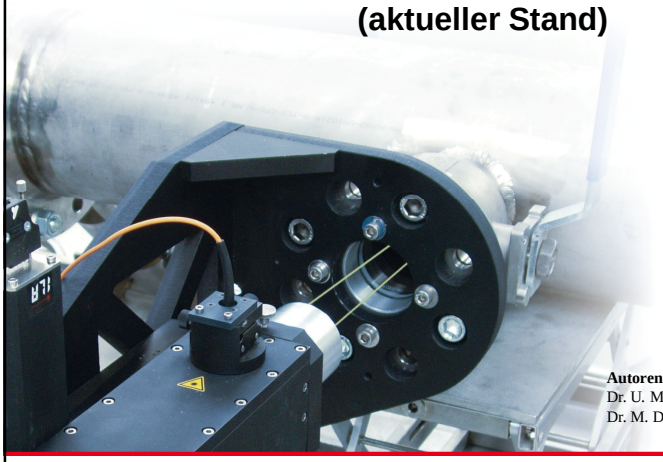
Laseroptische Vor-Ort-Kalibrierung von Durchfluss-Sensoren im Einbauzustand

(aktueller Stand)



Autoren:
Dr. U. Müller — OPTOLUTION GmbH
Dr. M. Dues — ILA GmbH

Gliederung

1. Messtechnologie (Wiederholung)

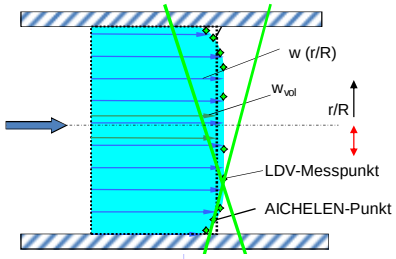
2. Optimierungen des Verfahrens
- 2.1 Normalisierung mit US-clamp-on und Prüfling
- 2.2 Dienstleistungsspektrum

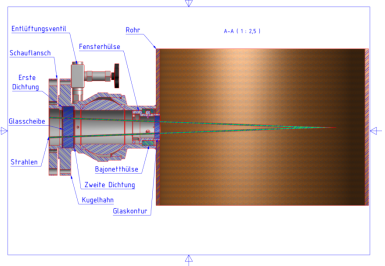
3. Ausgewählte Messergebnisse
- 3.1 Vergleich von Erst- und Wiederholmessungen
- 3.2 Vergleich verschiedener Kalibrierungen
- 3.3 Freifeld-Messungen
- 3.4 Statistik aller bisherigen Messungen

4. Erfahrungen und Ausblick
- 4.1 Erfahrungen
- 4.2 Neue Marktbedürfnisse
- 4.3 Ausblick
- 4.4 Projekt EnEff

1. Messtechnologie – Prinzip

Geschwindigkeitsprofil :





Bestimmung des Volumenstromes durch:

- Integration der Geschwindigkeits-Verteilung

=> **Ganzfeld-Methode**

- Integration von Geschwindigkeitsprofilen

=> **Segmentfeld-Methode**

Vorteile:

+ keine Fensterkammer benötigt (!) – Aufwand reduziert
+ Einbringung ohne Betriebsunterbrechung möglich
+ Berücksichtigung der tatsächlichen Betriebsbedingungen (auch Instationaritäten bzgl. Q und T)
+ Ermittlung der realen Messunsicherheiten der Geräte im Einbauzustand (!!)

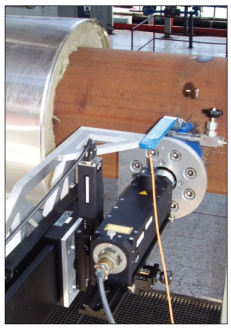
Nachteile:

- symmetrische, konditionierte oder ungestörte bzw. bekannte Strömungsverhältnisse notwendig (z. Z.)
- höhere Messunsicherheit (abhängig von Installation) als bei LDV-Ganzfeldverfahren

OPTOLUTION messtechnische lösungen ILA Intelligent Laser Applications GmbH

1. Messtechnologie - Einsatzgrenzen und Anwendungsmöglichkeiten

- Symmetrische (ungestörte) oder bekannte Strömungsverhältnisse (sonst z. B. weitere Anbohrungen möglich oder Informationen notwendig)
- Für alle transparenten Fluide (Fernwärme, Trinkwasser, Abwasser, Dampf, raffinierte Produkte, Gase, …)
- Branchen: Versorgungstechnik für Wärme/Kälte und Wasser, Kraftwerks-Technik (Wirkungsgradmessungen, Kühlwassermengen)



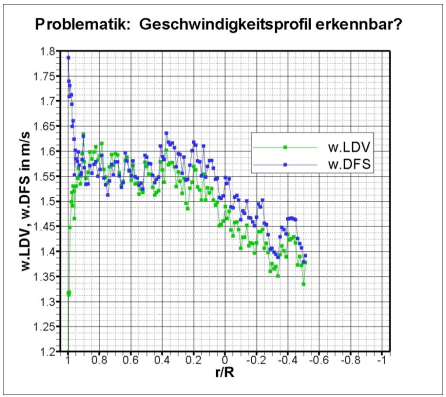
- für $100 \leq DN \leq 1000$ (ab ca. 0,1-0,5 m/s), derzeitig bis PN 25 (40) und T_{max} = 150 °C
- Partikelbeladung (ø ca. 10-50 µm) des Fluids für Sicherstellung einer ausreichenden Datenrate
- Rohrleitungen aus Stahl, (Rohrleitungen aus Kunststoff bei Bedarf möglich)

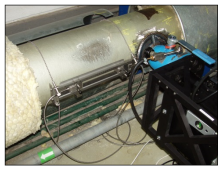
- DFS für die Abrechnung von grossen Wärmemengen bzw. grossen Voluminas/Werten von Wasser, Dampf, Gas, …
- DFS die nur mit hohem Aufwand freigeschaltet, entleert und getauscht werden können
- DFS deren Ergebnisse von den Verrechnungs-partnern angezweifelt werden

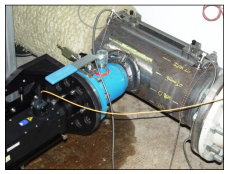
OPTOLUTION messtechnische lösungen ILA Intelligent Laser Applications GmbH

2. Optimierungen des Verfahrens 2.1 Normalisierung

Problematik: Schwankende Volumenströme während der LDV-Messungen
Lösung: Normalisierungs-Algorithmus nach VDI 2640
Nachweis: Normalisierung mit zwei unterschiedlichen DFS
Realisierung: Einsatz von zusätzlichem US-clamp-on-Gerät







OPTOLUTION messtechnische lösungen ILA Intelligent Laser Applications GmbH

2.1. Normalisierung - Algorithmus

Ermittlung des Volumenstromes aus LDV-Messwerten bei instationärem Volumenstrom

1. Für die Dauer jeder LDV-Messung (viele Bursts) an einem Profil-Messpunkt wird der Volumenstrom mit dem DFS-Prüfling simultan erfasst und gemittelt.
2. Der Prüfling besitzt eine unbekannte Messunsicherheit - vorausgesetzt wird, dass die Messabweichungen linear über den instationären Volumenstrom-Bereich sind.
3. Der fehlerbehaftete Volumenstrom wird auf die volumetrische Geschwindigkeit am Messort umgerechnet und dient zur Normalisierung der LDV-Geschwindigkeitsmesswerte (Gleichung 1).
4. Aus den normalisierten (fehlerbehafteten) LDV-Geschwindigkeitswerten wird mittels Interpolationen und Integrationen ein Referenz-Volumen ermittelt (Gleichung 2).
5. Dieses (fehlerbehaftete) Volumen wird mit der über der gesamten LDV-Messzeit gemittelten volumetrischen (fehlerbehafteten) Geschwindigkeit im Messquerschnitt multipliziert (Gleichung 3).
6. Der so ermittelte Volumenstrom bildet ein absolutes Mass für den zeitlich gemittelten Volumenstrom während der LDV-Messung und ist nicht mehr mit der unbekannten Messunsicherheit des DFS-Prüflings behaftet!

$$R(i) = \left(\frac{w_{LDV}}{w_0}\right)_i \quad (1)$$

$$V_{ref} = \int_0^{\pi r^2} \left(\frac{w_{LDV}}{w_0}\right)_i \cdot dA \quad (2)$$

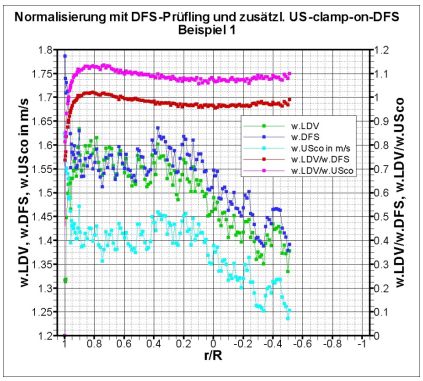
$$\overline{Q}(\Delta t) = V_{ref} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} w_0(i)}{n}\right) = V_{ref} \cdot \overline{w_0}(\Delta t) \quad (3)$$

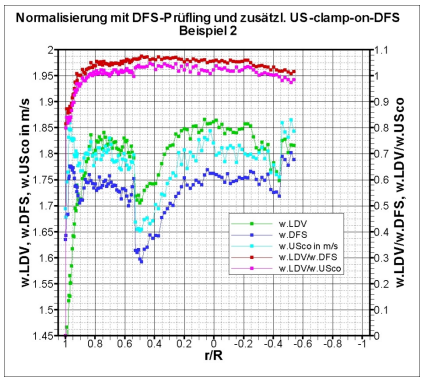
$$Q(t_n) = V_{ref} \cdot w_0(t_n) \quad (4)$$

OPTOLUTION messtechnische lösungen ILA Intelligent Laser Applications GmbH

2.1. Normalisierung - Segmentfeldverfahren

Beispiele für Normalisierung mit jeweils zwei unabhängigen DFS beim LDV-Segmentverfahren



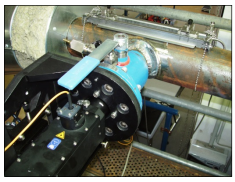


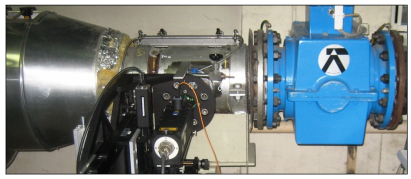
Messung	Q.DFS	Q.USco	(Q.DFS- Q.USco) /Q.USco	(Q.LDV).DFS	(Q.LDV).USco	((Q.LDV)DFS - (Q.LDV)USco) /(Q.LDV)USco
	m³/h	m³/h	%	m³/h	m³/h	%
Beispiel 1	112.12	100.93	11.09	110.05	110.00	0.04
Beispiel 2	208.34	215.07	-3.13	212.26	212.15	0.05

2.1. Normalisierung

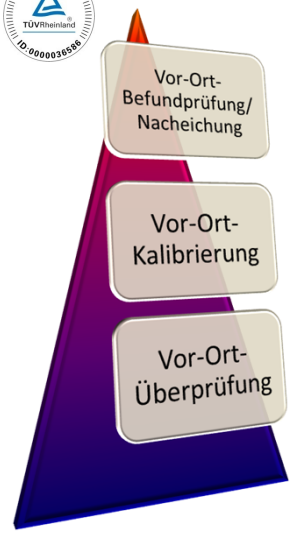
Fazit:

- ab Beginn des Jahres 2012 wird prinzipiell ein Ultraschall-clamp-on-Messgerät zur zusätzlichen Erfassung der Schwankungen des Volumenstromes eingesetzt (=> d. h. bei 10 Praxisfällen mit insgesamt ca. 60 Messungen)
- Die Messabweichungen zwischen den LDV-Volumenströmen und den mit dem USco-DFS gemessenen Volumenströmen liegen bei maximal ca. +/- 13 % und minimal bei ca. +/- 1 % (in Abhängigkeit von der Pfadanzahl und einer Vielzahl sonstiger Randbedingungen)
- Die Abweichungen zwischen den mit dem DFS-Prüfling normalisierten LDV-Volumenströmen und den mit dem USco-DFS normalisierten LDV-Volumenströmen liegen im Bereich von -0,06 % bis +0,06 %.





2. Optimierungen des Verfahrens – 2. 2 Dienstleistungsangebot



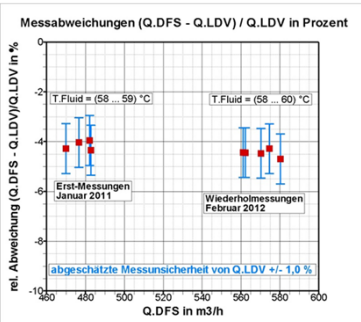
- Laseroptische **Vor-Ort-Befundprüfung/Nacheichung** des DFS (gemäss zukünftiger Vorgaben)
- Nacheichung von Temperaturfühlern und Rechenwerk

- **Laseroptische Kalibrierung** der Messabweichung des DFS
- Angabe der Messabweichungen des DFS (ggf. an mehreren Betriebspunkten)
- Komplette Überprüfung von Wärme-Messstellen => zusätzl. externe Nacheichung von Rechenwerk und Austausch von Temperaturfühlern

- **Überprüfung aller Komponenten** auf Einhaltung der Anerkannten Regeln der Technik
- Überprüfung auf Einhaltung der eichtechnischen Anforderungen
- Plausibilitäts-Überprüfung der Messwerte mit Ultraschall-clamp-on-Technologie
- Keine Angabe von Messabweichungen
- Vorstufe der Vor-Ort-Kontrolle

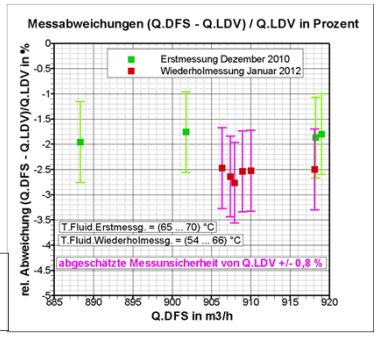
3. 1 Vergleich von Erst- und Wiederholmessungen

Wiederholmessungen nach ca. 12- 15 Monaten an verschiedenen Messstellen

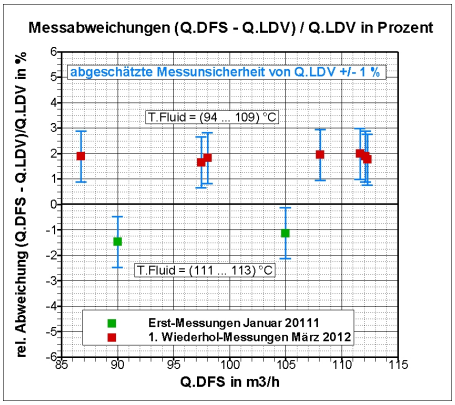


Messstelle N DN 250,
VL DFS 4 D DN 250
VL LDV 6 D DN 250

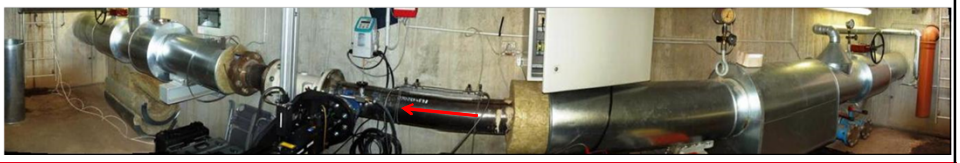
Messstelle K DN 400,
VL DFS 13 D DN 250
VL LDV 10 D DN 400



3. 1 Vergleich von Erst- und Wiederholmessungen



Messstelle B DN 150,
VL DFS 18 D DN 150
VL LDV 16 D DN 150

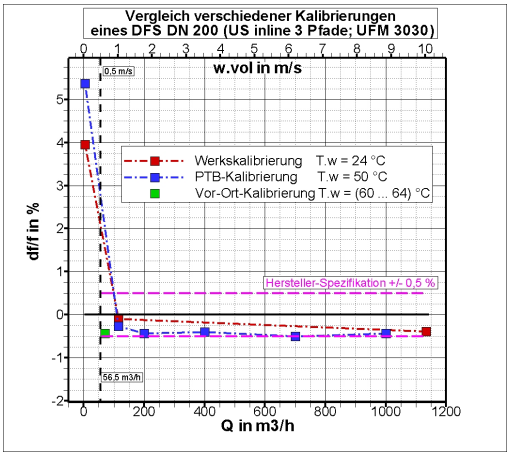


OPTOLUTION messtechnische lösungen — ILA Intelligent Laser Applications GmbH

3.2 Vergleich verschiedener Kalibrierungen

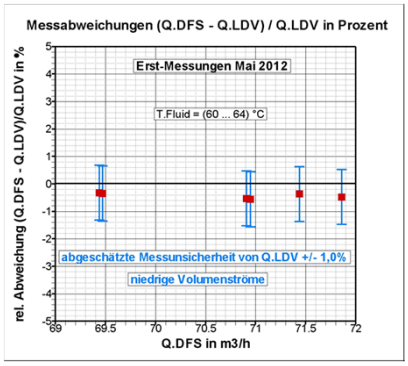
Vergleich der Ergebnisse einer Werkskalibrierung mit einer PTB-Kalibrierung und einer Vor-Ort-Kalibrierung

(in Zusammenarbeit mit VATTENFALL)



Vor-Ort-Kalibrierung:

- VL DFS 10 D DN 200
- VL LDV 15 D DN 200
- w.vol ca. 0,5 m/s (!)



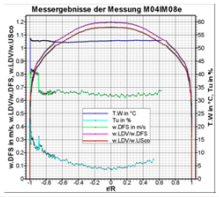
OPTOLUTION messtechnische lösungen — ILA Intelligent Laser Applications GmbH

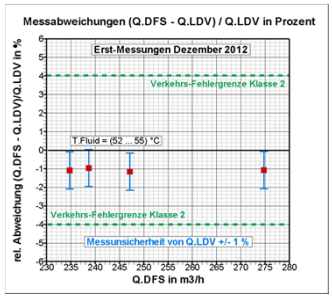
3.3 Freifeldmessungen

Realisierung von Messungen im Freifeld (Aussenmessungen):

- Vorteil: oft sehr lange Vorlaufstrecken
- Nachteil: Schutz eines Teils der Messtechnik vor Witterungseinflüssen notwendig

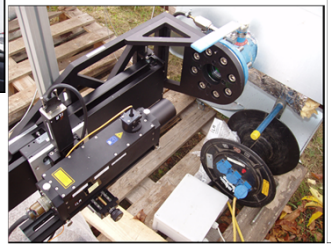
Bsp. 1:
DN 350,
VL DFS 86 D DN 350
VL LDV 84 D DN 350

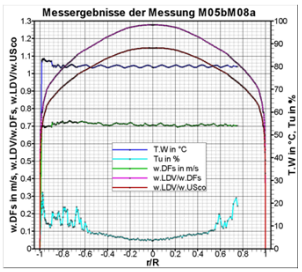


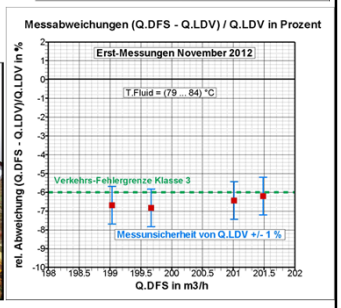


3.3 Freifeldmessungen

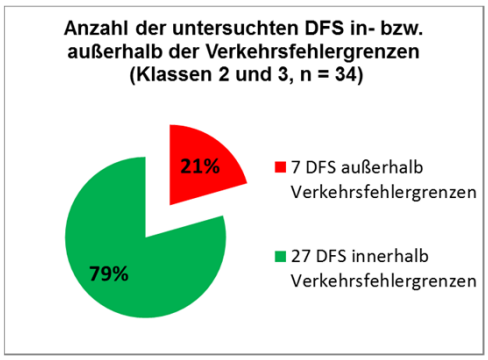
Bsp. 3:
DN 300,
VL DFS 20 D DN 125 (inhouse)
VL LDV 167 D DN 300

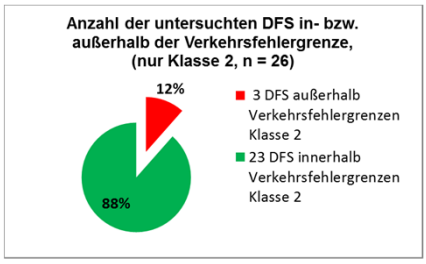


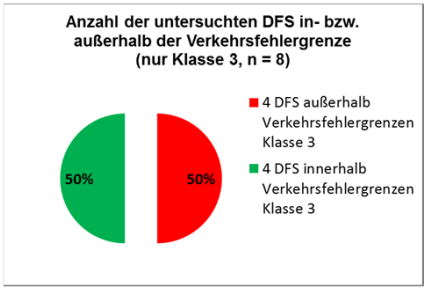




3.4 Statistik aller bisherigen Messungen







4. 1 Aktuelle Trends

Aktuelle Marktbedürfnisse für Vor-Ort-Kalibrierungen:

- **CO_2-Emmissionshandel** (EU-Monitoring-Verordnung (MVO))**:**
  - Emissionen ab 01.01.2013 müssen per Emissionsbericht 2013 bis 31.März 2014 bei der DEHSt eingereicht werden
  - Ermittlung der Messunsicherheiten (MU):
    - Vereinfachte MU, wenn Gerät nachweislich der Kontrolle eines gesetzlichen Messwesens unterliegt → Verkehrsfehlergrenze gilt
    - sonst individuelle Betrachtung:
      - maximal zulässiger Fehler bei Einsatz in der Praxis
      - Kalibrierwert + konservativer Anpassungsfaktor
      - => Werkskalibrierungen sind nicht ausreichend (!)
    - Zur Qualitätssicherung muss Betreiber Verfahren etabliert haben, die die Kalibrierung, Justierung und Prüfung der Messinstrumente in regulären Intervallen auf Basis von möglichst internationalen Standards absichert
- **Ermittlung der Grundlagen für KWK-Förderquoten**
- **Ermittlung von Primärenergiefaktoren und Wirkungsgraden**

4.2 Erfahrungen

- Mittlerweile breites Spektrum von durchgeführten Messungen im Bereich Fernwärme (bis DN 600, bis PN 40, bis150 °C) – teilweise unter anspruchs-vollen Rahmenbedingungen
- Grundsätzlich wächst bei Versorgern und Verbrauchern die Sensibilität für die Notwendigkeit von Vor-Ort-Kalibrierungen (vgl. auch aktuelle Trends)
- Zunehmend wird von Kunden und Interessenten die Möglichkeit der Vor-Ort-Nacheichung nachgefragt (!)
- Ca. ein Fünftel der durchgeführten Kontrollen zeigen Messabweichungen , die die Verkehrsfehlergrenzen der eingebauten DFS übersteigen!
- Messungen bei besonderen Einbaubedingungen von DFS (z. B. im senkrechten Rohr) erlauben Rückschlüsse und Empfehlungen für modifizierte Einbau-empfehlungen

4.3 Ausblick

- Realisierung von kurzfristigen Messaufgaben:
  - Anwendungen für Trink- und Brauchwasser (periodische Kontrollen gemäß Abwasserverordnung)
  - Messungen für Abnahme und Wirkungsgrad-Ermittlung bei Kraftwerken
  - Messungen für Ermittlung von CO_2-Emmissionsabgaben
  - Periodische Wiederholmessungen

- Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten für
  - Hohe Drücke (=> PN 40)
  - Große DN (=> DN 1000 – DN 2000)
  - Rohrleitungen aus anderen Materialien
  - Spezielle Medien (z. B. Dampf)
- Unterstützung mit Datenmaterial und Erfahrungen bei dem Prozess der Schaffung eines gesetzlichen Rahmens für Vor-Ort-Nacheichungen