Vergleichsmessungen mit optimiertem Ultraschallmessgerät

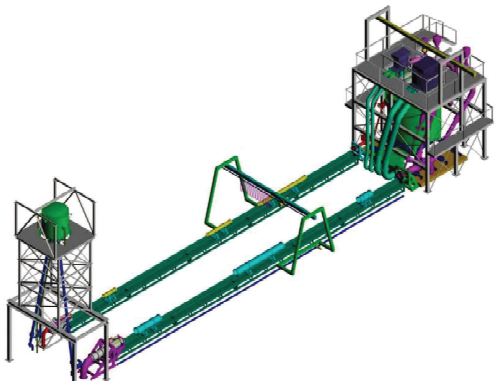
Moritz Leopoldo Córdova Murillo
leopoldo.cordova@ptb.de

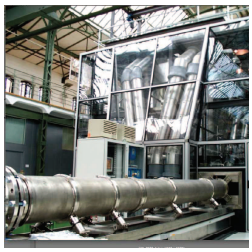
Fachbereich 7.5 "Wärme und Vakuum"
Physikalisch- Technische Bundesanstalt

9. Internationale EMATEM-Sommerschule
September 2013

Wärmezählerprüfstrecke - WZP

Fachbereich Wärme 7.5 PTB (Berlin)



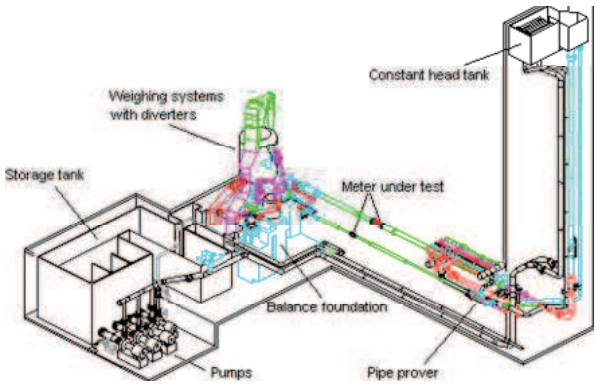


Eckdaten (U=0,04%)

- Temperatur: bis $90^o C$
- Durchfluss: bis 1000 m^3/h
- Medium: Wasser

Hydrodynamisches Prüffeld - HDP

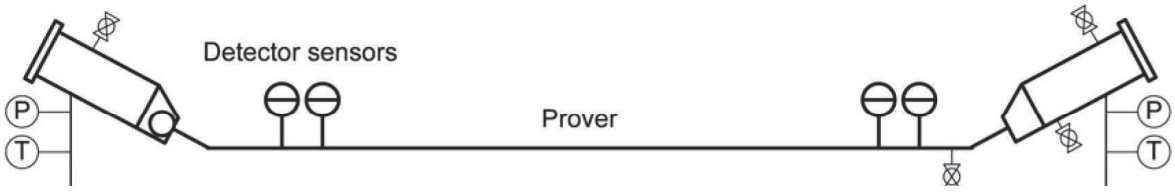
Fachbereich Flüssigkeiten 1.52 PTB (Braunschweig)



Eckdaten (U=0,02 %)

- Temperatur: bis $20^o C$
- Durchfluss: bis 2100 m^3/h
- Medium: Wasser

NMIJ Ball-Prover



Specification of the prover system.

Flowrate	100–800 m^3/h
Temperature	20 °C–70 °C
Pressure at test section	0.4–0.7 MPa (depends on flowrate)
Reynolds number	$\sim 3.7 \times 10^6$
Diameter of pipe	200 mm
Standard volume	3.4 m^3
Straight pipe length of upstream	30D (for DN200)
Expanded uncertainty ($k = 2$)	0.068%

Extrakt aus FMI 2009-1

NMIJs Rückführung 12000 m^3/h

$$
\begin{array}{llll}
1: & Scale_{20^oC} & \xrightarrow{750m^3/h} & TS200_{20^oC} \\
2: & TS200_{20^oC} & \xrightarrow{750m^3/h} & (V_{prover}/t)_{20^oC} \\
3: & (V_{prover}/t)_{20^oC} & \xrightarrow{750m^3/h} & (V_{prover}/t)_{70^oC} \\
4: & (V_{prover}/t)_{70^oC} & \xrightarrow{750m^3/h} & TS200_{70^oC} \\
5: & TS200_{70^oC} & \xrightarrow{750m^3/h} & WS\{A..D\}_{70^oC} \\
6: & \sum WS\{i\}_{70^oC} & \xrightarrow{3000m^3/h} & TS600_{70^oC} \\
7: & TS600_{70^oC} & \xrightarrow{3000m^3/h} & WS\{A..D\}_{70^oC} \\
8: & \sum WS\{i\}_{70^oC} & \xrightarrow{12000m^3/h} & DUT_{70^oC}
\end{array}
$$

1 : Gravimetrisch

2 – 4 : Volumetrisch

5 – 8 : Ultraschall

Kalibrier- vs. Prozessbedingungen

DN200

Kalibrierbedingungen

- Temperatur: bis 90^oC
- Durchfluss: bis 1000 m^3/h
- Vorlauf 90 D
- Medium: Wasser

Prozessbedingungen

- Temperatur: 250^oC
- Durchfluss: bis $1100m^3/h$
- Diverse Einbaubedingungen
- Diverse Medien

Ringvergleich K1

Kaltes Wasser

$$\left.\begin{array}{l}\text{Temperatur}\\ \text{Druck}\\ \text{Geschwindigkeit}\\ \text{Geometrie}\end{array}\right\}\text{Roshko Zahl}$$

Roshko Zahl (K1 Extrakt)

Roshko number (Ro) is defined as

$$Ro = \frac{f\ D^2}{\nu}$$

where f is the mean meter frequency, D is the meter diameter and ν is the kinematic viscosity of water.

Ringvergleich K2

Mineralöl

$$\left.\begin{array}{l}\text{Temperatur}\\ \text{Druck}\\ \text{Geschwindigkeit}\\ \text{Geometrie}\end{array}\right\}\text{Strouhal Zahl}$$

Strouhal Zahl (K2 Extrakt)

Strouhal Number (St) was defined for the K2 as

$$St = K\ D^3$$

where K is the flow meter constant in pulses per litre, and D is the temperature compensated meter diameter.

Bilateraler Vergleich Wärme

Warmwasser

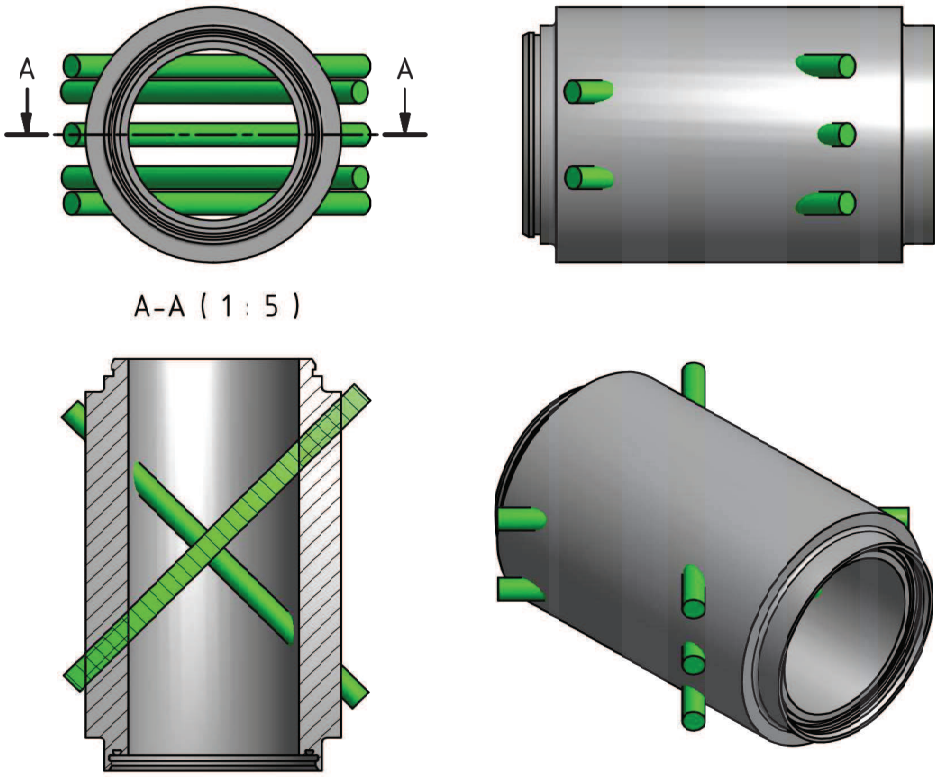
Temperatur	→	Temperatur
Druck	→	Druck
Geschwindigkeit	→	Geschwindigkeit
Geometrie	→	Geometrie

Temperatur, Druck, Geschwindigkeit, Geometrie

Die Erfahrung zeigt, dass alle wichtigen Parameter konstant gehalten werden müssen. Für Geschwindigkeitsbasierte Messgeräte ist die Reynoldszahl maßgebend.

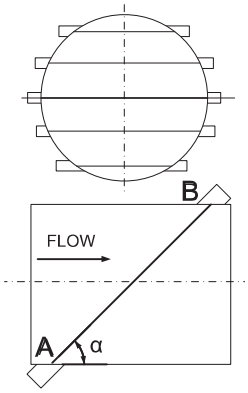
Funktionsprinzip Laufzeitdifferenzverfahren

5-Pfad Messgerät



Funktionsprinzip Laufzeitdifferenzverfahren

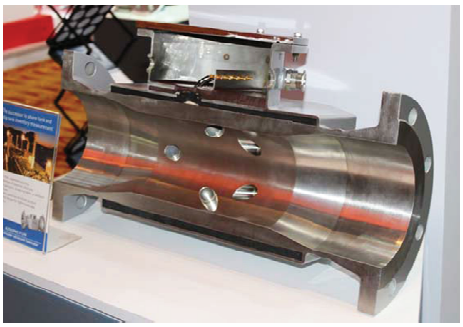
5-Pfad Messgerät



t_1 Von A nach B

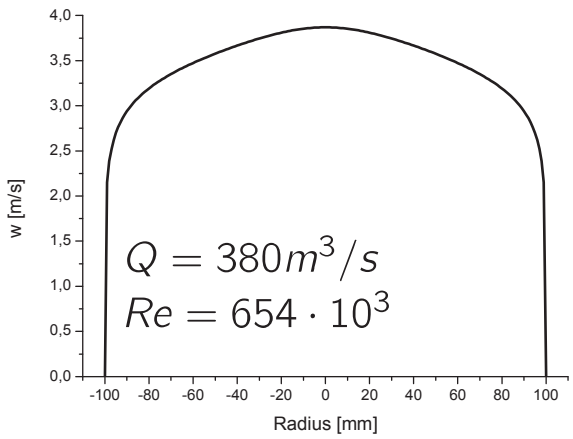
t_2 Von B nach A

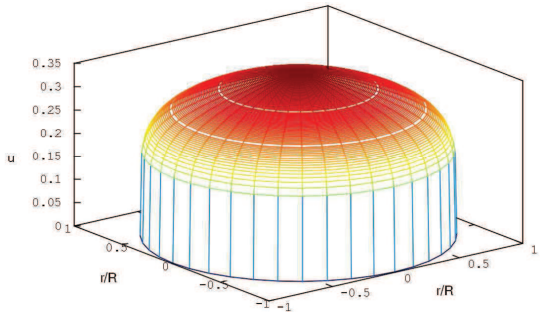
$$u_{pfad} = \frac{L(t_1 - t_2)}{2 t_1 t_2 cos(\alpha)}$$

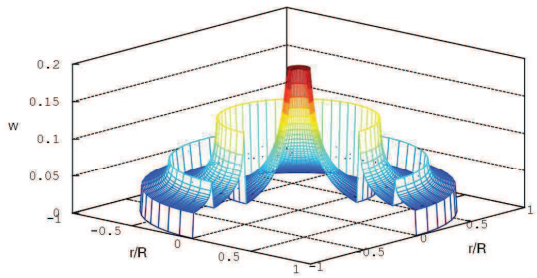


Funktionsprinzip Laufzeitdifferenzverfahren

Durchflussprofil nach Gersten und Herwig

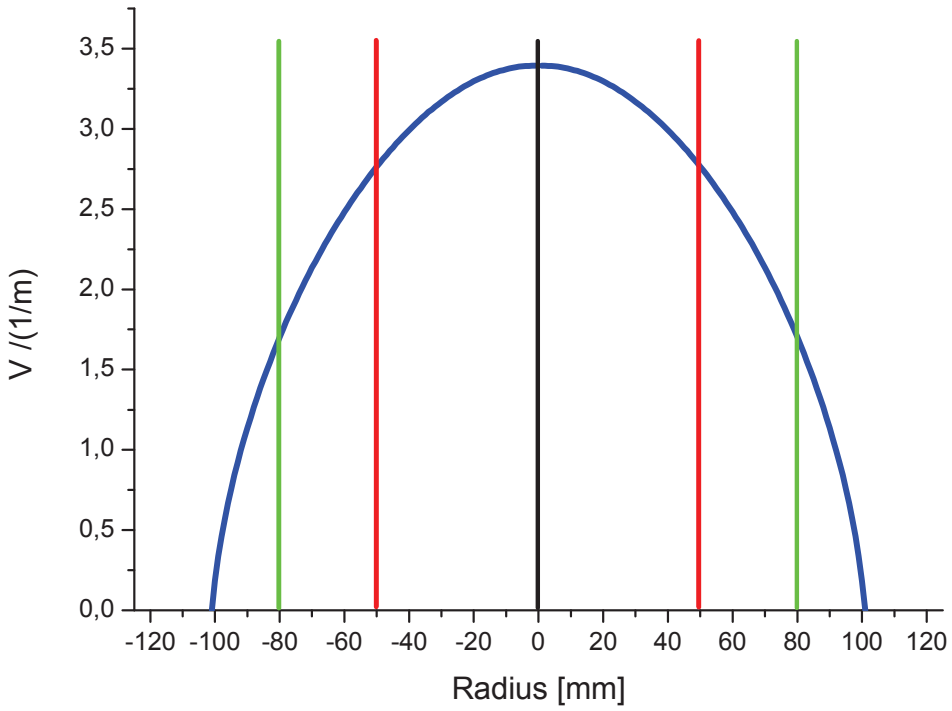






Durchflussprofil

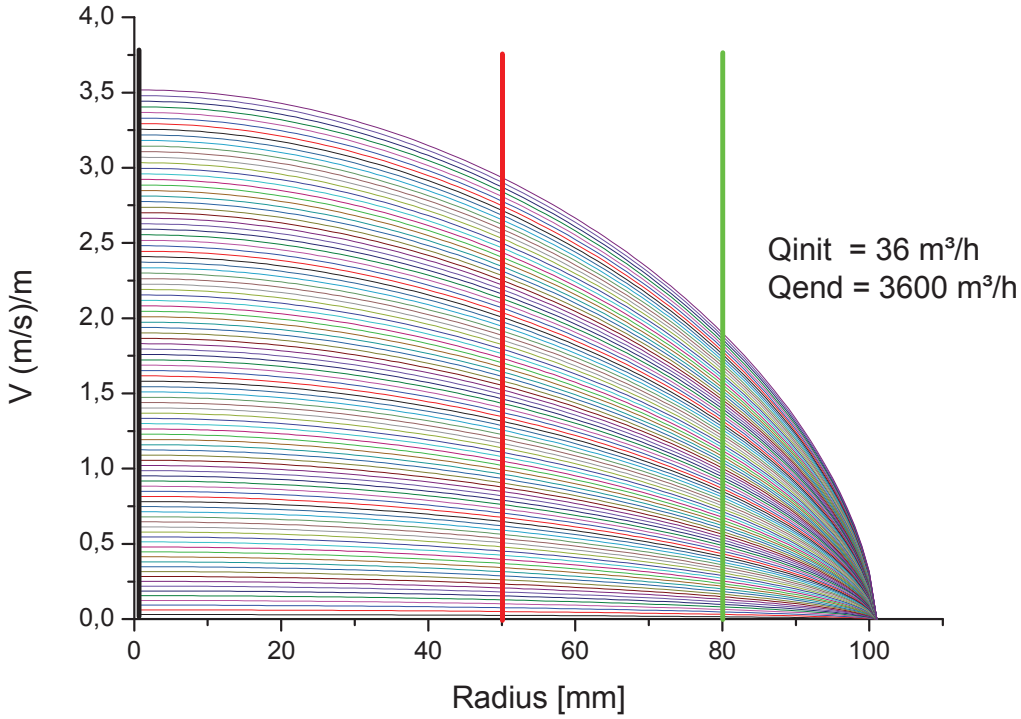
Linienintegralfunktion



Einführung Ultraschalltechnik Optimierung Messergebnisse Validierungsverfahren Zusammenfassung

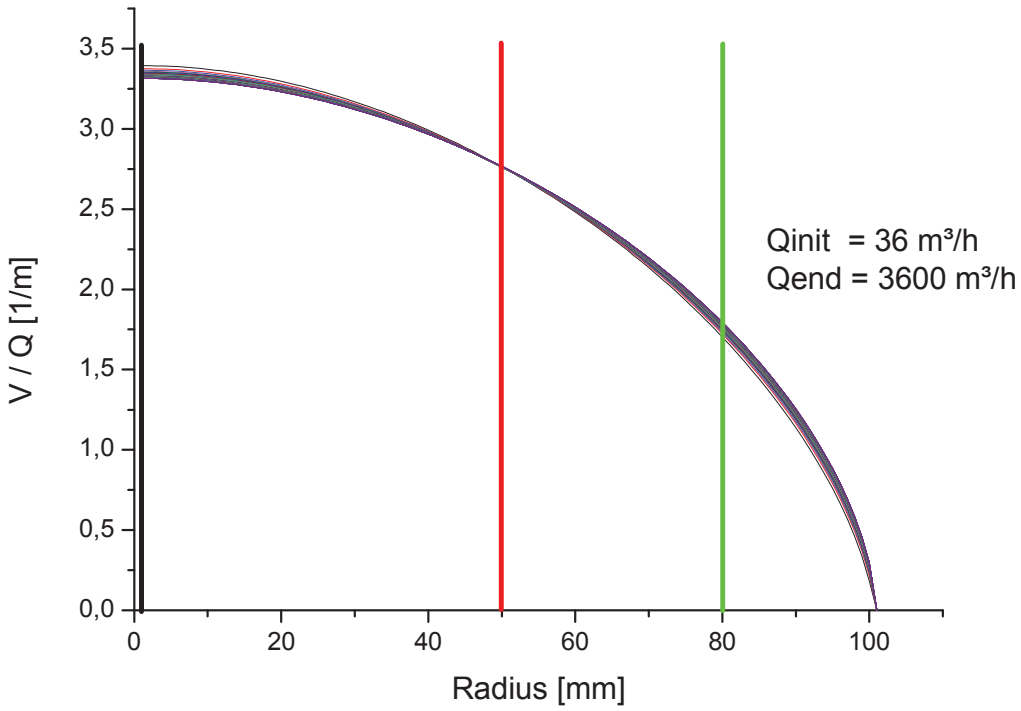
Durchflussprofil

Linienintegralfunktion



Durchflussprofil

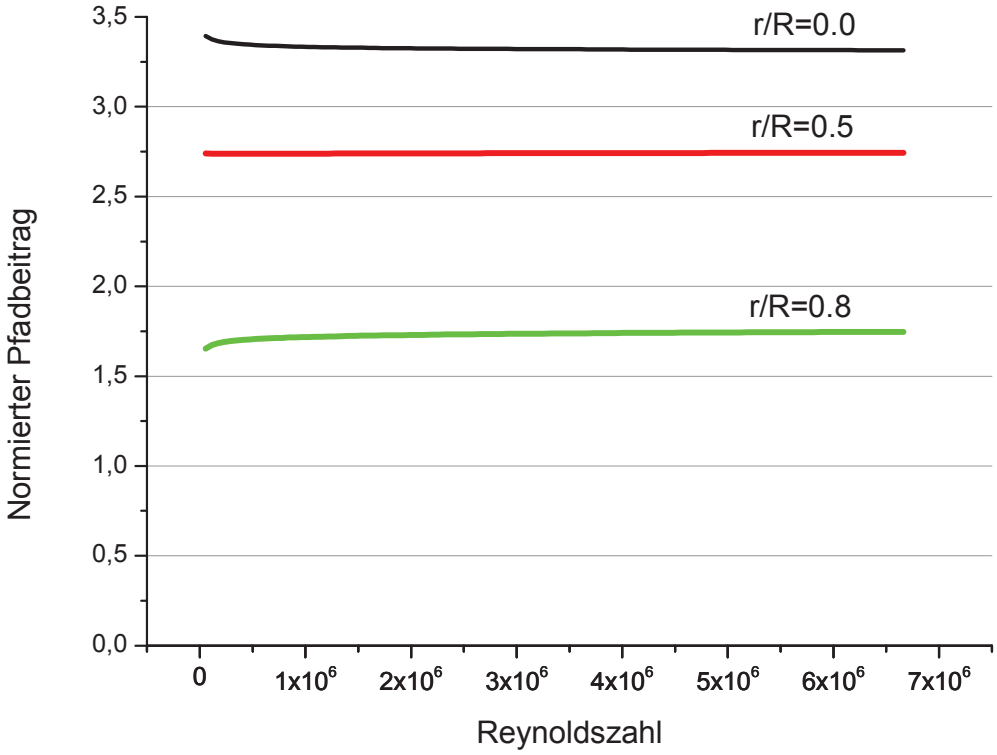
Linienintegralfunktion



Einführung Ultraschalltechnik Optimierung Messergebnisse Validierungsverfahren Zusammenfassung

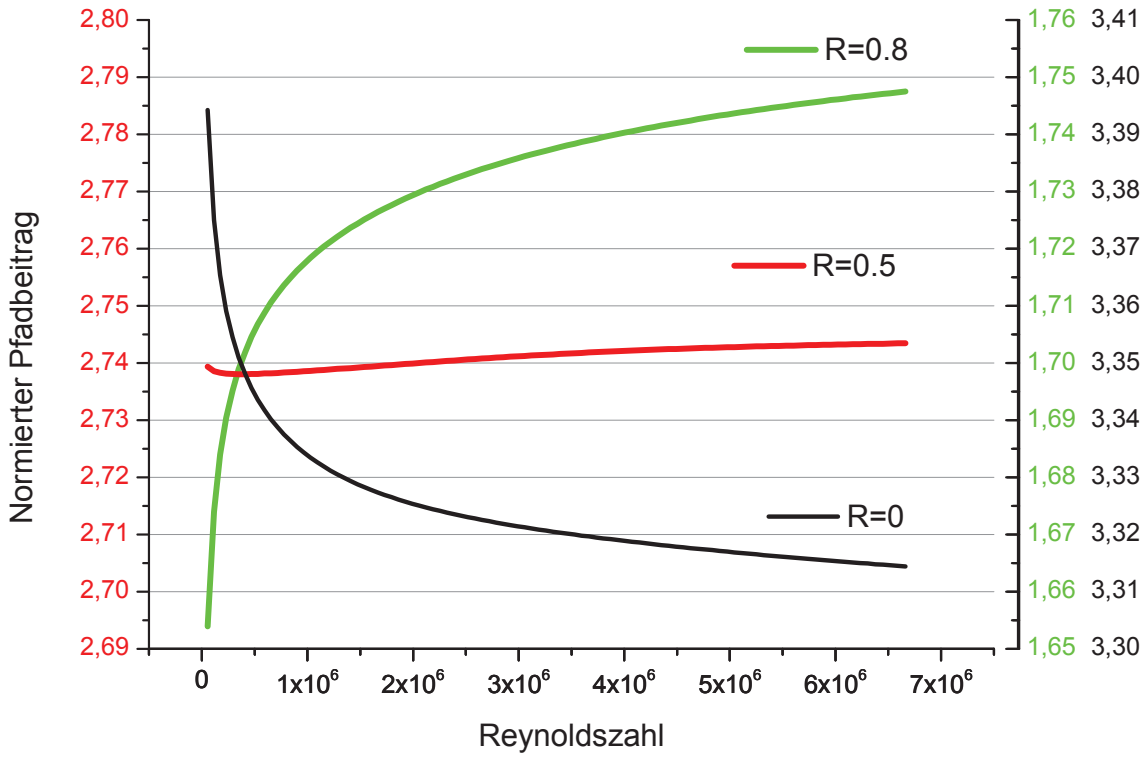
Durchflussprofil

Linienintegralfunktion



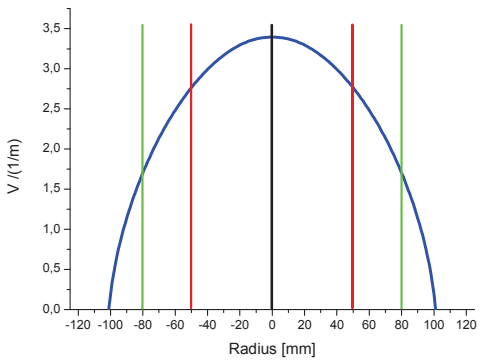
Durchflussprofil

Linienintegralfunktion



Durchflussprofil

Integrationsproblem



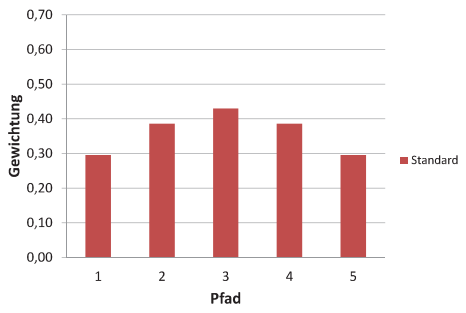
$$Q = \sum v_i k_i$$

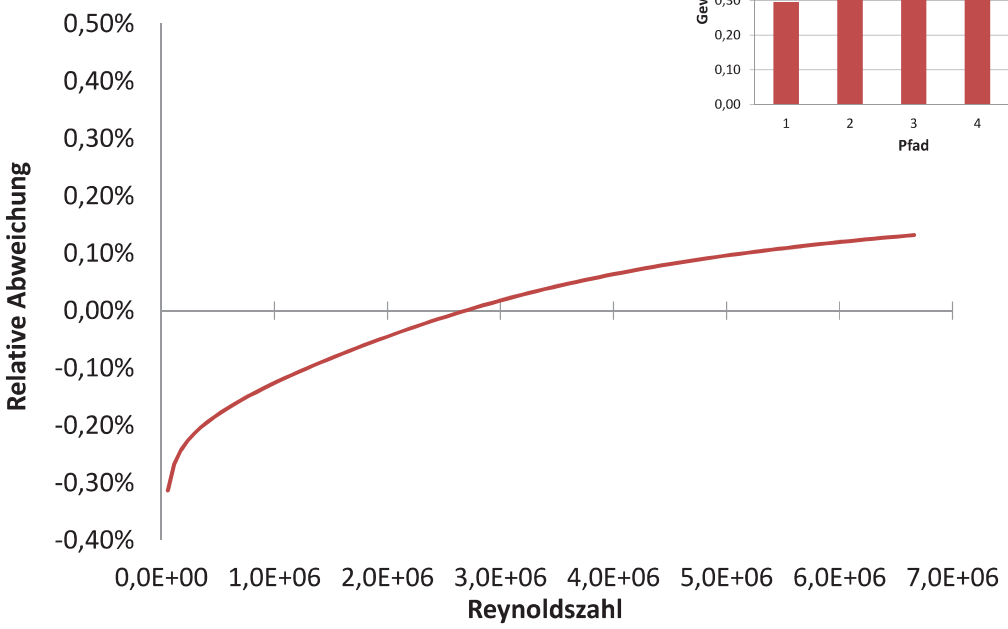
State of the art. z.B. ASME PTC 18:2011

- Gauss-Legendre
- Jacobi-Gauss

Durchflussprofil

Beispiel einer Fehlerkurve

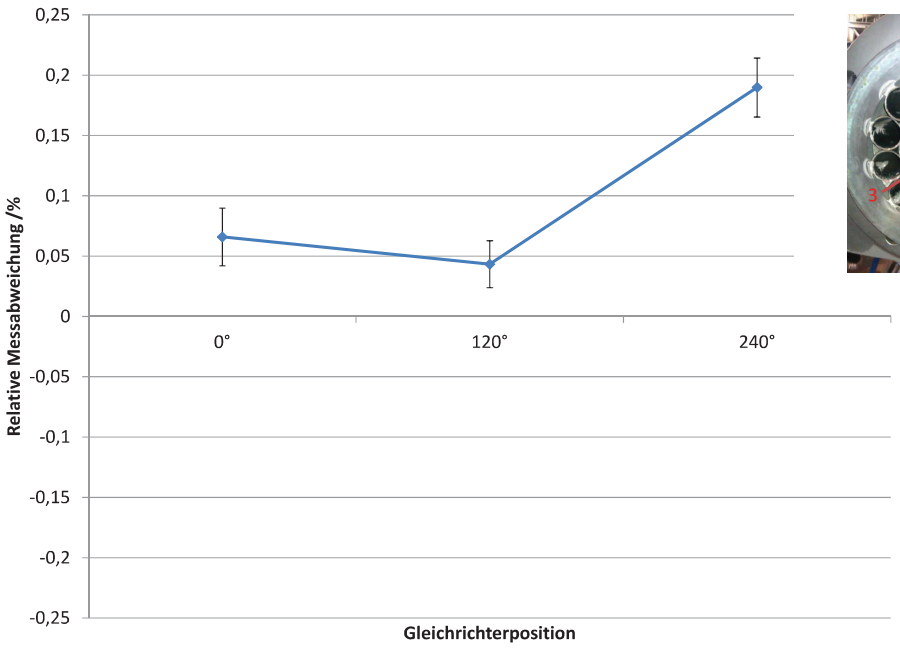




Erster Test

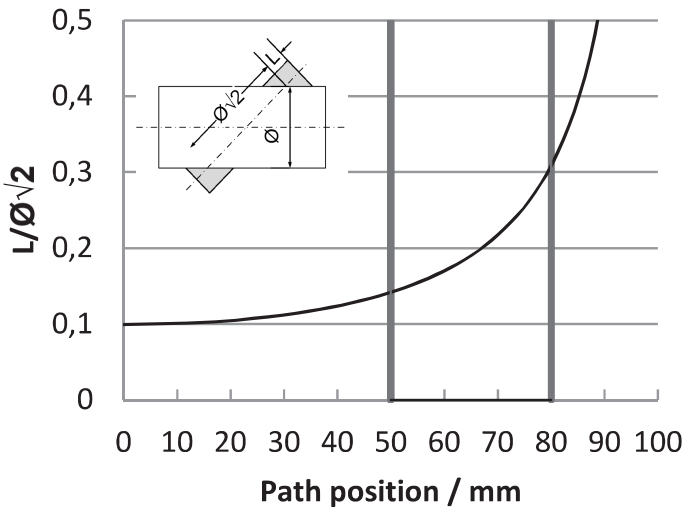
Messungen an der Wärmezählerprüfstrecke

$390\ m^3/h\ 20^oC$



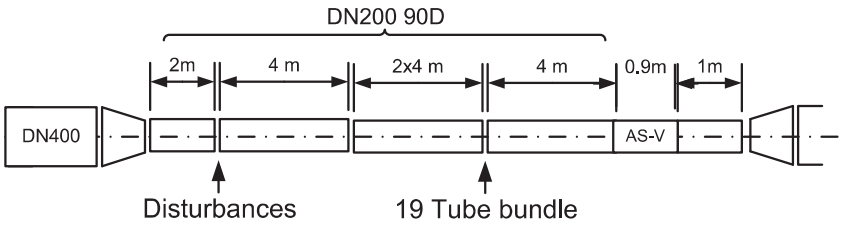
Durchflussprofil

Einfluss der Taschengeometrie



Empfindlichkeitsanalyse

Messbedingungen Wärmezählerprüfstrecke

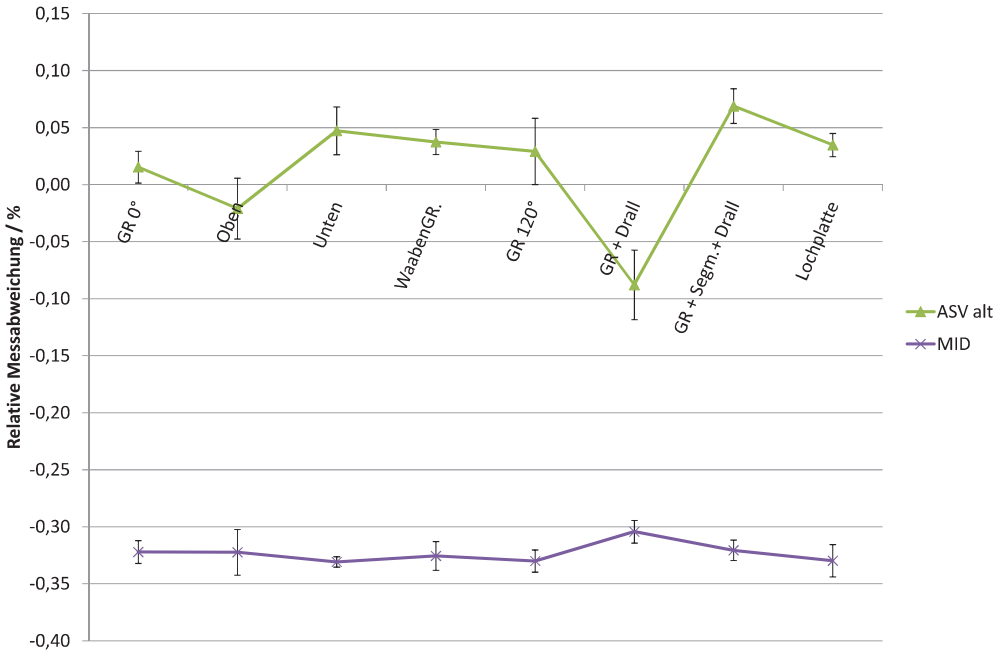


- Temperatur 20^oC und 80^oC
- Durchfluss $390m^3/h$

Empfindlichkeitsanalyse

Wärmezählerprüfstrecke

390 m^3/h und $80^o C$

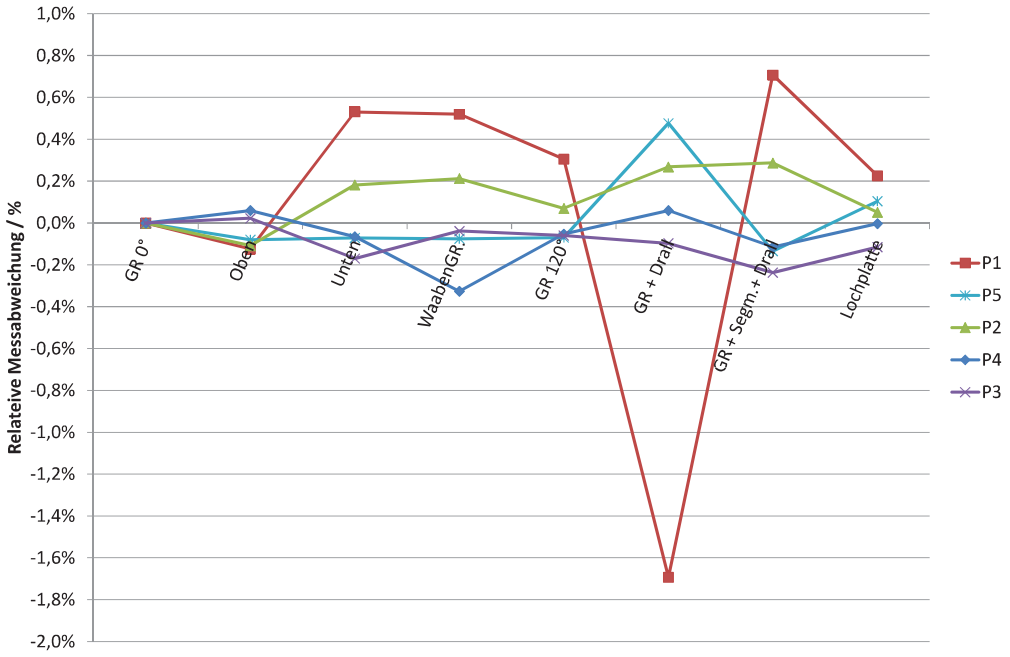


Einführung Ultraschalltechnik Optimierung Messergebnisse Validierungsverfahren Zusammenfassung

Empfindlichkeitsanalyse

Wärmezählerprüfstrecke

390 m^3/h und $80^o C$



Optimierung der Gewichtung

Der Durchfluss berechnet sich nach:

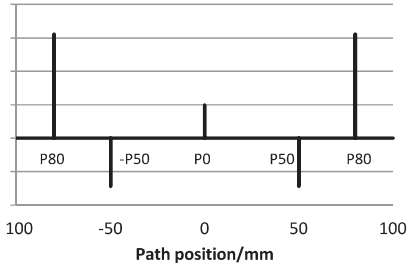
$$Q_{real} = \sum w_i v_i + \sum w_i e_i$$

.

Ist es möglich Gewichte w_i zu finden die

$$\sum w_i e_i = 0$$

erzwingen?

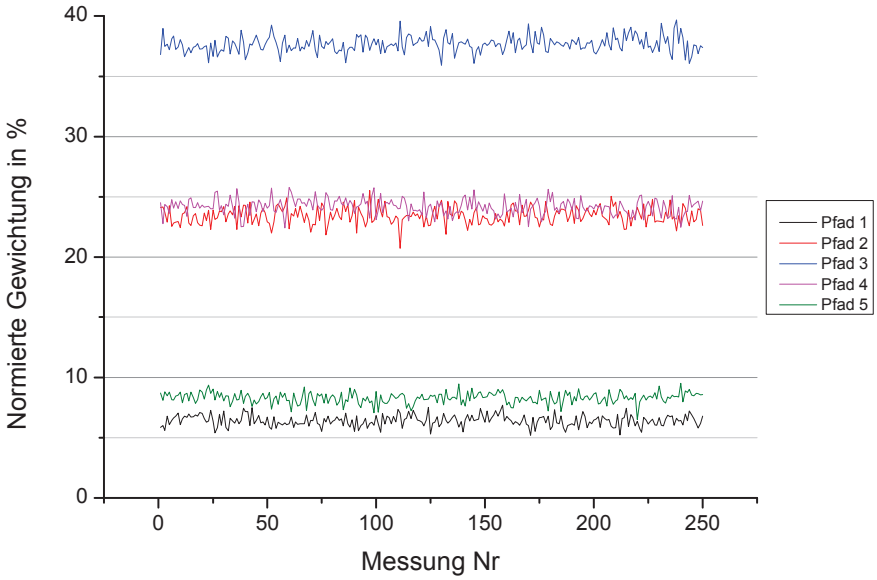


Optimierung der Gewichtung

Numerische Methode

Die Fragestellung lautet: Welche Gewichte ergeben die kleinste Streeung?

Die numerische Optimierung ergibt folgende Gewichte für diverse Messbedingungen.



Optimierung der Gewichtung

Analytische Methode

Die Standardabweichung des Durchflusses, basierend auf die Standardabweichung der einzelnen Pfade ist vereinfacht definiert durch:

$$\sigma_Q^2 = \sum (\sigma_x)_j^2 w_j^2$$

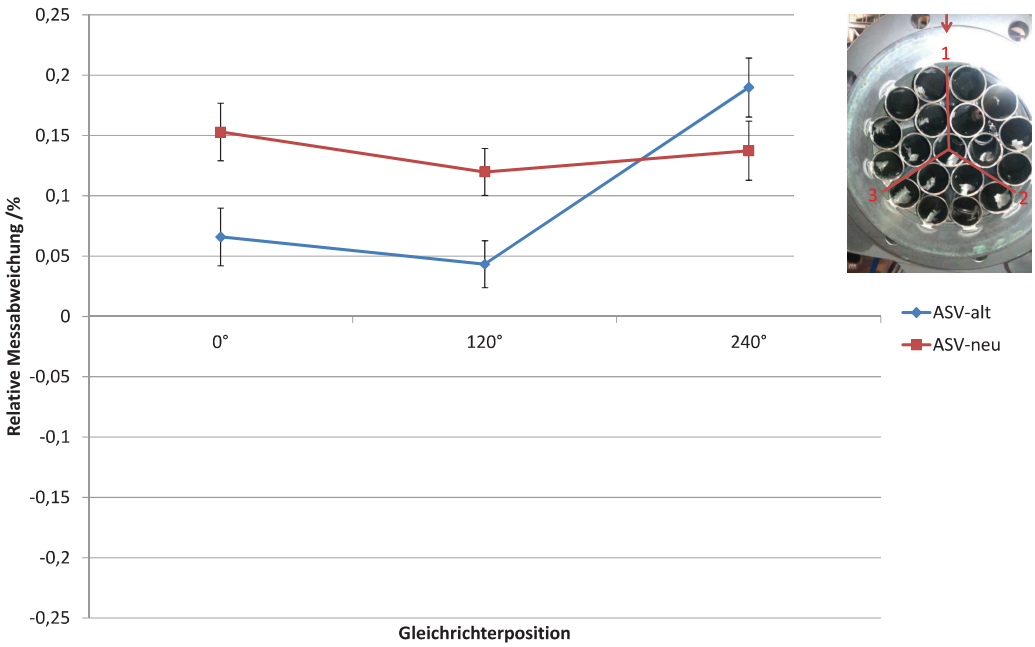
Wenn die Summe der Gewichte konstant bleibt, basierend auf die Standardabweichungen der einzelnen Pfade und mit Anwendung der Methode der Lagrangschen Multiplikatoren ergibt sich dass:

$$w_i = \frac{\frac{k}{\sigma_i^2}}{\sum \frac{1}{\sigma_j^2}}$$

Empfindlichkeitsanalyse

Wärmezählerprüfstrecke

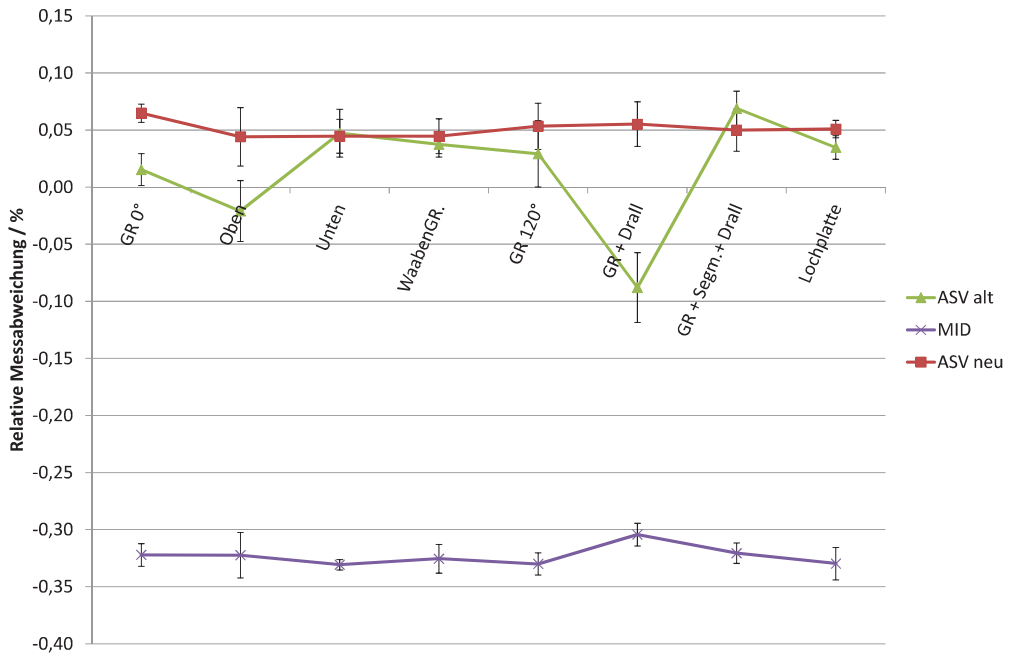
390 m^3/h 20^oC



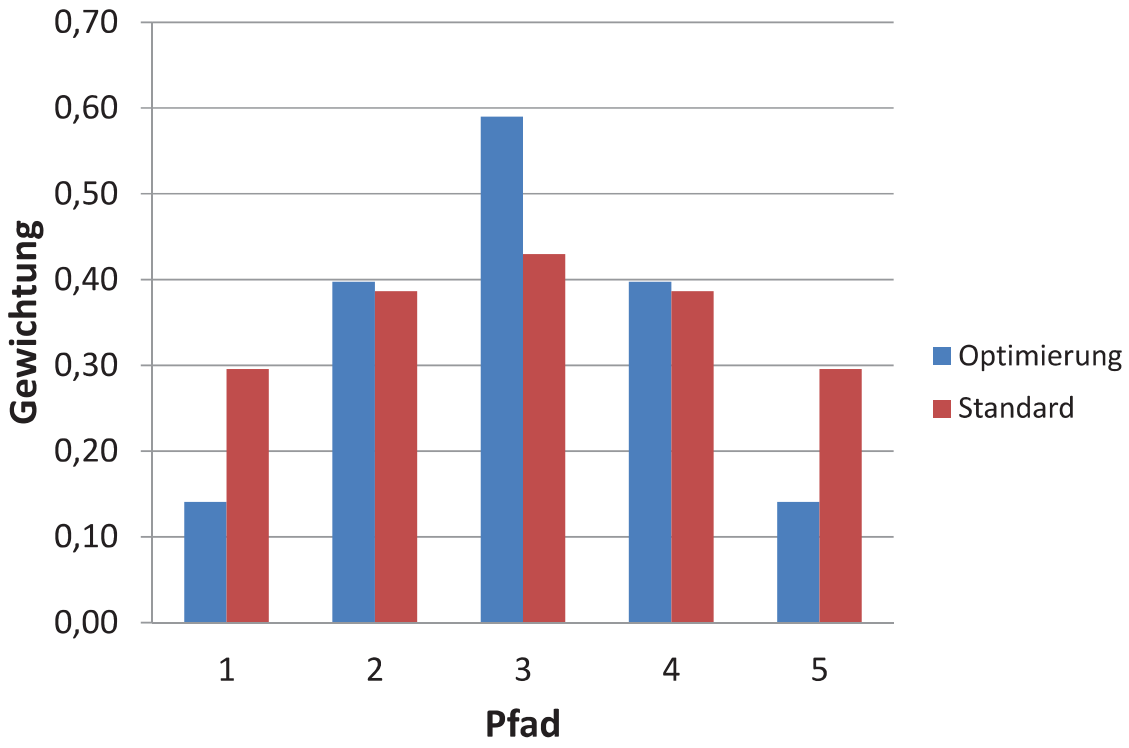
Empfindlichkeitsanalyse

Wärmezählerprüfstrecke

$390\ m^3/h$ und $80^o C$

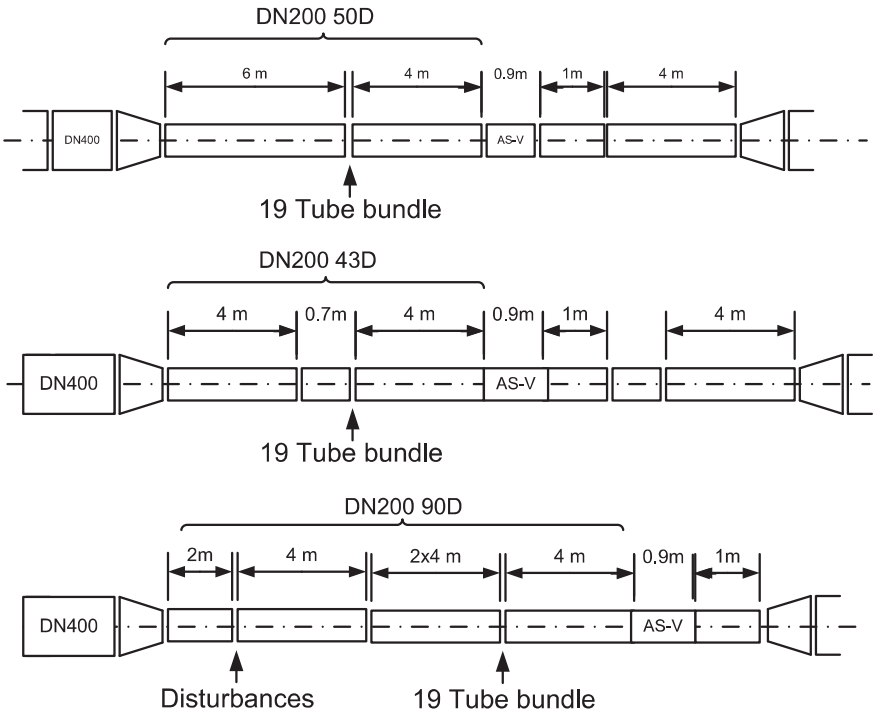


Optimierung der Gewichtung



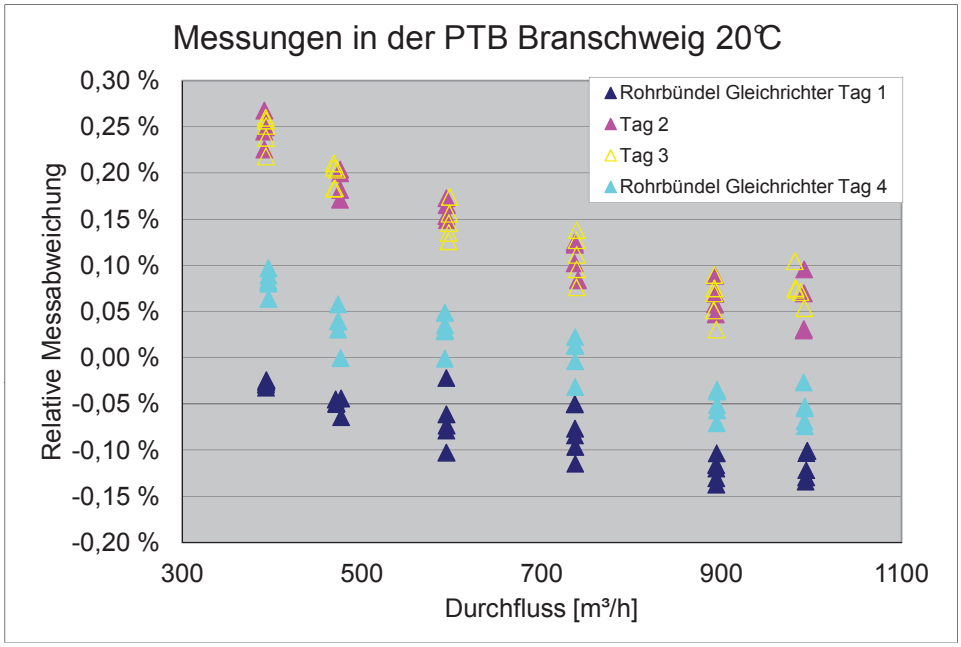
Messergebnisse

Einbaubedingungen NMIJ / PTB-BS und PTB-Berlin



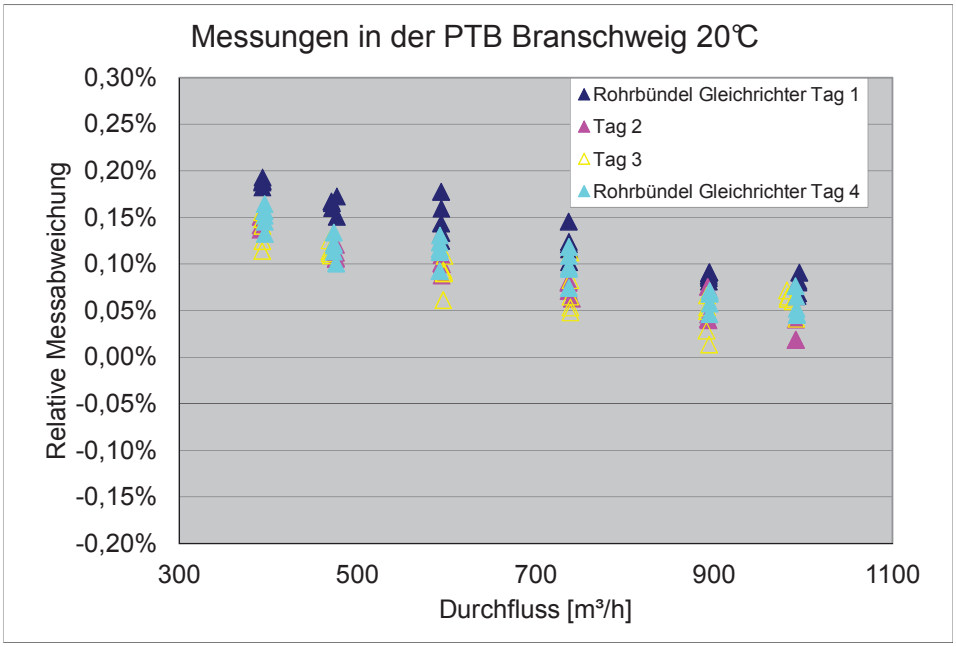
Messergebnisse

Gesamtergebnisse in PTB-Braunschweig

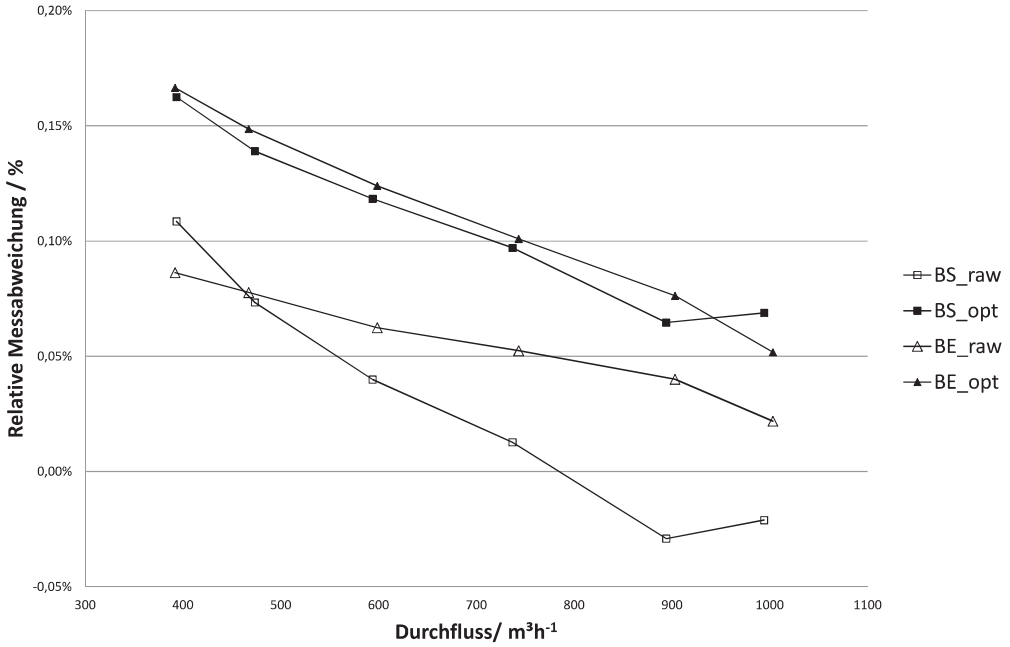


Messergebnisse

Gesamtergebnisse in PTB-Braunschweig

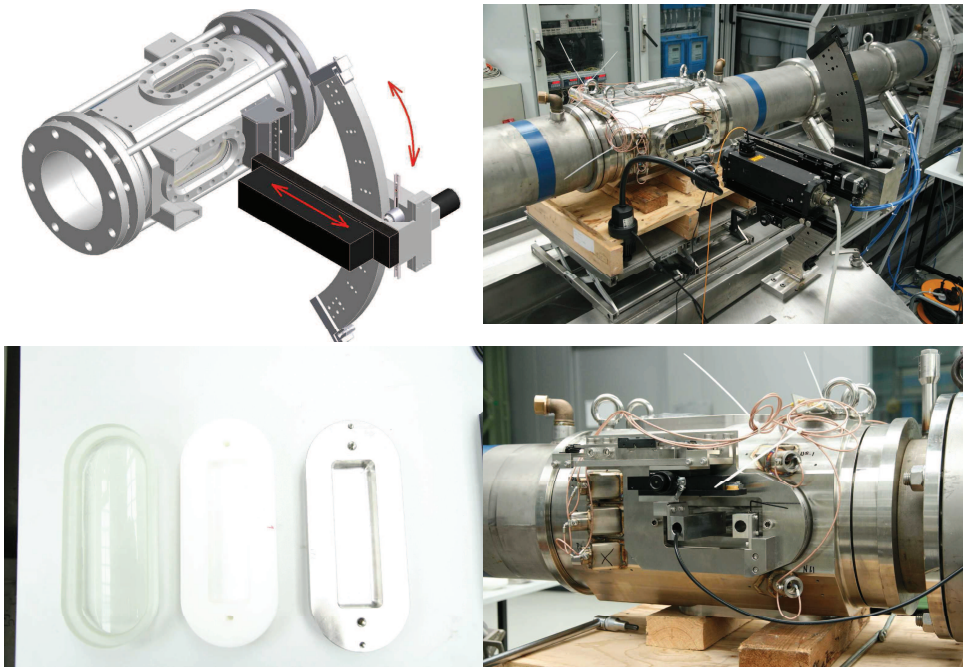


Gesamtergebnisse in PTB-Braunschweig / PTB-Berlin



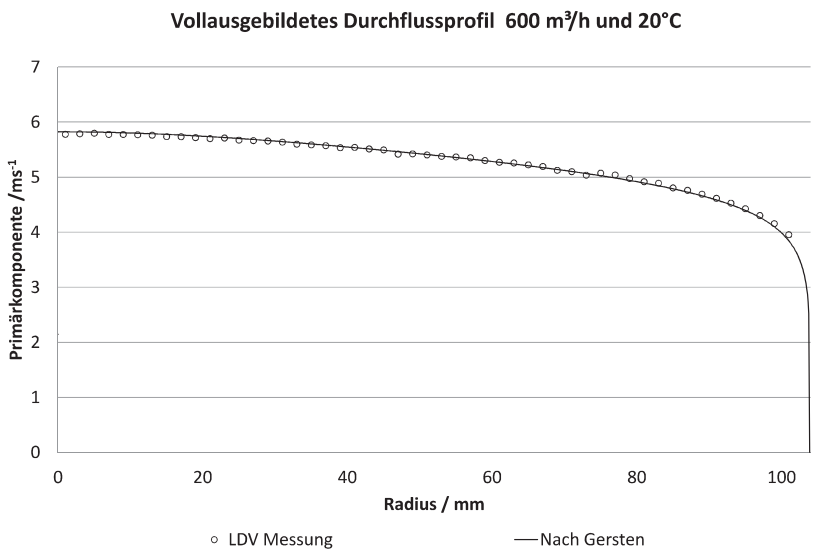
US-LDV Fensterkammer

LDV / US-doppler /US Time of flight



Profilmessungen

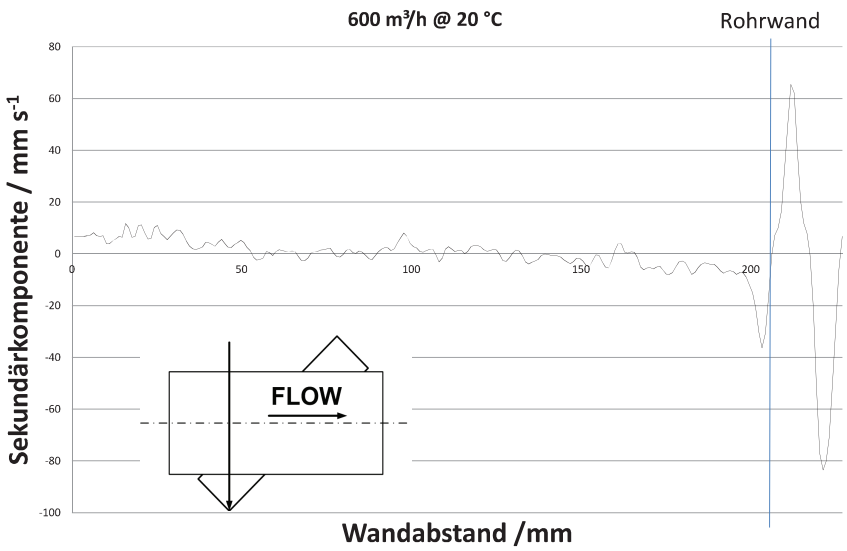
LDV



Der Einfluss der Taschen auf die Primärkomponente ist durch LDV nicht messbar.

Profilmessungen

US-doppler



Es gibt nachweisslich Sekundärkomponenten die einen Einfluss auf die scheinbar gemessene Primärkomponente haben.

Zusammenfassung

- Optimierte Ultraschalldurchflusssensoren eignen sich für die Verwendung als Transfernormale
- Die betrachteten Durchflussmessanlagen der PTB in Berlin und Braunschweig sind konsistent

- Nächste Schritte
  - Abschluss des Vergleichs PTB - NMIJ
  - Messung der Reynoldsabhängigkeit von $\sum w_i e_i$.