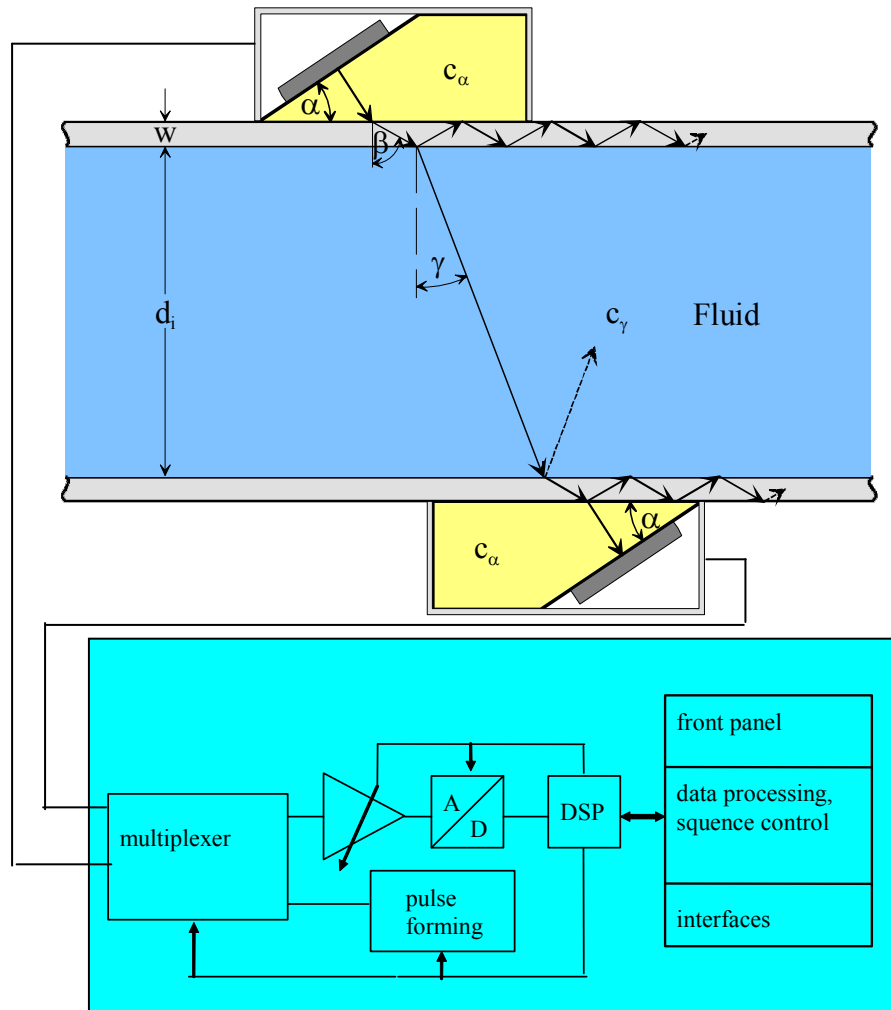


Ultraschall-Clamp-On Messtechnik



Funktionsprinzip



Geräteformel

$$v_l = k_\alpha \frac{\Delta t}{2 t_F}$$

Akustischer Kalibrierfaktor

$$k_\alpha = \frac{c_\alpha}{\sin \alpha}$$

- Signalerfassung
- Messung von Laufzeit und Laufzeitdifferenz
- Volumenstromberechnung

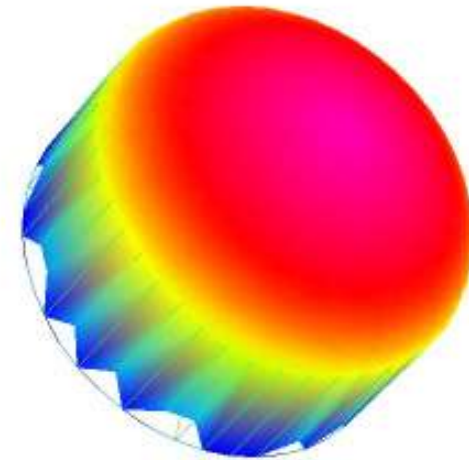
$$Q = v_A \cdot A$$

Fluidmechanischer Kalibrierfaktor

$$k_{\text{Re}} = \frac{v_A}{v_l}$$

$$v_A = \frac{1}{A} \iint_A \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A}$$

$$v_l = \frac{1}{l} \int_{(l)} \mathbf{v} \cdot d\mathbf{l}$$



$$Q = A k_{\text{Re}} v_l$$

bei ungestörtem Strömungsprofil

k_{Re} nur abhängig von der Reynoldszahl und Rauigkeit

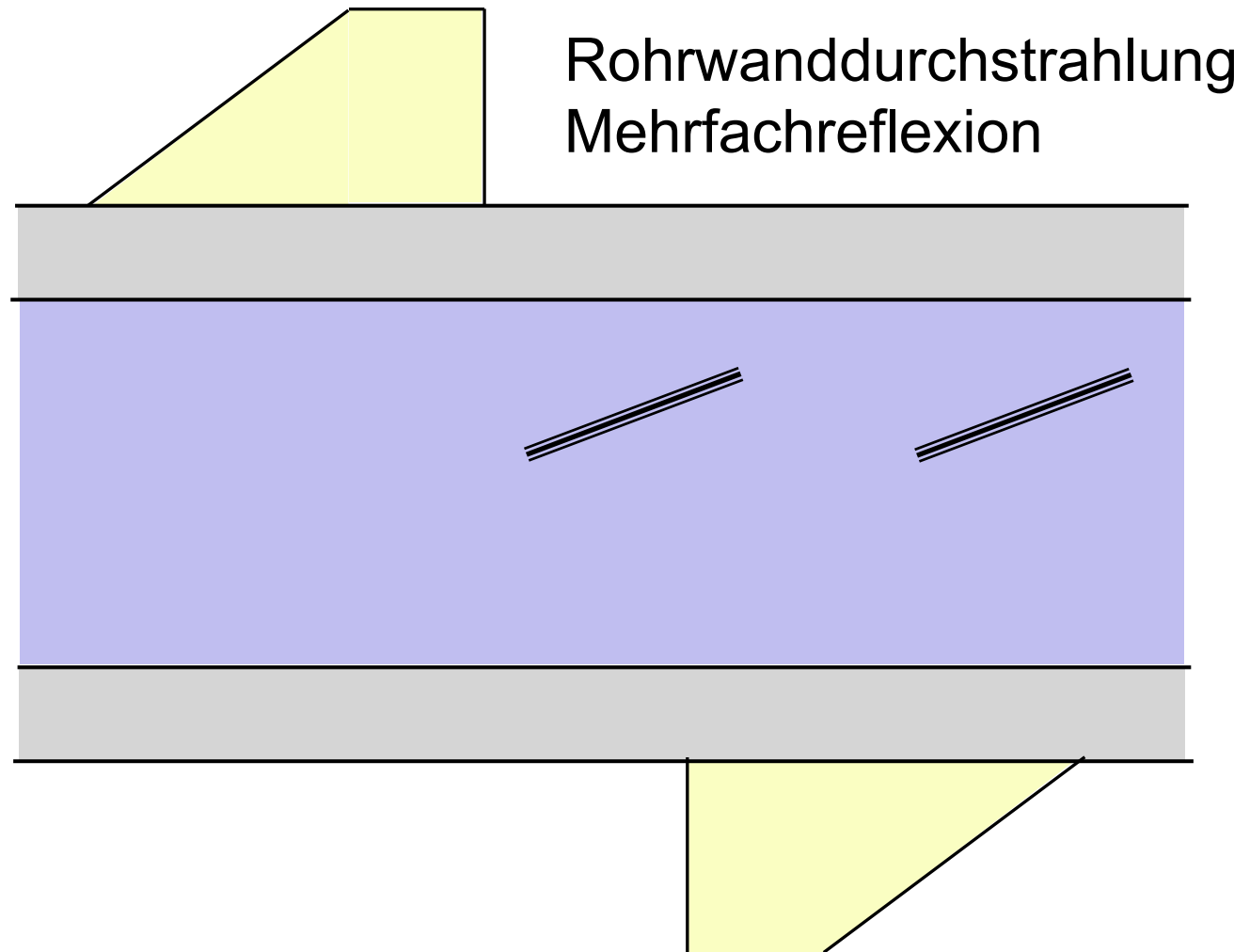
Vorteile Clamp-On Messung

- Medien und Druckunabhängig
- Großer Dynamikbereich
- Geringer Installationsaufwand ohne Rohrleitungsunterbrechung
- Service und Wartung ohne Anlagenstillstand
- Verschleißfreie Messung ohne Druckverlust
- Bidirektionale Messung möglich
- Geringe Lagererhaltungskosten (wenig Ersatzteile)



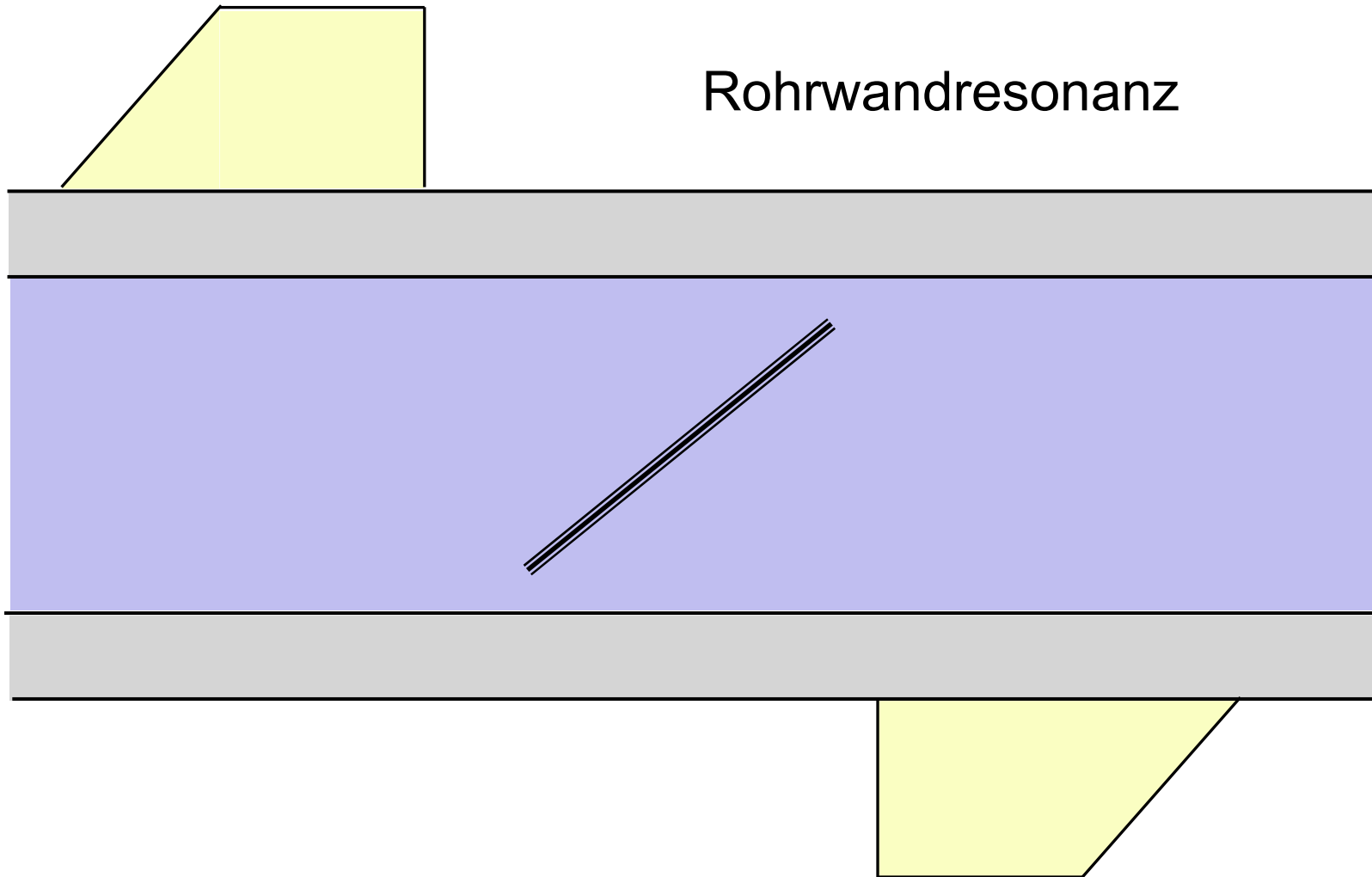
Bild: GFK Rohr bei der Messung von Flusssäure bei wechselnden Konzentrationen

Transversalwellenanregung



Lamb-Wellenanregung

Rohrwandresonanz



Vergleich Transversal- und Lamb-Wellenanregung



Lambwellenanregung

- Breiter Schallstrahl
- Große Sensorfehlpositionstoleranz
- Abstimmung auf Rohrwandresonanz erforderlich

Transversalwellenanregung

- Keine Beschränkung der Rohrwandstärke
- nahezu alle Rohrwandmaterialien

Geräteformel

Unsicherheits-
beiträge

$$Q = K_{\text{Re}} \cdot A \cdot K_{\alpha} \frac{\Delta t}{2t_{\text{fl}}}$$

Fluid-
mechanik

Geometrie

Akustik

Elektronik und
Zeitmessung

Auslegung – Haupteinflüsse

Medien- dämpfung	Durchstrahlbarkeit	Arbeitsfrequenz
Rohrinnen- durchmesser	Mediendämpfung bestimmt maximalen Durchmesser, Wellenlänge minimalen Durchmesser	Arbeitsfrequenz
Rohrwand- stärke / - material	Transveralwellenanregung unbeschränkt Lambwaveanregung Abstimmung der Sensorfrequenz	Arbeitsfrequenz Wandlertyp
Strömungs- geschwindig- keit (Gase)	Strahlversatz bestimmt Messbarkeit, praktisch nur bei Gasen relevant	Arbeitsfrequenz, Wandlertyp
Medien- und Umgebungs- temperatur	Notwendigkeit von Sondersensoren oder -anordnungen	Sensor- ausführung
Einlauf- bedingungen	Störstellenabstand	Messanordnung Kalibrierung

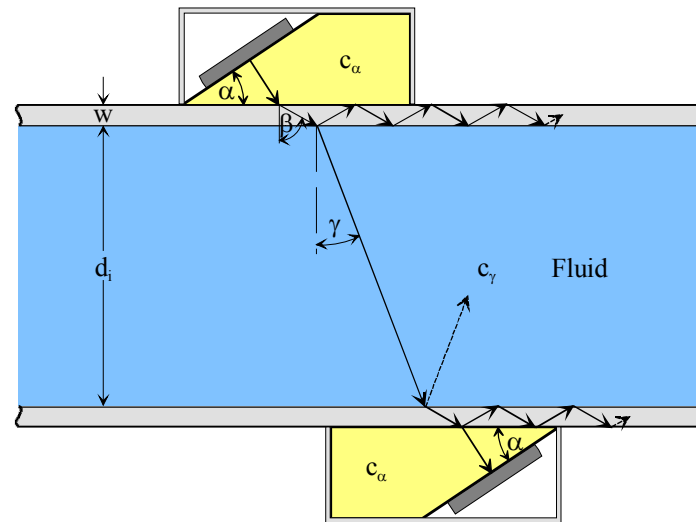
Schallübertragung

- Einfügedämpfung an jeder Mediengrenze

Transmission und Reflexion abhängig von Schallkennimpedanz

$$Z = \rho c$$

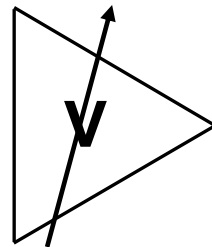
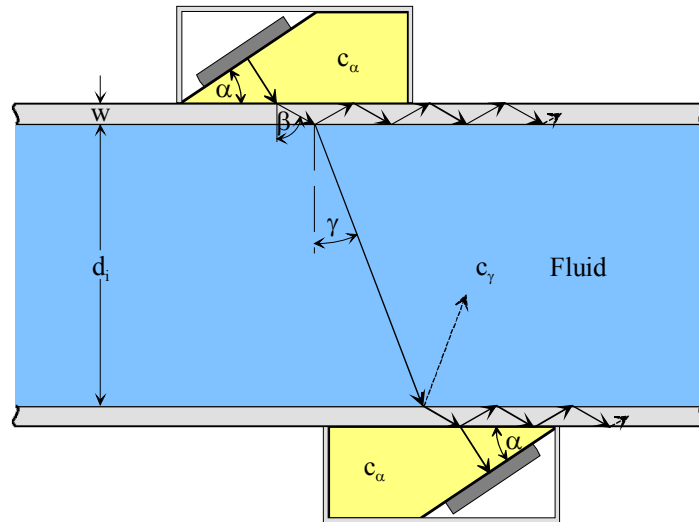
- Ausbreitungsdämpfung im Fluid



- Gas Anwendung

- großer Impedanzunterschied von Rohrwand und Gas
=> geringe Transmission
- Reflektierter Schall breitet sich in der Rohrwand aus
=>Rohrwandsignal
- Gassignal und Rohrwandsignal daher druckabhängig

Signal Amplitude



Funktionsreserve:

Differenz von aktueller und maximaler Verstärkung

- Dämpfung
 - Einfügedämpfung (Reflexion und Transmission an Materialübergängen)
 - Unveränderlich für Applikation
 - Mediendämpfung
 - Abhängig von Fluideigenschaften und deren Änderung im Prozeß
- Kompensation durch regelbaren Verstärker
 - Maximale Verstärkung begrenzt
- Laufzeiten sind verstärkungsunabhängig

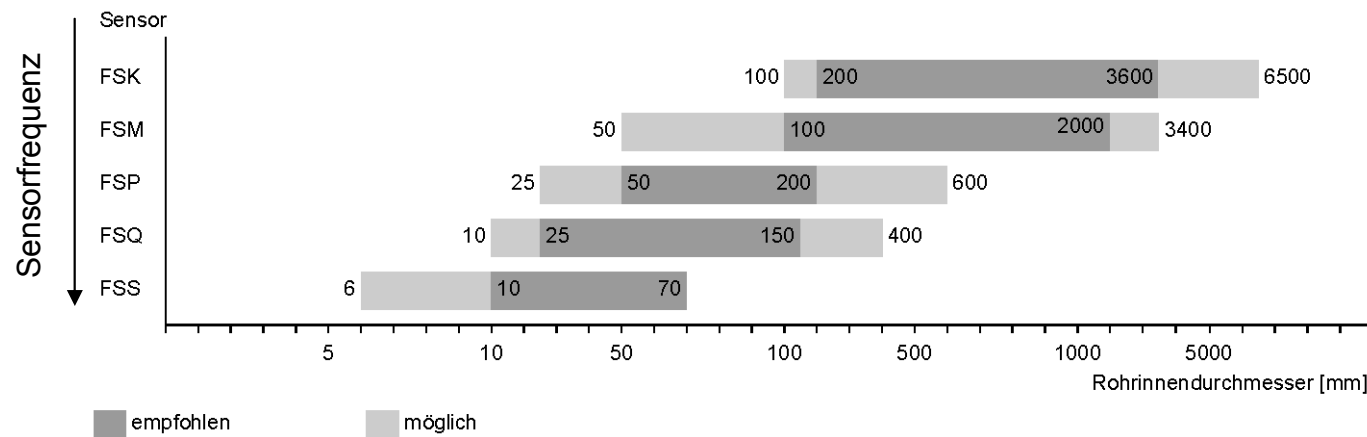
Auslegungbeispiel Flüssig



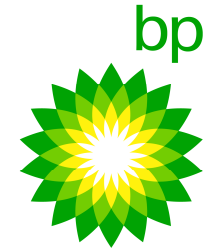
- Messaufgabe: DN80; $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$;
Schmieröl bei 80°C

Transversalwellensensor

Erwartete
Medien-
dämpfung
hoch



FSP nutzen



Kühlwasser-Mengenmessung

- DN 800 Stahlrohr mit Bitumen-Schutzmantel
- Druck: 6,5 bar, Temp.: 25°C
- Messbereich: 0 – 12.000 m³/h

- + Wartungsfreundlich - kein Anlagenstillstand
- + Bitumenschutzschicht wurde nicht entfernt



Ammoniumnitrat

- Durchflussmessung von Ammoniumnitrat, 80% - 97%
 - DN 80 – 150, Temperatur: 140° - 190°C
- + Keine Lebensdauereinschränkung durch die Medientemperatur
- + Umbau ohne Anlagenstillstand

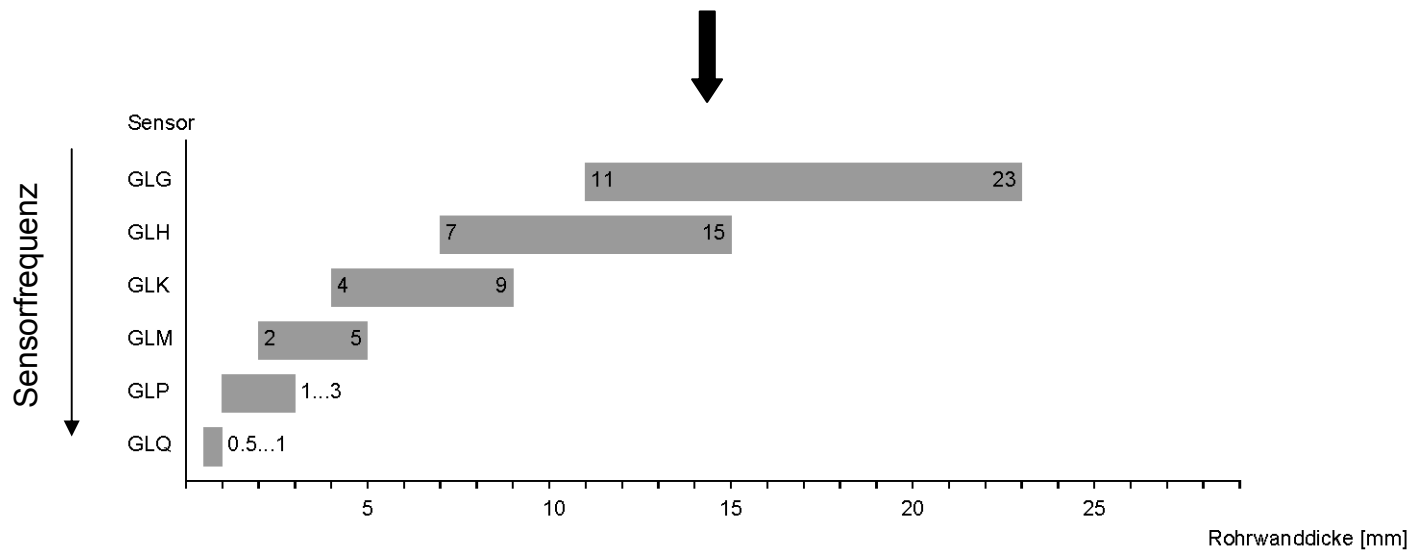


Auslegungbeispiel Gas



- Messaufgabe: DN300; Rohrwandstärke 8 mm;
Erdgas bei 20°C;
Strömungsgeschwindigkeit 15 m/s (z.B. aus Normvolumenstrom,
Druck und Temperatur bestimmen)

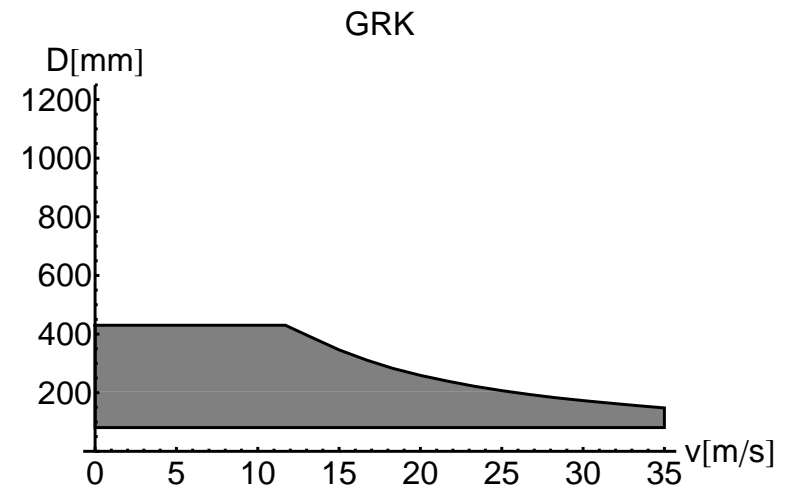
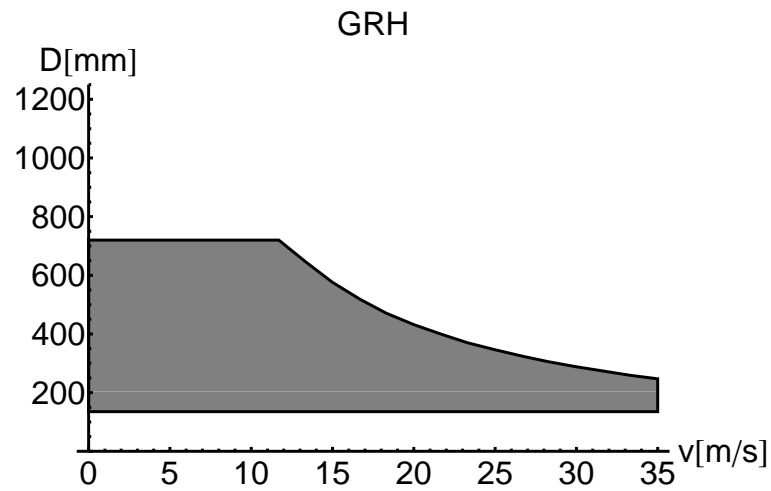
Lambwellensensor



GLH oder GLK

Auslegungbeispiel Gas

GRH oder GRK

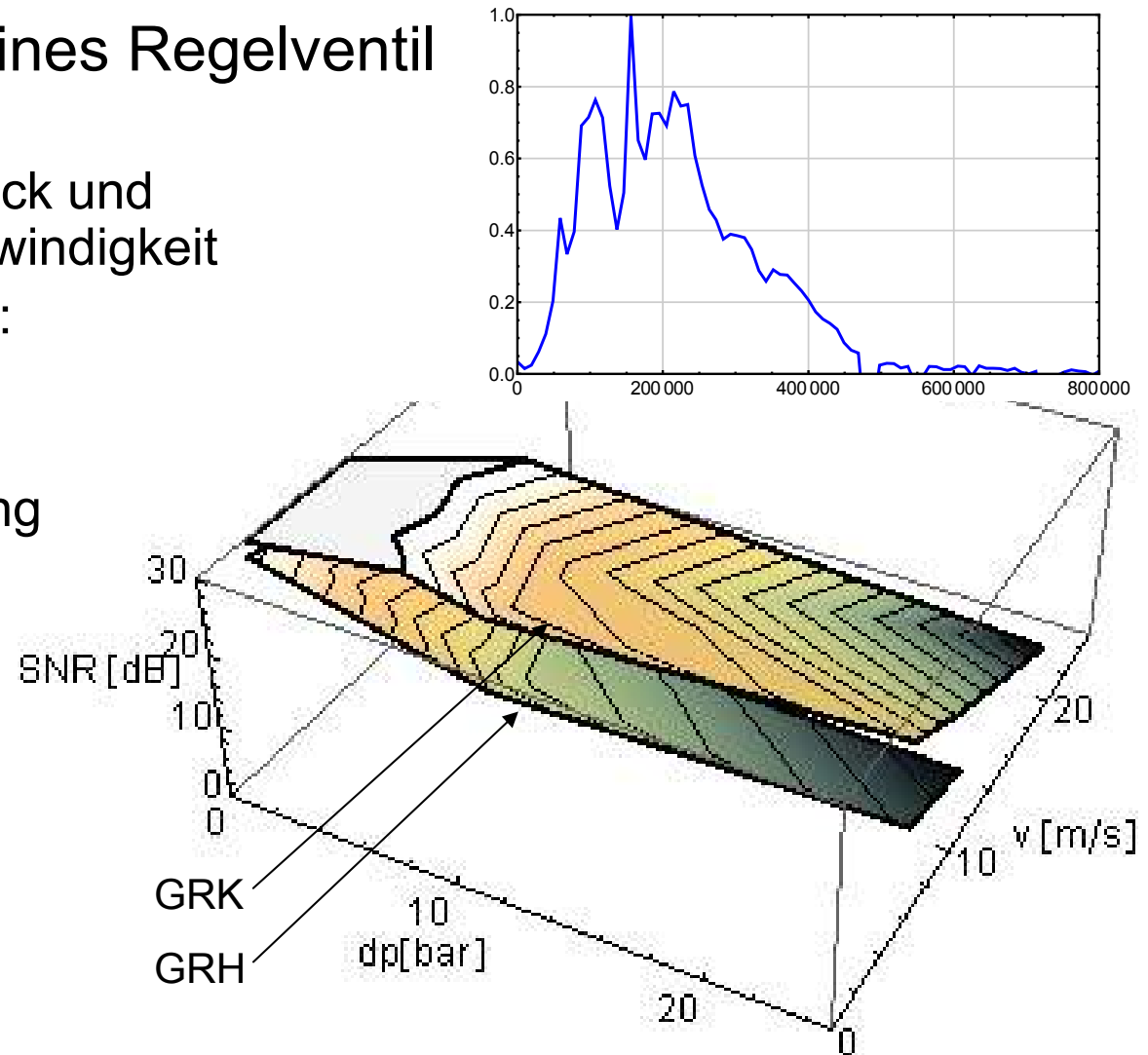


GRH nutzen
(größere Betriebsreserve)

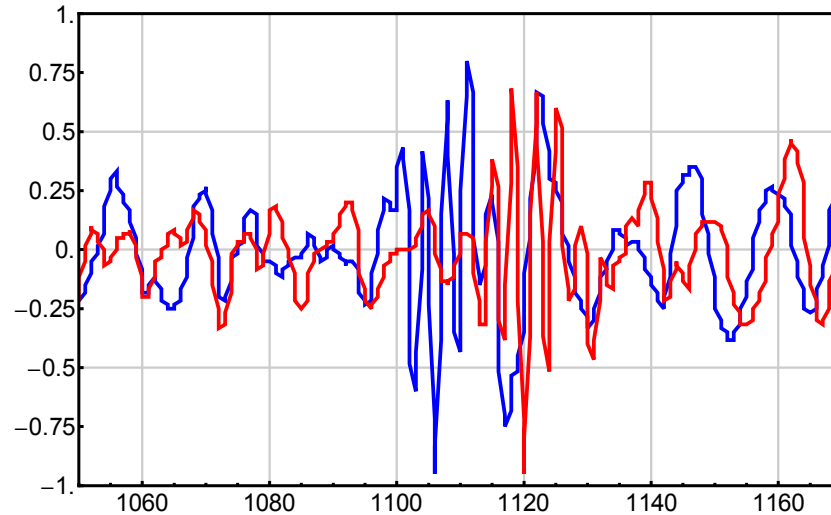
Regelventil

Messung stromab eines Regelventil (Erdgas)

- Variation von Druck und Strömungsgeschwindigkeit
- Sensor Frequenz:
 - GRK (500kHz)
 - GRH (300kHz)
- SNR-Aufzeichnung



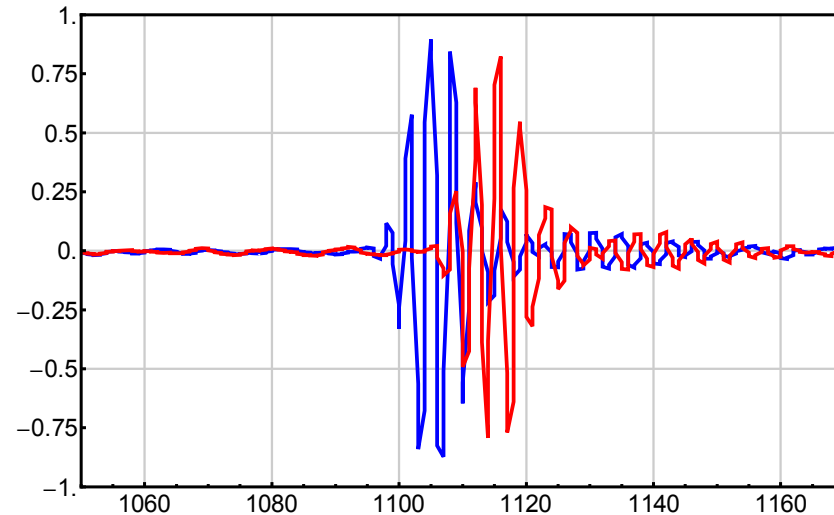
Zufällige Störung



Signal Processing

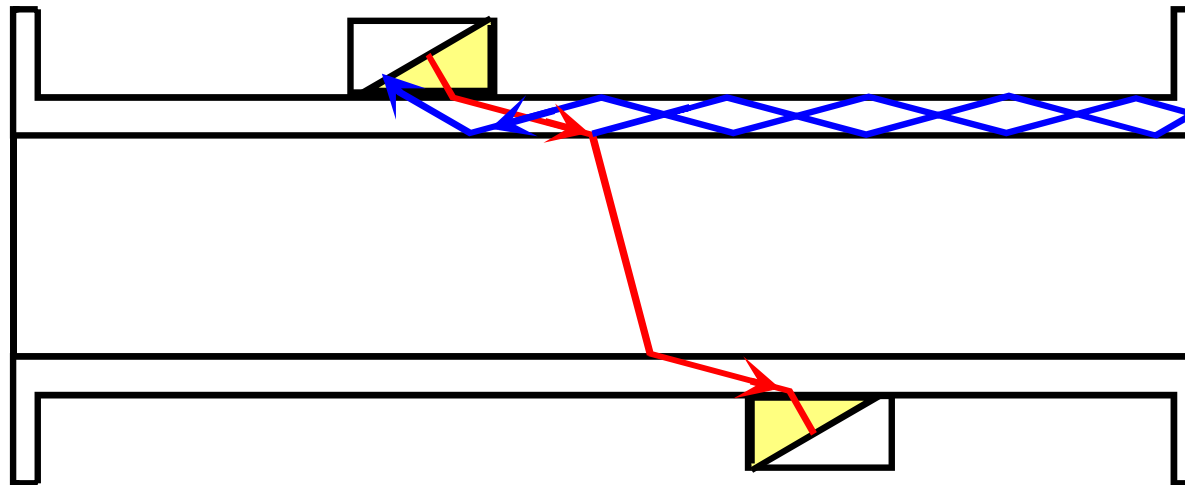


- Hohe Rauschunterdrückung durch Signalverarbeitung
- Maß für unkorrelierte Störung: Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)

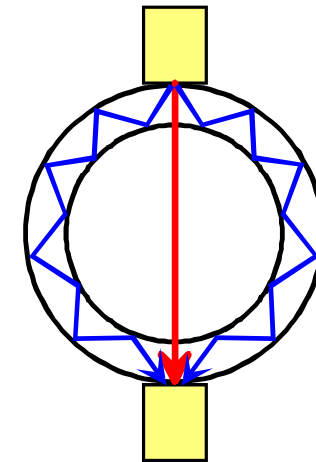


Rohrschall

- Reflexion und Transmission an jedem Medienübergang
- Schallausbreitung ohne Fluidbeteiligung
- Hauptquelle korrelierter Störungen
- bei flüssigen Medien meist vernachlässigbar

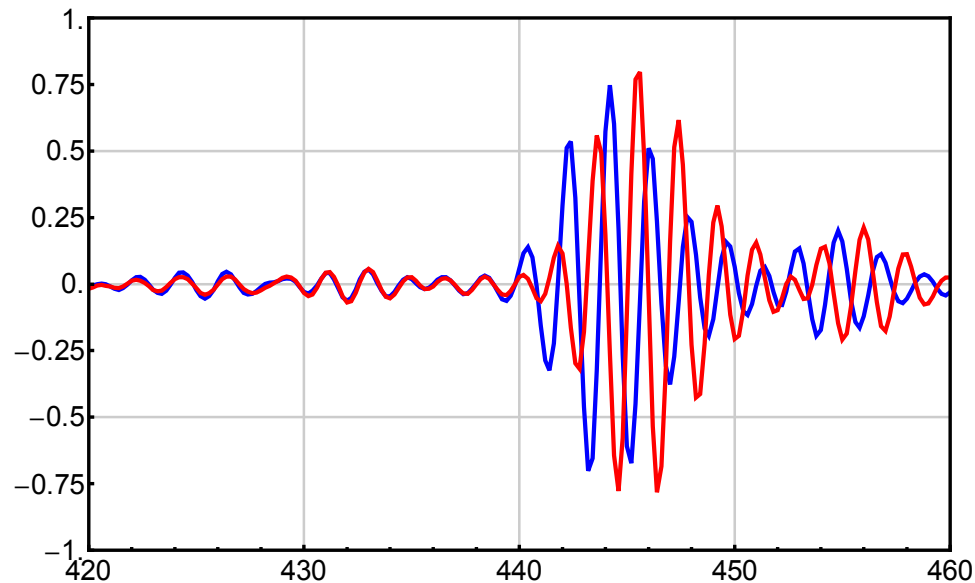


Indirekt



Direkt

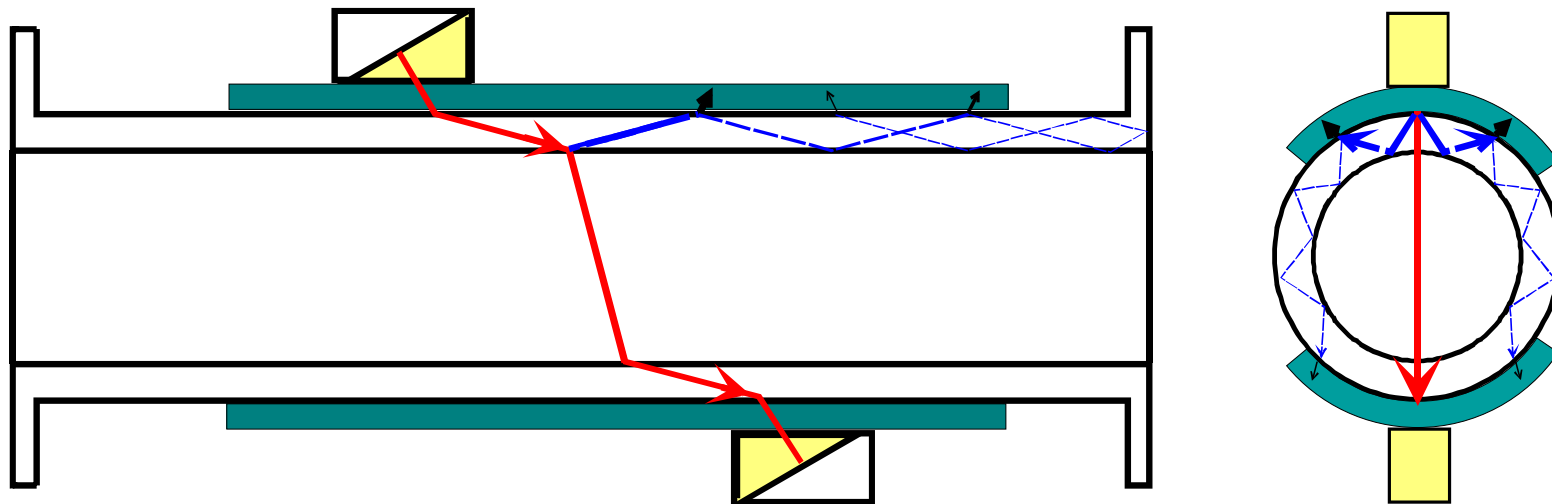
Korrelierte Signalstörung



- Gleichartig in jeder Signalerfassung vorhanden
- Unabhängig von der Strömung
=>keine Laufzeitdifferenz
- Maß für die Größe der Störung
Signal im Verhältnis zu korrelierter Störung (ScNR)
- Überlagerung und Verzerrung des Fluidsignals

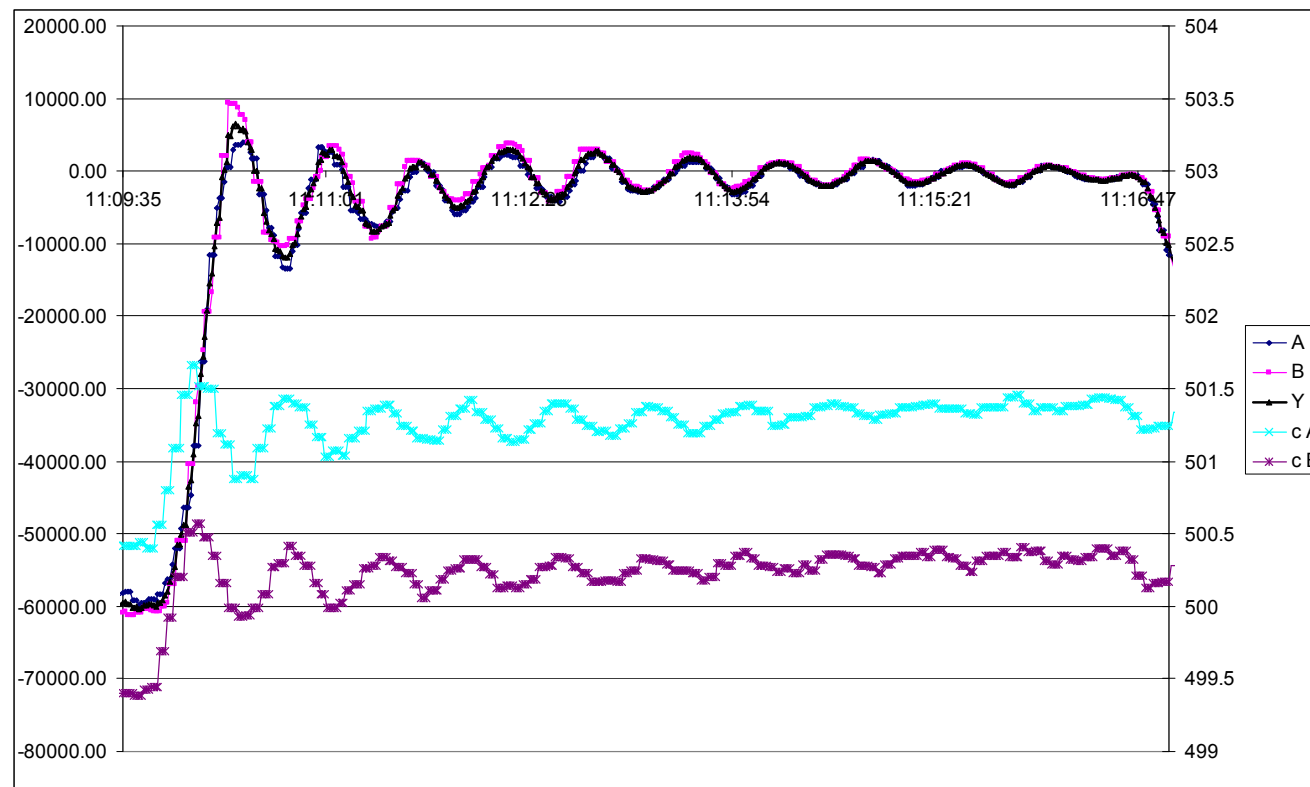
Rohrschallunterdrückung

- Dämpfungsmaterial
- Rohrsignal wird in Dämpfungsmaterial eingekoppelt
- Reduktion des Rohrschalls, besseres ScNR



Erdgasspeicher

- Erfassung Volumenstrom des Erdgases bei Ein- und Ausspeicherung
- Bidirektionale Volumenstrommessung in der Zuleitung zur Speicherkaverne
- Druck etwa 200bar; Temperatur 24...36°C



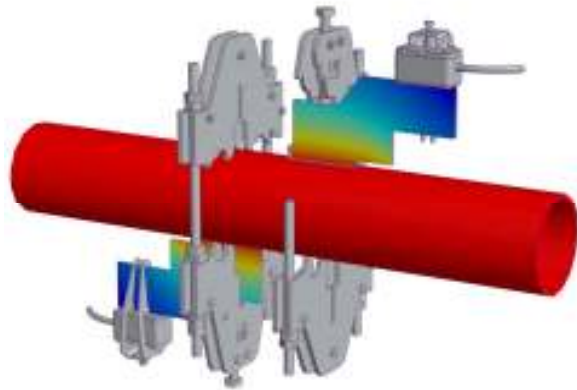
Schließen Ventil

Wasserstoffgemisch

Volumenstrommessung eines Wasserstoffgemischs

- Stahlrohr DN125
 - Druck: 180..300 bar
 - Temperatur: 50°..120°C
 - Messbereich: ~50..200 m³/h
-
- + Einfache Anbringung und Inbetriebnahme ohne Rohrarbeiten und Produktionsstillstand
 - + Keine Mehrkosten durch die hohe Druckstufe



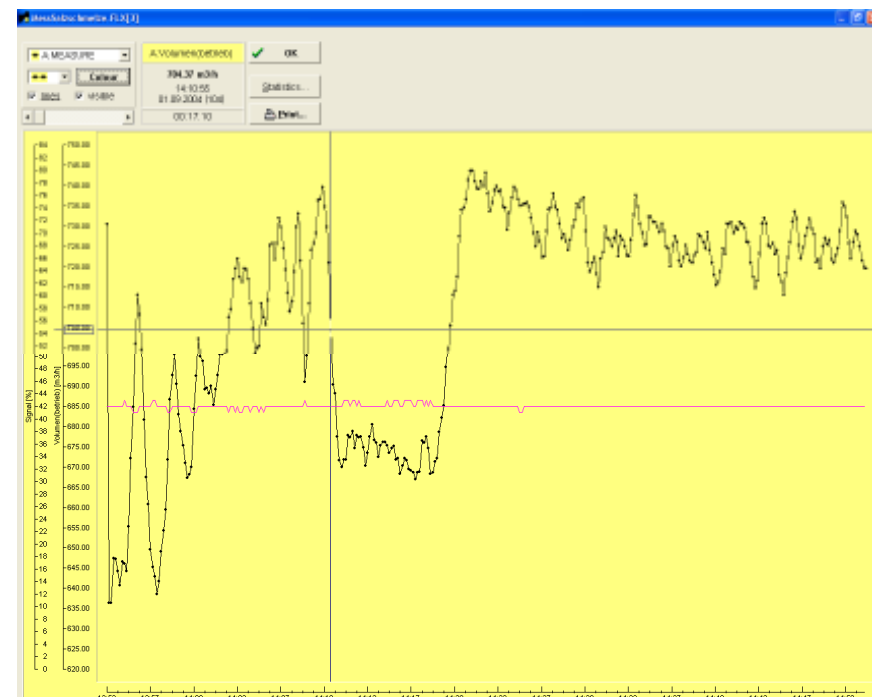


- Erweiterung des Einsatzbereiches
- Thermische Entkopplung von Sensor und Rohr bei gleichzeitig guter akustischer Kopplung
- Einsatzbereich bis etwa 400°C Medien/Rohrtemperatur
- Verwendung von Standard-Clamp on Sensoren
- Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen möglich

Beispiel Salzsäure



- Portable Volumenstrommessung Reaktorheizung
- Wärmeträger: Salzsäure 450°C



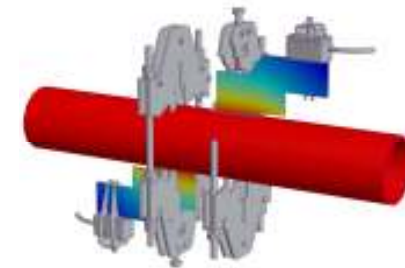
Durchfluss von Pech



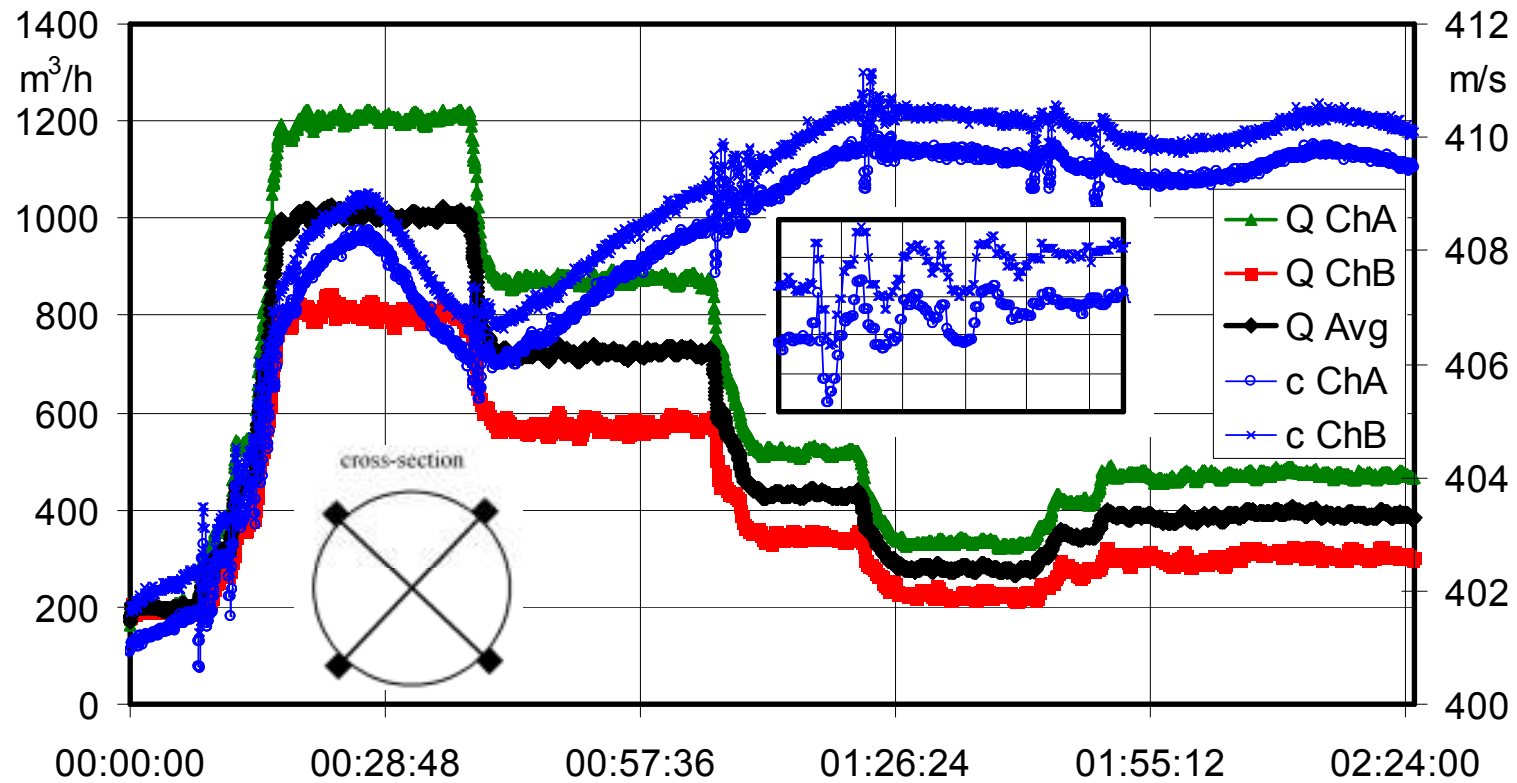
Durchflussmessung von Pech

- Stahlrohr DN125
- Druck: 6 bar, Temp.: 280..350°C
- Messbereich: 0 -100 m³/h

- + Hohe Standzeit, kein Verschleiß durch das abrasive Pech
- + Große Messbereichsdynamik

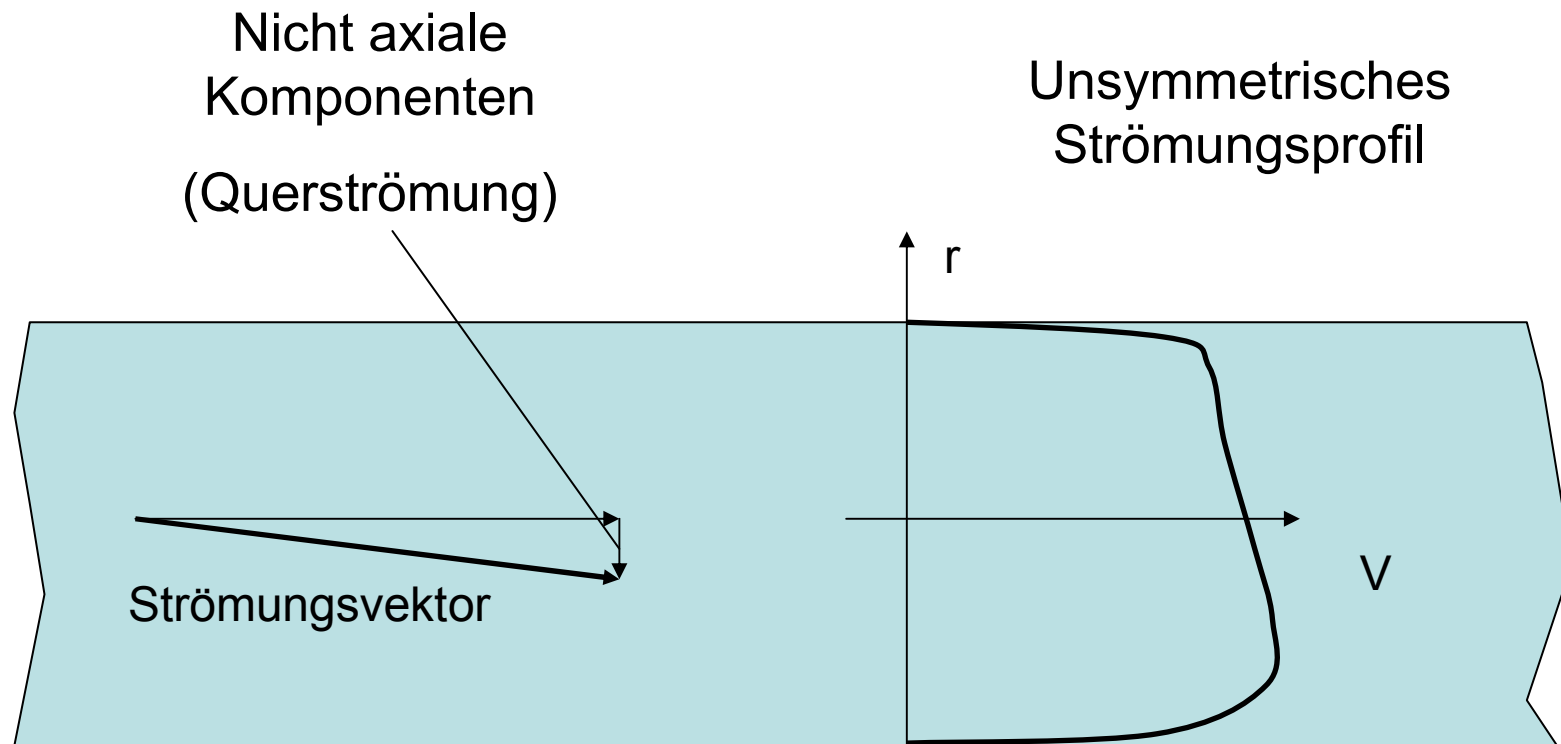


Gestörtes Strömungsprofil



Mehrkanal Durchstrahlungsanordnung Gasmessung

Arten Strömungsprofilabweichungen



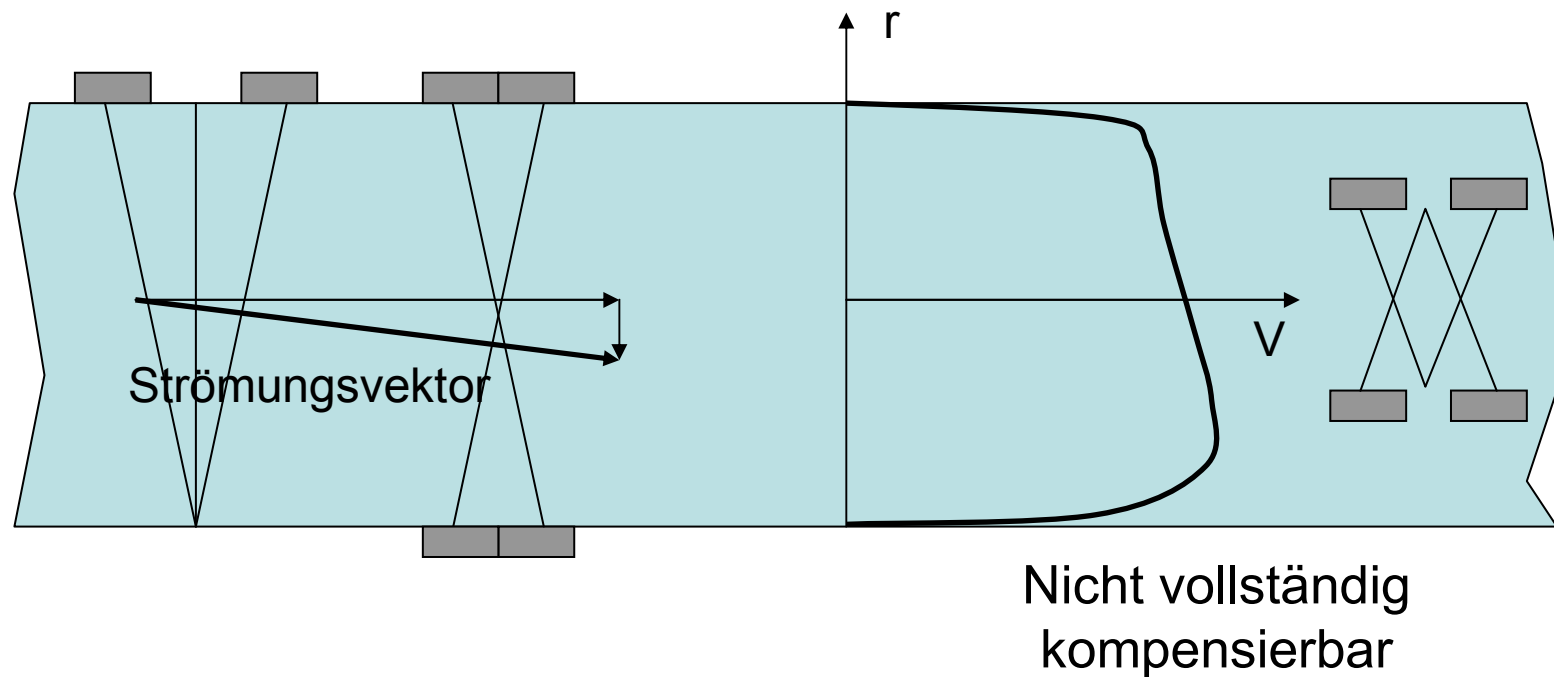
Methoden zur Kompensation von Profilstörungen

Querströmungskompensation:

- Reflexionsanordnung
- Zweifach Durchstrahlung

Kompensation von Profilsymmetrien

- Zweifach (Mehrfach) Reflexionsanordnung



- Kombination mit laseroptischer Messung
- Vermessung des gestörten Strömungsprofil
- Ermittlung von Pfad- und Flächenmittelwert
- Meßstellenspezifischer strömungsmechanischer wird im Gerät abgelegt und verwendet

Anwendung Energieeffizienzmessung

