zeit von einem vollständigen Verständnis der strukturbildenden Prozesse und der Turbulenzentstehung weit entfernt, weil die Navier–Stokes-Gleichung nur für Sonderfälle eine exakte analytische Lösung zulässt. Somit kommen wohl definierten Laborexperimenten und numerischen Simulationen eine besondere Bedeutung zu.

Als hydrodynamisches Testsystem eignet sich wegen der geometrischen Einfachheit und der guten Kontrollierbarkeit das Taylor–Couette-System. Experimente an diesem System beschäftigen sich mit der Charakterisierung von Strömungsformen einer viskosen Flüssigkeit, die sich im Zwischenraum zweier konzentrischer Zylinder befindet. Hier treten Wirbel auf, die durch Drehung des Innenzylinders getrieben werden. Bei weiterer Erhöhung der treibenden Kraft kommt es zu räumlich und zeitlich kompliziertem Verhalten.

Die Anfänge dieses Testsystems liegen etwa 100 Jahre zurück. Maurice Couette bestimmte Viskositäten  $\nu$  von Flüssigkeiten, die in den Zwischenraum zweier drehbarer, konzentrischer Zylinder gefüllt wurden. Das Drehmoment, das der sich mit  $\omega_a$  drehende Außenzylinder über die viskose Flüssigkeit auf den Innenzylinder überträgt, ist proportional zu  $\nu\omega_a$ . Dieses Experiment liefert nur richtige Ergebnisse, solange die Strömung der eingeschlossenen Flüssigkeit laminar ist.

Aufbauend auf den weiterführenden Arbeiten von A. Mallock, gelang es G. I. Taylor 1923 [Tay23] im Falle eines sich drehenden Innenzylinders und eines ruhenden Außenzylinders eine kritische Drehzahl  $\omega_c$  zu messen, bei der die laminare Strömung instabil wird. Die dann einsetzende wirbelförmige Strömung wird als Taylor-Wirbel-Strömung bezeichnet. Die Bestimmung von  $\omega_c$  gelang Taylor experimentell und theoretisch, wobei er hier von einem unendlich langen Zylinder ausging.

Zwei weitere wichtige hydrodynamische Testsysteme, mit denen man versucht

Fortschritte auf dem Gebiet der nichtlinearen Dynamik zu erzielen, sind das Rayleigh–Béarnard-Experiment und die sphärische Couette–Strömung. Im Rayleigh–Béarnard-Experiment werden durch einen Temperaturgradienten induzierte Konvektionsphänomene in einem horizontalen Spalt untersucht, der mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, wobei hingegen bei der sphärischen Couette–Strömung die Energie im isothermen Fall durch die Rotation einer inneren Kugel eingebracht wird. Auch hier werden zu Konvektionsstrukturen Untersuchungen durchgeführt, wobei bei heißerer Innenkugel und Festkörperrotation Analogien zu großskaligen geophysikalischen Strömungen entstehen.

Stabilitätsuntersuchungen experimenteller und numerischer Natur am Taylor–Couette-System haben gezeigt, daß das Verzweigungsverhalten sehr stark von den Randbedingungen und zum Teil auch von den Anfangsbedingungen abhängt und das Verhalten eines theoretisch behandelten, unendlich langen Zylinders auch bei extrem langen experimentellen Geometrien nicht reproduziert werden kann. Auf diese Tatsache wird in Abschnitt 3.7 näher eingegangen. Weiterhin hat die Symmetrie des Systems einen entscheidenden Einfluß auf das Stabilitätsverhalten der Taylor–Couette-Strömung.

Somit sind Untersuchungen am Taylor–Couette-System mit asymmetrischen Randbedingungen, die durch eine mitrotierende Bodenplatte eingebracht werden, Gegenstand dieser Arbeit. Aufgrund der großen Sensitivität von den Randbedingungen des Systems, ist eine hohe Präzision der eingesetzten Komponenten und gute Kontrollierbarkeit der Laborbedingungen erforderlich, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Ausgehend von den Untersuchungen von Mullin und Blohm [Mul01] wurden die Experimente bei kleinem Verhältnis von der Zylinderlänge  $L$  zu der Spaltbreite  $d$  im Bereich  $2.4 < \Gamma = L/d < 4.8$  wesentlich erweitert. Bei den hier vorgestellten Untersuchungen kamen dann zum ersten Mal bei dieser Geometrie PIV-Messungen und 3D-Simulationsrechnungen zum Einsatz.

Im **Kapitel 2** wird zunächst das Taylor-Couette-System mit den wichtigsten auftretenden Strömungsformen vorgestellt.

Einen Einblick in die Theorie dissipativer Systeme gewährt **Kapitel 3**. Als wichtigster Teilaspekt wird in die Verzweigungstheorie eingeführt, die Aussagen über die Stabilitäten der Lösungen der Grundgleichungen ermöglicht.

Dem experimentellen Aufbau des im Rahmen dieser Arbeit neu konstruierten und in Betrieb genommenen Taylor–Couette-Apparates widmet sich das **Kapitel 4**. Die wichtigsten Bestandteile dieses Präzisionsexperimentes werden in ihrer Funktion aufgezeigt. Ebenfalls wird in diesem Kapitel die verwendete Meßtechnik vorgestellt.

Die zugrunde liegenden Gleichungen und Randbedingungen für die zur Simulation der Experimente genutzte Numerik werden in **Kapitel 5** erläutert.

Gegenstand von **Kapitel 6** sind die durchgeführten Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten des 3- und 1-Wirbelzustandes bei kurzen Aspektverhältnissen. Hier wird zum einen die räumliche Wirbelverteilung stationärer Zustände betrachtet und zum anderen die Dynamik und Struktur oszillatorischer Zustände vermessen. Die experimentellen Ergebnisse werden mit modernen dreidimensionalen Simulationsrechnungen verglichen, die die Navier–Stokes-Gleichung unter Berücksichtigung der Randbedingungen direkt lösen. Es werden verschiedene komplexe Dynamiken

vorgelegt, die an speziellen kritischen Punkten auftreten.

Die gewonnenen Resultate dieser Arbeit werden in **Kapitel 7** zusammengefaßt. Außerdem gibt dieses Kapitel einen Ausblick auf mögliche zukünftige Untersuchungen zum Einfluß asymmetrischer Randbedingungen auf die Szenarien.