



Laseroptische In-situ-Messmethode zur Überprüfung von Durchfluss-Sensoren im Einbauzustand

Gliederung:

1. Problemstellung
2. Lösungsansatz (Segmentverfahren)
3. Vergleich zum Ganzfeldverfahren
4. Verfahrensvorstellung
5. Beispielmessungen
6. Partnerschaften
7. Vorstellung des TÜV Rheinland
8. Ausblick
9. Zusammenfassung



Autoren:

Dr. U. Müller, OPTOLUTION GmbH
Dr. M. Dues, ILA GmbH
Dr. P. Guntermann, TÜV Rheinland Industrie Service GmbH

1. Problemstellung

Messunsicherheit und Messstabilität von Durchfluss-Sensoren (DFS) im Einbauzustand sind oft nur unzureichend bekannt:

- da Einbaubedingungen von Kalibrierbedingungen auf den Prüfständen abweichen:
 - Keine symmetrischen und ausgebildeten Strömungszustände vor Ort (unzureichende Vorlaufängen, Armaturen zu dicht an DFS, teilgeschlossene Regelarmaturen, ...)
 - Kalibrierungen erfolgen meist mit Kaltwasser und Umgebungstemperaturen von ca. 20-25 °C, Einsatz aber bei Fluidtemperaturen ab ca. 50 °C (=> „Kalt-/Warmversatz“) und stark erhöhten Umgebungstemperaturen (ca. 30-50 °C)
 - Kalibrierungen erfolgen meist nur bei sehr wenigen (z. B. drei) Volumenströmen, die von den späteren Einsatzbedingungen abweichen (lineare Fehlerkurve?)
 - Verwendung unterschiedlicher Ausgänge bei Kalibrierung und Einsatz im Feld
 - Unterschiedliche chemische und physikalische Zusammensetzung der Fluide
- lange Einsatzzeiten (keine Eichgültigkeitsdauer infolge fehlender Eichpflicht für Messstellen > 10 MW) der Geräte können zu Ablagerungen/Abrasionen in den Sensoren und Drifterscheinungen bei den Messumformern führen
- während des Betriebes können die Geräte durch Arbeiten an der Rohrleitung oder in deren Umgebung unbemerkt beeinflusst und geschädigt werden
- mangelhafte Auslegung/ Dimensionierung der Messstelle/DFS

=> es sind zahlreiche Beispiele für Abweichungen von eingebauten DFS bekannt (> 3 %)

1. Problemstellung - Beispiele aus der Praxis

Beeinflussung durch Schweißen in der Nähe des DFS



Verschweisste Bohrung



US-Kontrollmessung mit ALTOMETER UFM 600 P

	MID	US-Clamp-on	LDV
Volumenströme in m ³ /h	17.6	30.1	38.2
	18.2	30.5	39.4
	18.9	33.8	40.6
	19.1	34.4	41.8
Messunsicherheit (Referenzbedingungen)	± 0,5 % v. MW	± 3 % v. MW	± 1 % v. MW
Messunsicherheit (an Messstelle, geschätzt)		± 5 % v. EW* (150 m ³ /h)	± 2 % v. MW



Querschnitt des MID nach Ausbau
(Wulst in der Auskleidung)

*) lt. Betriebspersonal

TÜVRheinland
Genau. Richtig.

ILR

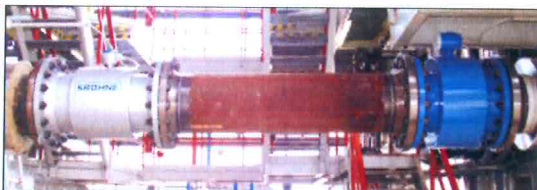
OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

1. Problemstellung - Beispiele aus der Praxis

EMV-Beeinflussungen (z. B. durch zwei benachbarte DFS) MID DN 400

PTB-Grosswärme-Prüfstand:

- Abstand der beiden DFS: 4 m (10D)
- Abweichungen von 1% bis 5% zwischen alleinigem Betrieb mit DFS 1 (DFS 2 aus) und parallelen Messungen mit beiden DFS (Impulsausgang)
- Stromausgang und Displayanzeige i. O



Installation im Heizkraftwerk:

- Abstand der beiden DFS: 1,6 m (4D)
- Abweichungen von 1% bis 5%, jedoch keine Reproduzierbarkeit der Prüfstandsergebnisse
- Stromausgang und Displayanzeige i. O



TÜVRheinland
Genau. Richtig.

ILR

OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

1. Problemstellung – Zahlenbeispiel und US-Clamp-on

Unbekannte Messunsicherheiten können bei Abrechnungs-Messstellen zur Benachteiligung eines Partners und Bilanzdifferenzen führen:

- Beispiel: Messstelle mit Wärmeleistung von 10 MW:

- Jahresenergie: $10 \text{ MW} \cdot (365 \cdot 24 \text{ h}) = 87'600 \text{ MWh}$
- Fernwärmepreis: 50 €/MWh bzw. 75 CHF/MWh
- Jahreswert: 4,38 Mio. € bzw. 6,57 Mio. CHF
- Unsicherheit bei 1 % Messabweichung pro Jahr:
43'800 € bzw. 65'700 CHF

Einziges praktisch relevantes Messverfahren zur Überprüfung der Messunsicherheiten von eingebauten DFS bekannt ist das Ultraschall-Clamp-on-Messverfahren:

- erfordert auch symmetrische und ausgebildete Strömungszustände (!)
- Informationen über Rohrbeschaffenheit und Innendurchmesser notwendig
- erzielbare Messunsicherheiten in der Praxis > 3 % (bei Referenzbedingungen)
- Rückführbarkeit??

5

2. Lösungsansatz

Kontrolle von Durchfluss-Sensoren - Einbringung von Fenstern

ohne Versorgungsunterbrechung



Vorgehen:

- Einbringung von einem oder mehreren Fenstern in die Rohrleitung mittels Anbohrtechnologie
- Messung der lokalen Geschwindigkeiten wahlweise entlang von Pfaden (Profile) oder an ausgewählten Messpunkten (Mehrpunktverfahren)
- Berechnung des Volumenstromes

Vorteile:

- + keine Fensterkammer benötigt (!) – Aufwand reduziert
- + Einbringung ohne Betriebsunterbrechung möglich
- + schnelle Messungen
- + reale Messunsicherheiten der Geräte im Einbaustand (!!)
- + PTB-Zertifizierung bevorstehend

Nachteile:

- symmetrische, konditionierte oder ungestörte bzw. bekannte Strömungsverhältnisse vorteilhaft
- höhere Messunsicherheit (abhängig von Installation)
- keine Strömungsdiagnose möglich



6

3. Vergleich zum Ganzfeld-Verfahren

		Ganzfeldverfahren	Segmentverfahren
generelle Vorteile		berührungslos, nicht abhängig von Rohrmaterial, Messung lokaler Geschwindigkeiten, hohe Langzeitbeständigkeit	
Beschreibung		viele Messpunkte an beliebigen Orten im Strömungsquerschnitt	wenige Messpunkte an zugänglichen Orten im Strömungsquerschnitt
optischer Zugang	Typ	Fensterkammer mit eingezogenem Glasrohr	ein oder mehrere Fenster am Rohrfumfang
	Einbringung	erfordert Betriebsunterbruch und Leitungsanpassung	kein Betriebsunterbruch durch Einsatz der Anbohrtechnologie
	Kosten	hoch (insbesondere bei grossen DN und hohen PN)	sehr niedrig
Methode zur Ermittlung des Volumenstromes		Integration der gesamten Geschwindigkeitsverteilung oder Mehrpunkt-/Einpunkt-Messung (nach Verteilungsmessung)	Integration von Profil(en), Mehrpunktverfahren
Ergebnis bzgl. Strömungscharakteristik		vollständige Information über Geschwindigkeitsverteilung (Strömungsdiagnose)	beschränkte Information über Geschwindigkeitsverteilung
Voraussetzungen für Volumenstrom-Ermittlung		keine (auch bei unbekanntem und stark gestörtem Strömungsverhältnissen einsetzbar)	symmetrische Strömungsverhältnisse (Konditionierung oder lange Vorlaufstrecken vorteilhaft)
maximale Messunsicherheiten für Volumenstrom-Ermittlung		ca. 0,5 % bis 1 %	ca. 1 % bis 3 % (abhängig von Strömungsbedingungen und Anzahl der Fenster)
Messzeiten		für Verteilungsmessung: hoch für anschliessende Mehrpunkt-Messungen: klein für anschliessende Einpunkt-Messung: sehr klein	für Profilmessungen: mittel für Mehrpunktmessungen: klein
Eignung		+ zur Strömungsdiagnose + für Dauereinsatz + in Spezialanlagen + Grösst-Übergabestationen	+ für Betriebsmessungen z. B. in Übergabestationen + für Einpunkt-Messungen als Überwachungsgrösse für Regelungen

4. Verfahrensvorstellung – Hot-Tapping

- Das Hot-Tapping-Verfahren zur Anbohrung von Rohrleitungen unter Druck ist bereits im Bereich der Fernwärme seit einigen Jahren verbreitet und erprobt.
- So hat z. B. VATTENFALL Berlin bereits mit dieser Technologie über 2000 Anbohrungen durchgeführt.



1. Anschweißen der Verschlussvorrichtung



3. Anbohren unter Druck



5. Angeschweisste Absperrvorrichtung (Kugelhahn) und Rohr-Abzweig



2. Bohr-Werkzeug



4. Bohrkopf mit ausgebohrter Ronde



5. Freigabe des Rohr-Abzweiges

4. Verfahrensvorstellung - Einsatzmöglichkeiten

- Für alle transparenten Fluide (Fernwärme, Trinkwasser, Abwasser, Dampf, raffinierte Produkte, Gase, ...)
- für DN > 100 (ab ca. 0,1-0,5 m/s), derzeit bis PN 25 (40) und $T_{\max} = 150 \text{ °C}$
- Einbindung des Volumenstroms vom Prüfling und der Fluidtemperatur zur Normalisierung von Instationaritäten während der Messung in die LDV-Datenerfassung (via Stromausgänge)
- Rohrleitungen aus Stahl, Rohrleitungen aus Kunststoff (in Vorbereitung)
- Verbesserung des Nutzen/Kosten-Verhältnisses mit zunehmender Nennweite und periodischen Wiederholmessungen
- Für die Anwendung kommen nur spezielle Typen von **Abrechnungs-Messstellen** in Frage, bei denen der Kundennutzen entspr. hoch ist, z. B.:
 - DFS, die sonst nicht/schwer zugänglich sind (Schacht, Graben)
 - DFS mit hohen Ansprüchen an die Messgenauigkeit (Kostenrelevanz)
 - DFS die nur mit hohem Aufwand freigeschaltet, entleert und getauscht werden können
 - DFS mit regulatorischen/behördlichen Auflagen (Eichungen, Qualitätsanforderungen)
 - DFS mit gestörten Einlaufbedingungen (auch Verkauf der DL bei Erstinstallation?)
 - von den Verrechnungspartnern (Versorger, Bezüger, öffentliche Hand, ...) gegenseitig angezweifelte Messungen

9



TÜVRheinland®
Genau. Richtig.



ILR
Intelligentes Messen
Zuverlässige Messung

OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

4. Verfahrensvorstellung - Durchführung

Arbeitsschritte:

- Aufschweißen des Kugelhahnes
- Realisierung der Anbohrung(en)
- Einbringen der Fensterhülse
(alternativ: Einbau des Fenster-Passstückes)
- Montage und Justage der LDV-Messtechnik
- LDV-Messungen bei den Volumenströmen
- Demontage der LDV-Messtechnik
- Demontage der Fensterhülse
- Sicherung des geschlossenen Kugelhahnes mit Blindflansch
- Auswertung und Dokumentation
- Evtl. periodische Wiederholmessungen



10



TÜVRheinland®
Genau. Richtig.



ILR
Intelligentes Messen
Zuverlässige Messung

OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

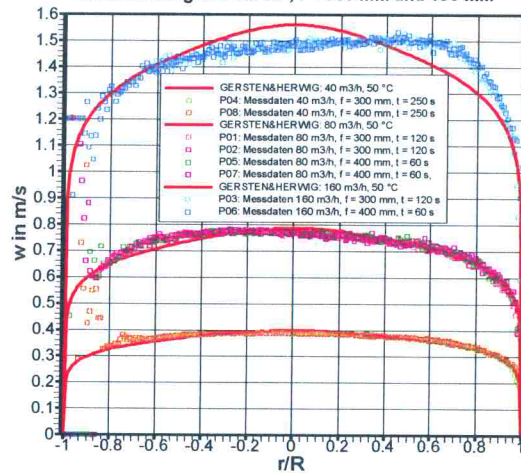
5. Beispielmessungen - Messungen am Grosswärme-Prüfstand der PTB Berlin (I)



Messunsicherheiten bei stationären Fluid-Bedingungen und Einpfad-Messungen:

⇒ ca. 0,2 bis 1,2 %
(ohne Korrektur von Strömungs-
unsymmetrien und Wandposition)

Messkampagne PTB Berlin 01:
50 °C, ca. 30D von Krümmer, D = 206,5 mm
Winkelstellung: nur ca. 15°, f = 300 mm und 400 mm



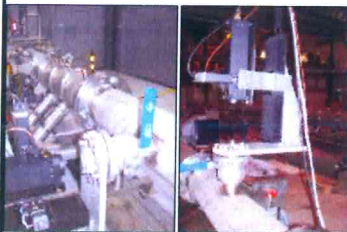
11

TÜVRheinland
Genau. Richtig.

ILR
Ingenieurleistungen
für die Industrie

OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

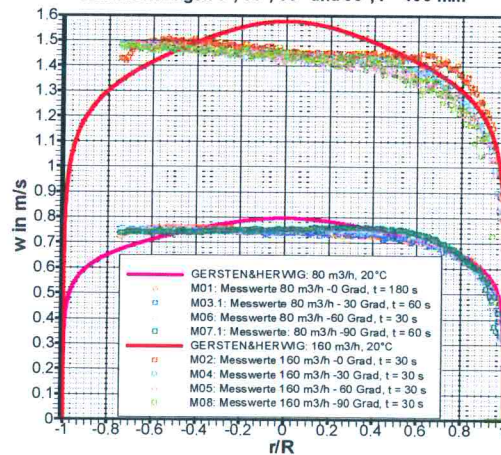
5. Beispielmessungen - Messungen am Grosswärme-Prüfstand der PTB Berlin (II)



Messunsicherheiten bei stationären Fluid-Bedingungen und Mehrpfad-Messungen:

⇒ ca. 0,5 bis 1,8 %
(ohne Korrektur von Strömungs-
unsymmetrien und Wandposition)

Messkampagne PTB Berlin 02:
20 °C, ca. 20D von Krümmer, D = 206,5 mm
Winkelstellungen 0°, 30°, 60° und 90°, f = 400 mm



12

TÜVRheinland
Genau. Richtig.

ILR
Ingenieurleistungen
für die Industrie

OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

5. Beispielmessungen – Versuchsanlage in Charité Berlin, Campus Benjamin Franklin Steglitz



Realisierung mit Unterstützung von VATTENFALL Berlin 

Bypass in DN 200 zur zentralen Wärmeversorgung:

- Optimierung der Anbohrtechnologie für LDV
- Weiterentwicklung der Zugangs-konstruktionen
- Messungen unter Extrem-Bedingungen (hohe Dynamik infolge dp-Regelung, kleinste Q => v.vol < 0,1 m/s)
- Analyse der Messunsicherheiten von diversen DFS bei verschiedenen Installationsbedingungen
- Demonstrationszwecke



13

 TÜVRheinland®
Genau. Richtig.

 ILR
Ingenieur-Lösung
Zugabe: Service-Expertise

 OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

6. Partnerschaften

Entwicklungs-/Technologie-Partnerschaften:

- **PTB Berlin, Fachbereich Wärme, Dr. T. Lederer**
=> bzgl. Rückführbarkeit und Messunsicherheitsanalyse
- **VATTENFALL Europe, Berlin (A. Duckwe und O. Reppert und Teams)**
=> bzgl. spezifischer Weiterentwicklung der Anbohrtechnologie





Vermarktungs-Partnerschaften:

- **TÜV Rheinland Industrie Service GmbH**
=> Lizenznehmer, Medium Fernwärme (später auch weitere Medien)
- **ENDRESS HAUSER Messtechnik AG**
=> einjährige Projektpartnerschaft,
Schwerpunkt Medium Kaltwasser (inkl. Abwasser)
- **VATTENFALL Europe**
=> Durchführung der Anbohrungen (vorzugsweise)

 TÜVRheinland®
Genau. Richtig.





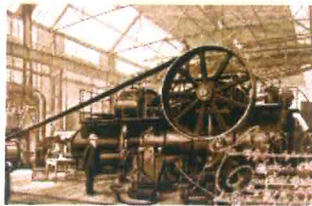
14

 TÜVRheinland®
Genau. Richtig.

 ILR
Ingenieur-Lösung
Zugabe: Service-Expertise

 OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

7. Vorstellung des TÜV Rheinland



„Verein zur Überwachung der Dampfessel in den Kreisen Elberfeld und Barmen“



Chronik des TÜV Rheinland

- 1872** Unternehmer gründen in Eigeninitiative den „Verein zur Überwachung der Dampfessel in den Kreisen Elberfeld und Barmen“
- 1900** Der DÜV kontrolliert die ersten Kraftfahrzeuge und nimmt Führerscheinprüfungen ab
- 1926** Ausweitung der DÜV-Aktivitäten auf die Bereiche Bergbau und Energie
- 1969** Produktprüfungen und -zertifizierungen
- 1970** Erste Tochtergesellschaft im Ausland
- 2000** Sicherheit und Qualität in lokalen und globalen Daten- und Kommunikationsnetzen
- 2003** Nach verschiedenen Fusion Umbenennung der Unternehmensgruppe in TÜV Rheinland Group
- 2008** 13.000 Mitarbeiter an 490 Standorten in 61 Ländern

15



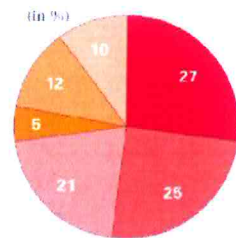
7. Vorstellung des TÜV Rheinland

Unternehmenskennzahlen 2008 (konsolidiert)

	2007	2008*
Gesamtumsatz (Mio. Euro)	984,4	1.100,2
davon Inland	598,4	661,8
davon Ausland	386,0	438,4
Ergebnisse vor Steuern (Mio. Euro)	59,2	71,6
Umsatzrendite (%)	6,0	6,5
Cashflow (Mio. Euro)	71,8	77,8
Mitarbeiter (Jahresdurchschnitt)	12.085	12.987
davon Inland	6.007	6.382
davon Ausland	6.078	6.605

* nach IFRS

Umsätze nach Geschäftsbereichen 2008 (unkonsolidiert)



(in Mio. Euro)

Geschäftsbereich	Umsatz (Mio. Euro)
Industrie Service	315,2
Mobilität	289,3
Produkte	240,9
Leben und Gesundheit	59,9
Bildung und Consulting	139,0
Systeme	117,2

16



7. Vorstellung des TÜV Rheinland

Warum wir uns mit der Volumenstrommessung beschäftigen:

Die Marke TÜV Rheinland steht für

- ✓ Sicherheit
- ✓ Qualität
- ✓ Unabhängigkeit



Unsere Kunden kommen aus den Bereichen

- ✓ Kraftwerke
- ✓ Chemie
- ✓ Stadtwerke
- ✓ ...

Der Nutzen unserer Kunden besteht aus

- ✓ Bestätigung der Messgenauigkeit
- ✓ Unabhängiges Zertifikat
- ✓ Positives Image
- ✓ Reduzierung von Bilanzdifferenzen
- ✓ Minimaler Aufwand (insitu)
- ✓ ...



17



OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

7. Vorstellung des TÜV Rheinland

Was der Kunde von uns erwarten kann:

- ✓ Reibungslose Durchführung der Messungen ohne Betriebsunterbrechung
- ✓ Zertifizierte Messgenauigkeit (in Zusammenarbeit mit der PTB)
- ✓ Sicheres und geprüftes Anbohrverfahren
- ✓ Kompetente Beratung bezüglich der Anwendung seiner Durchflussmesstechnik (herstellerneutral)
- ✓ Kalibrierung seiner Messgeräte
- ✓ Erkennen und Beseitigen von Abrechnungsverlusten
- ✓ Werbewirksames Prüfsiegel für „getestete Durchfluss-Messgenauigkeit“
- ✓ Deutschland-, Europa- und Weltweites Netzwerk
- ✓ Zuverlässige und flexible Mitarbeiter
- ✓ ...



18



OPTOLUTION
messtechnische Lösungen

8. Ausblick

- Weitere Analyse und Reduzierung der Messunsicherheiten:
 - bzgl. LDV-Messverfahren
 - bzgl. Ermittlung der Strömungsverhältnisse am Messort (=> praxismgerechte Konditionierung der Strömung! – weitere Patentanmeldung erfolgt)
- Zertifizierung durch PTB (!!)
- Fortlaufende Reduzierung des Aufwandes (Optimierung von Gerätetechnik und Software)
- Ausdehnung der Einsatzmöglichkeiten des Messverfahrens für
 - Rohrleitungen aus Kunststoff
 - grosse DN (=> DN 1000-2000)
 - hohe Drücke (=> PN 40)
 - spezielle Medien (z. B. Dampf) und
 - Anwendungen (z. B. Blenden-Überprüfungen in Kraftwerken)

19

9. Zusammenfassung

- Bereitstellung eines neuen Verfahrens zur Vor-Ort-Kontrolle (=> Kalibrierung) von DFS ohne Versorgungsunterbruch
- Notwendigkeit für derartige Messungen erhärtet sich mit zunehmender Anzahl von durchgeführten Kontrollen (viele, oft triviale Einsatzprobleme)
- Starkes Interesse von Behörden, Herstellern, Versorgern und Dienstleistern an diesem Verfahren spürbar
- Herzlicher Dank an Entwicklungs-/Technologie-Partner PTB Berlin und VATTENFALL Europe
- Vermarktung mit TÜV Rheinland und Projekt-Partnerschaft mit ENDRESS + HAUSER

20