

Dr.-Ing. Peter Wulf - Raum F219a
<http://www.mp.haw-hamburg.de/pers/Wulf/>

7. Einführung Durchflußmesstechnik

- Volumetrische Messung
- Wirkdruckverfahren
 - Normblende
 - Normdüse
 - Venturidüse

Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion

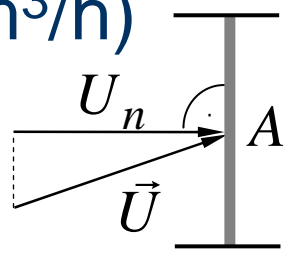


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Stand: 2009-06-30

- ⇒ **Volumenstrom:** $\dot{V} = \bar{U} A = \int U_n dA$ (Einheit: m³/s oder m³/h)
- Normalenkomponente
der Geschwindigkeit
- ⇒ Mittlere Geschwindigkeit im Querschnitt A: $\bar{U} = \frac{1}{A} \int U_n dA$
- ⇒ **Massenstrom:** $\dot{m} = dm / dt = \int_A \rho U_n dA$ (Einheit: kg/s)
- ⇒ Massenstrom zu Volumenstrom ($\rho = \text{const}$): $\dot{m} = \rho \int_A U_n dA = \rho \dot{V}$
- ⇒ **Unmittelbare Messverfahren**
- ⇒ Gesamter Volumenstrom wird fortlaufend in Teilvolumen zerlegt
 - ⇒ Teilvolumen werden in Meßkammern gemessen und gezählt
 - ⇒ Für die Messung tropfbarer Fluide gut geeignet
- ⇒ **Mittelbare Messverfahren**
- ⇒ Indirekte Ermittlung des Volumenstroms anhand einer anderen Größe, wie z.B. der Drehzahl



Wichtige Volumenstrommessverfahren

- ⇒ Volumetrische Messung der Verdrängung, z.B. im Ovalradzähler, Turbinendurchflussmesser, Woltmann-Flügel
- ⇒ Messung der Druckdifferenz an einem Drosselgerät, z.B. einer Blende oder Düse (Wirkdruckverfahren) *(in diesem Kap.)*
- ⇒ Ausnutzung des Staudrucks mit einer Stauscheibe oder einem Schwebekörper; auch lokale Geschwindigkeitsmessung mit dem Pitot- oder Prandtlrohr *(s. Kap. 4)*
- ⇒ Magnetisch-induktiver Durchflussmesser (bei leitfähigen Fluiden)
- ⇒ Ultraschalldurchflussmesser (Laufzeitmessung einer Ultraschallwelle im strömenden Fluid)
- ⇒ Frequenzmessung abgehender Wirbel hinter einem Störkörper (Wirbelfrequenzdurchflussmesser)

Übersicht volumetrische Verfahren (Zähler!)

Meßverfahren	Zählertyp	Bauart	Ausführung	Meßgut
Unmittelbare Volumenmessungen mit Meßkammern	Volumenzähler mit festen Meßkammerwänden (Auslaufzähler)	feststehende Meßgefäße kippendes Meßgefäß rotierendes Meßgefäß	Meßgefäße mit automatischer Umschaltung Kippzähler Trommelzähler	Flüssigkeit
	Volumenzähler mit beweglichen Meßkammerwänden (Verdrängungszähler)	Hubkolben Drehkolben Sperrflüssigkeit deformierbare Trennwand	Einkolbenzähler Mehrkolbenzähler Ringkolbenzähler Ovalradzähler Taumelscheibenz. Drehkolbengasz. trockene Gaszähler nasse Gaszähler	Gase
Mittelbare Volumenmessung ohne Meßkammern	Volumenzähler mit Meßflügeln (Turbinenzähler)	tangent. Beaufschlagung axiale Beaufschlagung	Flügelradzähler Woltmann-Zähler Turbinenzähler Schraubenradgaszähler	Flüssigkeit Flüssigkeit und Gase

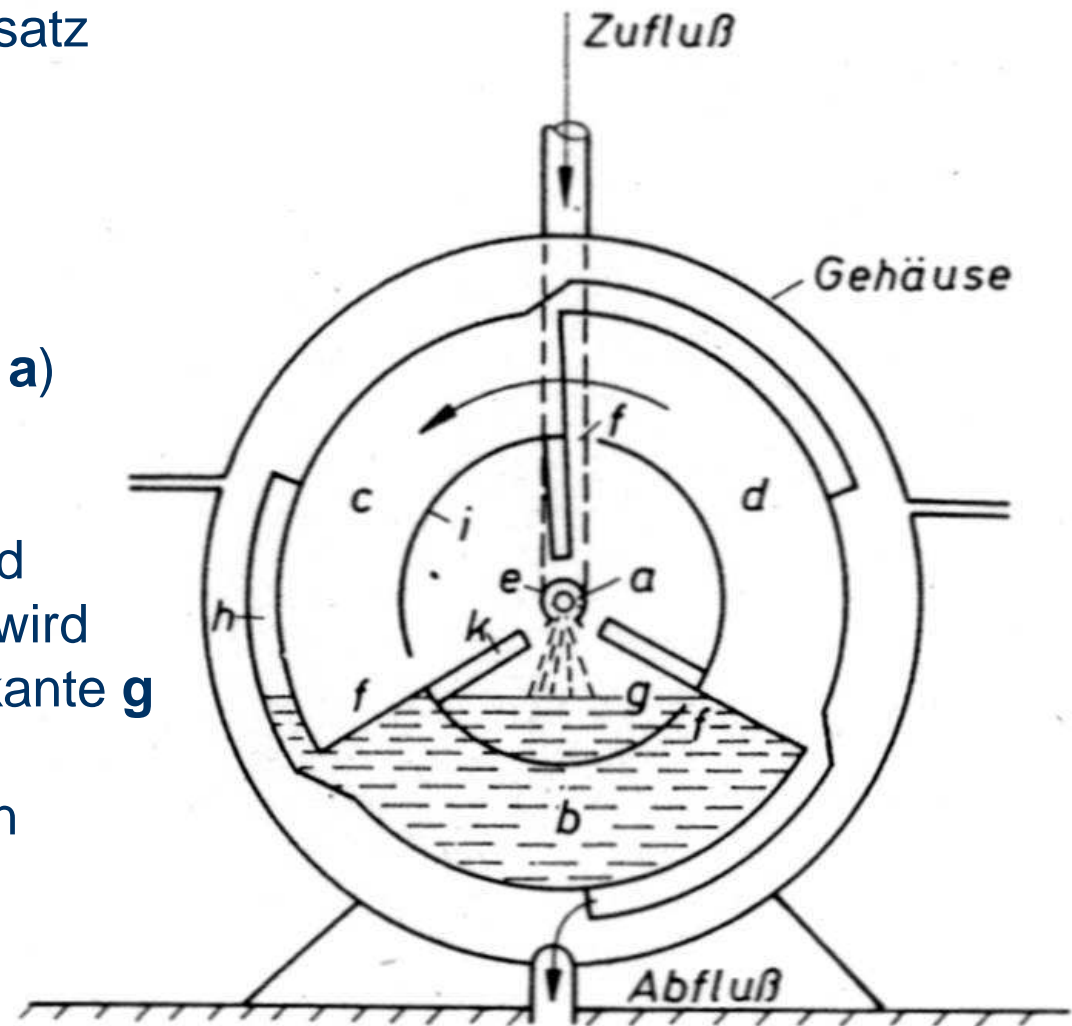
Beispiel Trommelzähler

⇒ Volumenzähler mit festen Messkammerwänden

- 👍 Messung stark verschmutzter Flüssigkeiten möglich
- 👍 Geringe Druckverluste
- 👎 Geringer bis mäßiger Volumendurchsatz
- 👎 Diskontinuierliche Förderung

⇒ Funktionsweise

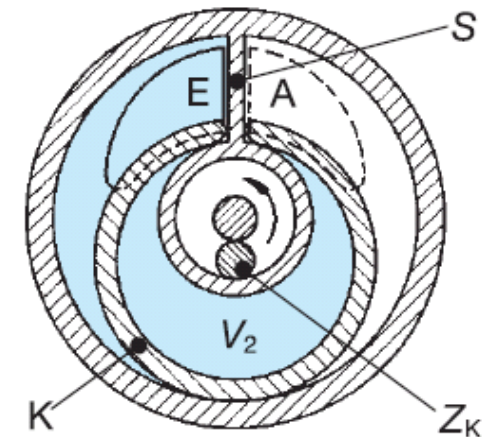
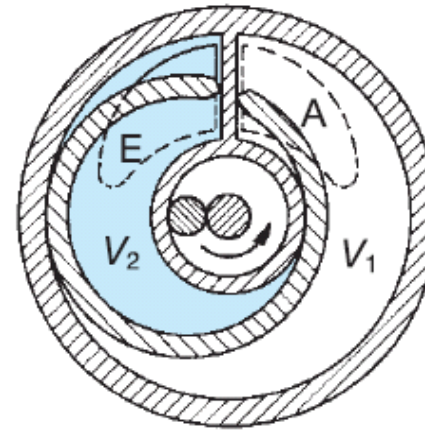
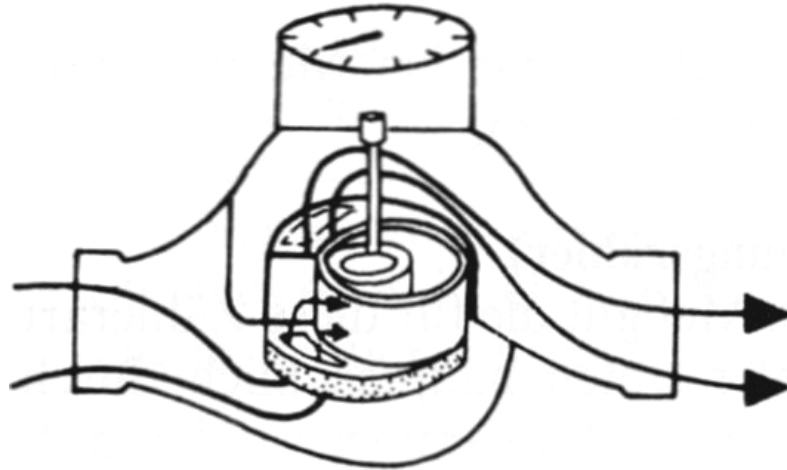
- ⇒ Mehrkammertrommel (Lagerung bei **a**)
- ⇒ Einströmen bei **e**
- ⇒ Füllung der Kammer **b**
- ⇒ Verschiebung des Schwerpunkts und Drehung wenn **h** (Teil von **b**) gefüllt wird
- ⇒ Füllung von Kammer **c** wenn Trennkante **g** aus der Flüssigkeit auftaucht
- ⇒ Bei weiterer Drehung Entleerung von Kammer **b** durch Kanal **h**
- ⇒ Entlüftung durch Rohre **k**



Beispiel Ringkolbenzähler

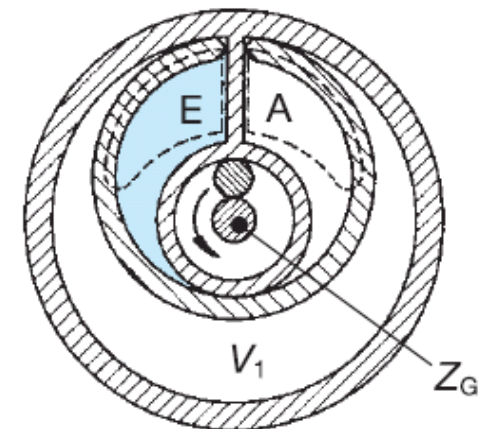
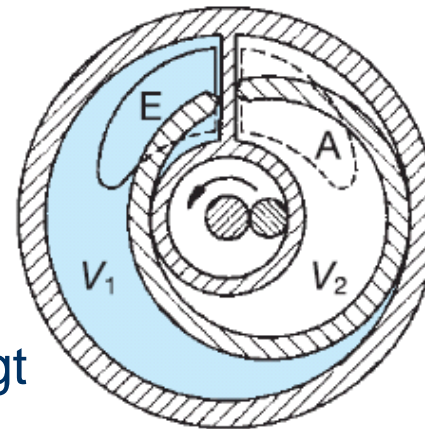
⇒ Volumenzähler mit beweglichen Messkammerwänden

- 👍 Hohe Genauigkeit auch bei kleinen Durchsätzen
- 👍 Arbeitet in beide Strömungsrichtungen
- 👎 Störungsempfindlich bezüglich Verschmutzungen (ggf. Filter)
- 👎 Volumenverluste durch Spalte



⇒ Funktionsweise

- ⇒ Unterteilung des Ringkanals in Volumen V_1 und V_2 durch Ringkolben
- ⇒ Strömung im Ringkanal von E (Eingang) zu A (Ausgang)
- ⇒ Ringkolben wird durch Strömung bewegt (Umdrehungen ~ Volumendurchsatz)



Beispiel Ovalradzähler

⇒ Volumenzähler mit beweglichen Messkammerwänden

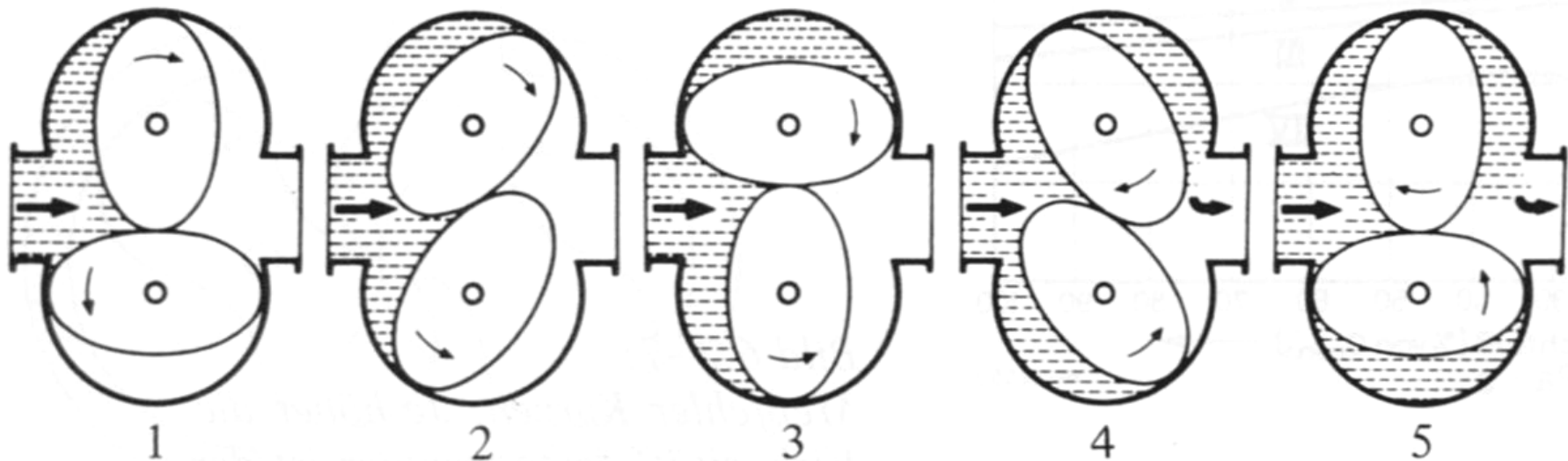
- 👍 Schnellläufer mit hohen Durchsätzen
- 👍 Wenig Pulsation bei Einsatz von Ausgleichsgetrieben
- 👎 Druckverluste durch Reibung
- 👎 Volumenverluste durch Toleranzen in der Verzahnung und durch Spalte

⇒ Funktionsweise

⇒ Zwei Ovalräder

- ⇒ die über eine Verzahnung ineinander greifen
- ⇒ die an dem Gehäusemantel abrollen

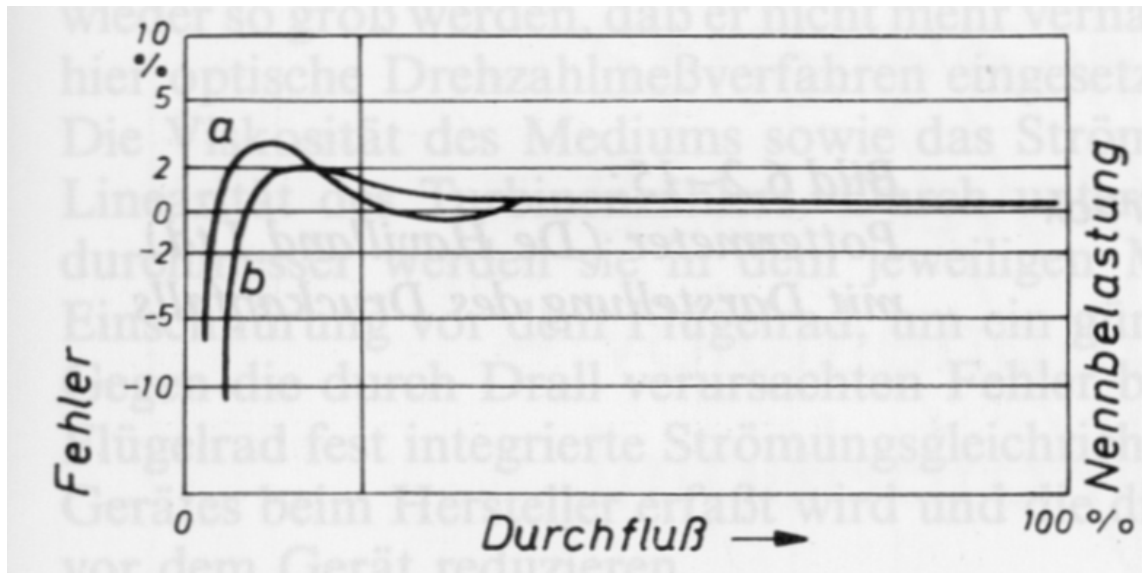
⇒ Antrieb aus Druckdifferenzen an beiden (2, 4,) oder einem Ovalrad (1, 5: unteres Rad, 3: oberes Rad)



Beispiel Woltmann-Zähler

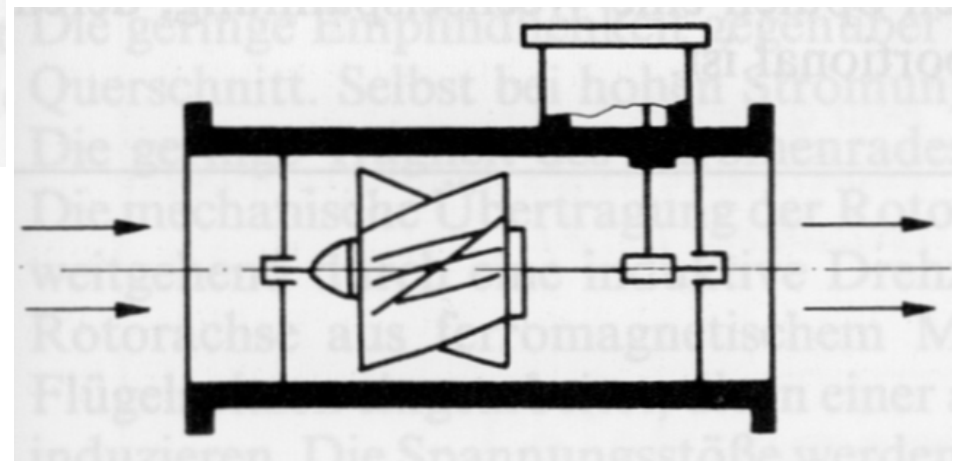
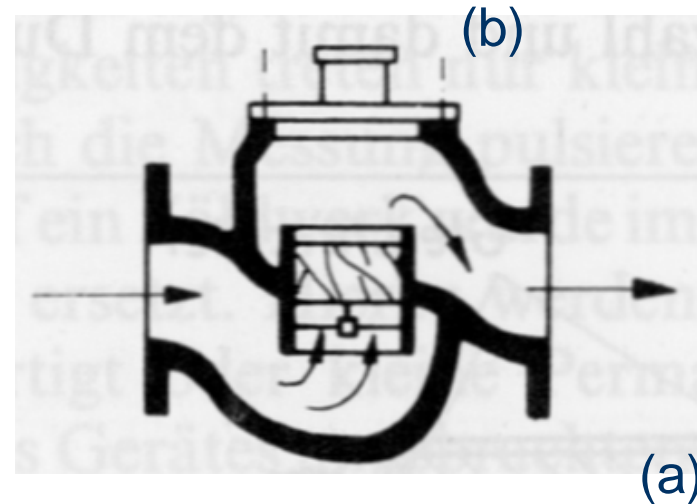
⇒ Volumenzähler mit Messflügeln (Turbinenzähler)

- 👍 Hohe Durchsätze möglich
- 👍 Lagerentlastung bei senkrechter Bauweise durch hydrostatischen Auftrieb
- 👎 Benötigt drallfreie Zuströmung: Längere gerade Rohrstrecke oder Gleichrichter notwendig
- 👎 Fehleranfällig bei kleinen Durchsätzen



⇒ Funktionsweise

- ⇒ Durchströmter konzentrischer Ringkanal
- ⇒ Strömung treibt das Laufrad an
- ⇒ Axiale (a) und senkrechte (b) Bauweise



Übersicht Wirkdruckverfahren

⇒ Prinzip

⇒ Messung des Druckverlusts bzw. des **Wirkdrucks** Δp über eine Drossel bzw. Querschnittsverengung $A_0 \rightarrow A_1$

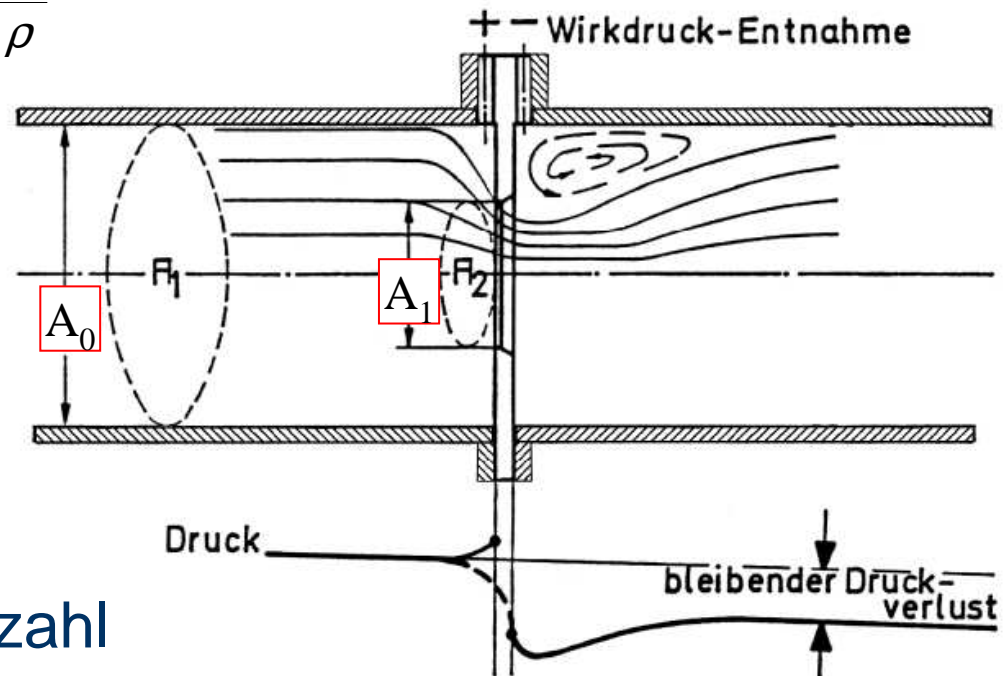
⇒ Ansatz für den Druckverlust $\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} U_1^2$ bzw. $U_1 = \frac{1}{\sqrt{\zeta}} \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$

⇒ Volumenstrom $\dot{V} = U_1 A_1 = \frac{A_1}{\sqrt{\zeta}} \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$

⇒ Bsp.: Strömungsfeld und Druckverlust an einer Blende

⇒ Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren und Umrechnung auf A_0

$$\dot{V} = \alpha \varepsilon m A_0 \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \text{Durchflußzahl} \\ m = \text{Flächenverhältnis } A_1/A_0 \\ \varepsilon = \text{Beiwert für kompressible Strömungen} \\ (\varepsilon=1 \text{ bei } \rho=\text{const}, \varepsilon<1 \text{ wenn kompressibel}) \end{array} \right.$$



Quelle: ?

Allgemeine Herleitung

⇒ Flächenverhältnis (Öffnungsverhältnis) $m = A_1 / A_0 < 1$

⇒ Massenerhaltung $\dot{m} = \rho A_0 U_0 = \rho A_1 U_1 = \text{const}$ $U_0 = U_1 \frac{A_1}{A_0} = m U_1$

⇒ Bernoulli-Gleichung (ohne Höhendifferenz)

$$\frac{1}{2} \rho U_0^2 + p_0 = \frac{1}{2} \rho U_1^2 + p_1 = \text{const}$$

$$p_0 - p_1 = \frac{\rho}{2} (U_1^2 - U_0^2) \quad p_0 - p_1 = \frac{\rho}{2} U_1^2 (1 - m^2)$$

$$U_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{1}{1 - m^2} (p_0 - p_1)}$$

⇒ Volumenstrom $\dot{V} = A_1 U_1 = A_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{1}{1 - m^2} (p_0 - p_1)} = \frac{m A_0}{\sqrt{1 - m^2}} \sqrt{2 \frac{p_0 - p_1}{\rho}}$

⇒ Korrektur um empirischen Beiwert für Reibung, Strahleinschnürung und Art der Druckentnahme $\left. \vphantom{\frac{m A_0}{\sqrt{1 - m^2}}} \right\} \dot{V} = \alpha m A_0 \sqrt{2 \frac{p_0 - p_1}{\rho}}$

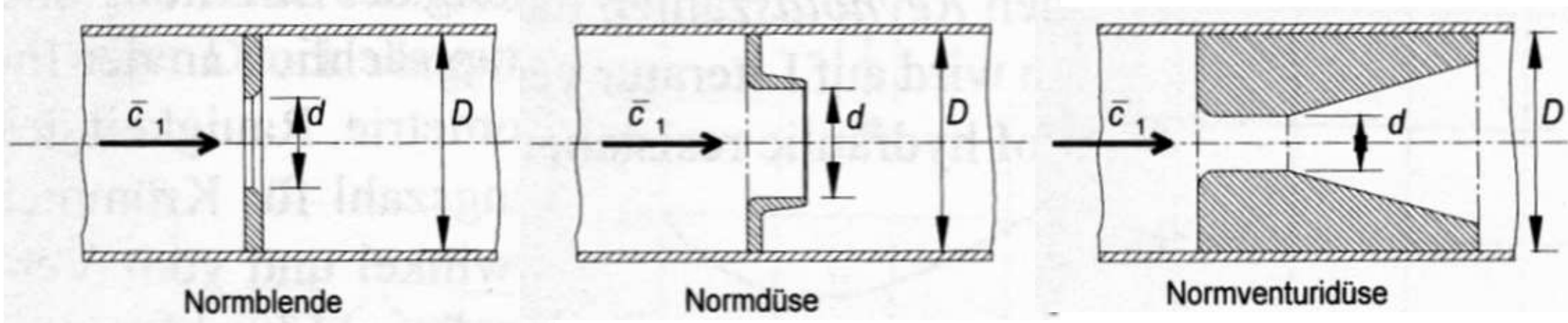
⇒ **Durchflussszahl** $\alpha = \alpha(m, \text{Re})$, $\text{Re} = \rho D U / \eta$

⇒ Erfassung von Kompressibilitätseffekten mit ε

$$\dot{V} = \alpha \varepsilon m A_0 \sqrt{2 \frac{p_0 - p_1}{\rho}}$$

Bauformen

⇒ Drei Bauformen nach ISO 5167 bzw. DIN 1952



Vorteile Blende:

- ⇒ geringe Herstellungskosten
- ⇒ einfache Geometrie

Nachteile Blende

- ⇒ Empfindlich gegenüber Schmutz an der Einlaufkante
- ⇒ Hoher Druckverlust

Vorteile Düsen:

- ⇒ Gerundete Einlaufkante (Schmutzempfindlichkeit gering)
- ⇒ Geometrie kann maßstabsgerecht angepasst werden
- ⇒ Geringere Druckverluste

Nachteile Düsen:

- ⇒ Große Baulängen (Venturidüse)
- ⇒ Teure Herstellung

Durchflusszahlen einer Normblende

Quelle: ?

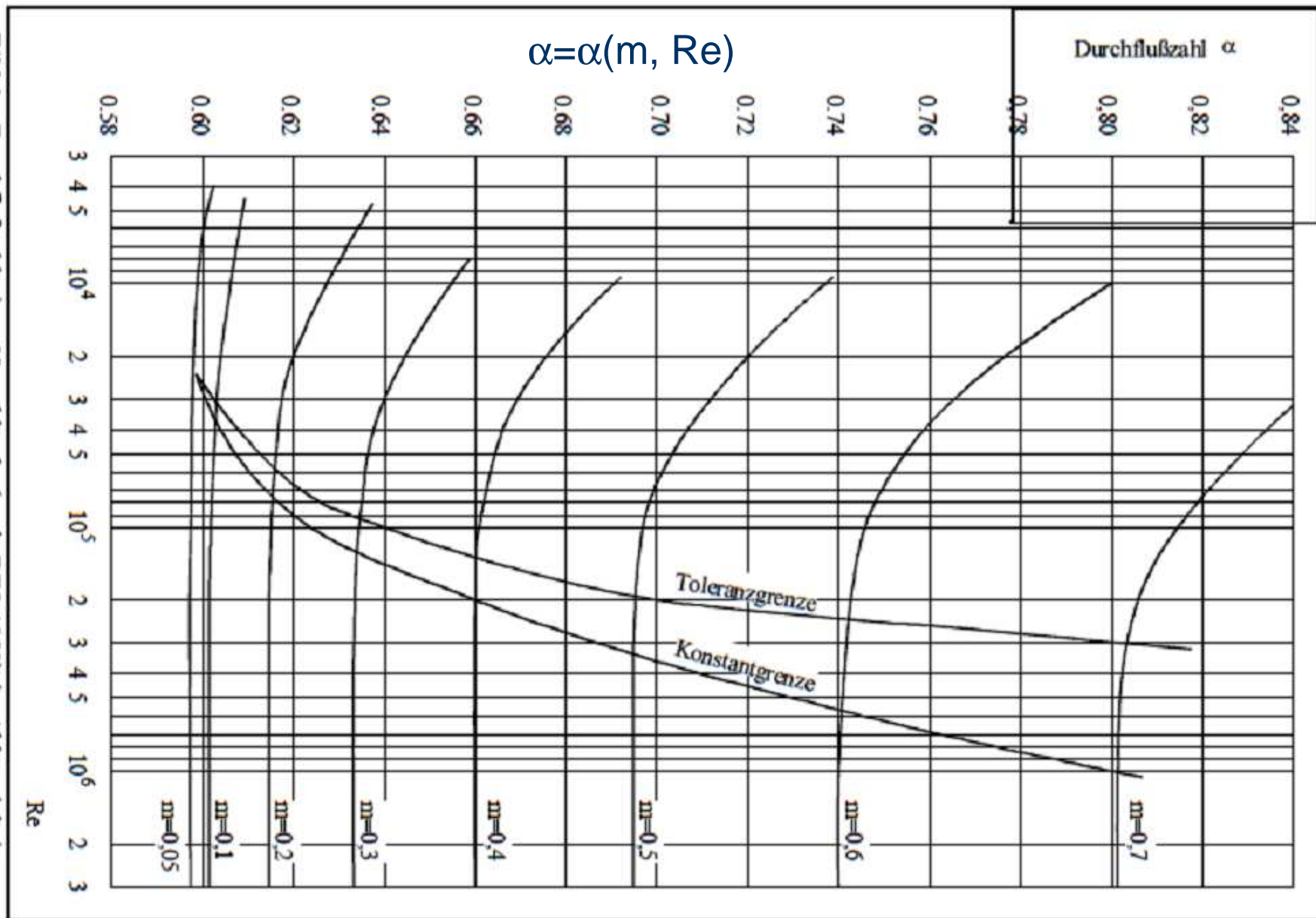


Bild 2: Durchflußzahl einer Normblende (nach DIN 1952) in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re für verschiedene Öffnungsverhältnisse m .

Beispiel

⇒ Für eine Volumenstrommessung von Öl ($\rho=900\text{kg/m}^3$, $\eta=0,002\text{Pas}$) wurde eine Normblende mit $m=0,4$ ausgewählt und einem kreisförmigen Rohrquerschnitt mit Durchmesser $D=40\text{mm}$ verbaut. Als Wirkdruck wurde $\Delta p=0.08\text{bar}$ gemessen.

Wie groß ist der Volumenstrom?

⇒ Beispiel wird an der Tafel vorgerechnet