

# EXPERIMENTE IN DER STRÖMUNGSMECHANIK I: MODELLUNTERUCHUNGEN IM ÜBUNGLABOR

## Experiment **a**:

### Übung "Wasserfreistrah"

Für die Strömung in einem horizontalen Rohr ( $D = 100 \text{ mm}$ ) mit Abschlussblende und den austretenden Wasserfreistrah (Bild 1.1) soll die Übereinstimmung zwischen Messung und vereinfachter analytischer Behandlung untersucht werden. Es handelt sich dabei um einen Strömungsvorgang, der in Bezug auf die Verhältnisse im Rohr überwiegend durch Druck- und Trägheitskräfte und in Bezug auf den Freistrah überwiegend durch Schwere- und Trägheitskraft bestimmt wird.

Untersuchungen dieser Art sind typisch für die Ermittlung der Druckverhältnisse an Rohrverengungsstellen, der Belastung von Verschlussorganen sowie der Kräfte von Freistrahlen auf Bauwerke (z.B. hinter Kegelstrahlschiebern oder bei Sprungschanzen).

#### Vorbereitung und Durchführung der Messungen:

- 1) Überprüfung der Messeinrichtungen:
  - Entlüften der Druckmeßschläuche.
  - Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Pendelwaage; die Vorbelastung ist festzustellen (systembedingt).
  - Abstand der Spitzen des Doppelhakenspitzenaster feststellen (Anlage 1.2).
- 2) Messungen für jeweils zwei verschiedene Durchflüsse:

$Q_1 = Q_{\max}$  (systembedingt, Wasserspiegel B im Hochbehälter etwa 63 cm über der Rohrachse).

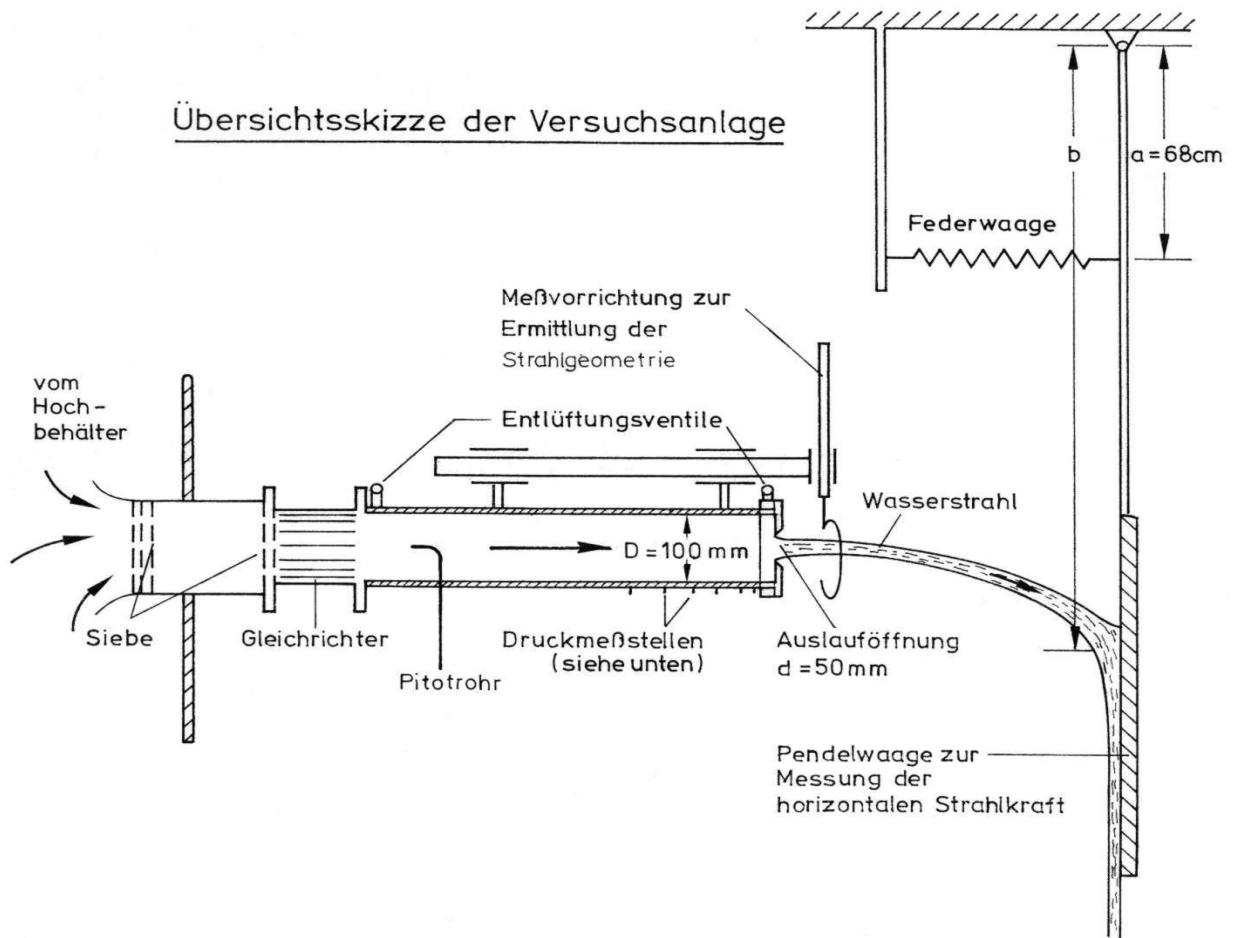
$Q_2$  für Wasserspiegel B im Hochbehälter 60 cm  $> B >$  40 cm über der Rohrachse.

  - a) Ermittlung der Horizontalkraft des Strahles in zwei Abständen vom Rohr (55 cm und 95 cm für  $Q_1$ ; 55 cm und 70 cm für  $Q_2$  mit Hilfe der Federwaage (Anlage 1.1))
  - b) Ermittlung des Koordinatenursprungs  $x'$  in der Vena Contracta sowie des Verlaufs des oberen und unteren Strahlrandes (Anlage 1.2).
  - c) Ermittlung der Druckverteilung im Rohr und an der Blende (Anlage 1.3).
  - d) Ermittlung von  $\frac{P_D}{\gamma}$  und  $(\frac{P_D}{\gamma} + a)$  am Pitotrohr (vgl. Bild 1.1 und 1.3).

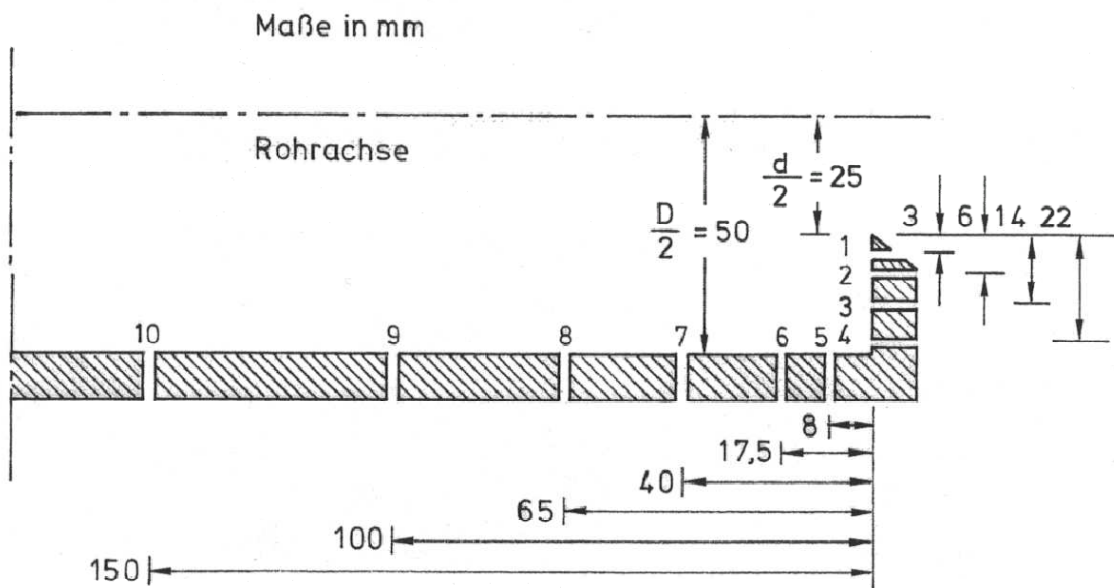
## Auswertung der Messungen

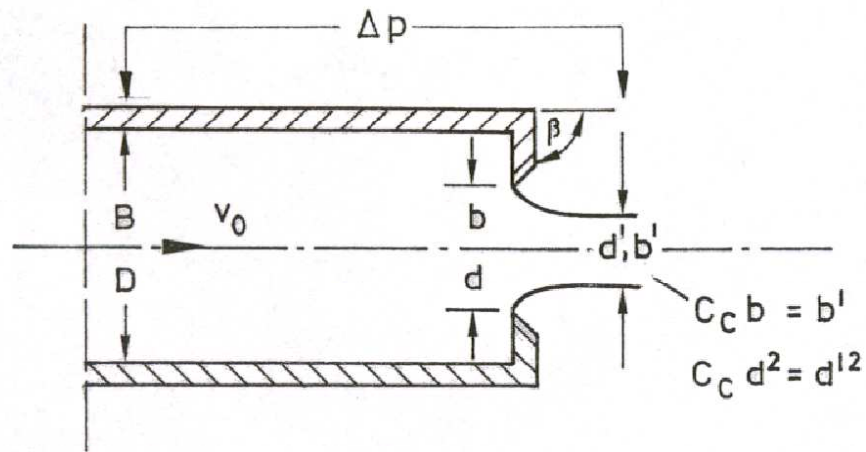
- 3) Berechnung der Kenngrößen
  - a) Berechnung der Durchflüsse  $Q_1$  und  $Q_2$  unter Berücksichtigung des Geschwindigkeitsmaximums in Rohrmitte am Pitotrohr (vgl. Bild 1.3) und Bestimmung der mittleren Geschwindigkeitshöhen  $V_D^2/2g$
  - b) Berechnung der  $C_C$ -Werte über einen Bernoulli-Vergleich zwischen den Querschnitten am Pitotrohr und an der Strahleinschnürung. Vergleich mit  $C_C$ -Werten ermittelt aus der Messung mit dem Doppelhaken-Spizentaster.
  - c) Ermittlung der  $C_q$ -Werte für  $Q_1$  und  $Q_2$  mit Hilfe der errechneten  $C_C$ -Werte (vgl. auch Bild 1.2 oben).
  - d) Berechnung der Froude-Zahlen  $Fr_d = \frac{v}{\sqrt{gd}}$
- 4) Darstellung der Strahlachse aus den gemessenen Strahlrändern und Vergleich mit dem theoretischen ermittelten Verlauf.
- 5) Bestimmung der Druckkraft auf die Abschlussblende des Rohres
  - a) aus den Druckmessungen,
  - b) durch Anwendung des Impulssatzes.
- 6) Bestimmung der vom Strahl auf die Pendelwaage ausgeübten horizontalen Kraftkomponente und Vergleich mit dem über den Impulssatz ermittelten Wert.
- 7) Darstellung des Druckverlaufs an der Rohrunterseite über die Druckmessstellen 5 – 10 (vgl. Bild 1.1).
- 8) Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf
  - a) Übereinstimmung der experimentell und theoretisch ermittelten Ergebnisse in Bezug auf den Strahlverlauf und die Kraft auf die Prallplatte (prozentuale Abweichung, Fehlerbetrachtung),
  - b) Einfluss der Schwerkraft,
  - c) Aussagewert der Versuche für andere Abmessungen und Durchflüsse.

## Übersichtsskizze der Versuchsanlage



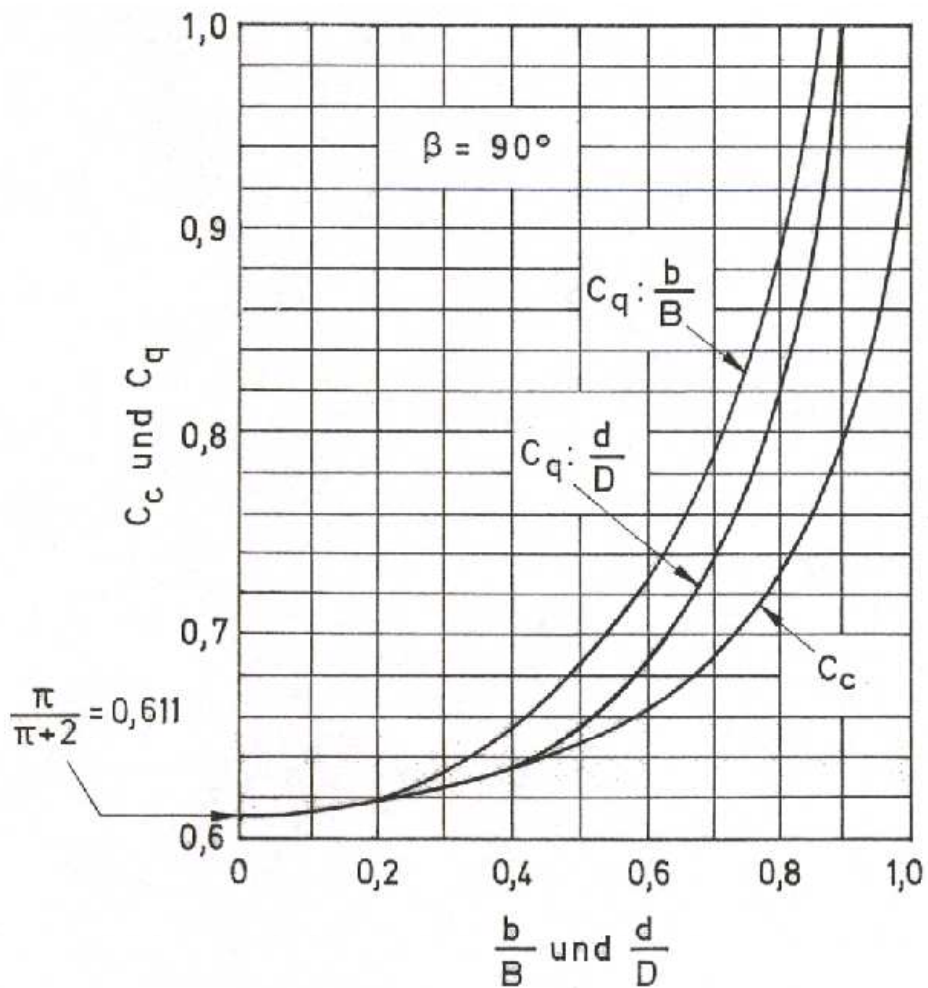
## Anordnung der Druckmeßstellen





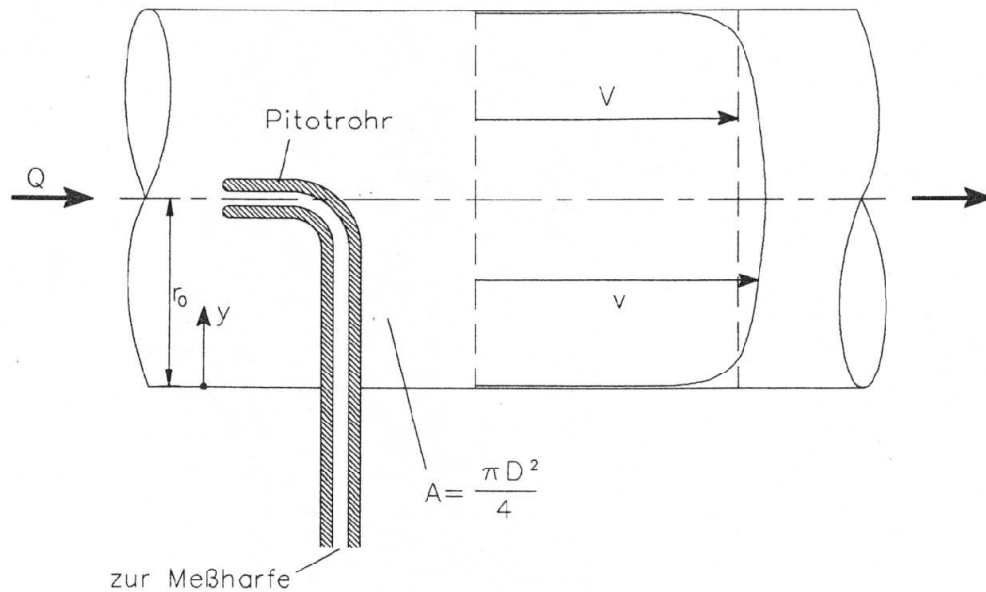
$$C_q = \frac{C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 (b/B)^2}}; \quad C_q = \frac{C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 (d/D)^4}} \cong \frac{Q / \frac{\pi d^2}{4}}{\sqrt{2 \frac{\Delta p}{p}}}$$

(2- dimensional)                      (Kreisquerschnitt)



Kontraktions  $C_c$ - und Abflussbeiwerte  $C_q$  für plötzliche Verengungen (gilt für  $Fr \rightarrow \infty$ )

**Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit  $V=Q/A$  mit Hilfe des Pitotrohres  
(in Rohrachse positioniert)**



Da bei der kurzen Anlaufstrecke zwischen dem Behälter und dem Pitotrohr keine „ausgeprägte“ Geschwindigkeitsverteilung bei einer Rohrströmung vorliegt, kann bei den vorliegenden Experimenten bei unterschiedlich hohen Behälterspiegeln am Pitotrohr von einem Geschwindigkeitsverhältnis  $v/V = 1,3$  ausgegangen werden.

**Rohrmitte:  $v/V = 1,3$  (1)**

Wassersäulen-Differenz zwischen  $(p/\gamma)$  und  $(p/\gamma + v^2/2g)$  am Pitotrohr

**$V^2/2g = a$  [m] (messen!) (2)**

Aus (1) und (2) ergibt sich:

$$V = \sqrt{a2g} / 1,3$$

## Ermittlung der vom Strahl auf die Pendelwaage ausgeübten horizontalen Kraftkomponente

Nullablesung der Federwaage: \_\_\_\_\_ [N]  
(Vorbelastung)

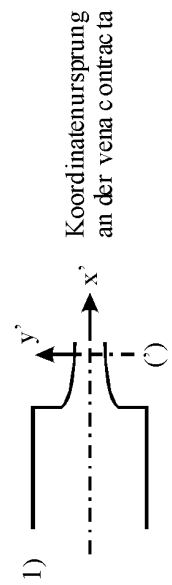
		Q <sub>1</sub> =	l/s	Q <sub>2</sub> =	l/s
Abstand von der Rohrvorderseite	[cm]	55	95	55	70
Federkraftablesung	[N]				
Hebelarmablesung (Hb-a)	[cm]				
Hebelarm gesamt (Hb)	[cm]				
Kraft gemessen F	[N]				
Kraft aus Impulsberechnung F <sub>I</sub>	[N]				
$\frac{F_M - F_I}{F_M} \cdot 100$					

(vgl. Bild 1.1)

Ermittlung des Strahlverlaufs

		Q <sub>1</sub> =							Q <sub>2</sub> =								
		l/s							l/s								
Abst. v. d. Rohr- vorderseite [cm]	x' [cm]	0	10	20	30	40	50	60	70	0	10	20	30	40	50	60	70
			0									0	0				
oben	1.																
	2.																
	Mittel																
unten	1.																
	2.																
	Mittel																
Achslage	y' <sub>M</sub> [cm]																
	x' [cm]																
	y' <sub>+</sub> [cm]																
	$\frac{((y'_M - y'_D) / y'_M)}{100}$																

Abstand der Spitzen des Doppelhaken-Spitzentasters: \_\_\_\_\_ mm



y'<sub>M</sub> = y' aus Messung  
y'<sub>r</sub> = y' aus theoretischer  
Berechnung

## Druckmessung an der Abschlussblende und an der Rohrwand

		Meßstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	B
$Q_1 =$	$1/s$	Ablsg. a											
		Ablsg. b											
		(Ablsg.) Mittel											
		$\frac{p_i}{\gamma}$ [cm]											

$Q_1$		H	$\frac{p}{\gamma + z}$
	Ablsg. a		
	Ablsg. b		

$Q_2 =$	$1/s$	Ablsg. a											
		Ablsg. b											
		(Ablsg.) Mittel											
		$\frac{p_i}{\gamma}$ [cm]											

$Q_2$		H	$\frac{p}{\gamma + z}$
	Ablsg. a		
	Ablsg. b		

Ablesung 0 = 48,6 cm auf der Messharfe  
 $\cong$  geodätische Höhe Rohrachse