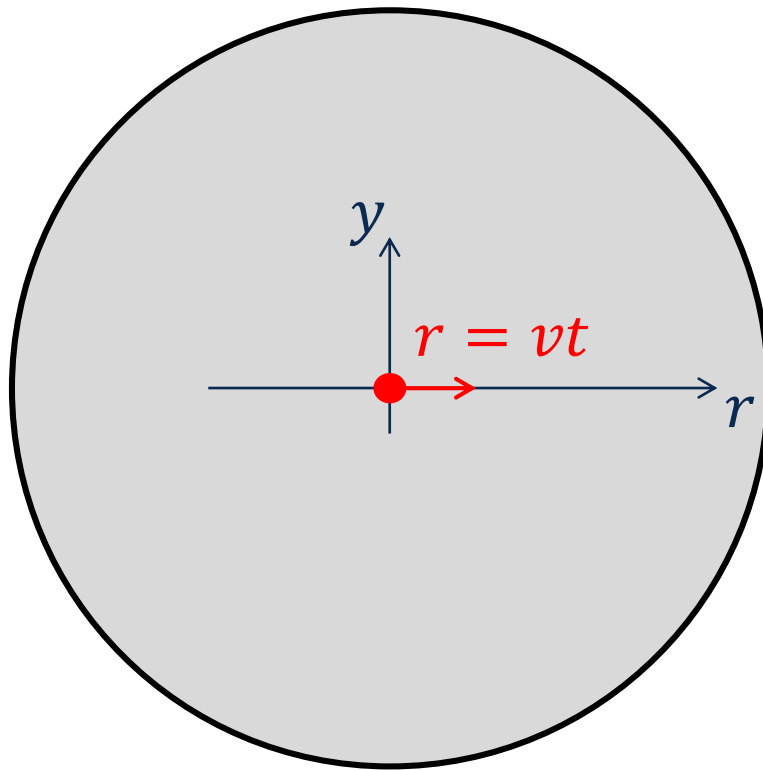


# Coriolis-Durchflussmesser oder auch Coriolis-Massestrommesser



# Grundprinzip

## Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

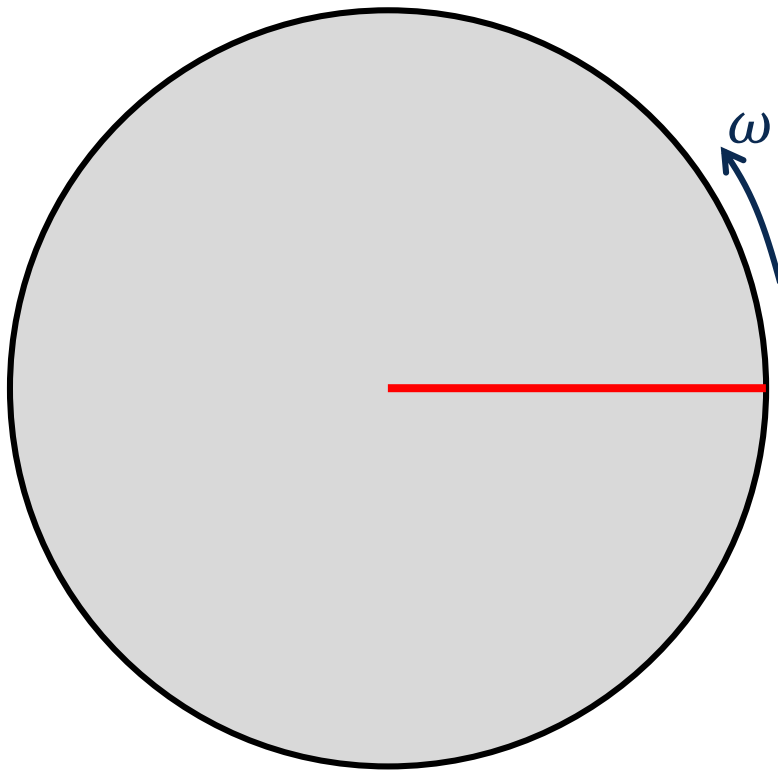


- Die Scheibe ruht
- Die Kugel rollt auf einer Linie nach außen



# Grundprinzip

## Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

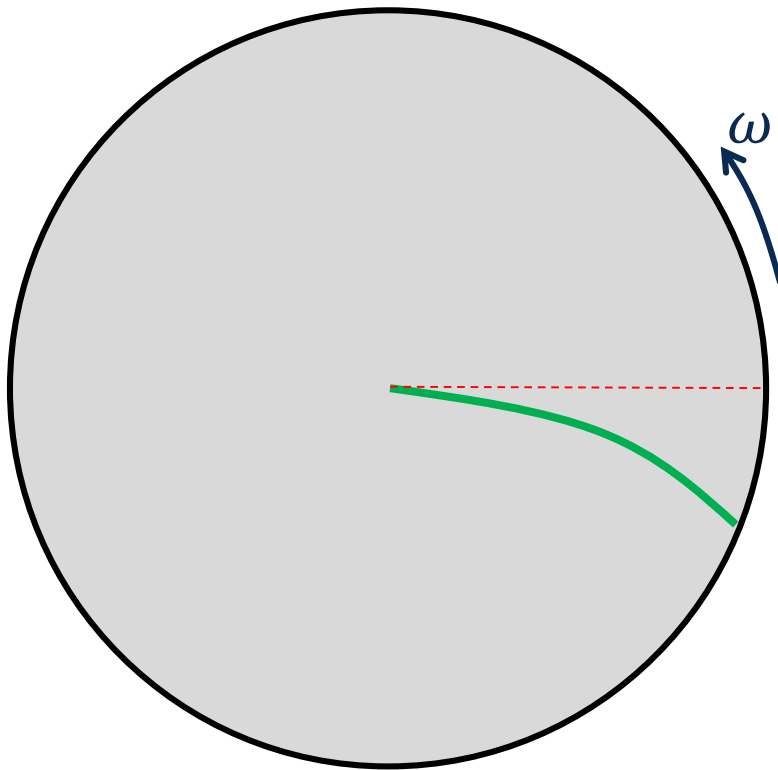


- Die Scheibe rotiert
- die Kugel startet mit dem Impuls  $p = mv$  in radiale Richtung
- Der Impuls kann sich nicht ändern, auch wenn die Scheibe rotiert (keine Reibung)
- Der ruhende Beobachter sieht die Kugel auf einer geraden Bahn nach außen rollen



# Grundprinzip

## Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

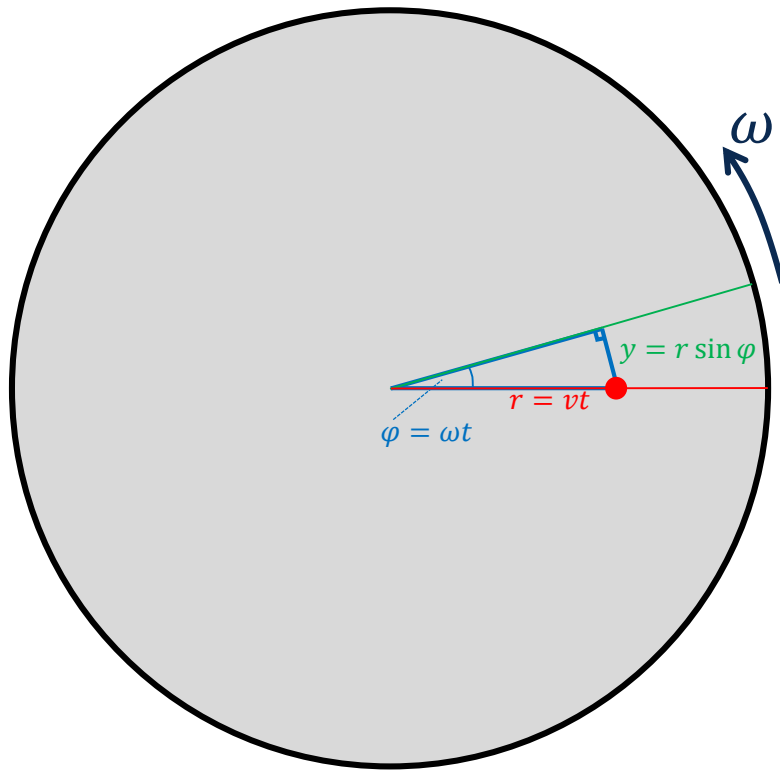


- Die Scheibe rotiert
- Der **mitrotierende Beobachter** sieht die Kugel parabelförmig nach unten rollen (bzw. wenn er im Zentrum der Scheibe steht und nach außen schaut, dann nach rechts)
- Für den mitrotierenden Beobachter scheint eine Kraft auf die Kugel zu wirken, die es aber im ruhenden Bezugssystem 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 mitrotierenden Beobachters
- Rot: x-Achse des ruhenden Beobachters

$$r = vt$$

$$y = r \sin \varphi$$

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

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

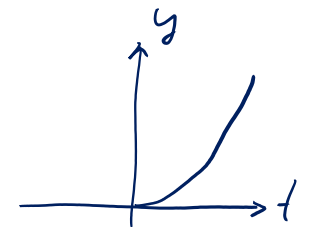
$$y \approx v \omega t^2$$

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

$$a_c = 2v\omega$$

$$F_c = m a_c$$

$$F_c = 2m v \omega$$

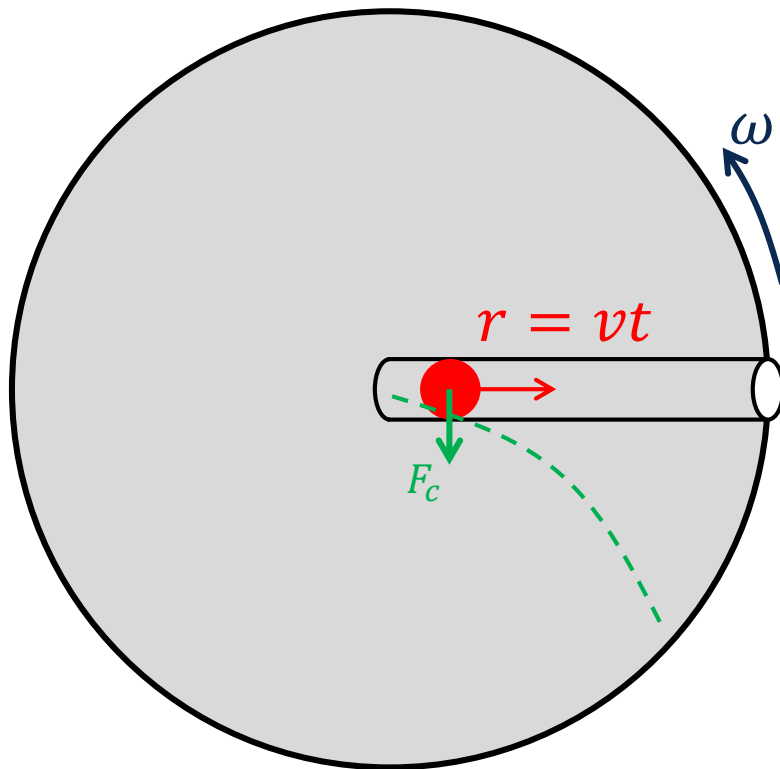


$a_c$  - Coriolis-Besd.



# Grundprinzip

## Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement

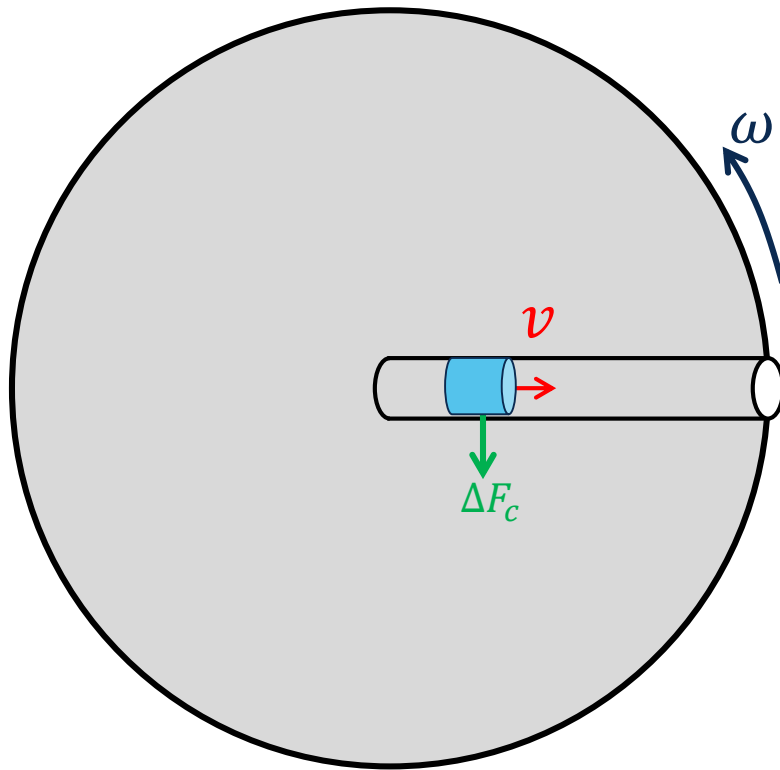


- Jetzt führen wir die Kugel in einem auf der Scheibe befestigten Rohr
- Für den mitbewegten Beobachter „möchte“ die Kugel gern den grünen schraffierten Weg nehmen. Dem wirkt aber die Rohrwand entgegen. Die Coriolis-Scheinkraft wird hier zur realen Kraft. Es wirkt die **Coriolis-Trägheitskraft** auf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



# Grundprinzip

## Wirkung der Corioliskraft auf ein Fluidelement



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

$$\Delta F_c = 2 \Delta m \omega v$$

$$V = A \Delta r$$

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

$$\Delta m = \rho A \Delta r$$

auf das Rohr aus.

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

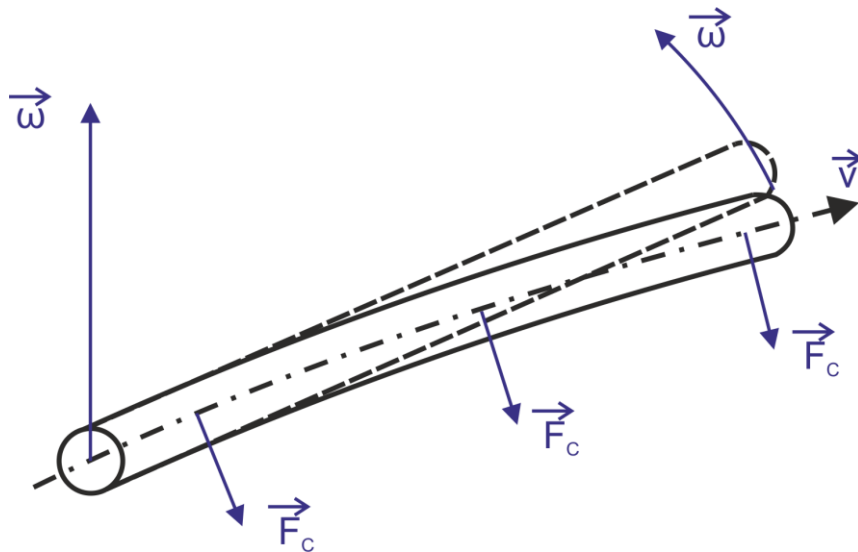
$$= 2 \omega \rho A \int_0^L v(r) dr$$

$$F_c = 2 \omega \rho A l v$$



# 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  $\Delta r$  gilt:

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

Die insgesamt wirkende Coriolis-Trägheitskraft ist proportional zum Massestrom

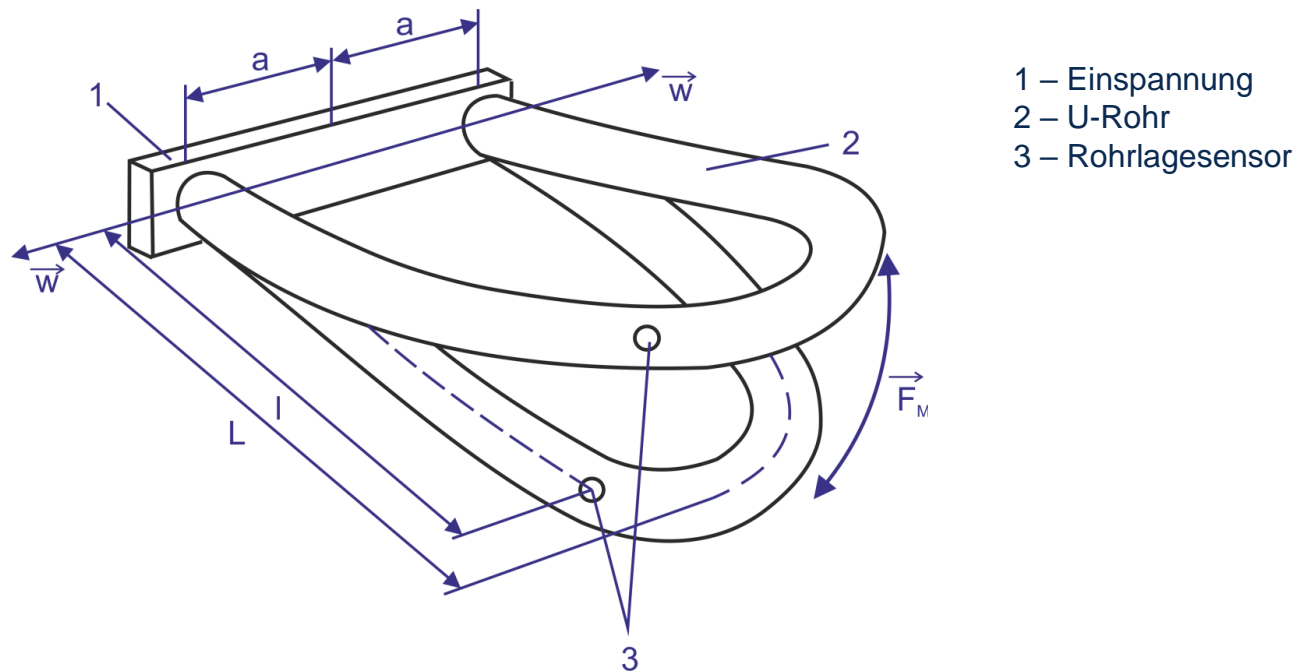
$$\dot{m} = \rho A v = \frac{F_C}{2\omega l}$$

$l$  bezeichnet die effektive Coriolis-Wirklänge des Rohres.





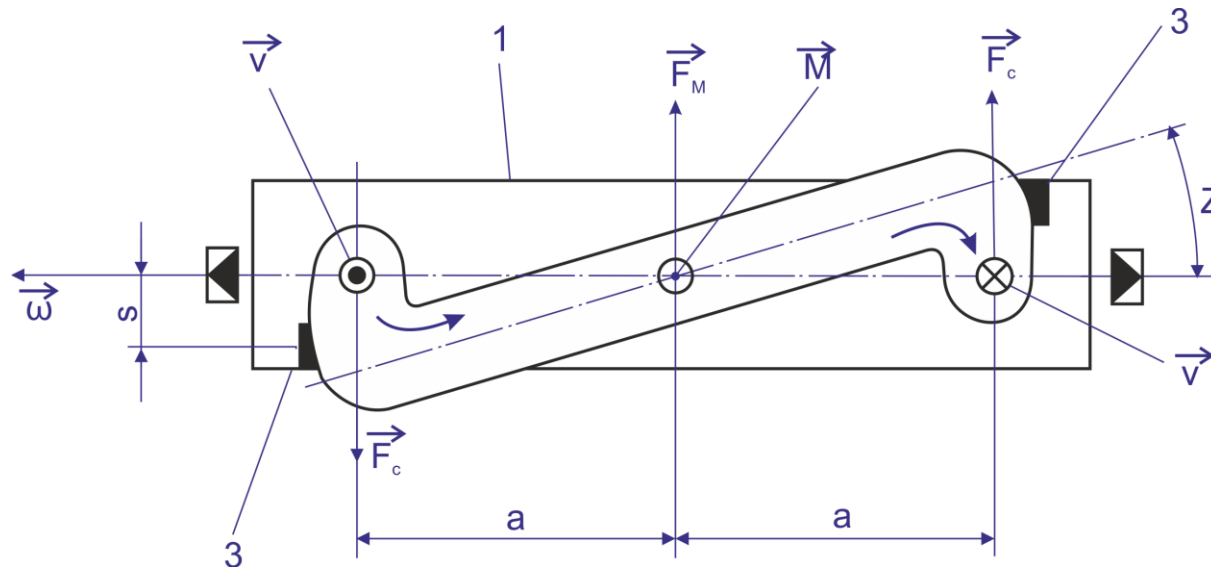
# Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr



- 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



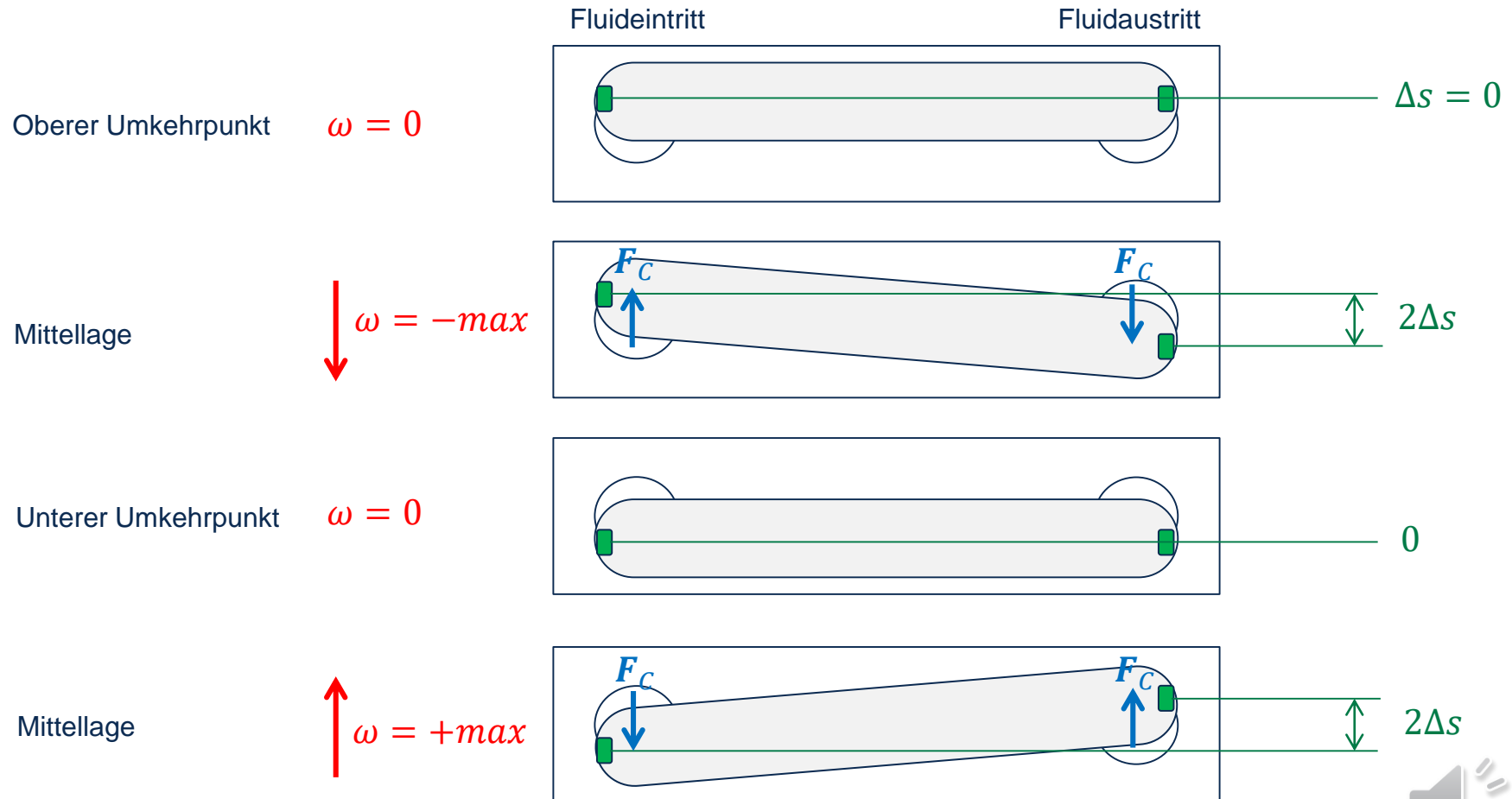
# Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr



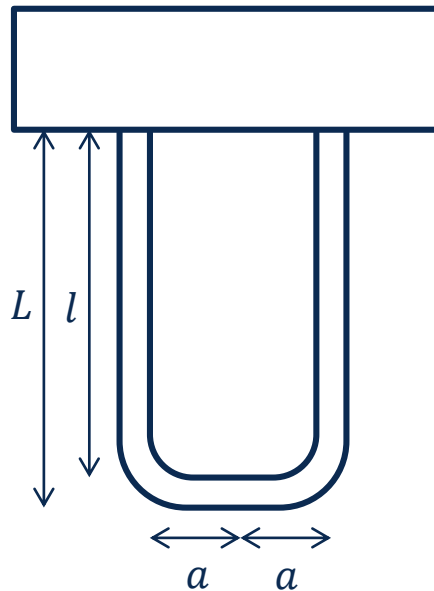
- ✓ Elektromagnetische Anregung von Eigenschwingungen quer zur Rohrbogenebene
- ✓ Coriolisträgheitskraft wirkt bei durchströmendem Fluid in beiden Schenkeln in unterschiedlichen Richtungen
- ✓ daraus resultiert eine Torsionswirkung die zur Verdrehung der Schenkelanordnung führt
- ✓ Messung der Verdrehung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



# Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr



# Grundprinzip: Coriolis-Durchflussmessung mit U-Rohr



$$\begin{aligned}\Delta s &= a\varphi \\ u &= L\omega \\ \Delta t &= \frac{2\Delta s}{u} = \frac{2a\varphi}{L\omega} \\ M_c &= 2aF_c = K\varphi = M_K \\ 2aF_c &= K\varphi \\ 2aF_c &= K \frac{\Delta t L \omega}{2a} \\ F_c &= 2m\omega e\end{aligned}$$

$M_C = Fr = 2aF_c$

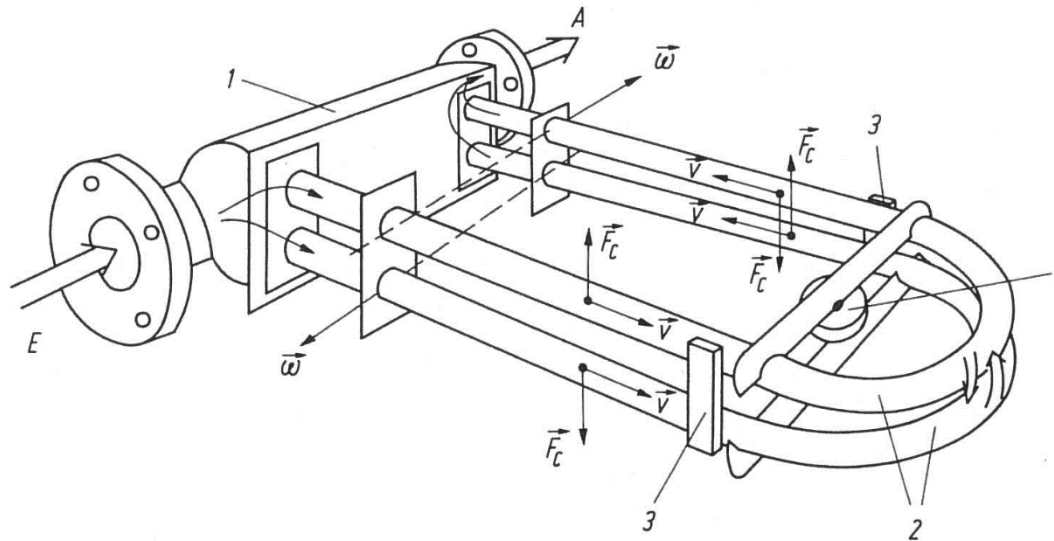
$\Delta s = a \sin \varphi \approx a\varphi$

$M_W = K\varphi$

$$\Delta t = \frac{\rho l a^2}{K L} \dot{m} = G \cdot \dot{m}$$



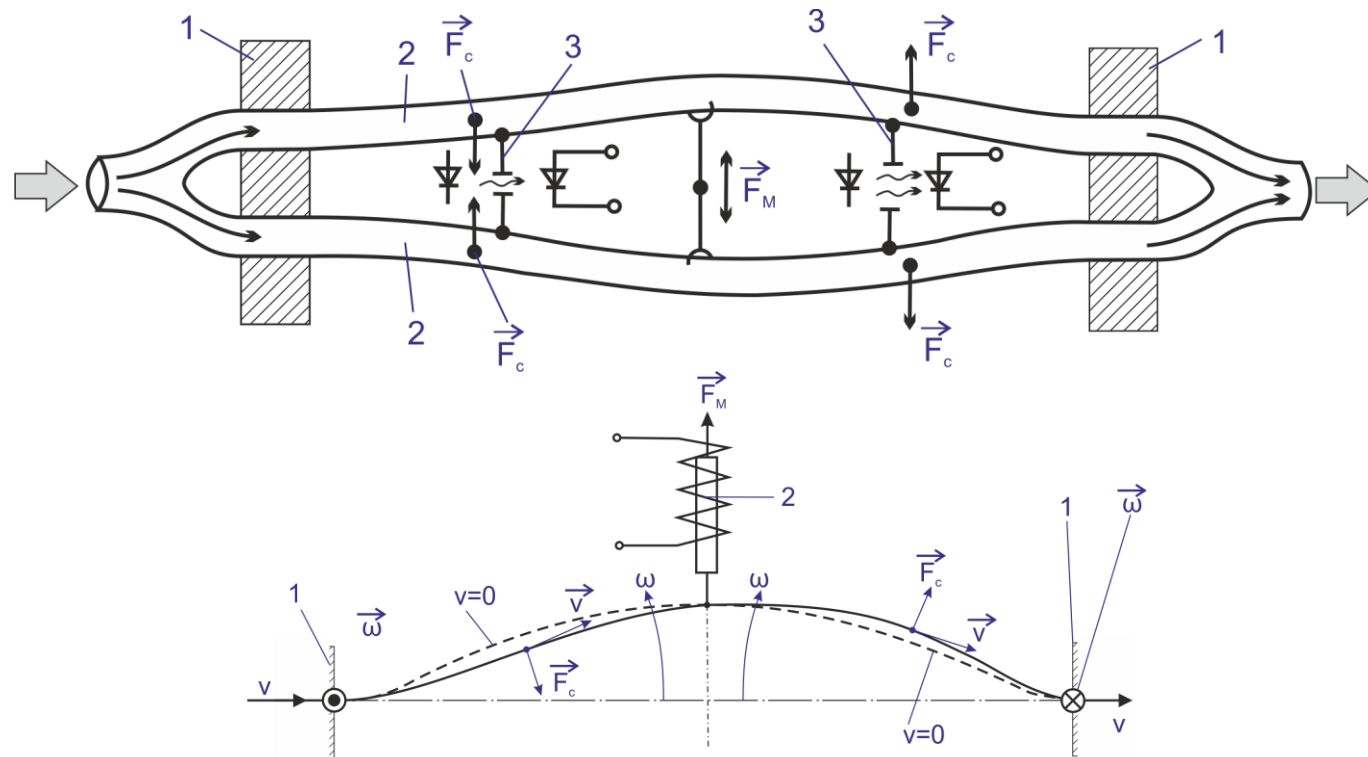
# Doppel-U-Rohr Coriolis-Massestrommesser



- 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, DN100, 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 Einlaufängen min. 10 L/D



## Vorzüge

- ✓ Direkte Massestrommessung (Fluiddichte muss nicht bekannt sein; Messung damit unabhängig von Druck, Dichte, Viskosität, Temperatur)
- ✓ Berührungsfreie 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

