



Doctoral Thesis

Lineare Stabilitätsuntersuchung einer transienten Rohrströmung

Author(s):

Aebli, Franz

Publication Date:

1987

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000471730> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 8466

LINEARE STABILITAETSUNTERSUCHUNG EINER
TRANSIENTEN ROHRSTROEMUNG

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von
FRANZ AEBLI
dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 8. August 1957
von Basel

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. H. Thomann, Referent
Prof. Dr. H. Brauchli, Korreferent

1987

ZUSAMMENFASSUNG: LINEARE STABILITAETSUNTERSUCHUNG EINER
TRANSIENTEN ROHRSTROEMUNG

Wird ein halbunendlich langes unter einem kleinen Ueberdruck stehendes Rohr am einen Ende plötzlich geöffnet, entsteht eine transiente Rohrströmung. Experimente mit Luft an einem gerade verlegten Rohr (Rohrradius $\sim 3\text{mm}$, Rohrlänge $\sim 85\text{m}$) ergaben für Ueberdrücke bis 10000Pa bezüglich dem Umgebungsdruck am Rohraustritt laminare Strömung für den gesamten Zeitraum des Versuches. Die experimentell an 2 Messorten (Abstand vom offenen Rohrende 5.31m und 10.308m) ermittelten Druckverläufe stimmen mit den für kleine Ueberdrücke aus den linearisierten Grundgleichungen der laminaren Strömung berechneten Verläufen gut überein, solange der Ueberdruck kleiner als 10000Pa bleibt. An den Messstellen von der Messeinrichtung erzeugte Störungen führen bei Ueberdrücken grösser als 10000Pa zu am Rohraustritt feststellbarer Turbulenz und starken Abweichungen des experimentell ermittelten vom theoretisch berechneten Druckverlauf.

Die Ergebnisse der Experimente mit Luft als Versuchsgas legen die Vermutung nahe, dass die Strömung bis zu Ueberdrücken von 10000Pa überall im Rohr laminar bleibt.

Um diese Vermutung zu bestätigen, wird die Stabilität der zur Vereinfachung als quasiparallel und quasistationär angenommenen Grundströmung mit der Methode der kleinen Schwingungen untersucht. Die sich ergebende Orr-Sommerfeld-Gleichung bildet zusammen mit den Randbedingungen für die axialsymmetrischen Störschwingungen ein kombiniertes Rand-Eigenwertproblem, das numerisch mit einem Einschliessverfahren gelöst wird.

Die Stabilitätsrechnung zeigt, dass für Reynolds-Zahlen kleiner als 5000 , entsprechend einem Ueberdruck kleiner als 10000Pa für Luft, die betrachtete Rohrströmung stabil ist, was die aufgrund der Experimente aufgestellte Vermutung, dass die Strömung laminar bleibt, bestätigt.

Erhöht man die als Parameter in der Stabilitätsrechnung auftretende Reynolds-Zahl bis auf 17400, tritt zuerst am Rohraustritt Instabilität auf. Ein einfaches Umschlagskriterium lässt den Umschlag von laminarer zu turbulenter Strömung am Rohraustritt erst für Reynolds-Zahlen grösser als 100000 erwarten. Für grosse Reynolds-Zahlen ergeben somit Stabilitätsrechnung und Experiment stark unterschiedliche Resultate.

ABSTRACT: INVESTIGATION ON THE LINEAR STABILITY OF
A TRANSIENT PIPE FLOW

If a half-infinite tube, with an internal pressure slightly higher than the external pressure, is suddenly opened at one end, a transient pipe flow develops. Experiments with air as a test fluid in a straight copper pipe (inner diameter ~6mm, length ~85m) show that the flow is laminar at the open end over the entire time of interest for overpressures up to 10000Pa relative to the outer pressure. The recorded pressure measurements at two stations (distances from the open end 5.31m and 10.308m respectively) agree well with the pressure distributions calculated from the first order equations of continuity, momentum and energy for laminar flow, as long as the overpressure remains smaller than 10000Pa. For overpressures greater than 10000Pa turbulence produced by the pressure measuring device can be detected at the open end of the tube and the measured pressure distributions deviate considerably from the theoretical values.

The results of the experiments lead to the assumption that the air flow is laminar everywhere in the tube for overpressures up to 10000Pa.

To corroborate this assumption, a linear temporal stability analysis for infinitesimal axisymmetric disturbances is applied to the main flow treated for a first survey as quasi-parallel and quasi-steady. The resulting Orr-Sommerfeld equation and the boundary conditions form a combined boundary-eigen-value problem, which is solved numerically with a shooting-method.

The stability analysis show that the considered pipe flow is stable for Reynolds numbers less than 5000, which correspond to overpressures less than approximately 10000Pa for air, and confirms the assumption based on the experiments that the flow remains laminar.

When the Reynolds number, included as a parameter in the stability analysis, is increased to 17400, instability occurs first

at the open end of the tube. A simple transition criterion predicts transition from laminar to turbulent flow at the open end for Reynolds numbers exceeding the value of 100000. Thus, for high Reynolds numbers, there is a large discrepancy between the results of the stability analysis and the experiment.