

Diss. ETH 7531

ANZEIGE DES PRESTONROHRES IM DRUCKGRADIENT

ABHANDLUNG

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

vorgelegt von

FELIX HIRT

dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 21. Juli 1952
von Rheinau (Kt. Zürich)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. Thomann, Referent
Prof. Dr. B. Chaix, Korreferent

1984

Lauf­länge unter der Wirkung eines Druckgradienten und die Wandschubspannung fällt monoton ab. Die Geschwindigkeitsprofile der Grenzschicht "ZK" werden in Abb. 57 dargestellt. Man erkennt in Wandnähe eine recht gute Uebereinstimmung mit dem universellen Geschwindigkeitsgesetz.

Es scheint, als ob eine rasche Druckentlastung ($\frac{dp}{dx} \rightarrow 0$) sich in Wandnähe ähnlich auf die Turbulenzeigenschaften auswirkt, wie wenn diese an der Wand selbst gestört wird. Veränderungen der wandnahen Turbulenzeigenschaften in Folge einer sprunghaften Änderung der Rauigkeit sind von R.A. ANTONIA & R.E. LUXTON (1971) festgestellt worden. Der Einfluss einer massiven Störung der Turbulenzstruktur auf die Anzeige des Prestonrohres ist von S. KISKE et al (1981) untersucht worden. Es handelt sich dabei um eine Grenzschicht, die beim Wiederanlegen der Strömung nach einer rückwärtsabgesetzten Stufe entsteht. Beide Untersuchungen zeigen ähnliche Tendenzen im Verlauf der wandnahen Geschwindigkeitsprofile wie sie in den vorliegenden Grenzschichten aufgetreten sind. Die wandnahen Geschwindigkeitsprofile liegen nach der Störung deutlich unter dem universellen Geschwindigkeitsgesetz wobei die Autoren S. KISKE et al ebenfalls ein Unterschätzen der Wandschubspannung durch das Prestonrohr festgestellt haben.

7.3 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Bisherige Untersuchungen, D. FREI (1980), über die Anzeige des Prestonrohres im Druckgradient haben ergeben, dass die Kalibrierung recht gut durch lokale Parameter beschrieben werden kann. Dabei hat das Prestonrohr die Wandschubspannung stets überschätzt. In dieser Arbeit ist die Anzeige des Prestonrohres in verschiedenen Grenzschichten mit speziellen Druckverläufen untersucht worden. Es hat sich dabei herausgestellt, dass entlang dieser Grenzschichten sowohl Gebiete existieren in denen das Prestonrohr den tatsächlichen Wert überschätzt als auch solche in denen es zuwenig anzeigt. Im Hinblick auf eine Korrelation des Fehlers mit Strömungsgrößen sind verschiedene lokale Parameter entlang der Grenzschicht untersucht worden. Für einen typischen Fall zeigt Abb. 58 den Verlauf dieser Größen sowie den angezeigten Fehler eines Prestonrohres über der Lauf­länge. Keiner dieser Parameter verhält sich affin zum Verlauf des Fehlers über der Lauf­länge. Eine Korrelation aller untersuchten Fälle mit einem dieser Parameter oder eine Kombination davon ist nicht gefunden worden.

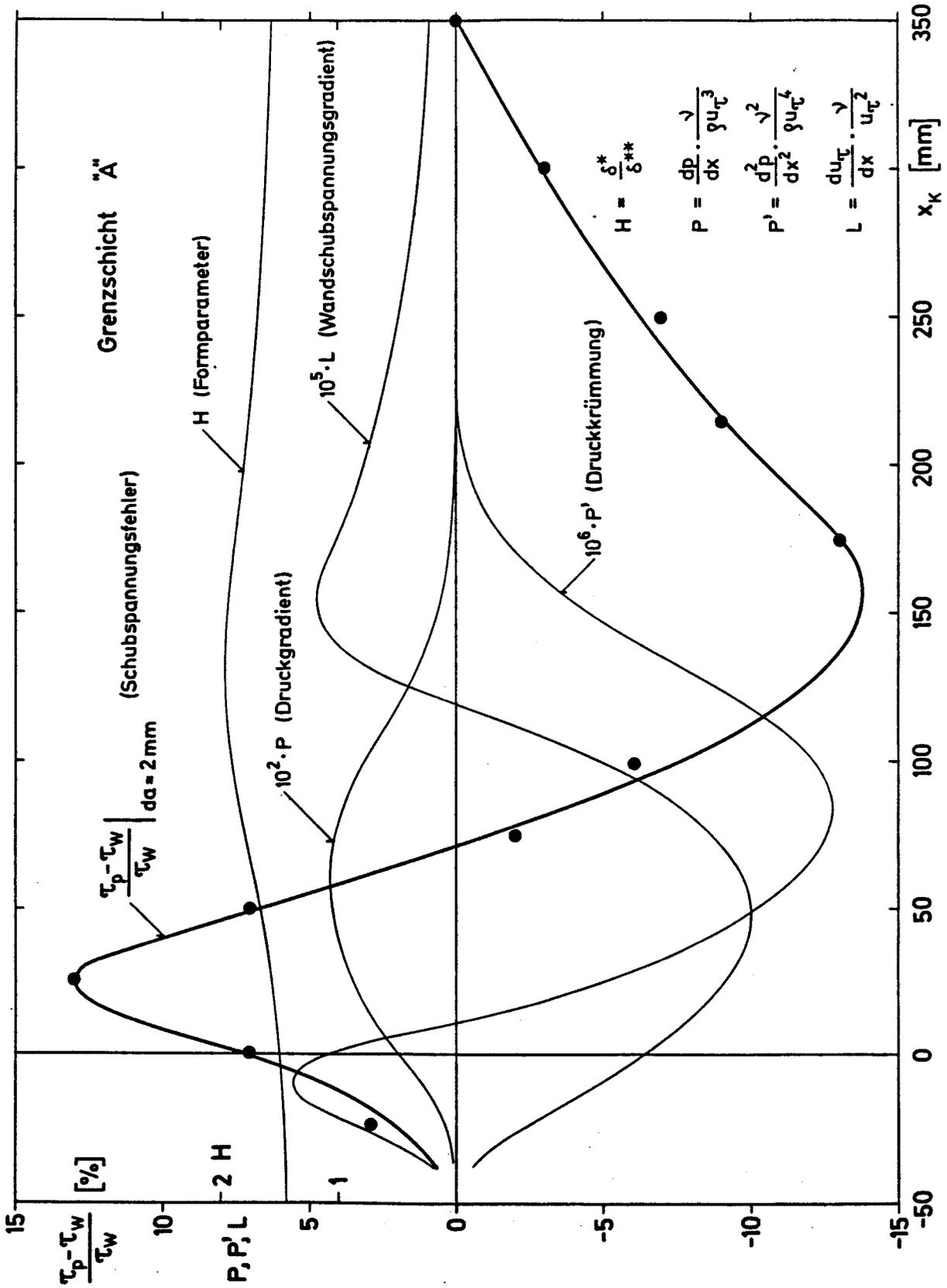


Abb. 58: Verlauf des Prestonrohrfehlers (da = 2 mm) und der Strömungsparameter über der Lauflänge

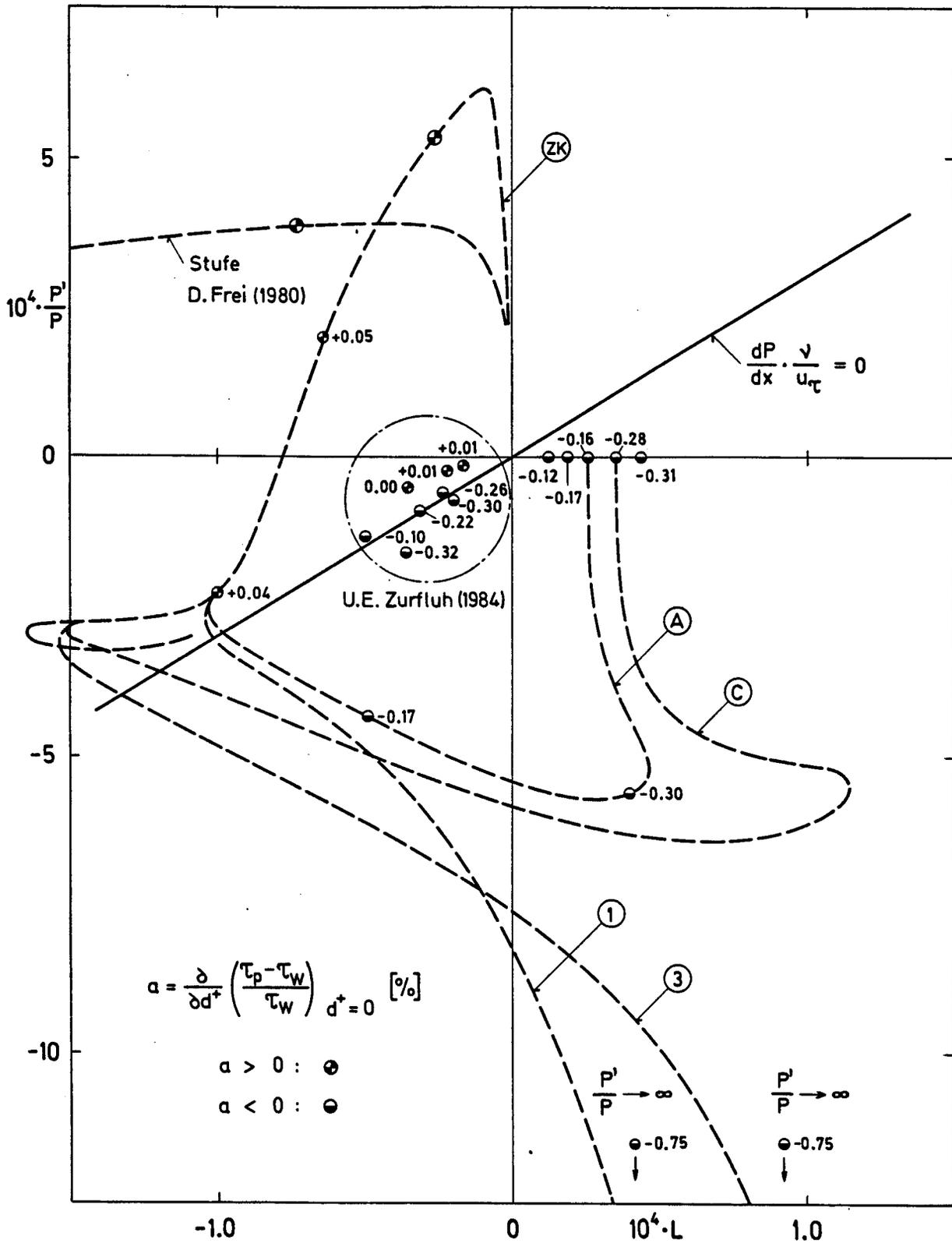


Abb. 59: Anzeigetendenz des Prestonrohres in Abhängigkeit der untersuchten Strömungsparameter

Da die Fehlerverläufe stark vom Rohrdurchmesser abhängen wird ein neuer Parameter a definiert, sodass in Wandnähe ($d^+ < 50$) die Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser wegfällt:

$$a = \frac{\partial}{\partial d^+} \left(\frac{\tau_p - \tau_w}{\tau_w} \right)_{d^+=0}$$

Das Vorzeichen dieses Wertes gibt dann die zu erwartende Tendenz in der Anzeige an. Um wenigstens für den Benutzer des Prestonrohres einen Anhaltspunkt über die Anzeige zu geben, werden die gemessenen Werte in einem Parameterdiagramm eingezeichnet. In diesem Diagramm enthält die Ordinate die Druckinformation P'/P und die Abszisse beschreibt den Trägheitsparameter L . Alle Parameter erscheinen ferner in der Ableitung:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \cdot \frac{dP}{dx} = P' - 3L \cdot P$$

Die Resultate in Abb. 59 zeigen, dass vor allem für $dP/dx < 0$ das Prestonrohr zu wenig anzeigt, hingegen sind im Gebiet $dP/dx > 0$ vorwiegend positive Fehler beobachtet worden.

Da das Prestonrohr seine Information aus dem Geschwindigkeitsprofil entnimmt, kann die Anzeige nur durch die systematische Erforschung der Strömung selbst und durch die Untersuchung des Uebertragungsverhaltens richtig verstanden werden. Zur Erforschung der Strömung gehören vor allem Messungen der Geschwindigkeitsschwankungen, die in dieser Arbeit nicht durchgeführt worden sind. Von Interesse ist zudem eine genaue Erfassung der Grenze im Druckverlauf, bei der die wandnahe Strömung noch durch lokale Größen beschrieben werden kann. Dazu erscheint es mir am sinnvollsten, wenn von einer Gleichgewichtsgrenzschicht ausgegangen wird, weil diese die einfachste Strömung mit Druckgradient darstellt. Da für solche Grenzschichten auch erprobte Rechenmodelle existieren, kann eine numerische Simulation nützliche Quervergleiche liefern. Abweichungen von der Gleichgewichtsgrenzschicht bezüglich der wandnahen Strömungseigenschaften könnten eventuell mit einem Relaxationsmodell erfasst werden, das zugleich einen Längen- oder Zeitmassstab für die Korrektur des Prestonrohres liefern würde.

Vom Uebertragungsverhalten des Prestonrohres ist der funktionale Zusammenhang zwischen der Wandschubspannung und dem angezeigten Staudruck weitgehend unbekannt. Man nimmt an, dass das Prestonrohr ein fiktives Zentrum besitzt, in dem der Staudruck der entsprechenden Schergeschwindigkeit gemessen wird. Mit dieser Annahme und der Gültigkeit des logarithmischen Wandgesetzes konnte die Eichung bei schwachem Druckgradient durchgeführt werden. Sobald das wandnahe Geschwindigkeitsprofil unterhalb diesem logarithmischen Gesetz verläuft, wird die Wandschubspannung durch das Prestonrohr unterschätzt. Die ursprüngliche Idee nach einer universellen Verwendung des Prestonrohres im Druckgradient muss nach dieser Arbeit eher in Frage gestellt werden. Wenn für eine Korrektur ohnehin eine erhebliche zusätzliche Information benötigt wird, dann verliert das Prestonrohr seine Attraktivität als universelles Wandschubspannungsmessgerät im Druckgradient. Ein Ausweichen auf eine Messung in der laminaren Unterschicht scheint auch nicht gerade unproblematisch zu sein, da die Strömung dort in hohem Masse dreidimensional ist, wie S.J. KLINE et al (1967) gezeigt haben.

Diese Arbeit stellt nicht ein abgeschlossenes Resultat dar. Sie zeigt vielmehr Grenzen in der Anwendung von Prestonrohren auf und soll als Anregung für weitere Arbeiten auf diesem Gebiet verstanden werden.

Zürich, Februar 1984