

TÜV Rheinland Insitu Calibration GmbH

## **Laseroptische In-Situ Messmethode zur Überprüfung von Durchfluss-Sensoren im Einbauzustand**

**Fair.  
Oder ungefähr.**

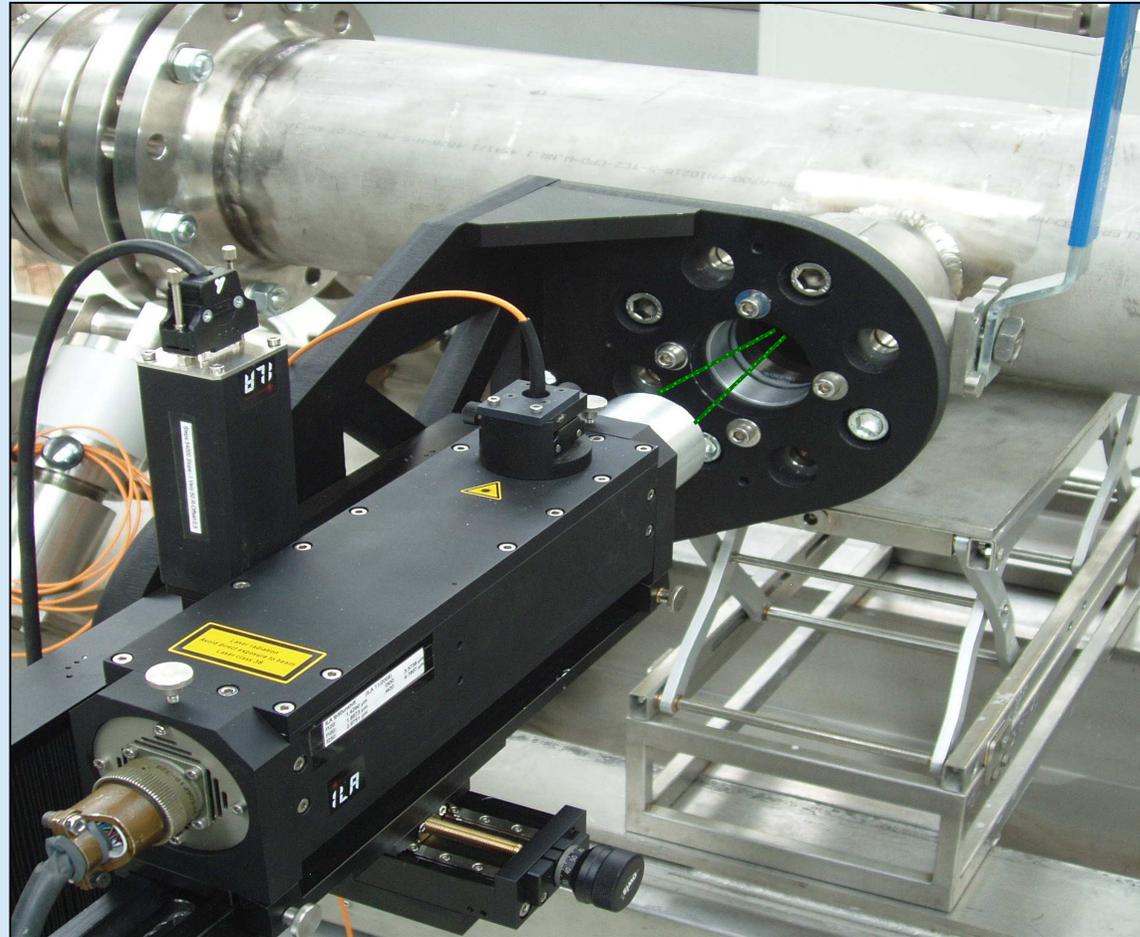
[Insitu-Calibration@de.tuv.com](mailto:Insitu-Calibration@de.tuv.com), [www.tuv.com/tric](http://www.tuv.com/tric)



# Vor-Ort-Kalibrierung von Durchflusszählern

## Laser-optisches Verfahren (LDV)

- Ohne Betriebsunterbrechung
- Berücksichtigung der Einbausituation
- Messverfahren durch die PTB zertifiziert
- Ermittlung der Messabweichungen
- Minimierung von Bilanzverlusten
- Ggf. Korrektur der Kalibrierkoeffizienten (unter Einbeziehung der Eichbehörde)



# Vor-Ort Kalibrierung von Durchflusszählern

## immer, wenn ...

- hohe Ansprüche an die Messgenauigkeit gestellt werden
- Messgeräte nur mit hohem Aufwand getauscht werden können
- gestörte Einlaufbedingungen vorliegen
- Messergebnisse angezweifelt werden



# Vor-Ort-Kalibrierung von Durchflusszählern

## Anwendungsgebiete

- Fernwärme
- Kraftwerksleitungen
- Chemieanlagen
- Gasversorgung
- weitere transparente Fluide

Typische Rohrdurchmesser  
ab **DN 150** bis über **DN 1000**

Drücke bis ca. **25 (40) bar**

Temperaturen bis ca. **200°C**  
(begrenzt durch Festigkeit des Schauglases)



# Messabweichungen, Ursachen und Konsequenzen



- undefinierte Strömungsverhältnisse im Einbauzustand (Vorlaufängen, Störungen, Umlenkungen, ...)
- Kalibrierung auf Prüfständen unter abweichenden Randbedingungen (Kaltwasser, andere Medien, Zuströmbedingungen, Arbeitspunkte, ...)
- Lange Einsatzzeiten von z. T. über 20 Jahren (Alterung, Drift, ...)
- Fehlende Eichpflicht für Messstellen über 10 MW (Fernwärme)
- Ablagerungen im Rohrquerschnitt, Abrasionen (z. B. bei Messblenden)
- mangelhafte Auslegung / Dimensionierung der Messstelle bzw. des Sensors

**➔ führt zu teilweise erheblichen Messabweichungen**

# Messabweichungen, wirtschaftliche Auswirkungen

- festgestellte Messabweichungen teilweise 5 bis 10 % und mehr (in einigen Fällen über 30 %)
- 10% Messfehler entsprechen bei 10 MW Wärmeleistung bereits 440 T€ Bilanzabweichung im Jahr\*
- Bilanzverluste über 100 T€ oder 1 Mio. € sind nicht selten
- Imageverlust im Fall einer Übervorteilung



\* Berechnungsbasis:

Messstelle mit Wärmeleistung von 10 MW,  
Jahresenergie beträgt ca. 90 GWh oder ca. 4,4 Mio €



# Arbeitsschritte



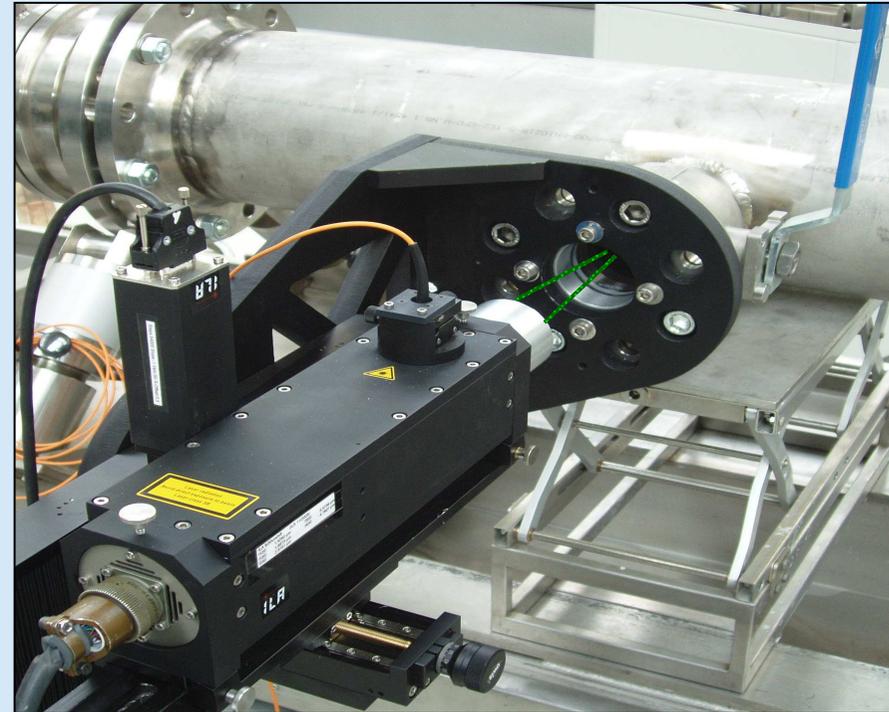
1. Aufschweißen eines Kugelhahns an die Rohrleitung
2. Anbohrung während des Betriebs (hot-tapping)
3. Montage von Fensterhülse und Schauglas

In Kooperation mit:  
VATTENFALL Europe Wärme AG



# Arbeitsschritte

4. Installation der mobilen LDV-Messeinrichtung
5. Kalibrierungsmessung vor Ort (Arbeitspunkte nach Bedarf)
6. Dokumentation und Auswertung
7. Demontage der Messtechnik
8. Sicherung des geschlossenen Kugelhahnes mit Blindflansch
9. Vorbereitung für Wiederholungsmessungen



In Kooperation mit:

**OPTOLUTION**  
messtechnische lösungen

**ILA**  
Intelligent Laser  
Applications GmbH

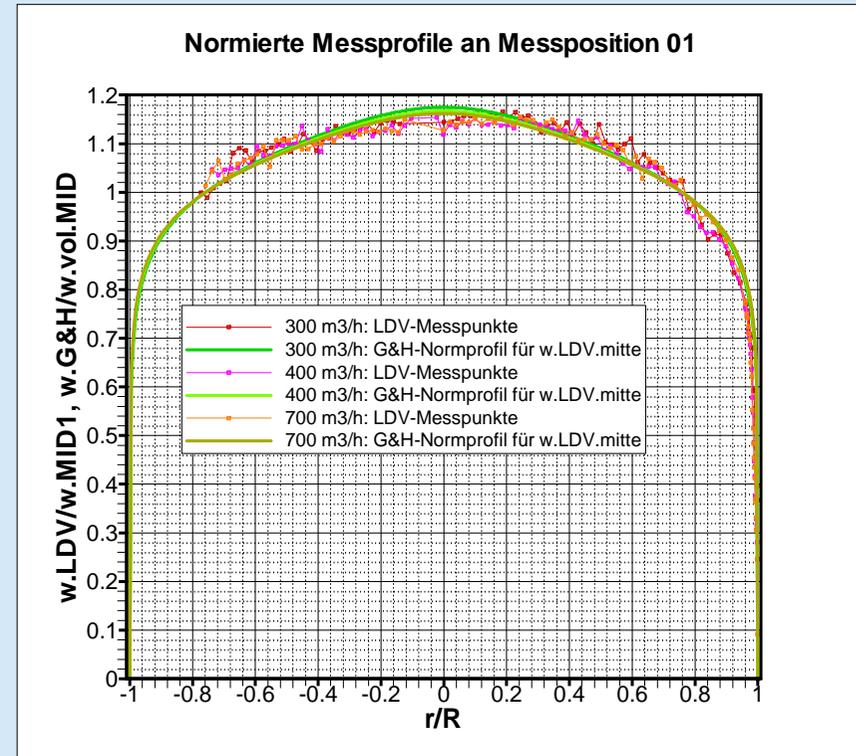
**PTB**

geprüft:



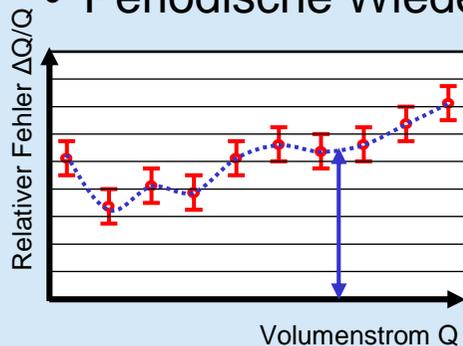
# Normierung der lokalen Geschwindigkeit

- Aufnahme eines Geschwindigkeitsprofils (ca. 100 - 200 Messpunkte)
- Dauer der Messung ca. 1 Stunde je Arbeitsplatz
- dabei näherungsweise Konstanz des Durchflusses um  $\pm 20\%$  erforderlich
- Linearität des Prüflings in diesem Messbereich wird vorausgesetzt
- Integration auch für nicht ausgebildete Geschwindigkeitsprofile sehr genau (Rotationssymmetrie)
- Mess- bzw. Auswerteverfahren kann auch asymmetrische Strömungsprofile berücksichtigen



# Darstellung der Messergebnisse

- Ermittlung der Messabweichung des Prüflings bzw. Bestätigung der Messgenauigkeit
- Erstellung eines entsprechenden Kalibrier- / Überprüfungszeugnisses des TÜV Rheinland
- Angabe der realisierten Messunsicherheit des LDV-Verfahrens
- Ermittlung von Kalibrierungskoeffizienten für vorhandene Durchflusssensoren
- Ggf. Eichung bzw. Verlängerung der Eichfrist (in Kooperation mit dem zuständigen Eichamt)
- Periodische Wiederholungsmessungen



○ Messunsicherheit des LDV-Verfahrens (abgesichert durch PTB-Zertifikat)

↕ Messfehler der Durchflussmessung (Zertifikat des TÜV Rheinland)

**Kalibrier-/Überprüfungszeugnis**  
LDV-Durchfluss-Messung im Einbauzustand

**TÜV Rheinland**  
Genau. Richtig.

TÜV Rheinland Insitu Calibration GmbH  
Am Grauen Stein • D-51101 Köln

Zertifikats-Nummer: 2010-TRIC-C-101  
Datum der Kalibrierung: 17.04.2010

**Auftraggeber**  
Firma: [redacted]  
Anschrift: [redacted]  
Land-PLZ Ort: [redacted]  
Kunden-Nr: [redacted]  
Ansprechpartner: [redacted]  
Funktion: [redacted]

**Kalibrierort**  
Firma: [redacted]  
Standort: [redacted]  
Land-PLZ Ort: [redacted]  
Einsatz-Zweck: [redacted]  
Telefon: [redacted]  
E-Mail: [redacted]

**DFS-Daten**  
DFS-Typ: Messblende DN 500  
Seriell-Nummer: [redacted]  
Hersteller: ABB  
Baugröße: 1995  
Messstelle: Nord (Charottenburg)  
Durchflussrichtung: Nord => Süd

Messbereich: 400 m³/h bis 800 m³/h  
Signalausgang (0 bis 20) mA: (0 bis 2000) m³/h  
Kalibrierbereich: 400 m³/h bis 800 m³/h  
Maximal zulässiger Fehler: Keine Angaben  
Prüfbedingungen: Instationär

**Referenzen / Normale**  
Bezug Prüfmittel: PTB  
Kalibriermethode / Prüftyp: LDV-Segmentverfahren  
Umgebungsbedingungen: In Rohrleitung, ca. 10 D vor Prüfling

Zustrombedingungen DFS: VL: > 100 D; NL: > 100 D  
Zustrombedingungen LDV: 12 D; NL: 14 D  
Besonderheiten: Bei Prüfpunkten 2 und 3 Abgasvolumenstrom mit 30 m³/h (gemäß Kundenangabe) berücksichtigt  
Für Prüfpunkte 2 und 3: ca. 2 %  
Für Prüfpunkte 1 und 4: ca. 3 %

**Medium / Umgebungsbedingungen**  
FW-Medium: T = (110 ± 2)°C  
p = (12...15) bar  
LDV-Messunsicherheiten

Prüf-punkt	Kalibrier-Ergebnisse (vor-Ort im Einbauzustand)		Relative Abweichung (%)	±MPE [%]	Bemerkung
	Volumenstrom [m³/h]	LDV-Referenzwert [m³/h]			
1a	413,11	426,26	-3,20	keine Angaben	
1b	420,72	442,27	-4,87	keine Angaben	
2a	534,00	556,83	-4,10	keine Angaben	Abgasvolumenstrom mit 30 m³/h (gemäß Kundenangabe) berücksichtigt
2b	601,49	629,20	-4,41	keine Angaben	
3a	768,05	796,43	-3,44	keine Angaben	
3b	771,80	788,79	-2,18	keine Angaben	
4a	910,85	926,89	-1,69	keine Angaben	
4b	917,54	939,16	-2,30	keine Angaben	

**Darstellung der Kalibrier-Ergebnisse:**

**Kontrollmitr.**  Prüfling kontrolliert  Prüfling nicht kontrolliert  
Gültigkeit: bis zum 16.04.2012  
Wiederholungsmessung empfohlen

**Realität/Bemerkungen**  
Auf Grund der ermittelten Messergebnisse empfehlen wir die Realisierung folgender Massnahmen:  
1. sofortige Berücksichtigung der ermittelten Messabweichungen des Prüflings für die aktuelle Bilanzierung/Messungen  
2. Einbringung einer Volumenstrom-Messung für die Abgasmenge zur Reduzierung der Messunsicherheit

Köln, den 03.05.2010  
Prüfer: Dr.-Ing. Peter Guntermann  
Unterschrift: [redacted]

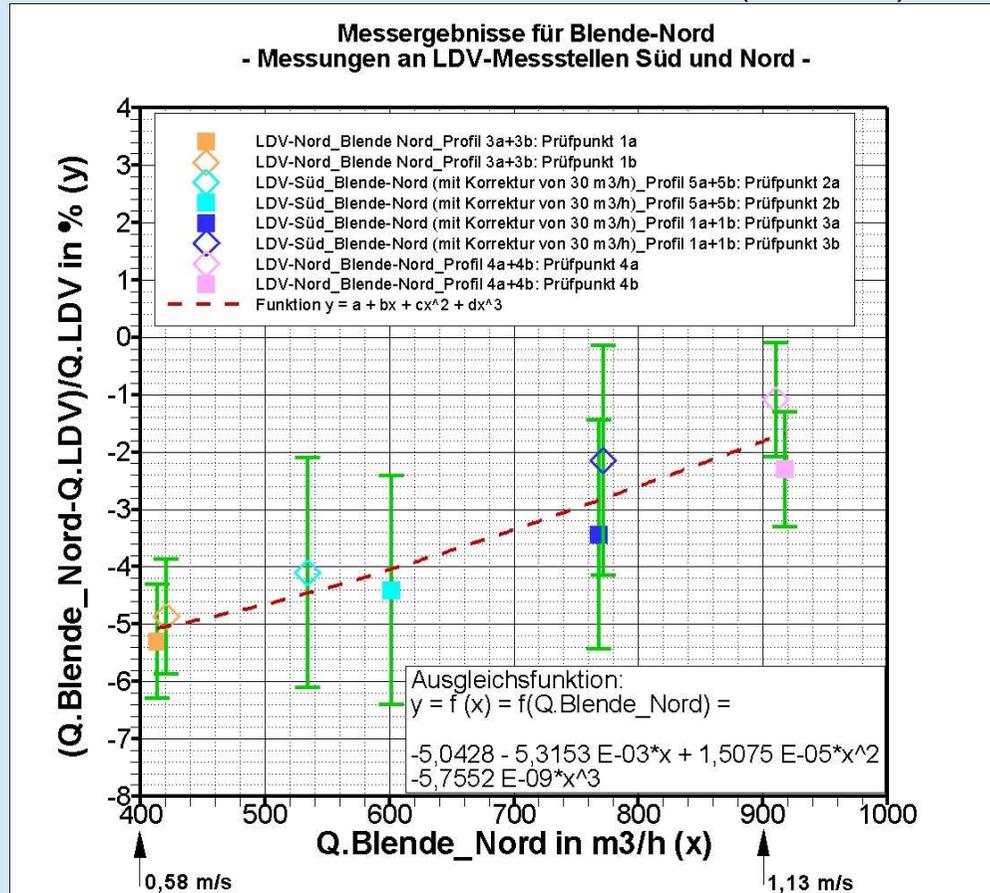
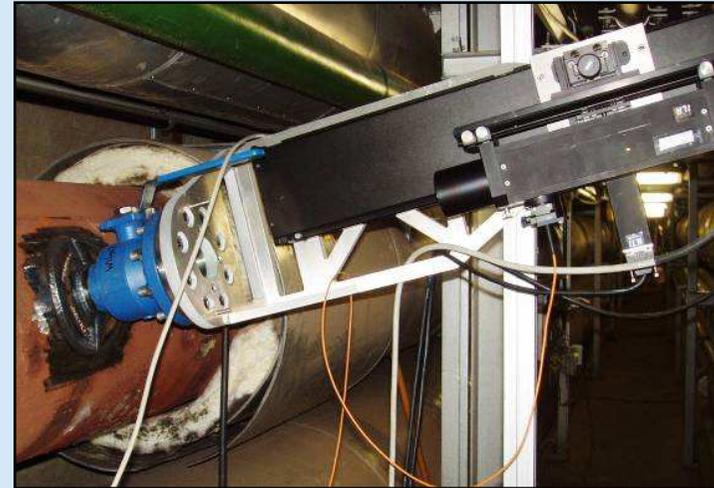
TÜV Rheinland Insitu Calibration GmbH www.tuv.com  
Am Grauen Stein 51105 Köln  
Ordnungs-Nr.: 03010000000000000000  
AD Köln 1000 BEF  
BLAZ: 2184791210



# Ergebnisse Überprüfung Messblende (Beispiel 1)

Fluidbedingungen:

Fernwärme-Wasser  
 $\rho = (12 - 15) \text{ bar}$   
 $T = (110 \pm 2)^\circ\text{C}$



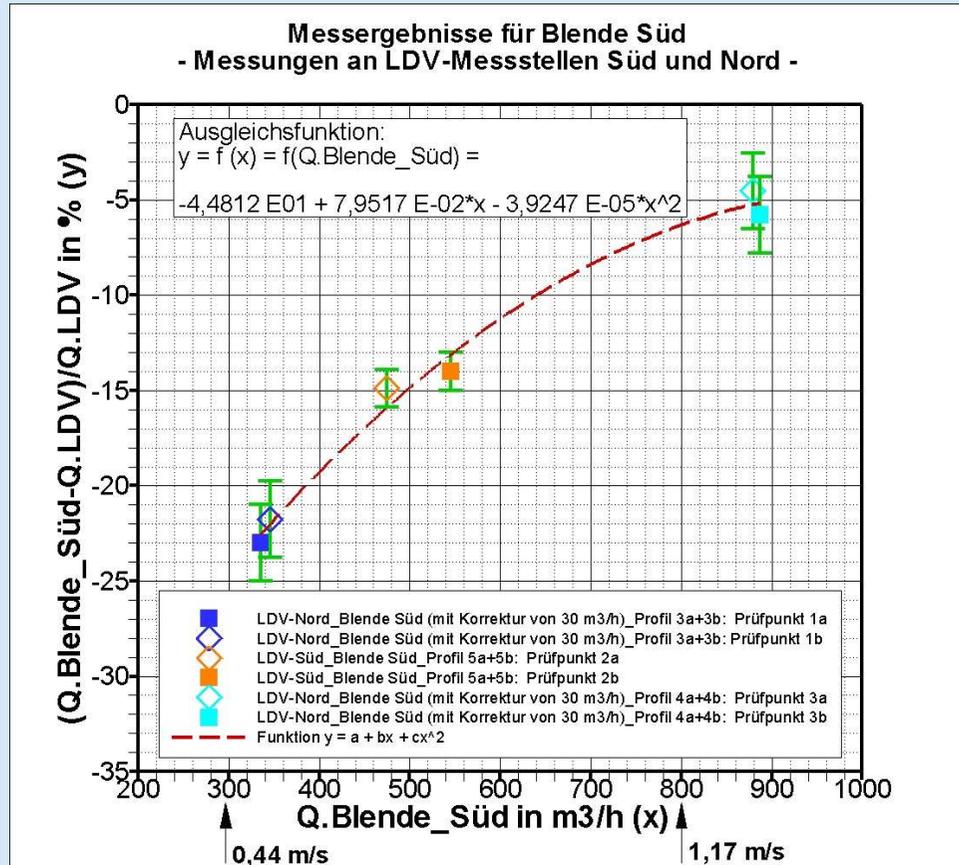
# Ergebnisse

## Überprüfung Messblende

### (Beispiel 2)

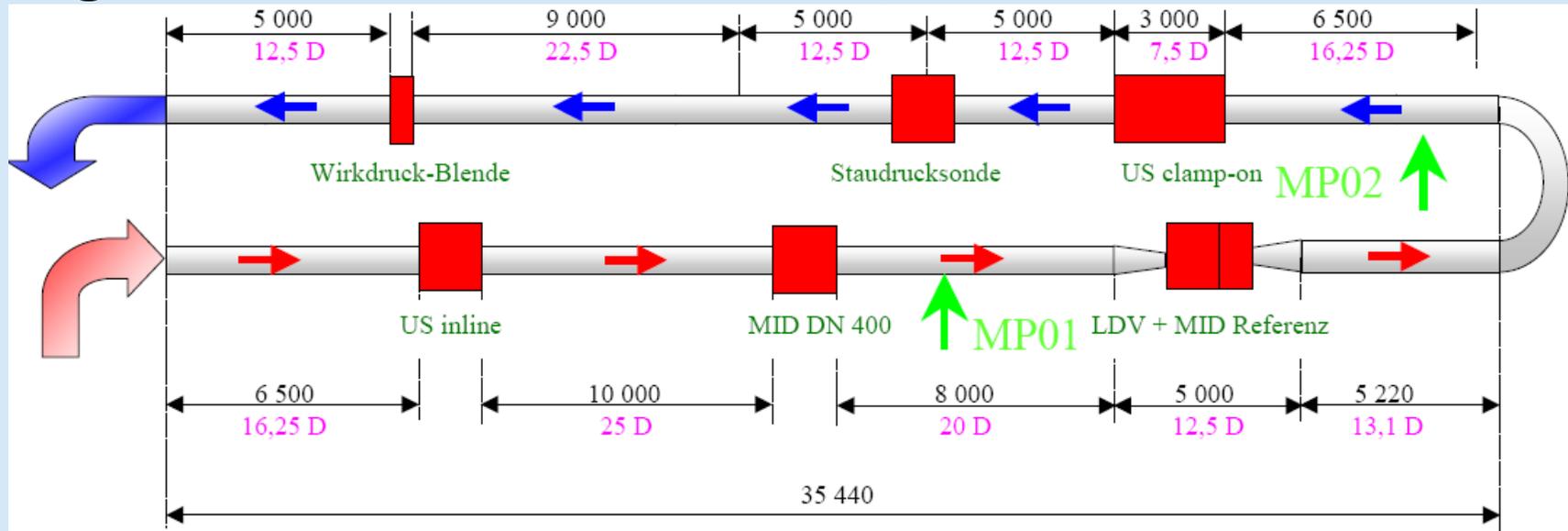
Fluidbedingungen:

Fernwärme-Wasser  
 $\rho = (12 - 15) \text{ bar}$   
 $T = (110 \pm 2)^\circ\text{C}$



# Ergebnisse

## Überprüfung MID, US-Sonde (Beispiel 3 u. 4)



### Fluidbedingungen:

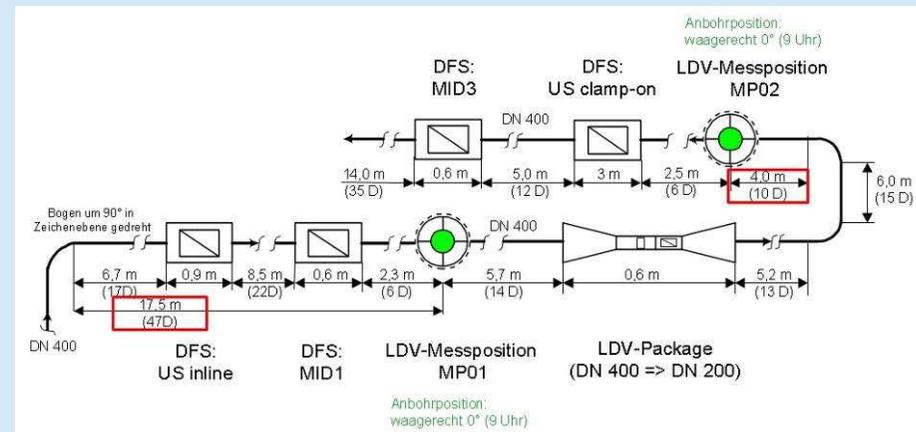
Fernwärme-Wasser



$$p = (2 \dots 1) \text{ bar}$$

$$T = (50 \dots 60) \text{ }^\circ\text{C}$$

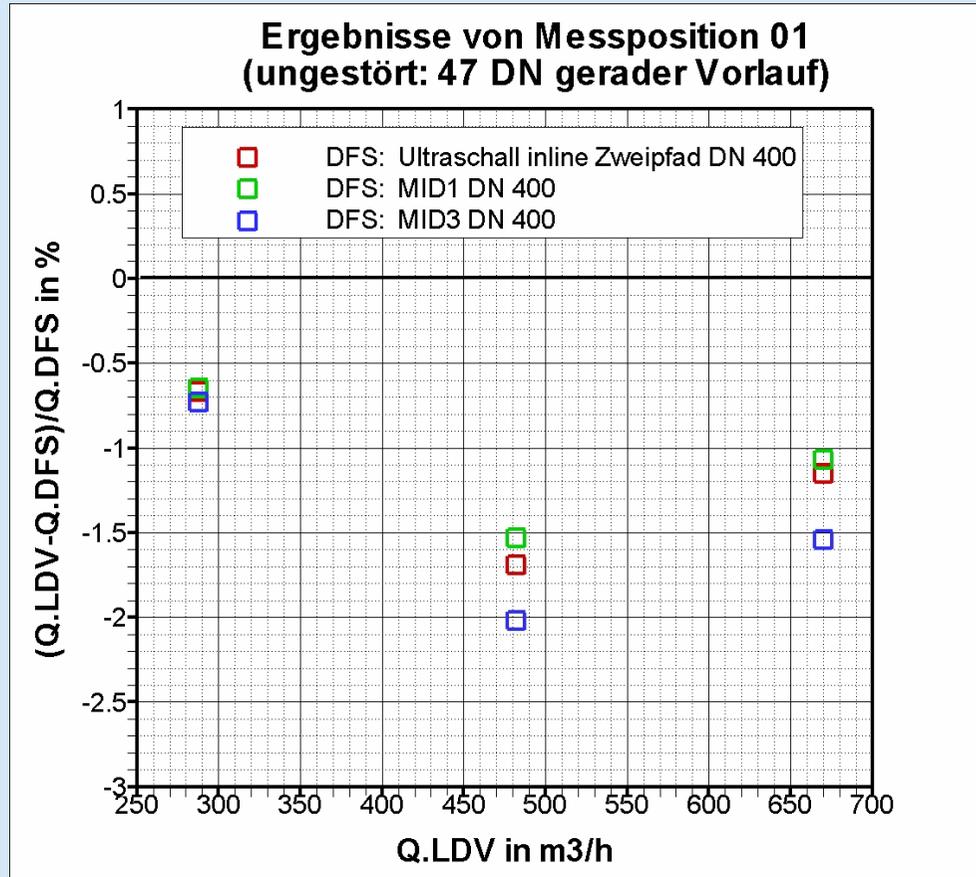
$$Q = (200 \dots 1000) \text{ m}^3/\text{h}$$



# Ergebnisse

## Überprüfung MID, US-DFS

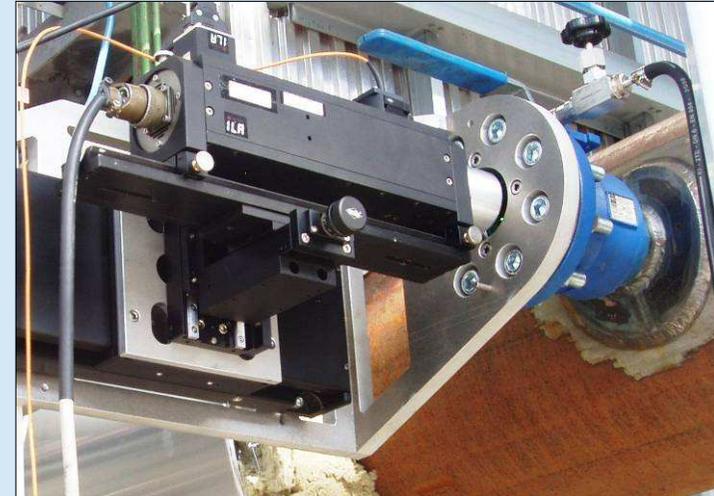
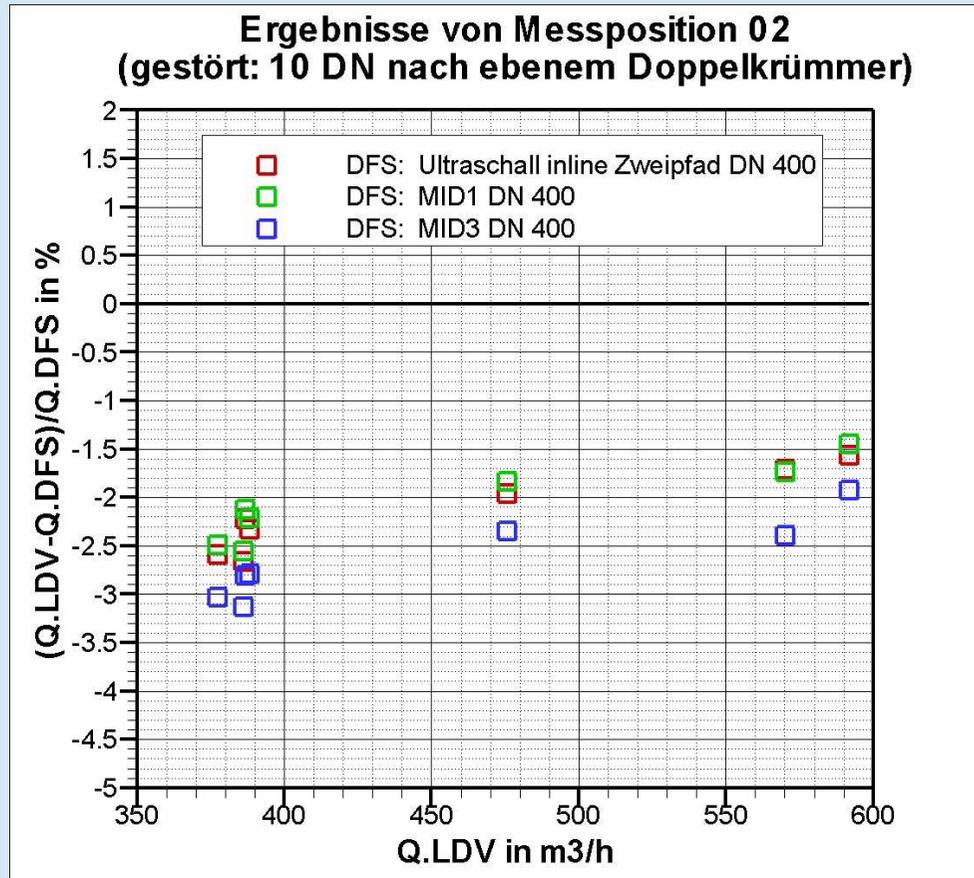
### (Beispiel 3)



# Ergebnisse

## Überprüfung MID, US-DFS

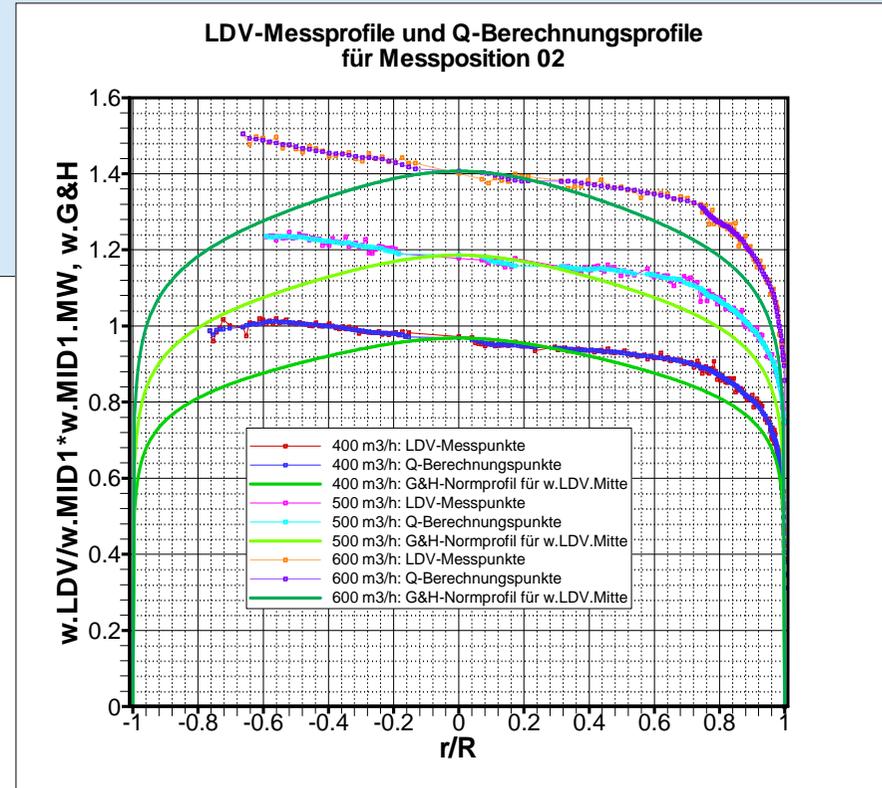
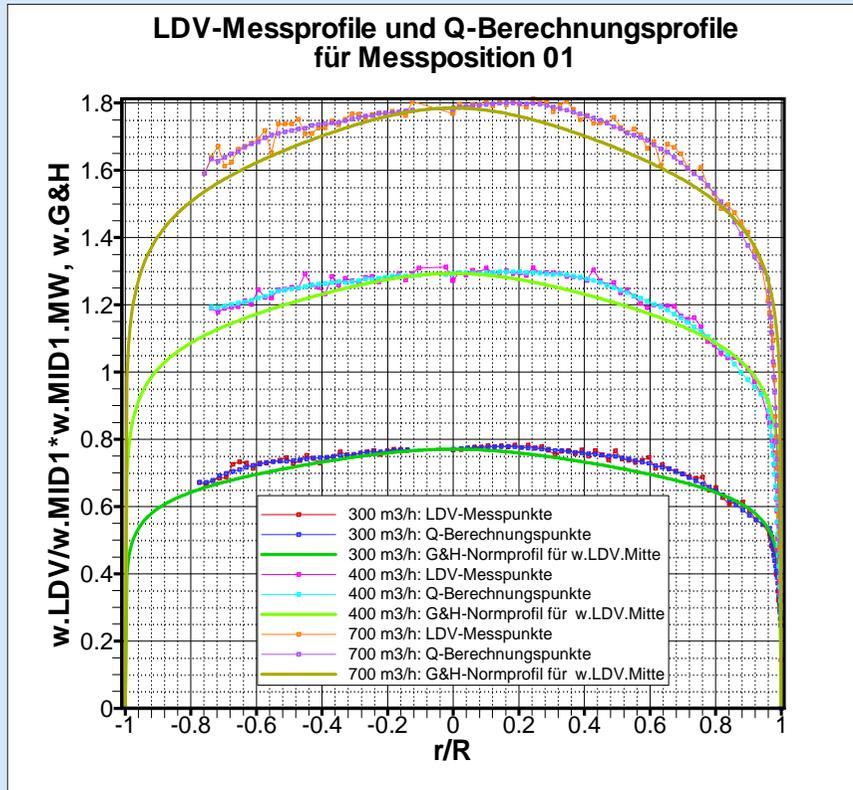
### (Beispiel 4)



# Ergebnisse

## Überprüfung MID, US-DFS

### (Beispiel 3 und 4)



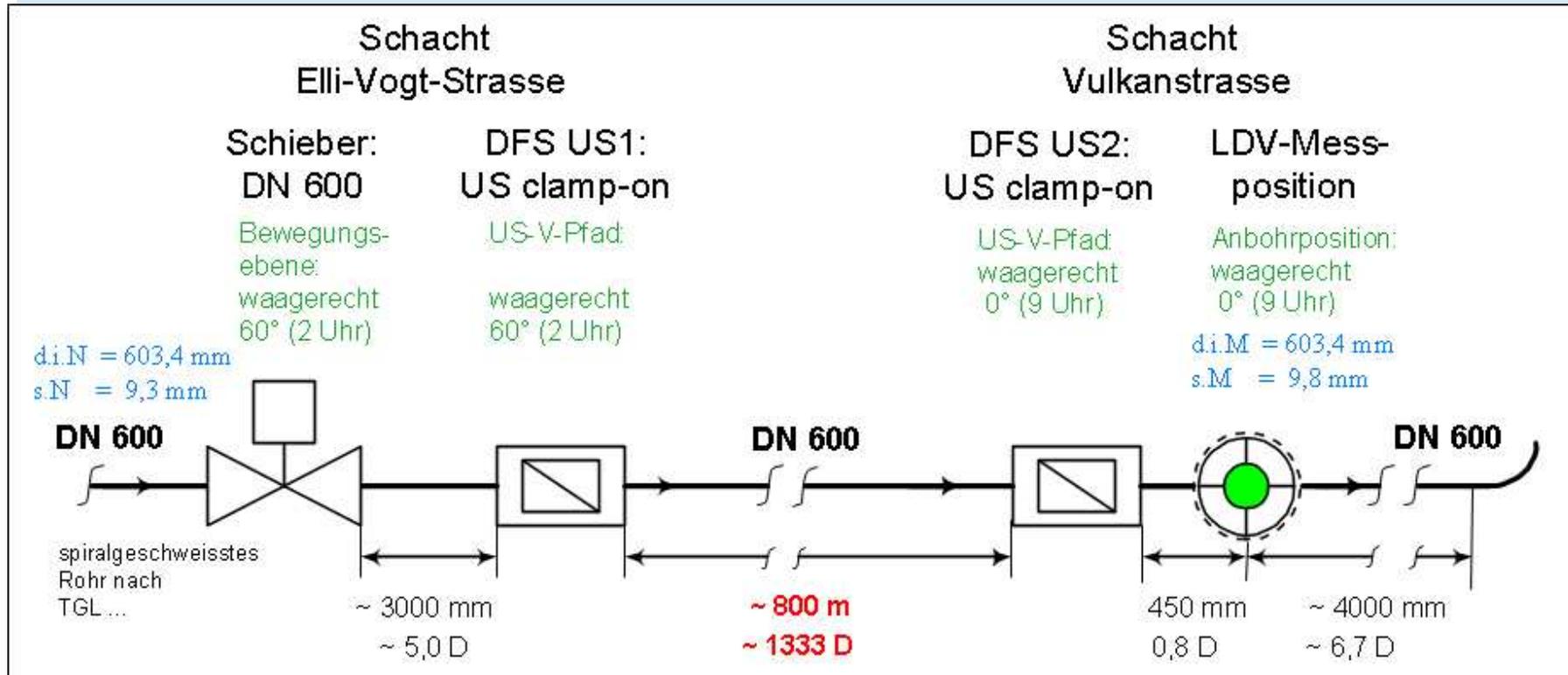
# Ergebnisse

## Überprüfung US-clamp-on (Beispiel 5)

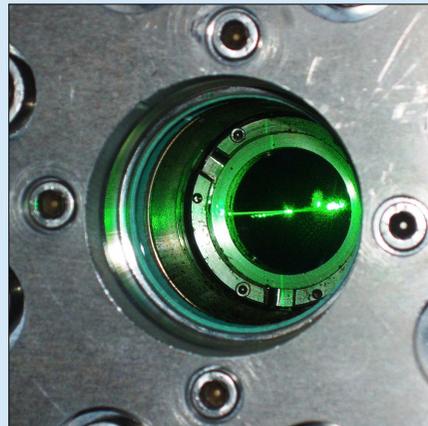
Fluidbedingungen: Wasser,  $T = (62 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$

$p_{\text{Nord}} = (5 \dots 7) \text{ bar}$

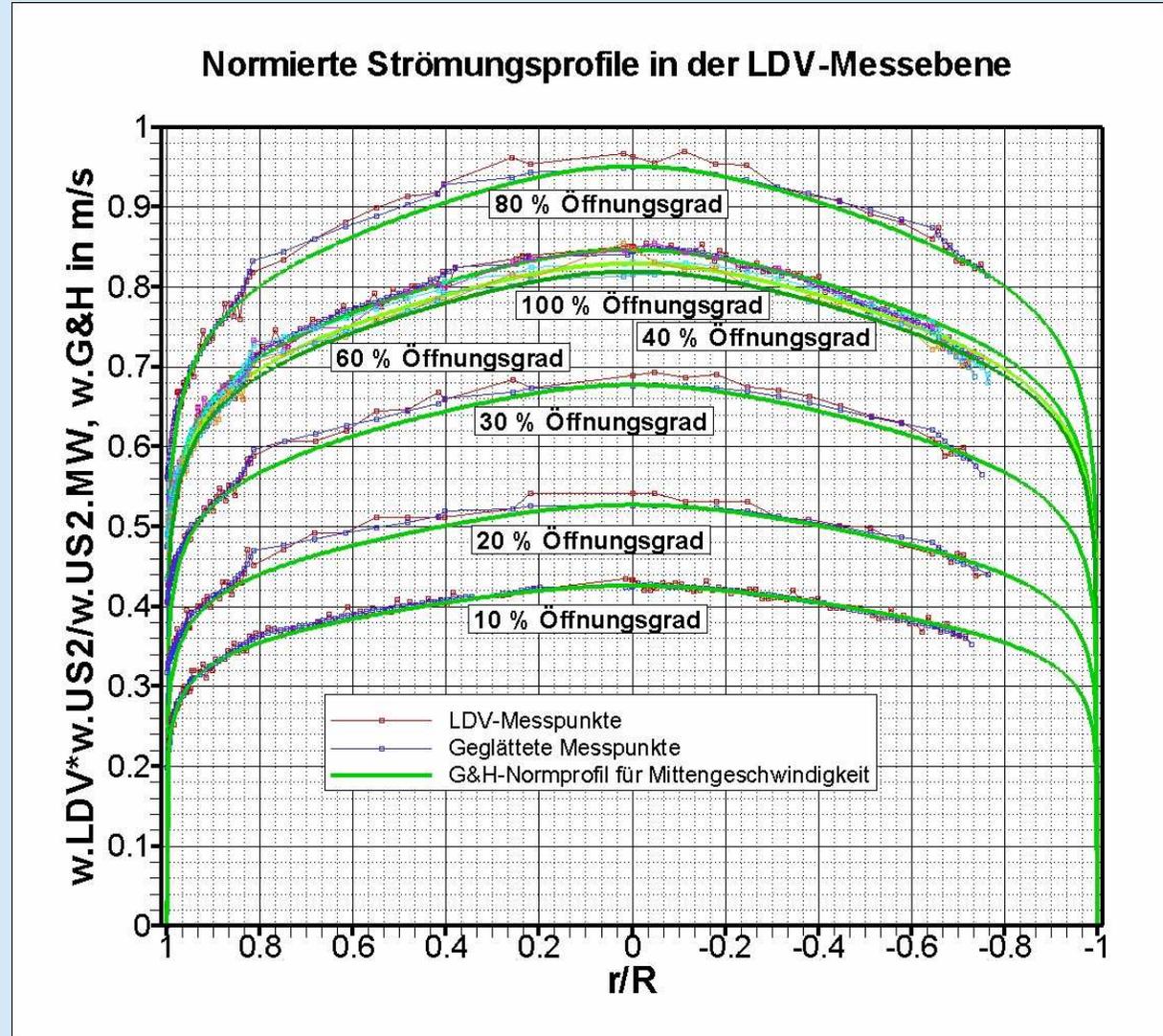
$Q = (300 \dots 900) \text{ m}^3/\text{h}$



# Ergebnisse Überprüfung US-clamp-on (Beispiel 5)



# Ergebnisse Überprüfung US-clamp-on (Beispiel 5)



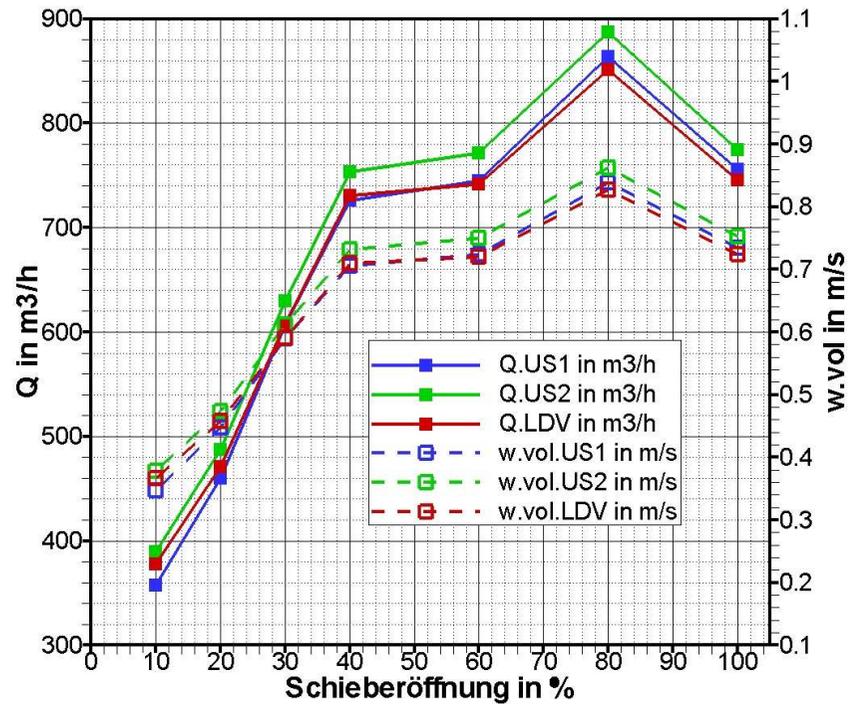
# Ergebnisse

## Überprüfung

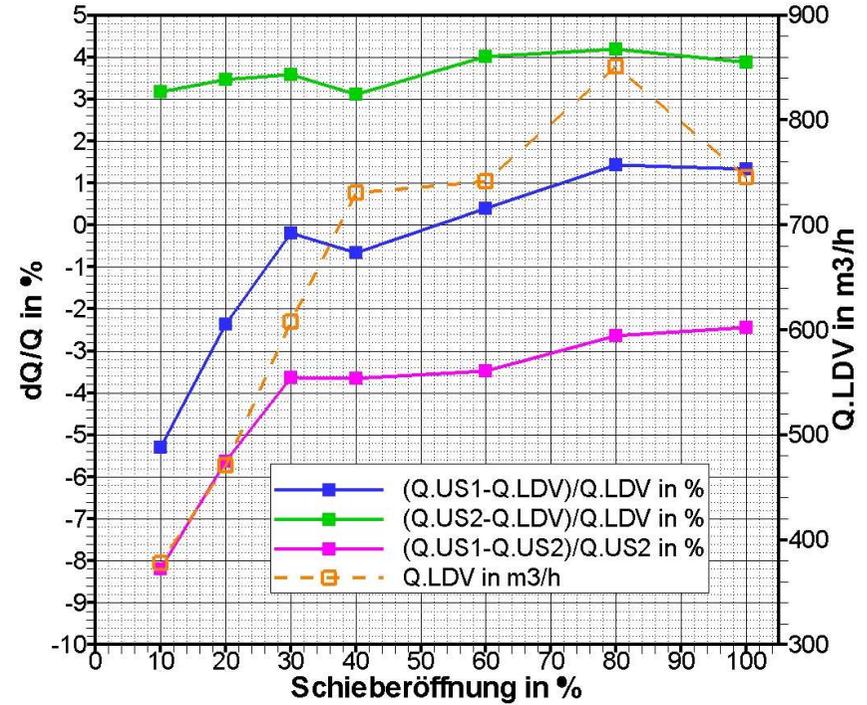
### US-clamp-on

#### (Beispiel 5)

Vergleich der Volumenströme und volumetrischen Geschwindigkeiten



Abweichungen der Volumenströme



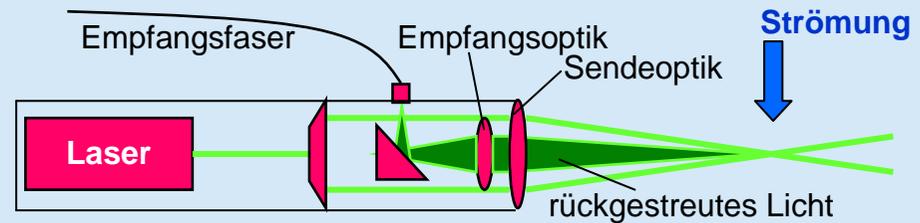
## Resumé

- Insitu-Verfahren hat sich als praxistaugliches Instrument erwiesen (Anbohrung, Konturfensterbau, Durchführung, Auswertung)
- Das Verfahren ist unter verschiedensten Einsatzbedingungen bewährt (stationär, instationär, ungestörte, gestörte Anströmung, verschiedene Temperaturen, Drücke und Volumenströme, derzeit DN 200 bis DN 600)
- Ergebnisse weisen die Notwendigkeit der Insitu-Messungen eindrücklich nach (teilweise wurden Messabweichungen über 25 % festgestellt)
- Messverfahren bietet Potential für die Kalibrierung und Eichung vor Ort, insbesondere bei Messstellen, wo ein Ausbau und eine Prüfstands-kalibrierung nicht (wirtschaftlich) möglich sind.
- Zur Weiterentwicklung und Optimierung sowie zur Beurteilung der Messunsicherheit vor Ort bei gestörten Strömungsbedingungen finden umfangreiche Forschungsarbeiten in Kooperation mit der PTB Berlin und Braunschweig statt.

# Laser-Doppler Velocimetry

## Vor-Ort, minimal invasiv (Hot-tapping-Verfahren)

- ohne Betriebsunterbrechung
- minimaler Platzbedarf
- hohe Genauigkeit (je nach Anströmbedingungen 0,5 bis 3 %)

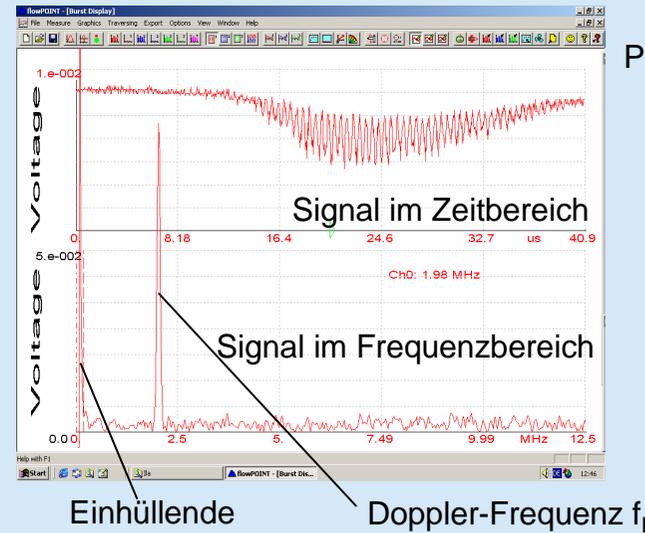


## Laser-Doppler-Velozimeter

- berührungslos, keine Einbauten
- kalibrierungsfrei
- hohe Langzeitstabilität
- keine Temperaturdrift
- verschleißfrei

## Voraussetzungen:

- optische Zugänglichkeit
- transparentes Medium
- Vorhandensein von Partikeln (ggf. seeding)



$$v_x = \Delta x \cdot f_D = \frac{\lambda}{2 \sin \varphi} \cdot f_D$$

# Referenzen

