



Doctoral Thesis

Experimentelle Bestimmung der Wandschubspannung in turbulenten Grenzschichten

Author(s):

Zurfluh, Urs E.

Publication Date:

1984

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000330827> →

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. 7528

Experimentelle Bestimmung der Wandschubspannung in turbulenten Grenzschichten

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

URS E. ZURFLUH
Dipl. Masch.-Ing. ETHZ
geboren am 23. Juli 1955
von Erstfeld (UR) und Meilen (ZH)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. Thomann, Referent
Prof. Dr. G. Gyarmathy, Korreferent

VI ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Bereits in der Vergangenheit wurde mit speziell entwickelten Geräten versucht, die Wandschubspannung zu messen, indem die Kraft auf ein bewegliches Wandelement ermittelt wird. Ein starker Druckgradient in Strömungsrichtung bewirkt jedoch asymmetrische Druckkräfte im Spalt zwischen der Wand und dem Messelement, welche grosse Fehler verursachen können. Die denkbaren Korrekturmöglichkeiten sind durchwegs ungenau und führen zu einer grossen Unsicherheit im Schubspannungswert.

In der hier neu entwickelten Schubspannungswaage ist die Idee der Spaltabdichtung mittels einer Flüssigkeit für den ebenen Anwendungsfall verwirklicht worden. Die so neu entstehenden Sekundärkräfte lassen sich berechnen und sind für die gewählte Konfiguration in praktisch allen Strömungsfällen vernachlässigbar klein. Die enge Spaltform und die Minimalisierung der Sekundärkräfte erfordern ein verschiebungsfreies Kraftmesssystem. Mittels einer sehr genauen und schnellen Lageregelung wird diese Forderung erfüllt und ein kontinuierliches Rückstellsignal erzeugt, welches proportional zur Schubkraft ist.

Zusammen mit der neuartigen Waagmechanik, dem überaus empfindlichen Kraftmesssystem und der Flüssigkeitsdichtung wird eine Gesamtgenauigkeit ($<1\%$) erreicht, welche bedeutend besser ist als diejenige älterer Geräte. Durch simulierte Variation der Oberflächengestalt der Dichtflüssigkeit im Spalt konnte experimentell gezeigt werden, dass die Sekundärkräfte tatsächlich vernachlässigbar sind und auch

die Strömung durch die Flüssigkeitsmenisken nicht gestört wird.

Die Eichung des Prestonrohres in der Kanalströmung bestätigt, im Quervergleich mit Resultaten aus der Literatur, die Korrektheit des Messsystems. Die sehr kleine Streuung der Eichpunkte zeigt die erreichbare Qualität einer Prestonrohrmessung ausserhalb von Druckgradienten (besser als 1%) und rechtfertigt die Bestimmung einer neuen sehr genauen Eichkurve.

Kleine Veränderungen am Ort des Umschlages beeinflussen sowohl die Turbulenzstruktur an der weit stromabwärts liegenden Messtelle als auch die beobachtete transversale Grenzschichtstruktur. Die Anzeige des Prestonrohres bleibt dadurch praktisch unbeeinflusst.

Untersuchungen verschiedener Strömungsfälle mit positiven Druckgradienten haben gezeigt, dass das Prestonrohr die Schubspannung auch unterbewerten kann. Diese Feststellung steht im Einklang mit den Geschwindigkeitsprofilen, welche in Wandnähe wohl noch einen logarithmischen Charakter haben, aber deutlich veränderte Definitionswerte der Geraden aufweisen können. Dass in solchen Fällen die Ähnlichkeit mit der Kanalströmung, welche eine Bedingung für eine fehlerfreie Prestonrohranzeige darstellt, nicht erhalten ist, bestätigen auch die dimensionslosen Turbulenzprofile.

Die Bestimmung der universellen Geschwindigkeitsprofile hat das Problem ans Licht gerückt, dass wohl mit der Waage und dem traversierenden Prestonrohr die lokale Schubspannungsgeschwindigkeit sehr genau angegeben werden kann, dass

aber auch mit den besten Hitzdrahtanlagen die Geschwindigkeit in Wandnähe nur unsicher zu ermitteln ist. Hinsichtlich einer zukünftigen systematischen Untersuchung der Wandgesetze wären diesbezügliche Verbesserungen zu begrüßen.

Um ein besseres Verständnis für die Mechanismen von Grenzschichten zu erhalten, welche sich in Wandnähe nicht universell verhalten, wäre es zudem sinnvoll, Messungen entlang der Grenzschicht durchzuführen. Dabei würde es sich lohnen, sich systematisch von Gleichgewichtsgrenzschichten ausgehend an extremere Strömungen (wie KK3÷KK5) heranzutasten.

Das während dieser Arbeit entwickelte Instrumentarium birgt ein grosses Potential in sich, das erst teilweise genutzt wurde. So liesse sich damit z.B. beim aktuellen Thema der Widerstandsverminderung durch Schneiden von Grenzschichten die Änderung der Wandschubspannung direkt, genau und auch im Druckgradient bestimmen.