Turbulenzübergang in der Kanalströmung

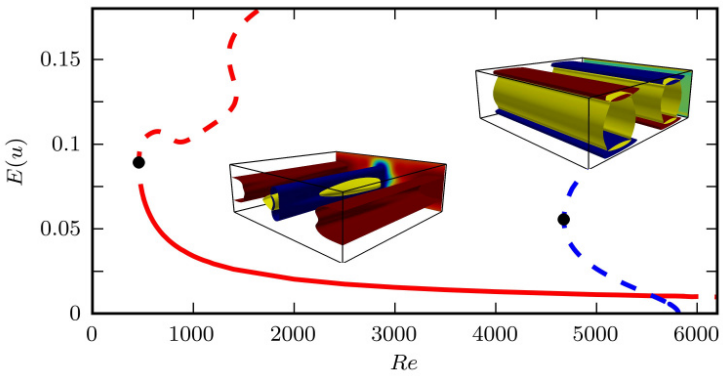


Abb. 1: Bifurkationsdiagramm der beiden laufenden Wellen (Abszisse: Reynoldszahl; Ordinate: Energie des Strömungsfelds). Bei einer genau instabilen Richtung, wird eine durchgezogene Linie verwendet, bei mehreren instabilen Richtungen ist sie gestrichelt. Visualisierungen der beiden laufenden Wellen: Rote und blaue Flächen sind Isoflächen der Geschwindigkeitskomponente in Strömungsrichtung (nach Abzug des laminaren Profils). Rot steht für positive und blau für negative Geschwindigkeiten. Die gelben Flächen sind Isoflächen eines Wirbelkriteriums und deuten die Lage von Wirbeln an.

Introduction

Viele Strömungen zeigen Turbulenz, obwohl ihr laminares Profil stabil ist. Zum Beispiel die Kanalströmung, deren parabolisches laminares Profil für Reynoldszahlen kleiner als 5772 stabil ist.[1] Dennoch findet sich in Experimenten und numerische Simulationen bereits bei deutlich niedrigeren Reynoldszahlen turbulentes Verhalten. Voraussetzung dafür ist, eine genügend kräftige Störung der Strömung. Dieses Verhalten ist mit dem Auftreten von neuen exakten kohärenten Strukturen verbunden. Da diese Strukturen im Allgemeinen instabil sind, können Sie nur mithilfe besonderer Techniken in numerischen Simulationen gefunden und untersucht werden. In der Dynamik turbulenter Strö- mungen spielen sie eine Rolle, weil die Zeitentwicklung als eine zufällige Bewegung zwischen verschiedenen instabilen exakten Lösungen beschrieben werden kann. Ziel ist die Aufklärung der Wege zur Turbulenz in der Kanalströmung.

Methods

Zu diesem Zweck studieren wir exakte Lösungen der Navier-Stokes-Gleichungen. Für unsere direkten numerischen Simulationen nutzen wir channelflow (url: www.channelflow.org), welches mittels openMP parallelisiert wurde. Bei der Suche nach exakten Lösungen wird die Methode des Edge-Trackings[2] verwendet, die es erlaubt, eine Trajektorie auf der Grenze zwischen laminarer und turbulenter Bewegung zu verfolgen. In der Regel konvergiert diese Bahn dann gegen eine exakte

Researchers
Dr. rer. nat. Stefan Zammert

Principal Investigator
Prof. Dr. Bruno Eckhardt

Project Term
2015 - 2015

Project Areas
Chemical Solid State and Surface Research, Heat Energy Technology, Thermal Machines, Fluid Mechanics

Clusters
MaRC2 Cluster Marburg

Institute
AG Komplexe Systeme

University
University of Marburg

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
UNIKASSEL VERSITÄT
Philipps Universität Marburg

kohärente Struktur.

Results

Wir konnten diverse laufende Wellen und periodische Bahnen identifizieren. Darunter sind zwei laufende Wellen, die beide in der Laminar-Turbulenten-Grenze liegen und Edge-States des Systems sind.[2] Eine dieser laufenden Wellen ist zweidimensional, zweigt vom laminaren Profil ab und existiert für Re>4685. Die zweite laufende Welle ist dreidimensional und entsteht durch eine Sattel-Knoten-Bifurkation bei Re=460 (in beiden Fällen hängen Reynoldszahlen von der Länge des simulierten Volumens ab; die angegebenen Werte beziehen sich auf eine Länge von 2π). Die beiden exakten Lösungen können mit den unterschiedlichen Wegen zur Turbulenz, die in der Kanalströmung und auch in Grenzschichten existieren, in Verbindung gebracht werden. Die erste laufende Welle ist von Bedeutung für den Tollmien-Schlichting- Übergang, während die zweite in Verbindung mit dem Bypass-Übergang zur Turbulenz steht. Das Bifurkationsdiagramm der beiden laufenden Wellen und Visualisierungen der Strömungsfelder sind in Abb. 1 dargestellt.

Discussion

Die Identifikation der relevanten kohärenten Strukturen lässt uns die verschiedenen Wege zur Turbulenz in der Kanalströmung beschreiben und vorhersagen, welcher Weg dominieren wird.[3] Darüber hinaus gelang es, räumlich lokalisierte periodische Bahnen zu identifizieren.[4,5] Derartige exakte Lösungen sind von besonderer Bedeutung, da Turbulenz bei niedrigen Reynoldszahlen räumlich sehr inhomogen ist, und häufig auch räumlich lokalisiert auftritt. Lokalisierte Strukturen tragen zu einer Erklärung und Beschreibung dieser räumlichen Inhomogenität der Turbulenz bei.

Reference

[1] S. Orszag (1971), Accurate solution of the Orr-Sommerfeld stability equation, Journal of Fluid Mechanics, 50: 690-703. https://doi.org/10.1017/S0022112071002842

[2] J. Skufca, J. Yorke, and B. Eckhardt (2006), Edge of Chaos in a Parallel Shear Flow, Physical Review Letters, 96, 174101. http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.96.174101

[3] S. Zammert and B. Eckhardt, Bypass and transition to turbulence in plane Poiseuille flow. https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.04370

[4] S. Zammert and B. Eckhardt (2014), Periodically bursting edge states in plane Poiseuille flow, Fluid Dynamics Research, 46, 041419.Turbulenzübergang in der Kanalströmung https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2014FlDyR..46d1419Z/doi:10.1088/0169-5983/46/4/041419

[5] S. Zammert and B. Eckhardt (2014), Streamwise and doubly-localised periodic orbits in plane Poiseuille flow, Journal of Fluid Mechanics, 761: 348-359. https://doi.org/10.1017/jfm.2014.633

Last Update: 2022-07-07 17:18