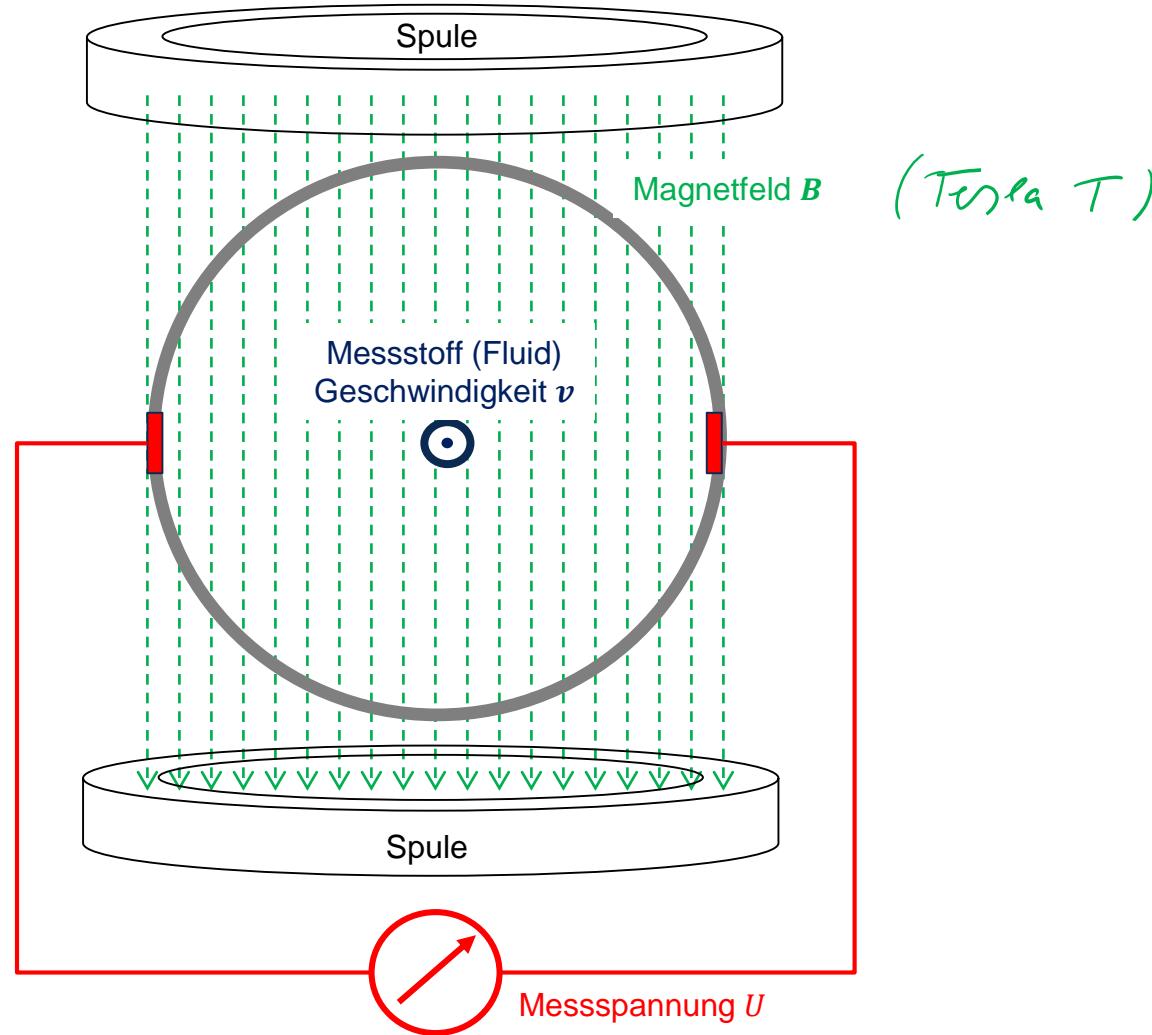


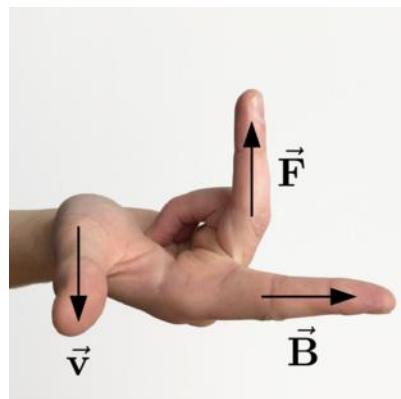
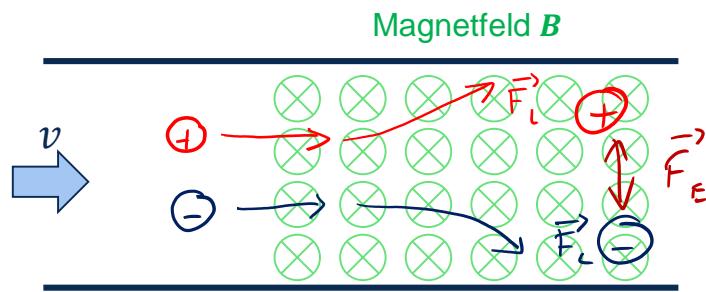
# Magnetisch-induktiver Durchflussmesser



# Grundprinzip



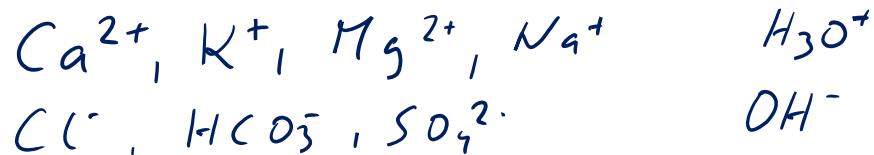
# Grundprinzip



**Voraussetzung:** der Messstoff enthält eine Mindestmenge an Ladungsträgern (Ionen).

**Beachte:** Der Messeffekt hängt aber prinzipiell nicht von der Leitfähigkeit des Mediums ab!

Mineralwasser:



Lorentzkraft:  $\vec{F}_L = q \cdot [\vec{v} \times \vec{B}]$

Coulombkraft:  $\vec{F}_E = q \vec{E}$

$$\vec{F}_L = \vec{F}_E$$

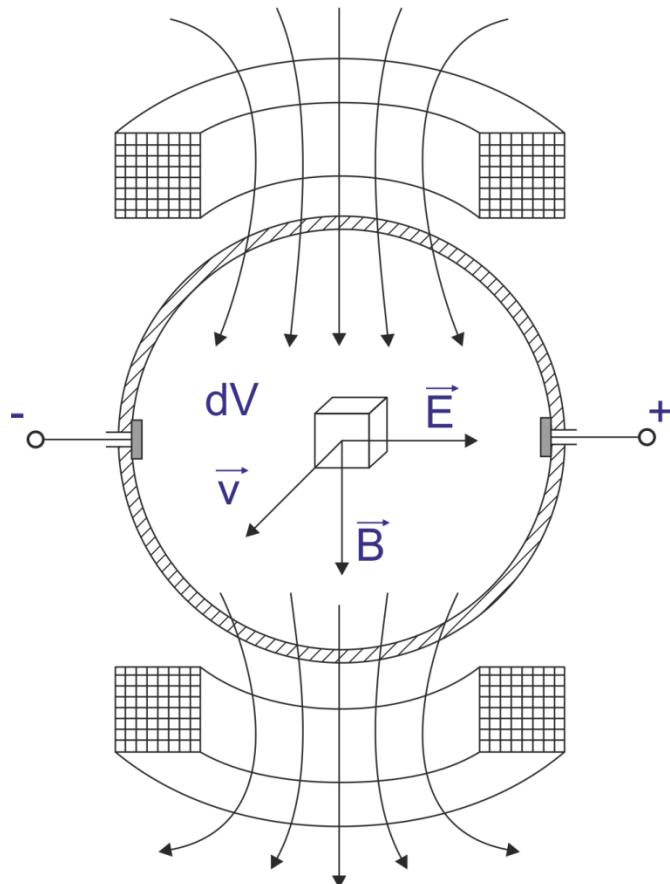
$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = \operatorname{div} (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\operatorname{div} D \Phi = \alpha \cdot v (\vec{v} \times \vec{B})$$



# Grundprinzip



Coloumbkraft auf strömende Ladung:  $F_E = q \cdot E$   
 Lorentzkraft auf strömende Ladung:  $F_L = q \cdot [\vec{v} \times \vec{B}]$   
 Kräftegleichgewicht:  $E = v \times B$   
 Die Messspannung in Abhängigkeit von Magnetfeldstärke und Fließgeschwindigkeit erhält man durch Lösung der Potenzialgleichung:

$$\operatorname{div} \nabla \varphi = \operatorname{div} [\vec{v} \times \vec{B}]$$

Idealer Sensor mit zwei diametralen Messelektroden:

$$U_M = D \cdot B_y \cdot \bar{v}$$

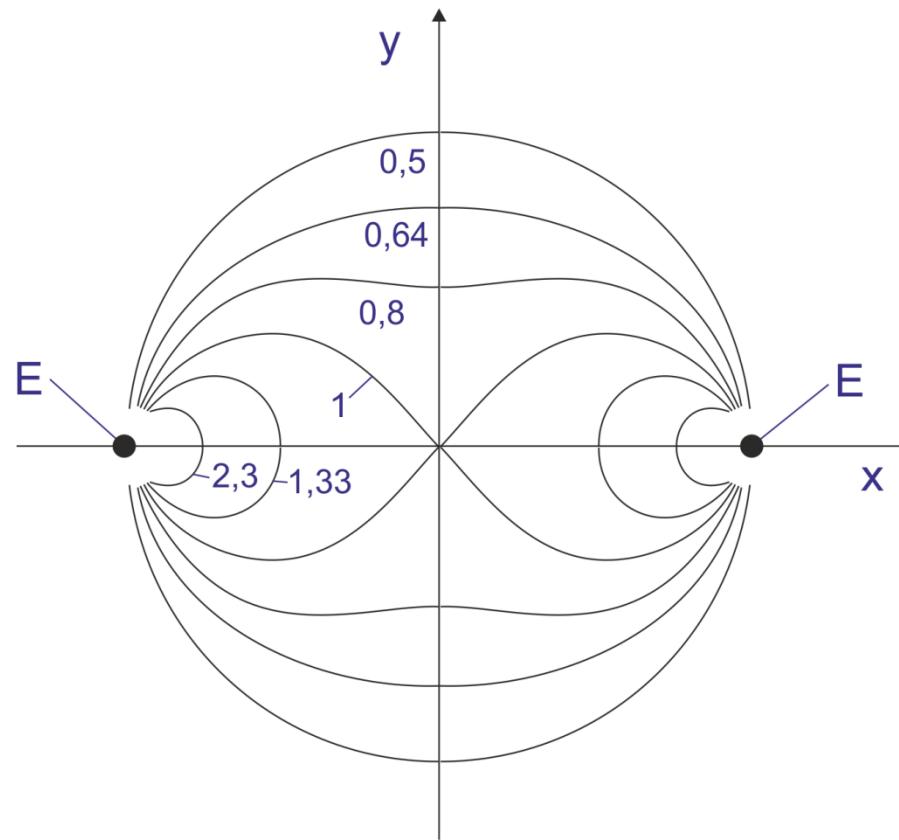
Realer Sensor mit leicht inhomogenem Magnetfeld:

$$U_M = k \cdot D \cdot B_y \cdot \bar{v}$$

- $U_M$  - Messspannung (V)
- $D$  - Rohrdurchmesser (m)
- $B_y$  - Magnetfeldstärke in y-Richtung (T)
- $\bar{v}$  - Mittlere Fließgeschwindigkeit
- $k$  - Konstante ( $k < 1$ )



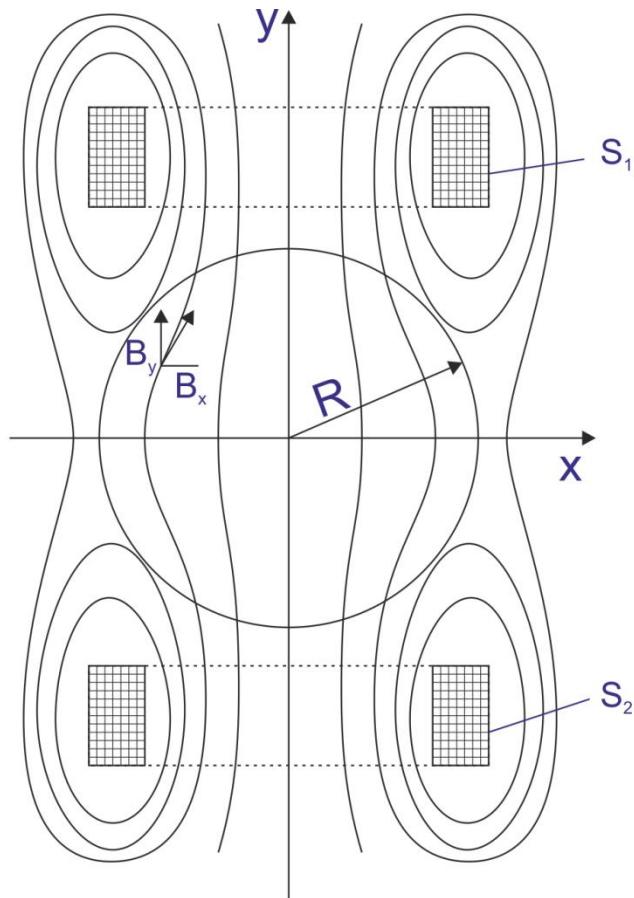
## Wertigkeitsfunktion für die Messsignalbildung



Die durch Konturen dargestellten skalaren Werte entsprechen den Beiträgen lokaler Volumenelemente zur Messwertbildung (Differenzpotenzial an den Elektroden E)



## Magnetfelderzeugung mittels Doppelspule



- Das Magnetfeld wird durch ein oberhalb und unterhalb des Rohres angeordnetes Spulenpaar erzeugt
- Im Spulenzwischenraum sind die Linien der Magnetfeldstärke nicht exakt parallel; die daraus resultierenden Abweichungen des Messwertes werde durch den gerätespezifischen Formfaktor  $k$  berücksichtigt.



# Typische Messspannung: Ein Rechenbeispiel

$$U_M = D \cdot B_y \cdot \bar{v}$$

V      m      m/s  
T

$$D = 10^{-1} \text{ m}$$

$$B_y = 10^{-2} \text{ T}$$

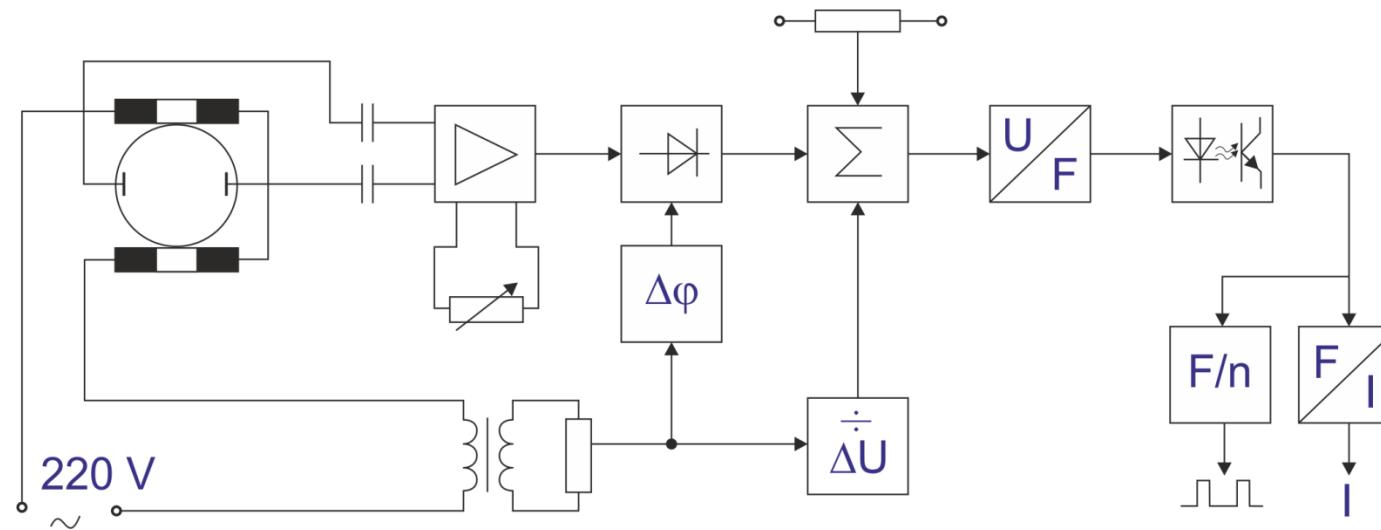
$$\bar{v}_{\max} = 1 \text{ m/s}$$

$$\Delta v = 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 U_n = 10^{-1} \cdot 10^{-2} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 0,01 \end{array} \right\} \\
 = \left\{ \begin{array}{l} 1 \mu V \\ 10 \mu V \end{array} \right\}
 \end{array} \right\}$$



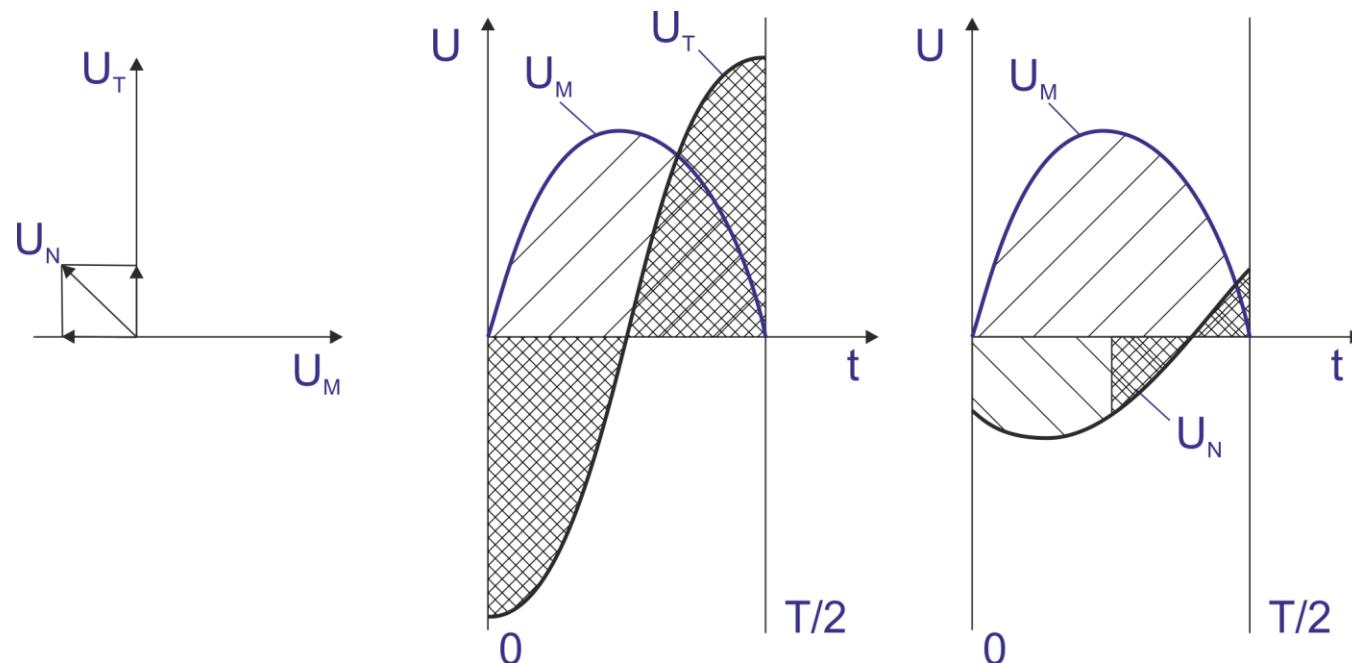
# Durchflussmessung mit 50Hz-Wechselfeld



- Magnetische Anregung durch harmonisches 50Hz-Wechselfeld
- Eingangsdifferenzverstärker mit kapazitiv entkoppelten Zuleitungen sorgt für hohe Gleichtaktunterdrückung
- Phasensynchrone Gleichrichtung der Messspannung zur Effektivwertbildung
- Phasenschieber ( $\Delta\varphi$ ) dient zur Kompensation schaltungsbedingtem Phasennachlaufs



# Störspannungsunterdrückung mittels phasenselektiver Gleichrichtung im 50Hz-Betrieb



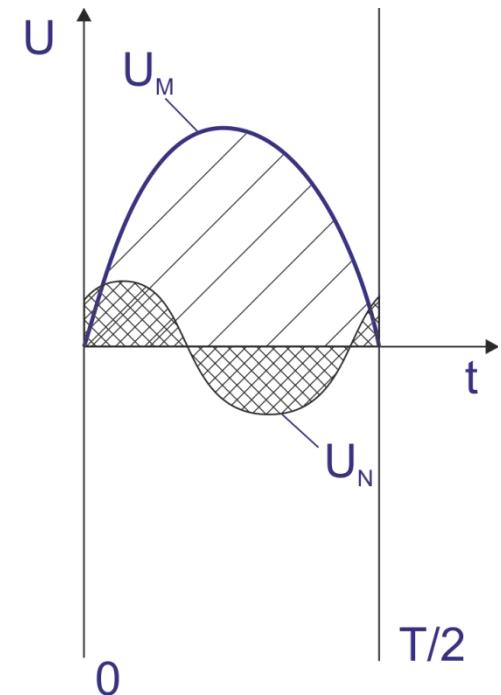
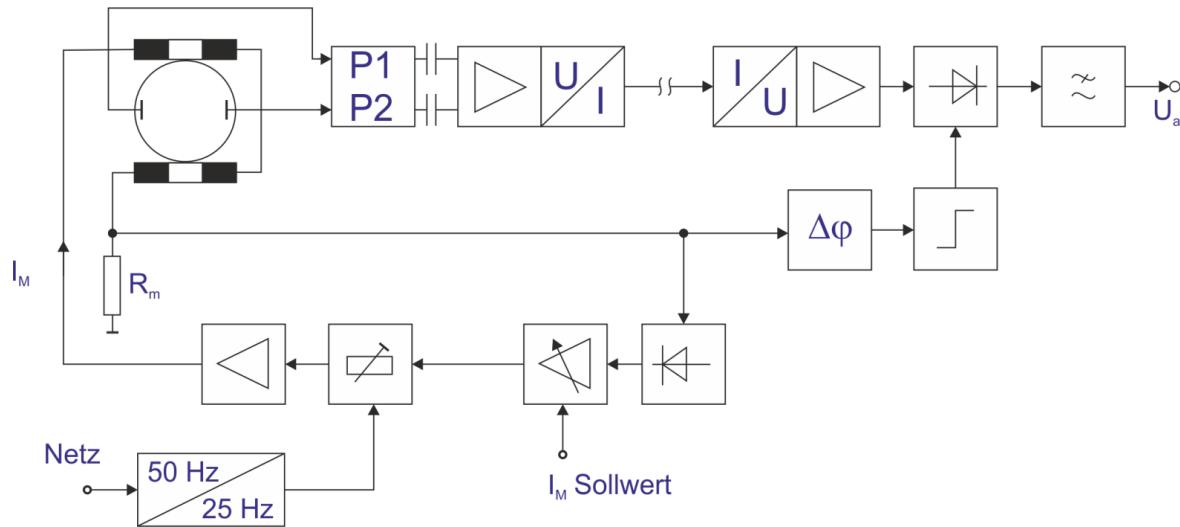
$U_M$  - Messspannung

$U_T$  - Transformatorische Störspannung (induktive Einkopplung aus Spulenkreis,  $90^\circ$  phasenverschoben)

$U_N$  - Netzstörspannung (kapazitive und galvanische Einkopplung von „Netzbrummen“)



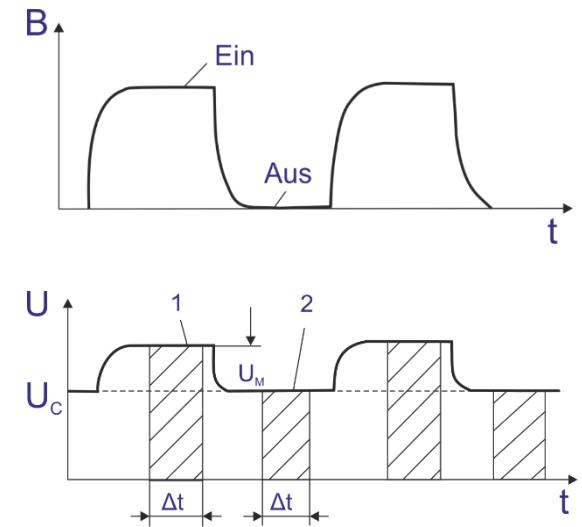
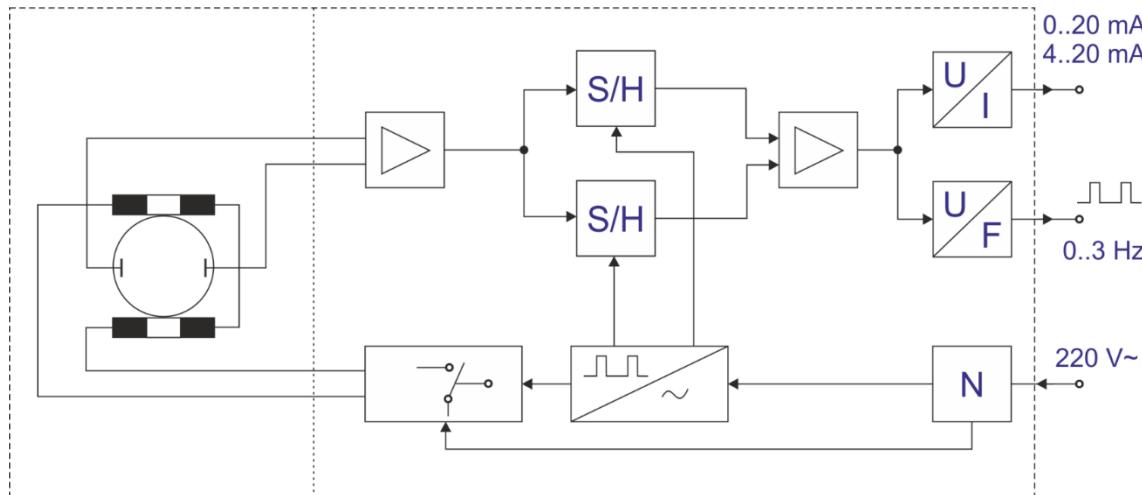
# Durchflussmessung mit 25Hz-Wechselfeld



- Effektive Eliminierung der Netzstörspannung durch Signalintegration über 20 ms Zeitfenster



# Durchflussmessung mit pulsierendem Gleichfeld An/Aus-Betrieb



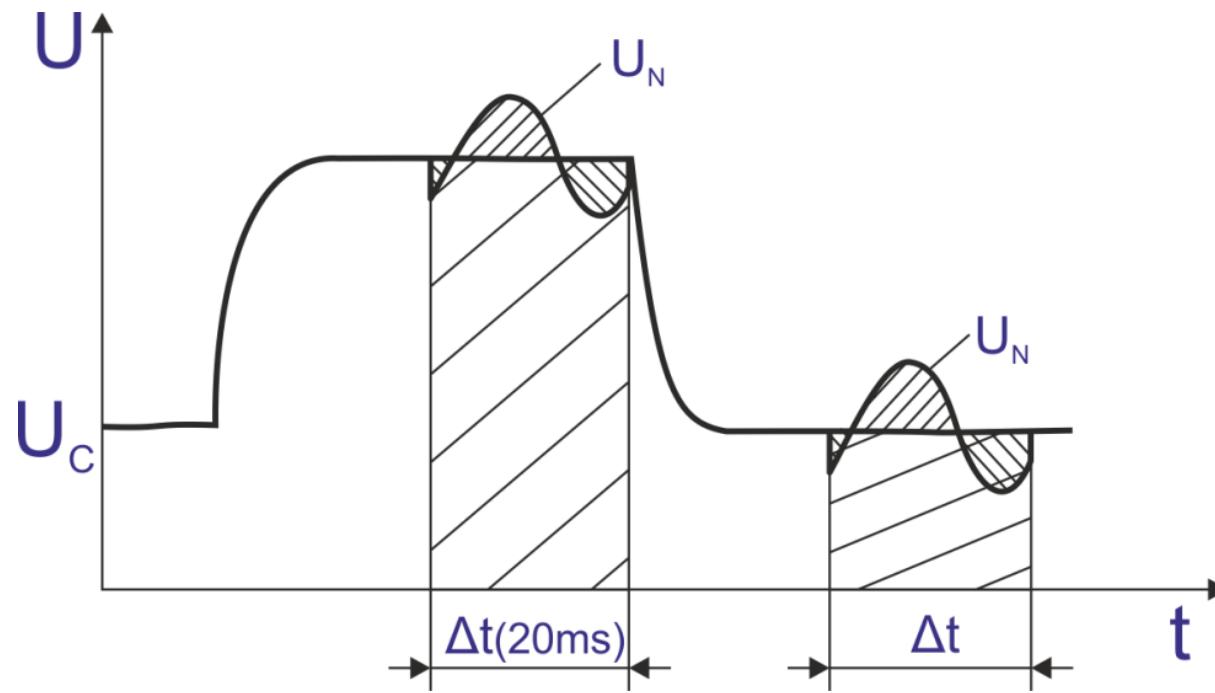
- Phasensynchrones sequentielles An- und Ausschalten des Magnetfeldes mit 25 Hz



# Durchflussmessung mit pulsierendem Gleichfeld An/Aus-Betrieb

## Variante 1 zur Netzstörspannungsunterdrückung

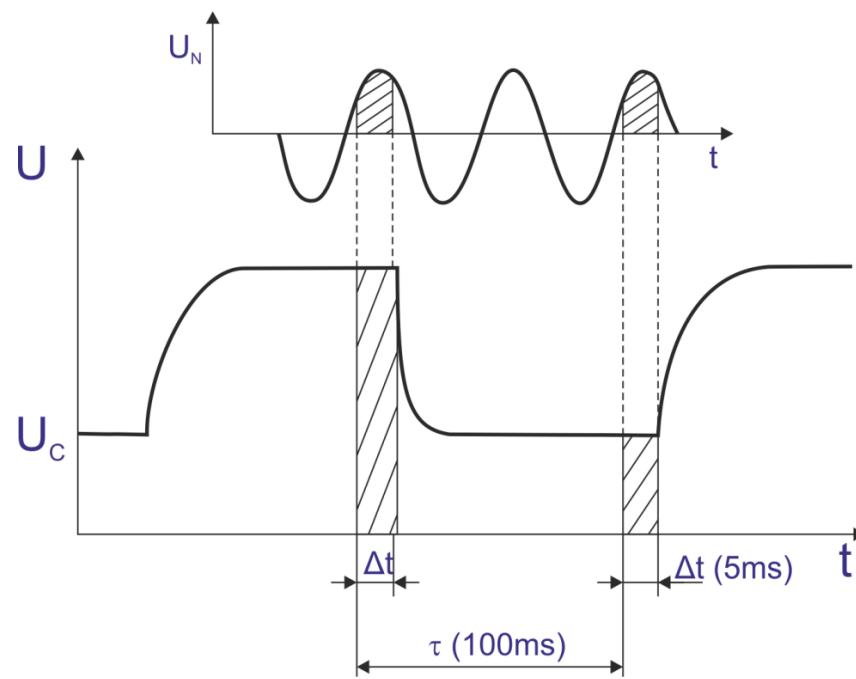
Integration der Messspannung über genau eine Netzspannungsperiode



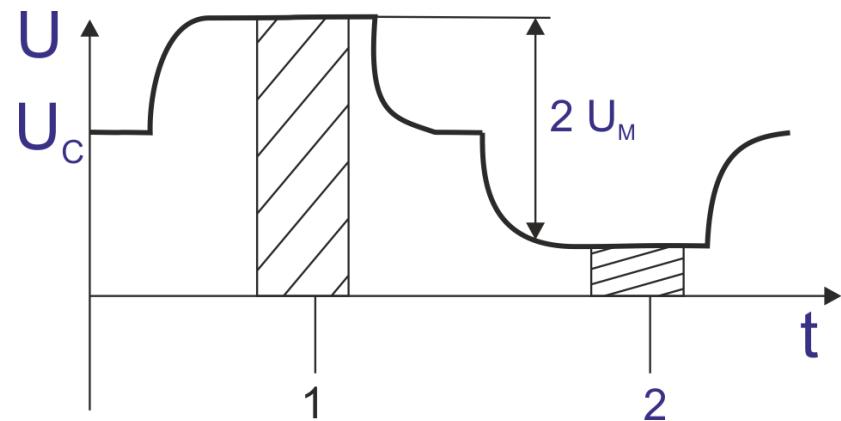
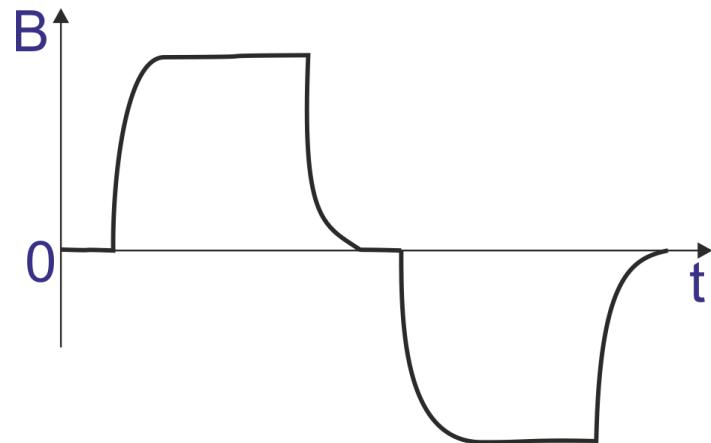
# Durchflussmessung mit pulsierendem Gleichfeld An/Aus-Betrieb

## Variante 2 zur Netzstörspannungsunterdrückung

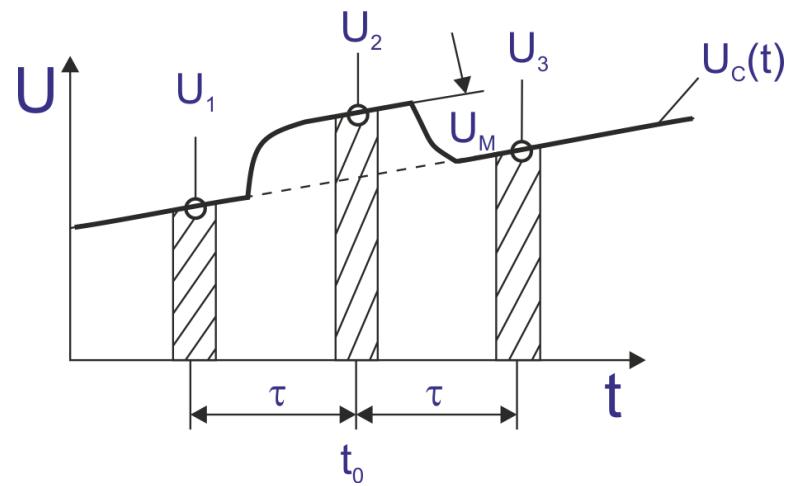
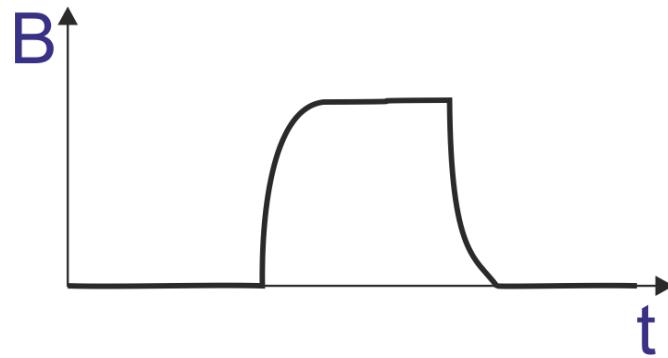
Phasensynchrone Differenzbildung im An- und Aus-Zustand



# Durchflussmessung mit pulsierendem Gleichfeld Umschaltbetrieb



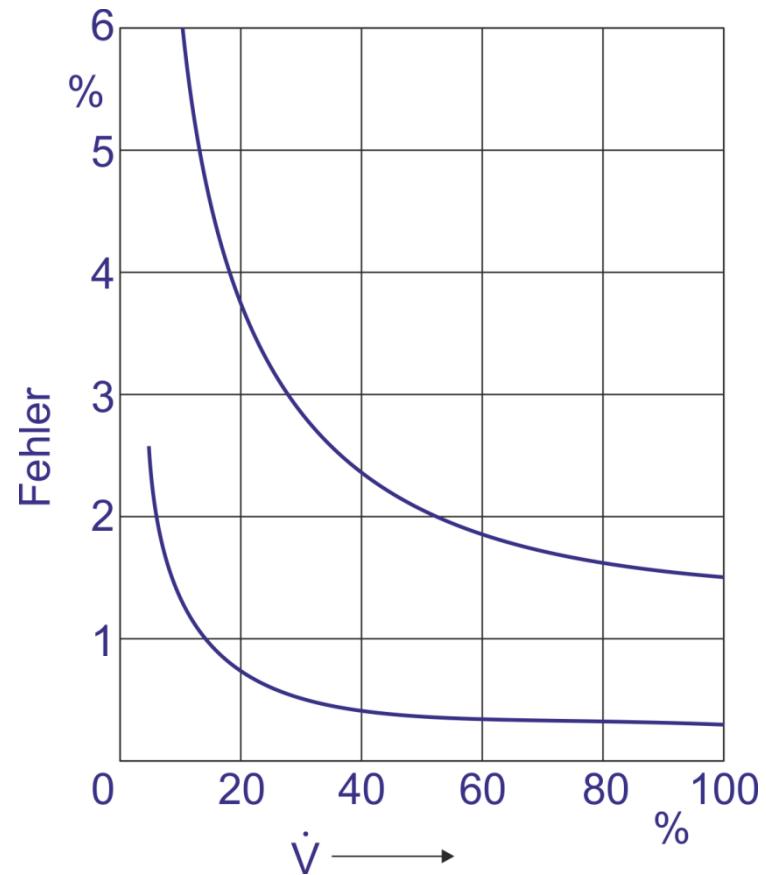
# Durchflussmessung mit pulsierendem Gleichfeld Umschaltbetrieb



- Berücksichtigung langzeitlicher elektrochemischer Spannungsbeiträge durch Grundlinienverfolgung und Korrektur

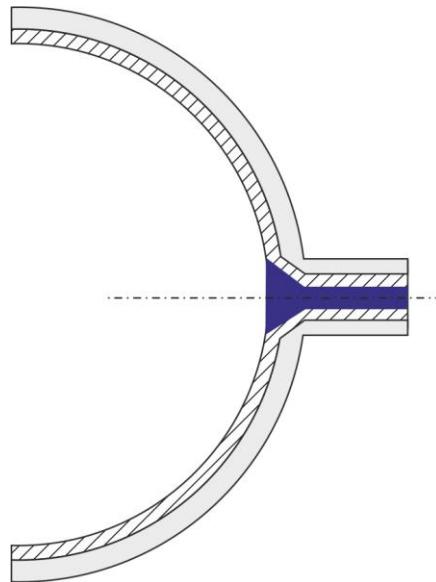


## Grenzfehlerkurven

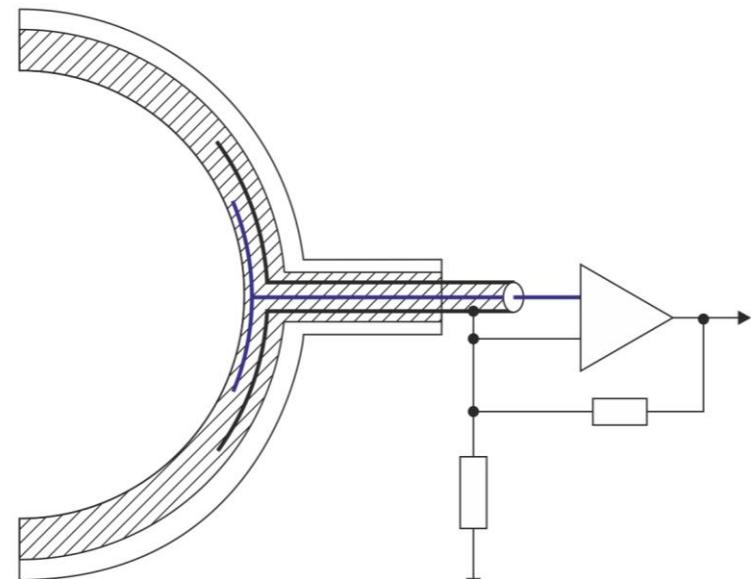


# Elektrodenaufbau

Galvanische Kopplung zum Fluid



Kapazitive Kopplung zum Fluid



# Sensormaterialien

Messstoff	Konzentration [%]	Temperatur [°C]	Material	Elektroden
Ammoniak	bis 100	Siedepunkt (-33,4°C)	PTFE	Edelstahl
Calciumhydroxid	-	80	Polyurethan	Edelstahl
Flusssäure	45	50	PTFE	Pt
Natriumhydroxid	10	20	Weichgummi	Edelstahl
Natriumhydroxid	40	80	PTFE	Titan
Salzsäure	20	100	PTFE	Pt
Salpetersäure	70	100	PTFE	Pt
Schwefelsäure	60	100	PTFE	Pt
Obstsaft	-	-	PTFE	Edelstahl
Milch	-	80	PTFE	Edelstahl
Papierstoff	-	20	Hartgummi	Edelstahl
Schnitzel-Saft-Gemisch (Zucker)	-	70	Hartgummi	Edelstahl
Seewasser	-	50	Weichgummi	Hastelloy
Trinkwasser	-	20	Hartgummi	Edelstahl

