

Einfluss der Beheizung auf die Stabilität der dreidimensionalen Grenzschichtströmung einer frei rotierenden Scheibe

Stefan aus der Wiesche

Fachhochschule Münster

48565 Steinfurt, Deutschland

Die Stabilität von zweidimensionalen laminaren Grenzschichtströmungen kann bekanntlich durch Beheizung und Kühlung massiv beeinflusst werden. Theoretische Analysen auf Basis der Orr-Sommerfeld-Gleichung unter Berücksichtigung von temperaturabhängigen Stoffwerten sagten bereits in den späten 1960er Jahren eine signifikante Verschiebung der Stabilitätsgrenze für Wasser an beheizten Wänden für ebene Grenzschichtströmungen voraus. Experimentell gelang vereinzelt für Rohrströmungen und für die ebene Plattengrenzschicht ein entsprechender Nachweis, doch sind die versuchstechnischen Herausforderungen nicht unerheblich, so dass die Anzahl entsprechender Arbeiten in der Literatur bislang sehr begrenzt blieb. Gänzlich fehlte bislang eine Ausdehnung der Untersuchungen auf dreidimensionale Grenzschichten, obgleich gerade diese Klasse von Strömungen einen weiten Anwendungsbereich aufweist.

Im vorliegenden Beitrag werden erstmalig experimentelle Ergebnisse für die Beeinflussung der Stabilität durch Beheizung für die dreidimensionale Strömung über einer frei rotierenden Scheibe vorgestellt. Diese einfache Grundströmung stellt eine paradigmatische Konfiguration für viele technische Anwendungen sowie für allgemeine dreidimensionale Stabilitätsprobleme dar. Die Untersuchungen wurden mit Hilfe einer elektrisch beheizten Scheibe, die in einem großen Wassertank rotiert, durchgeführt. Die lokalen Temperaturverteilungen wurden für verschiedene Drehzahlen und Heizraten ermittelt. Durch Variation der Tank- und der Wandtemperaturen konnten zudem unterschiedliche Prandtl-Zahlen eingestellt werden. Die Güte des Apparates wurde durch einen Vergleich der gemessenen Wärmeübergangskoeffizienten mit den Vorhersagen der analytischen Selbstähnlichkeitslösung für den laminaren Fall als Funktion der Prandtl-Zahl validiert. Die Stabilitätsgrenze, d. h. den Beginn von sehr kleinen Störungen, wurde mit Hilfe des Landau-Modells durch eine Anpassung der gemessenen Wärmeübergangsverteilungen als Funktion der lokalen Reynolds-Zahl für

verschiedene Wandtemperaturdifferenzen ermittelt. Auf diese Weise konnten Beeinflussungen der Strömung durch invasive Messmethoden, oder die enormen Schwierigkeiten, sehr kleine Wirbelströmungen direkt identifizieren zu müssen, umgangen werden. Die Praktikabilität dieser indirekten Vorgehensweise wurde durch die gute Übereinstimmung mit der auf diese Weise asymptotisch ermittelten isothermen Stabilitätsgrenze mit den Vorhersagen der Literaturdaten und den Ergebnissen detaillierter Störungsrechnungen bestätigt.

Die neuen experimentellen Daten dokumentieren, dass die Beheizung einen sehr großen Einfluss auf die Verschiebung der Stabilitätsgrenze für dreidimensionalen Grenzschichten im Falle von Wasser ausübt. Weiterhin zeigt sich, dass ein ursprünglich für ebene Probleme entwickeltes asymptotisches Verfahren von Herwig und Mitarbeiter erfolgreich auf dreidimensionale Strömungen ausgedehnt werden kann. Aufgrund des Stoffverhaltens wird die Stabilitätsgrenze im Falle von Luft deutlich geringer durch eine Beheizung beeinflusst. Zudem stabilisiert eine Beheizung eine Wasserströmung wo hingegen bei Luft eine leichte Destabilisierung resultiert.