

# Prozessmesstechnik und Sensorik

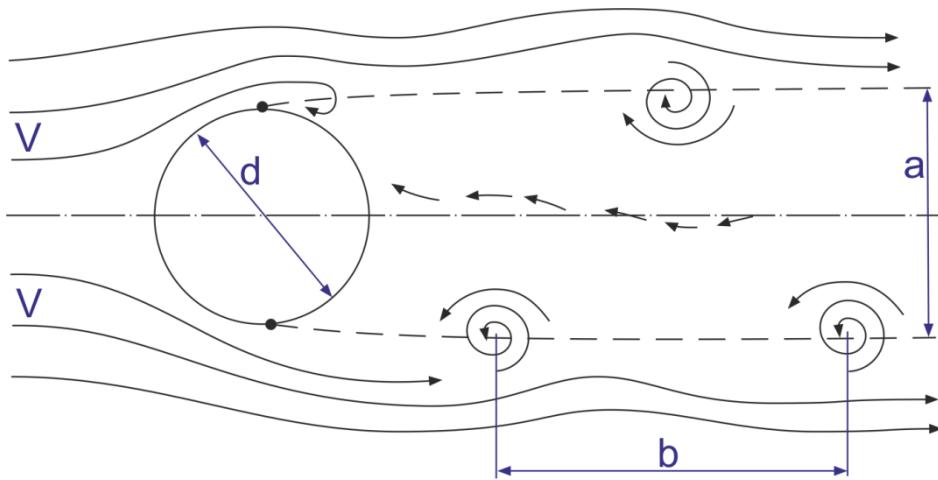
Vorlesung:  
Durchflussmessung

# Wirbeldurchflussmesser (Vortex-Durchflussmesser)



# Grundprinzip

Wirbelablösung an Staukörpern



Wirbelfrequenz

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

Fluidgeschwindigkeit

$$V = f d / S_r$$

Volumenstrom

$$\dot{V} = A_V = \frac{\pi d^2}{4} f$$

K-Faktor  
(Impulse/Volumen)

$$f = K V$$

$$V = f / K$$

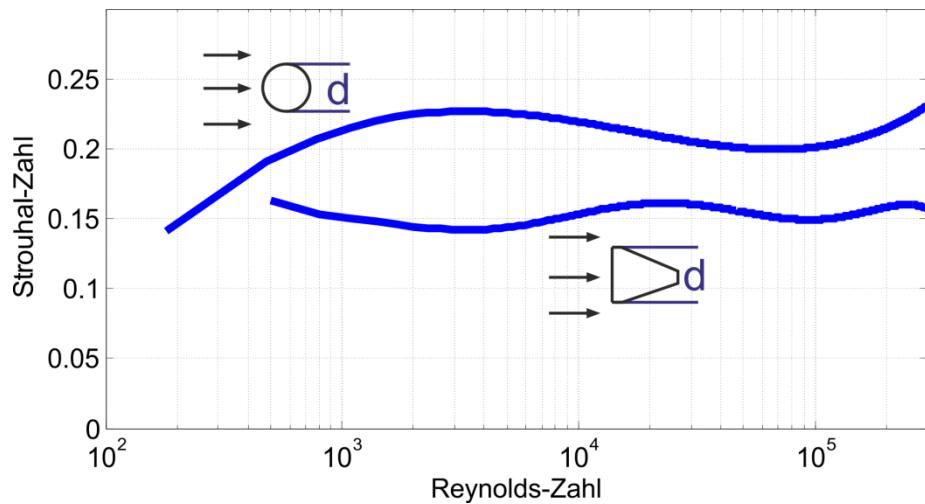
Massestrom

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



# 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

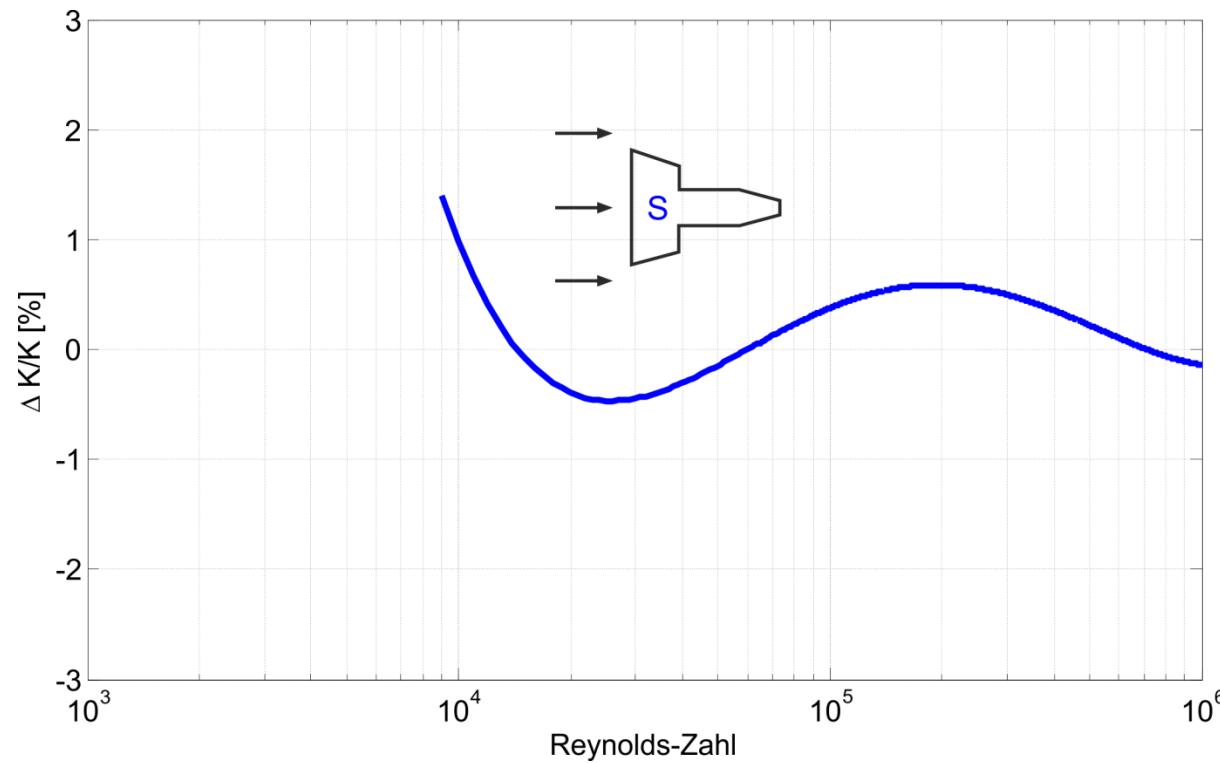
Die Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl kann durch geeignete Formwahl minimiert werden (vgl. Delta-Körper)

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

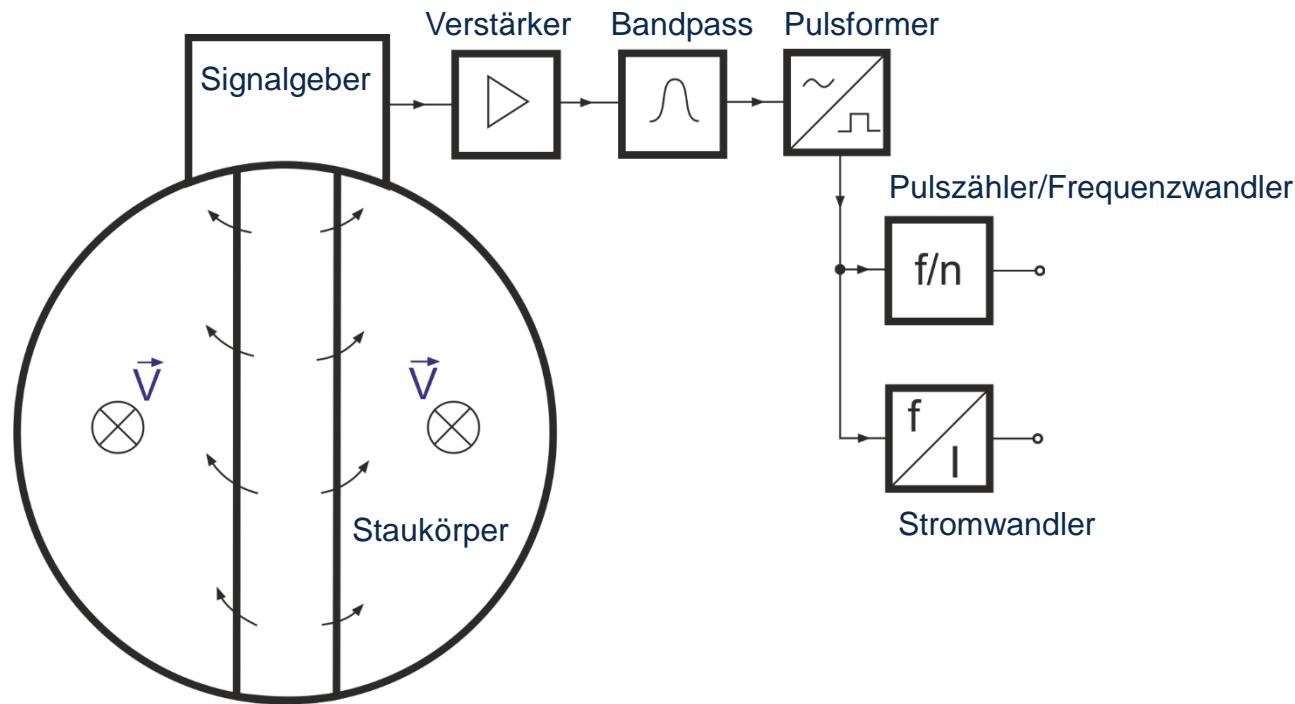
Die Messbereichsobergrenze ist durch die Detektierbarkeitsschwelle für die Wirbel (Druckdifferenz) gegeben



# 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

 $\Delta s \rightarrow R \rightarrow f$ 

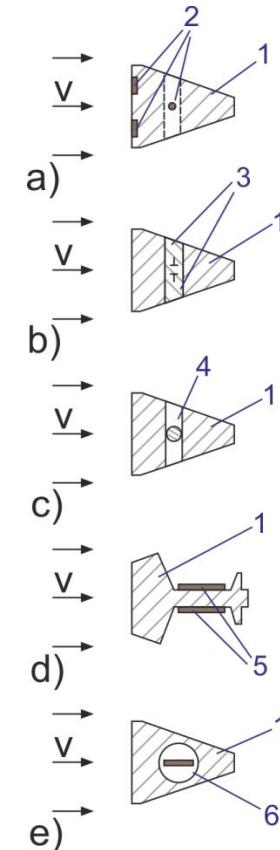
Piezoelektrischer Wandler

Dehnung

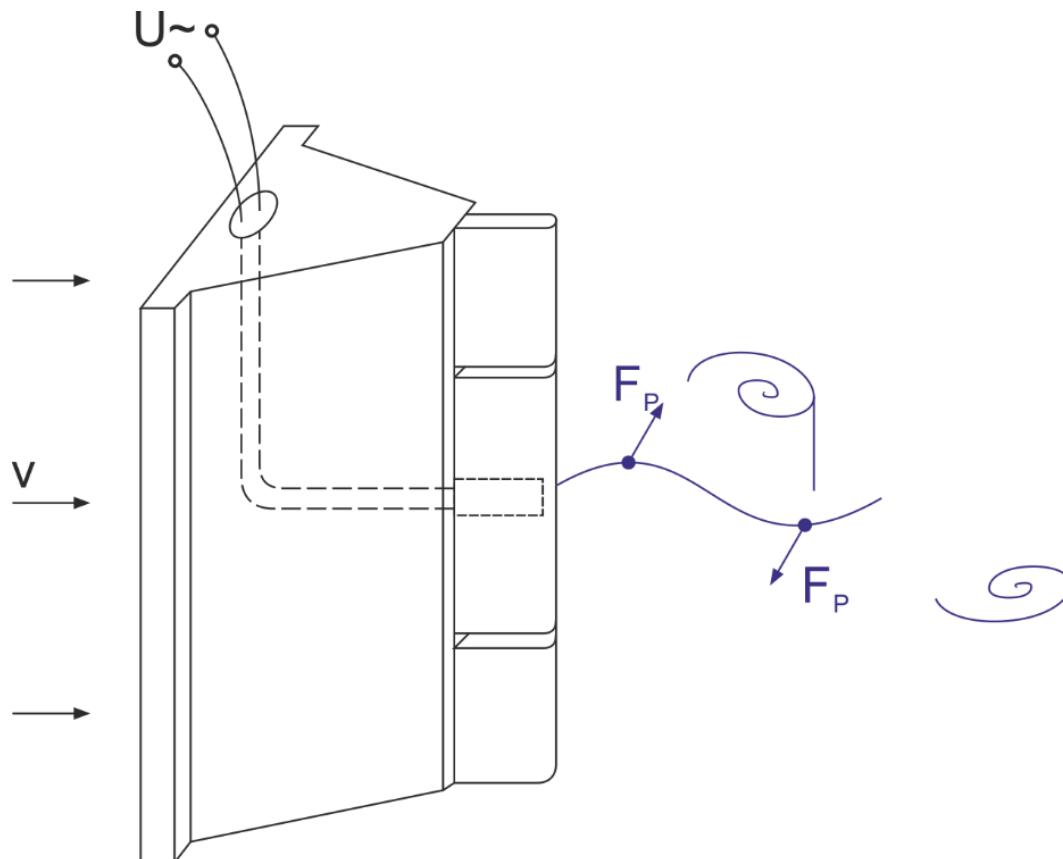
 $\Delta s \rightarrow C \rightarrow f$ 

Ultraschallgeber

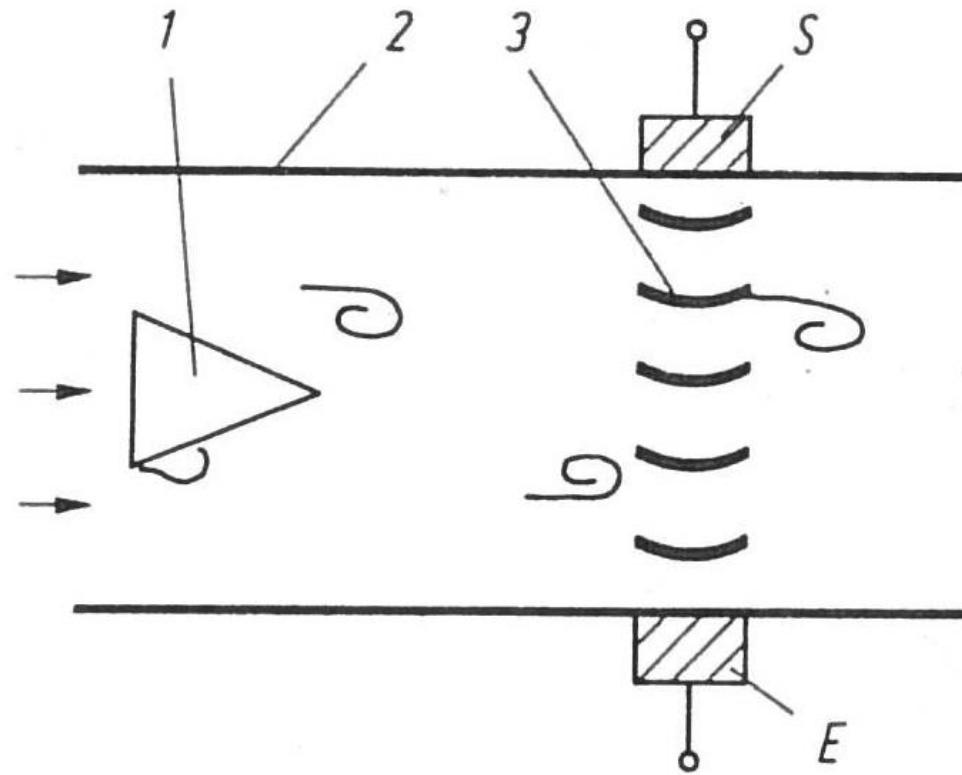
Schalllaufzeit/Phase

 $\Delta t_{us} \rightarrow f$ 


## 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

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

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

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

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

mit den gerätespezifischen Konstanten  $C_1$  und  $C_2$ .

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v_{min}$ (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.

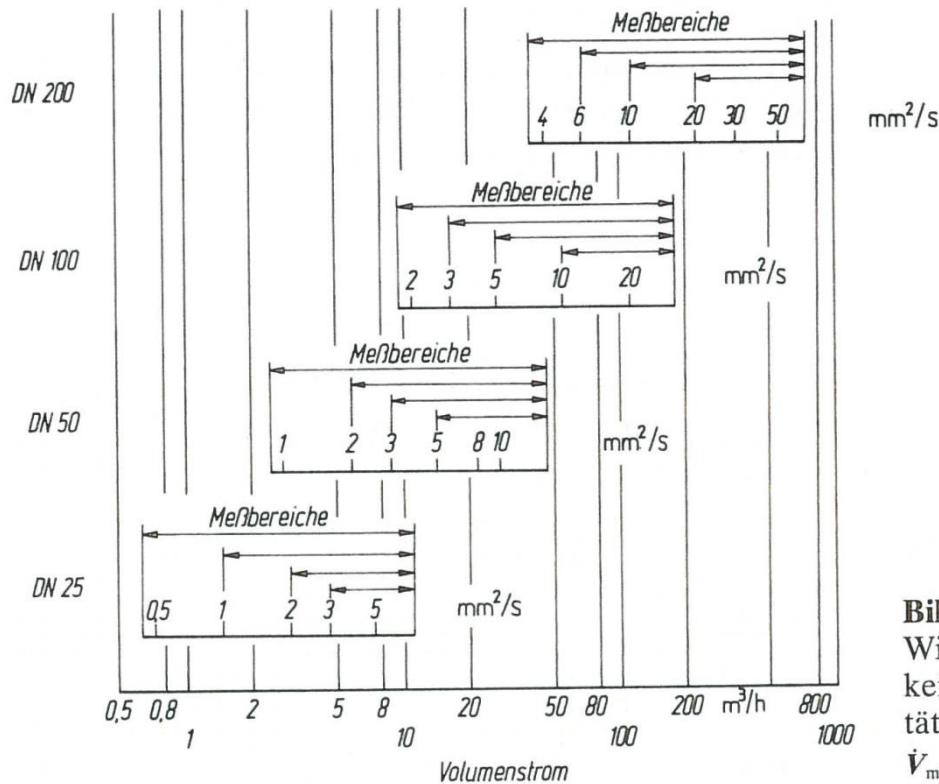
$$Re = \frac{\nu D}{\nu}$$

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

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



# Messbereich in Abhängigkeit von der kinematischen Viskosität des Fluides



**Bild 3.73.** Meßbereiche eines Wirbelstrommessers in Abhängigkeit von der kinematischen Viskosität der Flüssigkeit  $\nu$

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



## 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 ( $Re$ -Zahl  $> 10000$ )
- ✓ kleine Wirbelfrequenzen beschränken die Zeitauflösung

