

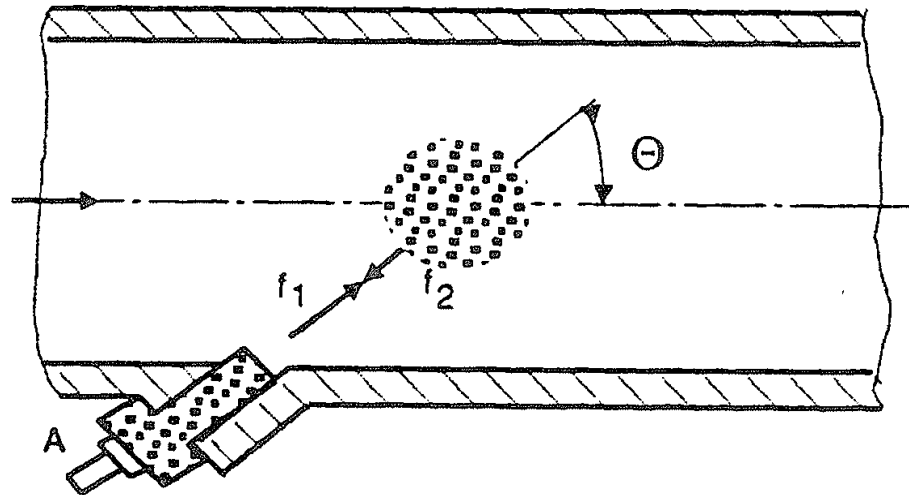
# 12. KÜLÖNLEGES ÁRAMLÁSMÉRŐK

## 12.1. Ultrahangos áramlásmérők

### 12.1.1. Alkalmazási példa

### 12.1.2. Működési elvek

$$f_1 - f_2 = 2 \bar{v} f_1 \frac{\cos \theta}{a}$$



$$\frac{f_1 - f_2}{f_1} \ll 1$$

$$q_V = \bar{v} A$$

*Doppler elv*

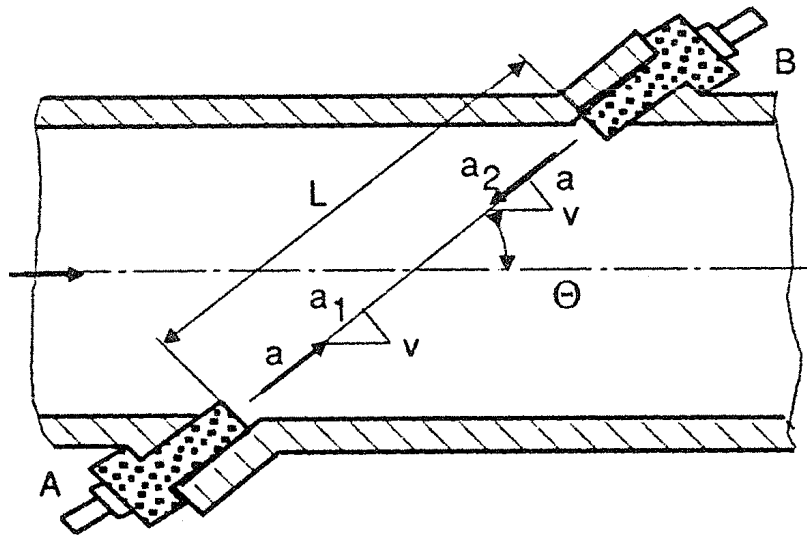
$$a_A = a + v \cos \theta$$

$$a_B = a - v \cos \theta$$

$$\bar{v} = \frac{1}{L} \int_L v \, dL$$

$$\bar{a}_A = a + \bar{v} \cos \theta = \frac{L}{t_A}$$

$$\bar{a}_B = a - \bar{v} \cos \theta = \frac{L}{t_B}$$



***Áthaladási idő-különbség (Transit time difference) elve***

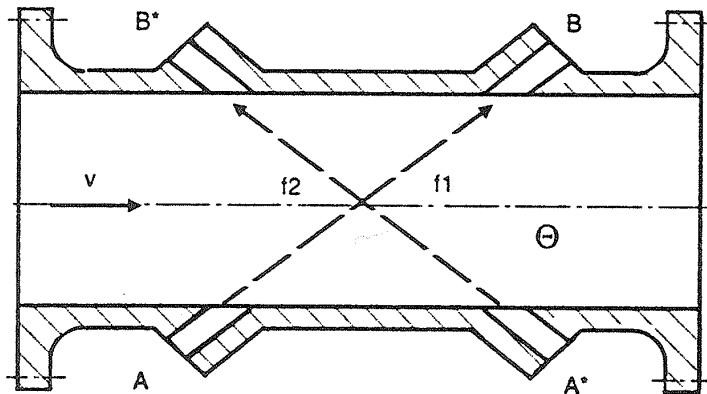
Dr. Vad János: Korszerű áramlásmérés

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{L}{2 \cos \theta} \left( \frac{1}{t_A} - \frac{1}{t_B} \right) = \frac{L}{2 \cos \theta} \left( \frac{t_B - t_A}{t_A t_B} \right) = (t_B - t_A) \frac{1}{2 \cos \theta} \frac{1}{L} \frac{L}{t_A} \frac{L}{t_B} = \\ &= (t_B - t_A) \frac{1}{L 2 \cos \theta} \bar{a}_A \bar{a}_B \approx (t_B - t_A) \frac{a^2}{L 2 \cos \theta} \end{aligned}$$

$$q_V = \bar{v} A$$

$$\bar{v} = \frac{L}{2 \cos \theta} \left( \frac{1}{t_A} - \frac{1}{t_{A^*}} \right) = \frac{L}{2 \cos \theta} (f_A - f_{A^*})$$

$$q_V = \bar{v} A$$



***Frekvenciakövetéses (Frequency tracking, “Sing around”) elv***



**US300PM (main unit)**

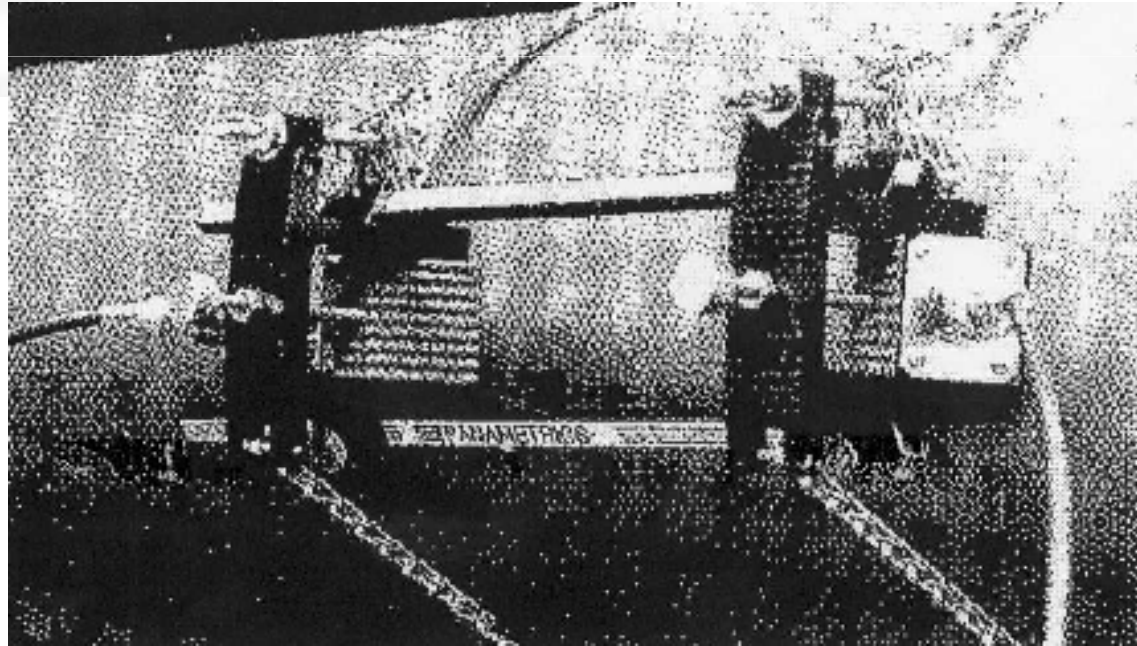
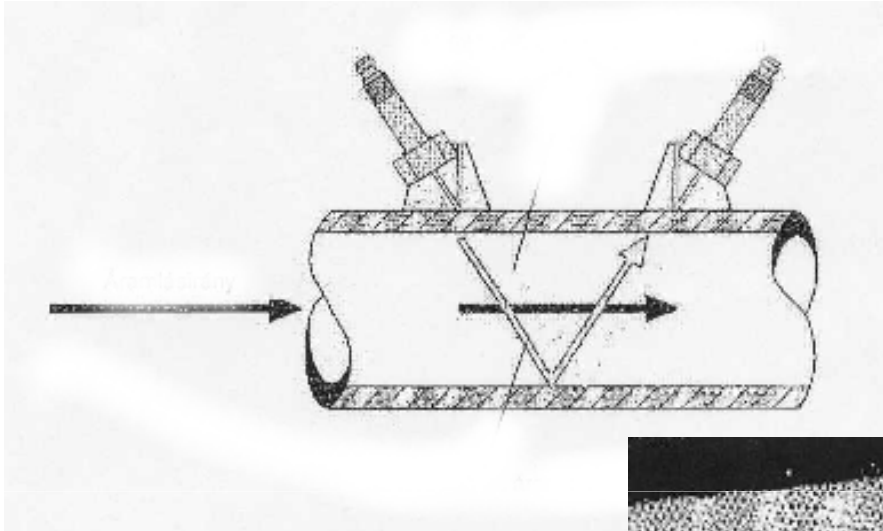


**Left: Transducer for large pipes**

**Middle: Transducer for small- and medium-sized pipes**

**Right: Wall thickness probe (for general temperature)**

## *Acélipari alkalmazás (revésvíz mérése)*



*Dr. Vad János: Korszerű áramlásmérés*

## **ELŐNYÖK:**

- Érintésmentes
- Nincs nyomásesés
- Hosszú élettartam
- Utólagosan beépíthető
- A mérési elv független a közegsűrűségtől

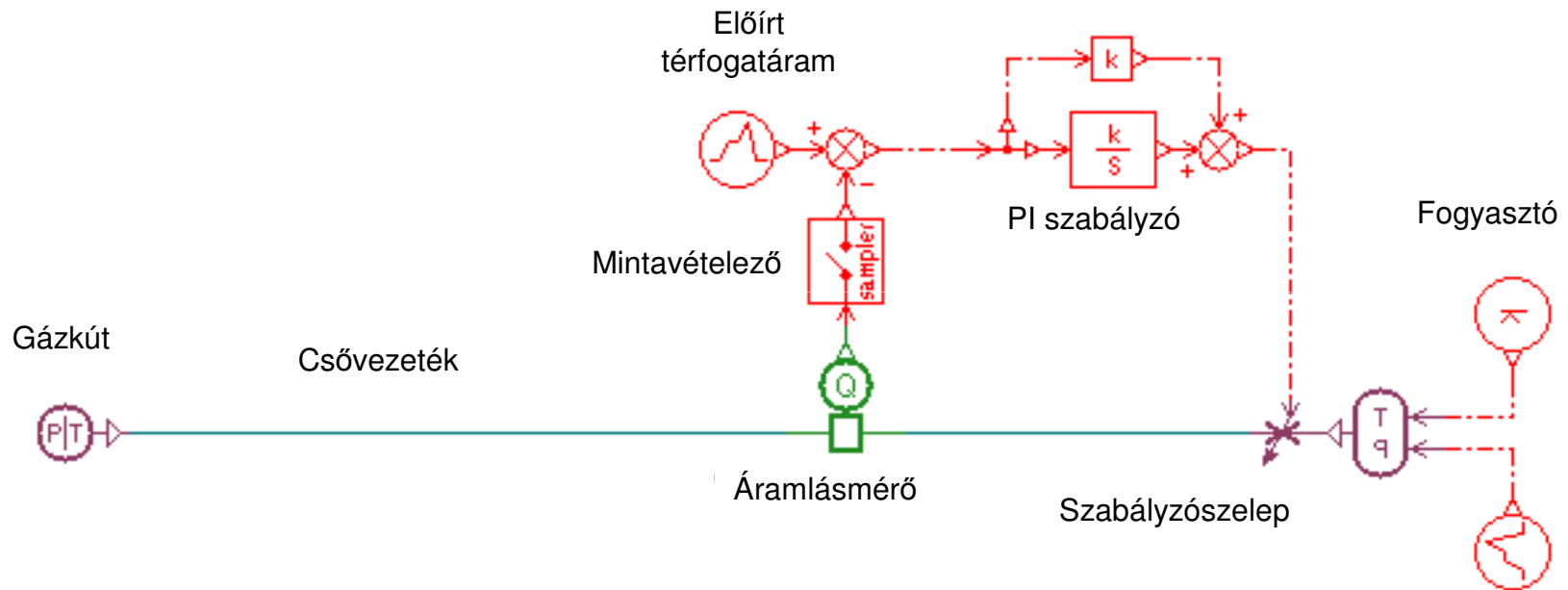
## •**KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:**

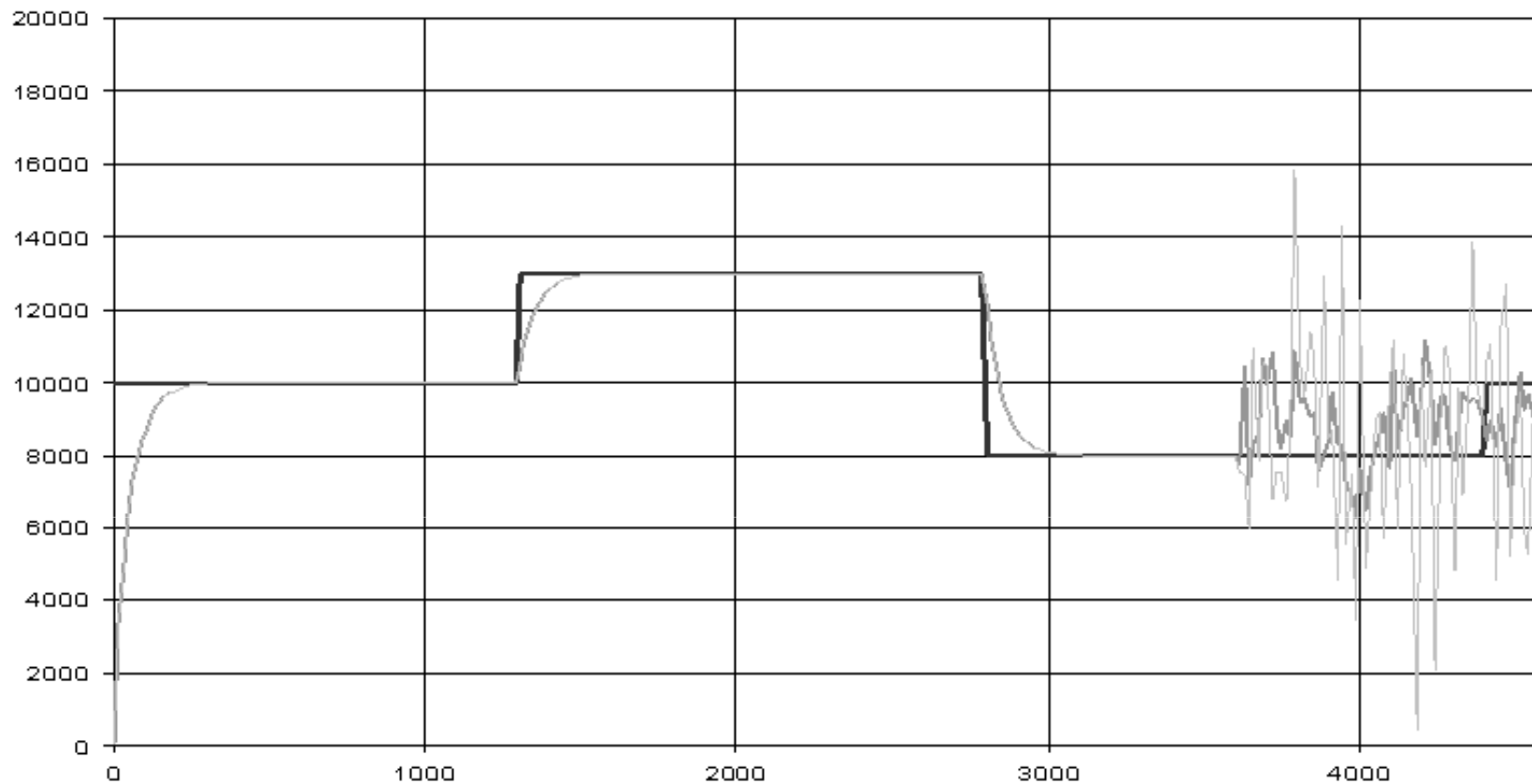
- A relatív mérési hiba nagyságrendje néhány (1 – 2) % vagy még több  
⇔ alkalmi kalibráció
- Nagy hőmérsékletű közeggel érintkezve (kb. 200 °C felett), a piezo-elektromos elemek rendszerint nem üzemelnek megfelelően
- A közeg akusztikai „átláthatósága” szükséges
- A mérési eredmények hőfokfüggése ⇔ “Sing around” koncepció
- Többfázisú áramlásban az akusztikai jel abszorbeálódhat ⇒ romló jel/zaj viszony ⇔ keresztkorrelációs technikák
- A szennyeződés mértéke határozza meg az alkalmazandó technikát. Erősen szennyezett közeg nem mérhető.
- Érzékeny a geometriai beállításokra (L és  $\theta$ )
- Az átlagsebességet nem a teljes keresztmetszetben, hanem lineáris pálya mentén határozza meg ⇒ fokozott mérési bizonytalanság, érzékenység a sebességprofilra, azaz nem hajthatóak végre megbízható mérések pl. közvetlenül könyökök vagy szelepek mögött
- Bevonat a szenzorokon ⇒ romló jel/zaj viszony
- A hiba fokozódik, ha a keresztmetszet nincs teljesen kitöltve közeggel. Szabad felszín esetén meg is hiúsulhat a mérés (akusztikai hullámok szóródása)



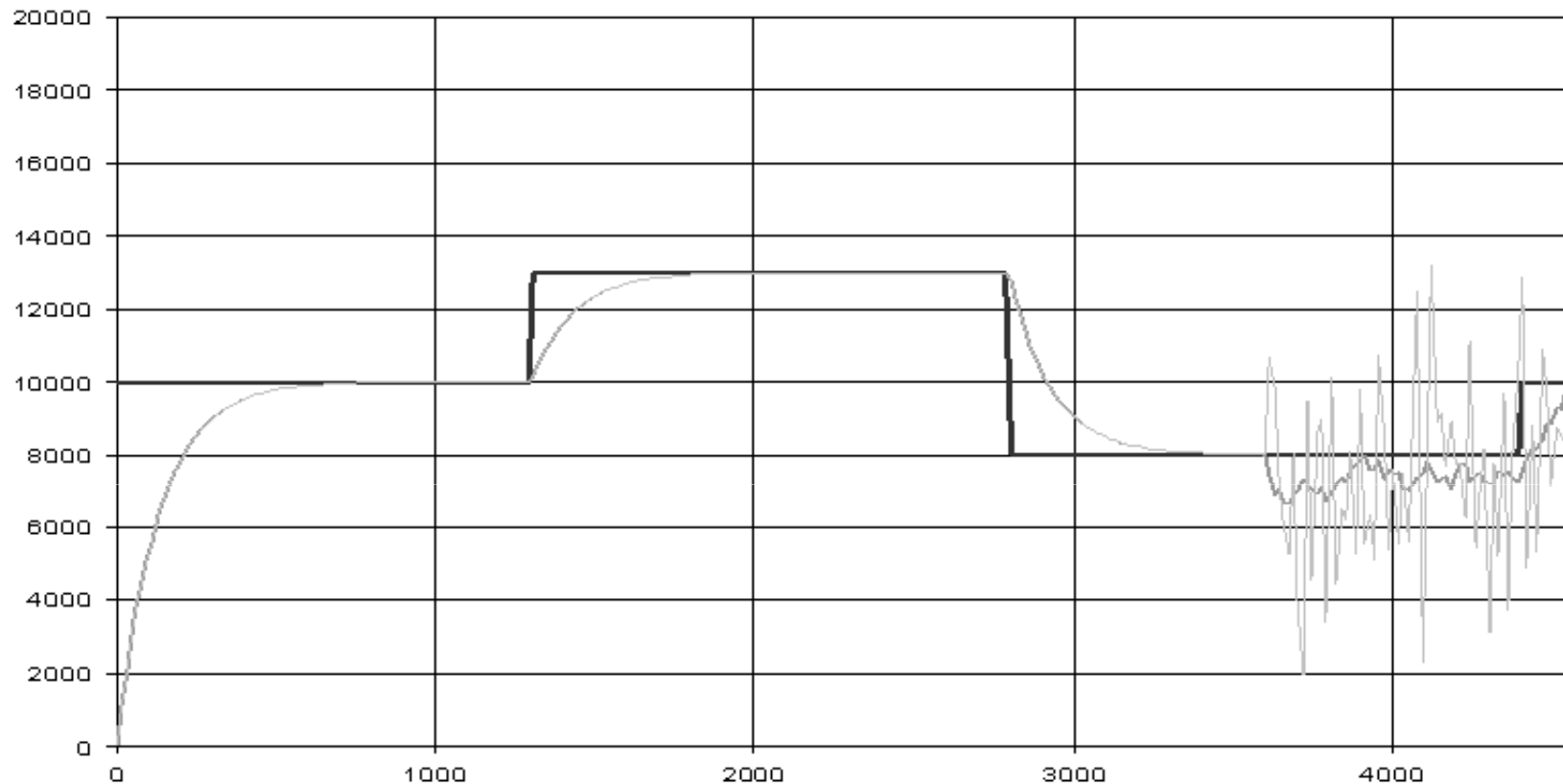
# ESETTANULMÁNY: gázkút modellezése

## AMESim modell:





**„Hidrát dugók” (fagyott ásványokat és vizet tartalmazó szilárd testek) haladnak végig a csővezetékben: mérési problémák**



**A PI szabályzó állításával nő ugyan a szabályzás reakcióideje, de érzéketlenebb lesz a mérési anomáliákra**

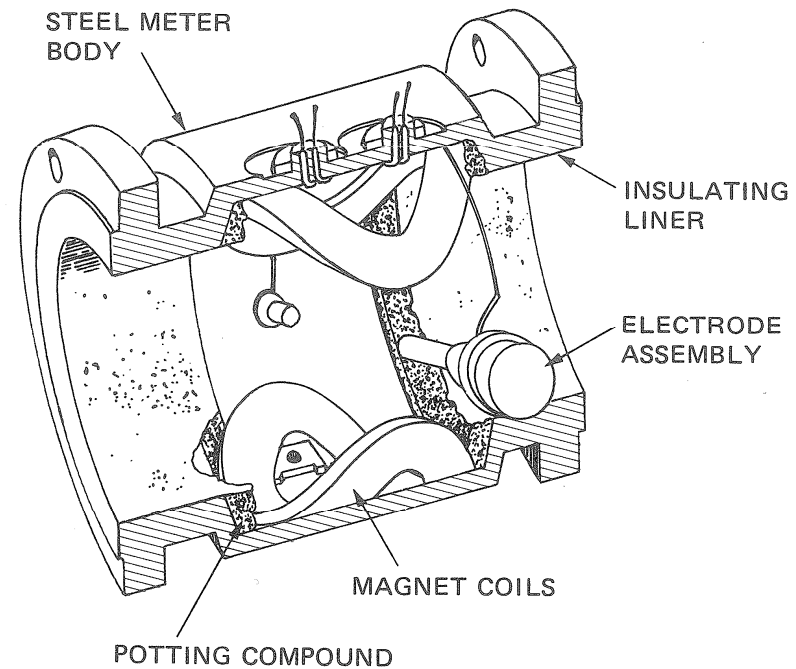
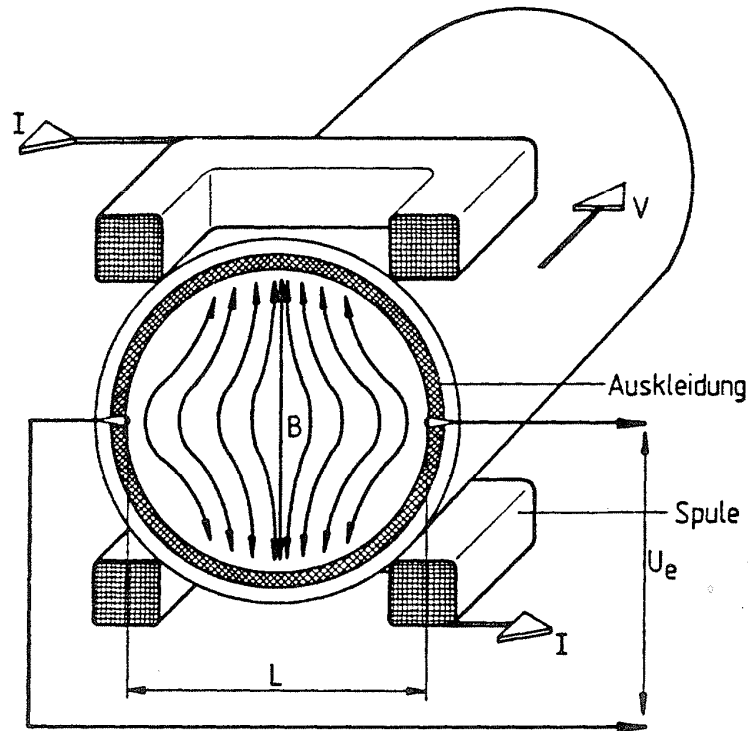
## 12.2. Magneto-induktív (magneto-hidrodinamikus, MHD) áramlásmérők

### 12.2.1. Alkalmazási példák

### 12.2.2. Mérési elv és kivitel

$$u = B L v \qquad q_v = \frac{u D \pi}{4 B}$$

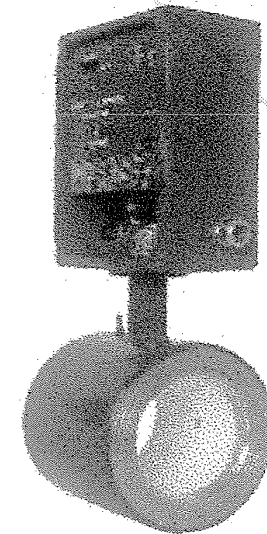
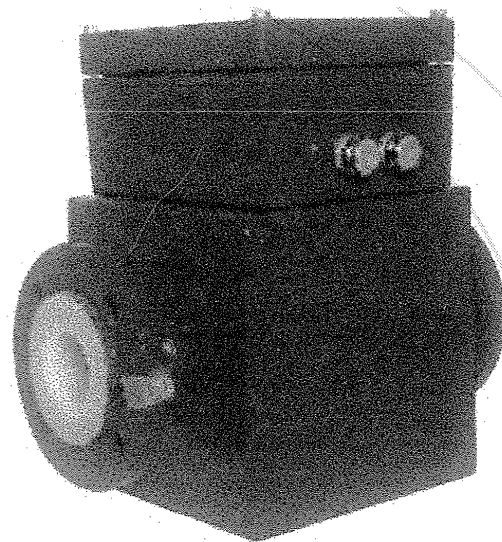
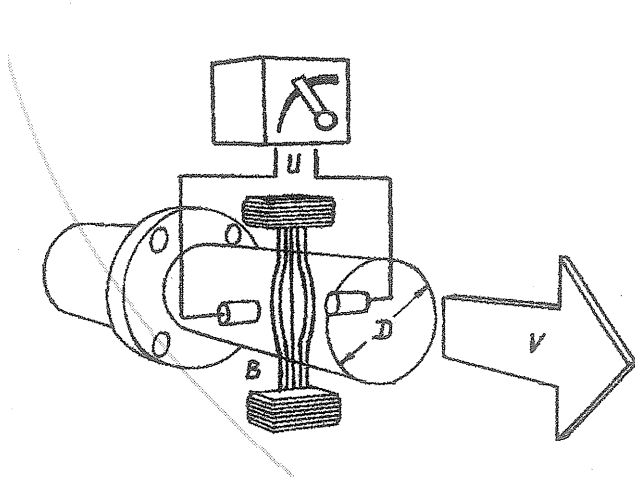
**Faraday effektus**

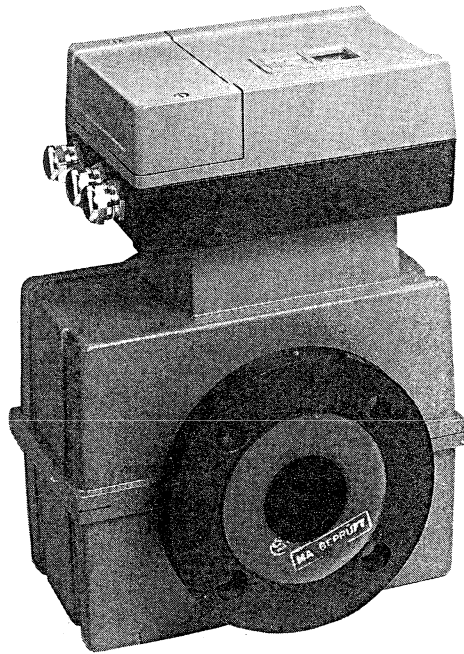


- 2 fő egység: mérőátalakító, villamos jelfeldolgozó
- Vákuumra általában érzékeny; de mechanikai és vegyi igénybevételeknek ellenáll
- Karimás (16 bar) és szendvics (2 karima közé ászokcsavarral) kivitelek
- Vízálló kivitel lehetséges

*gamma*  
analcon

[www.gammaanalcon.hu](http://www.gammaanalcon.hu)





**Integral Flowmeter**



**Remote Flowtube**

## **ELŐNYÖK:**

- Adott vezetőképességi limit felett a mérési elv NEM függ a közeg vezetőképességétől
- Instacionárius áramlások mérése is
- A mérési elv független a közegnyomástól, sűrűségtől, hőmérséklettől, kinematikai viszkozitástól
- Minimális függés a sebességprofiltól  $\Rightarrow$  erősen zavart áramlások mérése
- Mérsékelt helyigény, tetszőleges mérőszakasz-helymegválasztás. 3 – 5 D zavartalan egyenes szakasz előtte és utána a mérési bizonytalanság korlátozására ( $\Leftrightarrow$  átfolyó mérőperem)
- Nincs nyomásveszteség, érintésmentes
- Nagy, szavatolt pontosság (relatív hiba 0.2 - 1 %)
- Nagyfokú linearitás, dinamikus hatások esetén is
- Stabil belső paraméterek, nem kell kalibrálni
- Könnyen tisztítható
- Alacsony karbantartási költség

## •**KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:**

- Elektromos vezetőképesség szükséges  $\Rightarrow$  csak cseppfolyós közegek, kivéve petrokémiai termékeket (olaj, gázolaj, stb.)
- Vezetőképes bevonat (szennyeződés) a csőfalon  $\Rightarrow$  csökkent feszültség  $\Rightarrow$  romló jel/zaj viszony. Szennyeződés eltávolítása: fokozott térfogatárammal átmosás, vagy beépített elektrolitikus tisztítórendszer
- Szigetelő bevonat az elektródákon  $\Rightarrow$  romló jel/zaj viszony. Az elektródák „öntisztítók” (besímulnak a falba). Tisztítás: fokozott térfogatárammal, vagy cserélhetőség.
- Levegő vagy egyéb gázok jelenléte X % térfogathányadban  $\Rightarrow$  a mérési hiba kb X % növekedése.
- Ha a keresztmetszet nincs kitöltve, kitöltetlensége X % felülethányad  $\Rightarrow$  a mérési hiba kb X % növekedése.
- Az elektródák élettartamát a közeg nyomása és hőmérséklete határozza meg.
- Zérus térfogatáram közelében fokozott hiba

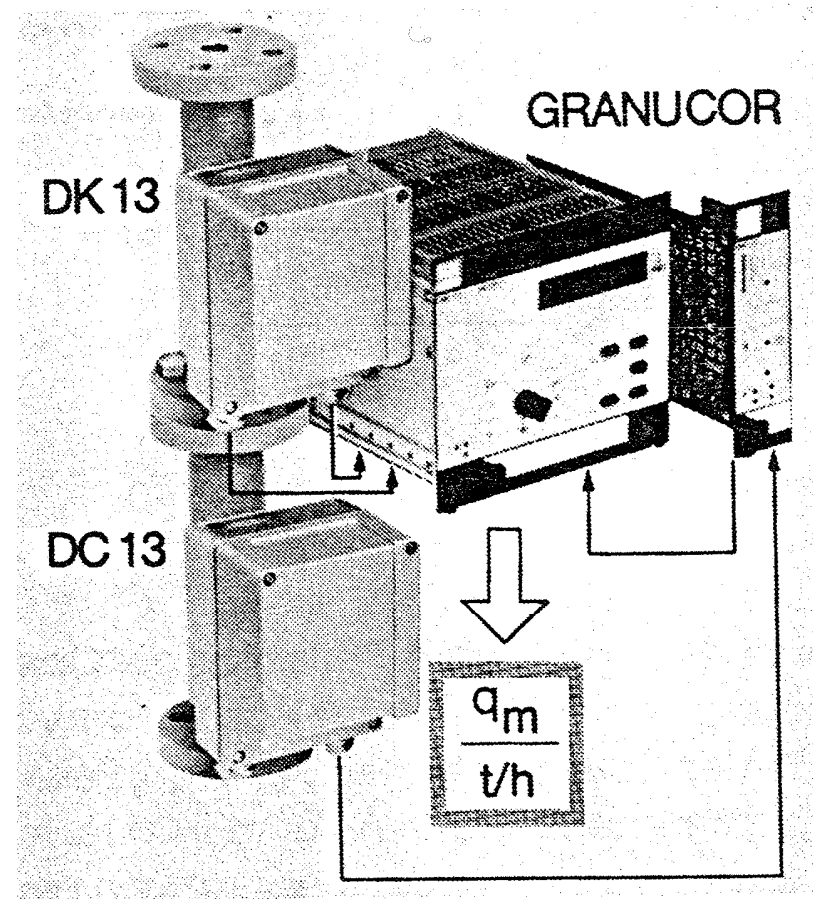
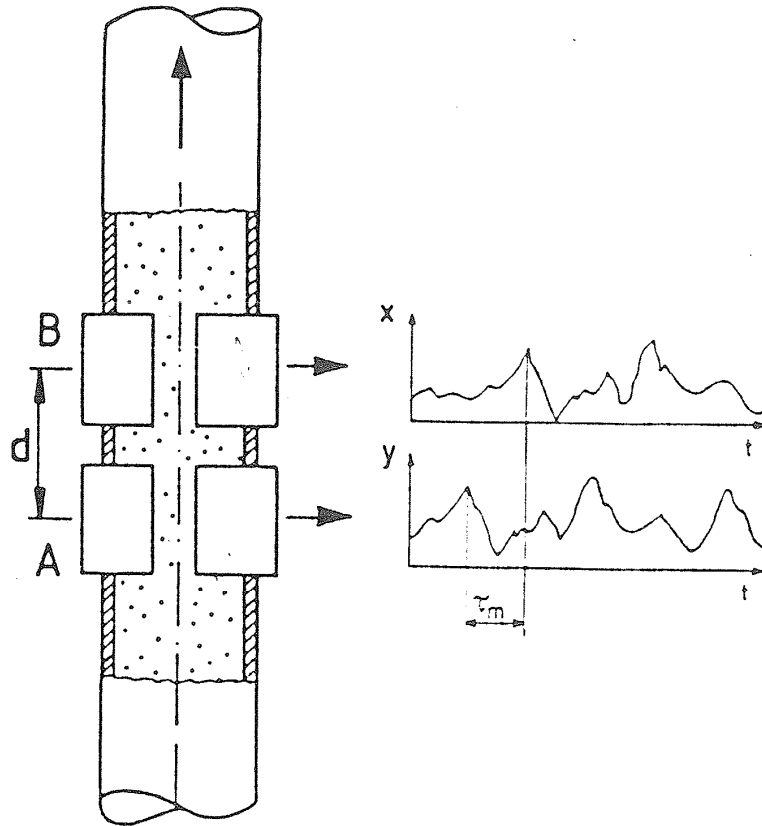


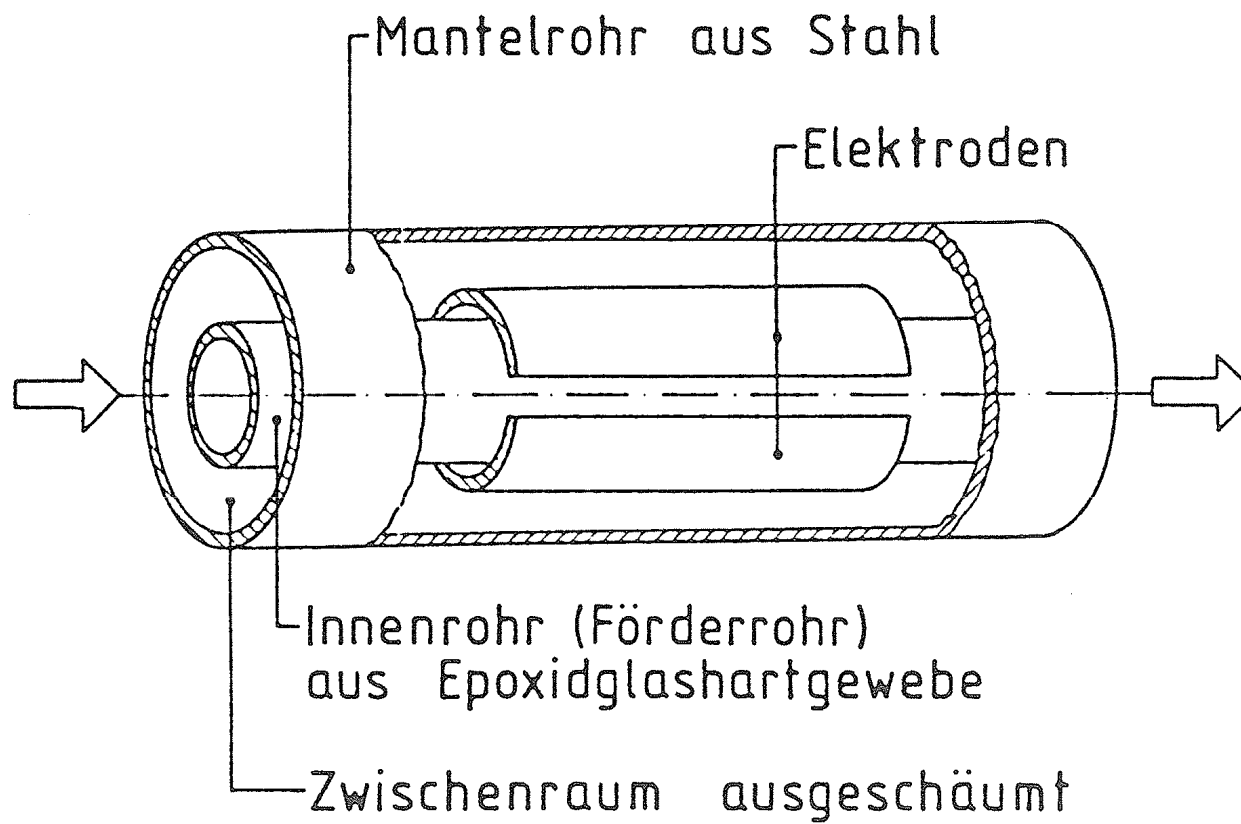
# 12.3. Kapacitív keresztkorrelációs technika

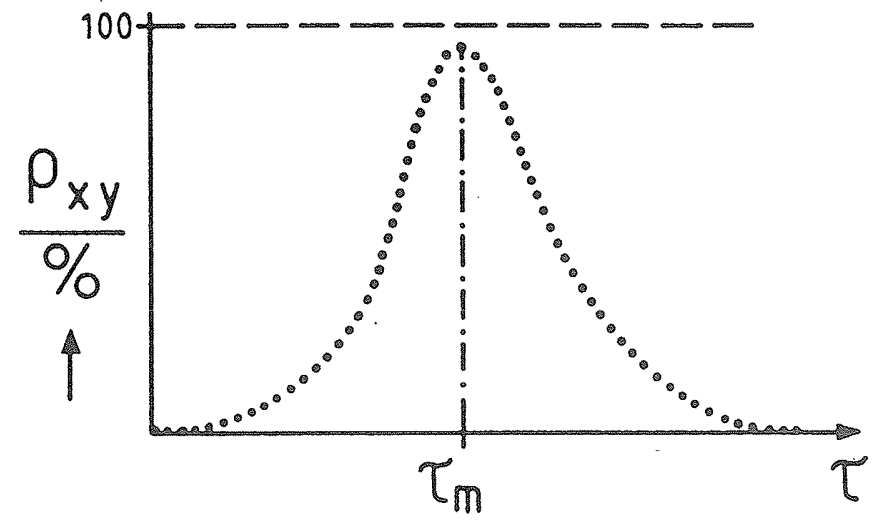
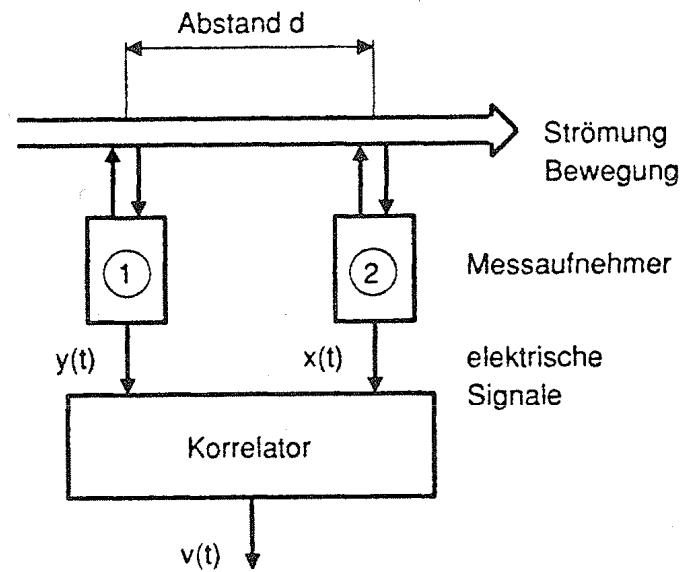
## 12.3.1. Alkalmazási példák

## 12.3.2. Elv és kivitel

$$v = \frac{d}{\tau_m}$$







## **ELŐNYÖK:**

- Statisztikai módszer, a mérési hibák mérséklése
- Kétfázisú közegek
- Nincs hőfokfüggés
- Érintésmentes

## **KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:**

- Fokozott helyigény. Minimális távolság az elektródák között: szenzorméret, részecskeméret, mintavételezési frekvencia, megkövetelt pontosság.
- Mérsékelt üzemi tapasztalatok
- Magas beruházási költségek
- Zérus térfogatáram közelében nem alkalmas

## 12.4. Örvényhagyó (Vortex) áramlásmérők

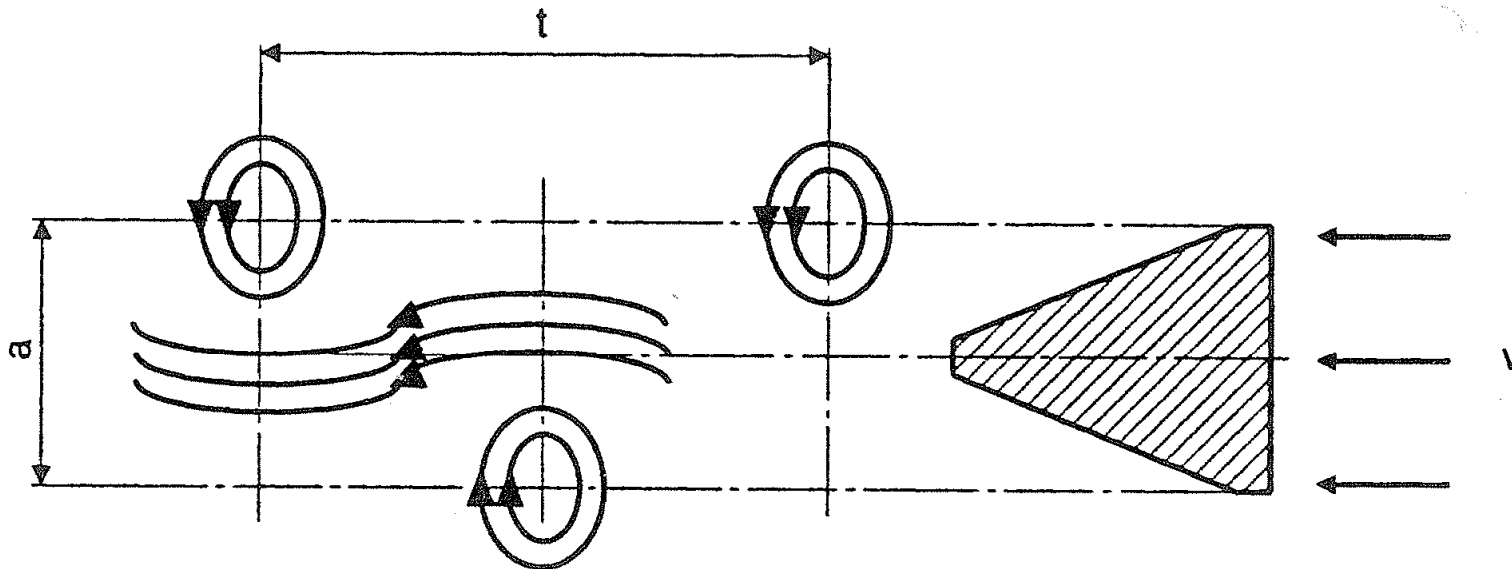
### 12.4.1. Alkalmazási példák

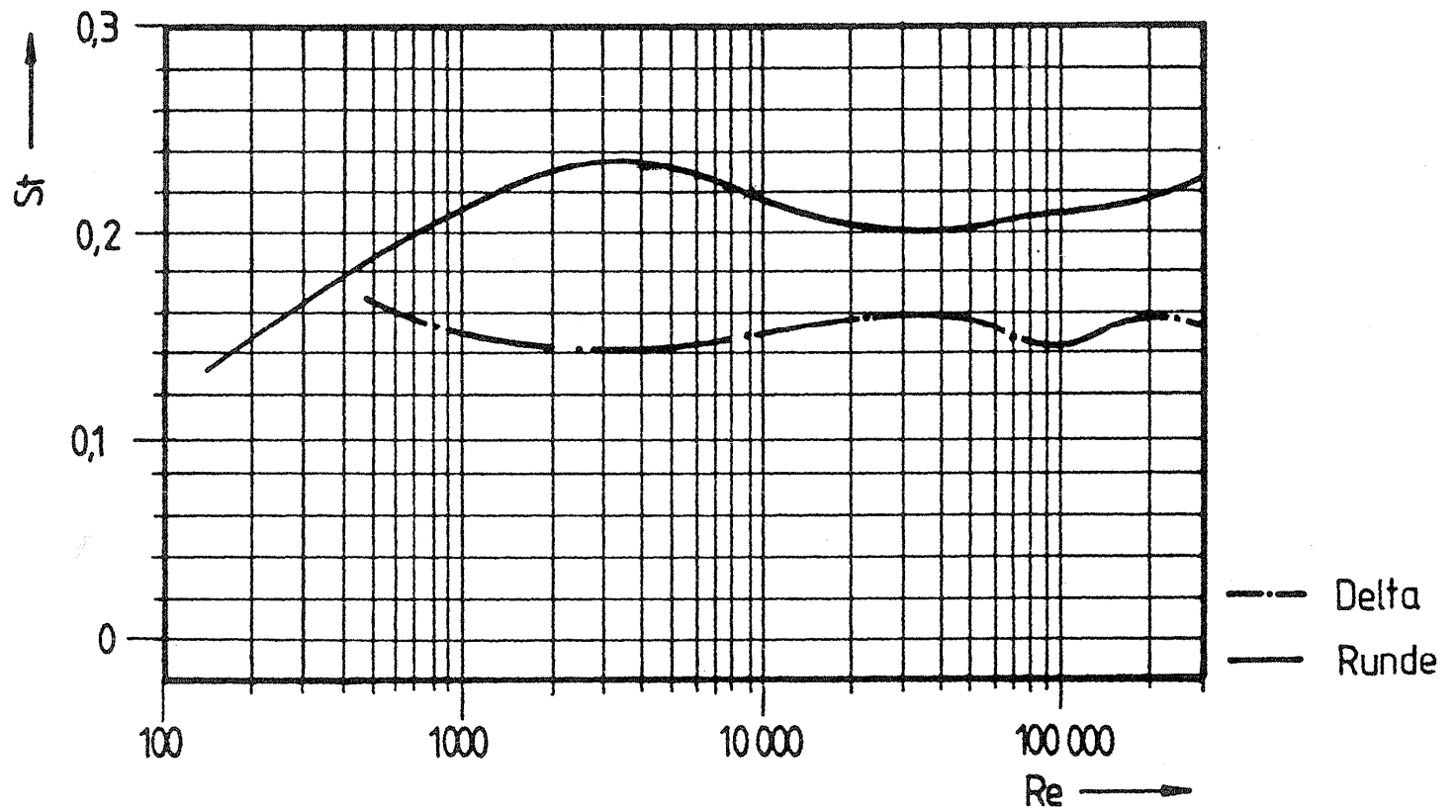
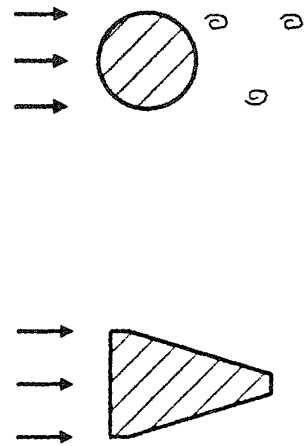
### 12.4.2. Mérési elv

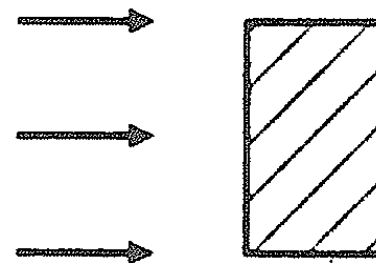
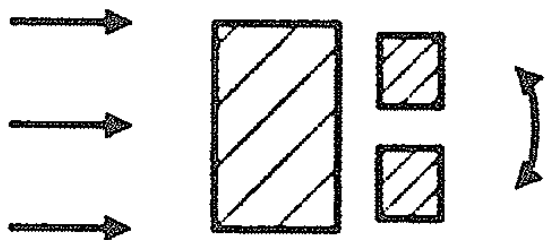
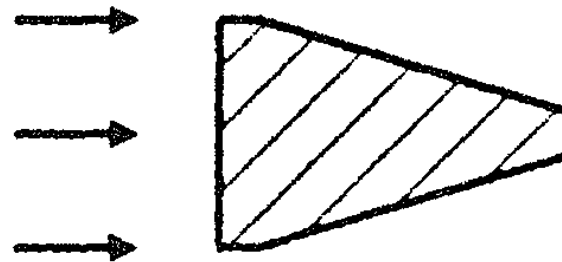
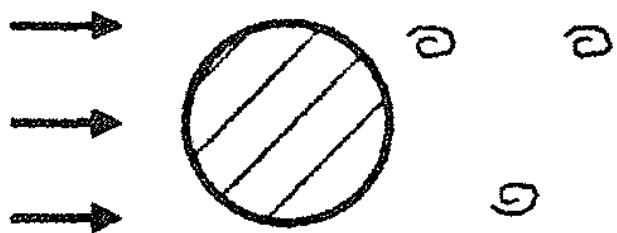
$$Str = \frac{f \cdot d}{v}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

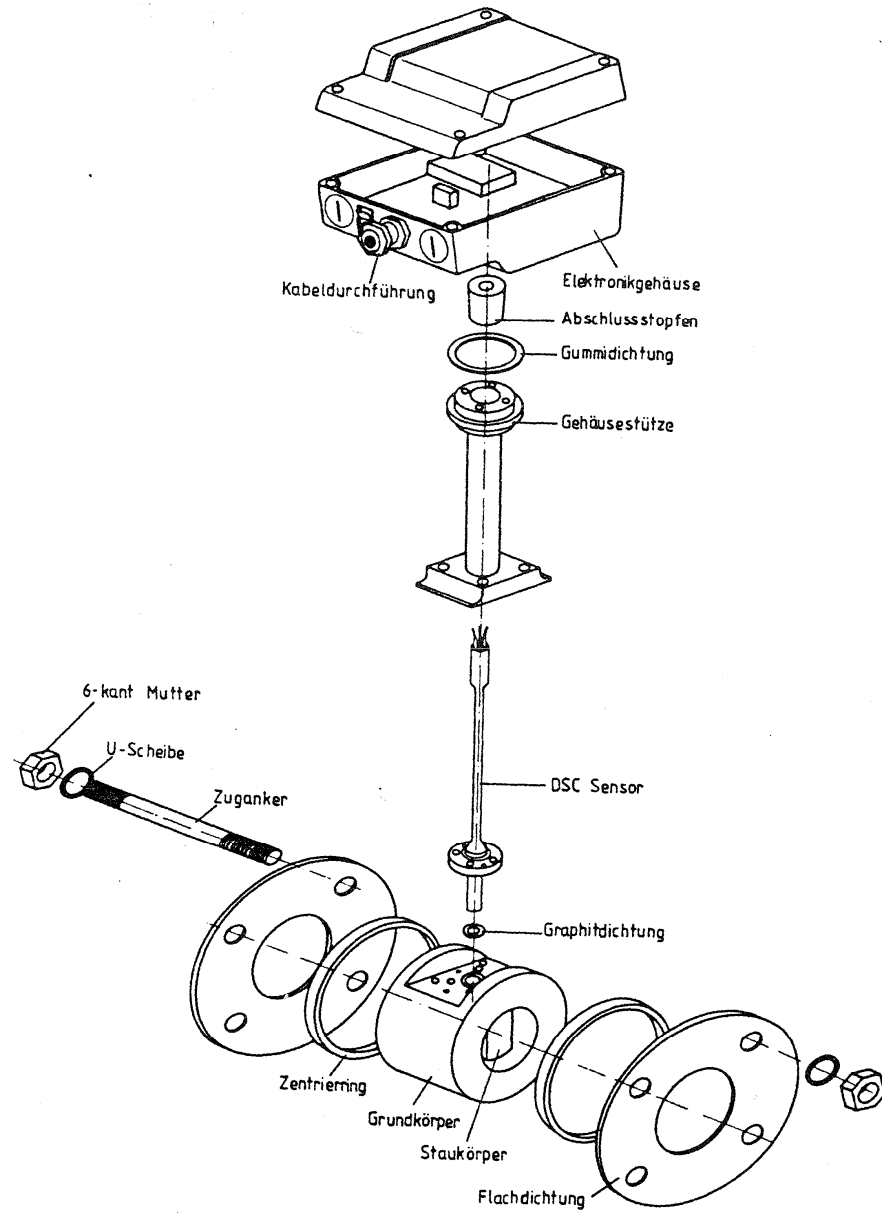
$$v = \frac{d}{Str} \cdot f$$



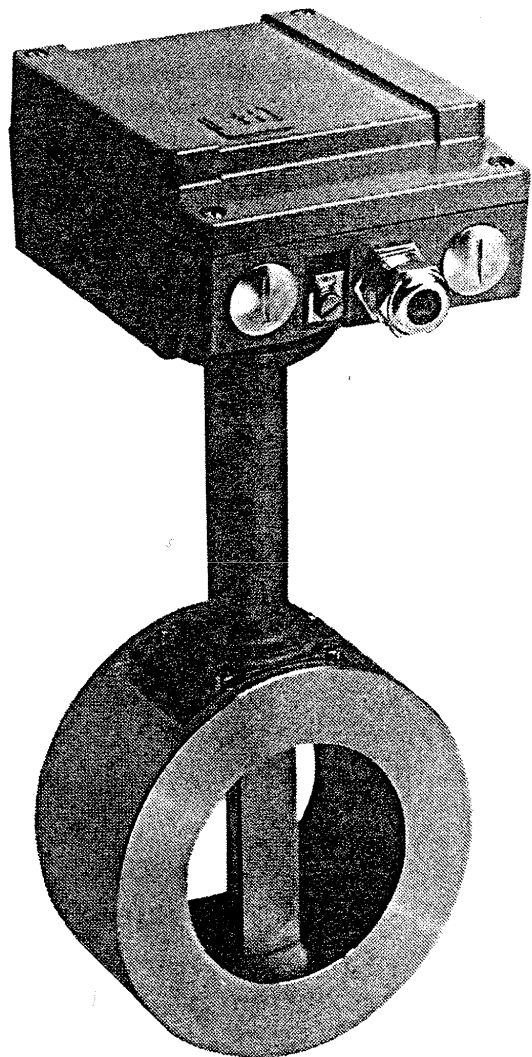





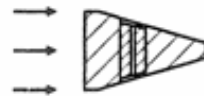


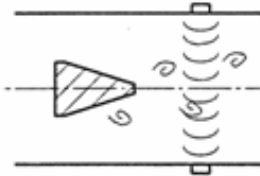




*Dr. Vad János: Korszerű áramlásmérés*



*Dr. Vad János: Korszerű áramlásmérés*

Principle	Figure	Comments	Applications	Limits
Thermistors		The thermistors are heated with constant current. The alteration in temperature due to vortex shedding, and as a result, in the thermistor resistance, is detected by means of a Wheatstone bridge comprising the thermistors.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clean gases</li> <li>- Clean liquids</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensitivity to contamination</li> <li>- No resistance to temperature shocks</li> </ul>
Pressure sensors		Flexible membranes comprised in capacitance elements $\Rightarrow$ pressure fluctuation $\Rightarrow$ membrane deformation $\Rightarrow$ modulated capacitance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liquids</li> <li>- Gases</li> <li>- Low pressure steam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Below 150 °C</li> <li>- Time-dependent characteristics of membranes</li> <li>- High pressure fluctuation necessary</li> </ul>
Mechanical sensors		The pressure fluctuation results in the periodic displacement of the sphere or disk in the o. m. of 0.1 mm $\Rightarrow$ actuating a microswitch	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Warm water</li> <li>- Steam</li> <li>- Low temperature liquids</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensitive to contamination</li> <li>- The condensed water may block the microswitch</li> <li>- Temperature shock may result in blockage or rupture due to thermal dilatation</li> </ul>
Strain gauges		Elastic mounting of the strut $\Rightarrow$ deformation due to cross-stream oscillation $\Rightarrow$ 10 $\mu$ m o.m deformation measured	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gases</li> <li>- Liquids</li> </ul>	Up to cca. 100...°C
Ultrasound sensors		Ultrasound modulated by the vortex street	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gases</li> <li>- Liquids</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensitive to external acoustic and vibration effects</li> </ul>

## **ELŐNYÖK:**

- A sűrűségnek és kinematikai viszkozitásnak közvetlen hatása nincs
- Széles skálájú linearitás, függetlenül a sűrűségtől, kinematikai viszkozitástól, és nyomástól
- Mérsékelt beruházási költségek
- Gyors dinamikus válasz
- Mérsékelt hiba (1 % alatt)
- Paraméterek időbeli stabilitása
- Kis nyomásesés
- A mérési elv független a hőmérséklettől. A hőméréskletet a szenzorok limitálják. Szokásos tartomány: -200 - 400 °C.

## **KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:**

- Reynolds-szám korlát a hiba mérséklésére: kb. 20 000 -  $2 \cdot 10^6$
- Ha nincs örvényleválás, nincs mérés
- Egyfázisú áramlás szükséges. Többfázisú közeg: gondok a szennyeződéssel, örvényképződéssel, az örvénykeltő elem kopásával
- Nincs mérés, ha a keresztmetszet nincs teljesen kitöltve közeggel
- Fokozott hiba, ha a mérőszakasz előtt és után nincs szavatolva kellő hosszúságú zavartalan egyenes csőszakasz
- Függés a sebességprofilról  $\Rightarrow$  belépő oldali egyenirányítók alkalmazása a profil egyenletesítésére
- Az örvénykeltő elem kavitációs eróziójának veszélye  $\Rightarrow$  kellő belépő oldali nyomás szükséges
- Nem alkalmazható nagy viszkozitású közegben (nincs örvényleválás)
- Nem alkalmazható pulzáló áramlásra
- Kb. 10 mm csőátmérő-limit