

Coriolis-Durchflussmesser

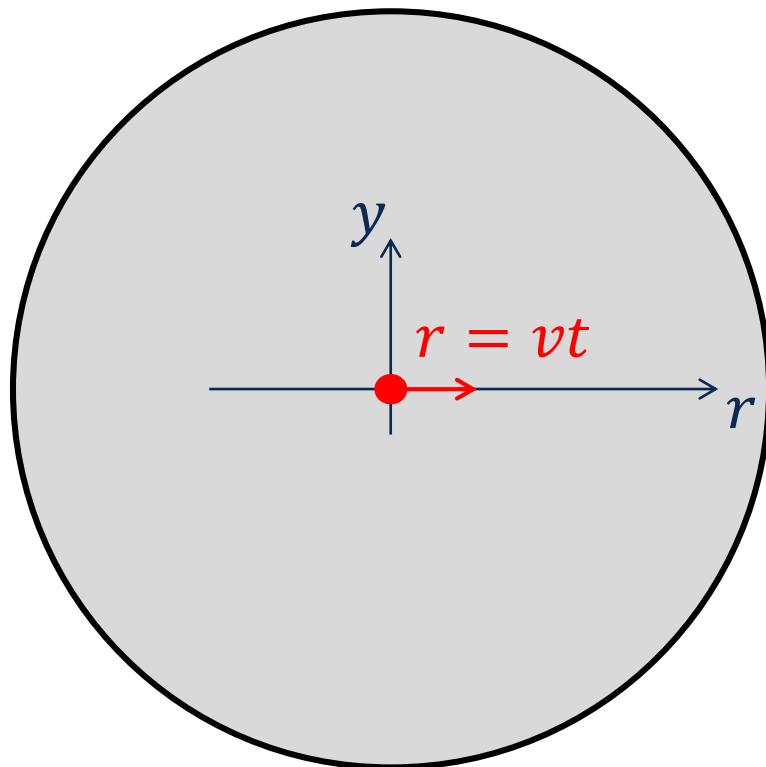
oder auch

Coriolis-Massestrommesser



Grundprinzip

Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

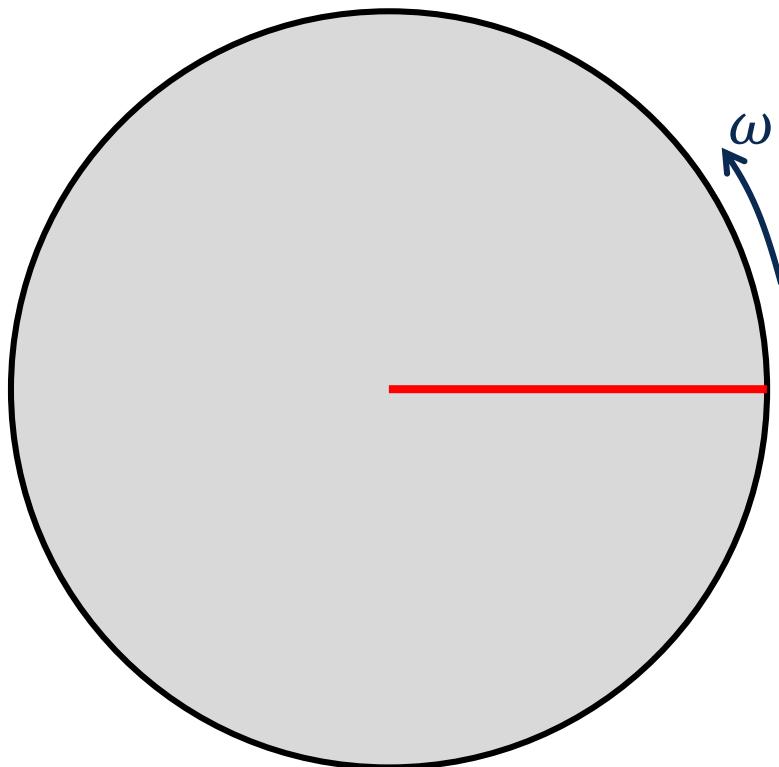


- Die Scheibe ruht
- Die Kugel rollt auf einer Linie nach außen



Grundprinzip

Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

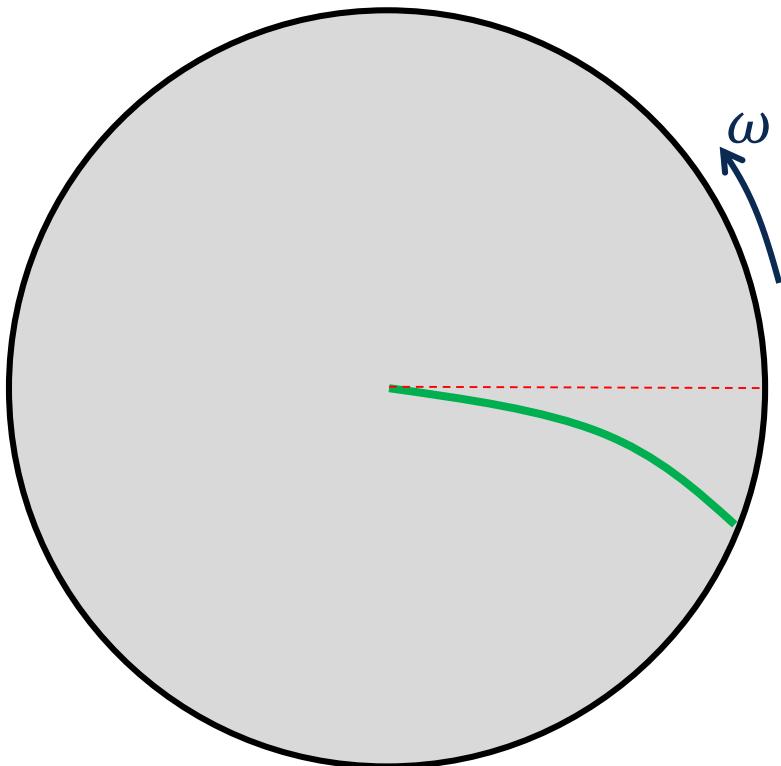


- Die Scheibe rotiert
- die Kugel startet mit dem Impuls $p = mv$ in radiale Richtung
- Der Impuls kann sich nicht ändern, auch wenn die Scheibe rotiert (keine Reibung)
- Der **ruhende Beobachter** sieht die Kugel auf einer geraden Bahn nach außen rollen



Grundprinzip

Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

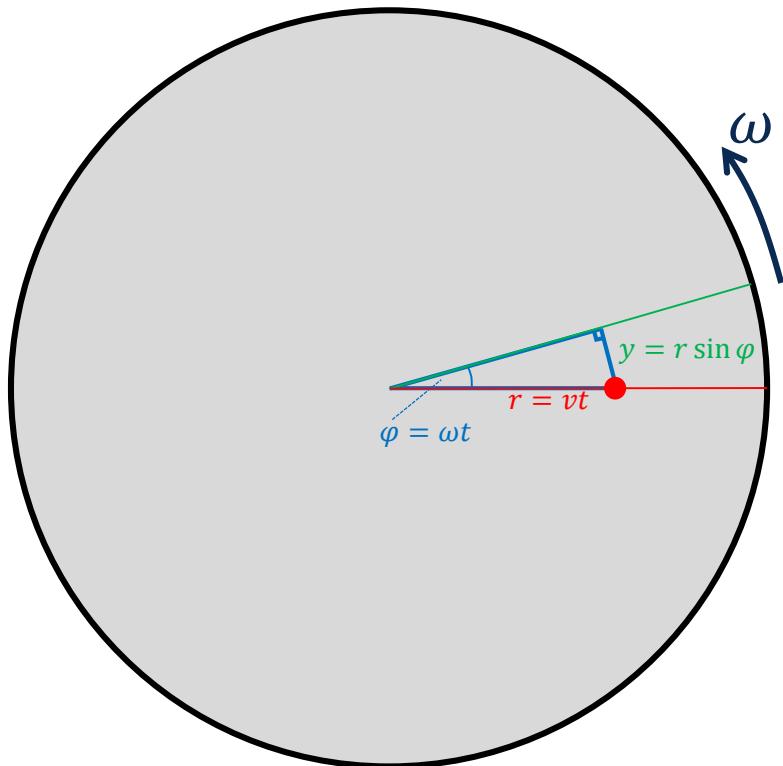


- Die Scheibe rotiert
- Der **mitrotierende Beobachter** sieht die Kugel parabelförmig nach unten rollen (bzw. wenn er im Zentrum der Scheibe steht und nach außen schaut, dann nach rechts)
- Für den mitrotierenden Beobachter scheint eine Kraft auf die Kugel zu wirken, die es aber im ruhenden Bezugssystem nicht gibt
- Es handelt sich um die Coriolis-Kraft F_c , die scheinbar im rotierenden System wirkt



Grundprinzip

Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement



- Grün: x-Achse des mitrotierende Beobachters
- Rot: x-Achse des ruhenden Beobachters

$$r = vt$$

$$y = r \sin \varphi$$

$$= vt \sin \varphi = vt \cdot \sin \omega t \approx \omega t$$

$$\approx vt \omega t = v \omega t^2$$

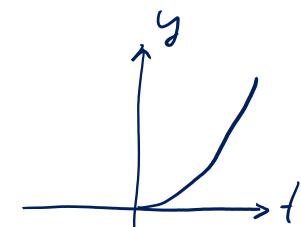
$$y \approx v \omega t^2$$

$$y = \frac{a_c}{2} t^2$$

$$a_c = 2v\omega$$

$$F_c = m a_c$$

$$F_c = 2 m v \omega$$

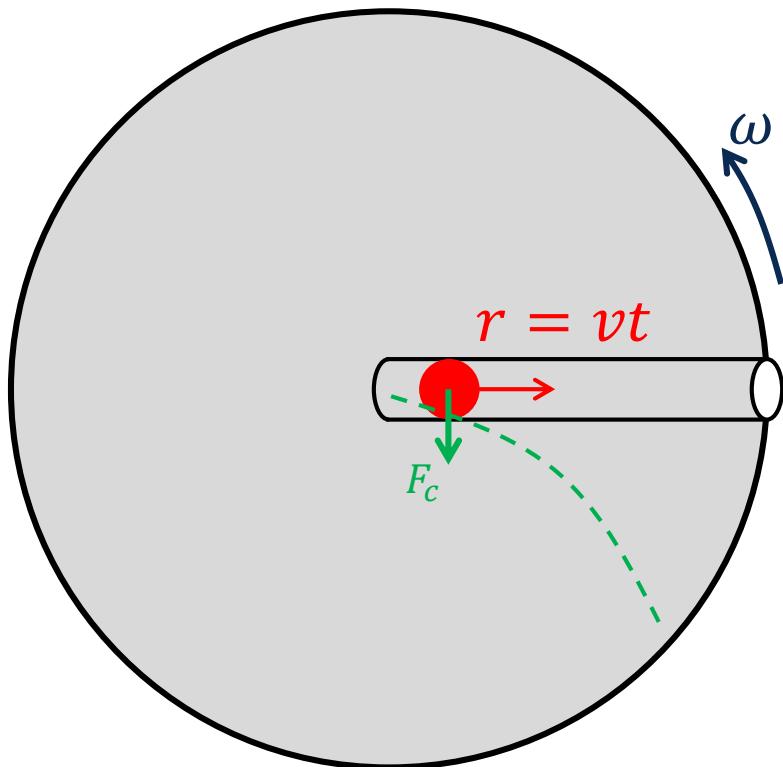


a_c - Coriolis-Beschle.



Grundprinzip

Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

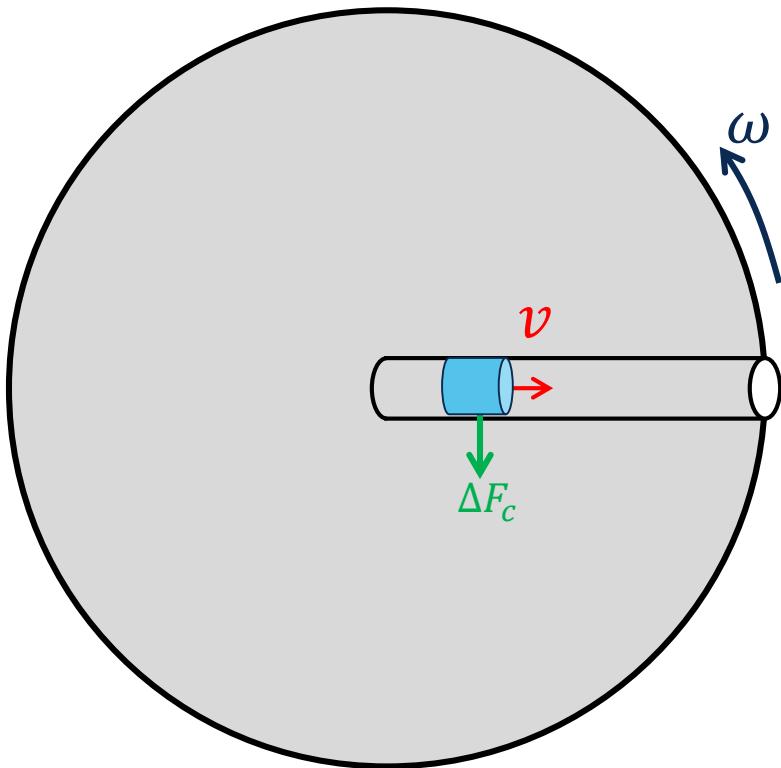


- Jetzt führen wir die Kugel in einem auf der Scheibe befestigten Rohr
- Für den mitbewegten Beobachter „möchte“ die Kugel gern den grünen schraffierten Weg nehmen. Dem wirkt aber die Rohrwand entgegen. Die Coriolis-Scheinkraft wird hier zur realen Kraft. Es wirkt die **Coriolis-Trägheitskraft** auf die Rohrwand.



Grundprinzip

Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement



- Anstelle der Kugel denken wir uns jetzt ein Fluidelement der Länge Δr und Querschnittsfläche A (Querschnitt des Rohres)
- Es übt ebenso die Coriolis-Trägheitskraft

$$\Delta F_c = 2 \text{sm} \omega v \quad V = A \Delta r$$

$$\Delta F_c = 2 \omega v \rho A \Delta r \quad \text{sm} = \rho A \Delta r$$

auf das Rohr aus.

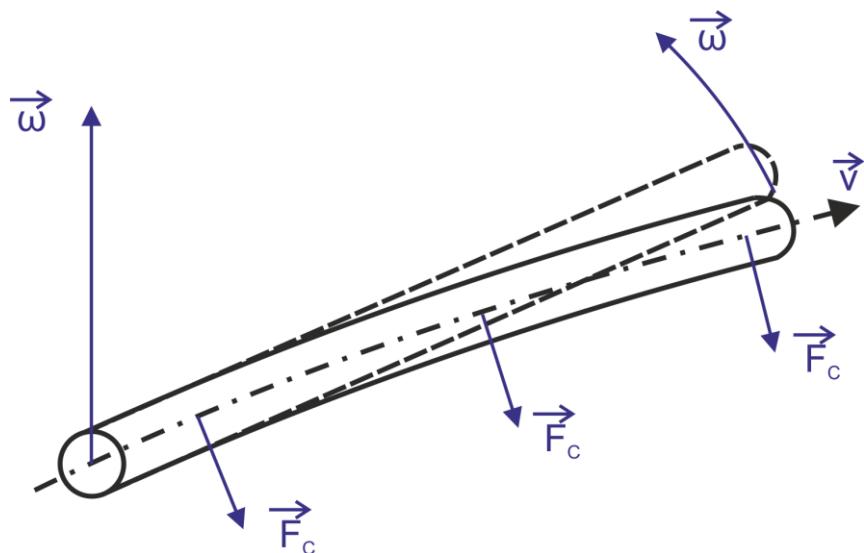
$$F_c = \int_0^L \frac{\Delta F_c}{\Delta r} dr = \int_0^L 2 \omega v \rho A dr \\ = 2 \omega \rho A \int_0^L v(r) dr$$

$$\boxed{F_c = 2 \omega \rho A \ell v}$$



Grundprinzip

Zusammenfassung



Die Coriolis-Kraft auf die Masse m ist:

$$F_C = 2m\omega v$$

Sie führt zu einer messbaren Kraft eines Fluidelements auf die Rohrwand. Für einen Rohrabschnitt Δr gilt:

$$\Delta F_C = 2 \rho A \Delta r \omega v$$

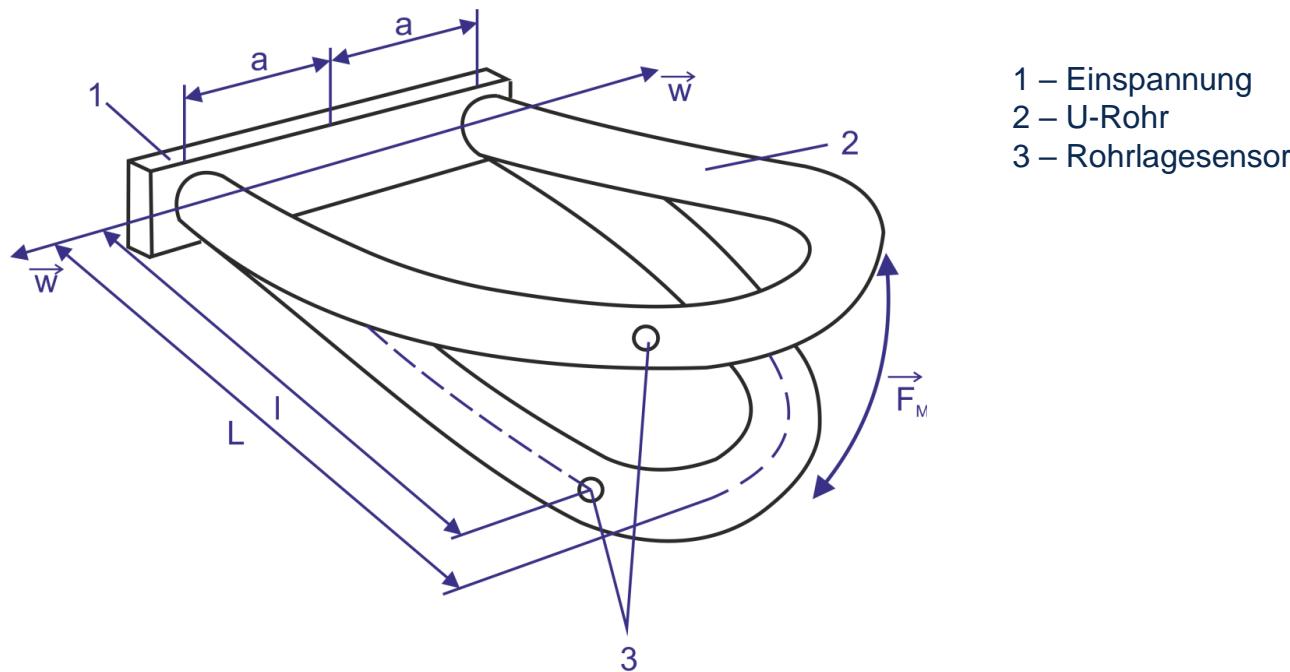
Die insgesamt wirkende Coriolis-Trägheitskraft ist proportional zum Massestrom

$$\dot{m} = \rho A v = \frac{F_C}{2\omega l}$$

l bezeichnet die effektive Coriolis-Wirklänge des Rohres.



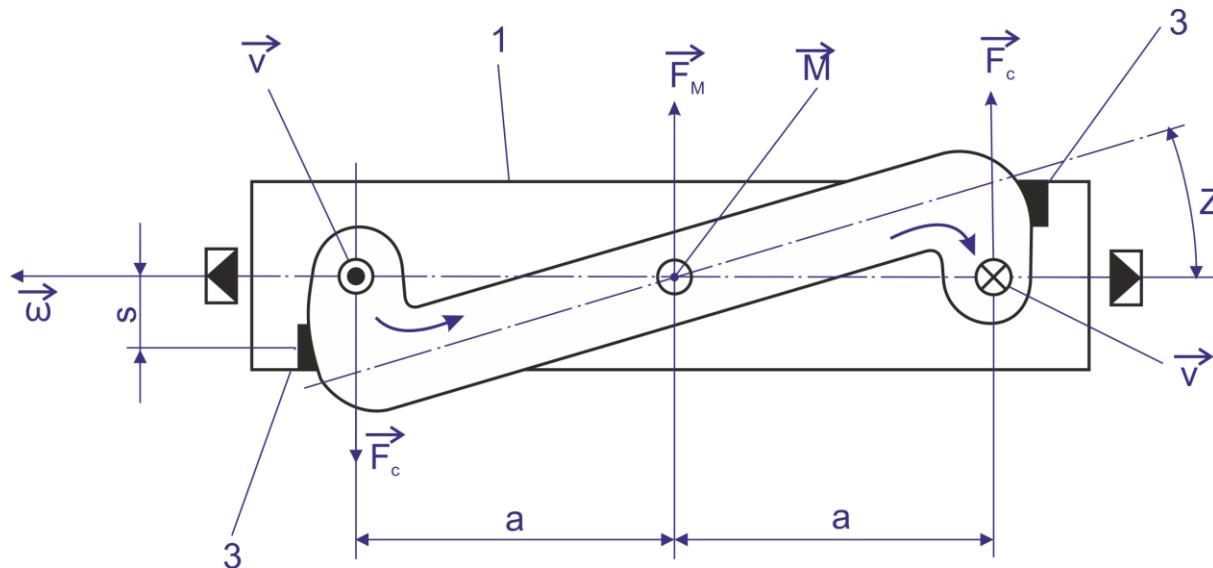
Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr



- Elektromagnetische Anregung von Eigenschwingungen quer zur Rohrbogenebene
- Coriolisträgheitskraft wirkt bei durchströmendem Fluid in beiden Schenkeln in unterschiedlichen Richtungen
- daraus resultiert eine Torsionswirkung die zur Verdrehung der Schenkelanordnung führt
- Messung der Verdrehung durch Wegsensoren



Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr



- ✓ Elektromagnetische Anregung von Eigenschwingungen quer zur Rohrbogenebene
- ✓ Coriolisträgheitskraft wirkt bei durchströmendem Fluid in beiden Schenkeln in unterschiedlichen Richtungen
- ✓ daraus resultiert eine Torsionswirkung die zur Verdrehung der Schenkelanordnung führt
- ✓ Messung der Verdrehung durch Wegsensoren

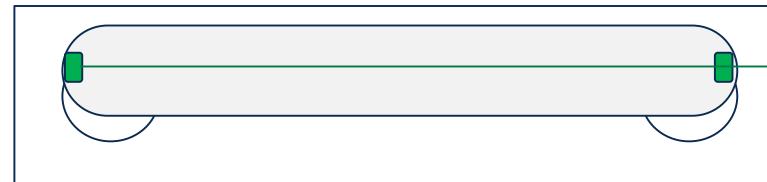


Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr

Oberer Umkehrpunkt

$$\omega = 0$$

Fluideintritt

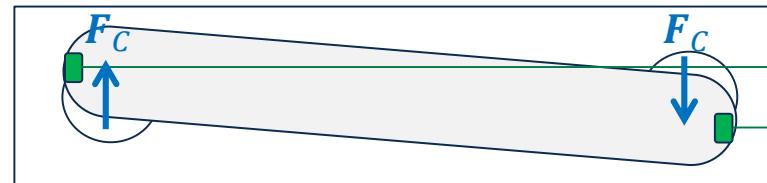


Fluidaustritt

$$\Delta s = 0$$

Mittellage

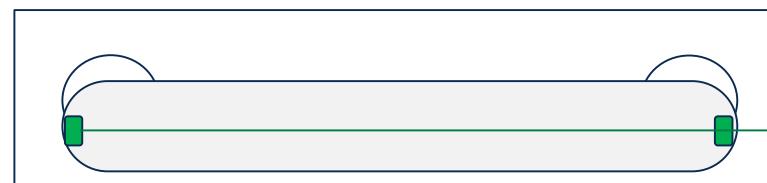
$$\downarrow \quad \omega = -max$$



$$2\Delta s$$

Unterer Umkehrpunkt

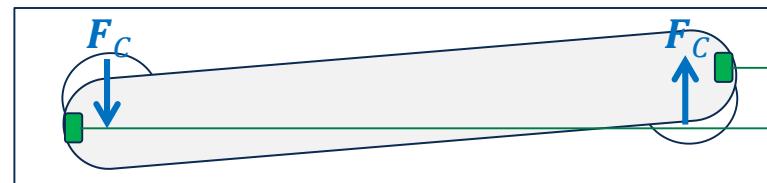
$$\omega = 0$$



$$0$$

Mittellage

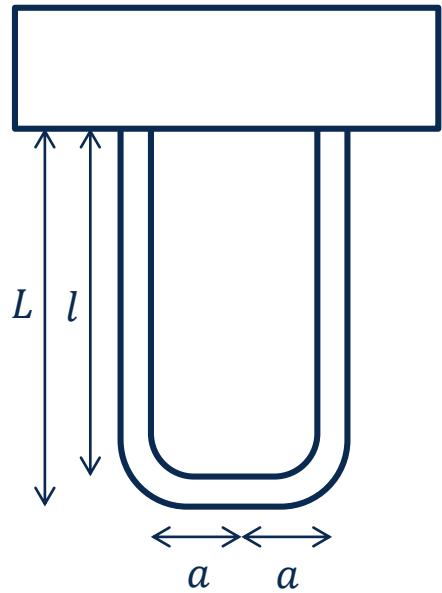
$$\uparrow \quad \omega = +max$$



$$2\Delta s$$



Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr



$$\Delta s = a\varphi$$

$$u = L\omega$$

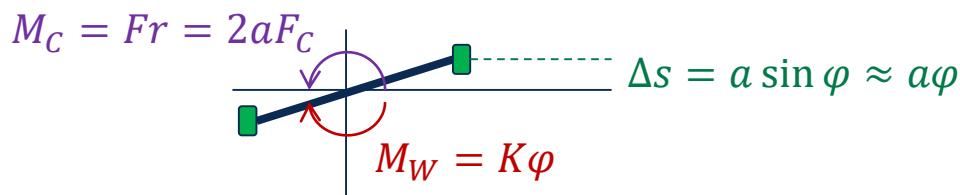
$$\Delta t = \frac{2\Delta s}{u} = \frac{2a\varphi}{L\omega}$$

$$M_c = 2aF_c = K\varphi = M_K$$

$$2aF_c = K\varphi$$

$$2aF_c = K \frac{\Delta t L \omega}{2a}$$

$$F_c = 2m\omega e$$



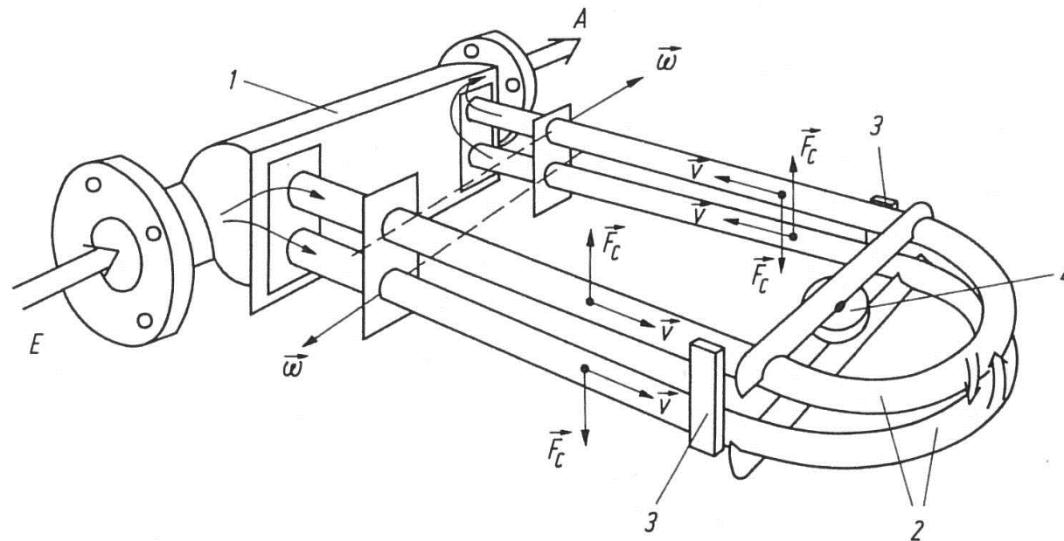
$$M_c = Fr = 2aF_c$$

$$\Delta s = a \sin \varphi \approx a\varphi$$

$$\boxed{\Delta t = \frac{\delta \ell a^2}{KL} \dot{m} = G \cdot \dot{m}}$$



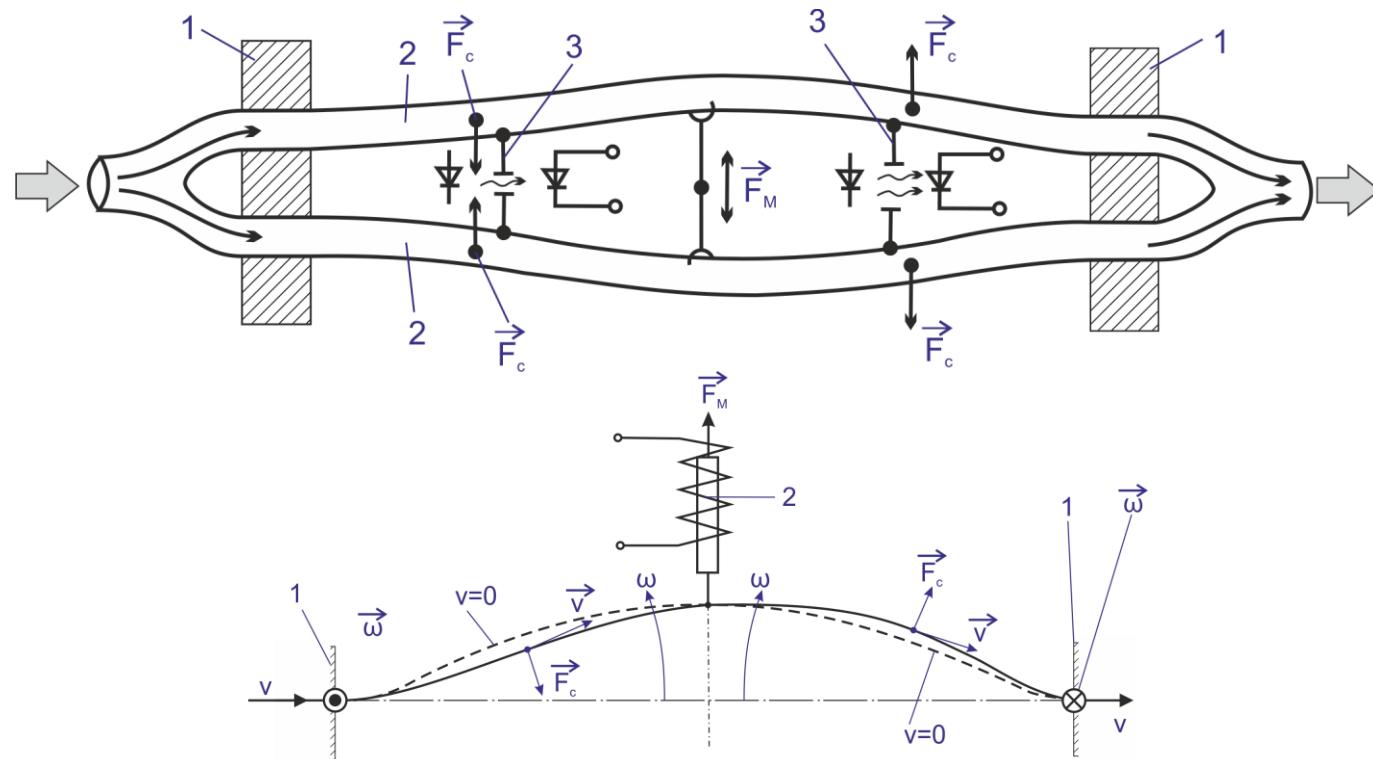
Doppel-U-Rohr Coriolis-Massestrommesser



- Aufteilung des Fluidstromes auf zwei U-Rohre, die gegenläufig ausgelenkt werden
- Differenzbildung aus den einzelnen Auslenkungssignalen
- Höhere Messgenauigkeit, da doppelte Auslenkweite



Doppel-Geradrohr Coriolis-Massestrommesser



- Aufteilung des Fluidstromes auf zwei Geradrohre, die gegenläufig ausgelenkt werden
- Differenzbildung aus den einzelnen Auslenkungssignalen



Coriolis-Massestrommesser

Fakten

- ✓ Einsetzbar für Gase und Flüssigkeiten
- ✓ Industriell verfügbar für alle gängigen Rohrleitungsgrößen, z.B. DN25, DN50, DN10 DN200, DN300, DN600 (Angabe Flanschmaß)
- ✓ Messrohrdurchmesser zwischen 1,42 mm und 108,2 mm
- ✓ Weiter Messbereich von 0,5 kg/min bis 10000 kg/min
- ✓ Messbereichsbreite typisch 1:100
- ✓ Messunsicherheit bis 0,15% vom Maximum
- ✓ erforderliche Einlauflängen min. 10 L/D



Vorzüge

- ✓ Direkte Massestrommessung (Fluiddichte muss nicht bekannt sein; Messung damit unabhängig von Druck, Dichte, Viskosität, Temperatur)
- ✓ Berührungsreie Messung (aggressive Medien, p bis 250 bar, T bis 400°C)
- ✓ In Grenzen geeignet für mehrphasige Fluide; insbesondere Unempfindlichkeit gegenüber geringen Gas- oder Feststoffanteilen in flüssigen Fluiden
- ✓ Messung ist unabhängig vom Strömungsprofil

Kritische Punkte

- ✓ Materialwahl für Messrohre kritisch (Langzeitstabilität mechanischer Eigenschaften, insbesondere Elastizitätsmodul, ggf. Nachkalibrierung erforderlich)
- ✓ Empfindlichkeit gegenüber Vibrationen und mechanischen Verspannungen (erhöhter Installationsaufwand)
- ✓ Rohrnennweiten nach oben beschränkt
- ✓ Vergleichsweise hoher Preis

