Inhaltsverzeichnis:

4. Durchflusssensoren 3
4.1 Durchflussmessung und Mengenzählung 3
4.2 Grundlagen 5
4.2.1 Laminare und turbolente Strömung 5
4.2.2 Bevorzugtes Strömungsprofil 6
4.2.3 Reynoldszahl und Viskosität 7
4.2.3.1 Die Reynoldszahl 7
4.2.3.2 Die Viskosität 7
4.2.4 Beruhigungsstrecken 9
4.2.5 Kontinuitätsgleichung 10
4.2.6 Beziehung zwischen Nennweite, Durchfluss und Strömungsgeschwindigkeit 11
4.2.7 Bleibender Druckverlust 12
4.2.8 Norm- und Betriebskubikmeter 14
4.2.9 Stichworte zu Betriebsbedingungen und Forderungen an die Messstelle 15
4.2.10 Auswahlmatrix für Durchflussmessgeräte 18
4.2.11 Strömungsgleichrichter 19
4.3 Durchflussmessgeräte 20
4.3.1 Wirkdruckmessverfahren 20
4.3.1.1 Durchflussgleichung 21
4.3.1.2 Vergleich von genormten Drosselorganen 23
4.3.1.3 Messblenden-Typen: 24
4.3.1.4 Anordnung von Durchflussmessern nach dem Wirkdruckverfahren 25
4.3.1.5 Venturirohr 26
4.3.1.6 Staudrucksonde 28
4.3.2 Schwebekörperdurchflussmesser (SKDM) 30
4.3.2.1 Typen von Schwebekörperdurchflussmessern 30
4.3.2.2 Magnetische Kopplung (Kraftübertragung) 32
4.3.2.3 Schwebekörperformen 33
4.3.2.4 Physikalische Grundlage 33
4.3.2.5 Schwebekörperdurchflussmessumformer 35

4.3.3 Dralldurchflussmesser 36
4.3.4 Stauklappendurchflussmessung 39
4.3.5 Magnetisch induktiver Durchflussmesser (MID) 41
4.3.6 Ultraschalldurchflussmesser 43
4.3.7 Wirbeldurchflussmessgeräte 51
4.3.8 Massedurchflussmesser, Coriolisprinzip 55
4.3.9 Thermische Durchflussmesser 58
4.4 Volumetrische Durchfluss-/ Mengenmessungen 59
4.4.1 Turbinenrad-Zähler 60
4.4.2 Flügelradzähler 62
4.4.3 Ovalradzähler 63
4.4.4 Ringkolbenzähler 65
4.4.5 Drehkolbenzähler 67
4.4.6 Treibschieber-Zähler 68
4.4.7 Hubkolben-Zähler 69
4.4.8 Trommel-Zähler 70
4.5 Zusammenfassung der Vor- und Nachteile 71
4.5.1 Ovalradzähler, Ringkolbenzähler 71
4.5.2 Drehkolbenzähler 71
4.5.3 Turbinenzähler 72
4.5.4 Wirbeldurchflussmesser 73
4.5.5 Drall-Durchflussmesser 73
4.5.6 Wirkdruck-Messverfahren 74
4.5.7 Schwebekörper-Durchflussmesser 75
4.5.8 Magnetisch-induktive-Durchflussmesser 75
4.5.9 Ultraschall-Durchflussmesser 76
4.5.10 Masse-Durchflussmesser nach dem Coriolois-Prinzip 77
4.5.11 Masse-Durchflussmesser, thermisch 78

4. Durchflusssensoren

4.1 Durchflussmessung und Mengenzählung

Die Durchflussmessung nimmt in der industriellen Messtechnik eine Sonderstellung ein, In der Verfahrenstechnik sind die Durchflussmessstellen oft ebenso zahlreich wie die Temperaturmessstellen. Für eine innerbetriebliche Abrechnung der verbrauchten Mengen von Gasen und Flüssigkeiten ist die Durchfluss- und Mengenmessung unentbehrlich. Viele Durchflussmesser arbeiten mit mechanischen Fühlern und nach dem Wirkdruckverfahren. Unter den elektrischen Messfühlern hat sich zum Beispiel der induktive Durchflussmesser (IDM) technische Bedeutung erlangt.

Die wichtigsten Basisgrößen sind Masse und Volumen:
Masse mit dem Formelzeichen m gemessen in kg oder g
Volumen mit dem Formelzeichen V gemessen in m^3, dm^3 oder cm^3

Als Quotient aus Masse und Volumen gibt die Dichte die Beziehungen der beiden Größen an:

$$\textbf{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} : \rho = \frac{m}{V} \left[\frac{kg}{dm^3}, \frac{kg}{m^3}, \frac{g}{cm^3}\right]$$

Da die meisten Produktionsanlagen kontinuierlich arbeiten, werden Messwerte gefordert, die den augenblicklichen Zustand oder den Momentanwert angeben. Deshalb ist eine zeitabhängige Größe erforderlich, nämlich der Durchfluss. Bezogen auf die beiden Basisgrößen Masse und Volumen unterscheidet man den Massedurchfluss q_m und den Volumendurchfluss q_v:

$$\textbf{Massedurchfluss} = \frac{\text{Masse}}{\text{Zeit}} : q_m = \frac{m}{t} \left[\frac{kg}{s}, \frac{g}{s}, \frac{kg}{h}\right]$$

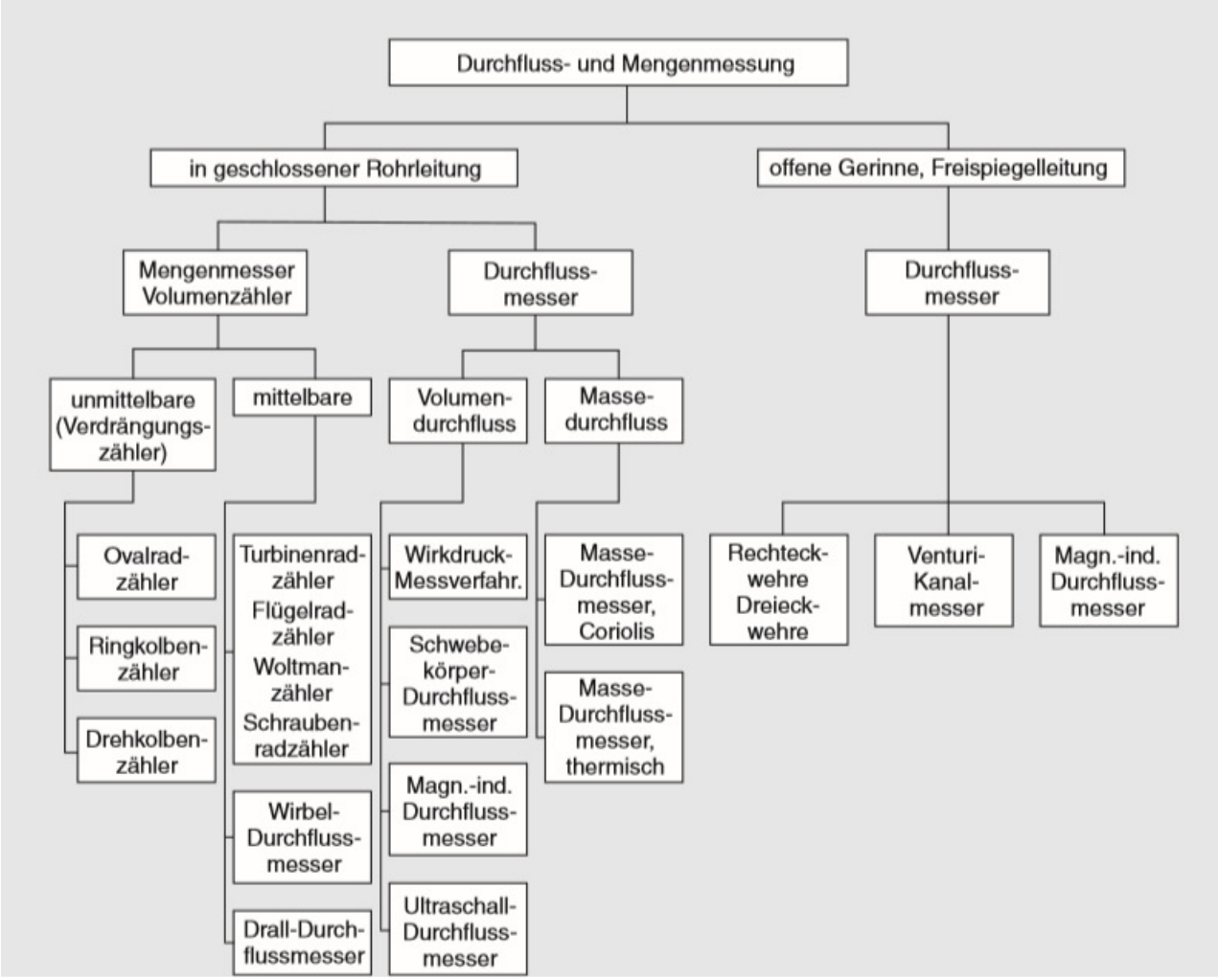
$$\textbf{Volumendurchfluss} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Zeit}} : q_v = \frac{V}{t} \left[\frac{m^3}{s}, \frac{l}{s}, \frac{m^3}{h}\right]$$

Wegen der Unabhängigkeit von Druck und Temperatur ist die Masse-Durchflussmessung die ideale Methode, während die Volumen-Durchflussmessung in der Regel gerätetechnisch günstiger ist und deshalb bevorzugt wird.

Die Volumina der inkompressiblen Flüssigkeiten werden in den üblichen Druckbereichen vom Druck selbst nicht fühlbar beeinflusst. Wenn dagegen die Temperatur wechselt, kommt es zur Volumenänderung, die unter Umständen Korrekturrechnungen erfordert.

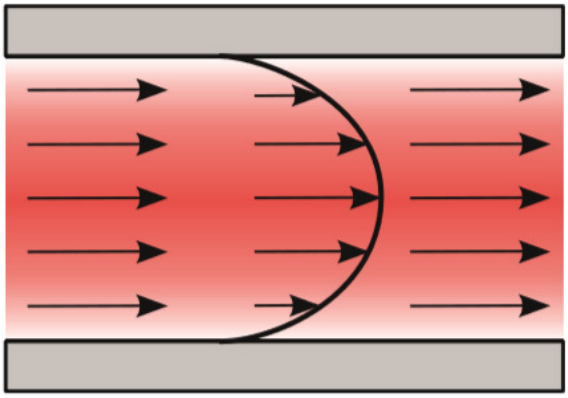
Entscheidend für die Auswahl des Messverfahrens sind:

- Messbereich
- Genauigkeit
- Zusatzbedingungen (Einbauort, Eigenschaften des Mediums u. a,)
- Kosten
- Einfluss auf das zu messende Medium



4.2 Grundlagen

4.2.1 Laminare und turbolente Strömung



Laminares Strömungsprofil

Re < 2320

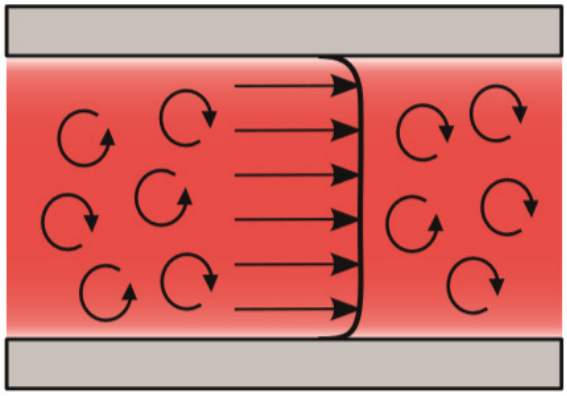
Das laminare Strömungsprofil kann man sich vorstellen, wie Zylinder die ineinander stehen, analog den Jahresringen eines Baumes. Die einzelnen Strömungsschichten durchmischen sich ggf. nicht.

Es handelt sich also um eine turbulenzlose Strömung eines Fluids in einem Kanal, bei der sich alle strömenden Teilchen parallel in Strömungsrichtung bewegen. Die Strömungsgeschwindigkeit ist in der Strömungsmitte am höchsten und fällt in Richtung Wand bis auf 0 ab. Eine wichtige Kennziffer zur Bestimmung einer laminaren Strömung ist die Reynolds-Zahl (vgl. turbulente Strömung).

Dies ist besonders von Bedeutung, wenn man die Temperaturen des Medium messen möchte. Das Medium kann außen kühler sein als im Zentrum des Strömungsprofiles.

Im Gegensatz zur laminaren Strömung bewegen sich die einzelnen Teilchen in der Strömung nicht parallel, sondern ungeordnet fort. Dies führt zu strömungsbedingten Druckdifferenzen innerhalb des Fluids, was wiederum zu Verwirbelungen (Turbulenzen) führt.

Eine wichtige Kennziffer zur Bestimmung einer turbulenten Strömung ist die Reynolds-Zahl.



Turbolentes Strömungsprofil

Re > 3000

Das turbolente Strömungsprofil ist dadurch gekennzeichnet, dass es keine getrennten Schichten gibt, sondern eine wilde Durchmischung des Mediums. Dies kann bei den meisten Durchflussmessungen zu Problemen führen.

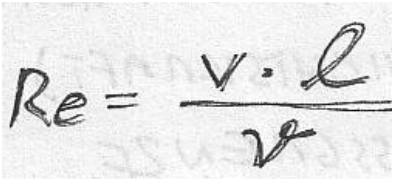
4.2.2 Bevorzugtes Strömungsprofil

Das bevorzugte Strömungsprofil für die Mehrzahl der kontinuierlich arbeitenden (keine volumetrisch arbeitenden Zähler) Durchflußmessgeräte ist das laminare Strömungsprofil. Würde man bei Messgeräten die nach dem Wirkdruckprinzip arbeiten nicht auf laminare Strömungen achten, würden keine bzw. unzureichende Messergebnisse die Folge sein. Ein Totalversagen der Messeinrichtung ist ebenfalls sehr wahrscheinlich.

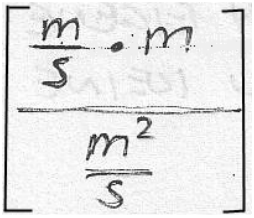
4.2.3 Reynoldszahl und Viskosität

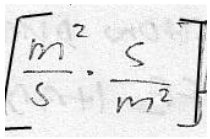
4.2.3.1 Die Reynoldszahl

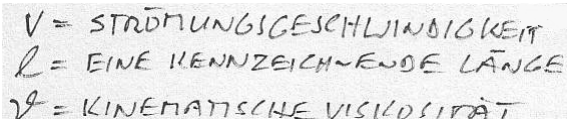
Die Reynoldszahl ist eine wichtige, dimensionslose Kenngröße bei Strömungsvorgängen. Mit Hilfe der Reynolds-Zahl (Re) kann man Angaben über die Art der Strömung machen, denn wenn Re < 2320 dann ist die Strömung laminar, und wenn Re > 3000 dann ist die :Strömung turbulent (s. turbulente Strömung, laminare Strömung).



Dimensionslose Größe







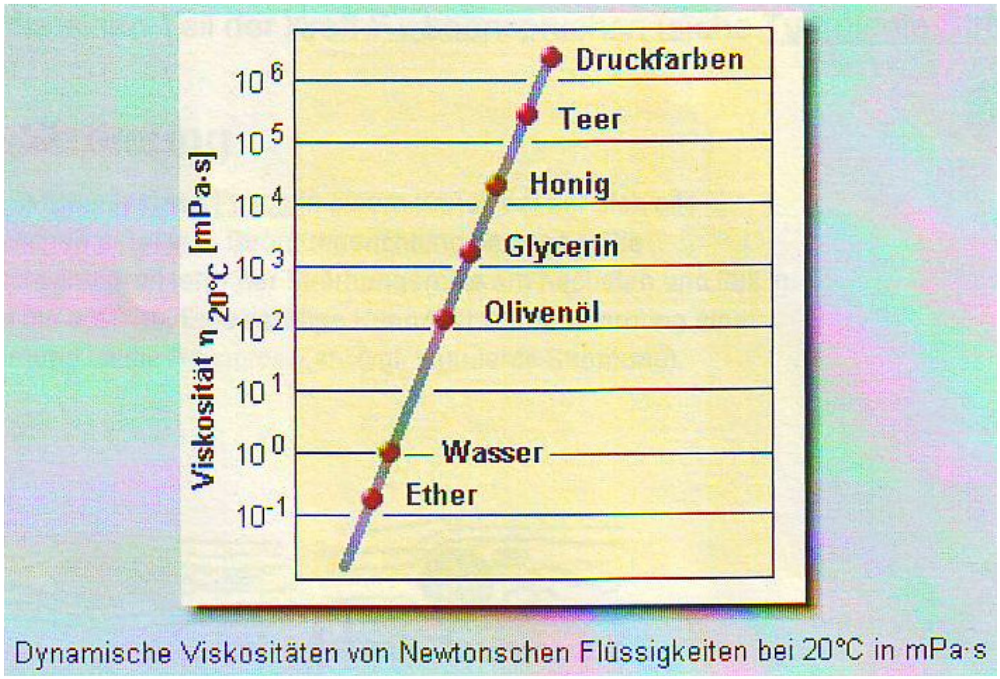
4.2.3.2 Die Viskosität

Viskosität beschreibt die Zähigkeit von Flüssigkeiten und Schmelzen, aber auch von Suspensionen. Sie wird definiert durch den Reibungswiderstand, den eine Flüssigkeit einer Deformation durch eine Druck- oder Schubspannung entgegensetzt.

Die dynamische Viskosität wird gemessen in Pas und meist mit Hilfe eines Rotationsviskosimeters bestimmt. Früher wurde die Viskosität auch in Poise (oder Centipoise) angegeben. Es gelten:

1 Ns/m^2 = 1 Pas = 10 Poise und 1 Centipoise = 1 cP = $10^{-3} Ns/m^2$.

Bei Anstrichstoffen (z. B. Schlichten und Coatings) behilft man sich im Rahmen von betrieblichen Vergleichsmessungen auch oft mit relativen Angaben, die mit Hilfe eines Auslaufbechers (nach DIN 53211 mit einer 4mm-Düse) bestimmt werden. Die hierbei ermittelten Werte (Auslaufzeiten in Sekunden) eignen sich, um reproduzierbare Verdünnungsverhältnisse im Betrieb einzustellen und diese gegebenenfalls durch Zugabe von Wasser oder Lösemittel zu verändern.

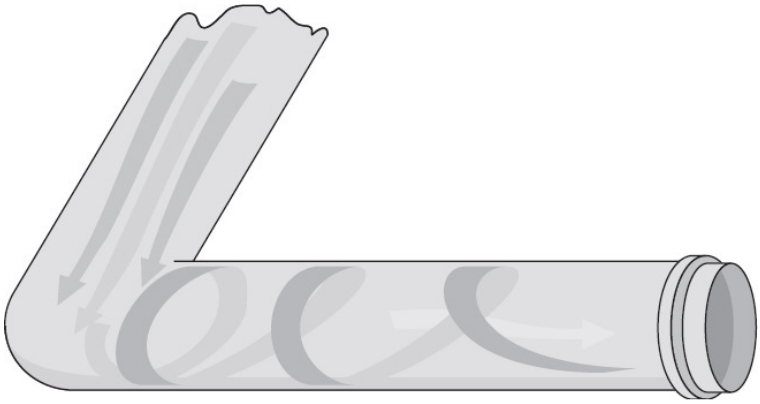


Dynamische Viskositäten von Newtonschen Flüssigkeiten bei 20°C in mPa·s

Die Viskosität bezeichnet das Fließverhalten einer Flüssigkeit. Hohe Viskosität bedeutet **Dickflüssigkeit** eine niedrige dagegen **Dünnflüssigkeit .** Beim Fließen gleiten die Moleküle aneinander vorbei. Dies geht umso schwerer je höher die zwischenmolekularen Kräfte (van-der-waals-Kräfte) sind.

4.2.4 Beruhigungsstrecken

Für manche Durchflussmessgeräte ist es für die Messgenauigkeit bzw. für die Einhaltung der vom Hersteller garantierten Klassengenauigkeit / Garantiefehler-grenze besonders wichtig, dass es sogenannte Beruhigungsstrecken vor und nach dem in der Rohrleitung montierten Messgerät gibt.



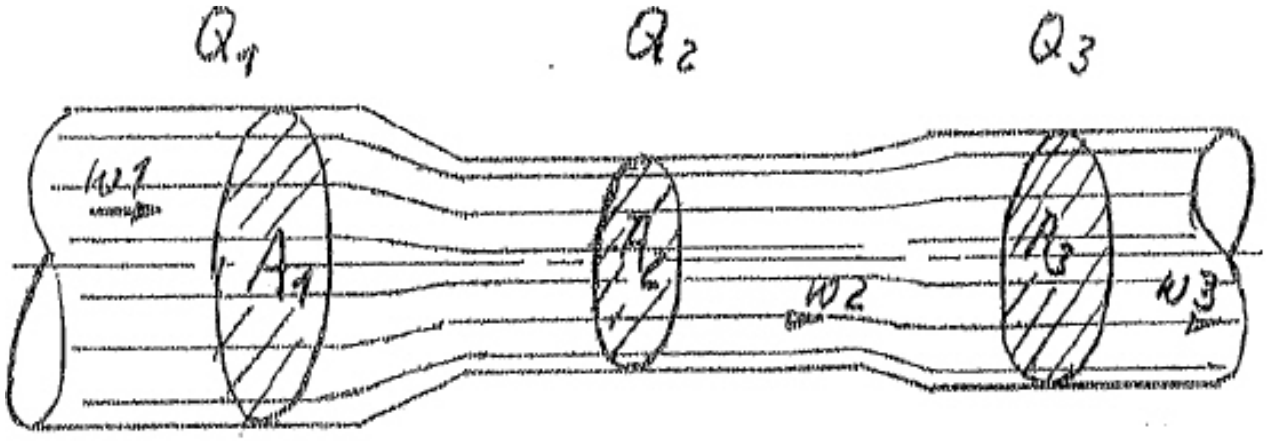
Wirbelmuster in einem Rohr

Diese sogenannten Ein- bzw. Auslaufstrecken haben die Aufgabe dafür zu sorgen, dass aus einer möglicherweise turbolenten Strömung eine laminare Strömung wird.
Abhängig vom Messgerätetyp müssen diese Rohrleitungsteilstücke unterschiedlich lang konzipiert sein.

Zwei 90°-Kniee in unterschiedlicher Ebene

4.2.5 Kontinuitätsgleichung

Eine Rohrleitung, die von einem strömenden Medium ausgefüllt ist, zeigt In Jedem Querschnitt den gleichen Durchfluss. Das gilt auch, wenn die Rohrleitung Querschnittsänderungen hat. Deshalb muss sich die Strömungsgeschwindigkeit dem Querschnitt anpassen.



$Q_1 = A_1 * w_1$

$Q_2 = A_2 * w_2$

$Q_3 = A_3 * w_3$

Q = Durchfluss

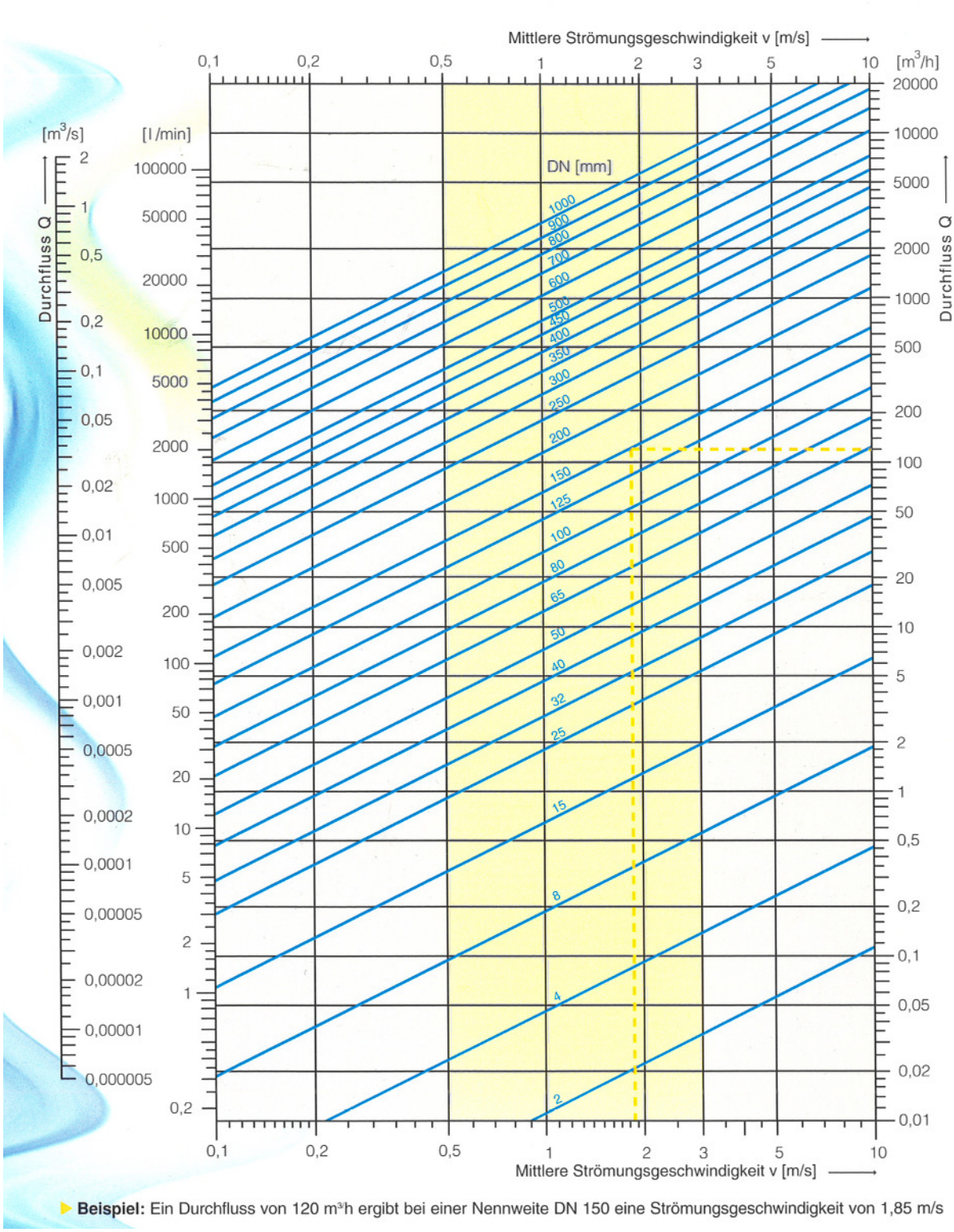
A = Querschnittsfläche

w = Strömungsgeschwindigkeit

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$A_1 * w_1 = A_2 * w_2 = A_3 * w_3$$

4.2.6 Beziehung zwischen Nennweite, Durchfluss und Strömungsgeschwindigkeit



4.2.7 Bleibender Druckverlust

Bernoulli

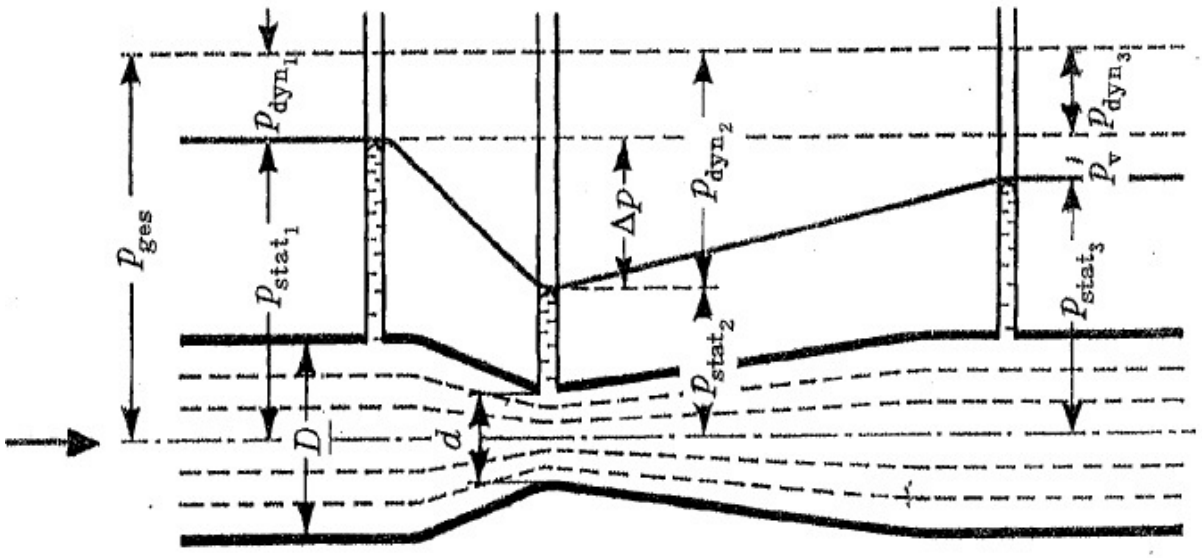
Der Satz von der Erhaltung der Energie lässt folgern, dass in jedem Teil der Rohrleitung die Summe Lageenergie, der Bewegungsenergie und der Energie des Druckes gleich bleiben muss.

$$E_{ges} = m \cdot \sigma \cdot h + 1/2\ m \cdot w^2 + p \cdot V = \text{const.}$$

Wenn die Schwerkraft vernachlässigt wird, weil die Leitung Im betrachteten Bereich kein Gefälle hat und man außerdem die Gleichung durch V teilt, so ergibt sich:

$$p + 1/2 : \sigma \cdot w^2 = \text{const.} \qquad m = V \cdot \sigma$$

Das bedeutet, dass die Geschwindigkeitserhöhung in einer Querschnittsverengung infolge der höherer Bewegungsenergie eine Verminderung der Druckenergie und damit des Druckes verlangt. Vor einem Drosselkörper steigt der statische Druck an, well die einzelnen Masseteilchen, die gebremst werden, von den nachfolgenden, noch schnellen Masseteilchen eine Druckkraft erfahren. Bei dem Wirkdruckverfahren misst man den Druckunterschied zwischen einem Punkt vor dem Drosselkörper und einem Punkt hinter dem Drosselkörper, wo die Strömung Ihren engsten Querschnitt hat.



p_{stat} statischer Druck,

p_{dyn} dynamischer Druck,

$p_{ges} = p_{stat_1} + p_{dyn_1}$ Gesamtdruck,

$\Delta p = p_{stat_1} - p_{stat_2}$ Wirkdruck

$p_v = p_{ges} - (p_{stat_3} + p_{dyn_3})$ bleibender Druckverlust durch den Energieverbrauch der Wirbel vor und hinter der Kontraktion

4.2.8 Norm- und Betriebskubikmeter

Umrechnung Normdichte in Betriebsdichte

$$\rho = \rho_n \times \frac{1{,}013 + \rho}{1{,}013} \times \frac{273}{273 + T}$$

Umrechnung in Betriebsdurchfluss

1. ausgehend vom Normdurchfluss (Q_n)

$$Q_V = Q_n \frac{\rho_n}{\rho} = Q_n \frac{1{,}013}{1{,}013 + \rho} \times \frac{273 + T}{273}$$

2. ausgehend vom Massedurchfluss (Q_m)

$$Q_V = \frac{Q_m}{\rho}$$

Umrechnung dynamische Viskosität --> kinematische Viskosität

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Berechnung der Reynolds-Zahl

$$\mathrm{Re} = \frac{Q}{(2827 \cdot \nu \cdot d)}$$

Q Durchfluss in m^3/h

d Rohrdurchmesser in m

ν kinematische Viskosität (m^2/s)

Verwendete Formelzeichen

ρ	Betriebsdichte (kg/m^3)
ρ_N	Normdichte (kg/m^3)
P	Betriebsdruck (bar)
T	Betriebstemperatur (°C)
Q_v	Betriebsdurchfluss (m^3/h)
Q_n	Normdurchfluss (m^3/h)
Q_m	Massedurchfluss (kg/h)
η	dynamische Viskosität (Pas)
ν	kinematische Viskosität (m^2/s)

4.2.9 Stichworte zu Betriebsbedingungen und Forderungen an die Messstelle

Wird eine Messstelle geplant, so ergibt sich deren Notwendigkeit aus dem gewünschten Messeffekt. Das Messgerät soll also entweder selbst etwas aussagen (z. B. örtliche Anzeige) oder eine Funktion unterstützen (z. B. als Istwertgeber für einen Regler). Der Planer beginnt seine Recherchen für die Geräteauswahl bei den Betriebsbedingungen. Er stellt die Fragen nach dem Messstoff, nach den örtlichen Gegebenheiten und stellt die Forderung nach der Darstellung des Messwertes. Dazu nachstehende Stichwortzusammenstellung:

Beschaffenheit des Messstoffes:

- Gas, Dampf: trocken, feucht
- Flüssigkeit: Gasanteil, Feststoffe, ablagernde kristallisierende Inhaltsstoffe, Staub im Gas
- Dichte
- Temperatur, Temperaturänderung, zeitlicher Ablauf
- Viskosität
- elektrische Leitfähigkeit des Messstoffes, der Ablagerung
- chemische Aggressivität, Werkstoffauswahl
- Abriebgefahr

Betriebsbedingungen:

- Verlauf der Rohrleitungen z.B. für Schwebekörperdurchflussmesser
- Nennweite der Rohrleitung
- Ausbildung des Gerinnes, Gefälle, Rückstau
- Druckstufe
- Durchfluss, kleinster, größter Wert; Änderungsgeschwindigkeit (stoßförmige Änderung)

- Strömungsverhältnisse: lineare, turbulente Strömung Geschwindigkeitsverteilung, Drall, Pulsation
- beide Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- statischer Druck, Druckstoß, Druckverlust zulässig
- Nahrungsmittelindustrie →Keine Toträume in der Rohrleitung und in den Sensoren und Aktoren

Örtliche Gegebenheiten:

- Umgebungstemperatur
- Feuchtigkeitseinfluss, Schutzart
- Staubeinwirkung, Schutzart
- Vibration
- Leitungsbeschaffenheit vor und hinter der Messstelle
- Explosionsschutz
- Hilfsenergie, Leitungsführung
- Einstreuung elektrischer Störungen
- Befestigungsmöglichkeit

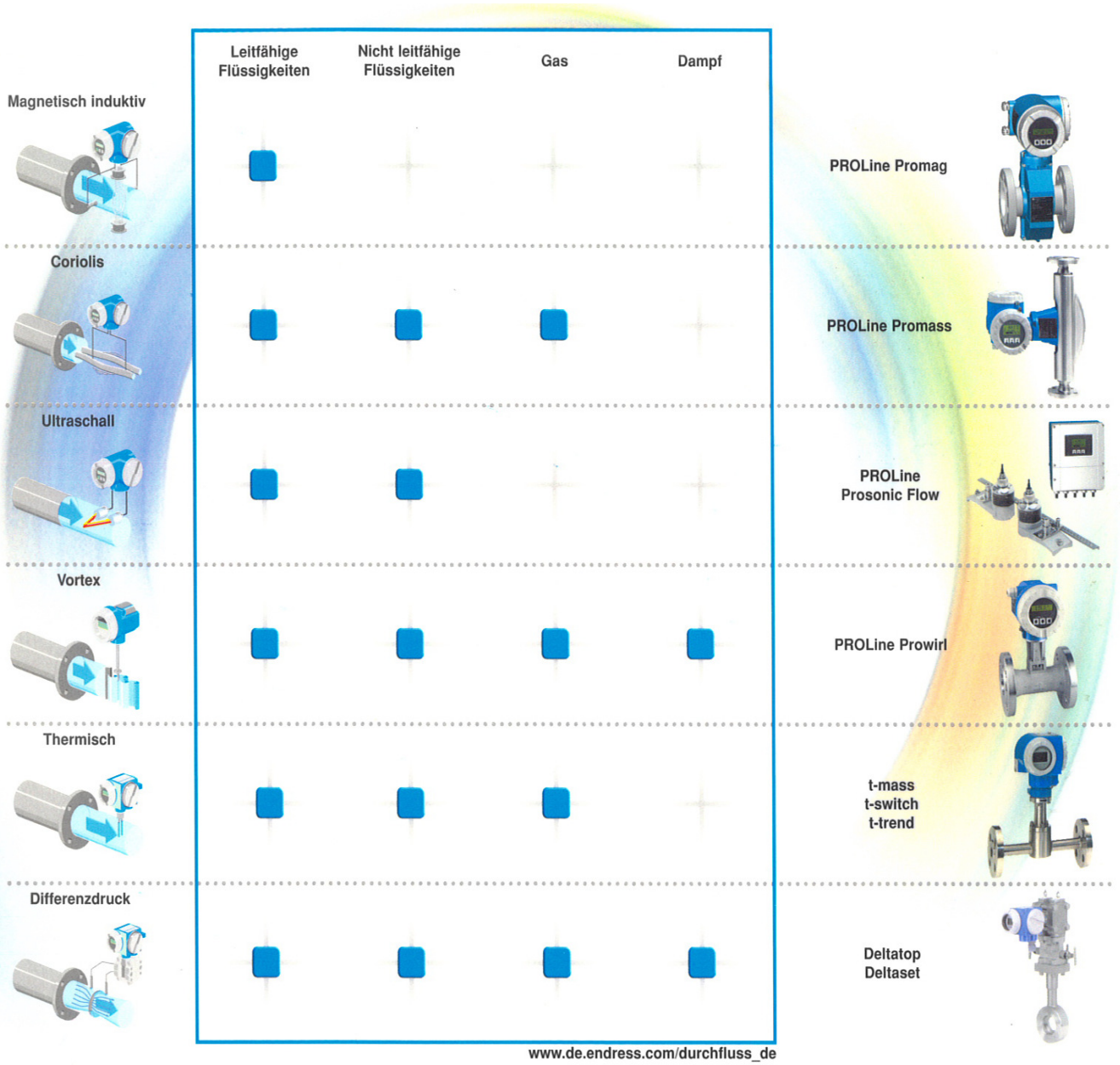
Darstellung des Messwertes:

- Genauigkeit
- fester, einstellbarer Messbereich intern, extern
- interne, externe Kontrollmöglichkeit
- örtliche Anzeige
- Zählung, Integration
- Grenzwertsignal
- analoges Einheitssignal, welche Werte?

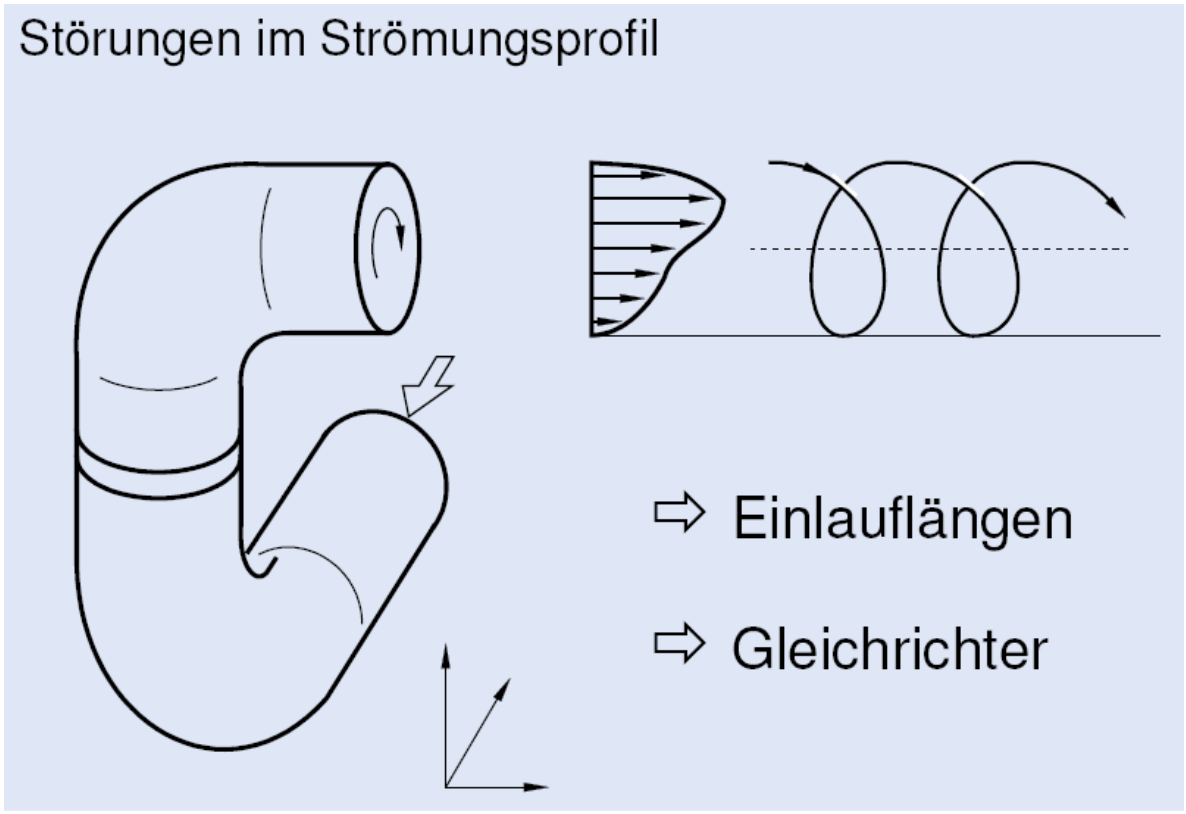
- Impulsausgang zur Fernzählung
- Schnittstelle, welche?
- PROFIBUS
- HART-Protokoll
- Explosionsschutz
- Eichfähigkeit

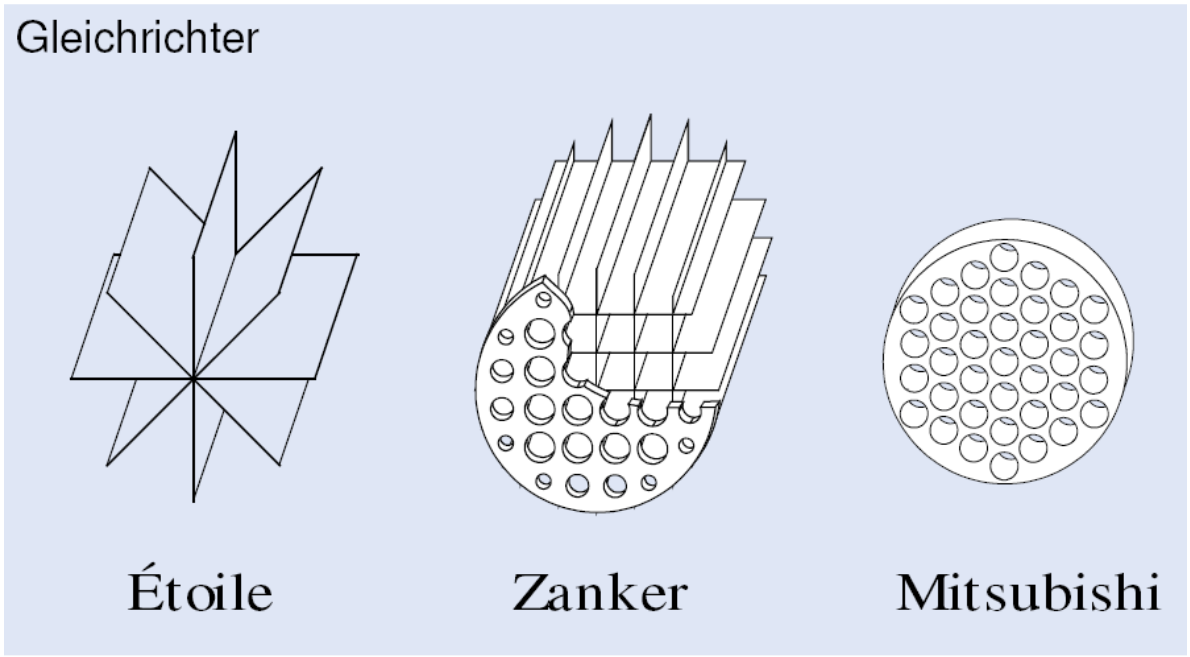
4.2.10 Auswahlmatrix für Durchflussmessgeräte

Eine Auswahlmatrix der Fa. Endress und Hauser. Sie dient als grobe Orientierung für die Einsatzgrenzen der einiger Durchflussmessgeräte.



4.2.11 Strömungsgleichrichter

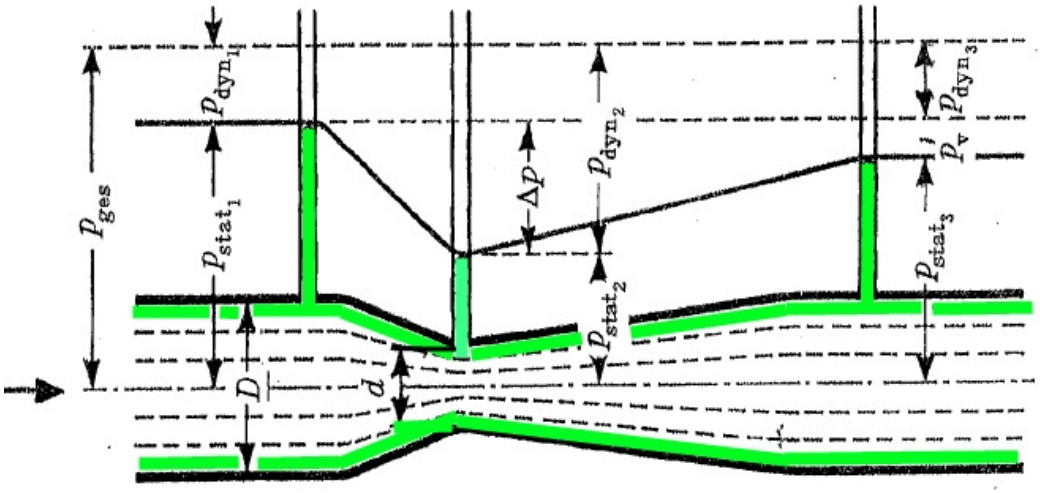




4.3 Durchflussmessgeräte

4.3.1 Wirkdruckmessverfahren

Allen Durchflussmessverfahren nach dem Wirkdruckmessprinzip ist gemein, dass sie den Druckanstieg bzw. den Druckabfall vor und hinter einer Rohreinschnürung, der abhängig vom herrschenden Durchfluss ist, messtechnisch auswerten.



Öffnungsverhältnis – Je stärker die Einschnürung der Strömung ist, um so größer ist der Wirkdruck – also der Messeffekt. Andererseits steigt dadurch der bleibende Druckabfall, der erstens Energieverlust bedeutet und zweitens das Medium so beeinflussen kann, dass die weitere Verarbeitung gestört Ist (Kondensation von Dampf z. B.)
Der bleibende Druckverlust Ist von der Art des Drosselkörpers und vom Öffnungsverhältnis m abhängig.

$$m = (d/D)^2$$

4.3.1.1 Durchflussgleichung

Wie man aus den hier angegebenen Gleichungen entnehmen kann, stehen Druck und Durchfluss in quadratischem Verhältnis zueinander. Dies bedeutet der Wirkdruck steigt nicht proportional zum Durchfluss an. D.h. um ein lineares Verhältnis zu bekommen, muss der Wirkdruck radiziert werden. In den Anfängen der prozesstechnischen Messtechnik, wurde mittels einem sogenanntem Radizierrelais, der Druck radiziert.

Q_M: Massendurchfluß [kg / Stunde]
Q_V: Volumendurchfluß [m^3 / Stunde]

$$Q_M = 0{,}01252 \cdot \alpha \cdot \epsilon \cdot m \cdot D_t^2 \cdot \sqrt{\sigma_t \cdot h}$$

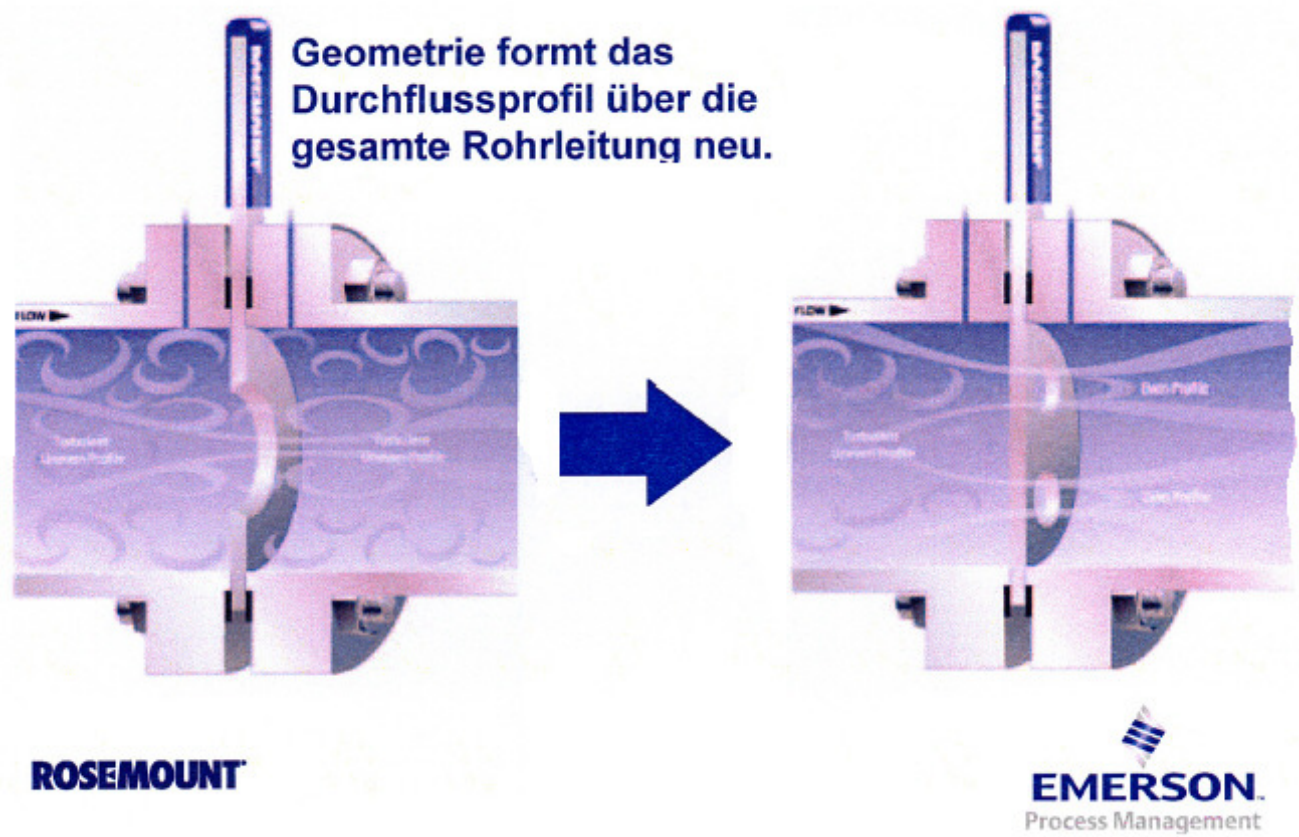
$$Q_V = 0{,}01252 \cdot \alpha \cdot \epsilon \cdot m \cdot D_t^2 \cdot \sqrt{\frac{h}{\sigma_t}}$$

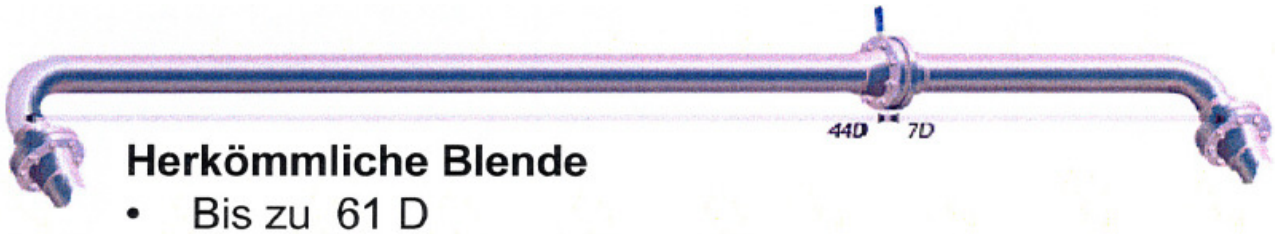
D_t: Wahrer, temperaturbedingter Rohrdurchmesser
σ_t: Dichte des Medium
$h = \Delta p$: Druckunterschied an der Blende (Kontraktionsstelle) Wirkdruck
m: Öffnungsverhältnis $(d/D)^2$
α: Durchflußzahl
ϵ: Expansionszahl (Dichteveränderung von Gasen und Dämpfen)
p_v: Bleibender Druckverlust

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}}$$

Pneumatische Relais für Rechenoperationen und für Zeitfunktionen

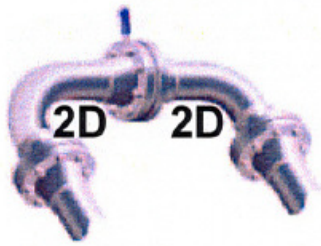
Die Vierlochblende (Bild rechts) hat im Vergleich zur klassischen Einlochblende den Vorteil der kürzeren Ein- und Auslaufstrecken.





Herkömmliche Blende

- Bis zu 61 D
- Durchflussgenauigkeit: ±1.0%



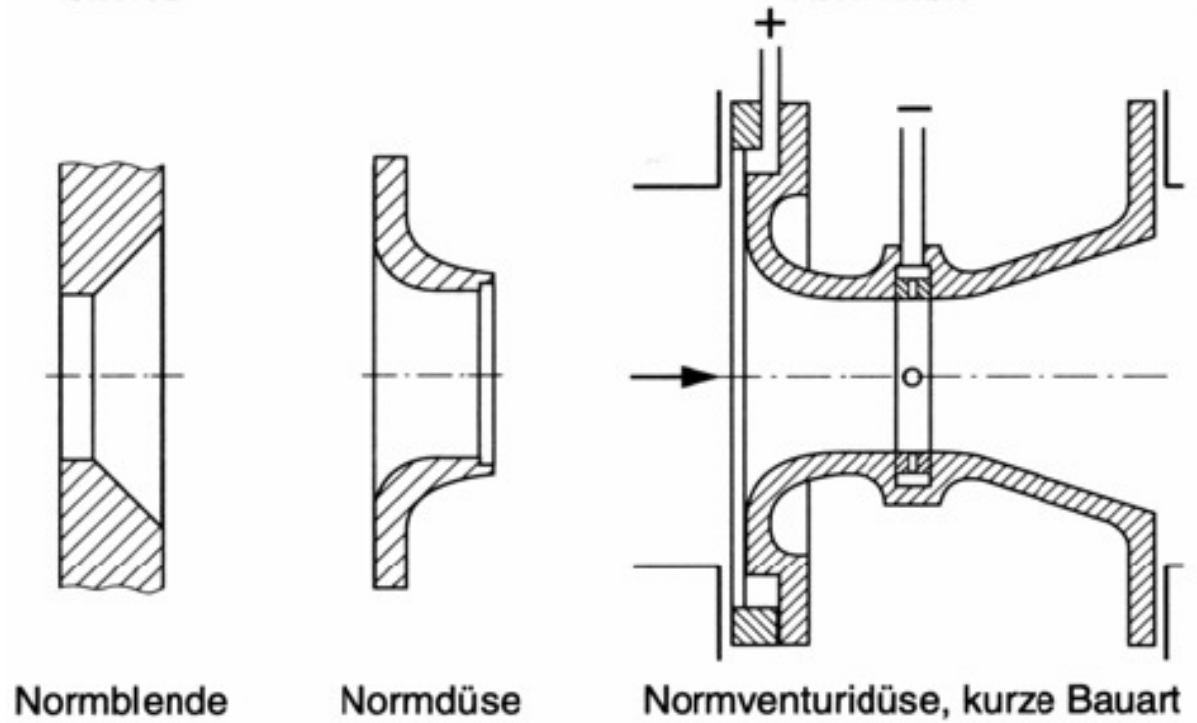
4 – Loch Blende

- 4 D
- Durchflussgenauigkeit: ±0.7%

4.3.1.2 Vergleich von genormten Drosselorganen

Vergleich der genormten Drosselorgane

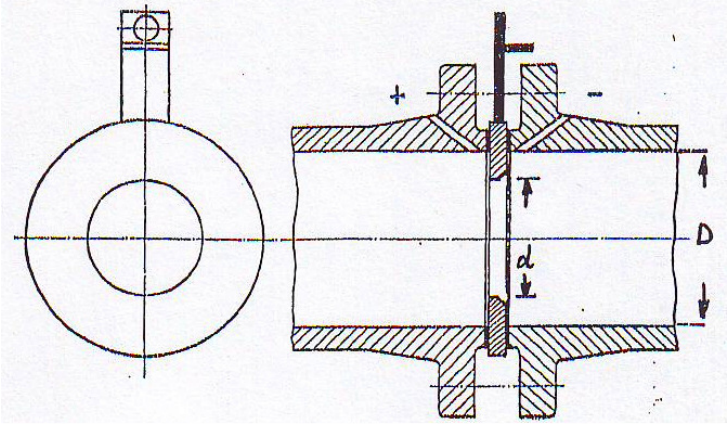
	Blende	Normdüse	Venturirohr	Venturidüse
Herstellungsaufwand	sehr gering	mittel	aufwendig	sehr aufwendig
Baulänge des Drosselgerätes	sehr kurz	kurz	lang ca. 10 D	mittel ca. 5 D
Gesamte Einbaulänge (Ein- und Auslaufstrecke)	relativ groß bis 50 D	relativ groß bis 50 D	relativ klein	relativ groß
bleibender Druckverlust	hoch	mittel (ca. 40% Blende)	klein (20% von Blende)	klein (20% von Blende)
Strömungs-Energieaufwand	hoch	mittel	niedrig	niedrig
Anfälligkeit gegen Verschmutzung	relativ hoch (Sedimentation)	mittel	klein	klein
Standzeit bei korrosiven und abrasiven Medien	niedrig	mittel	hoch	hoch



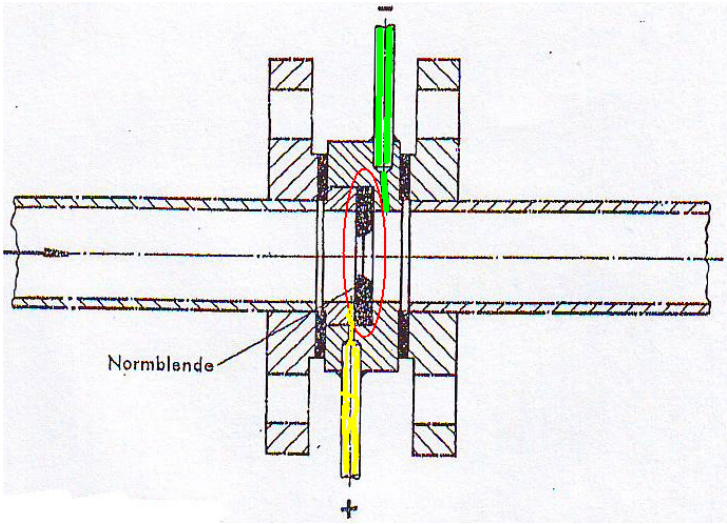
Normblende Normdüse Normventuridüse, kurze Bauart

4.3.1.3 Messblenden-Typen:

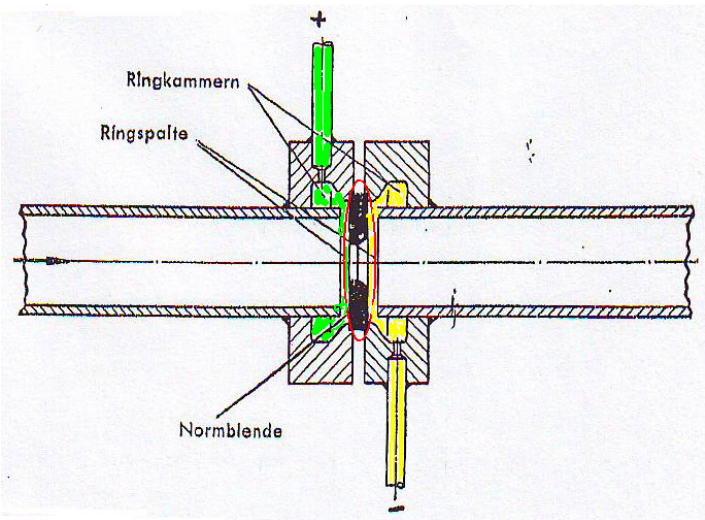
Normblende



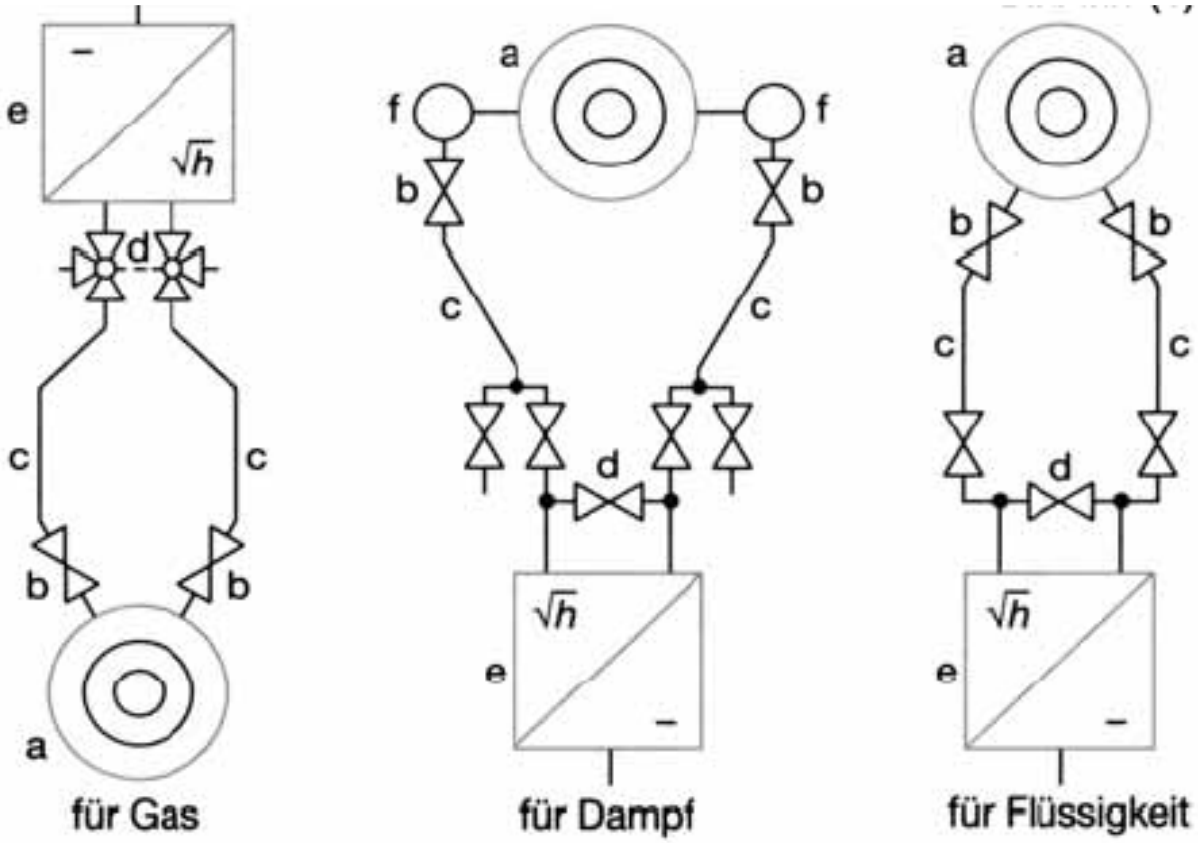
Messflansch mit Normblende und Einzelanbohrung



Messrohr mit Normblende und Ringkammer



4.3.1.4 Anordnung von Durchflussmessern nach dem Wirkdruckverfahren



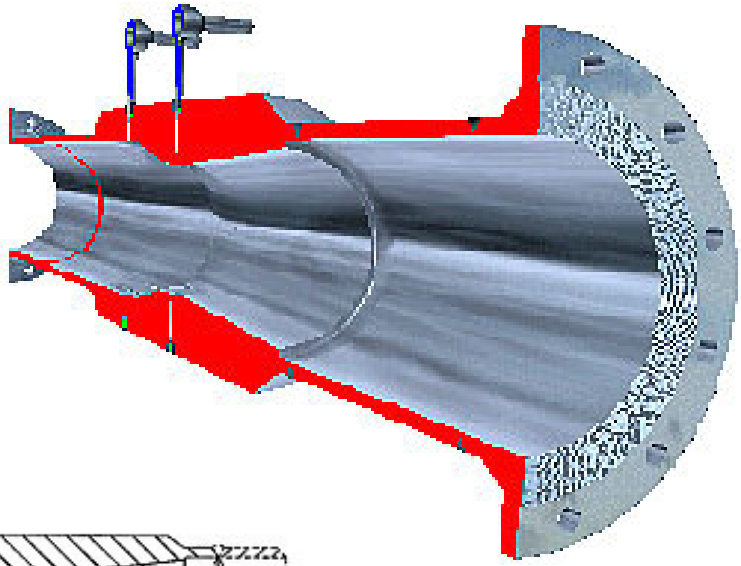
Eine vollständige Anordnung zur Durchflussmessung mit Wirkdruckverfahren besteht aus:

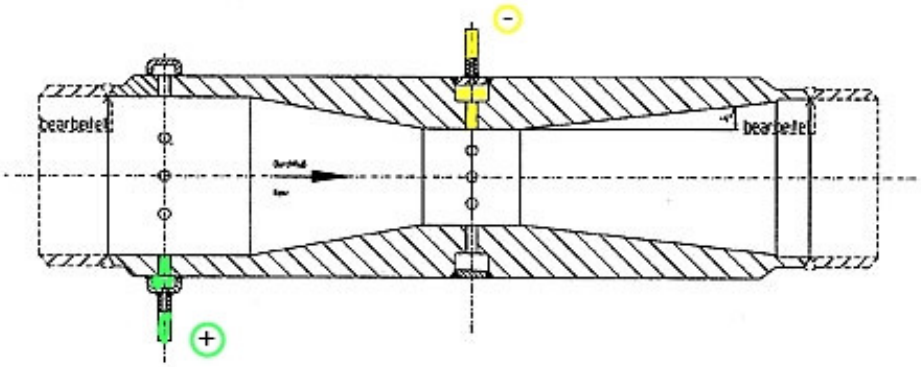
- Wirkdruckgeber (Drosselgerät)
- Wirkdruckleitungen (+ und -)
- Differenzdruck-Messumformer.

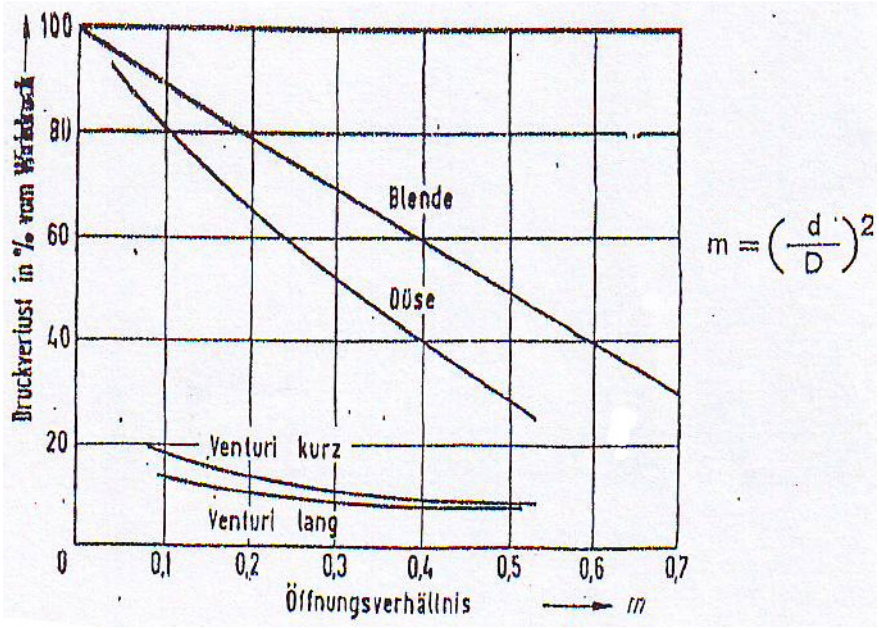
Anordnung Differenzdruck-Transmitter an Blenden für Flüssigkeiten, Gase und Dampf

a) Drosselorgan
b) Anschlussarmatur Blende
c) Wirkdruckleitung
d) Anschlussarmatur Messumformer
e) Differenzdruck-Messumformer
f) Kondensatgefäß

4.3.1.5 Venturirohr







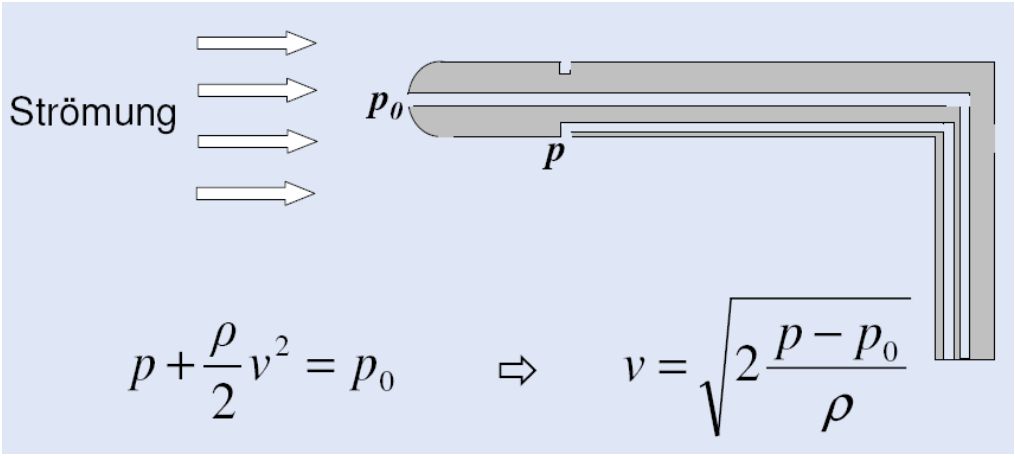
Druckverlust an Drossel-Geräten in Abhängigkeit vom Öffnungsverhältnis m.

Probleme und Messunsicherheiten bei Wirkdruckmessungen

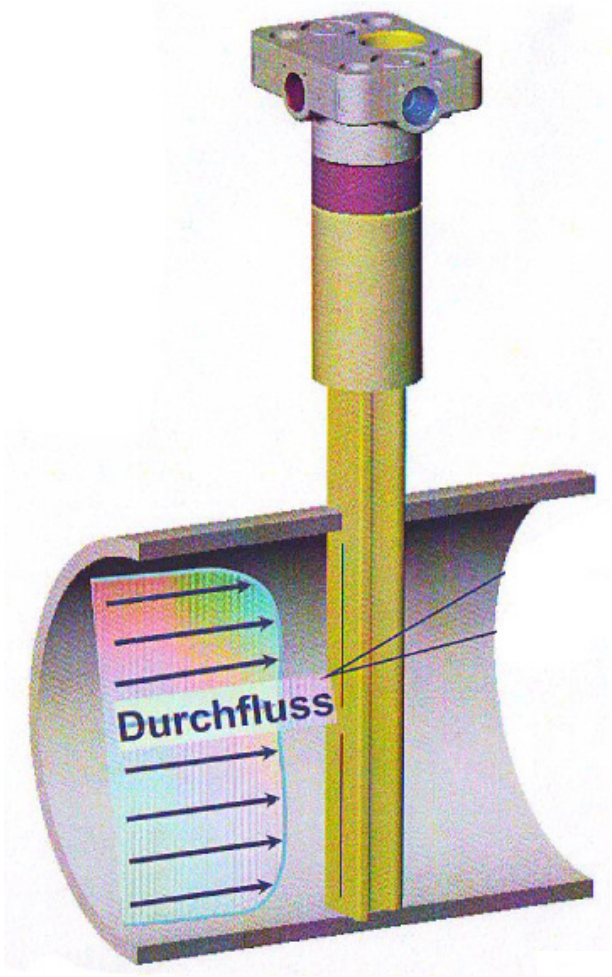
- Trotz des sehr einfachen Messaufbaus sind auf Grund der umfassenden Korrekturfaktoren für Messmedium und Messanordnung einschließlich Rohrleitung prinzipiell geringe Messabweichungen möglich.
- Geringe Messanweichungen stellen aber sehr hohe Ansprüche an die Gleichmäßigkeit der Strömung und fordert daher vor und hinter dem Wirkdruckgeber sehr lange gerade Ein- und Auslaufstrecken. (siehe ISO 5167)
- Besonders kritisch sind Drallströmungen, d. h. schraubenförmig fließende Medien. Hier sind Strömungsgleichrichter vor die Drosselstelle einzubauen.
- Bei Blenden spielt die Schärfe der Abrisskante für die Messabweichung eine entscheidende Rolle. → Die Kantenschärfe kann durch mitgeführte abrasive Begleitstoffe oder korrosive Medien zerstört werden! →Führt zu schleichend eintretenden Messabweichungen.
- Eine Verschmutzung des Mediums, insbesondere durch vor der Blende sedimentierende Feststoffe führt zu Messabweichungen.
- Ein Schwachpunkt der Wirkdruckmessung ist der enge Messbereich, innerhalb dessen sich eine vernünftige Genauigkeit erzielen lässt.
- Übliche Druckmessumformer besitzen wie die meisten anderen Transmitter eine Messspanne von typisch 1: 10. Bedingt durch Radizierung des Differenzdruckes → erzielbare Messspanne für den Volumen- oder Massendurchfluss nur bei etwas über 1:3.
- In kritischen Fällen kann man zwei oder mehr Differenzdruck-Messumformer mit gestaffelten Messbereichen parallel an einer Blende betreiben und von den Signalen das jeweilig geeignete nutzen. Achtung: Gerät mit der kleineren Messspanne muss nach Überlast in Höhe des 10fachen seiner Nenndruckdifferenz noch arbeiten!
- Bei Durchflussmessungen von Flüssigkeiten mittels Blenden muss der Querschnitt des Produktrohres vollständig gefüllt sein.
- Ist dies im Betrieb nicht sicher gewährleistet, muss die Messstrecke in eine senkrechte Leitung eingebaut sein, wobei der statische Druck aufgrund ungleicher Entnahmehöhe von Plus- und Minusseite zu berücksichtigen ist.

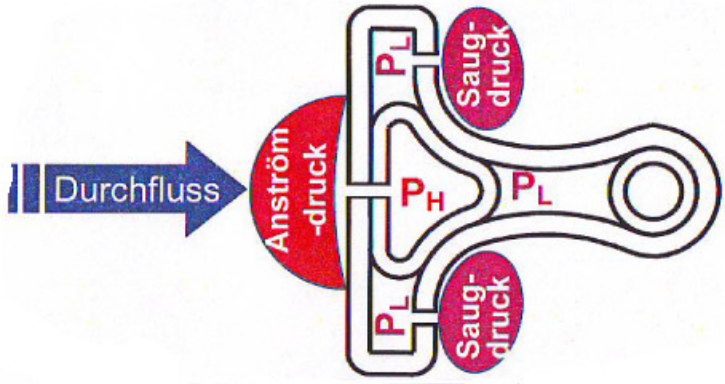
$$q \sim \sqrt{\Delta p}$$

4.3.1.6 Staudrucksonde



Nennbereiche:	beliebig
Nenndurchmesser:	DN 20 ... ?
Vorteile:	preisgünstig
	nur Sonde im Messrohr
Nachteile:	große Ein- und Auslaufstrecken
	nicht lineare Kennlinie
	Empfindlich gegen Abnutzung
	geringe Messspanne


Durchfluss

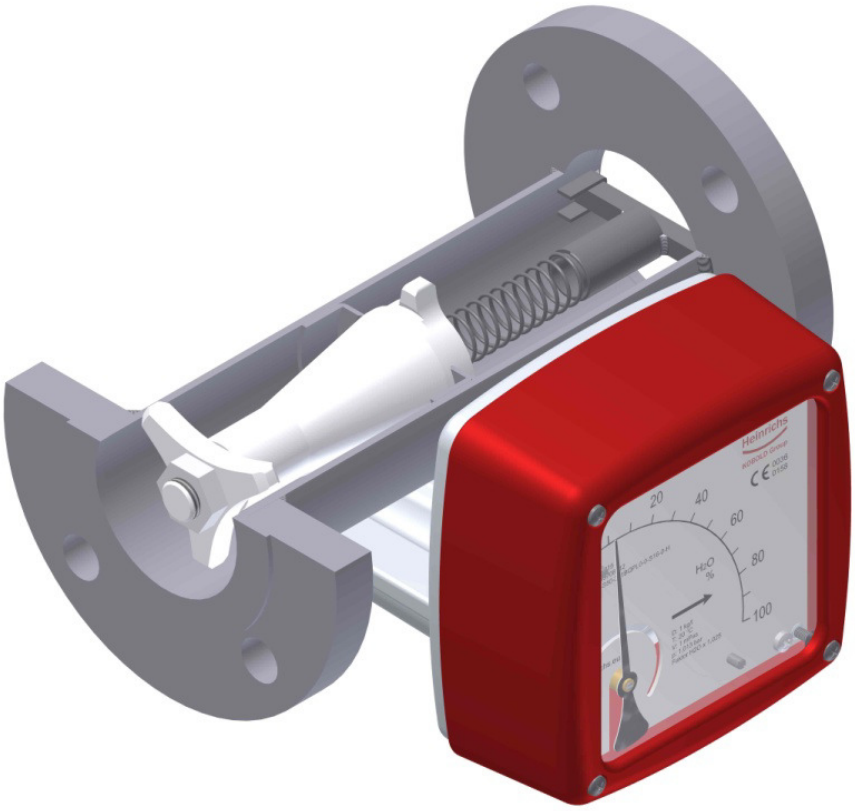

Durchfluss
Anström -druck
PL
Saug- druck
PH
PL
PL
Saug- druck

$$DP = P_H - P_L$$

4.3.2 Schwebekörperdurchflussmesser (SKDM)

4.3.2.1 Typen von Schwebekörperdurchflussmessern

SKDM für den waagerechten Einbau



Messbereiche:

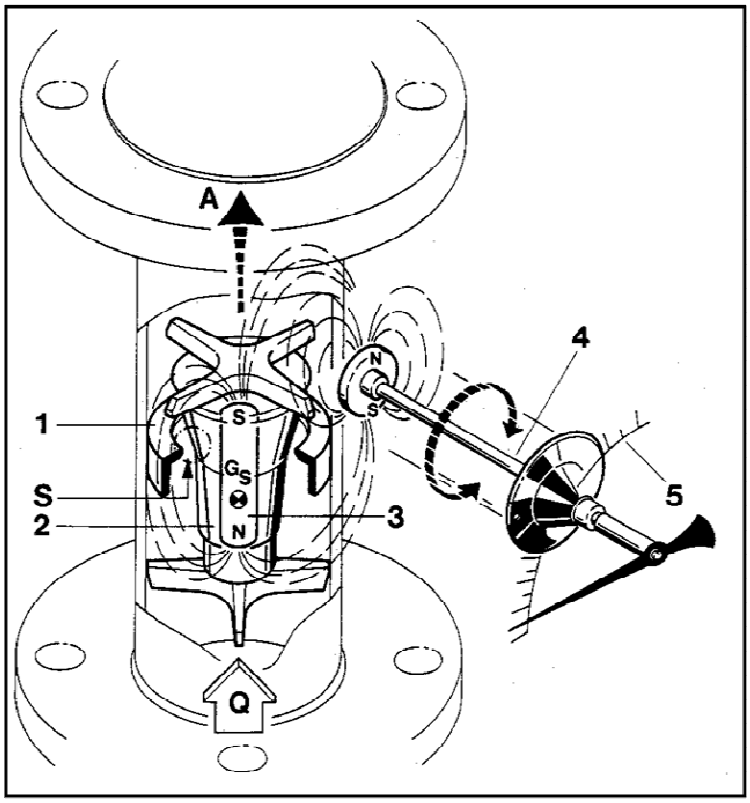
Wasser 20 °C
min. 5...50 l/h
max. 4.000...40.000 l/h

Luft 20 °C, 1,013 bar abs.,
min. 0,5...4,6 Nm³/h
max. 280...2.800 Nm³/h

Genauigkeit: ± 2 % vom ME ± 0,2 % mit Umformer (ES)
Signalausgang: 4-20 mA, Profibus, Fieldbus, HART

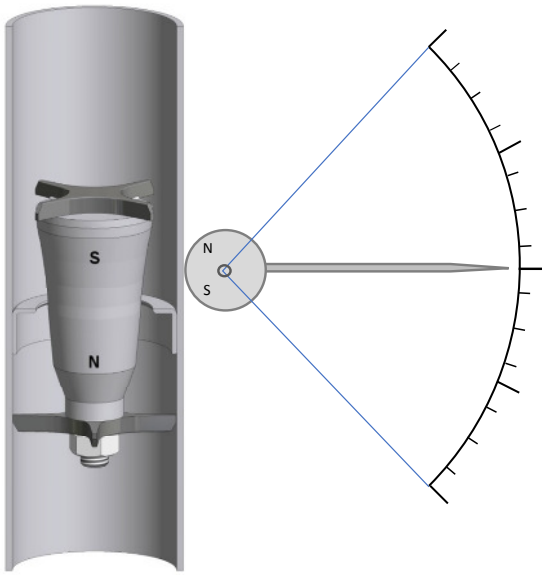
Besonderheiten
- Übersichtliche 90° Skala
- Temperaturausführungen -40 °C bis 350 °C
- Hochdruckausführungen bis 600 bar
- In alle Durchflussrichtungen einsetzbar

4.3.2.2 Magnetische Kopplung (Kraftübertragung)

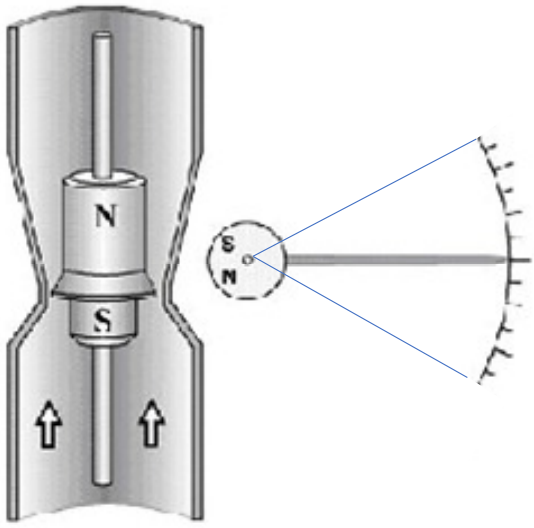


Die Heinrichs Schwebekörper-Messgeräte kommen **ohne Führungsstange** aus. Zwei Edelstahl-Führungssterne verhindern zuverlässig ein Verkanten des Schwebekörpers.

Durch den Wegfall der Führungsstange wird die **Reibung** innerhalb des Messgerätes **minimiert**, was sich **sehr positiv** auf die **Langlebigkeit** der **Messgenauigkeit** auswirkt.

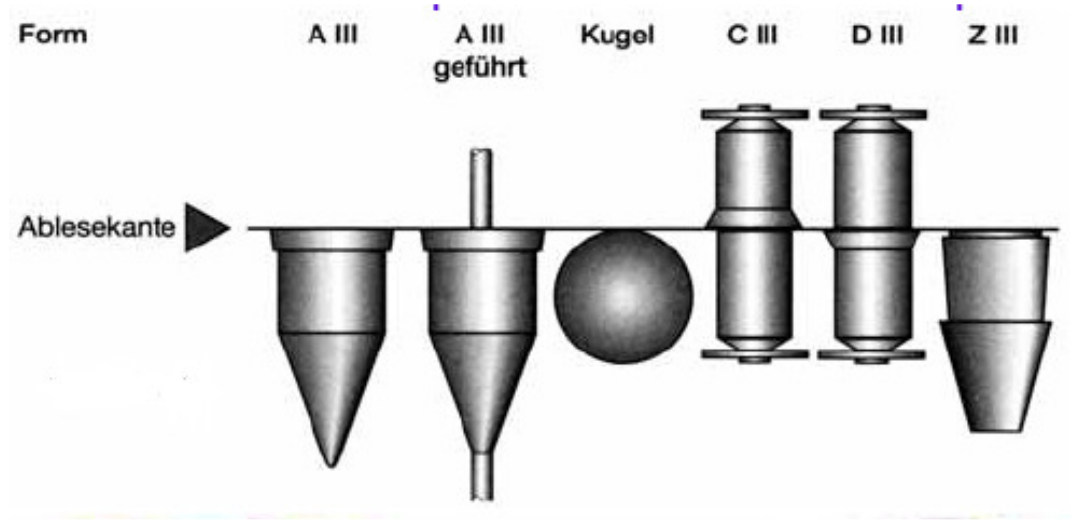


Fa. Heinrichs



Wettbewerb

4.3.2.3 Schwebekörperformen



4.3.2.4 Physikalische Grundlage

$$\rightarrow \dot{q}_{Vb} = \frac{\pi}{4}\left(D_k^2 - D_S^2\right)\cdot\alpha\cdot\sqrt{\frac{2\cdot m_s\cdot g}{A_s\cdot\rho_S}}\cdot\sqrt{\frac{\rho_S-\rho_b}{\rho_b}}$$

mit D_S^2 = konstant $\rightarrow \dot{q}_{Vb} \sim D_k^2 \sim h$ = Höhe Schwebekörper

ρ_s Dichte des Schwebekörpers

ρ_b Dichte des Betriebsmediums (Fluid)

c_w Strömungswiderstandszahl

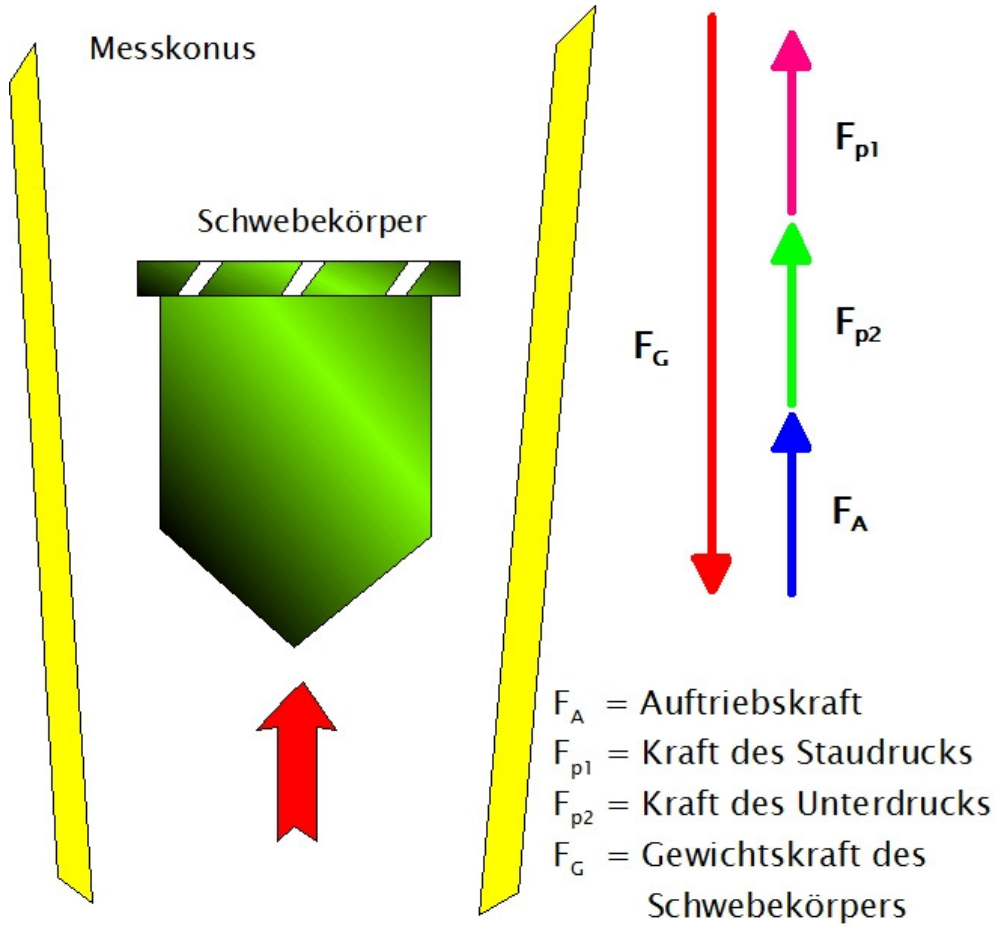
A_s $D_S^2 \cdot \pi/4$ = Fläche des Schwebekörpers an der Ablesekante

D_s größter Durchmesser des Schwebekörpers

D_k Durchmesser des Konus in Höhe des Schwebekörpers

Umrechnung auf verschiedene Betriebsmedien

- Schwebekörper-Durchflussmesser werden für die verschiedensten Fluide (Flüssigkeiten und Gase) eingesetzt.
- Beim Hersteller werden sie ersatzweise mit den Standardmedien Wasser bzw. Luft unter Normbedingungen kalibriert.
- Die Kalibrierung muss auf den jeweiligen Betriebsstoff umgerechnet werden!
  →Anwender kann in Wasser bzw. Luft kalibrierte Geräte für andere Medien und Betriebszustände umrechnen!
- Weicht die Viskosität des Betriebsmediums nicht stark von der des Kalibriermediums ab → α ~konstant, folgt:

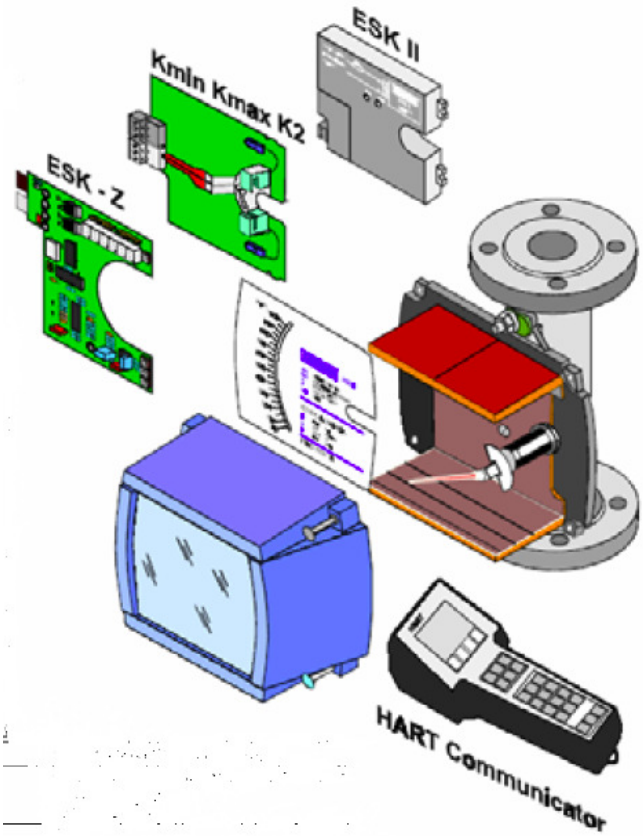


F_A = Auftriebskraft
F_{p1} = Kraft des Staudrucks
F_{p2} = Kraft des Unterdrucks
F_G = Gewichtskraft des Schwebekörpers

$$F_G = m * g$$
$$F_A = Rho * g * V$$
$$F_{p1} = p_ü * A1$$
$$F_{p2} = p_u * A2$$

$$F_G = F_A + F_{p1} + F_{p2}$$

4.3.2.5 Schwebekörperdurchflussmessumformer



ESK-Z
Durchfluss- / Summenzähler
Kmin Kmax K2
Grenzwertsignalgeber
ESKII
Normsignalerzeugung
4..20mA~Durchfluss
Fernsteuer-Anschluss
für HART-Protokoll

4.3.3 Dralldurchflussmesser

SwirlMaster FSS430/FSS450

Measurement made easy

Die wichtigsten Daten für Sie auf einen Blick	
Genauigkeiten Flüssigkeiten	± 0,5 % vom Messwert
Genauigkeiten Gase/Dampf	± 0,5 % vom Messwert
Prozessanschlüsse	Flansch
Nennweiten	DN 15 bis DN 400
Temperaturbereich (Messmedium)	-55 bis 280 °C
Viskosität (Messmedium)	max. 30 cP
Vor- und Nachlaufstrecken (Typischer Wert nach Einschnürung)	
Vorlauf	3 x DN
Nachlauf	1 x DN
Ex-Zertifikate	IECEx, ATEX, NEPSI 0/1/2/ Zone 20/21/22 Zertifikate cFMus Class 1 Div. 1, Zone 0/1
Kommunikation	HART 7 oder Modbus RTU-RS485 mit 1200, 2400, 4800 or 9600 bps
Ausgänge	4 bis 20 mA / HART oder Modbus, Binärausgang für Impulse, Frequenz bis 10 kHz oder Kontaktausgang
Eingangssignale von externen Sensoren	Druck, Temperatur, Dichte, Methan-Gehalt

Messprinzip

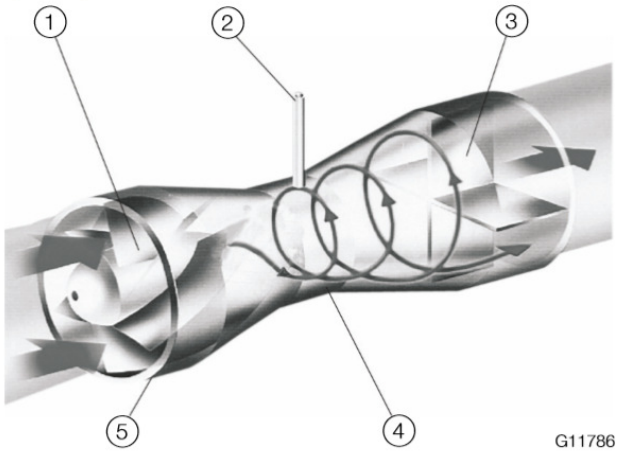


Abb. 2: Messprinzip
(1) Eintrittsleitkörper (2) Piezo-Sensor (3) Austrittsleitkörper
(4) Gehäuse (5) Umkehrpunkt

Der Eintrittsleitkörper versetzt das axial einströmende Messmedium in eine Rotationsbewegung. Im Rotationszentrum bildet sich ein Wirbelkern, der über eine Rückströmung zu einer spiralförmigen Sekundärrotation gezwungen wird.

Die Frequenz dieser Sekundärrotation ist proportional zum Durchsatz und verhält sich bei optimierter innerer Geometrie des Messgerätes über einen weiten Messbereich linear.

Diese Frequenz wird mit einem Piezo-Sensor erfasst. Das vom Messwertaufnehmer kommende durchflussproportionale Frequenzsignal wird im Messumformer weiterverarbeitet.

Die Strouhal-Zahl ist definiert als:

$$Sr = \frac{f \cdot L}{v}$$

mit

- Wirbelablösefrequenz f
- Größe L des umströmten Hindernisses, z. B. Durchmesser eines Zylinders
- Strömungsgeschwindigkeit v.

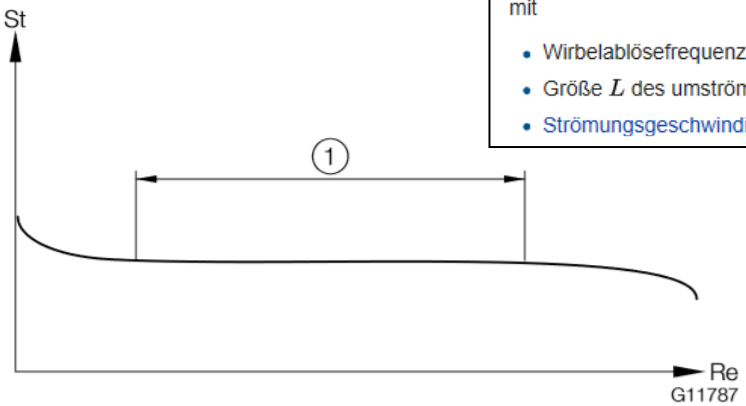
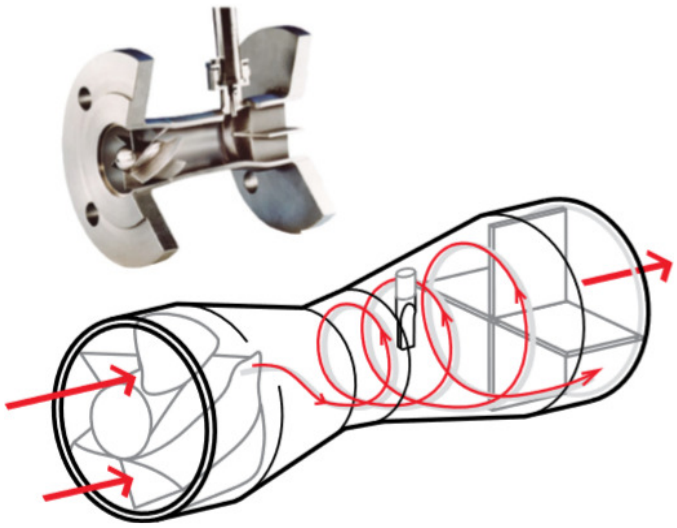


Abb. 3: Abhängigkeit der Strouhal-Zahl von der Reynolds-Zahl
(1) Linearer Durchflussbereich

Bei instationären Strömungsvorgängen kann aus ihr die Ablösefrequenz von Wirbeln bestimmt werden, wie sie beispielsweise bei einer Kármánschen Wirbelstraße zu beobachten sind.

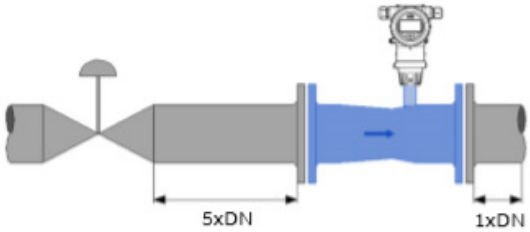
Durch die Dimensionierung des Eintrittsleitkörpers und der inneren Geometrie ist die Strouhal-Zahl (St) über einen sehr weiten Bereich der Reynolds-Zahl (Re) konstant.

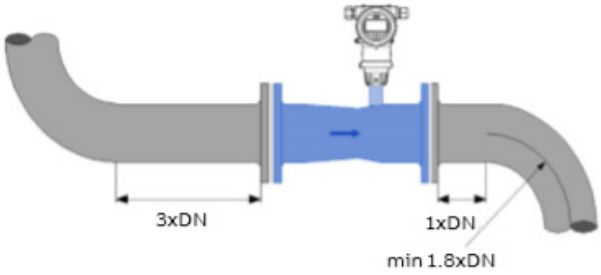


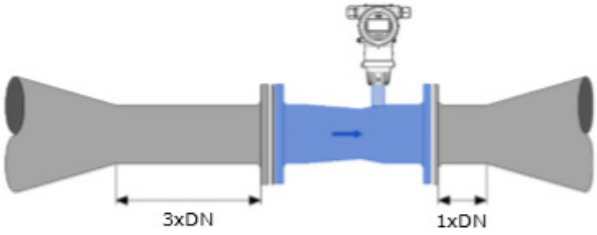
Unempfindlich gegen Turbulenzen

Je nach Einbindung in den Prozess:

- Keine Rohrleitungs-Reduktion notwendig
- Kein zusätzlicher Strömungsgleichrichter erforderlich
- 3xDN Vorlauf/1xDN Nachlauf ausreichend oder sogar kein Vor-/Nachlauf erforderlich
- Installation 5xDN nach Regelventilen möglich







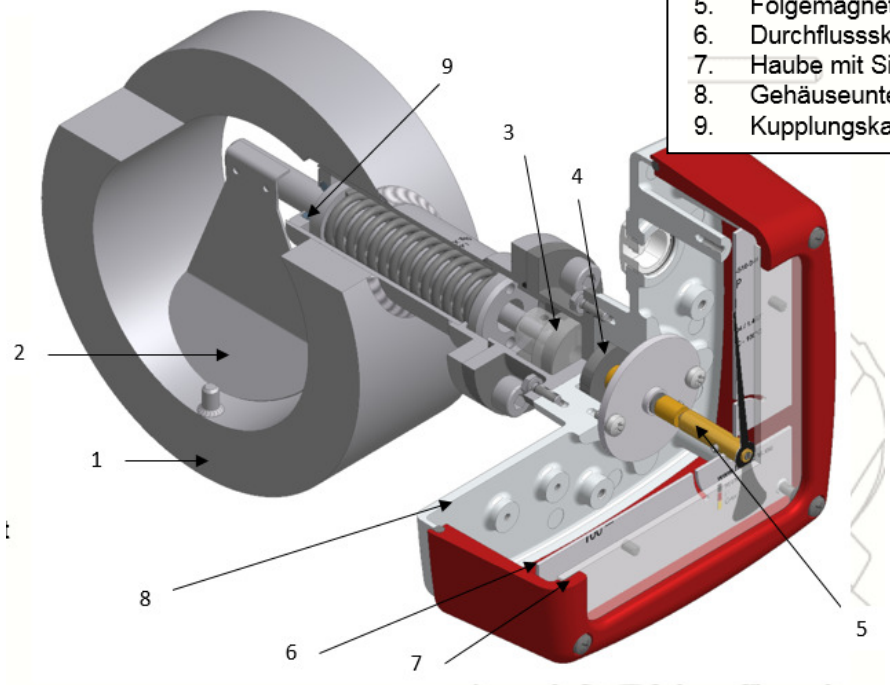
4.3.4 Stauklappendurchflussmessung

Einfache, robuste, betriebssichere und servicefreundliche Konstruktion für den Einsatz in allen Industriebereichen und in der Wasserwirtschaft

senkrecht (u/o, o/u)

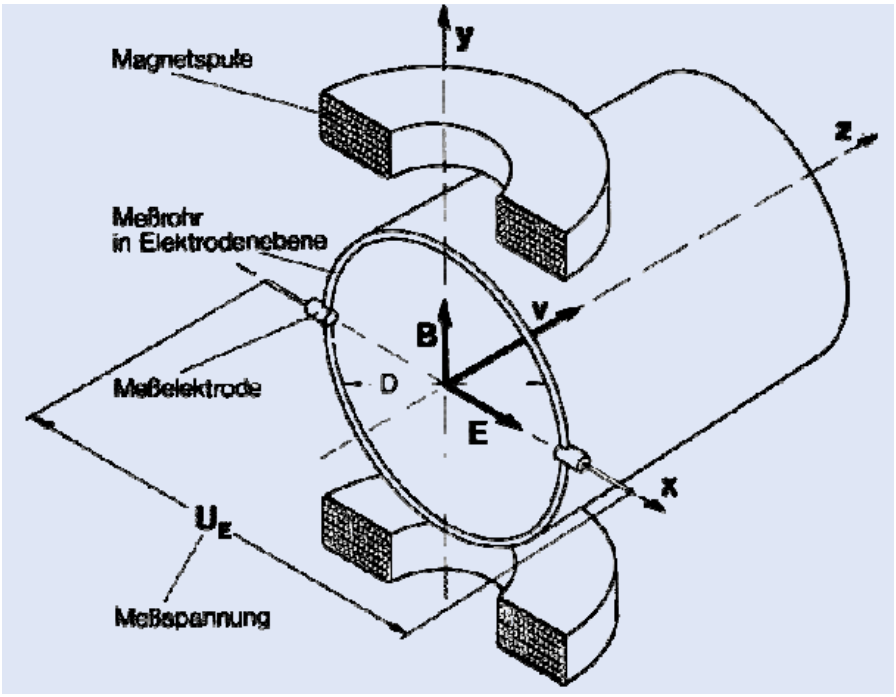
waagerecht (l/r, r/l)

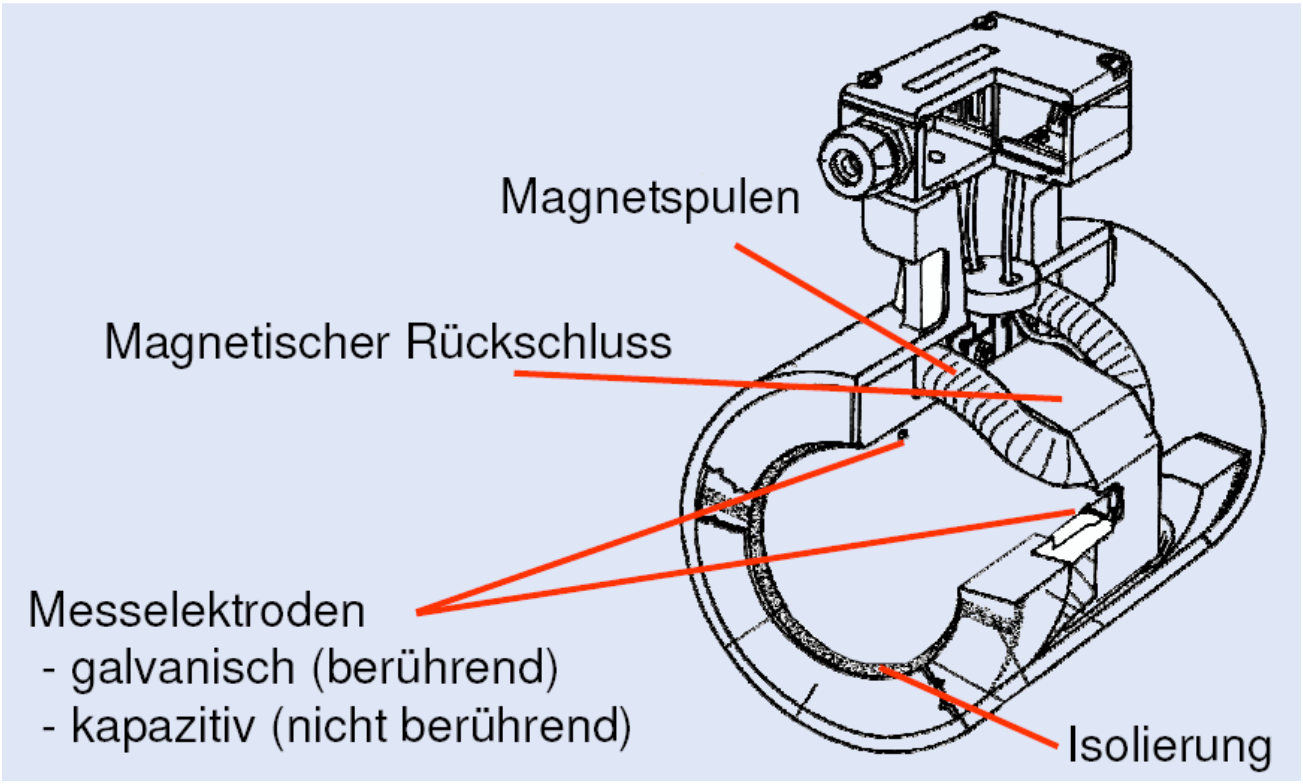
1. Armatur
2. Stauklappe
3. Achse mit Torsionsfeder und Ringmagnet
4. Ringmagnet an Zeigerachse
5. Folgemagnet-Anzeigesystem
6. Durchflussskala
7. Haube mit Sichtscheibe
8. Gehäuseunterteil
9. Kupplungskammer



Medienberührte Teile:	Edelstahl, Hastelloy C-22, Polypropylen / Edelstahl, Polypropylen / Hastelloy C-22, PTFE-Auskleidung / Hastelloy C-22
Prozesstemperatur:	-40 °C...+300 °C
Nennweiten:	DN25 bis DN500 (Zwischenflansch) größere Durchmesser auf Anfrage
Messbereich:	Wasser: 0,5 m³/h...1500 m³/h
Druck:	PN 40(DN25 - DN80) PN16 (DN100 - DN200) PN10 (DN250 - DN500) höhere Drücke auf Anfrage
Messgenauigkeit:	+/- (2 % vom Messwert + 1 % vom Endwert)
Explosionsschutz:	BVS 03 ATEX H/B 112

4.3.5 Magnetisch induktiver Durchflussmesser (MID)





Zusammenhang zwischen Durchfluss Q und induzierter Spannung U

$$Q = \frac{D^2\pi}{4} \; v = \frac{\pi}{4} \frac{D}{B} \; U.$$

Q = Durchfluss
D = Rohrinnendurchmesser
B = Magnetische Induktion
U = Induzierte Spannung
v = Strömungsgeschwindigkeit

Beispiel:

Für eine magnetische Induktion von 0,3 T und einem Rohrdurchmesser von 50mm, sowie einer Strömungsgeschwindigkeit von 100 mm/s, ergibt sich eine induzierte Spannung von nur 1,5mV.

Nennweite		Meßbereichsendwert $Q_{100\%}$	
DN mm	Zoll	kleinster (v = 0,3 m/s)	größter (v = 12 m/s)
2,5	1/10	5,301 l/h	212,1 l/h
4	1/8	13,56 l/h	542,9 l/h
6	1/4	30,54 l/h	1,221 m³/h
10	3/8	84,83 l/h	3,392 m³/h
15	1/2	190,9 l/h	7,634 m³/h
20	3/4	339,3 l/h	13,57 m³/h
25	1	530,2 l/h	21,20 m³/h
32	1 1/4	868,6 l/h	34,74 m³/h
40	1 1/2	1,358 m³/h	54,28 m³/h
50	2	2,121 m³/h	84,82 m³/h
65	2 1/2	3,584 m³/h	143,3 m³/h
80	3	5,429 m³/h	217,1 m³/h
100	4	8,483 m³/h	339,2 m³/h
125	5	13,26 m³/h	530,1 m³/h
150	6	19,09 m³/h	763,4 m³/h

Muster einer Durchflusstabelle (Herstellerangabe)

4.3.6 Ultraschalldurchflussmesser

Schallgeschwindigkeit und Dichte von Gasen und Flüssigkeiten (Auszug)

Gase

Temperatur: 20 °C	5 bar			20 bar			Molekular-gewicht [g/mol]
	Schall-geschwindigkeit c [m/s]	Dichte ρ [kg/m³]	Kompres-sibilitätsfaktor Z dimensionslos	Schall-geschwindigkeit c [m/s]	Dichte ρ [kg/m³]	Kompres-sibilitätsfaktor Z dimensionslos	
Ammoniak	417	3,7	0,941	-	-	-	17,03
Argon	319	8,2	0,997	321	33,2	0,987	39,95
Chlor	220	15,8	0,920	-	-	-	70,90
Chlorwasserstoff	300	7,7	0,966	281	35,1	0,852	36,46
Erdgas	439	3,4	0,991	434	14,0	0,963	16,37
Ethan	302	6,4	0,960	271	30,1	0,818	30,07
Ethen	323	5,9	0,970	302	26,5	0,870	28,05
Helium	1010	0,8	1,002	1016	3,3	1,009	4,00
Kohlendioxid	263	9,3	0,973	250	40,8	0,886	44,01
Kohlenmonoxid	350	5,8	0,998	352	23,1	0,993	28,01
Lachgas	261	9,3	0,971	246	41,2	0,876	44,01
Luft	344	6,0	0,998	346	23,9	0,994	28,96
Methan	444	3,3	0,991	439	13,7	0,964	16,04
Sauerstoff	326	6,6	0,997	326	26,6	0,987	32,00
Stickstoff	350	5,8	0,999	352	23,1	0,996	28,01
Synthesegas 30:70 (C:H)	706	1,4	1,003	713	5,6	1,010	6,90
Wasserdampf (200 °C)	527	2,3	0,973	-	-	-	18,02
Wasserstoff	1308	0,4	1,003	1321	1,6	1,012	2,02

Flüssigkeiten

Temperatur: 20 °C (abweichende Temperaturen in Klammern)	Summenformel (bzw. API-Grad bei Kohlenwasserstoffgemischen)	Dichte ρ [kg/dm³]	Schallgeschwindigkeit c [m/s]	Brechungsindex dimensionslos
Aceton	$CH_3CO\,CH_3$	0,797	1191	1,3588
Acetonitril	CH_3CN	0,78	1300	1,3441
Acetophenon	$C_6H_5CO\,CH_3$	1,028	1492	1,5372
Acetylchlorid	C_2H_3OCl	1,105	1057	1,3886
Acrolein	C_3H_4O	0,84	1207	1,4017
Allylchlorid	$CH_2CH\,CH_2Cl$	0,938	1090	1,4157
Ameisensäure	$HCOOH$	1,22	1283	1,3714
Ammoniak (10 bar)	NH_3	0,610	1385	1,3327
Ammoniumacetat 9%	NH_4CH_3COO	1,016	1562	1,3462
Amylacetat	$CH_3COOC_5H_{11}$	0,876	1169	1,4023
Amylalkohol (n)	$C_5H_{11}OH$	0,814	1296	1,4101
Anilin	$C_6H_5NH_2$	1,022	1653	1,5863
Autogas (LPG)	125	0,546	1013	
Benzaldehyd	C_7H_6O	1,04	1482	1,5463
Benzen	C_6H_6	0,877	1329	1,5011
Benzin	57	0,746	1261	1,435

Was ist Ultraschall?

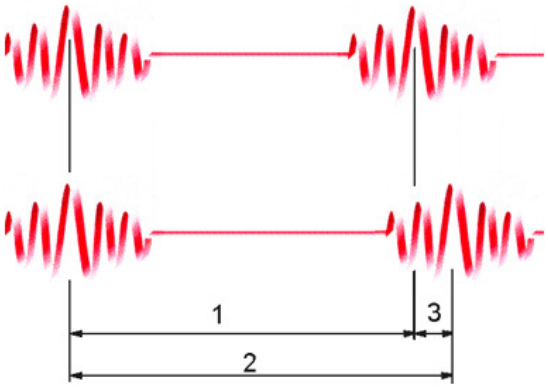
Bezeichnung	Frequenzbereich	Wellenlänge
Infraschall	< 20 Hz	> 15 m
Hörbereich	20 - 20.000 Hz	0,015 - 15 m
Ultraschall	> 20 kHz	< 0,015 m

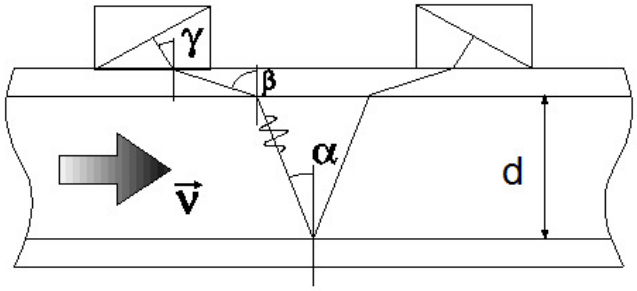
Die für die Ultraschall-Gas-Durchflussmessung technisch nutzbaren Frequenzen liegen oberhalb 100 kHz.

Laufzeitdifferenzverfahren

1. Signal in Durchflussrichtung
2. Signal gegen Durchflussrichtung
3. Laufzeitdifferenz

Sensoren in Reflexanordnung



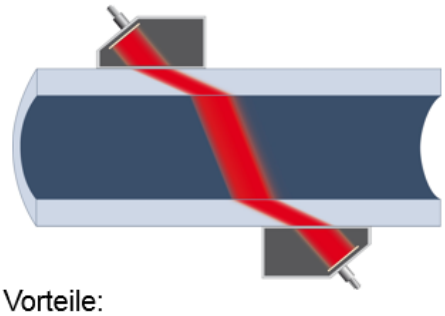


Brechungsgesetz:

$$\frac{c_\alpha}{\sin\alpha} = \frac{c_\beta}{\sin\beta} = \frac{c_\gamma}{\sin\gamma}$$

FLEXIM

Scherwellenanregung
(Scherwellensensor)



Vorteile:
- unabhängig vom Rohrwandmaterial (Metalle und Kunststoffe)
- unabhängig von der Rohrwanddicke

Nachteile:
- Begrenzung in der maximalen Strömungsgeschwindigkeit (Strahlverwehung)
- Mindestdruck bei Gasanwendung: 20-30 bar

Einsatzbereiche:
- Flüssigkeitsmessungen allgemein
- Gasmessungen mit Wandstärken > ca. 23 mm
- Gasmessung mit schlechter Rohrqualität

Rohrwandresonante Anregung
(Lambwellensensor)

Vorteile:
- große Fehlpositionierung der Sensoren erlaubt
- hohe Strömungsgeschwindigkeiten realisierbar
- Gasmessungen bereits ab 5 bar möglich
- Gute Signalqualität bei niedrigen Gasdrücken

Nachteile:
- nur bei Stahl und Edelstahlrohren möglich
- Abstimmung auf die Rohrwanddicke erforderlich
- Rohrqualität kann Einfluss auf die Signalqualität nehmen

Einsatzbereich:
- Gasmessungen mit Stahl und Edelstahlrohren bei Wanddicken 1 mm bis ca. 23 mm

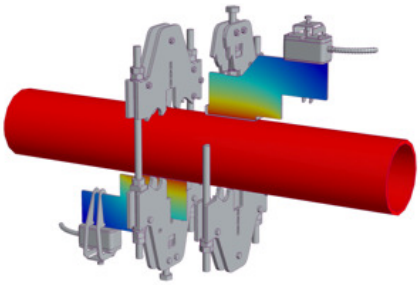
Einsatzbereich bei Flüssigkeiten

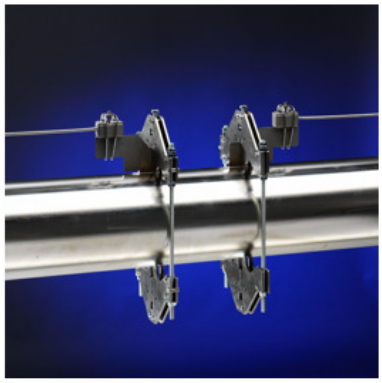
Rohrnennweite: DN6 ..DN6000

Prozessdruck: keine Begrenzung

Medientemperatur:
Standard: -30°C bis +200°C
Erweitert: -170°C bis +400°C

Strömungsgeschwindigkeit:
min.: 0,01 m/s
max.: 25 m/s





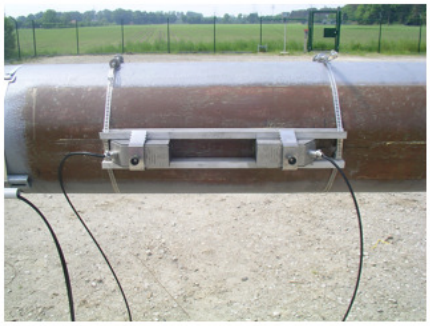
Einsatzbereich bei Gasen

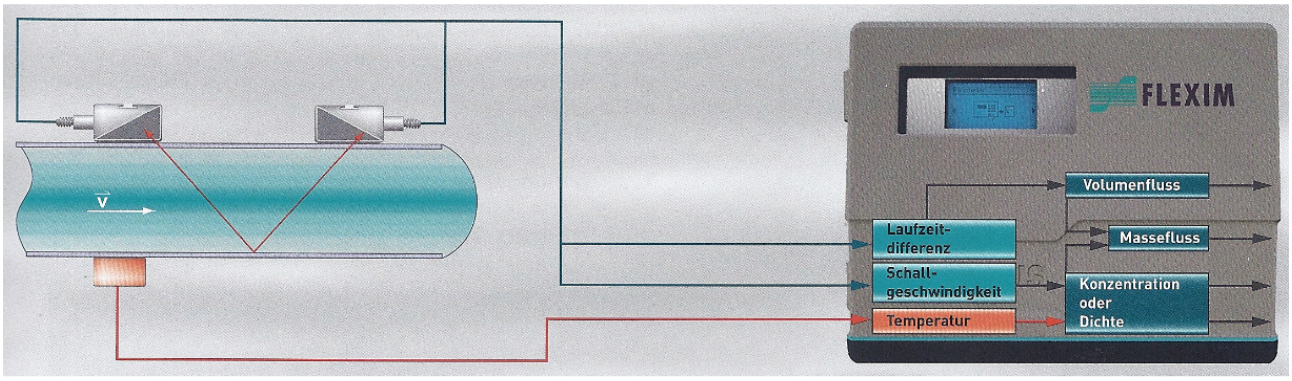
Rohrnennweite: DN15..DN1500

Prozessdruck:
min.: 0 bar Ü
bei Kunststoffrohren
min.: 5-10 bar Ü
bei Metallrohren
max.: keine Begrenzung

Medientemperatur: -30°C bis +130°C

Strömungsgeschwindigkeit:
min.: 0,01 m/s
max.: 25 m/s (50 m/s)





Vorteile der Clamp-On-Technik

- unabhängig vom Betriebsdruck
- geringer Installationsaufwand ohne Rohrleitungsunterbrechung
- Service und Wartung ohne Anlagenstillstand
- verschleißfreie Messung ohne Druckverlust
- hohe Messbereichsdynamik bei guter Genauigkeit
- bidirektionale Messung möglich
- geringe Lagerhaltungskosten (wenig Ersatzteile)

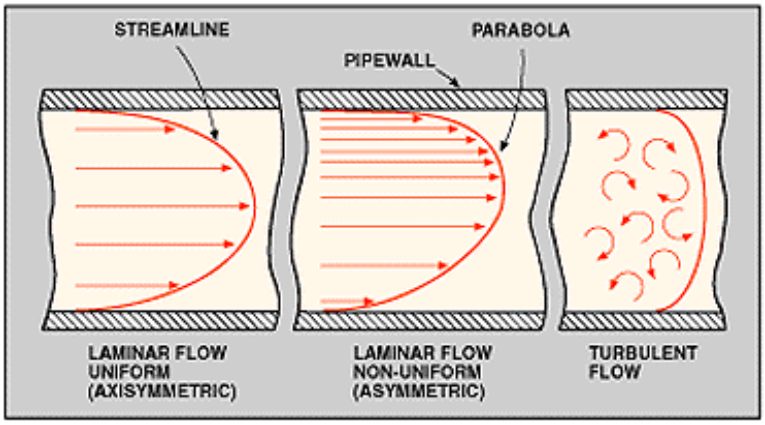
Inline-Variante

Endress+Hauser
People for Process Automation

Folgende Kriterien sollten zur Auswahl einer Messstelle betrachtet werden:

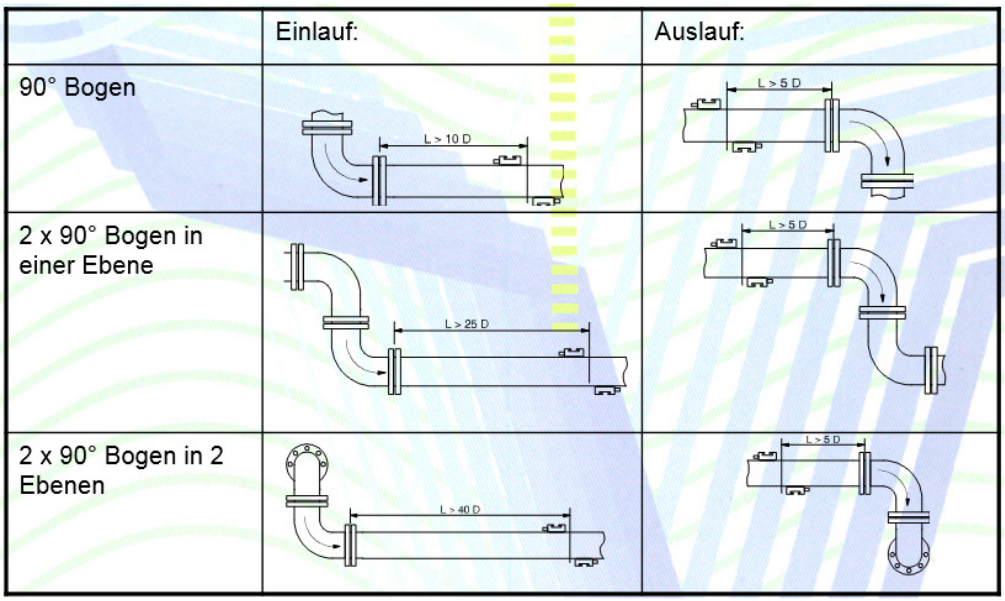
Ungestörtes Rohrströmungsprofil

Optimale Messgenauigkeit kann nur bei einem voll entwickelten, rotations-symetrischen Strömungsprofil erreicht werden. Hierbei spielt es keine Rolle ob es sich um eine laminare oder turbulente Strömung handelt.

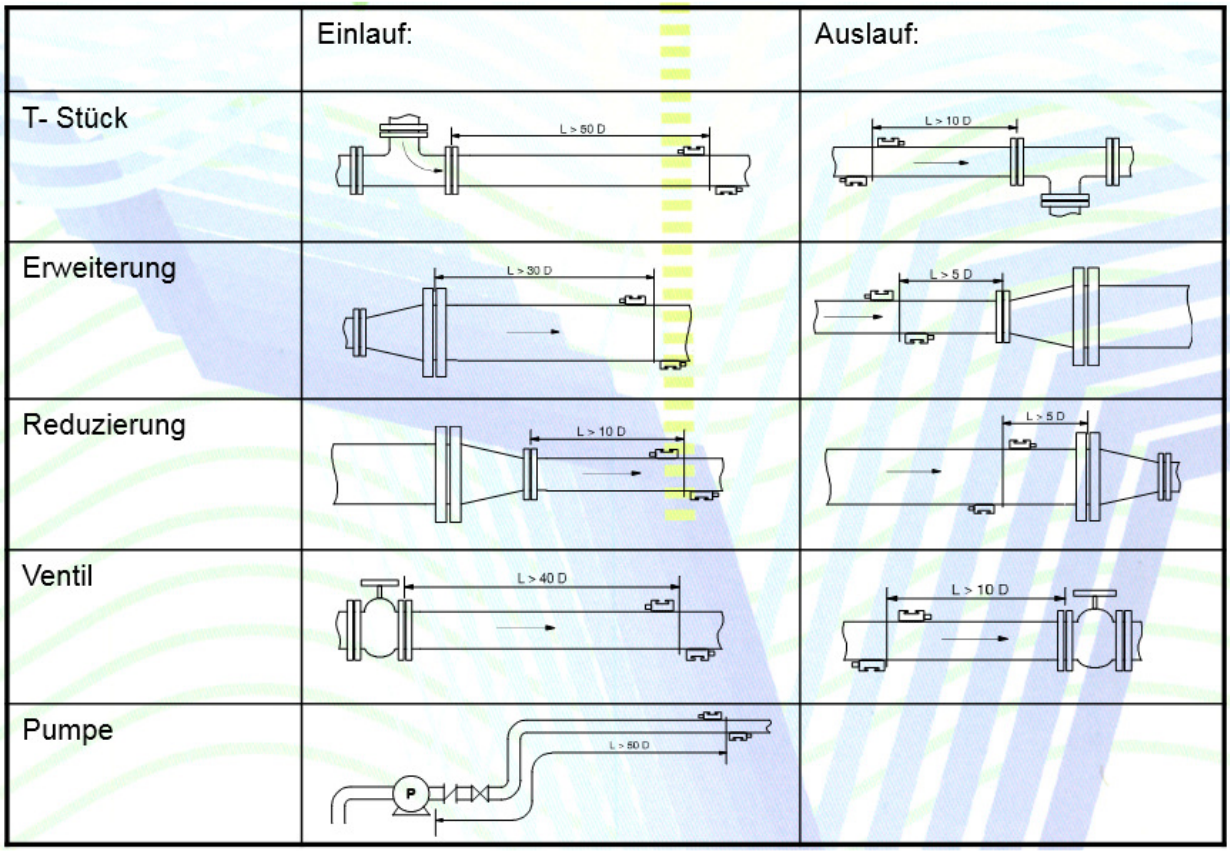


Auswahl einer geeigneten Messstelle

Eine voll ausgebildete, rotationssymetrische Rohrströmung kann nur bei ausreichendem Abstand zu Störquellen (Krümmer, T-Stücke, Rohrerweiterungen, Rohrreduzierungen, Ventile und Pumpen) erreicht werden.



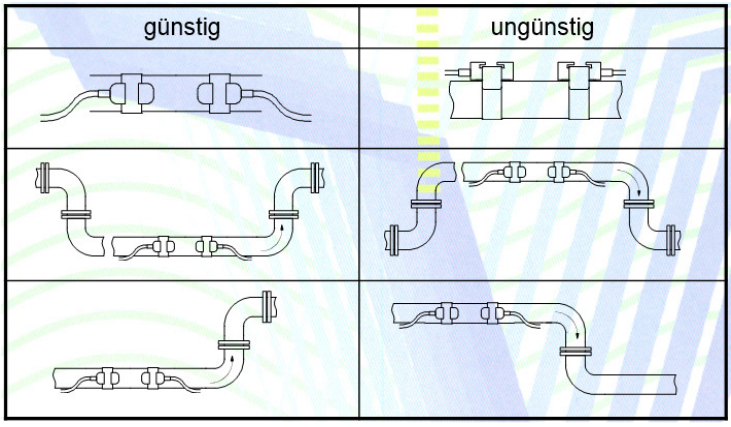
Empfohlene gerade Einlauf- und Auslaufstrecken

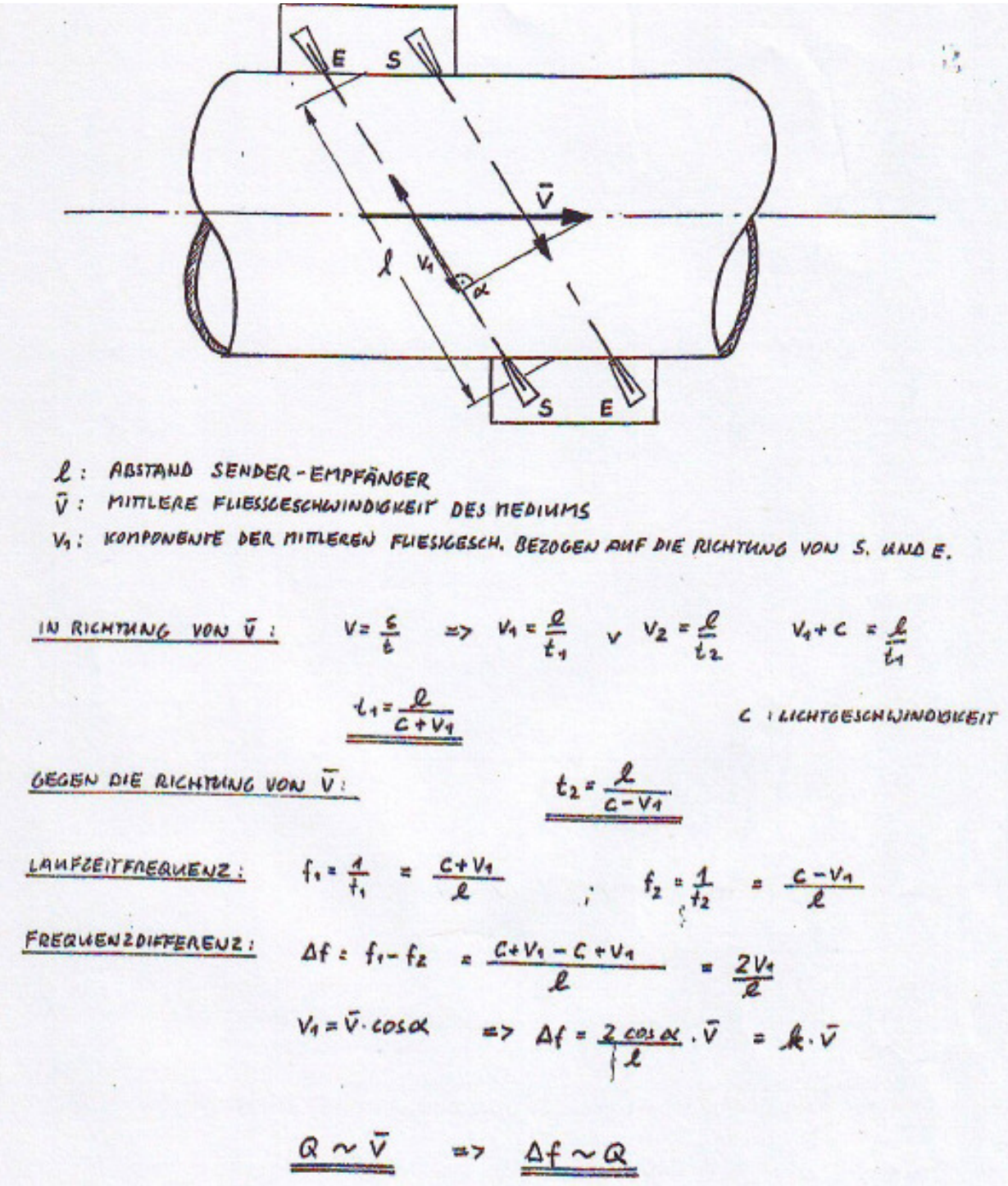


Zu vermeidende Messstellen:

Versuchen Sie Messstellen zu vermeiden,

- die sich in der Nähe deformierter oder beschädigter Stellen am Rohr befinden
- die in der Nähe von Schweißnähten sind
- wo sich Ablagerungen im Rohr bilden können
- wo sich Teilfüllungen im Rohr bilden können
- wo das Rohr leer laufen kann





In Durchflussrichtung breitet sich die Schallwelle schneller aus als gegen die Durchflussrichtung!

4.3.7 Wirbeldurchflussmessgeräte

VortexMaster FSS430/FSS450

Measurement made easy

Die wichtigsten Daten für Sie auf einen Blick	
Genauigkeiten Flüssigkeiten	± 0,65 % vom Messwert
Genauigkeiten Gase/Dampf	± 0,9 % vom Messwert
Prozessanschlüsse/Nennweiten	
Flansch	DN 15 bis DN 300
Zwischenflansch	DN 25 bis DN 150 (65 mm Einbaulänge)
Temperaturbereich (Medium)	-55 bis 280 °C / -55 bis 400 °C
Mediums-Viskosität	max. 7.5 cP
Vor- und Nachlaufstrecken (Typischer Wert nach Einschnürung)	
Vorlauf	15 x DN
Nachlauf	5 x DN
Messumformergehäuse	Aluminium, optional CrNi-Stahl 316
Ex-Zertifikate	IECEx, ATEX, NEPSI Zone 0/1/2/ 20/21, cFMus Class 1 Div 1/Zone 0/1 cFMus Class 1 Div. 1, Zone 0/1
Kommunikation	HART 7 oder Modbus RTU-RS485 mit 1200, 2400, 4800 or 9600 bps
Ausgänge	4 bis 20 mA / HART or Modbus, Binärausgang für Impulse, Frequenz bis 10 kHz oder Kontaktausgang
Eingangssignale von externen Sensoren	Druck, Temperatur, Dichte, Methan-Gehalt

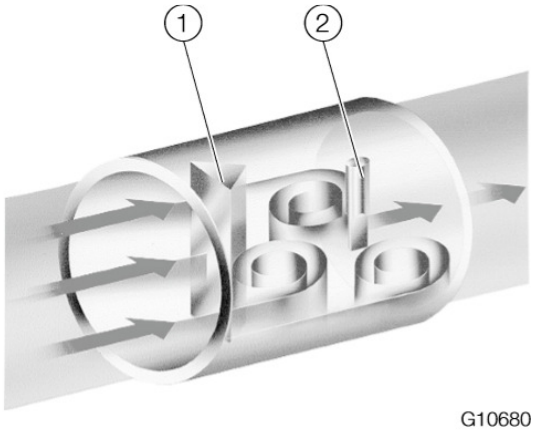


Abb. 2: Messprinzip
(1) Störkörper (2) Piezo-Sensor

Die Funktion des Wirbel-Durch-flussmessers basiert auf der Karmanschen Wirbelstraße. An dem vom Messmedium angeströmten Störkörper bilden sich an beiden Seiten wechselseitig Wirbel. Durch die Strömung werden diese Wirbel abgelöst und eine Wirbelstraße (Karmansche Wirbelstraße) bildet sich aus.

Die Frequenz f der Wirbelablösung ist dabei proportional der Strömungsgeschwindigkeit v und invers proportional der Breite des Störkörpers d.

$$f = St \times \frac{v}{d}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{v \times D}{\vartheta}$$

ϑ Kinematische Viskosität
D Nennweite Messrohr

St, als Strouhal-Zahl bezeichnet, ist eine dimensionslose Kenngröße, die entscheidend die Qualität der Wirbeldurchflussmessung bestimmt. Bei geeigneter Dimensionierung des Störkörpers ist die Strouhal-Zahl (St) über einen sehr weiten Bereich der Reynolds-Zahl (Re) konstant

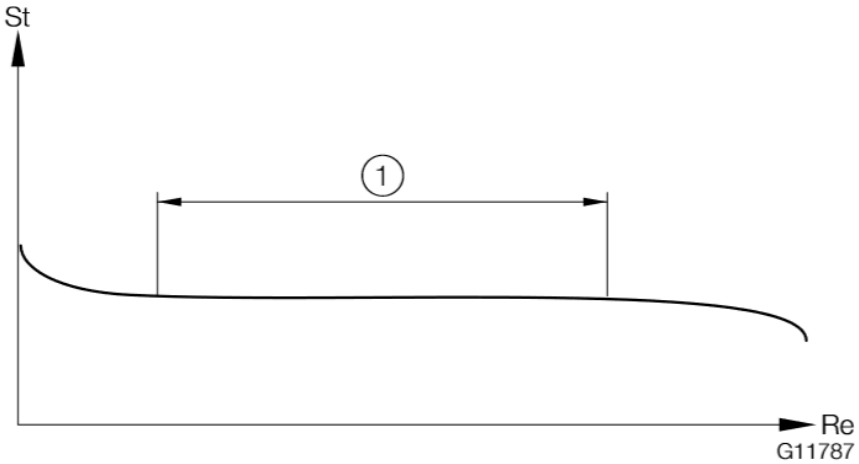
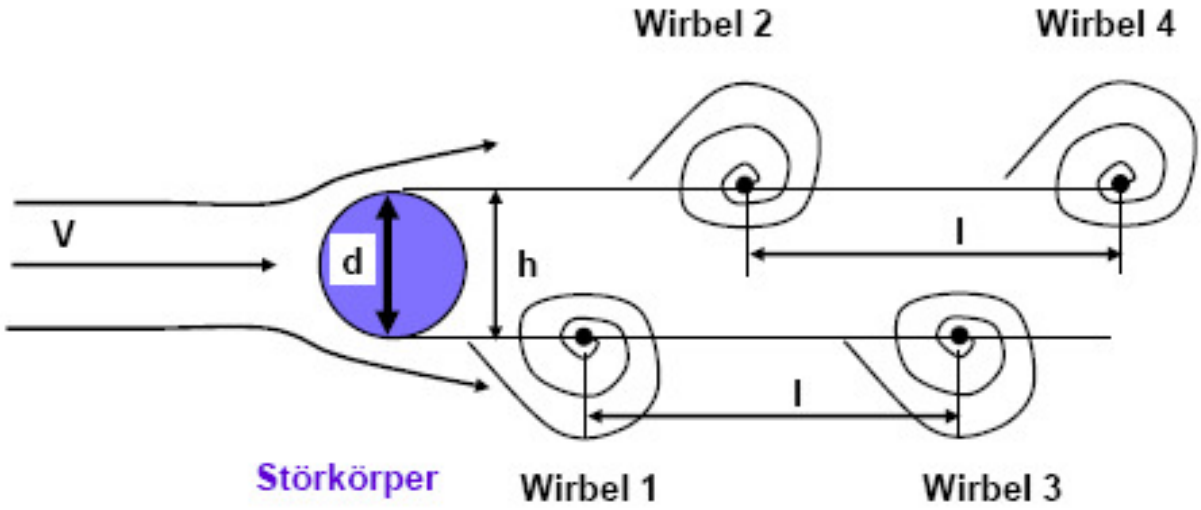
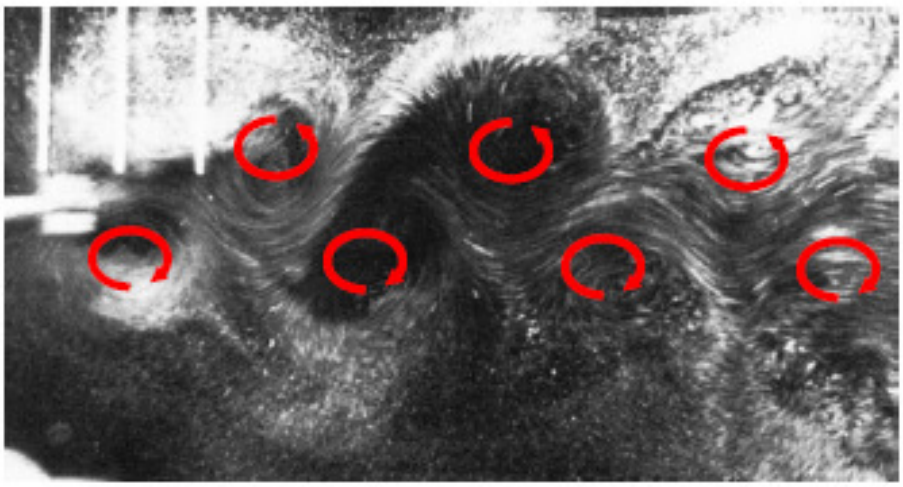


Abb. 3: Abhängigkeit der Strouhal-Zahl von der Reynolds-Zahl
(1) Linearer Durchflussbereich

Die auszuwertende Wirbelablösefrequenz ist folglich nur noch von der Durchflussgeschwindigkeit abhängig und unabhängig von der Messmediumdichte und der Viskosität. Die mit der Wirbelablösung einhergehenden lokalen Druckänderungen werden durch einen Piezo-Sensor detektiert und in elektrische Impulse entsprechend der Wirbelfrequenz umgewandelt. Das vom Messwertaufnehmer kommende durchflussproportionale Frequenzsignal wird im Messumformer weiterverarbeitet.

Prinzip: Karmann`sche Wirbelstrasse





Karmann`sche Wirbelstrasse im Strömungskanal

Die Messung der Wirbelfrequenz erfolgt über Drucksensoren oder Temperatursensoren am Störkörper. Es lassen sich Genauigkeiten von 0,5 % bei Messbereichen von 1:10 bis 1:30 erzielen.

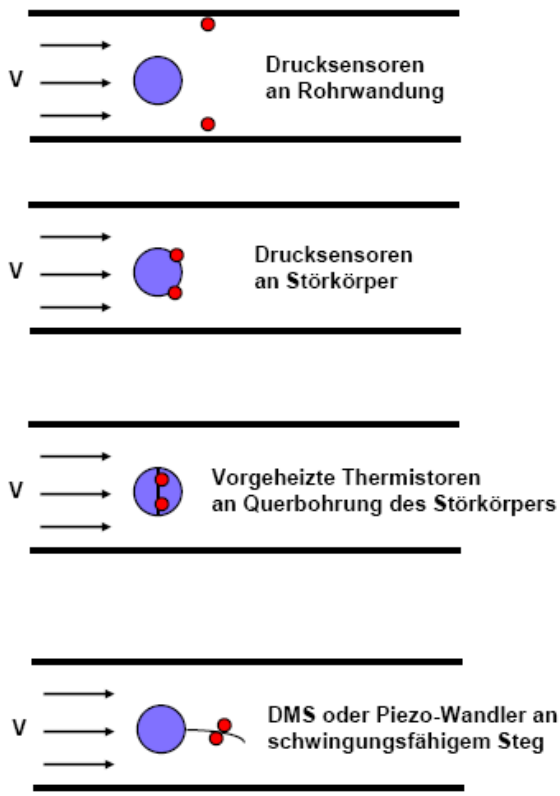
Vorteile der Wirbelfrequenz – Durchflussmesser sind:

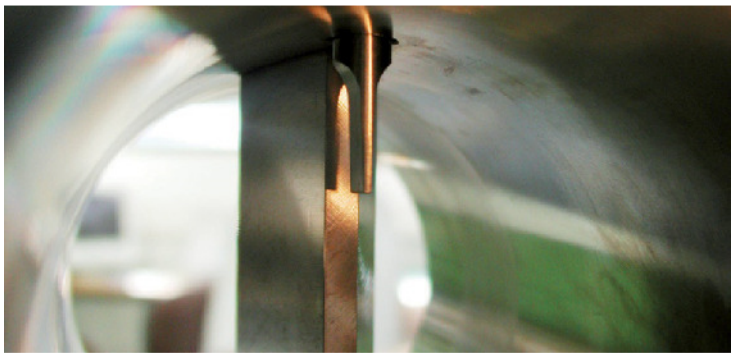
- Keine mechanisch bewegten Teile im Messgerät, dadurch robust
- Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung
- Linearer Zusammenhang zwischen f und v
- Gleicher Kalibrierfaktor für alle Medien
- Beliebige Einbaulage
- Großer Dynamikbereich

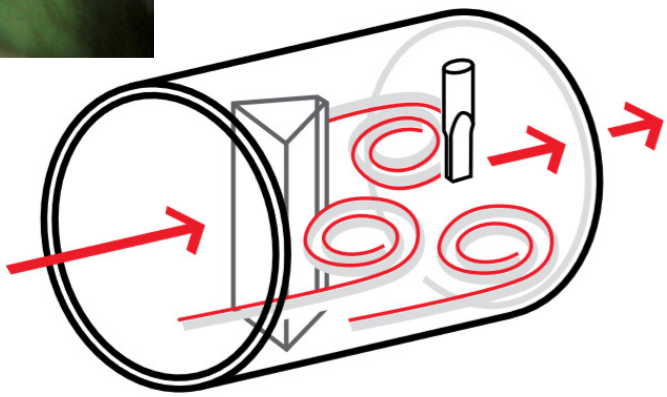
Als Nachteile sind zu nennen:

- Lange Einbaustrecke
- Druckverluste durch Störkörper
- Beschränkung im Bereich der Reynoldszahl (Viskosität)

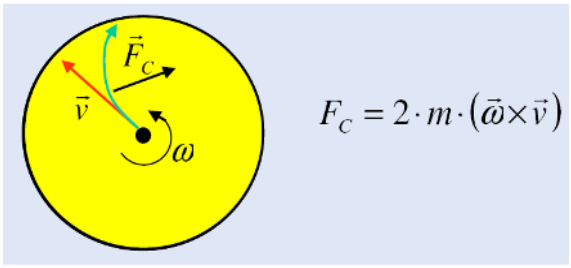
Messanordnungen

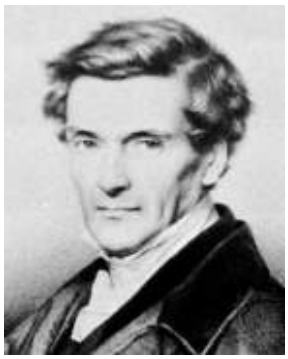


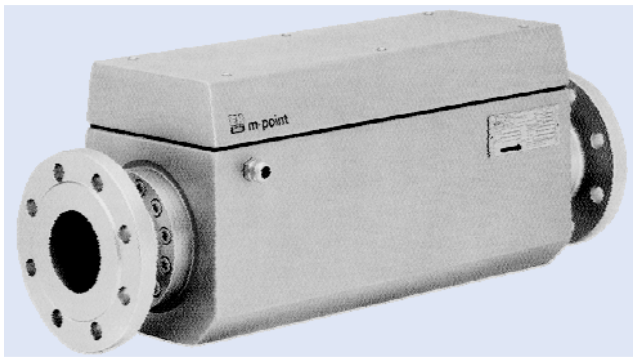


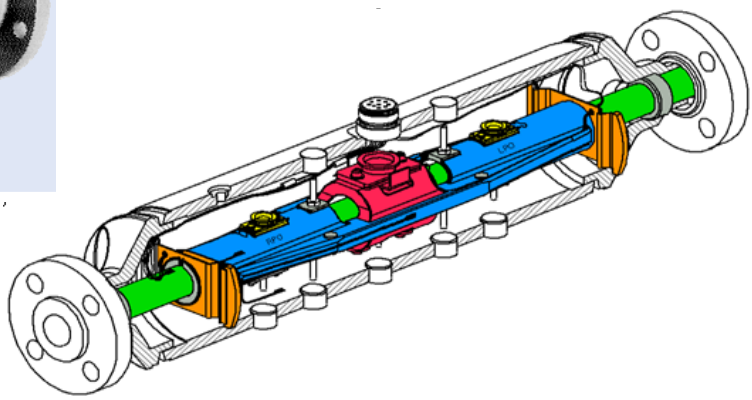


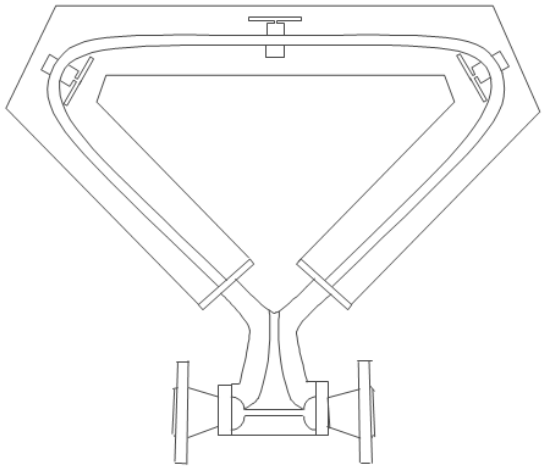
4.3.8 Massedurchflussmesser, Coriolisprinzip

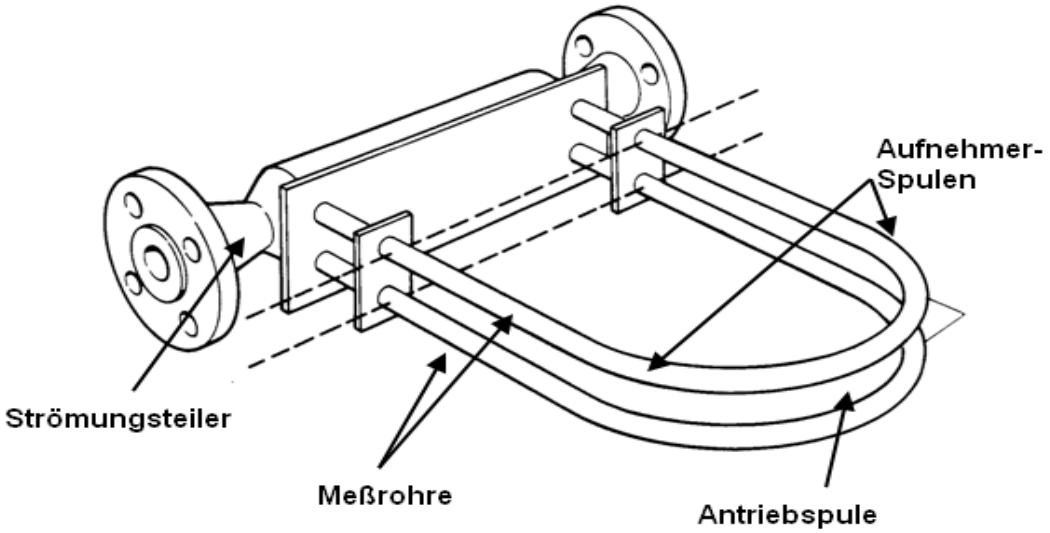




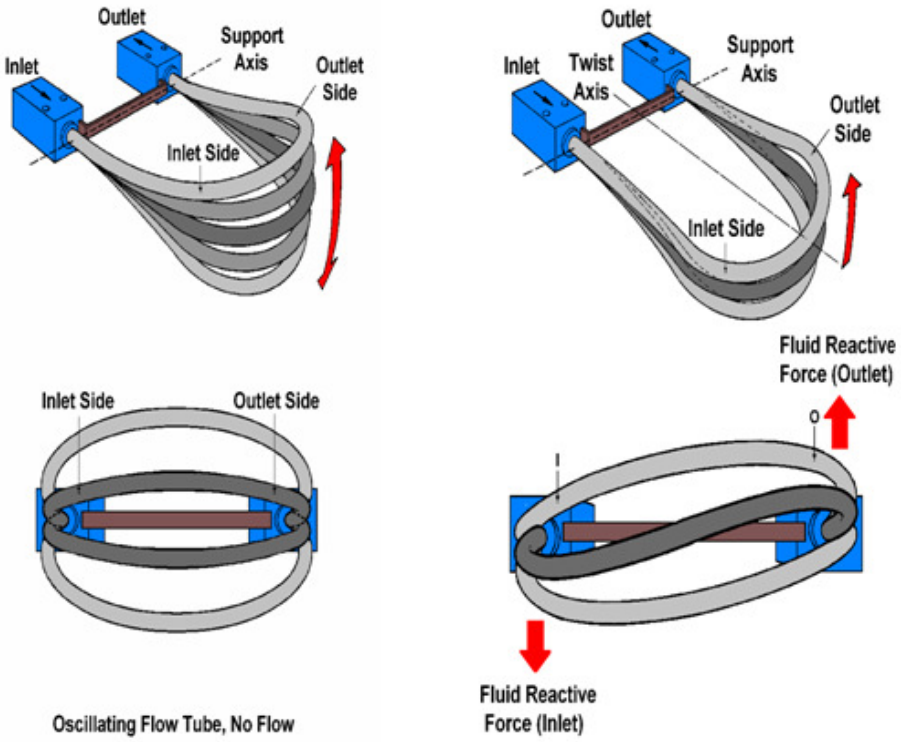






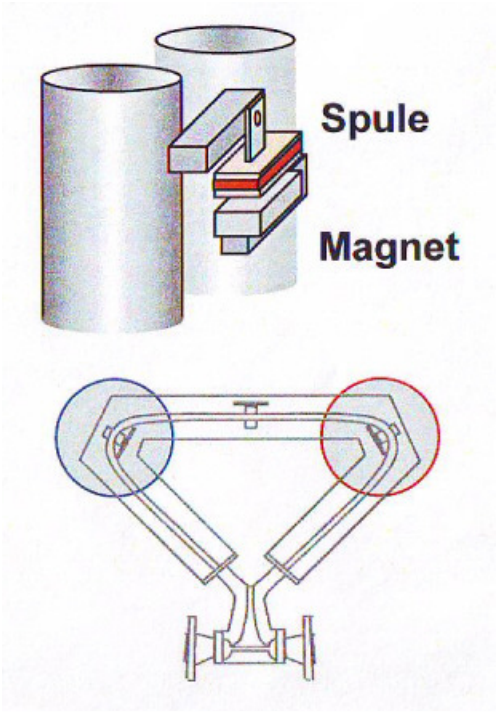


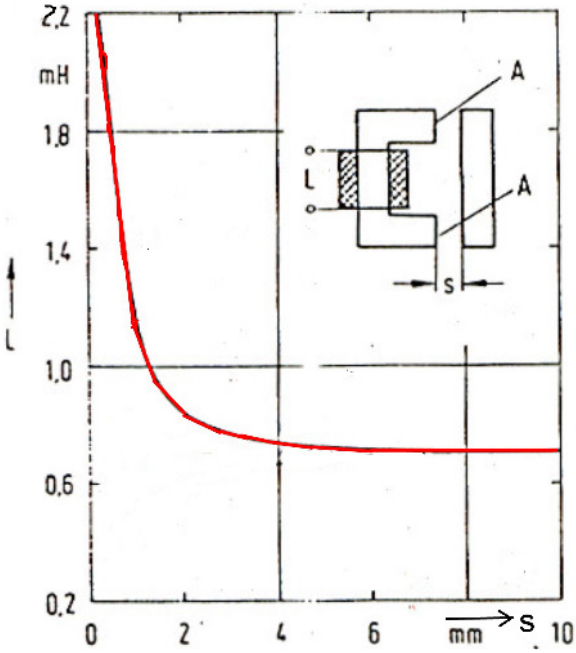
ohne Durchfluß **mit Durchfluß**

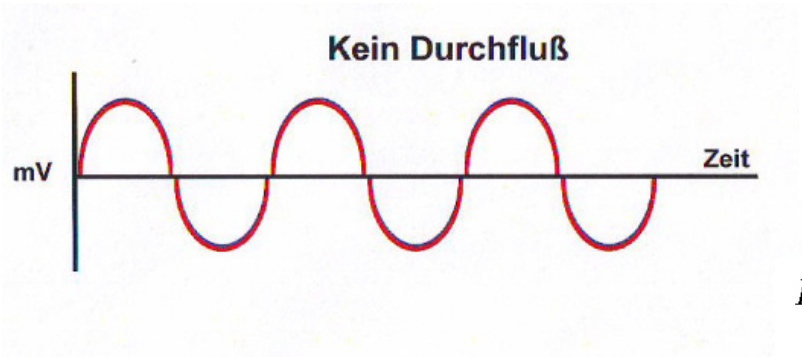


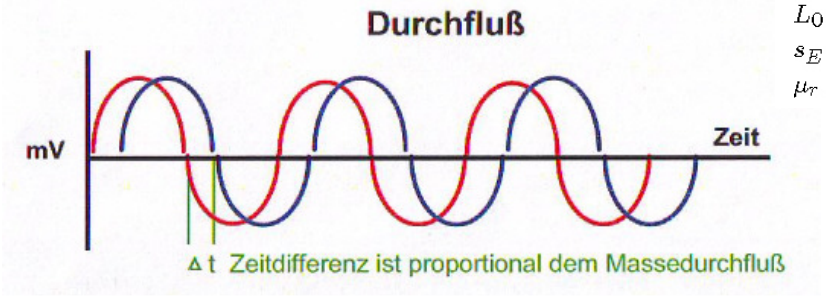
Vereinfachte Darstellung mit einem Meßrohr

Funktionsprinzip









Induktivität:

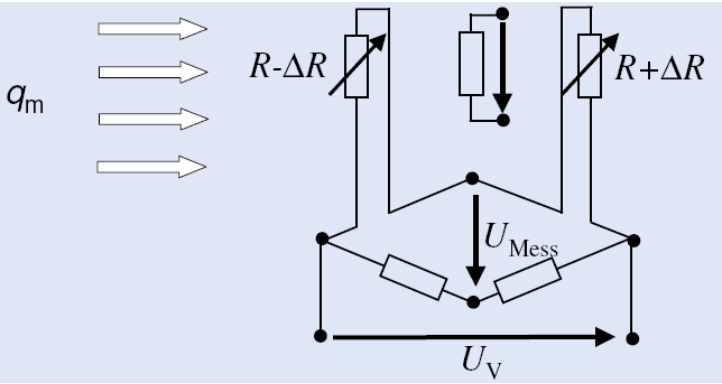
$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{s}$$

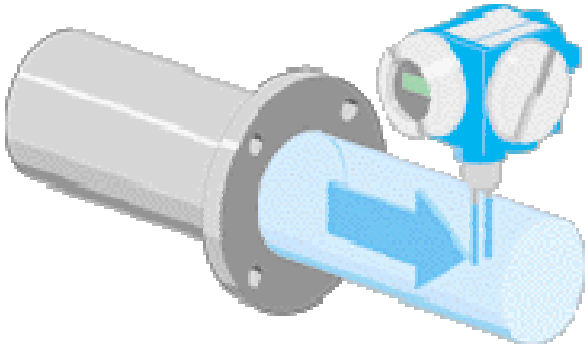
N ... Windungszahl
s ... Weglänge der magnetischen Feldlinien
A ... von den Feldlinien durchsetzte Fläche
μ ... Permeabilität

$$L(s) = \frac{L_0}{1+\mu_r \frac{2s}{s_E}}$$

L_0 ... Induktivität bei $s = 0$
s_E ... mittlere Feldlinienlänge im Eisen
μ_r ... Permeabilität des Eisens

4.3.9 Thermische Durchflussmesser





Das thermische Messprinzip beruht auf der Abkühlung eines beheizten Temperatursensors, dem durch das vorbeiströmende Medium Wärme entzogen wird. Im Messgerät strömt das Medium dazu an zwei PT100 - Temperatursensoren vorbei.
Der eine Sensor misst die aktuelle Prozesstemperatur als Referenz. Der zweite Sensor dient als Heizelement und wird - entsprechend der Abkühlung - auf eine exakt definierte Temperaturdifferenz aufgeheizt.
Je größer der Massefluss ist, der über den aufgeheizten Temperatursensor strömt, desto größer ist dessen Abkühlung und desto größer ist der erforderliche Heizstrom zur Aufrechterhaltung der Temperaturdifferenz.
Der gemessene Heizstrom ist somit ein Maß für den Gas-Massefluss.

Nennbereiche:	0 ... 10.000 kg/h
Nenndurchmesser:	beliebig (Sonder)
Vorteile:	Preisgünstig (KFZ-Sensor) direkt in Elektronik integrierbar
Nachteile:	hauptsächlich für Gase Empfindlich gegen Verschmutzung

4.4 Volumetrische Durchfluss-/ Mengenmessungen

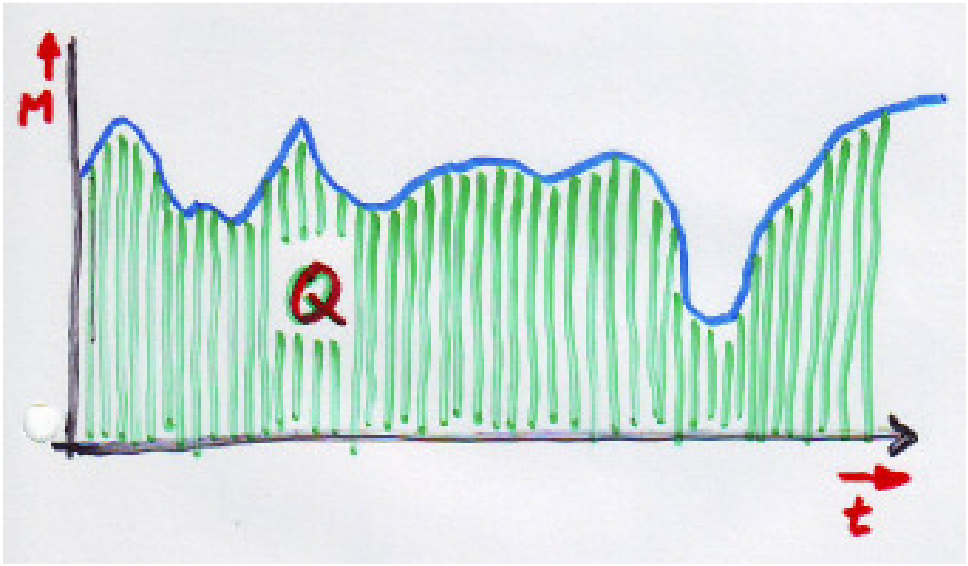
Auf den folgenden Seiten werden Flüssigkeitszähler mit beweglichen Trennwänden bzw. beweglichen Messkammern beschrieben. Das Gemeinsame dieser Zähler ist, dass bei jedem Hub oder jeder Drehung ein bestimmtes Volumen abgeteilt wird.

Auch wenn der Massemesser nach dem Coriolisprinzip einige dieser betriebsbewährten Messverfahren verdrängt hat, so gibt es immer noch genügend Applikationen in denen diese Messgeräte zum Einsatz kommen.

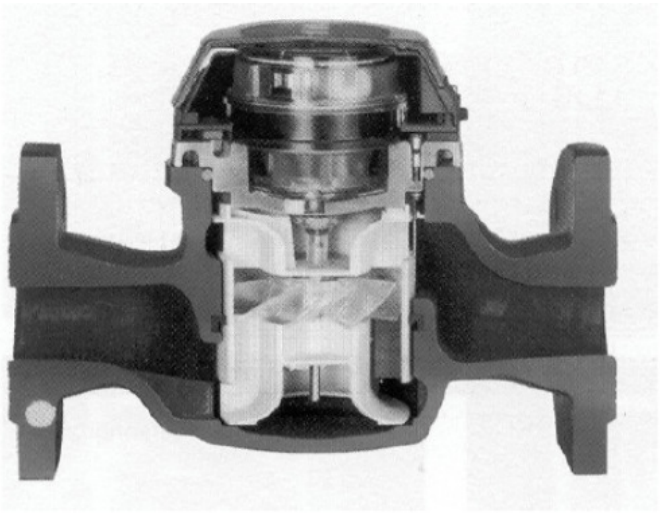
$$M = \int_0^T Q \cdot dt$$

M = Menge
Q = Durchfluss

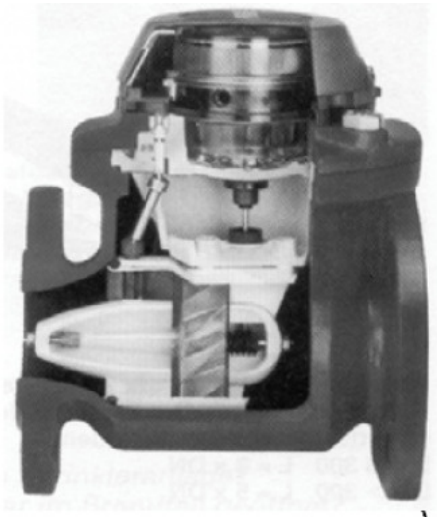
Planimetrieren = Flächeninhaltsberechnung in der Ebene



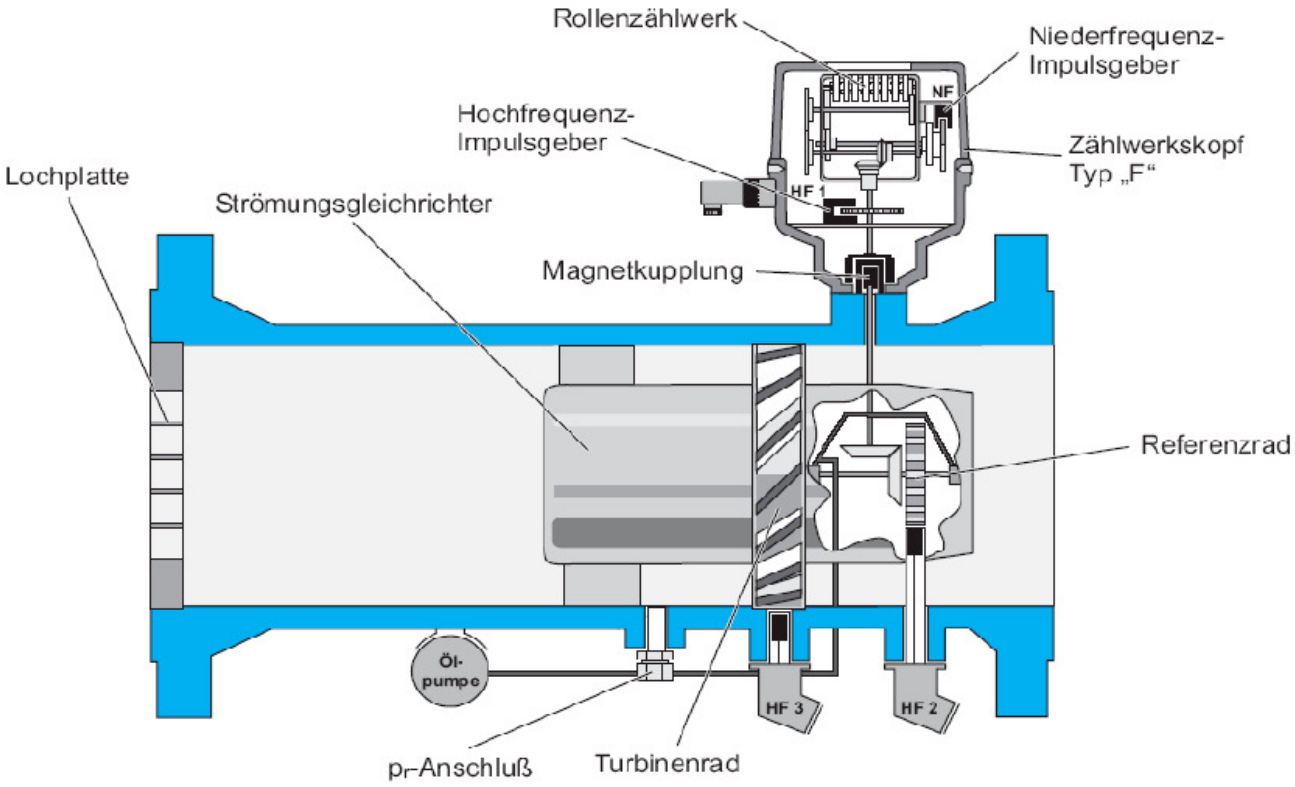
4.4.1 Turbinenrad-Zähler

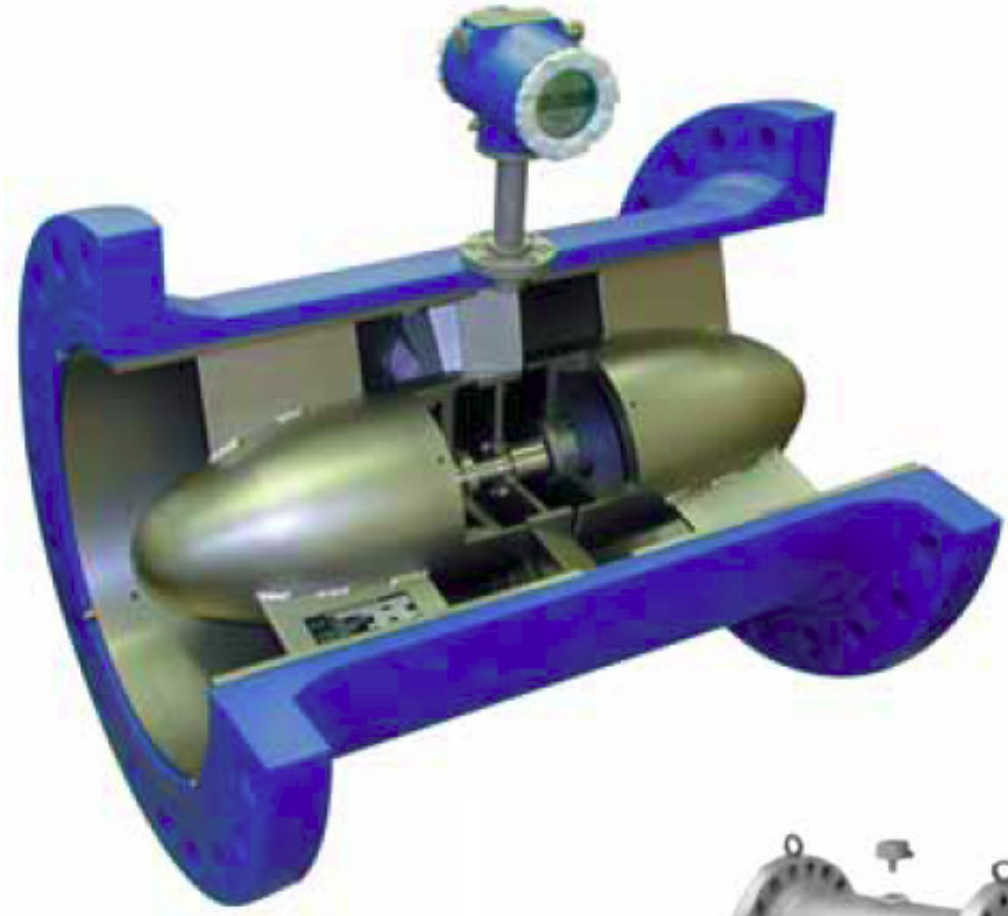


Woltmannzähler-Senkrechtläufer



Woltmannzähler-Parallelläufer

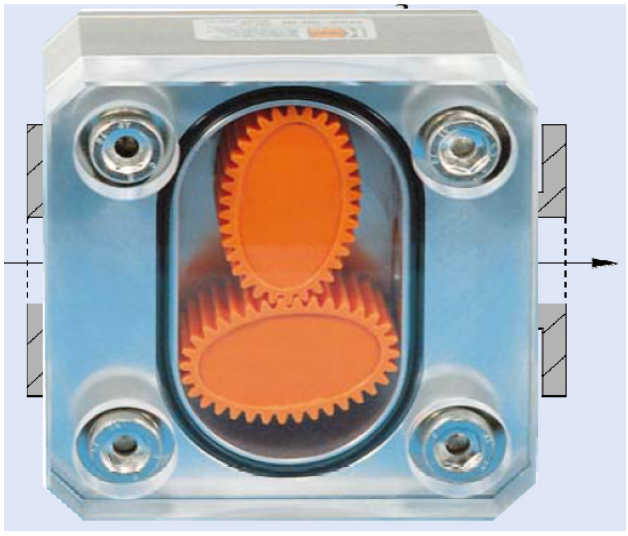




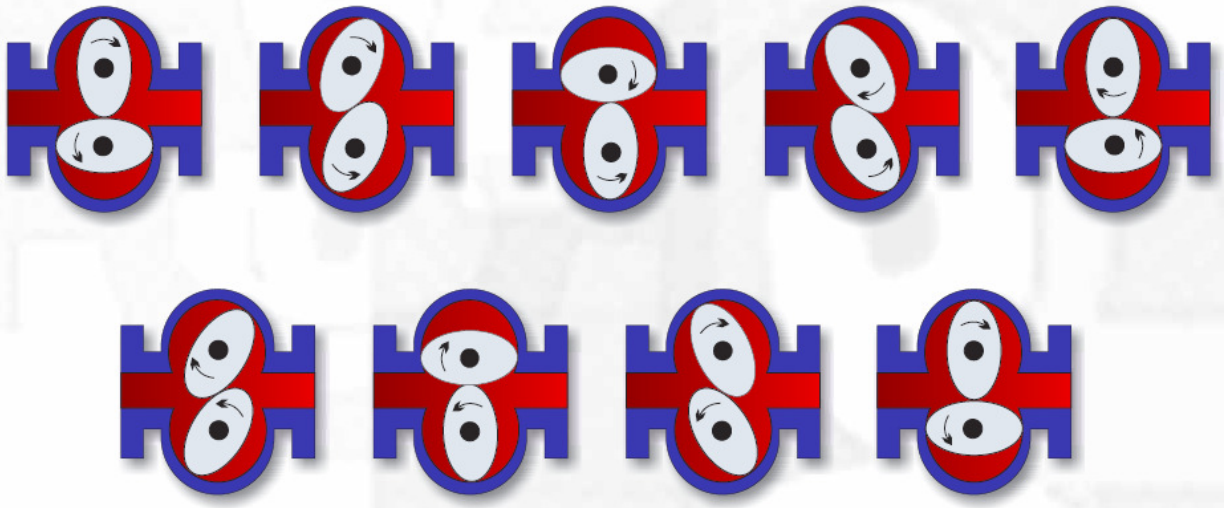
4.4.2 Flügelradzähler

4.4.3 Ovalradzähler

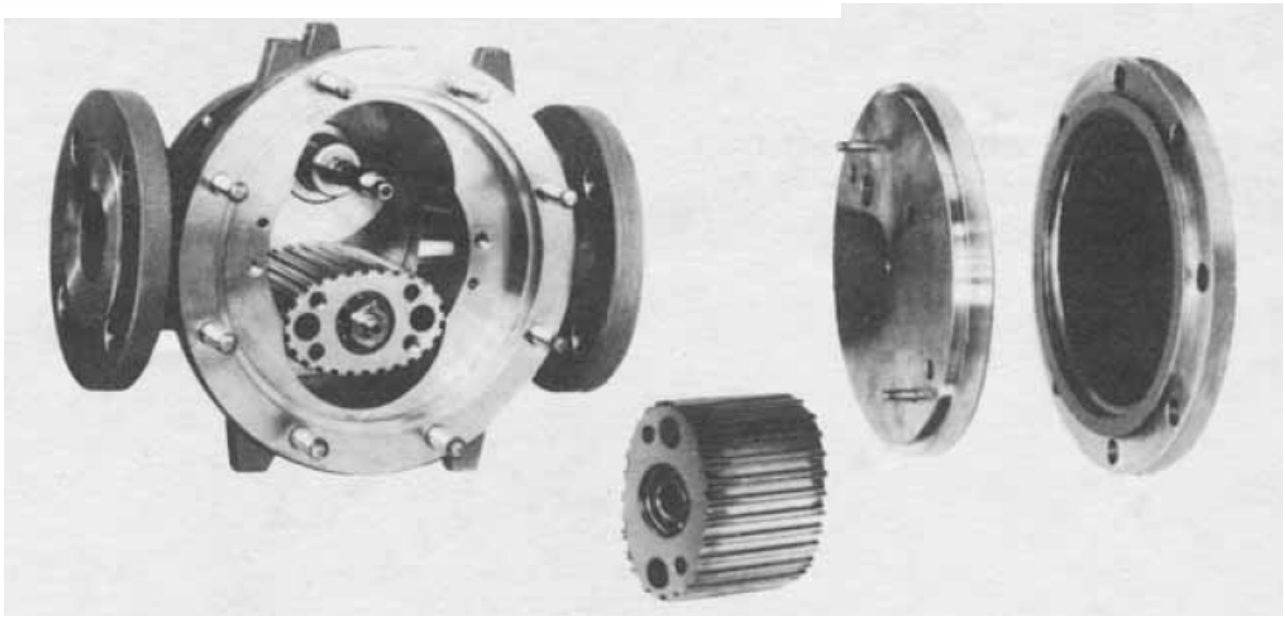
$$q_V = n \cdot V$$



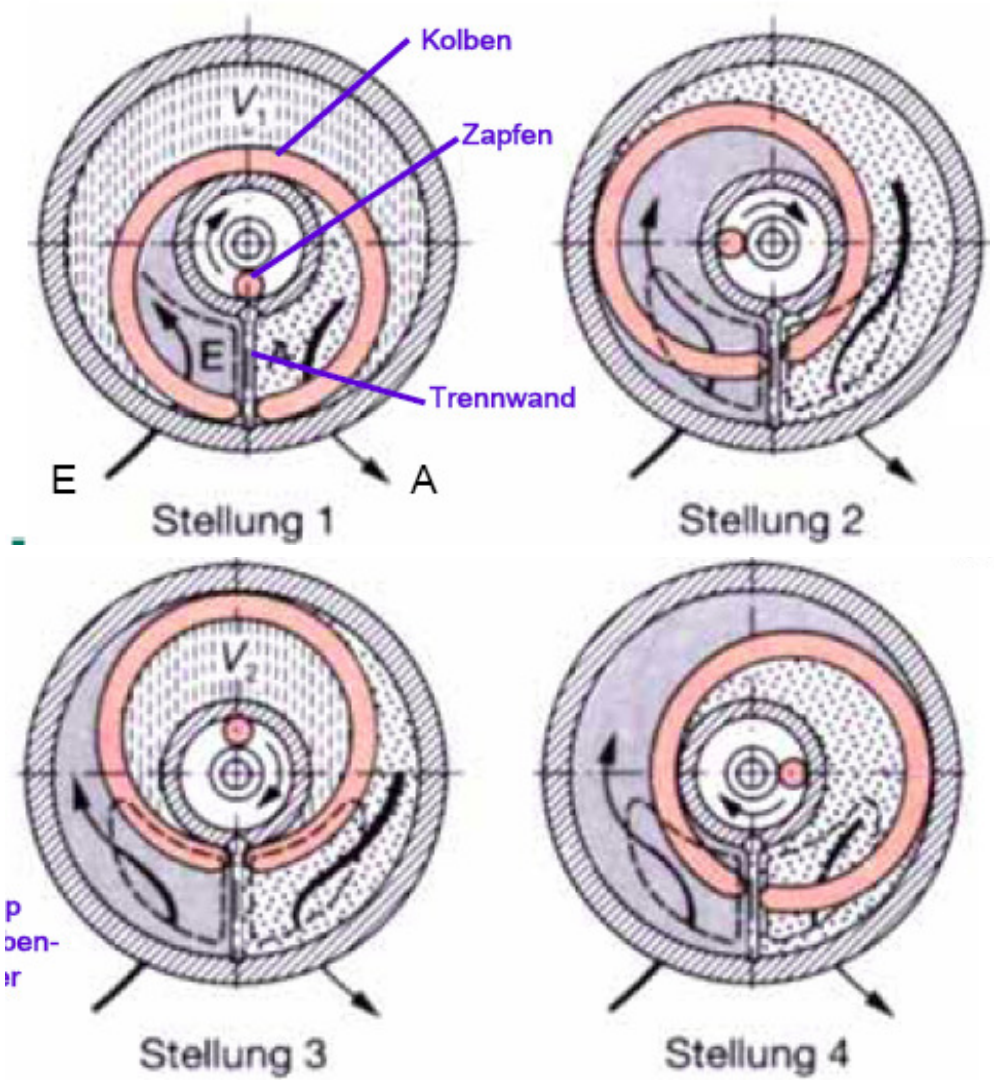
Ovalradzähler sind unmittelbare Volumenzähler. Ihr Messelement besteht aus zwei verzahnten Präzisions - Ovalrädern, die vom Flüssigkeitsdruck angetrieben, aufeinander abrollen. Dadurch wird bei jeder Umdrehung des Ovalrad-Paares eine definierte Menge Flüssigkeit durch den Zähler transportiert.



Die Anzahl der Umdrehungen ist ein genaues Maß für die durchgeflossene Menge.



4.4.4 Ringkolbenzähler



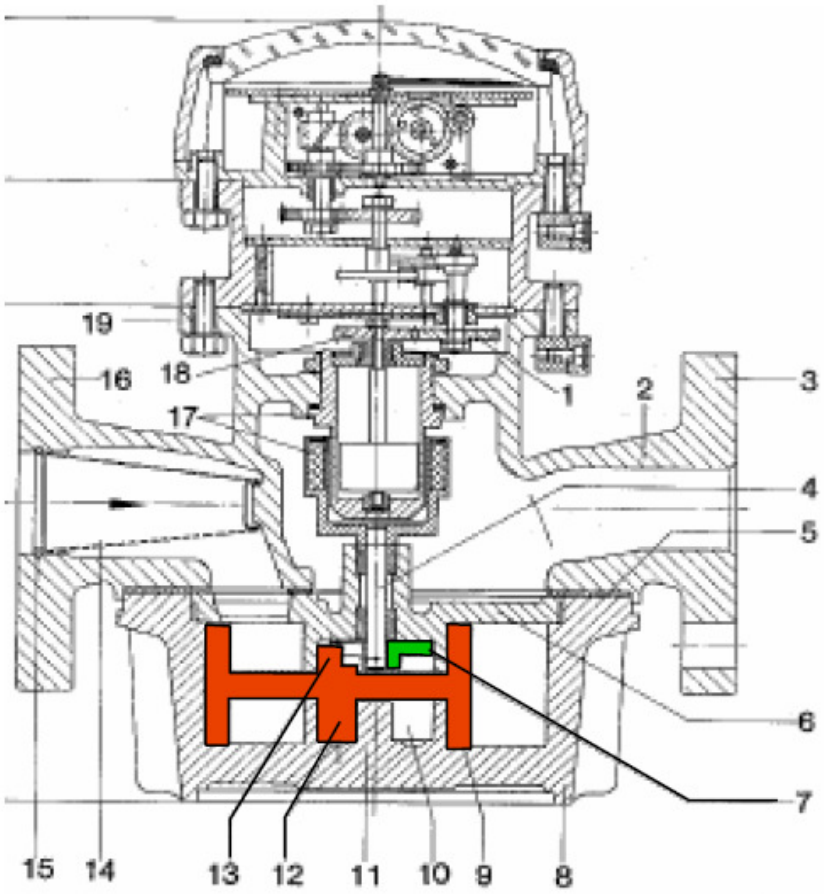
Funktion in einzelnen Phasen:

Stellung 1: Der linke Teil des inneren Volumens V_2 wird durch E gefüllt, der rechte durch A geleert. Strömungskurzschluss vom Eingang zum Ausgang wird dadurch verhindert, dass der Ringkolben am inneren Kreis des Gehäuses anliegt. Das äußere Volumen V_1 ist in dieser Stellung vollständig abgeschlossen.

Stellung 2: Das innere Volumen V_2 ist fast vollständig vom Austrittsspalt getrennt, während der Inhalt des großen Volumens V_1 ausgetragen wird.

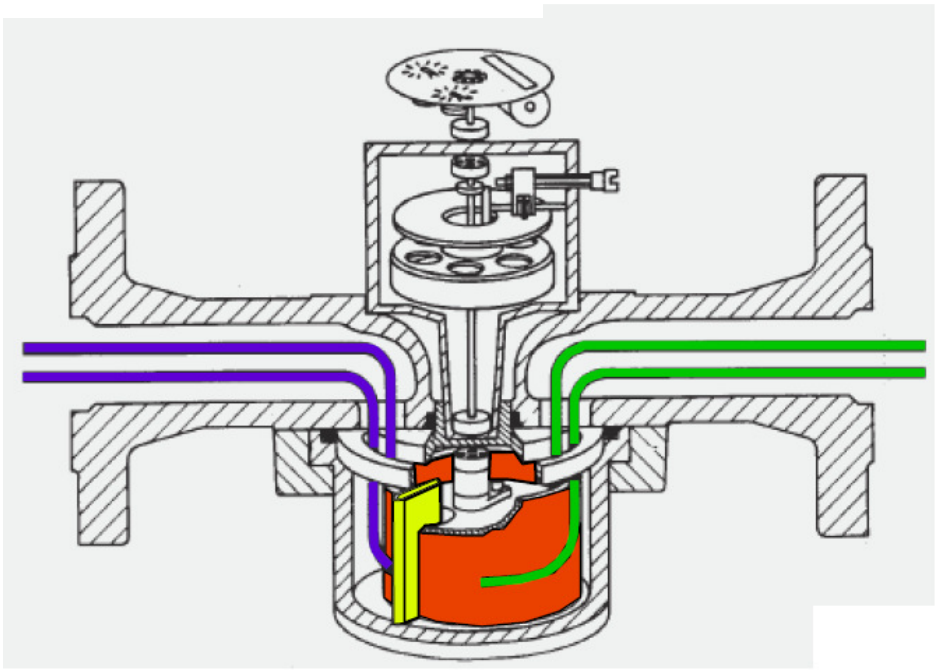
Stellung 3: Das innere Volumen V_2 ist maximal gefüllt und gegen Ein- und Austrittsspalt abgegrenzt. Der linke Teil von V_1 wird gefüllt, der rechte entleert.

Stellung 4: Während sich das äußere Volumen V1 vollends füllt, wird das innere Volumen V2 entleert.

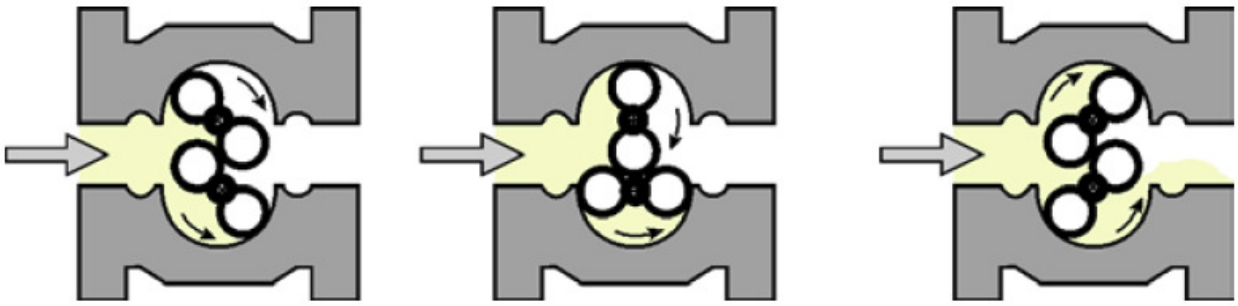


1 Wechselrad am Umsetzungswerk
2 Gehäuseoberteil
3 Flansch
4 Messwerkswelle
5 Gehäusedichtung
6 Messkammerdeckel
7 Mitnehmer
8 Gehäuseunterteil
9 Ringkolben

10 Führungsnut
11 Messkammerzapfen
12 Langer Kolbenzapfen
13 Kurzer Kolbenzapfen
14 Sieb
15 Sprengring
16 Flansch
17 Magnetkupplung
18 Wechselrad am Messwerk
19 Befestigungsflansch



4.4.5 Drehkolbenzähler

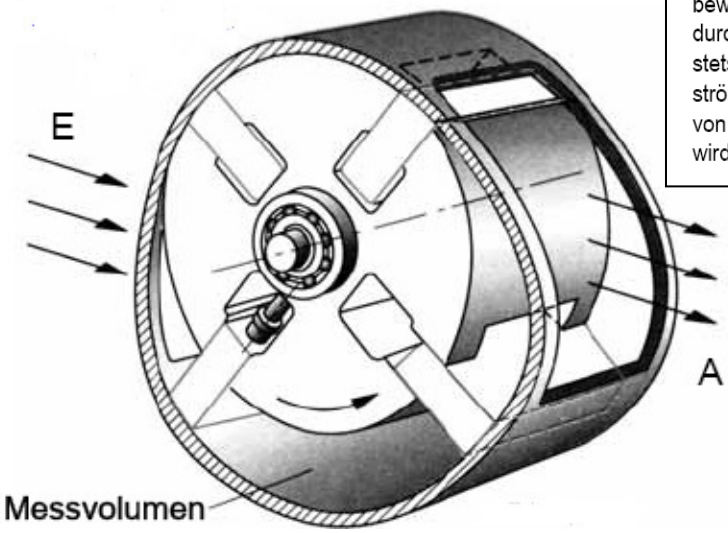


Die Messeinheit besteht aus zwei "8"-förmigen Kolben, welche zusammen mit dem Gehäuse 4 Messkammern pro Umdrehung bilden, die periodisch gefüllt und entleert werden.
Die Anzahl der Umdrehungen ist proportional zu dem gemessenem Volumen. Die Drehungen werden über ein Getriebe auf ein mechanisches Zählwerk übertragen, welches dann das Volumen registriert.

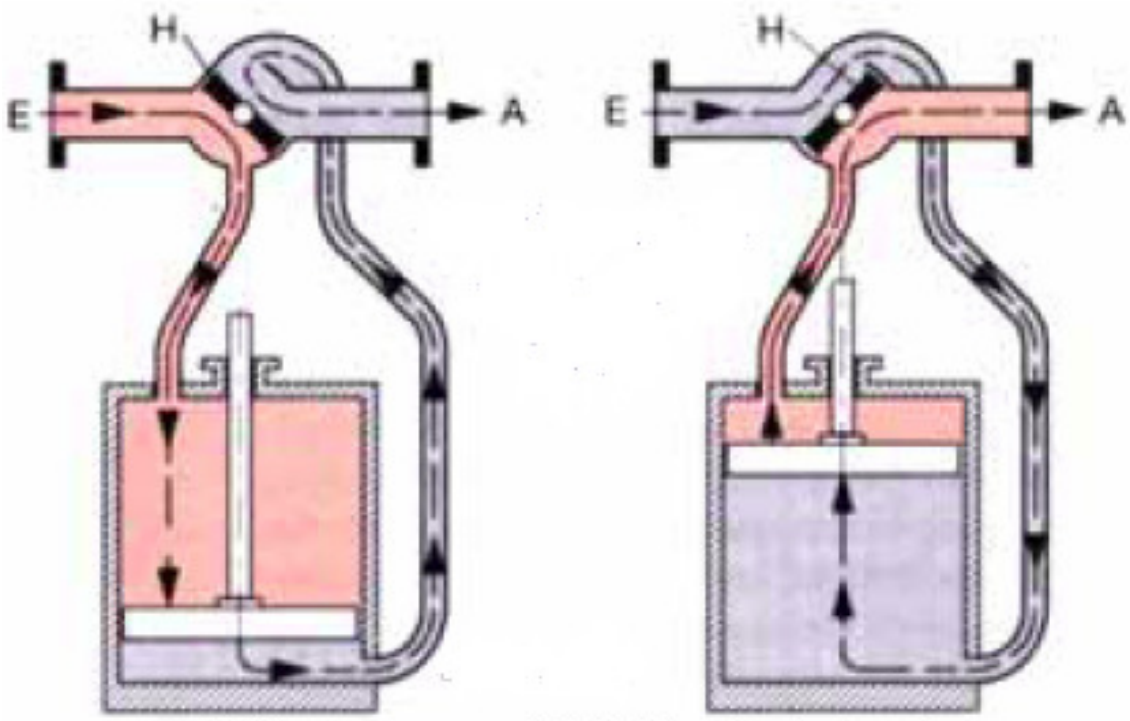
4.4.6 Treibschieber-Zähler

Ein drehbarer Rotor mit 2 Scheibenpaaren wird durch das Medium bewegt. Die hydrodynamisch gleitende Scheiben bilden 4 Messkammern, die pro Umdrehung reproduzierbares Volumen ergeben. Die Umdrehung werden durchführungsfrei über eine Magnetkupplung an ein Zählwerk oder einen Impulsgeber übertragen. Aufgrund dieser patentierten Konstruktion ermöglicht dieses Messprinzip hochgenaue viskositätsunabhängi Durchflussmessungen.

Besonders für größere Flüssigkeitsströme in der Mineralöl-industrie wird der Dreh- oder Treibschieberzähler angewandt. Er besteht er aus einem exzentrischen Rotor mit vier darin beweglichen Schiebern, von denen je zwei gegenüberliegende durch Federn miteinander gekoppelt sind. Sie werden dadurch stets an die Gehäusewand gedrückt und trennen somit das strömende Fluid in diskrete Volumina. Treibt man den Rotor von außen an, so kann man das Fluid fördern. Arbeitsprinzip wird in der Vakuumtechnik bei Drehschieberpumpen genutzt.



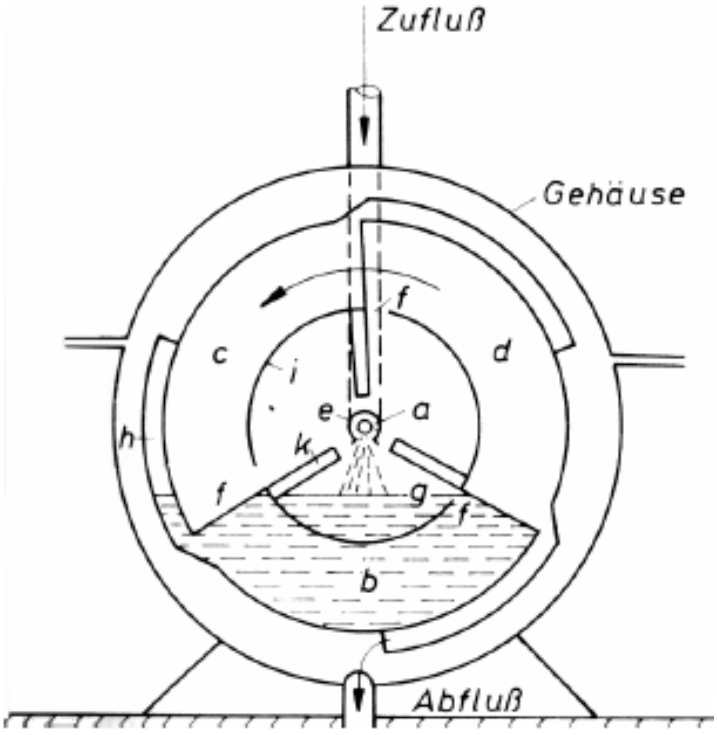
4.4.7 Hubkolben-Zähler

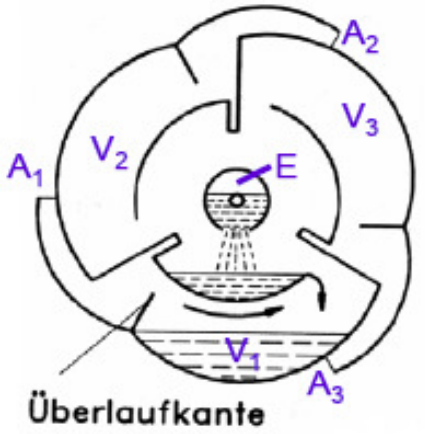


H Umsteuerventil, E Eintritt, A Austritt

Hubkolbenzähler mit Umsteuerventilen finden vor allem in der Mineralölindustrie Verwendung (Mengenmessung). Sie lassen sich gleichzeitig auch zum Fördern der Flüssigkeiten nutzen. Arbeitsprinzip: Synchron zur Bewegung des Kolbens wird ein Umschaltventil gesteuert, so dass sich die beiden Kammern abwechselnd füllen und leeren. Die Anzahl der Hübe ist ein Maß für das Volumen.

4.4.8 Trommel-Zähler





E Eintritt Flüssigkeit
A_1, A_2, A_3 Austritt Flüssigkeit
V_1, V_2, V_3 Messvolumina

- größte Bedeutung unter Auslaufzählern
- gestattet auch Messung stark verschmutzter Flüssigkeiten
- geringe Druckverluste
- Medium sollte nicht zu große Viskosität besitzen, damit Messgut schnell genug entleert werden kann
- Genauigkeiten bis zu 0,1% erzielbar (Fehlerkurve hängt u.a. von Oberflächen-spannung der Flüssigkeit ab)

SITRANS F R Trommelzähler

Ein hochgenaues Gerät für das Messen von Alkohol-Wasser-Gemischen und für das Bestimmen des Alkoholgehalts – das einzige Gerät mit einer Zulassung der Bundesmonopolverwaltung.

4.5 Zusammenfassung der Vor- und Nachteile

4.5.1 Ovalradzähler, Ringkolbenzähler

Vorteile:

- gute Genauigkeit
- einsetzbar für Flüssigkeiten mit großer Viskosität
- arbeitet in beiden Fließrichtungen (Vor- und Rücklauf)
- kein Strömungsprofileinfluss, daher keine Beruhigungsstrecke
- keine Hilfsenergie
- eichamtlich zugelassen

Einschränkungen:

- Volumenzähler
- nur für Flüssigkeiten
- großer Druckverlust
- bewegliche Teile, Verschleiß
- bei kleiner Viskosität Fehlervergrößerung durch Spaltverluste
- empfindlich gegen Verschmutzung, Filter erforderlich
- Durchflussblockade bei Stillstand durch Verschmutzung
- empfindlich gegen Überlastung
- Überwachung und Wartung

4.5.2 Drehkolbenzähler

Vorteile:

- hervorragende Genauigkeit für die Gasmessung
- keine Beruhigungsstrecken
- keine Hilfsenergie
- eichamtlich zugelassen

Einschränkungen:

- Volumenzähler
- ausschließlich für Gase
- bewegliche Teile, Verschleiß
- Durchflussblockade bei Stillstand durch Verunreinigung
- träge gegenüber schnellen Änderungen
- aber auch empfindlich gegenüber schnellen Änderungen bei großem Differenzdruck, Gefahr des Überdrehens
- Überwachung

4.5.3 Turbinenzähler

Vorteile:

- keine Hilfsenergie bei Flügelrad und Woltman
- eichamtliche Zulassung für Wasser bei Flügelrad und Woltman
- Turbinenrad verwendbar für cryogene Flüssigkeit
- Turbinenrad einsetzbar bei extremen Temperaturen und Drücken
- eichamtliche Gas-Zulassung für Turbinenrad

Einschränkungen:

- begrenzte Werkstoffauswahl
- nur für niedrige Viskositäten
- bewegliche Teile, Verschleiß
- empfindlich gegen Verschmutzung
- axial in Strömungsrichtung liegende Zähler sind Strömungsprofil-abhängig
- Beruhigungsstrecke (nicht bei Flügelrad)
- empfindlich gegen Überlast und schnelle Änderung bei großem Differenzdruck, Gefahr des Überdrehens
- empfindlich gegen Vibration

4.5.4 Wirbeldurchflussmesser

Vorteile:

- keine beweglichen Teile
- robuster Aufbau
- einsetzbar bei Flüssigkeit, Gas, Dampf
- leicht sterilisierbar
- unabhängig von Druck-, Temperatur-, Dichteänderung
- lineares Verhältnis zwischen Durchfluss und Messwert

Einschränkungen:

- Beruhigungsstrecken
- Mindest-Reynoldszahl erforderlich

4.5.5 Drall-Durchflussmesser

Vorteile:

- keine beweglichen Teile
- keine Beruhigungsstrecken
- einsetzbar bei Flüssigkeit, Gas, Dampf
- hervorragende Reproduzierbarkeit
- unabhängig von Druck-, Temperatur-, Dichteänderung

Einschränkungen:

- Druckverlust
- Mindest-Reynoldszahl erforderlich

4.5.6 Wirkdruck-Messverfahren

Vorteile:

- universell verwendbar für Flüssigkeit, Gas, Dampf
- auch in Extremfällen, z. B. Viskosität, einsetzbar wegen unterschiedlicher Varianten
- Berechnungsmöglichkeiten für außergewöhnliche Fälle
- einsetzbar bei extremen Temperaturen und Drücken
- Bereichsänderung möglich
- niedriger Druckverlust in Düsen

Einschränkungen:

- quadratischer Zusammenhang zwischen Durchfluss und
- Messgröße Wirkdruck, daher kleine Spanne
- Einfluss von Druck- und Dichteänderung
- Druckverlust bei Blende
- Kantenschärfe der Blende muss sichergestellt sein, daher keine Feststoffe oder Verschmutzung
- sehr lange Beruhigungsstrecken
- aufwendige Installation durch Wirkdruckleitung, Armaturen
- und Messwertwandler
- Montage- und Wartungserfahrung zweckmäßig
- wartungsintensiv

4.5.7 Schwebekörper-Durchflussmesser

Vorteile:

- preiswert
- keine Hilfsenergie bei örtlicher Anzeige
- einsetzbar bei Flüssigkeit, Gas, Dampf
- keine Beruhigungsstrecke
- einfacher Geräteaufbau, daher montage- und wartungsfreundlich
- Anzeige auch bei undurchsichtigen Flüssigkeiten
- Metallkonusgerät mit Messumformer
- Metallkonusgerät sterilisierbar, CIP-geprüft

Einschränkungen:

- senkrechte Einbaulage
- konstanter Druckverlust
- Einfluss von Dichte-, Temperatur-, Viskositätsänderungen
- Feststoffe beschädigen Messkante, ansonsten leichte Verschmutzung zulässig
- empfindlich gegen Pulsation und Vibration
- teuer bei Verwendung exotischer Werkstoff

4.5.8 Magnetisch-induktive-Durchflussmesser

Vorteile:

- freier Rohrquerschnitt ohne hereinragende Teile
- keine beweglichen Teile
- kein zusätzlicher Druckverlust
- weitgehend strömungsunabhängig, deshalb geringe Beruhigungsstrecke
- kein Einfluss der Änderung von Temperatur, Dichte, Viskosität, Konzentration, elektr. Leitfähigkeit
- günstige Werkstoffwahl bei chemisch aggressiven und bei abrasiven Messstoffen
- unempfindlich gegen Verschmutzung, Sedimentation
- besonders geeignet für hydraulischen Feststofftransport

- sterilisierbar, CIP-geprüft
- linearer Zusammenhang zwischen Durchfluss und Messgröße
- arbeitet in beiden Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- Messbereich optimierend einstellbar
- wartungsarm, aber trotzdem wartungsfreundlich
- eichamtlich zugelassen

Einschränkungen:

- nur bei Flüssigkeiten
- untere Leitfähigkeitsgrenze 0,05 ..[S/cm
- Gasanteile verursachen Fehler

4.5.9 Ultraschall-Durchflussmesser

Vorteile:

- freier Rohrquerschnitt
- keine beweglichen Teile
- kein zusätzlicher Druckverlust
- günstige Werkstoffauswahl bei chemisch aggressiven Flüssigkeiten
- linearer Zusammenhang zwischen Durchfluss und Messgröße
- wartungsarm
- arbeitet in beiden Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- beim Laufzeitverfahren kein Einfluss von Temperatur, Dichte, Konzentration
- nachträglicher Einbau ins Rohr mit Einzelelementen möglich, aber örtliche Kalibrierung

Einschränkungen:

- für Flüssigkeiten, Gasmessung noch anfällig
- Schallstrahl muss querschnittsrepräsentativ messen, deshalb sehr strömungsprofilabhängig. Lange Beruhigungsstrecke
- Fehler bei Ablagerungen
- Laufzeitverfahren nur bei sauberen Flüssigkeiten
- Dopplerverfahren nur bei leichter Verschmutzung oder
- mit wenig Gasblasen
- beim Dopplerverfahren Einfluss von Schallgeschwindigkeitsänderungen durch Temperatur, Dichte, Konzentration
- ungeeignet für stark verschmutzte Flüssigkeiten
- Fehler durch Gasblasen

4.5.10 Masse-Durchflussmesser nach dem Coriolois-Prinzip

Vorteile:

- echte Massemessung
- zusätzliche Temperatur- und Dichtemessung
- sehr gute Genauigkeit für Masse-Durchfluss
- hochgenaue Dichtemessung
- unabhängig von Druck, Temperatur, Viskosität
- keine Beruhigungsstrecken
- arbeitet in beide Fließrichtungen (Vor-, Rücklauf)
- sterilisierbar, CIP-geprüft, **EHEDG** zertifiziert
- Messbereiche für Durchfluss und Dichte optimierend einstellbar
- selbstentleerend

Einschränkungen:

- nur für Flüssigkeiten
- Gasanteile stören
- vibrationsempfindlich bei unsachgemäßer Befestigung
- Werkstoffauswahl begrenzt
- Nennweitenbegrenzung nach oben

4.5.11 Masse-Durchflussmesser, thermisch

Vorteile:
direkte Massemessung für Gase

- keine Druck- und Temperaturkompensation
- sehr geringer Druckverlust
- hohe Messgenauigkeit
- große Messspanne
- keine beweglichen Teile
- robuster Aufbau
- schnelle Ansprechzeit
- leicht sterilisierbar

Einschränkungen:

- nur für Gase
- Beruhigungsstrecken