

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Laufende Untersuchungen zur Reaktion von DFS DN 50 bei nichtausgebildeten Strömungscharakteristiken

Autoren:

Dr. Hugo Bissig
 Laborleiter Durchfluss und Volumen
 METAS
 CH – 3003 Bern
www.metas.ch

Dr.-Ing. Ulrich Müller
 OPTOLUTION GmbH
 CH – 4153 Reinach
www.optolution.ch

Dr.-Ing. Michael Dues
 ILA GmbH
 D – 52428 Jülich
www.ila.de



EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 1

PTB BEW ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Gliederung

- Kurze Einführung der LDV-Messtechnik
- Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände
- Zielstellung
- Versuchsbedingungen
- Strömungscharakteristiken
 - Messbedingungen
 - Laminare Strömungszustände
 - Turbulente Strömungszustände
 - Übersicht
- Reaktion der DFS
 - Laufende Untersuchungen (keine Ergebnisse)
- Ausblick

EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 2

PTB BEW ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Laser Doppler Velocimetry (LDV)

Punktuelle Messung von mehrdimensionalen Geschwindigkeitskomponenten

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

- v : Geschwindigkeit
- Δx : Interferenzstreifenabstand
- f_D : Doppler-Frequenz
- λ : Wellenlänge des Lasers
- φ : Halber Schnittwinkel der Laserstrahlen

EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 3

PTB BEW ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Beispiel eines Geschwindigkeitsprofils

Frame 001 | 11 Aug 2008 | m5_a-50c-1500h-01.lav

b) Installation: ausgebildet, 1'500 l/h, 50°C


EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 4

PTB BEW ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände

- Profilmfaktor K_p
- Asymmetriefaktor K_a
- Turbulenzfaktor K_{tu}
- Maximaler Drallwinkel Φ_{max}



EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 5

PTB BEV ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände

Profilmfaktor K_p

$$K_p = \frac{K_{P.meas}}{K_{P.s}}$$

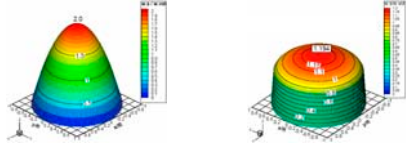
$K_{P.meas}$ Profilmindex des gemessenen Profils
 $K_{P.s}$ Profilmindex des Normprofils

$$K_{P.x} = \frac{1}{2w_{vol,x}} \int_0^1 (w_{0,x} - w) d\left(\frac{r}{R}\right)$$

w_m Geschwindigkeit in Rohrmitte (r/R)
 w örtlicher Geschwindigkeit bei r/R
 w_{vol} volumetrische Geschwindigkeit

$$w_{vol} = \dot{V}/(\pi R^2)$$

Der Profilmfaktor K_p ist ein Mass für die **Zuspitzung** ($K_p > 1$) bzw. **Abflachung** ($K_p < 1$) des gemessenen Profils im **Vergleich zum Normprofil**.



EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 6

PTB BEV ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände

Asymmetriefaktor K_A

$$K_A = \frac{\int_0^1 r w d\left(\frac{r}{R}\right)}{2R \int_0^1 w d\left(\frac{r}{R}\right)} \quad \text{in \%}$$

Berechnung der Abweichung des Flächenschwerpunktes aus der Mittelachse

vgl. Flächen-Schwerpunktsberechnung

$$x_s = \frac{\sum x_i A_i}{\sum A_i}$$

EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 7

PTB BEV ILR OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände

Turbulenzfaktor K_{tu}

$$K_{tu} = \frac{Tu_{\max} \left| \begin{matrix} r/R = -0,2 \\ r/R = 0,2 \end{matrix} \right.}{Tu_s}$$

Betrachtung des Kernbereiches der Strömung: $-0,2 \leq r/R \leq 0,2$

$w(t)$ momentaner Geschwindigkeitswert
 \bar{w} zeitlicher Mittelwert
 w' Schwankungsgröße, zufällig in Richtung und Betrag

Experimentell erfolgt die Beschreibung der Turbulenz über den **Turbulenzgrad Tu**:

$$Tu = \frac{\sqrt{w'^2}}{\bar{w}} \quad \begin{matrix} Tu & \text{Turbulenzgrad in \% (eindimensional)} \\ w' & \text{Schwankungsgeschwindigkeit} \\ \bar{w} & \text{zeitl. Mittelwert der Geschwindigkeit} \end{matrix}$$

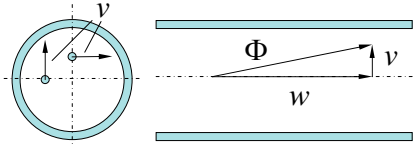
EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 8

PTB BEV ILR OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände

Maximaler Drallwinkel Φ_{\max}



$$\Phi_{\max} = \arctan(|v|_{\max} / w_{vol})$$

w Axiale Geschwindigkeitskomponente
 v Umfangskomponente der Geschw.
 Φ Drallwinkel

=> Abweichung des Geschwindigkeitsvektors von der axialen Richtung

EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 9

PTB BEV ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände

Quantifizierung der Kennzahlen

➤ Profilmfaktor K_p :	Bereich	$0,8 \leq K_p \leq 1,3$
➤ Asymmetriefaktor K_a in %:	maximaler Wert	$K_{a,max} = 1 \%$
➤ Turbulenzfaktor K_{tu} :	maximaler Wert	$K_{tu,max} = 2$
➤ Drallwinkel in °:	maximaler Wert	$\Phi_{max} = 2^\circ$

Basierend auf ausführlicher Messkampagne der PTB, BEV und METAS


EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 10

PTB BEV ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Kennzahlen zur Charakterisierung der Strömungsprofile der Prüfstände

„Richtlinie zur strömungstechnischen Validierung von Prüfständen nach EN 1434“



EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 11

PTB BEV ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Zielstellung

- Untersuchung des Einflusses eines typischen nichtausgebildeten, symmetrischen Strömungszustandes auf die Messunsicherheit von DFS DN 50 unterschiedlicher Messprinzipien und Hersteller
 - Laminare und turbulente Verhältnisse
 - Profilkfaktor ca. 0,5 und zwischen 0,8 bis 1,3
 - Andere Kennzahlen innerhalb der Orientierungskriterien
 - Messung bei $T_w = 50^\circ\text{C}$ (laminar / turbulent)
 - Durchfluss-Prüfpunkte gemäss Richtlinie: q_i , $0,1 q_p$ und q_p
 - Einfluss der Fluidtemperatur bei laminarem Strömungszustand
- Breite Auswahl von DFS bzgl. Messprinzip, Bauart und Hersteller
- Beitrag zur Überprüfung/Festlegung von Orientierungsbereichen

EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 12

PTB BEV ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Versuchsbedingungen

- Wärmehähler-Prüfstand von METAS mit $p_w = 7,2$ bar
- Prüfstrecke mit $d_{i,R} = 54,5$ mm = D
- Installation für ausgebildeten Strömungszustand:
 - ✓ Gerade, flanschlose Vorlaufstrecke von 33D
- Installation für „abgeflachten“ Strömungszustand:
 - ✓ Gerade Rohrstrecke mit 27,5 D danach Gleichrichter-Baugruppe mit sechs Lochplatten
- An die jeweilige Installation schliessen sich jeweils die Fensterkammer (330 mm Länge) bzw. die DFS an





EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 13

PTB BEV ILA OPTOLUTION

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Strömungscharakteristiken

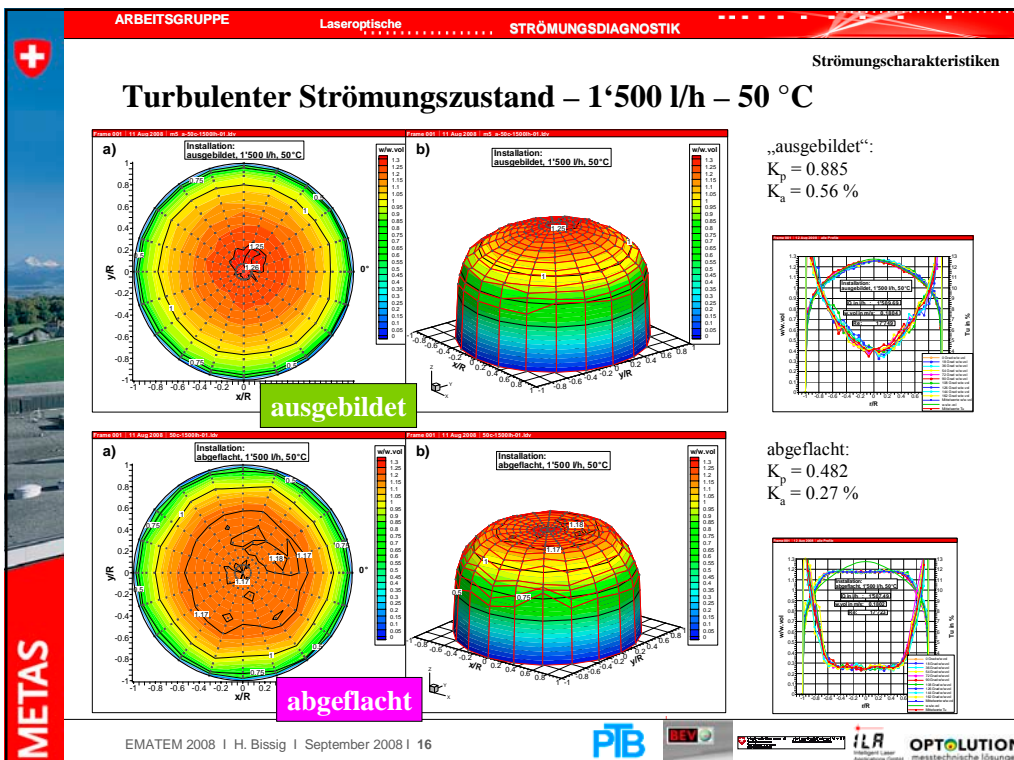
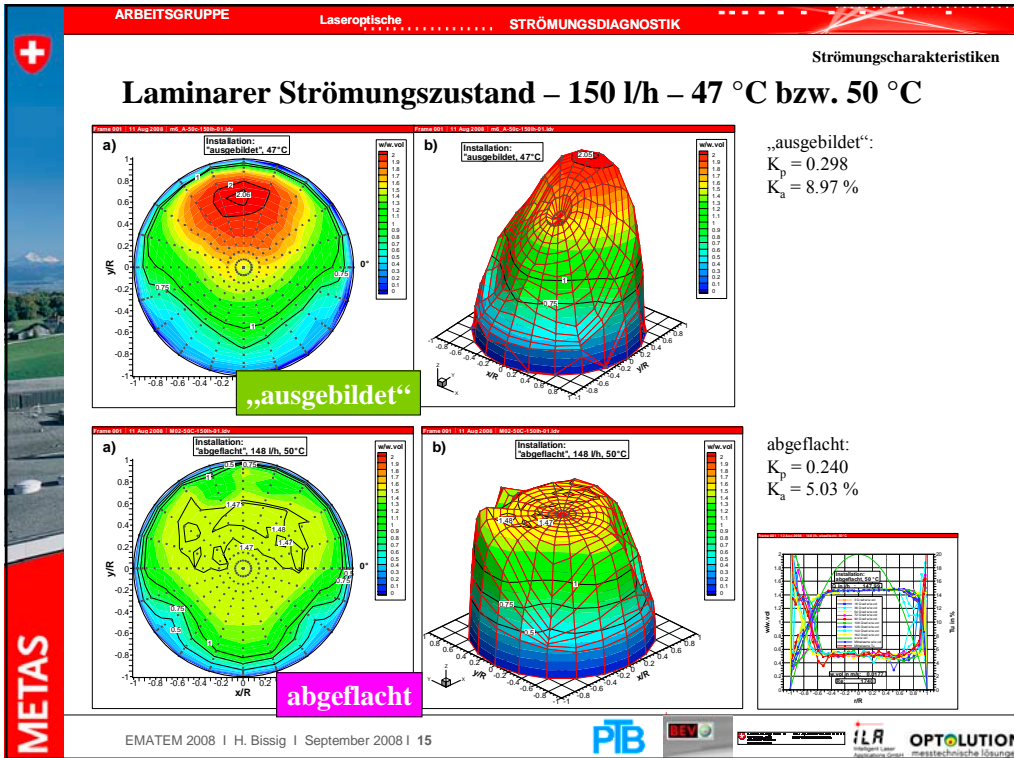
Stömungscharakteristiken - Messbedingungen

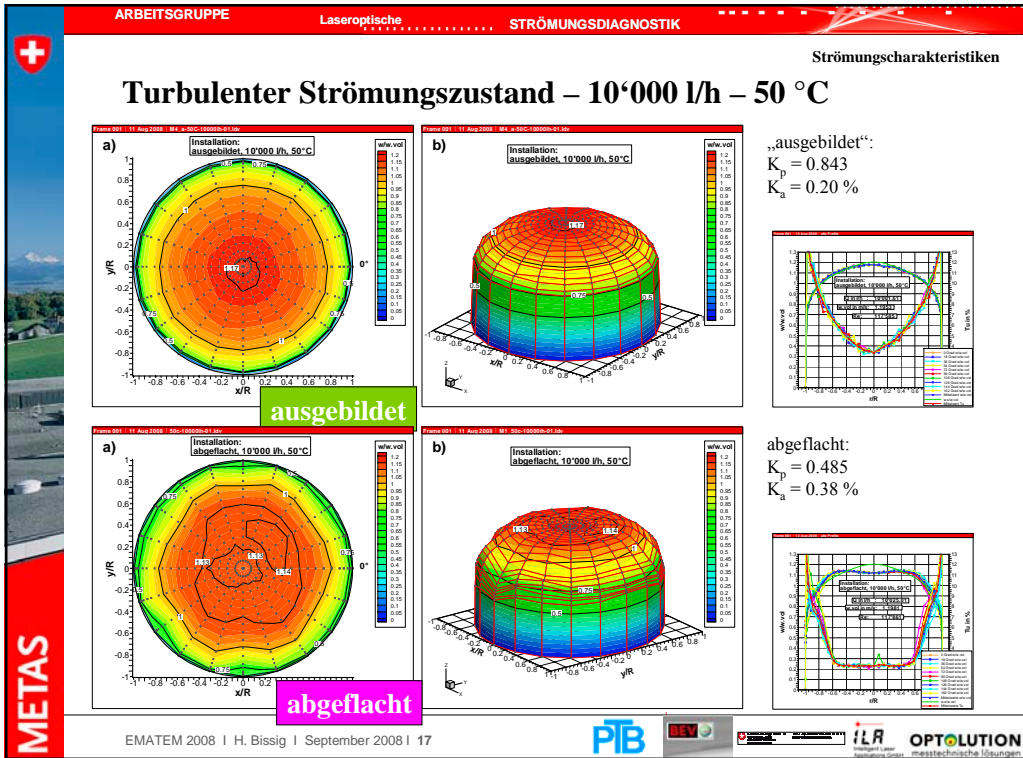
- LDV-Messquerschnitt jeweils 2D nach Rohrende bzw. Ende des Gleichrichters
- Glasrohr in der Fensterkammer mit $d_{i,G} = 54,4$ mm ($d_{i,R} = 54,5$ mm)
- ILA-1D-fp50 shift-LDV-System mit Sendelinsenbrennweite = 120 mm:
 - ✓ Messvolumenlänge in optischer Achse: 0,21 mm
 - ✓ Streifenabstand (kalibriert): 1,396 μ m
- Jeweils 301 Messpunkte im Rohrquerschnitt (15 Radian mit $\Delta\phi = 18^\circ$)
- Durchfluss-Prüfpunkte: 150 l/h (50°C), 1'500 l/h (50°C) und 10'000 l/h (50°C)




EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 14

PTB BEV ILA OPTOLUTION





„ausgebildet“:
 $K_p = 0.843$
 $K_a = 0.20 \%$

abgeflacht:
 $K_p = 0.485$
 $K_a = 0.38 \%$

ARBEITSGRUPPE Laseroptische STRÖMUNGSDIAGNOSTIK

Strömungscharakteristiken

Übersicht der Strömungscharakteristiken

	Strömung	Fluidparameter			Kennzahlen			
		Verteilung	T_w °C	Q l/h	Re	K_p	K_a %	K_{tu}
laminar	„ausgebildet“		47.4	171.1	2'019	0.298	8.97	1.47
	abgeflacht		50.0	148.0	1'740	0.240	5.03	1.23
turbulent	ausgebildet		50.0	1'509.7	17'749	0.885	0.56	1.35
	abgeflacht		50.0	1'507.5	17'723	0.482	0.27	0.79
	ausgebildet		50.0	10'001.6	117'585	0.843	0.20	1.46
	abgeflacht		50.0	10'025.0	117'861	0.485	0.38	1.14

x.xx Kennzahlen innerhalb der Orientierungskriterien
x.xx Kennzahlen ausserhalb der Orientierungskriterien

EMATEM 2008 | H. Bissig | September 2008 | 18

PTB BEV ILR OPTOLUTION



Ausblick

- Breite Auswahl von DFS bzgl. Messprinzip, Bauart und Hersteller
- Beitrag zur Überprüfung/Festlegung von Orientierungsbereichen
- Untersuchung des schwächsten Einflussfaktors ergeben schon interessante Ergebnisse bei DFS DN50

Profilfaktor $K_p \sim 0.5$

Versatz bis zu $\pm 1.5 \%$