



Prozessmesstechnik und Sensorik

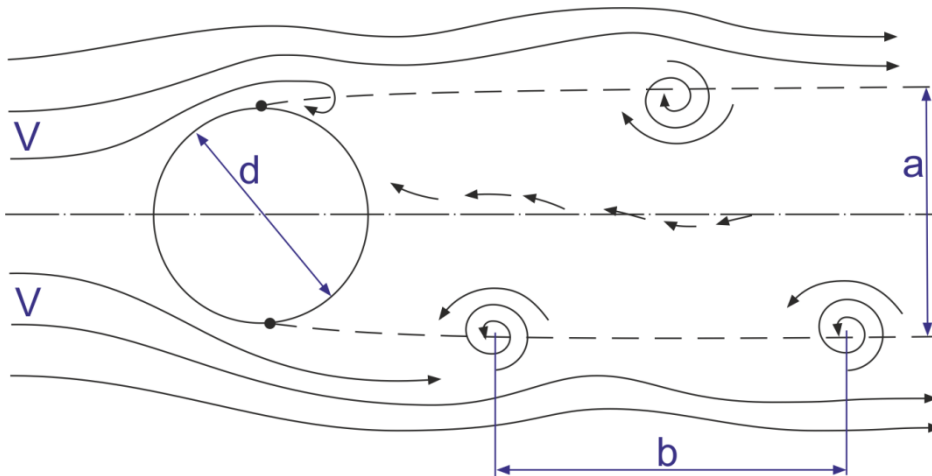
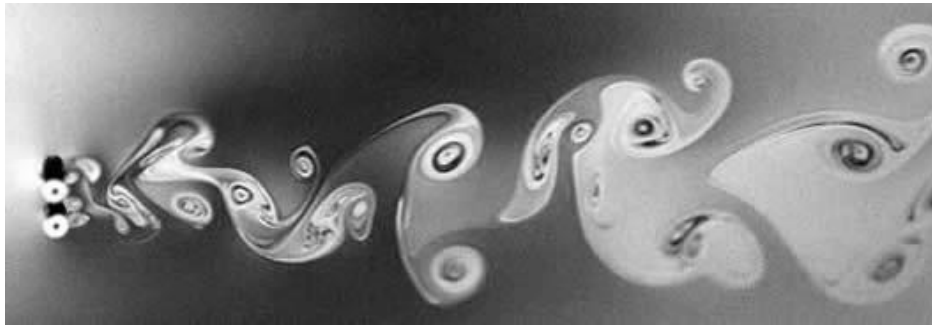
Vorlesung:
Durchflussmessung

Wirbeldurchflussmesser (Vortex-Durchflussmesser)



Grundprinzip

Wirbelablösung an Staukörpern



Wirbelfrequenz

$$f = s_r \frac{V}{d}$$

Fluidgeschwindigkeit

$$V = f \frac{d}{s_r}$$

Volumenstrom

$$\dot{V} = A_V = \frac{A d}{s_r} f$$

K-Faktor
(Impulse/Volumen)

$$f = K \dot{V}$$

$$\dot{V} = f / K$$

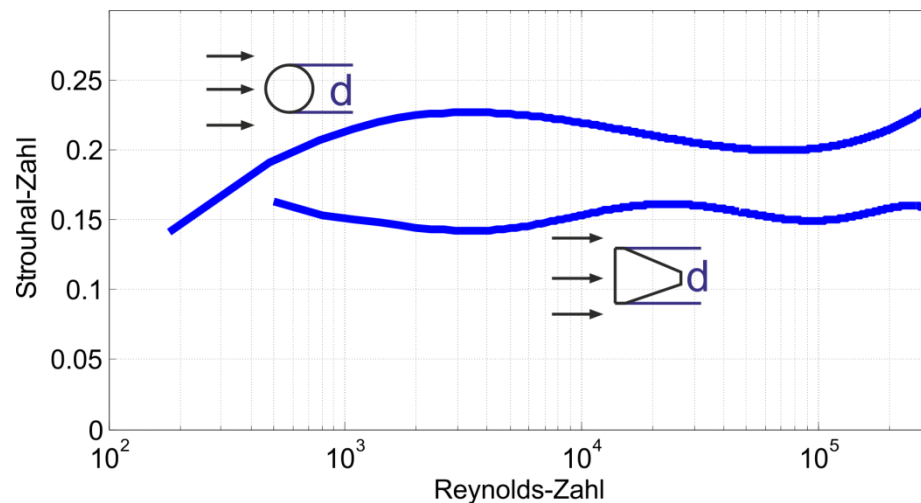
Massestrom

$$\dot{m} = \rho(p, T) f / K$$



Grundprinzip

Wirbelablösung an Staukörpern



Strouhal-Zahl als Funktion der Reynolds-Zahl
für verschiedene Staukörper

Die Strouhal-Zahl hängt von der (Querschnitts)Form des Staukörpers und der Reynolds-Zahl ab

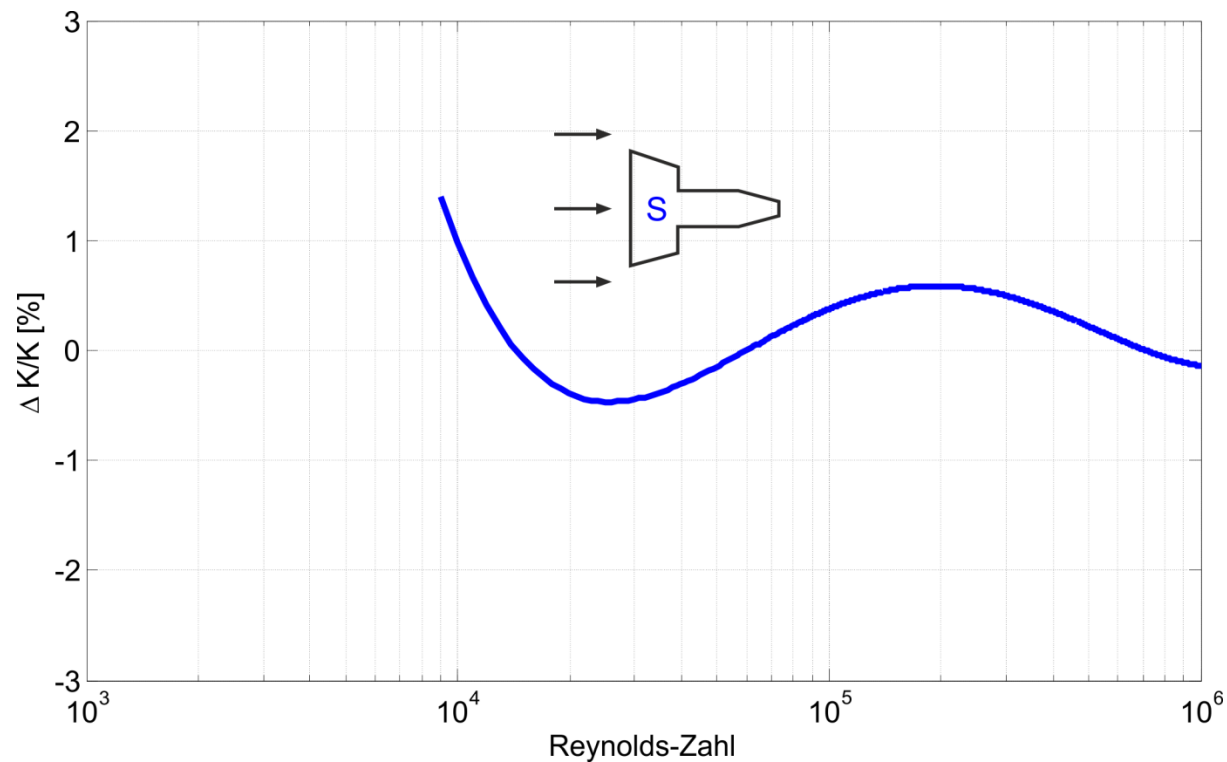
Die Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl kann durch geeignete Formwahl minimiert werden (vgl. Delta-Körper)

Die Messbereichsuntergrenze ist durch die Mindest-Reynolds-Zahl für Wirbelablösung gegeben

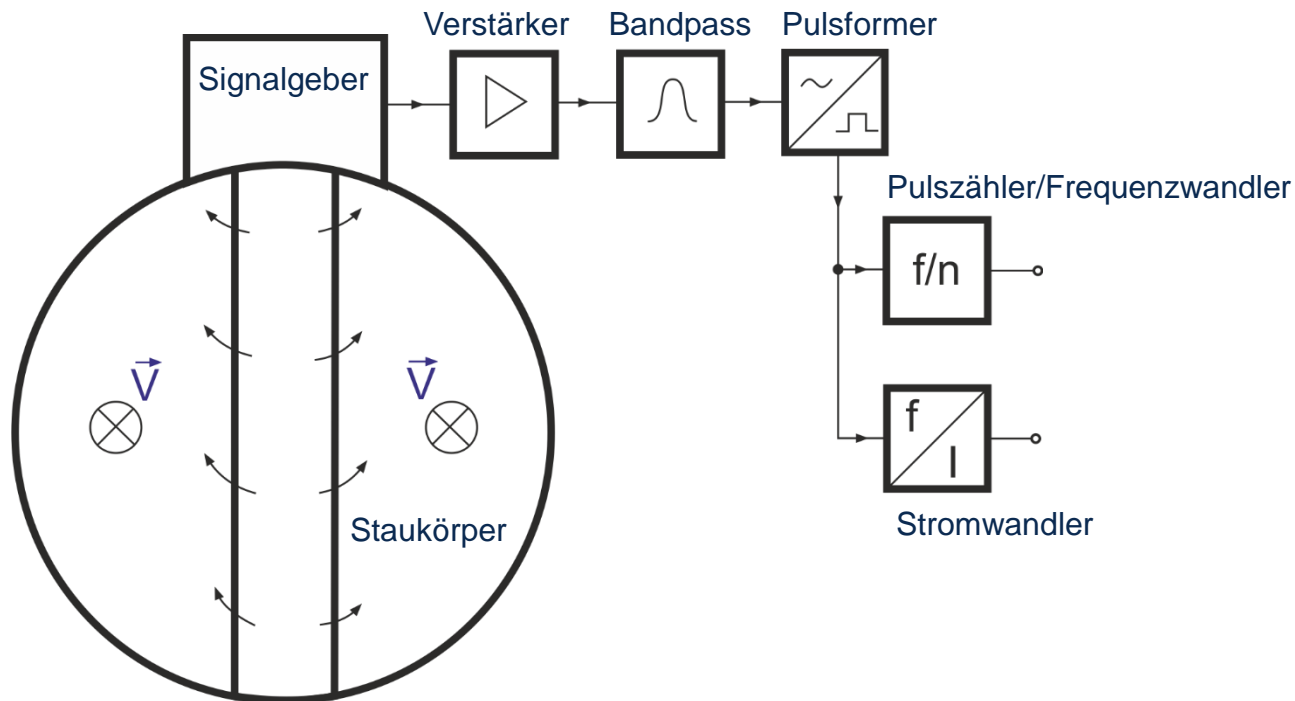
Die Messbereichsobergrenze ist durch die Detektierbarkeitsschwelle für die Wirbel (Druckdifferenz) gegeben



Linearität des K-Faktors

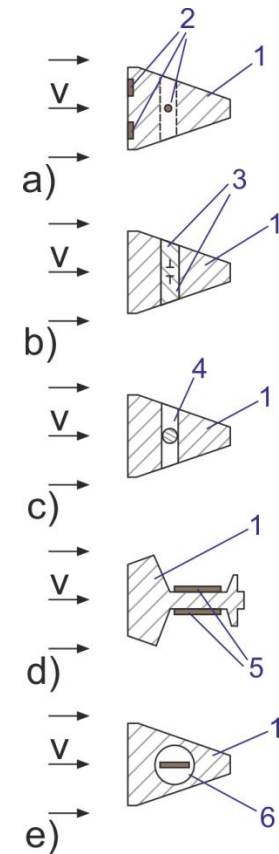


Messprinzip und Messkette

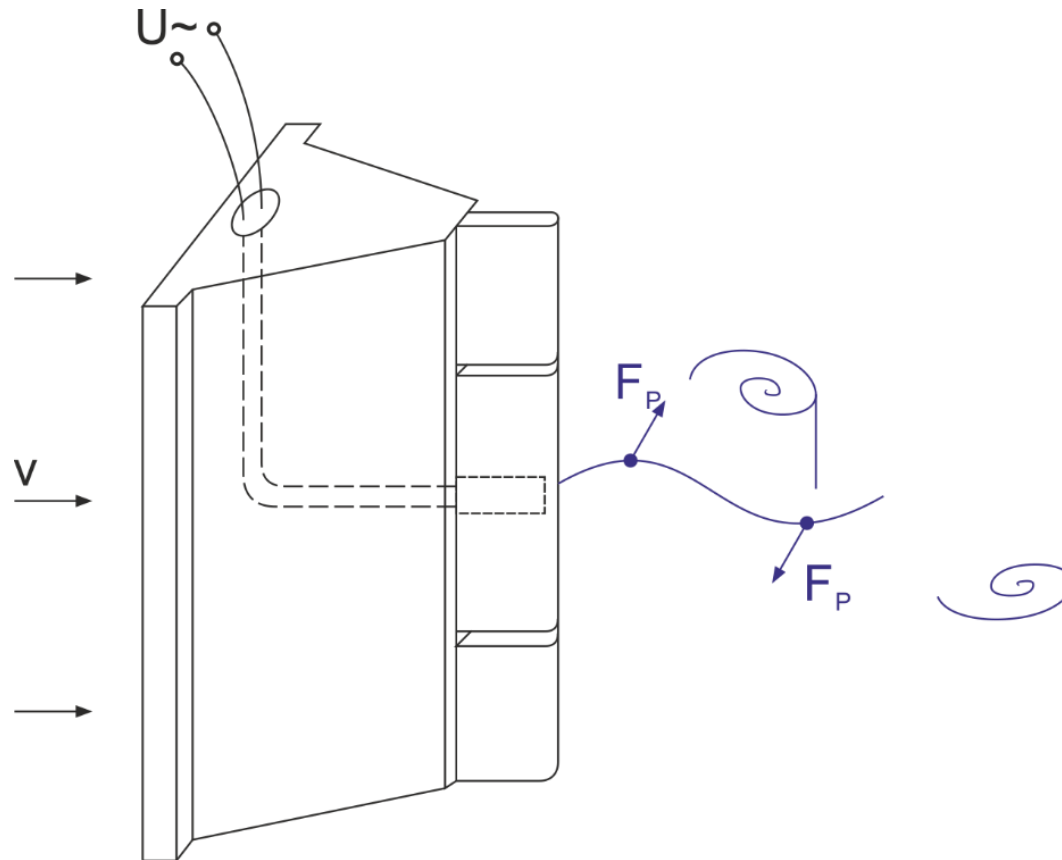


Signalgeber

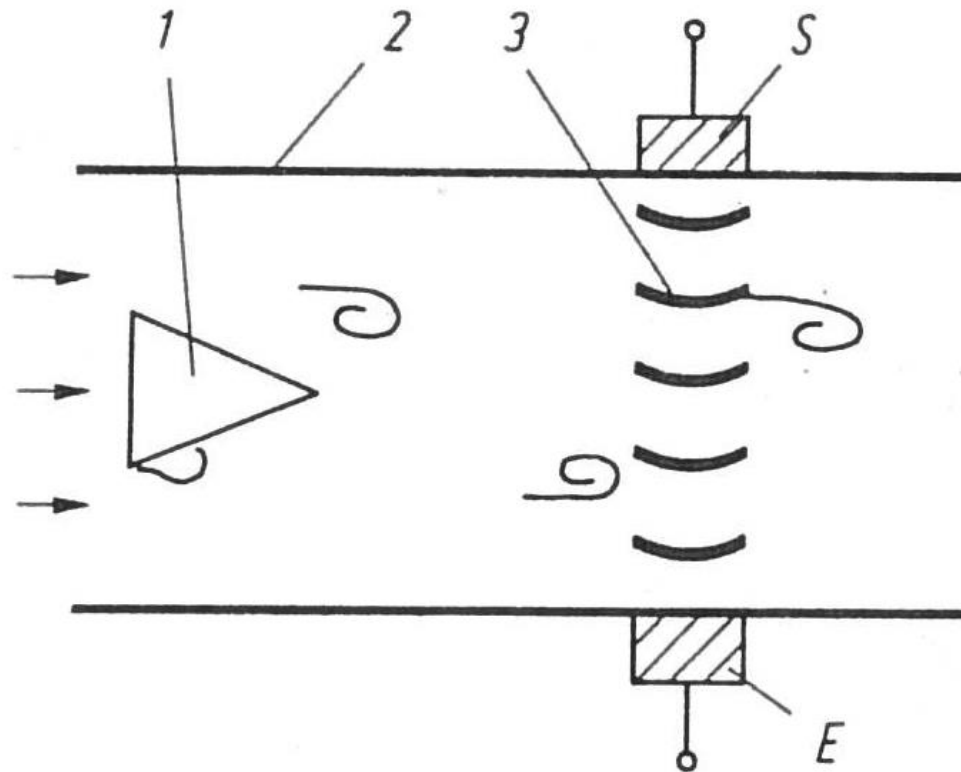
beheizter Thermistor	Strömungskühlung	$T \rightarrow R \rightarrow f$
Drucksensor	dynamischer Druck	$p \rightarrow f$
bewegliche Kugel (induktive, kapazitive oder taktile Abtastung)	Weg	$\Delta s \rightarrow C/I \rightarrow f$
Dehnmessstreifen	Verformung	$\Delta s \rightarrow R \rightarrow f$
Piezoelektrischer Wandler	Dehnung	$\Delta s \rightarrow C \rightarrow f$
Ultraschallgeber	Schalllaufzeit/Phase	$\Delta t_{US} \rightarrow f$



Signalgeber – Beispiel Piezowandler



Signalgeber – Beispiel Ultraschallwandler



Messbereiche und Reynolds-Zahl-Abhängigkeiten

Die minimal und maximal messbaren Fluidgeschwindigkeiten v_{min} , v_{max} hängen in erster Linie von den (erforderlichen/zulässigen) unteren und oberen Differenzdruckwerten des Signalgebers ab. Es gilt

$$v_{min} = C_1 / \sqrt{\rho}$$

$$v_{max} = C_2 / \sqrt{\rho}$$

$$\Delta p \sim \rho v_{min}^2$$

$$v_{min} \sim \sqrt{\Delta p / \rho} = \frac{K}{\sqrt{\rho}}$$

mit den gerätespezifischen Konstanten C_1 und C_2 .

	ρ (kg/m ³)	v_{min} (m/s)	v_{max} (m/s)
Wasser	999,5	0,38	6,11
Industriegase	1,222	10,86	129 (theor.) 76,5 (prakt.)



Messbereiche und Reynolds-Zahl-Abhängigkeiten

Messbereiche für Wirbeldurchflussmesser werden üblicherweise für Luft und Wasser bei Normaldruck angegeben. Für Fluide mit anderen Viskositäten bzw. Dichten ist die Reynolds-Skalierung anzuwenden.

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$v_{min} = \frac{\nu \cdot Re_{min}}{D}$$

$$v_{max} = \frac{\nu \cdot Re_{max}}{D}$$



Messbereich in Abhängigkeit von der kinematischen Viskosität des Fluides

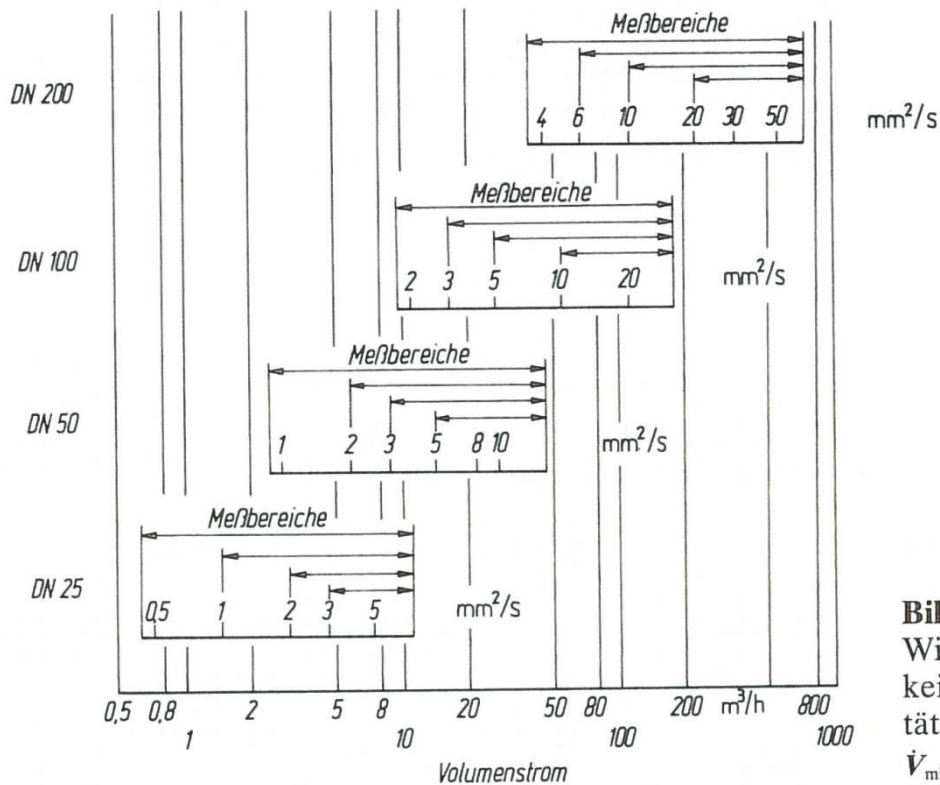


Bild 3.73. Meßbereiche eines Wirbelstrommessers in Abhängigkeit von der kinematischen Viskosität der Flüssigkeit ν

$$\dot{V}_{\min} \leftrightarrow \dot{V}_{\max}$$



Vorzüge

- ✓ robustes Messsystem
- ✓ sehr guter linearer Zusammenhang zwischen Wirbelfrequenz und Durchfluss (weitestgehend unabhängig von Druck, Dichte, Temperatur und Viskosität des Fluides)
- ✓ einheitlicher Kalibrierfaktor für Flüssigkeiten und Gase
- ✓ geringe Messunsicherheit (typ. 0,5% v.M.)
- ✓ beliebige Einbaulage

Kritische Punkte

- ✓ Druckverlust am Staukörper
- ✓ Empfindlichkeit interner Signalgeber gegenüber Verschmutzung
- ✓ nach oben und insbesondere nach unten eingeschränkter Messbereich ($Re\text{-Zahl} > 10000$)
- ✓ kleine Wirbelfrequenzen beschränken die Zeitauflösung

