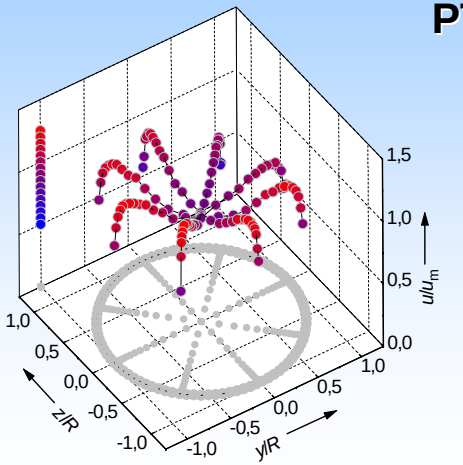
Zur Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen aus dem Wasser- und Gaszählerbereich

Dietrich Dopheide
PTB Braunschweig, Fachbereich Gase

Gudrun Wendt
PTB Braunschweig, Fachbereich Flüssigkeiten



1. Internationale EMATEM-Sommerschule
23. August 2005

Inhaltsübersicht

- Anforderungen aus MID, CEN und OIML zur „strömungstechnischen Störfestigkeit“ von Wasserzählern
- Beispiele von bisher im Flüssigkeitsbereich durchgeführten Vorstörungsuntersuchungen
- Informationen über das PTB-Forschungsprojekt „Installationseffekte an Gaszählern“ im Hinblick auf die neuen Zulassungstests für Wasserzähler
- Laufende und geplante Forschungsarbeiten im Fachbereich Flüssigkeiten
- Diskussion

Anforderungen aus MID, CEN und OIML

MID – Annex MI-001: Wasserzähler

- *Keine spezifischen Festlegungen zu Fragen der Installation der Wasserzähler*

MID – Artikel 10: Harmonisierte Normen und normative Dokumente

- *Verweis auf Normen und normative Dokumente, deren Fundstellen im Amtsblatt der Europäischen Union, Reihe C, veröffentlicht wurden*

➡ **CEN: EN 14 154** „Water meters“ 2005

➡ **OIML: R 49** „Water meters intended for the metering of cold potable water“ 2003

Anforderungen aus CEN: EN 14 154

5.3 Strömungsprofilempfindlichkeitsklassen (Flow profile sensitivity classes):

- Bei den Tests nach Teil 3 dürfen keine signifikanten Fehler auftreten.
- Hersteller muss auf Grundlage der Prüfergebnisse entspr. Klassen festlegen

Table 7 - Sensitivity to the irregularity in the upstream velocity fields classes (U)

Class	Required straight lengths (x DN)	Straightener needed
U0	0	No
U3	3	No
U5		
U10		
U15		
U0S		
U3S		
U5S		
U10S		

Table 8 - Sensitivity to the irregularity in the downstream velocity fields classes (D)

Class	Required straight lengths (x DN)	Straightener needed
D0	0	No
D3	3	No
D5	5	No
D0S	0	Yes
D3S	3	Yes

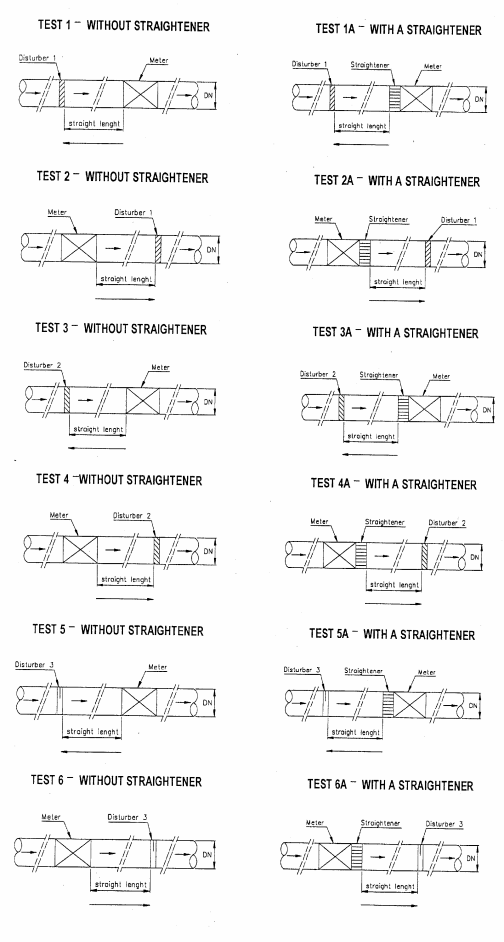
5.3 Installation conditions:

5.3.4 If the accuracy of the water meter is likely to be affected by disturbances in the upstream or downstream pipeline (for example due to the presence of bends, valves or pumps), the water meter shell be provided with a sufficient number of straight pipe lengths, with or without a flow straightener, as specified by the manufacturer, so that the <u>indications of the installed water meter meet the requirements of 3.2.1 or 3.2.2</u> with respect to the maximum permissible errors and according to the accuracy class of the meter.

Tests nach CEN und OIML

Flow disturbance tests: Test procedure

Using the types 1, 2 and 3 flow disturbers, determine the error (of indication) of the meter at a flowrate between 0,9 Q_3 and Q_3 for each of the installations shown.



5.7 Flow Disturbance Tests (R49-2, Section 6.8 and Annex C)

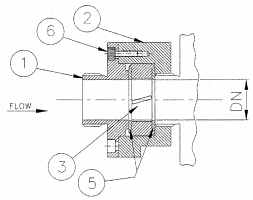
			At start	At end	
Application No:		Ambient temperature:			°C
Model:		Ambient relative humidity:			%
Date:		Ambient atmospheric pressure:			MPa
Observer:		Time:			

Test method:	Gravimetric / Volumetric
Volume measures / weighbridge used:	
Water Conductivity (electromagnetic induction meters only) - S/cm:	
Nominal diameter DN of pipe upstream of meter (or manifold) - mm:	
Nominal diameter DN of pipe downstream of meter (or manifold) - mm:	

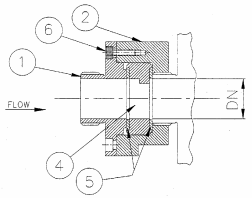
Installation arrangement (see R49-2, Annex C) (1)

Test no	Flow-disturber Type (location)	Flow-straightener installed	Installation dimensions (see key Fig 1) - mm						
			L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
1	1 (upstream)	no							
1A	1 (upstream)	yes							
2	1 (downstream)	no							
2A	1 (downstream)	yes							
3	2 (upstream)	no							
3A	2 (upstream)	yes							
4	2 (downstream)	no							
4A	2 (downstream)	yes							
5	3 (upstream)	no							
5A	3 (upstream)	yes							
6	3 (downstream)	no							
6A	3 (downstream)	yes							

(1) For each test applied, insert the actual pipe dimensions used (as stated by the meter manufacturer).

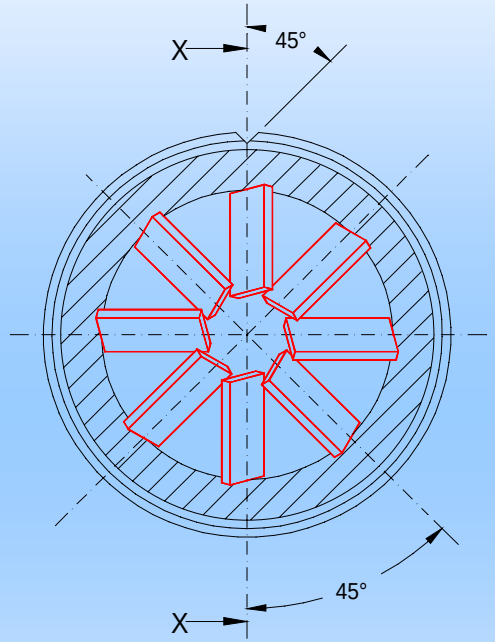


THREADED TYPE DISTURBANCE GENERATOR ARRANGEMENT OF SWIRL GENERATOR UNITS			
ITEM	DESCRIPTION	QTY.	MATERIAL
1	Cover	1	Stainless steel - EN 58 J
2	Body	1	Stainless steel - EN 58 J
3	Swirl generator	1	Stainless steel - EN 58 J
5	Gasket	2	Klingerit universal
6	Hexagon socket head cap screw	4	Stainless steel

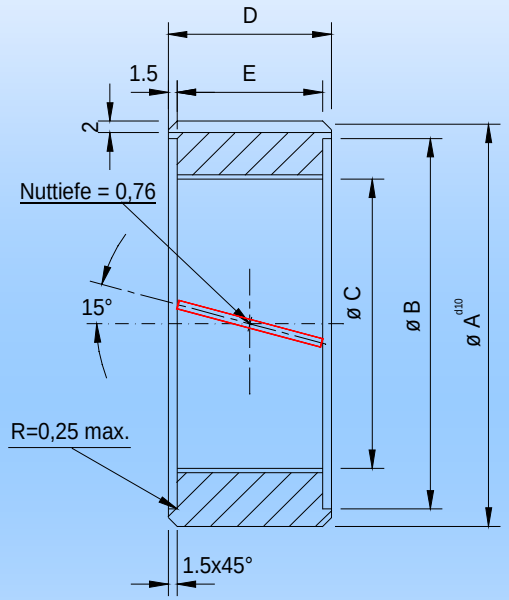


THREADED TYPE DISTURBANCE GENERATOR ARRANGEMENT OF VELOCITY PROFILE DISTURBANCE UNITS			
ITEM	DESCRIPTION	QTY.	MATERIAL
1	Cover	1	Stainless steel - EN 58 J
2	Body	1	Stainless steel - EN 58 J
4	Flow disturber	1	Stainless steel - EN 58 J
5	Gasket	2	Klingerit universal
6	Hexagon socket head cap screw	4	Stainless steel

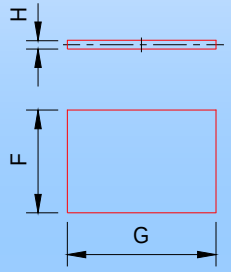
Wirbelerzeuger (Swirl generator) linksdrehend



Schnitt X - X



Einzelheit - Flügel



Material: Edelstahl

DN	ø A d10	B	C	D	E	F	G	H
25	41,920 41,820	38	25	15,5	12,5	9,38	12,7	0,75
50	69,900 68,780	64	50	28,0	25,0	17,72	25,5	1,50

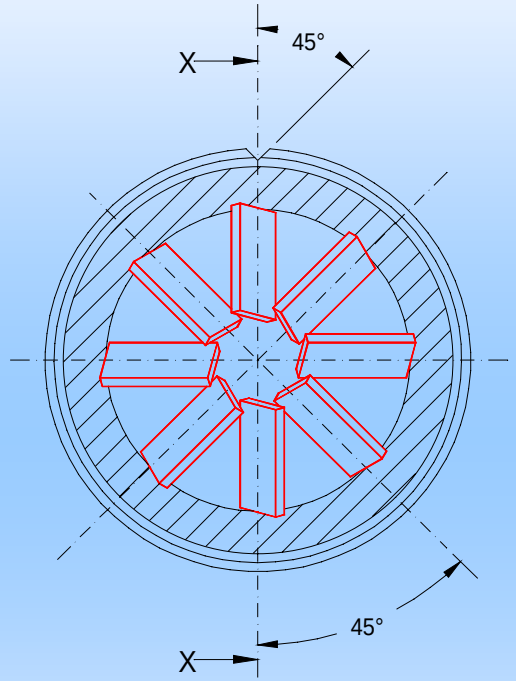
Rauhtiefe, alle Flächen 3,2

Experimentier- u. Wasserzählerprüstand

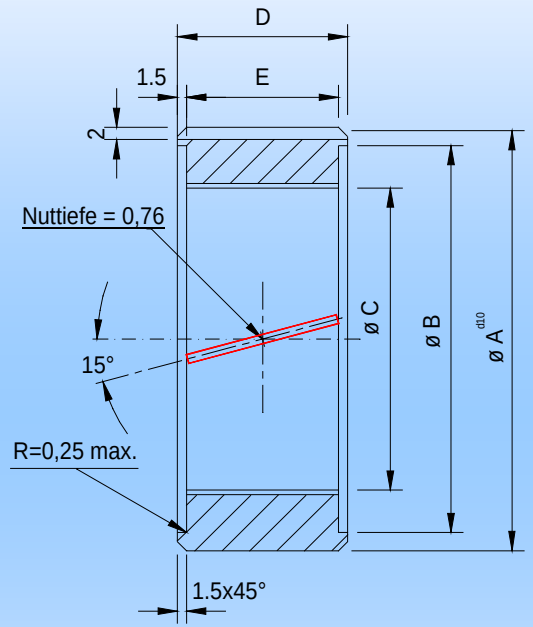
- Störungsgenerator DN 25 u. 50 - Teil 3.1

M = 1 : 1	PTB 1.52	05.03.04	Schm st-50-31.skd

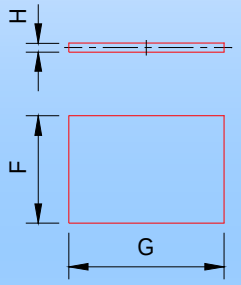
Wirbelerzeuger (Swirl generator) rechtsdrehend



Schnitt X - X



Einzelheit - Flügel



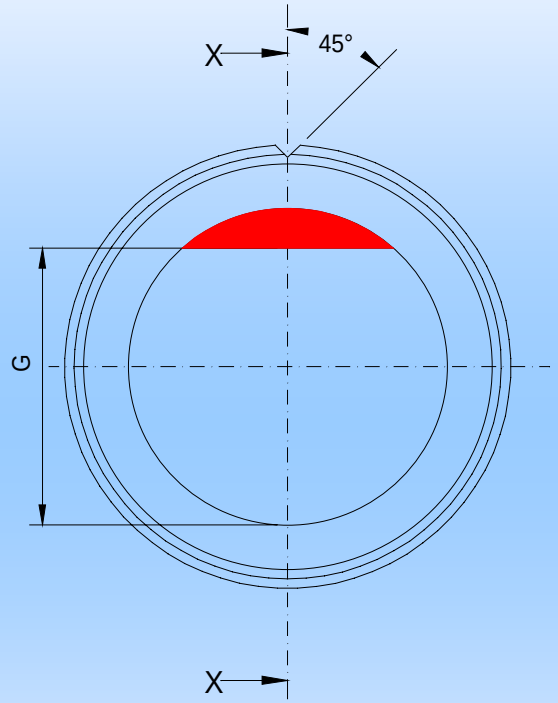
Material: Edelstahl

DN	ø A d10	B	C	D	E	F	G	H
25	41,920 41,820	38	25	15,5	12,5	9,38	12,7	0,75
50	69,900 68,780	64	50	28,0	25,0	17,72	25,5	1,50

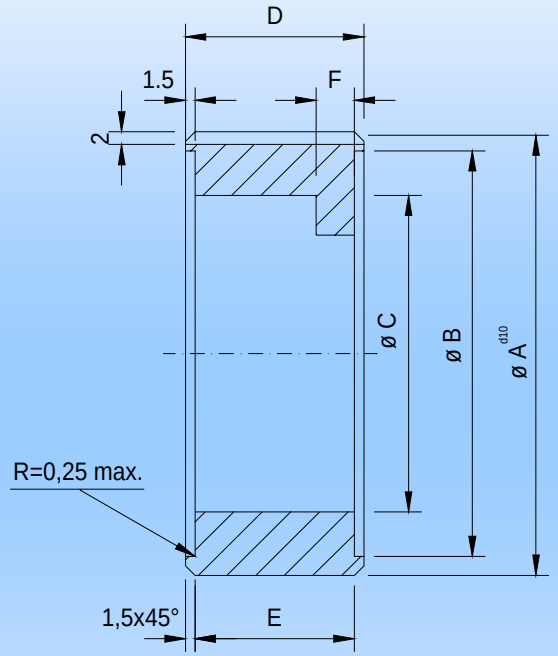
Rauhtiefe,
alle Flächen 3,2

Experimentier- u. Wasserzählerprüstand - Störungsgenerator DN 25 u. 50 - Teil 3.2			
M = 1 : 1	PTB 1.52	05.03.04	Schm st-50-32.skd

Störungsgenerator (Flow disturber)



Schnitt X - X



Material: Edelstahl

DN	ø A d10	B	C	D	E	F	G
25	41,920 41,820	38	25	15,5	12,5	6,0	21,875
50	69,900 68,780	64	50	28,0	25,0	6,0	43,750

Rauhtiefe,
alle Flächen 3,2

Experimentier- u. Wasserzählerprüstand - Störungsgenerator DN 25 u. 50 - Teil 4			
M = 1 : 1	PTB 1.52	05.03.04	Schm st-50-4.skd

Warum

„Flow disturbance tests“?

Annahme

Ideale Strömungsbedingungen in der Rohrleitung:
- Laminares/vollausgebildetes turbulentes Profil,
- Drallfreiheit,
- Achsensymmetrie

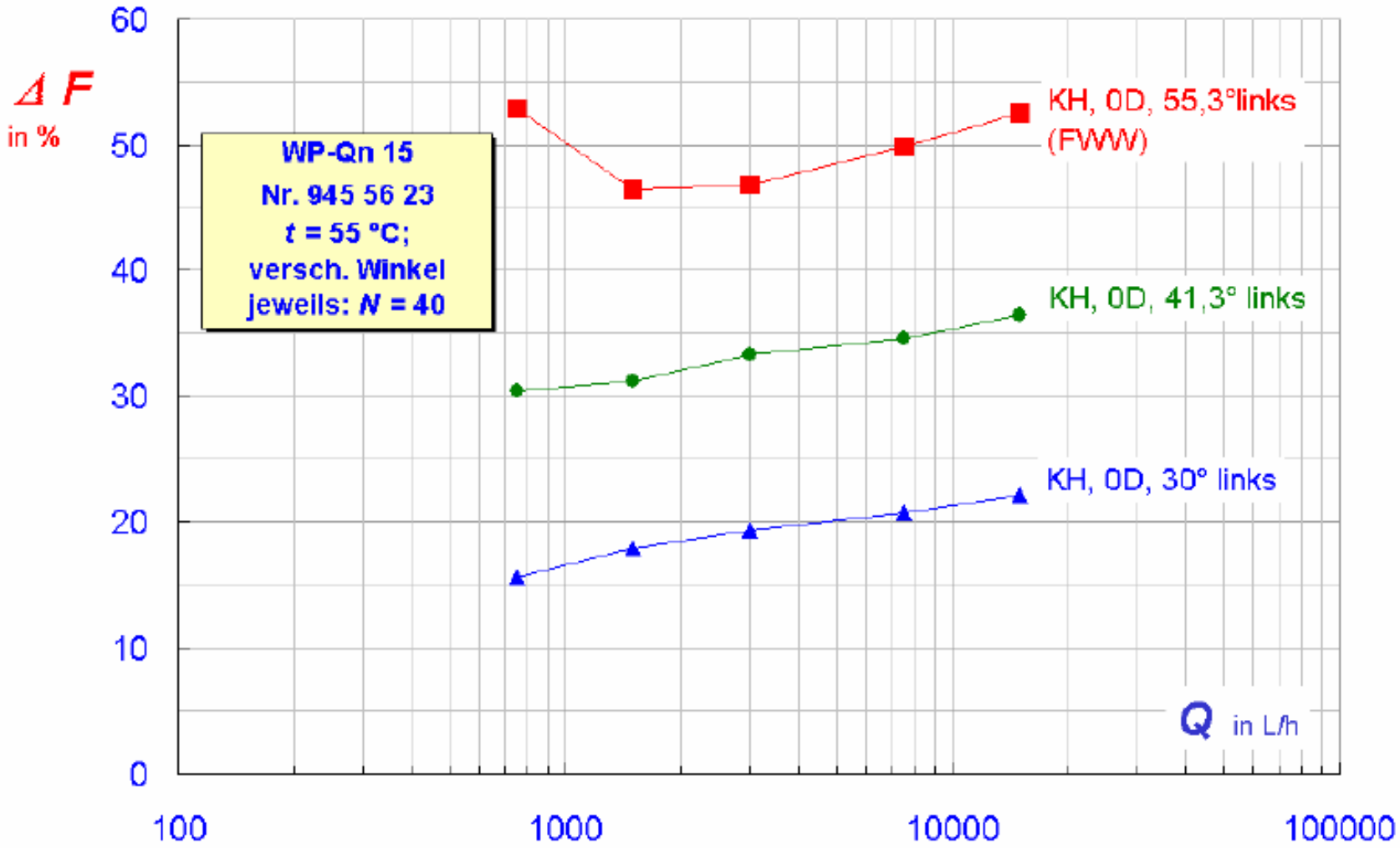
Realität

Irreguläre, gestörte, nicht voraussagbare Strömungsbedingen durch:
- Krümmer, Absperrorgane, Filter, Querschnittsveränderungen, unsachgerecht eingebaute Dichtungen

Zähler reagieren unterschiedlich auf die veränderten Bedingungen

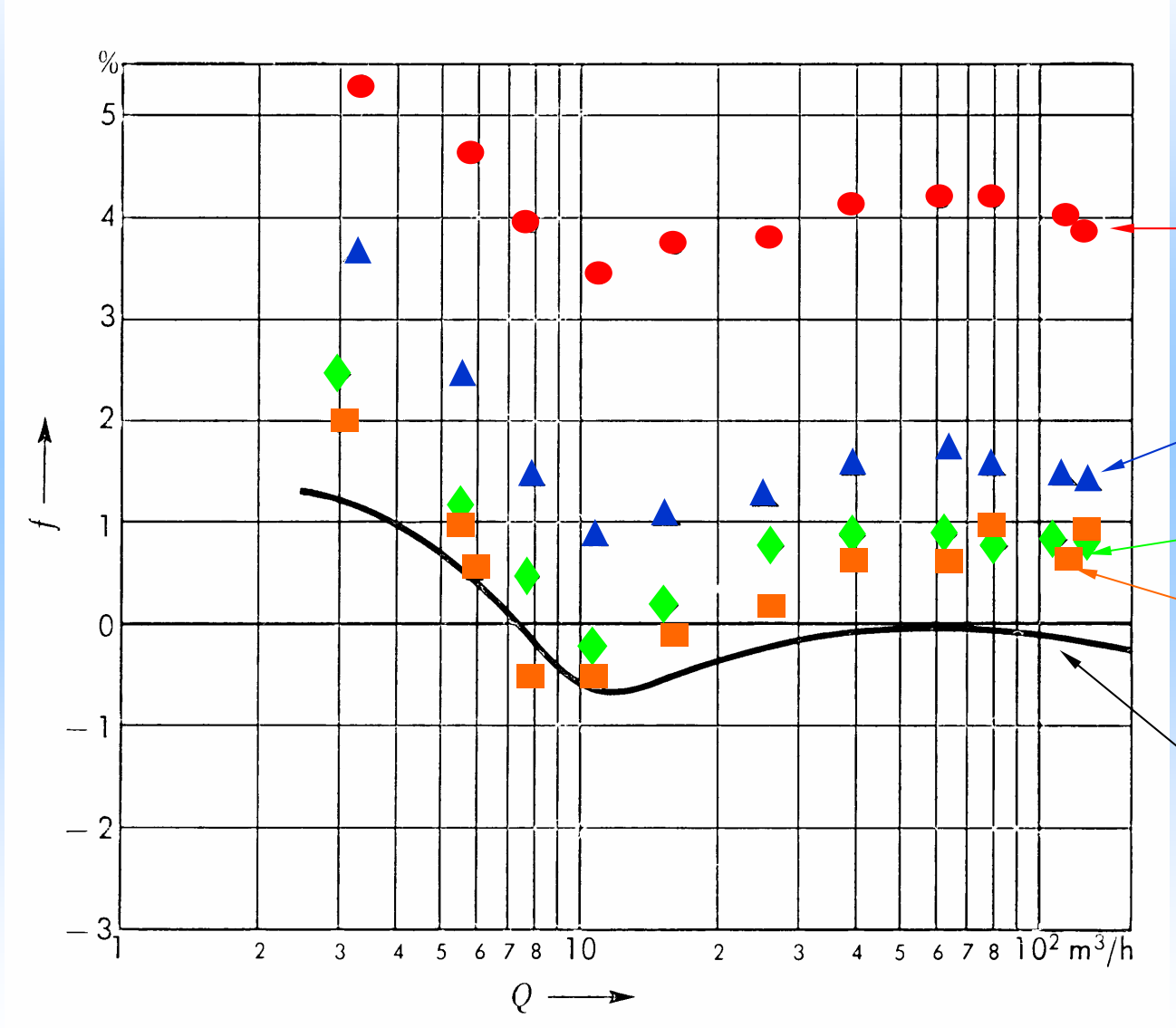
→ **Messfehler !**

Beispiel: Verschiebung der Fehlerkurve Woltman-Zähler WP nach teilgeöffnetem Kugelhahn



Adunka 2003 [1]

Beispiel: Fehlerkurve Woltman-Zähler WS hinter 90°- Krümmer



Abstand zwischen Zähler und Krümmer a/D

a/D = 0

a/D = 2

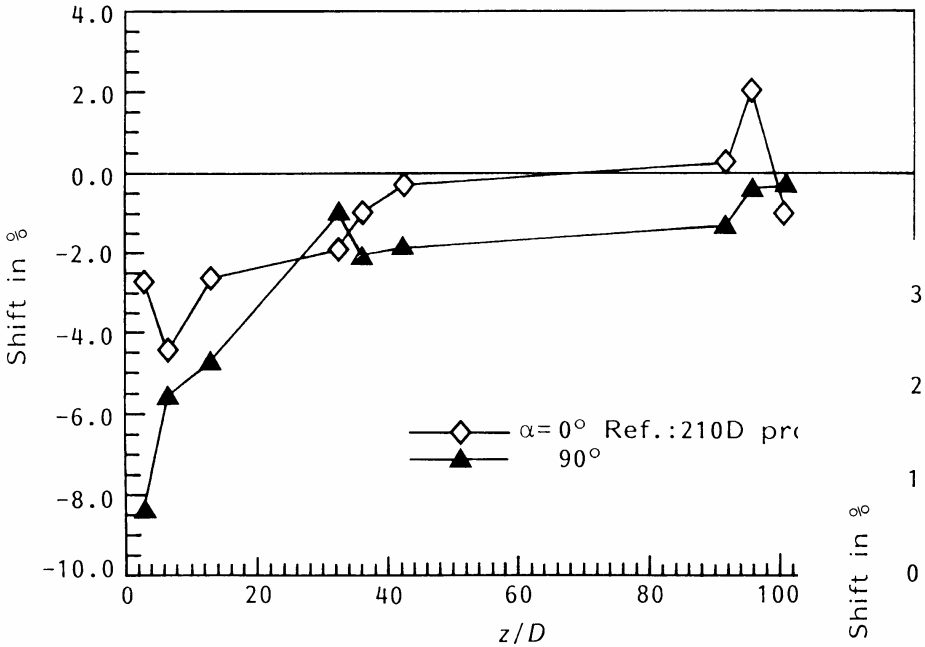
a/D = 5

a/D = 10

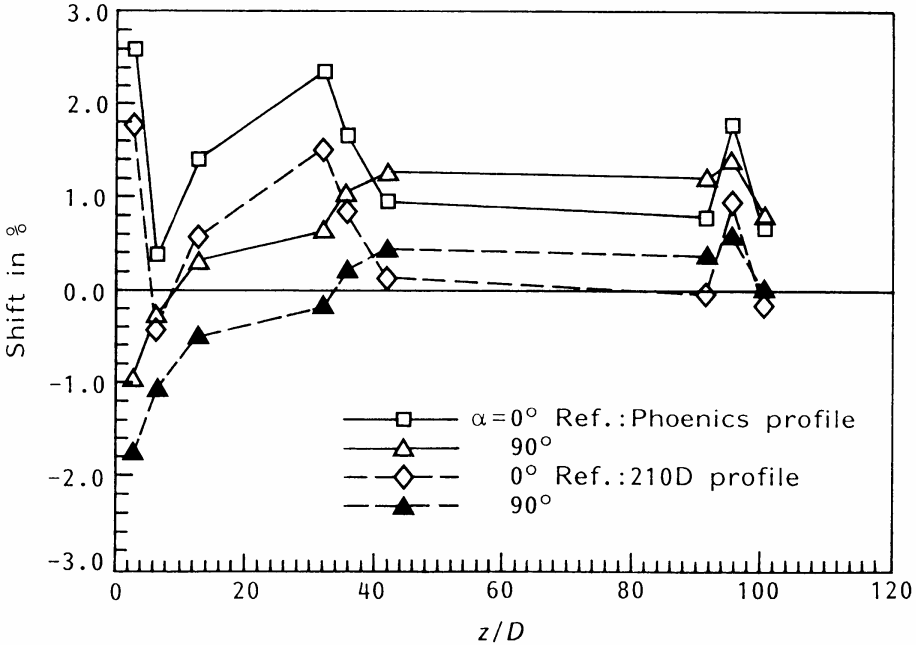
Referenzkurve für a/D = 75

Kalkhof 1975 [2]

Beispiel: Verschiebung der Fehlerkurve
Ultraschall-Zähler hinter Raumkrümmer



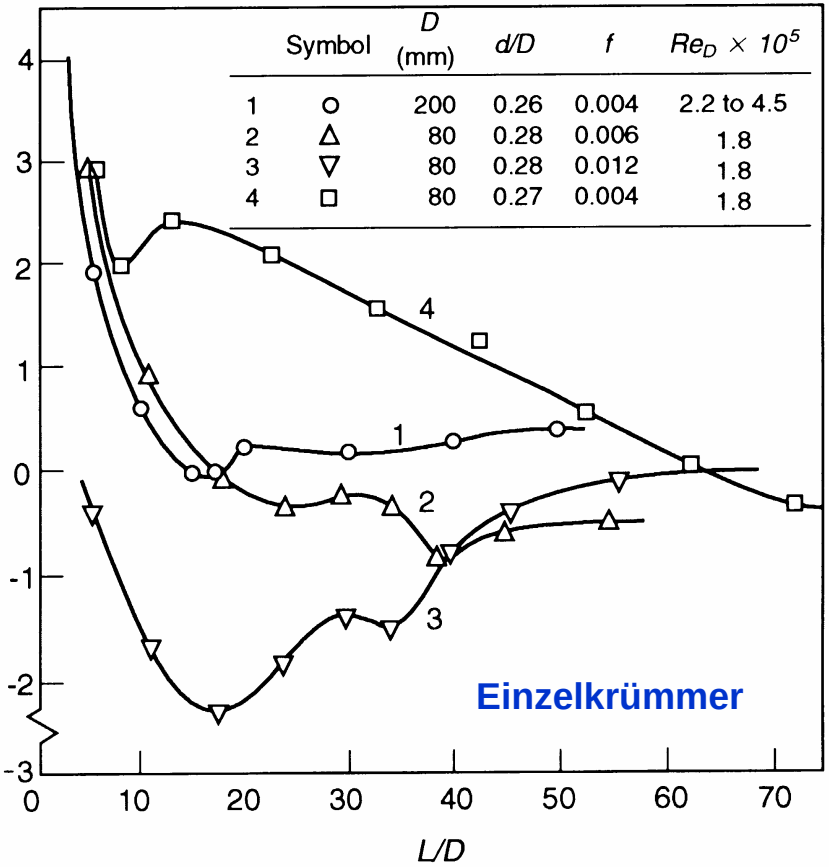
Single-beam ultrasonic meter downstr
a double elbow out-of-plane configuration. Re =

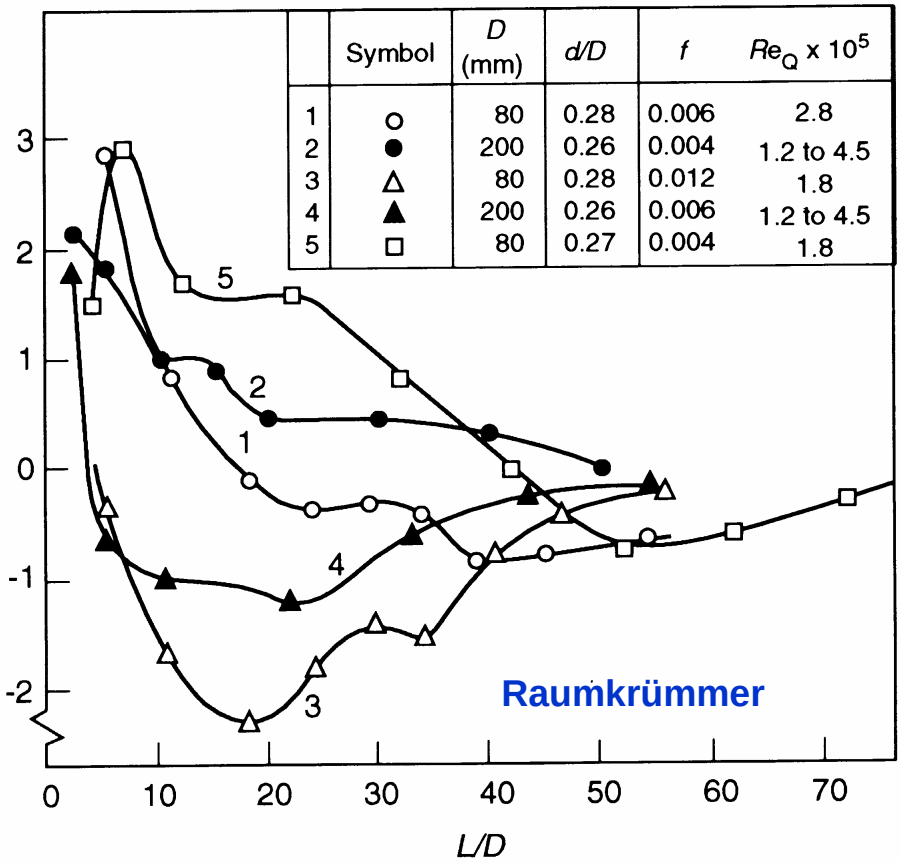


Dual-beam ultrasonic meter downstream of a double elbow out-of-plane configuration. Re = 10^5

Halttunen 1990 [3]

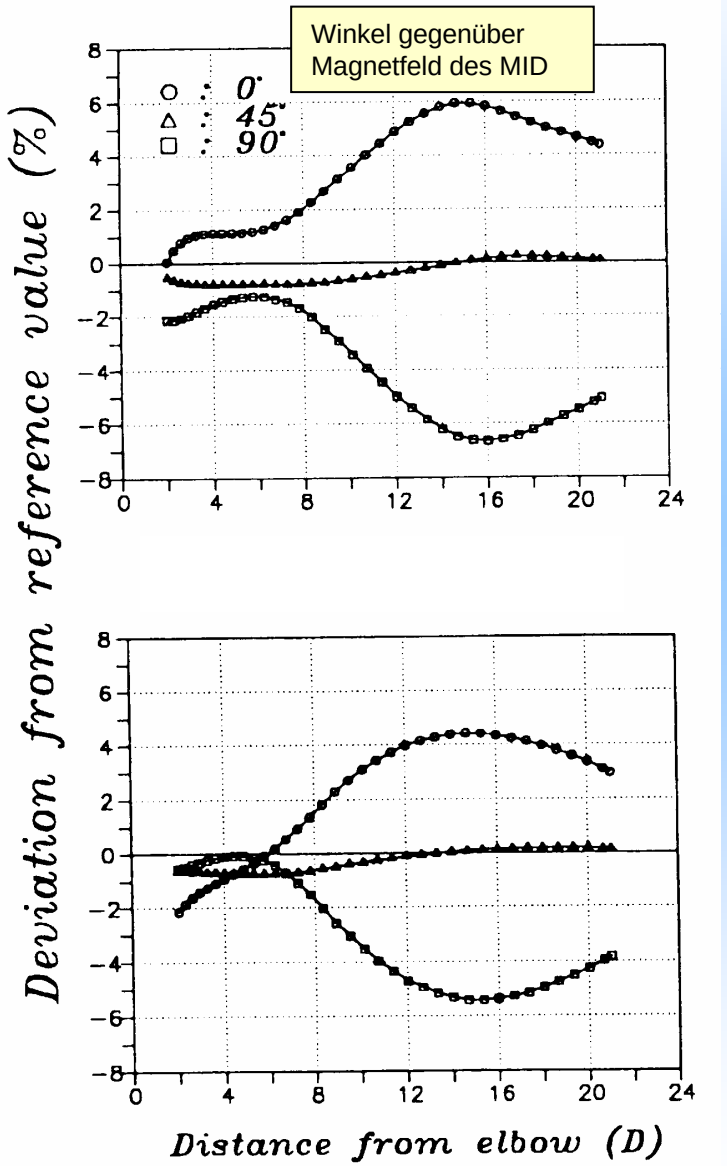
Beispiel: Verschiebung der Fehlerkurve
Wirbelzähler hinter Einzel- und Raumkrümmer

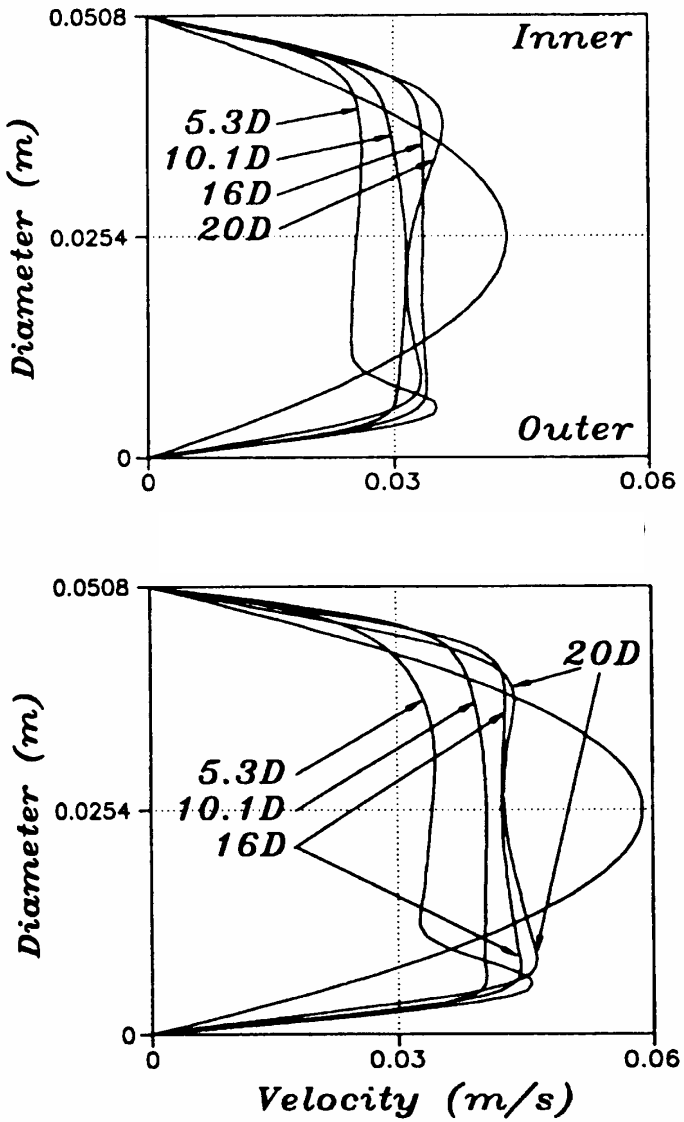




Mottram 1991 [4]

Beispiel: Verschiebung der Fehlerkurve MID hinter 90° - Krümmer (DN 50)





Lim, Chung 1999 [5]

Feststellung:

- ***Alle Messergebnisse beziehen sich auf reale Rohrströmungen***
- ***Keine Ergebnisse zu den standardisierten Störkörpern***

Bilden die standardisierten Störkörper die realen Strömungsstörungen ab ?

Gibt es Möglichkeiten einer Systematisierung?

Rohrleitungskonfigurationen und Störungen

↓

Strömungszustand, Geschwindigkeitsverteilung ← **Gibt es Möglichkeiten, den Strömungszustand nach einer Störung zu beeinflussen?**

↓

Reaktion des Zählers ← **Neue Zähler ?**

Informationen über das PTB-Forschungsprojekt

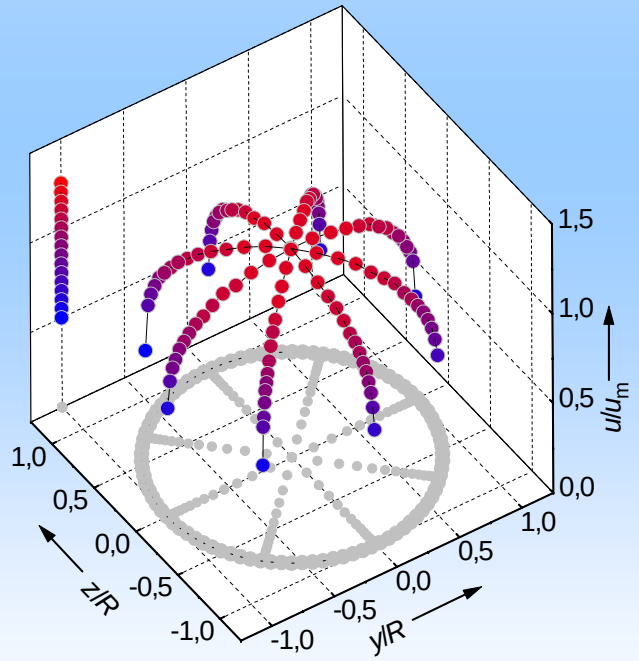
„Installationseffekte an Gaszählern“

im Hinblick auf die neuen

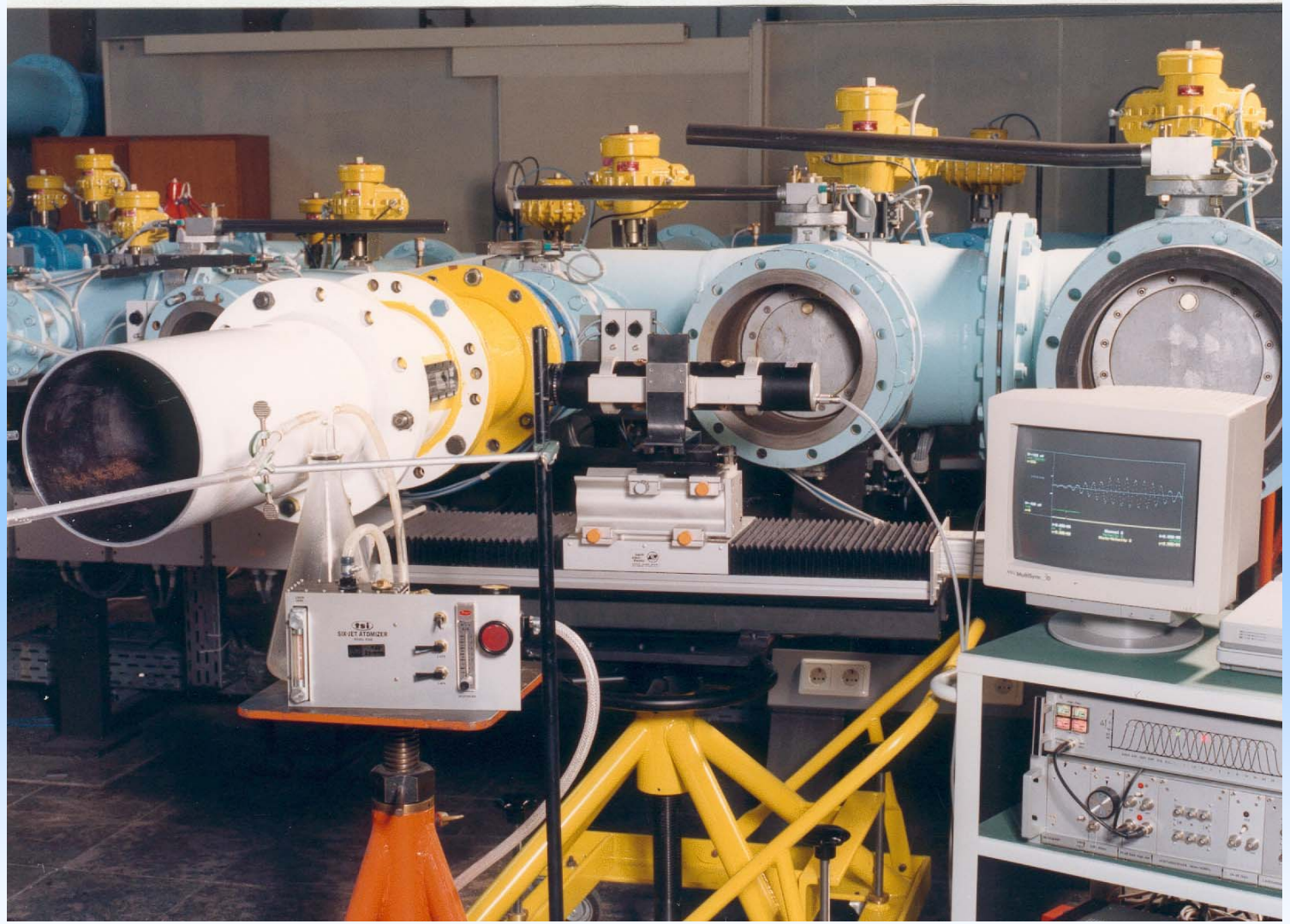
Zulassungstests für

Wasserzähler aus MID,

OIML und CEN



Forschungsvorhaben “Installationseffekte”

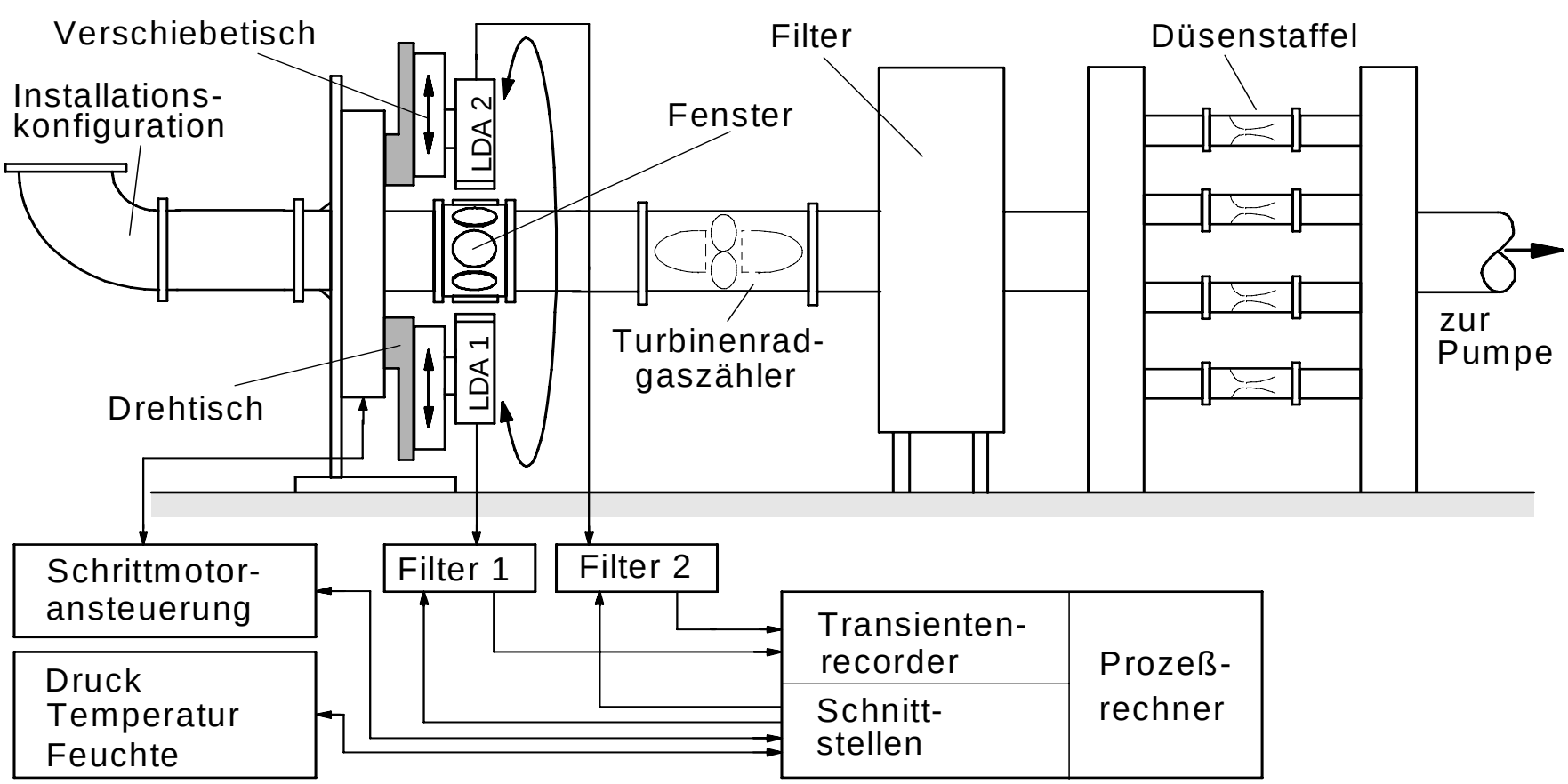


Erste Untersuchungen am Gaszählerprüfstand der PTB

Forschungsvorhaben “Installationseffekte”

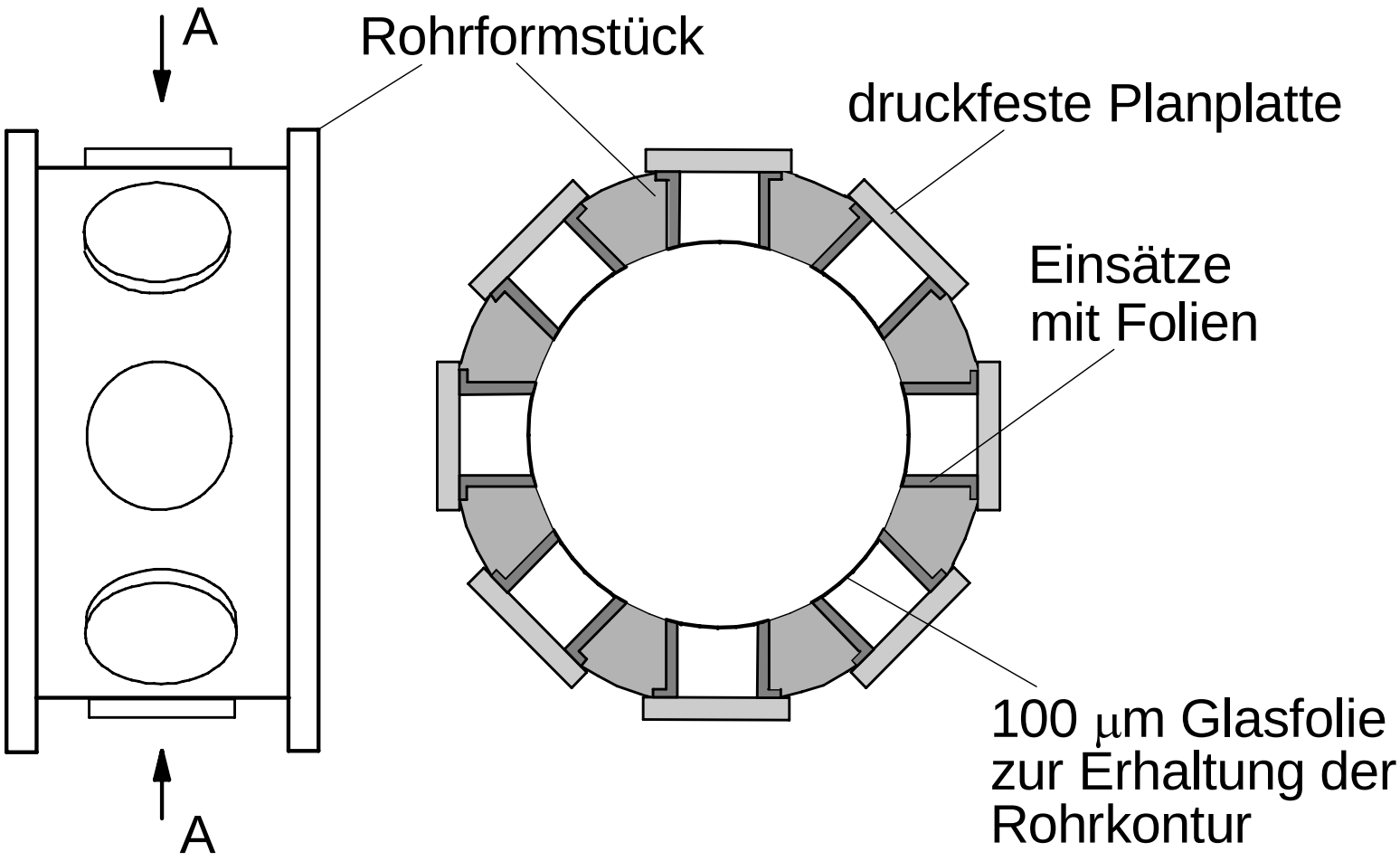
Rechnergesteuerter Prüfstand zur Erfassung installationsbedingter Änderungen von Strömungsprofilen im Einlauf von Gaszählern

Forschungsvorhaben “Installationseffekte”



Rechnergesteuerter Prüfstand zur Erfassung installationsbedingter Änderungen von Strömungsprofilen im Einlauf von Gaszählern

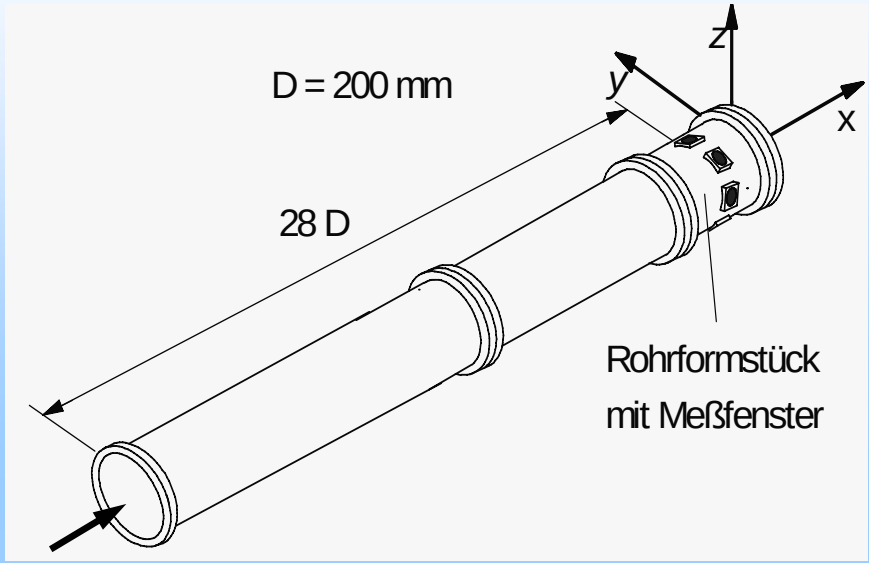
Rohrformstück für den optischen Zugang zur Rohrströmung

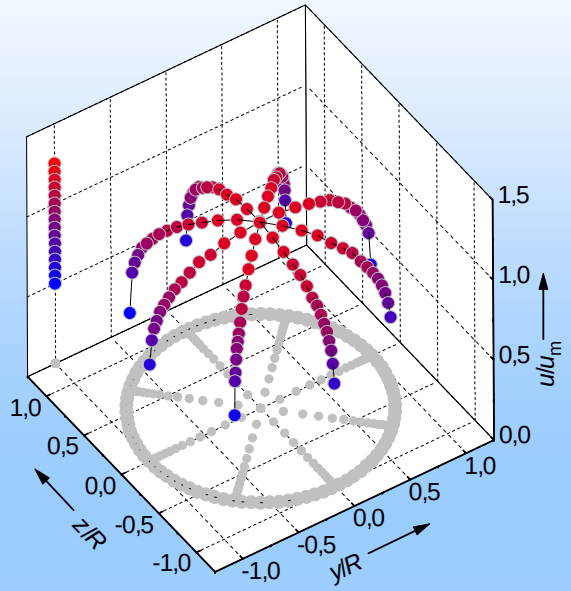


Seitenansicht

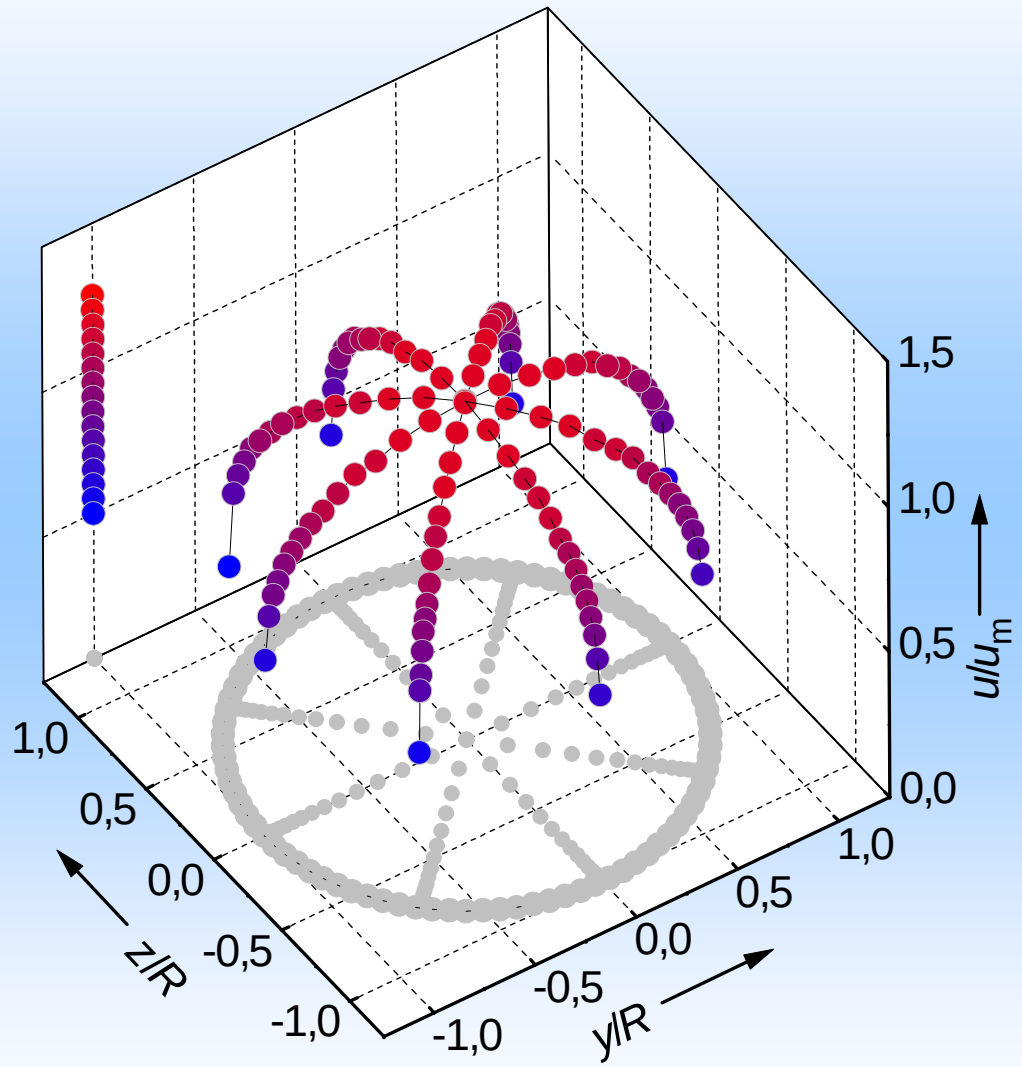
Schnitt A-A

„Ungestörtes“ voll entwickeltes Strömungsprofil



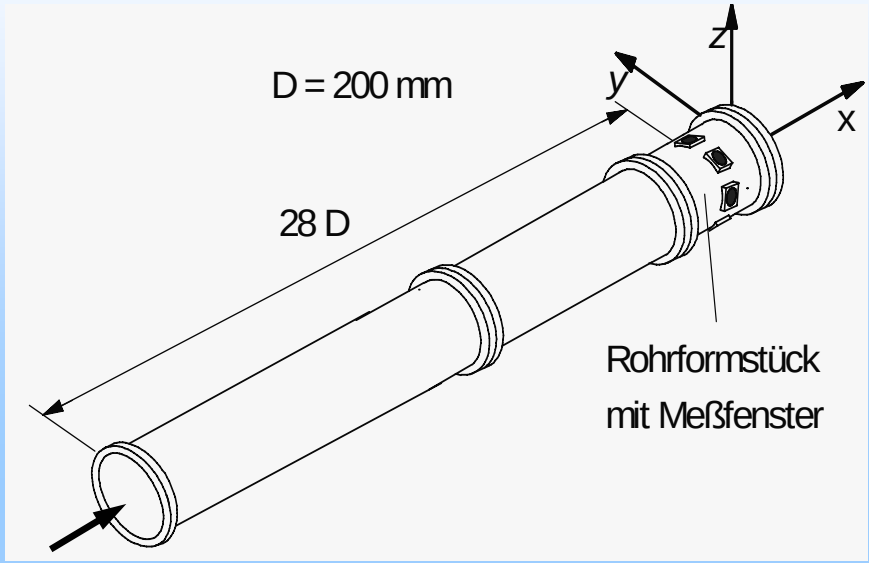


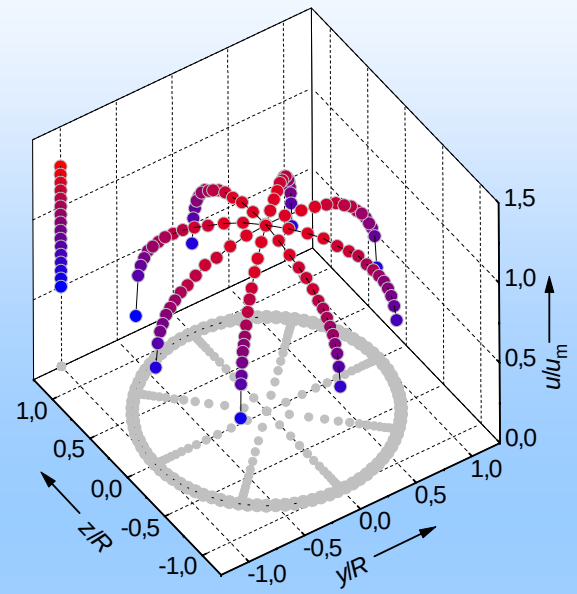
„Ungestörtes“ voll entwickeltes Strömungsprofil

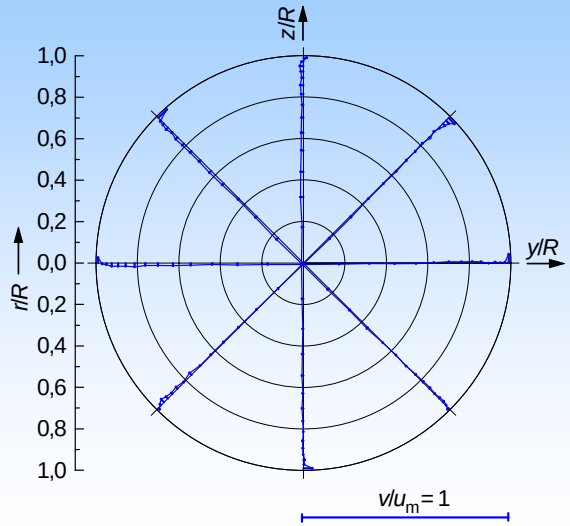


Axiales Strömungsprofil, normiert auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit u_m

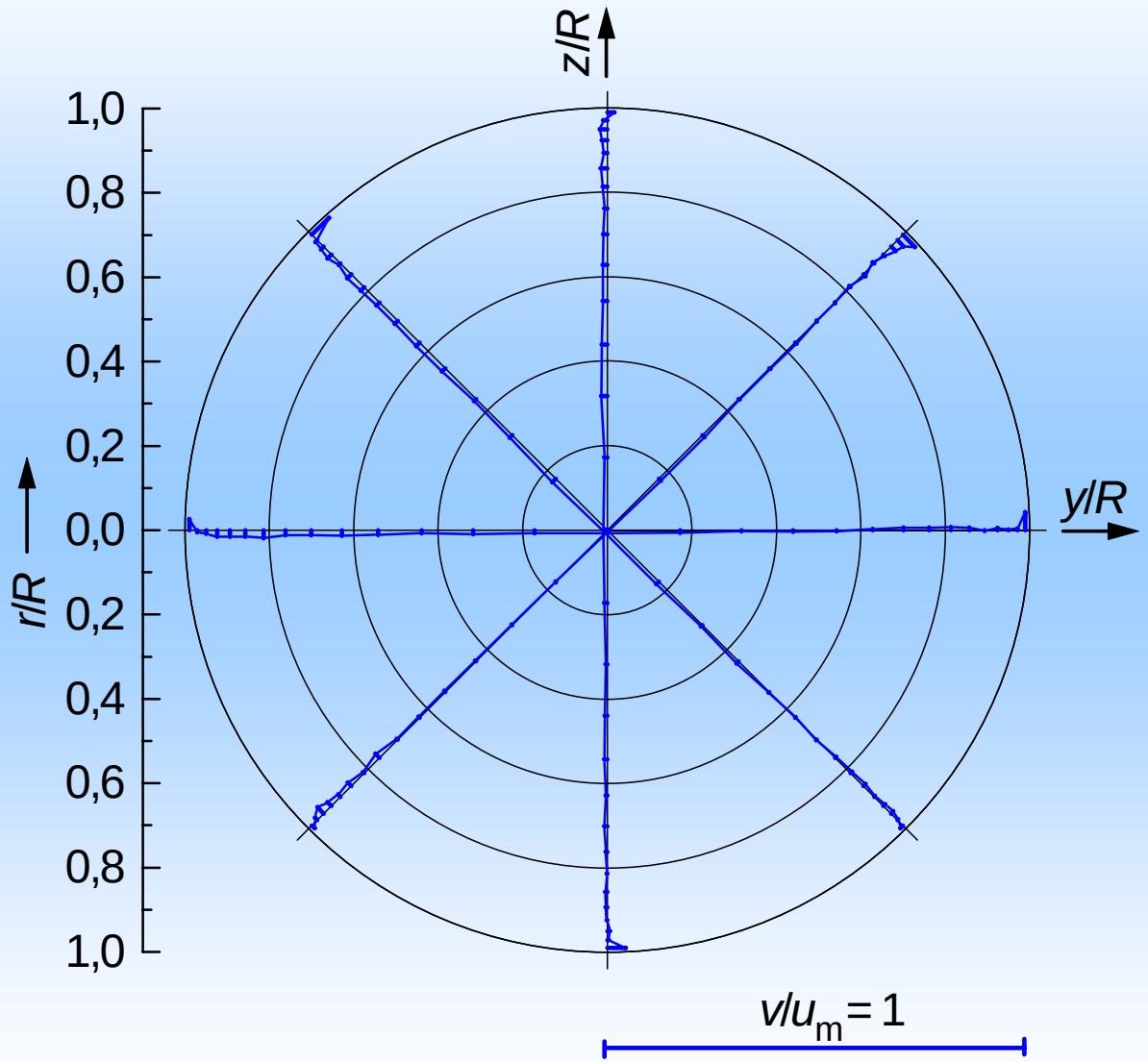
„Ungestörtes“ voll entwickeltes Strömungsprofil





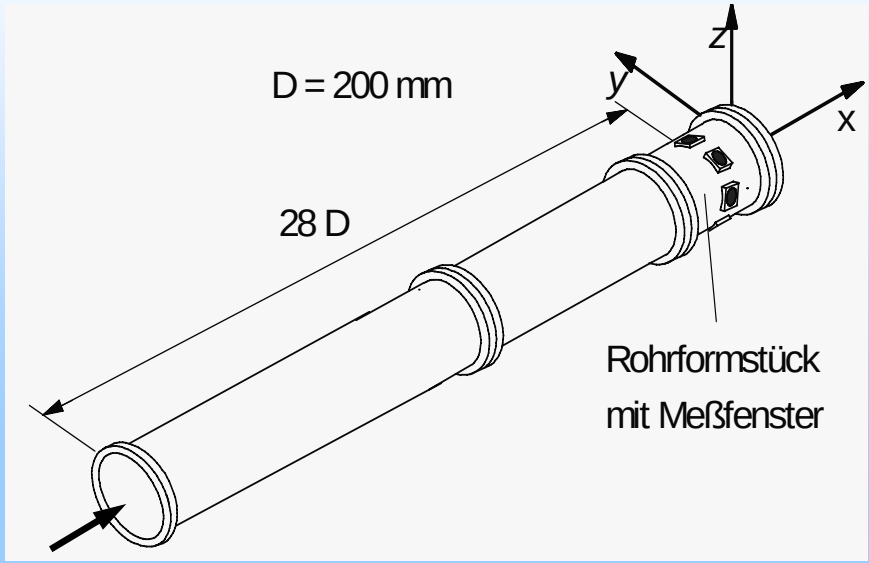


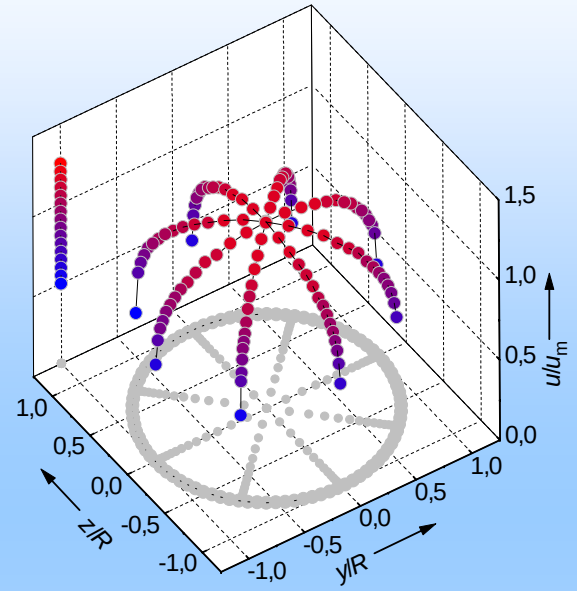
„Ungestörtes“ voll entwickeltes Strömungsprofil

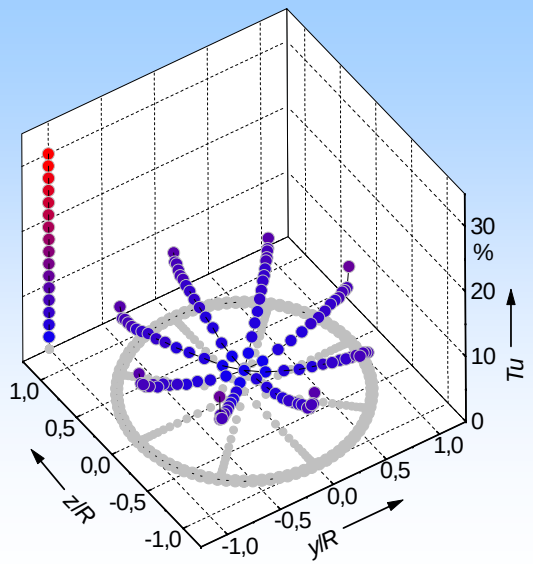


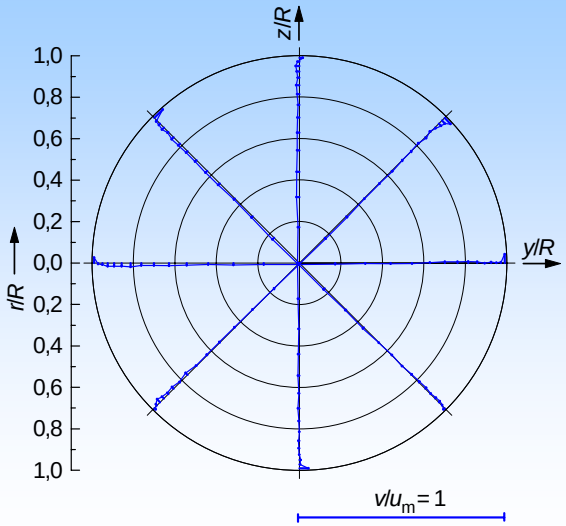
Tangentiales Strömungsprofil, normiert auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit u_m

„Ungestörtes“ voll entwickeltes Strömungsprofil

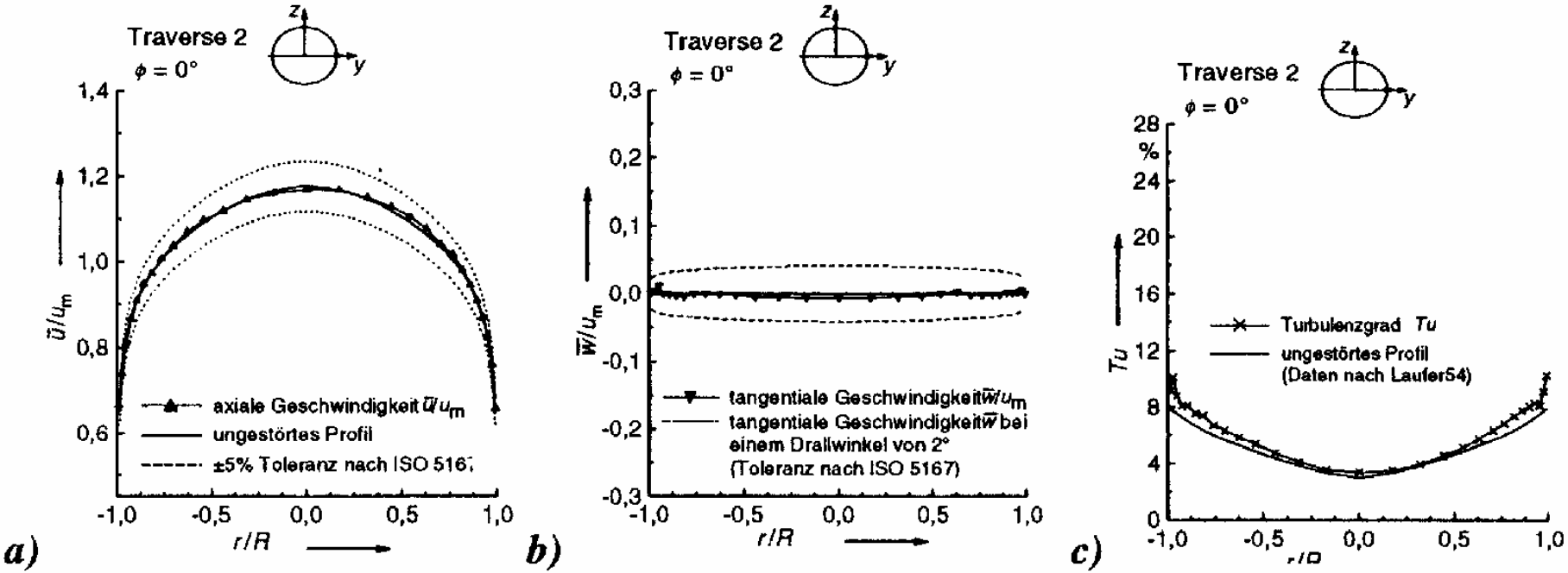






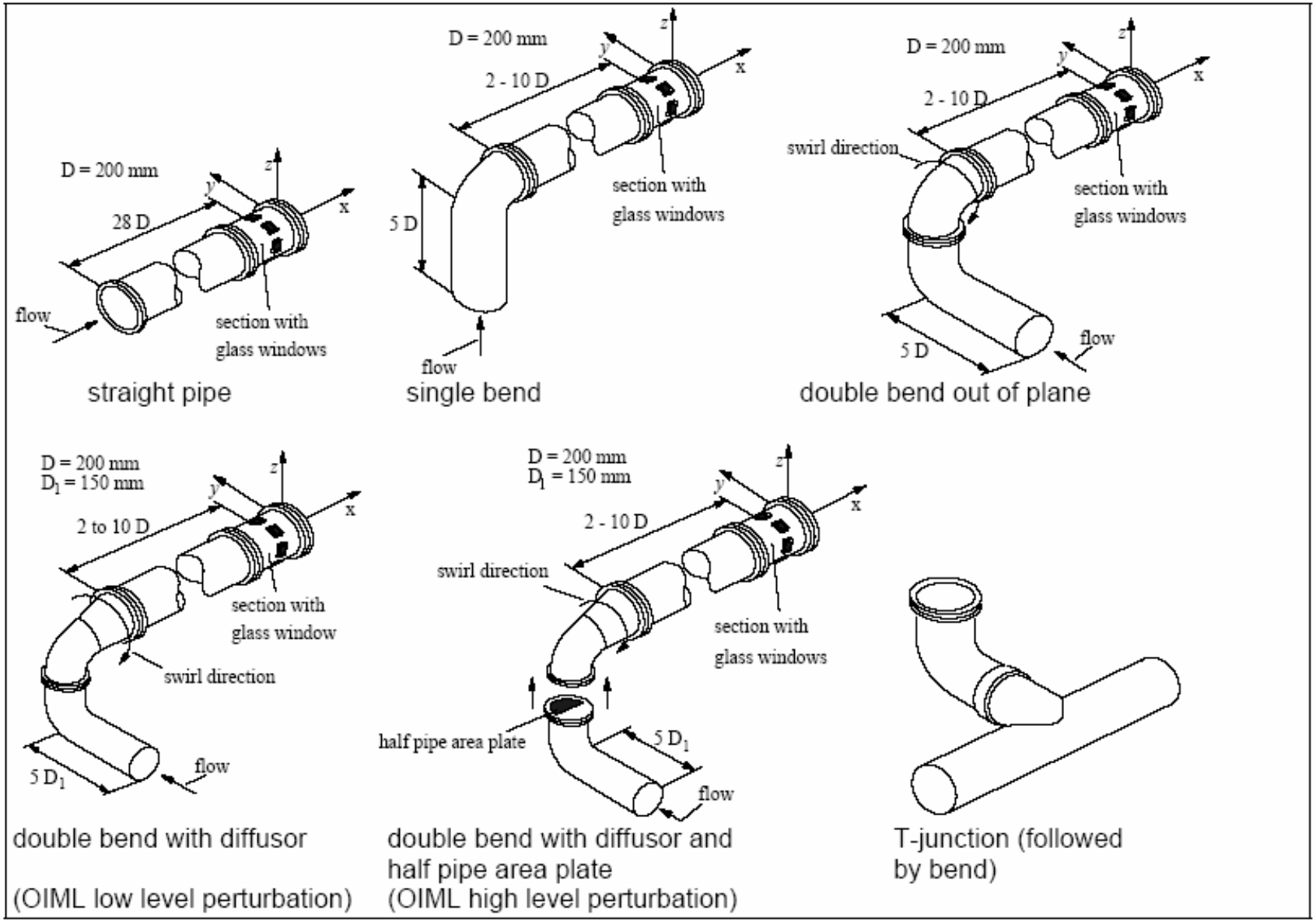


„Ungestörtes“ voll entwickeltes Strömungsprofil

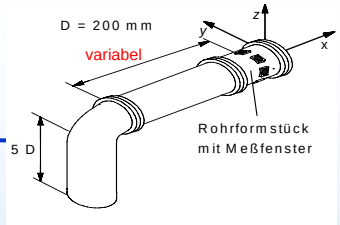


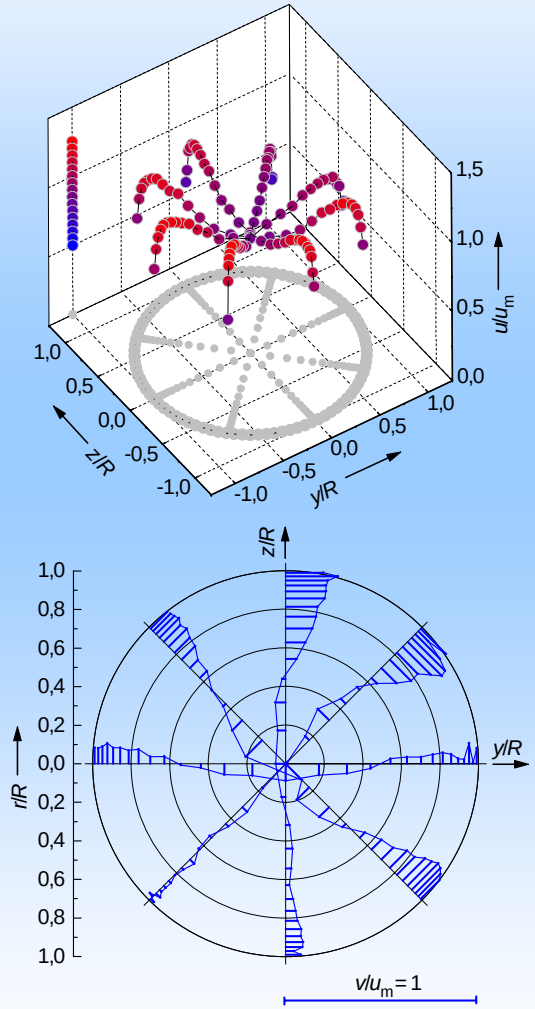
Strömungsprofil nach einer 28D langen geraden Rohrleitung
a) axiale Geschwindigkeit $\bar{u}$
b) tangentiale Geschwindigkeit $\bar{w}$
c) Turbulenzgrad Tu
Das dargestellte Profil wurde bei einer Reynoldszahl von $Re = 2{,}5 \times 10^5$ gemessen.

Untersuchte Einlaufkonfigurationen

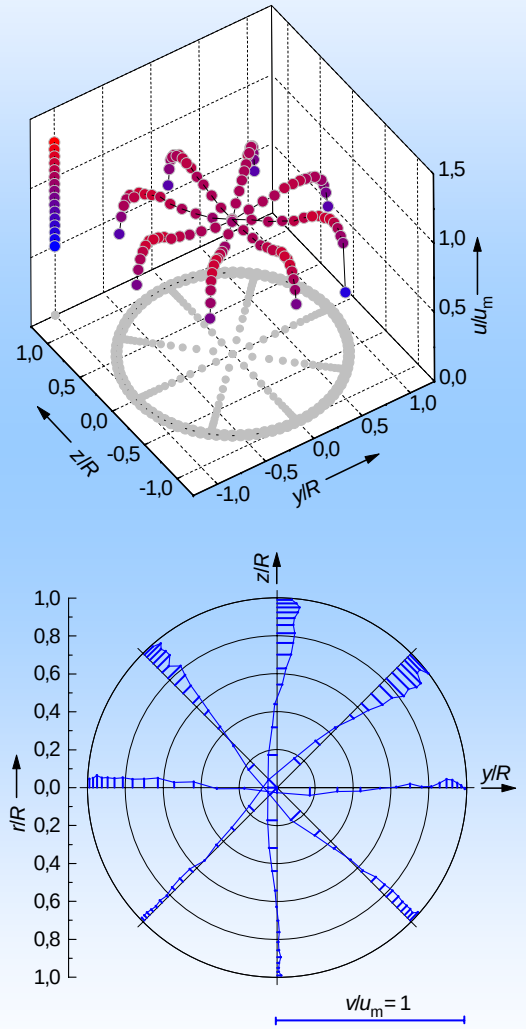


Einzelkrümmer

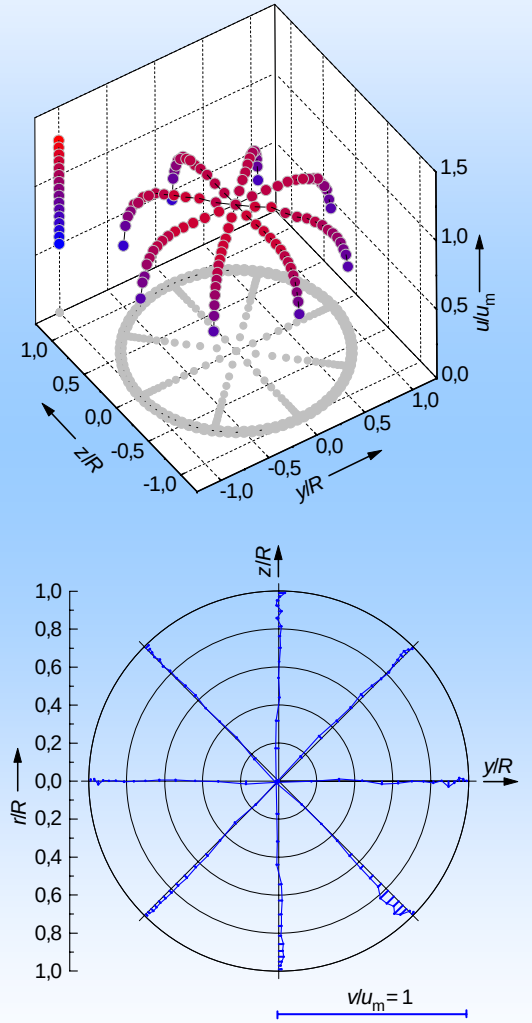




2 D Einlauf

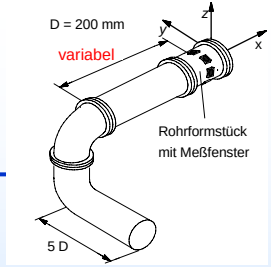


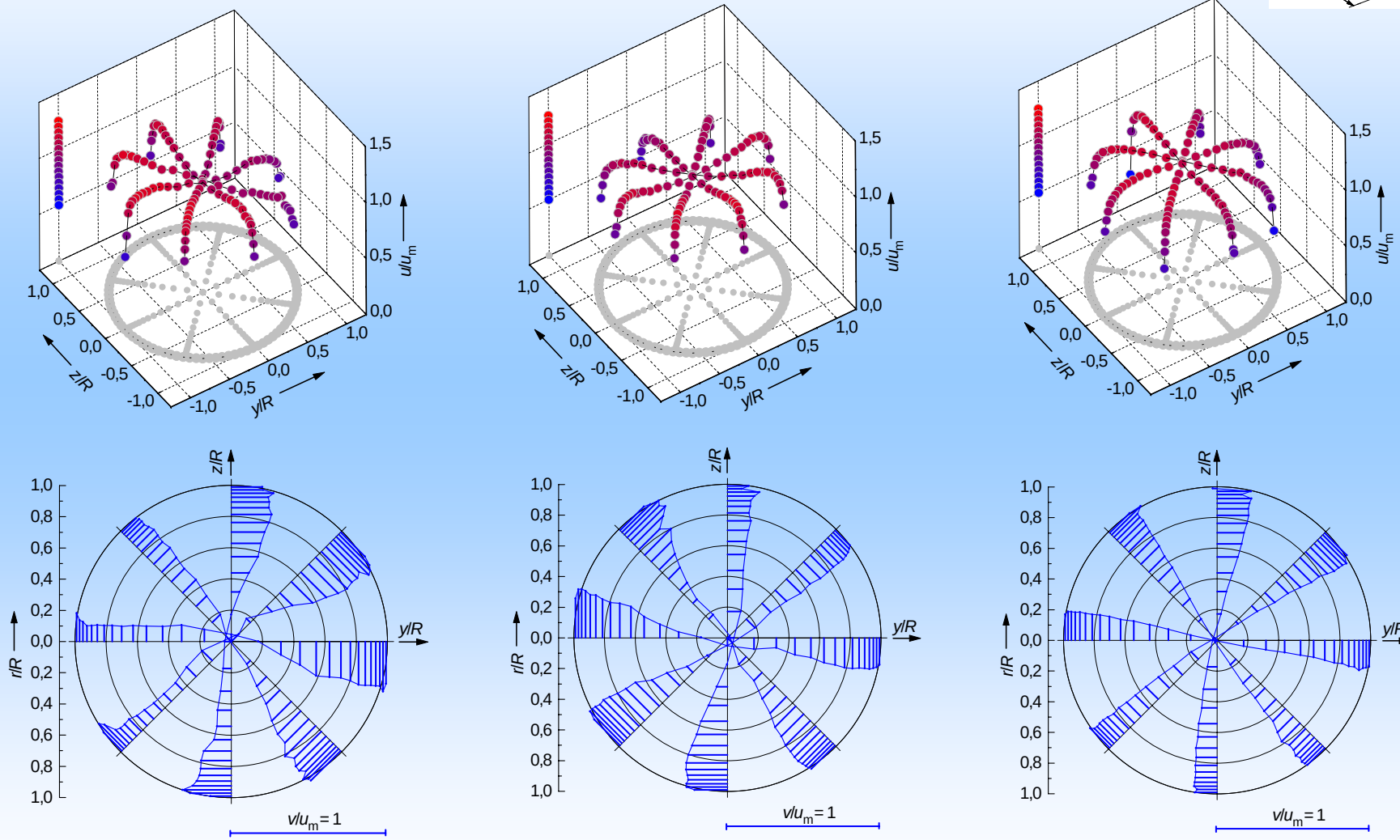
5 D Einlauf



10 D Einlauf

Doppelkrümmer rechtsdrehend

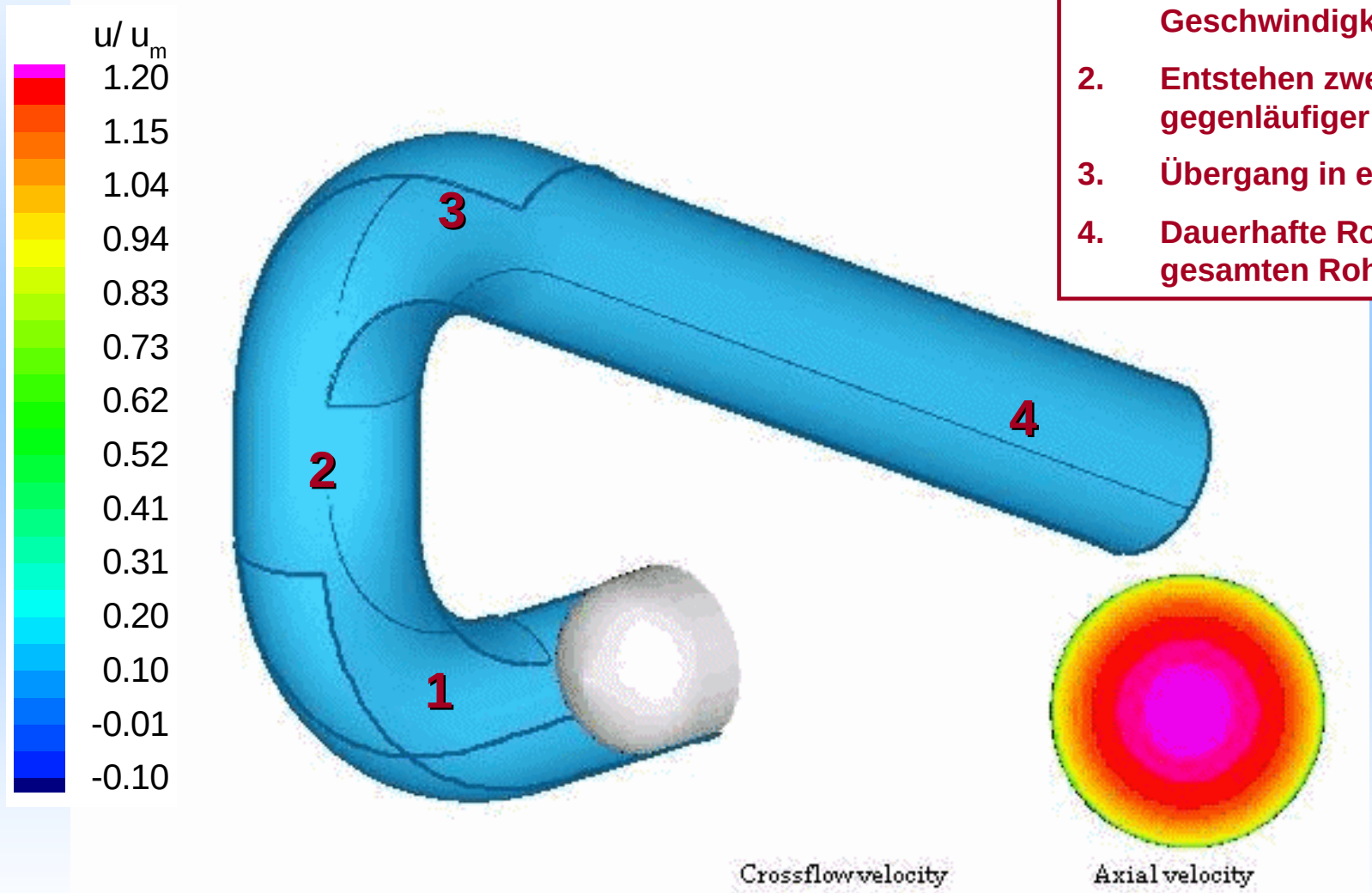




2 D Einlauf **5 D Einlauf** **10 D Einlauf**

“Gestörte Strömung”

1. Deformation des axialen Geschwindigkeitsprofils
2. Entstehen zweier gegenläufiger Wirbel
3. Übergang in einen Wirbel
4. Dauerhafte Rotation der gesamten Rohrströmung

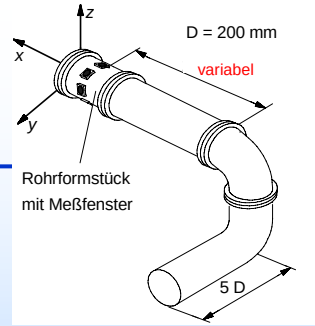


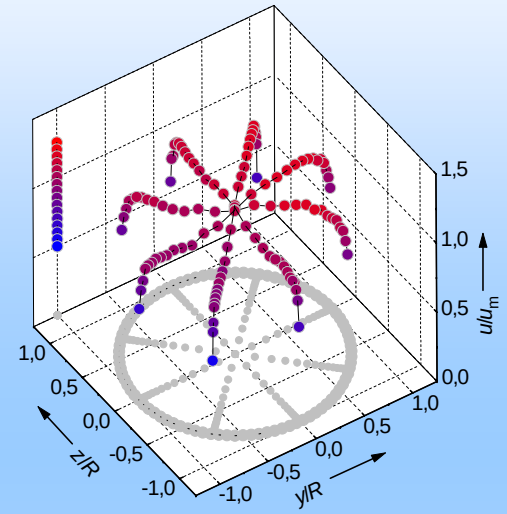
CFD Simulation of a double bend out of plane by ***ruhrgas***

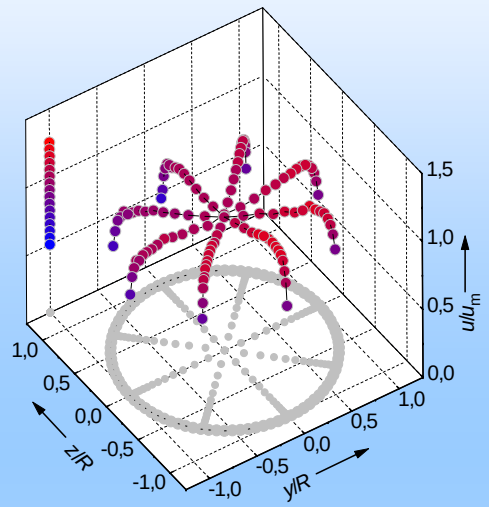
FLUENT v5, RNG k-ε, Q=635,9 m³/h- Re=65.000, p=1 bar

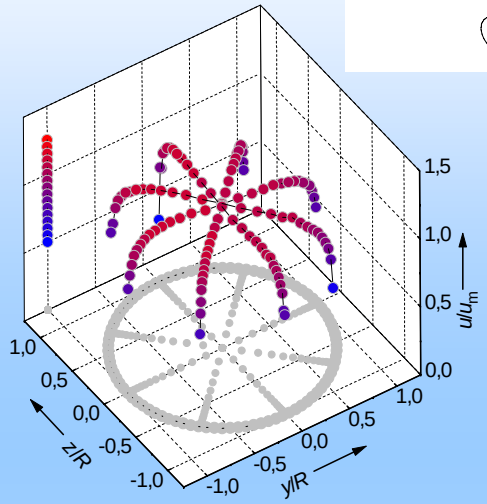
Hilgenstock 1996 [6]

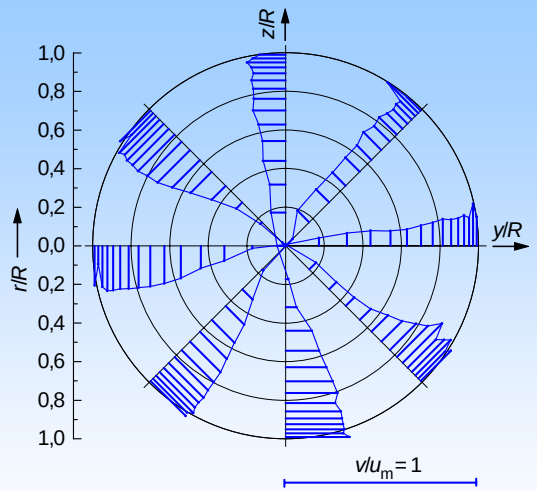
Doppelkrümmer linksdrehend

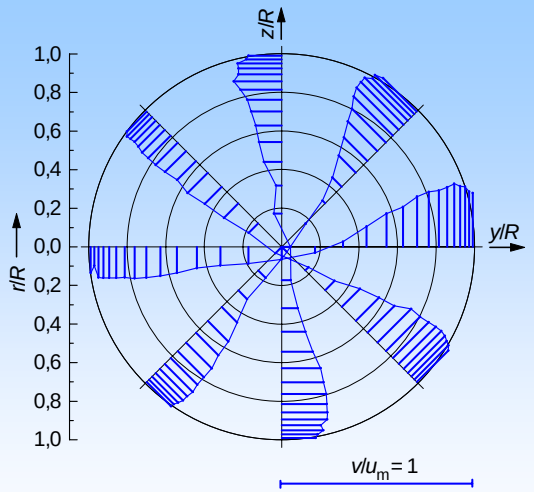


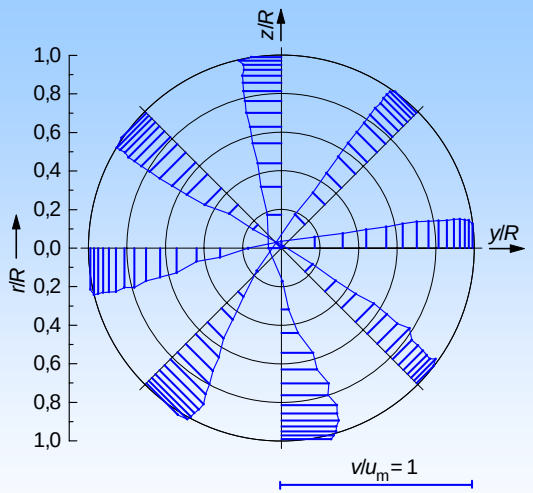






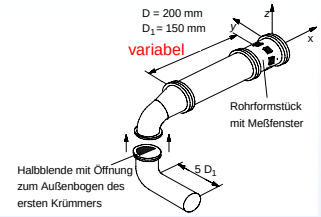


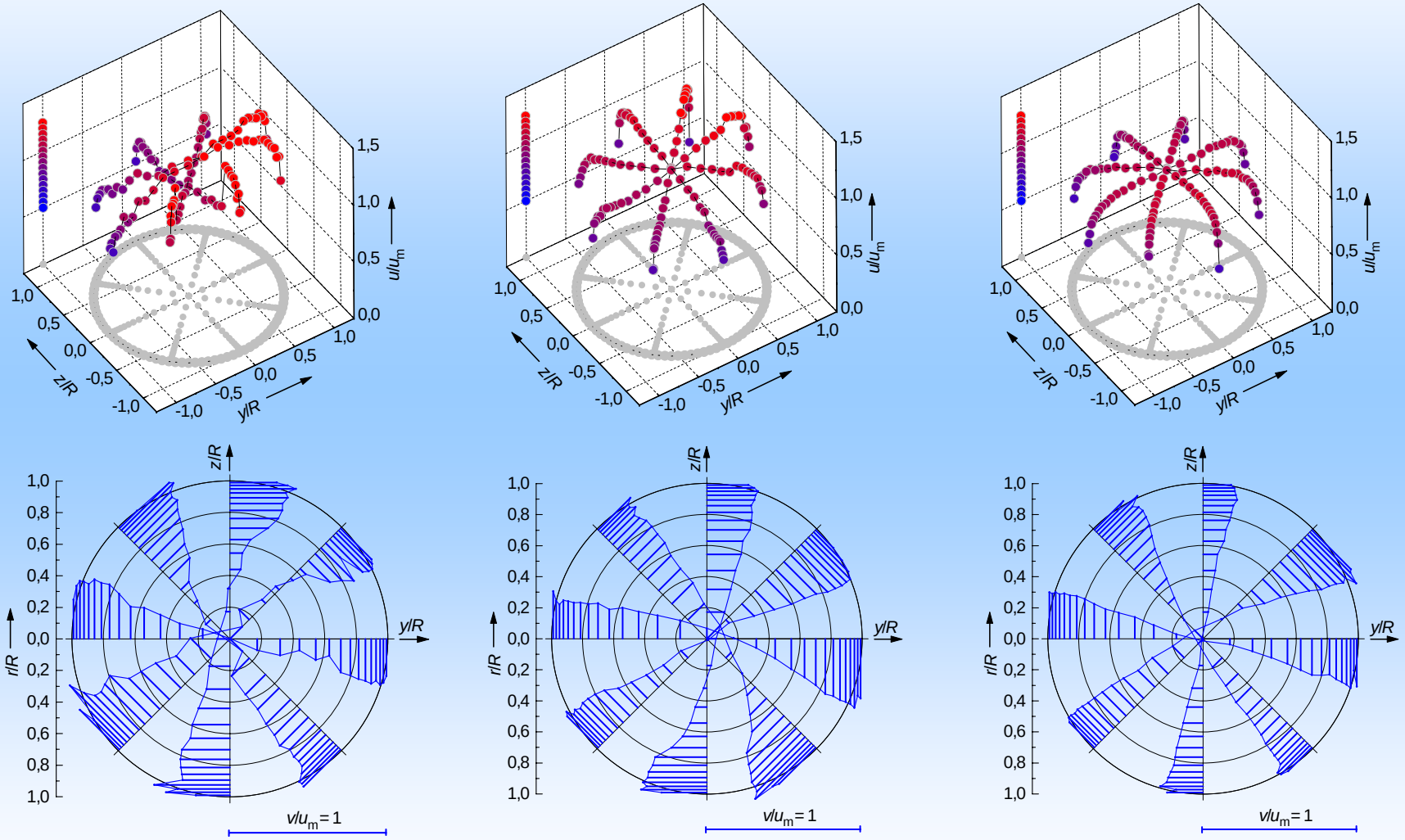




2 D Einlauf **5 D Einlauf** **10 D Einlauf**

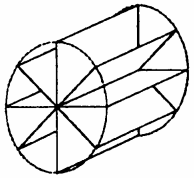
Doppelkrümmer mit Halbblende rechtsdrehend



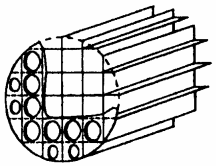


2 D Einlauf **5 D Einlauf** **10 D Einlauf**

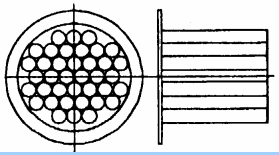
Untersuchte Gleichrichterformen



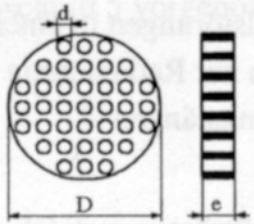
Etoile-Gleichrichter
Länge 2D; acht sternförmig angeordnete Leitbleche



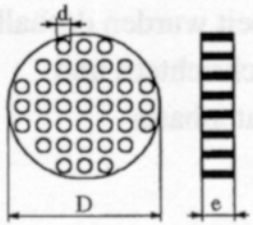
Zanker-Gleichrichter
Länge 1D; Lochanzahl:32; ∅ Loch: 0,08...0,145D,
Abdeckungsgrad: 0,51



Rohrbündel-Gleichrichter
Länge 2D; Röhrenanzahl: 31; ∅ Röhre: 0,1D



Einfachlochplatte Typ 1
Plattendicke e: 0,1D; Lochanzahl:417; ∅ Loch: 0,033D,
Abdeckungsgrad: 0,56

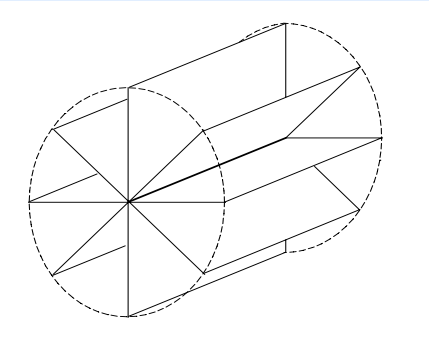


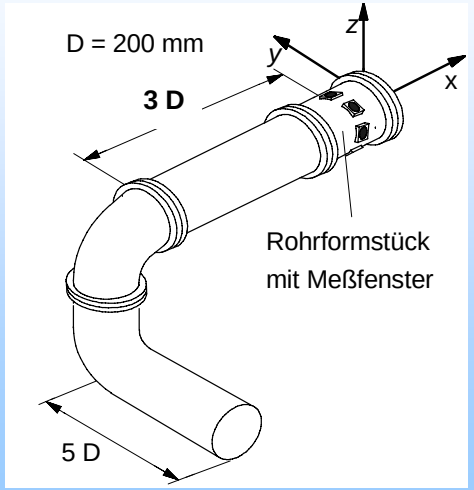
Einfachlochplatte Typ 2
Plattendicke e: 0,05D; Lochanzahl:160; ∅ Loch: 0,05D,
Abdeckungsgrad: 0,6

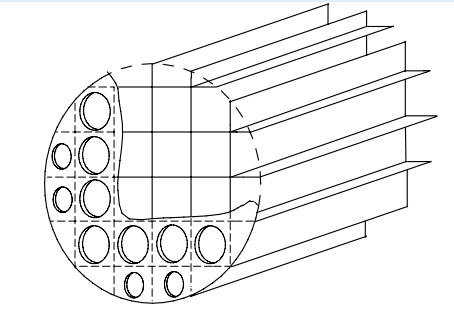
Untersuchte Gleichrichterformen

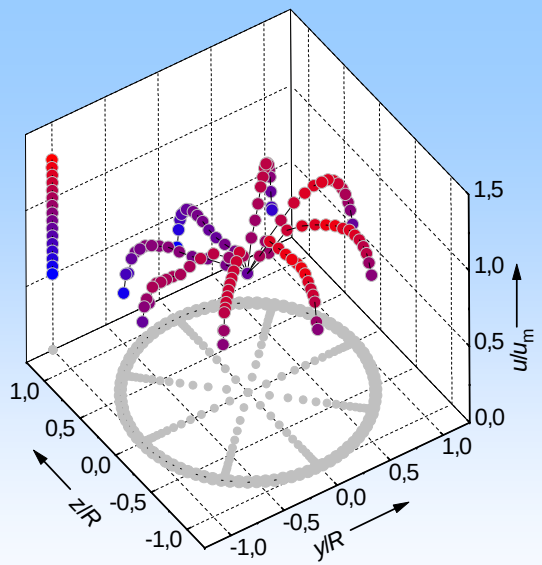
Profilentwicklung nach Gleichrichtern

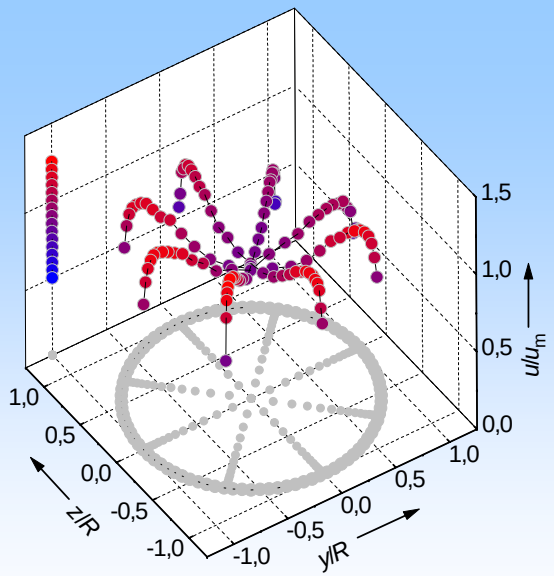
Alle Profile 3 D nach Störung

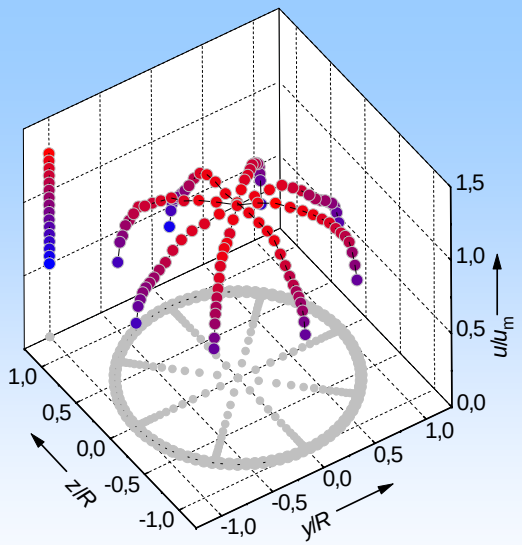






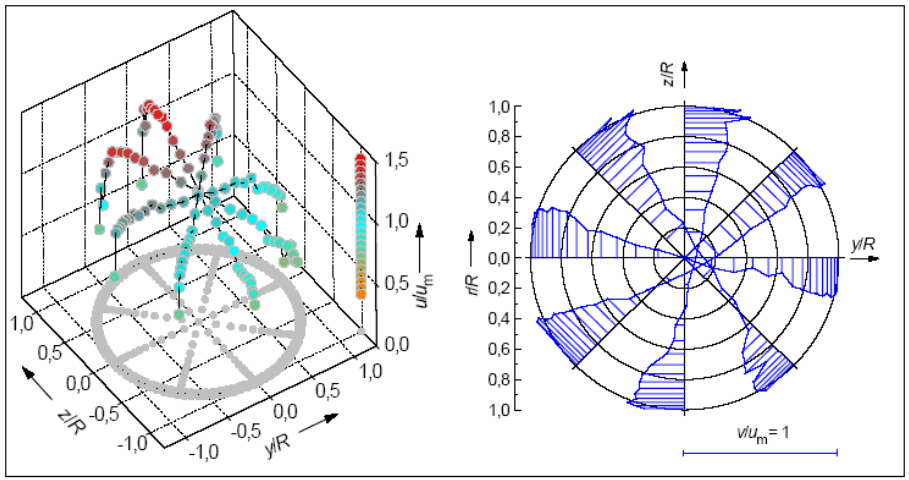




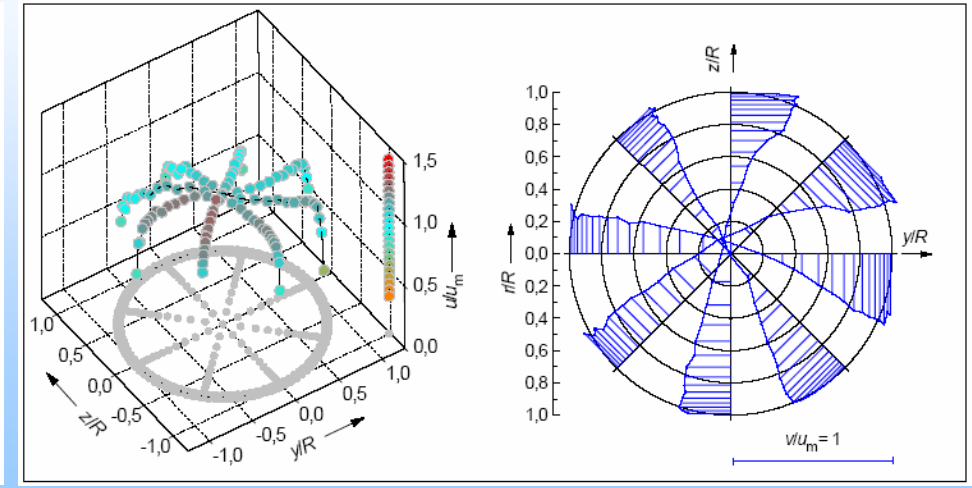


Untersuchte Konfiguration: Doppelkrümmer in gleicher Nennweite

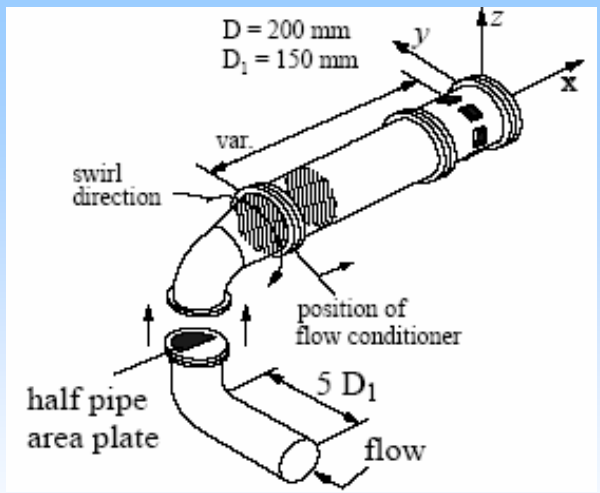
Profilentwicklung nach Gleichrichtern



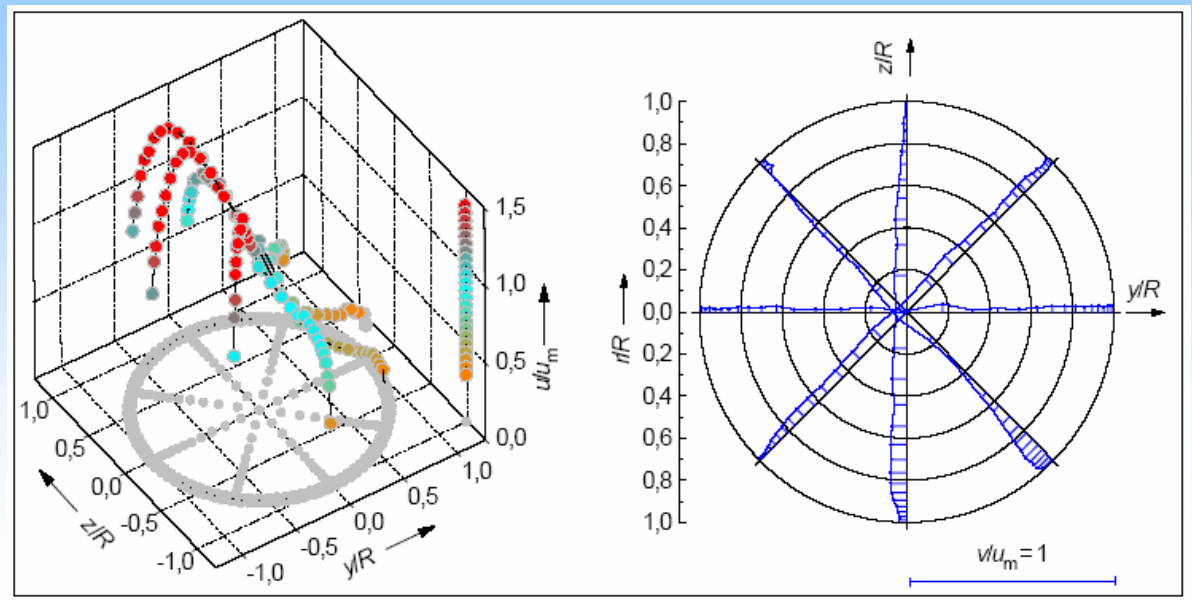
2 D nach Störung o.GR



5 D nach Störung o.GR

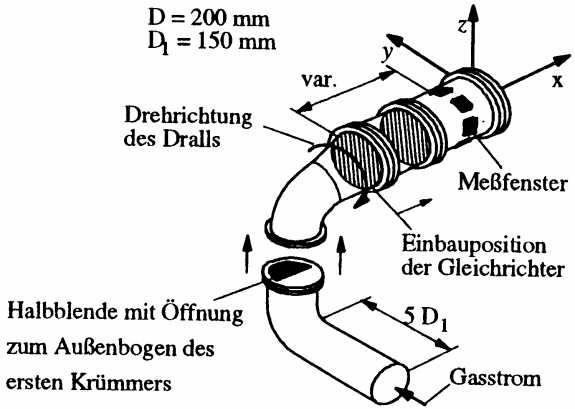


5 D nach Störung und Rohrbündel-Gleichrichter

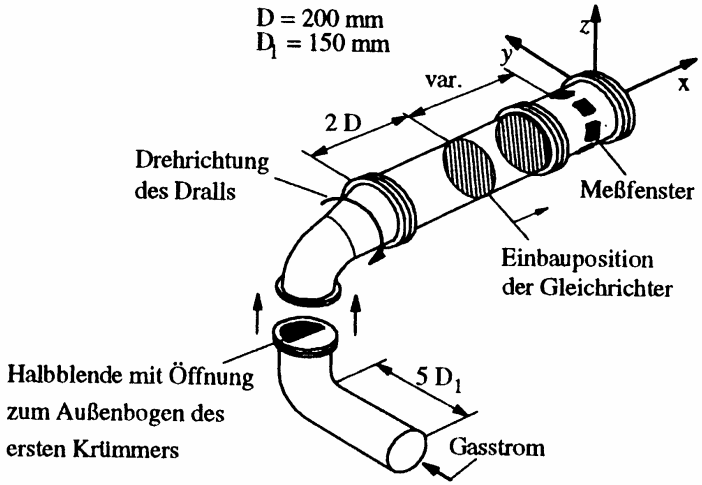


Untersuchte Konfiguration:
High-level-Störung

Profilentwicklung nach Gleichrichtern

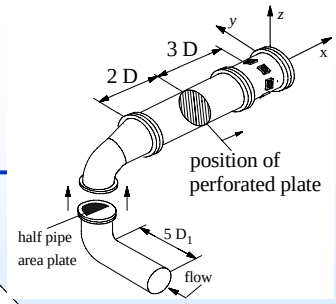


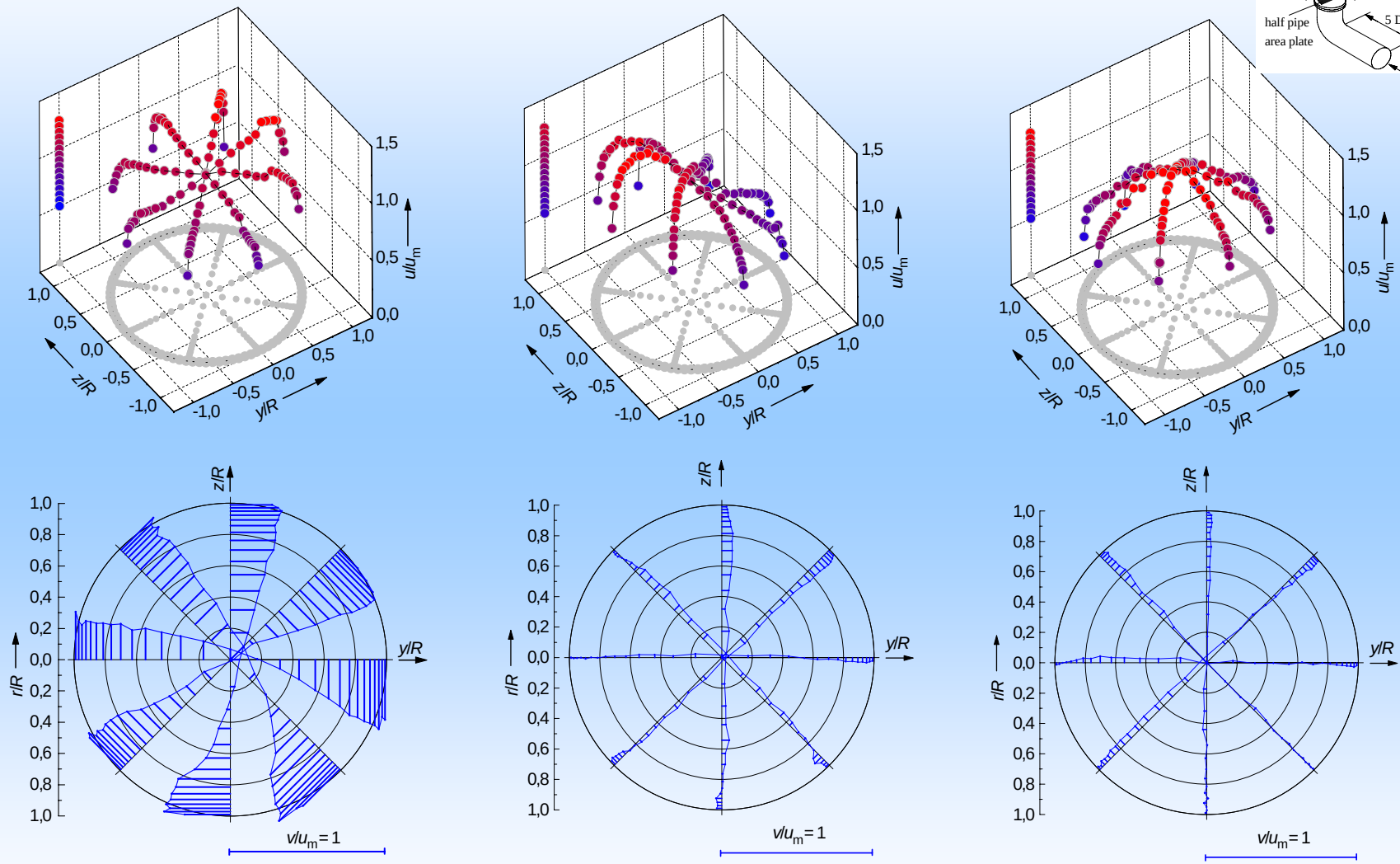
Anordnung zur Untersuchung der Gleichrichtereffizienz nach einer OIML-High-Level-Störung; Gleichrichter unmittelbar nach der Störung eingebaut



Anordnung zur Untersuchung der Gleichrichtereffizienz nach einer OIML-High-Level-Störung; Gleichrichter mit 2 D Abstand zu der Störung eingebaut

Profilentwicklung nach Gleichrichtern





5 D Einlauf o.GR | **Lochblende direkt nach Störung** | **Lochblende 2 D nach Störung**

Profilentwicklung nach Gleichrichtern – Bewertung der Effizienz

	Nach Raumkrümmer		Nach High-Level-Störung	
	Für Rohrbündel	Für Zanker	Für Rohrbündel	Für Zanker
Axiale Profildeformation 1 D nach Gleichrichterausgang im Vergleich zur Situation ohne Gleichrichter (Restverformung)	> 100 %	< 50 %	> 400 %	< 100 %
Rohrlänge bis zur Halbierung der axialen Profilverformung (Abklinglänge)	10 D	1 D	4 D	7 D

Quantifizierung der Gleichrichtereffizienz für Rohrbündel- und Zankergleichrichter für die Anwendung in der industriellen Praxis

Profilentwicklung nach Gleichrichtern – Bewertung der Effizienz

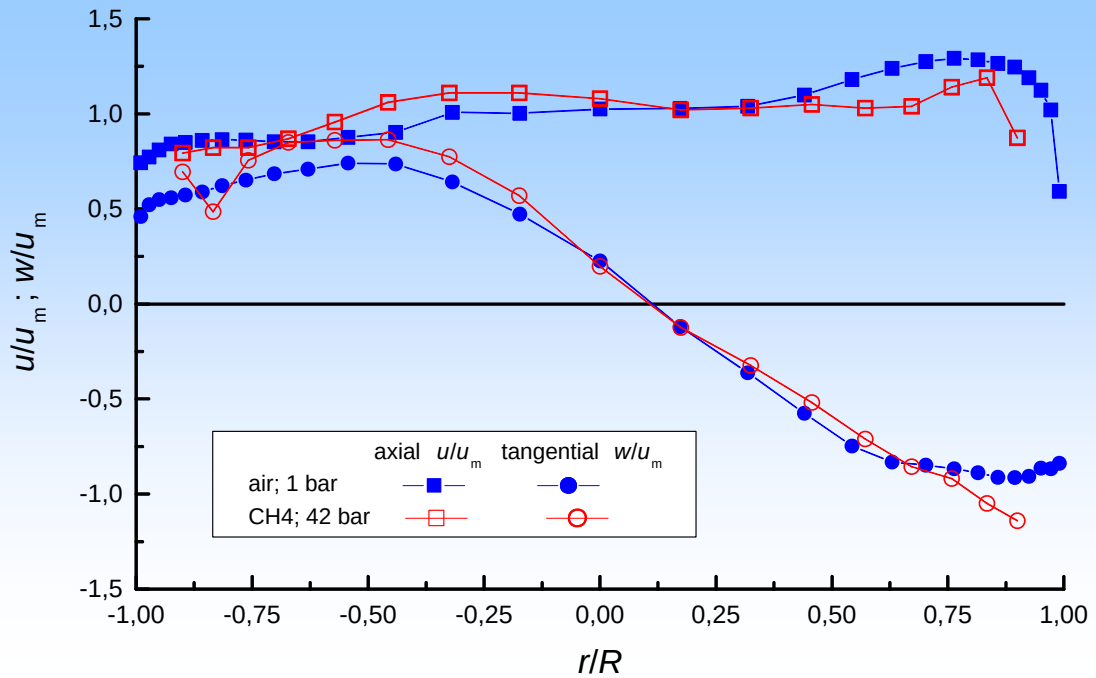
Tabellarischer Vergleich von Gleichrichtereffizienzen

Strömungs-gleichrichter	Restverformung des axialen Strömungsprofils	Abklinglänge	Restdrall	Druckverlust-koeffizient $K=2\Delta p/(\rho u_m^2)$
Etoile *Bild 5.1*	LL: >100 % HL: >300 % HL+2D: >100 %	LL: 11 D	<5 %	0,3
Rohrbündel *Bild 5.3*	LL: >100 % HL: >400 % HL+2D: >200 %	LL: 10 D HL: 4 D	<5 %	0,8
CERT *Bild 5.4*	LL: >100 % HL: >200 %	LL: 16 D	<5 %	3,8
Byschkov-gleichrichter *Bild 5.9*	LL: <100 % HL: >100 % HL+2D: <100 %	LL: 8 D HL: 4 D HL+2D: 4 D	<5 %	0,9
Zanker *Bild 5.2*	LL: <50 % HL: <100 % HL+2D: <25 %	LL: 1 D HL: 7 D	<5 %	3,6
Einfachloch-platte Typ1 *Bild 5.5*	LL: <50 % HL: >200 %	LL: 3 D	<5 %	2,8
Einfachloch-platte Typ2 *Bild 5.6*	LL: <25 % HL: >100 % HL+2D: <25 %	LL: 3,5 D	<10 %	4,5
Dreifachloch-platte *Bild 5.7*	LL: <25 % HL: <25 %	LL: 3 D HL: 3 D	<5 %	8,1
Zweifachloch-platte *Bild 5.8*	LL: <25 % HL: <50 %	LL: 3 D HL: 3 D	<5 %	8,6
Korsmeier-gleichrichter *Bild 5.10*	LL: <75 % HL: <75 % HL+2D: <75 %	LL: 10 D HL: 10 D HL+2D: 10 D	<30 %	8,9

LL: Gleichrichter unmittelbar nach einem Raumkrümmer (Bild 5.11)
HL: Gleichrichter unmittelbar nach einer OIML-High-Level-Störung (Bild 5.12)
HL+2D: Gleichrichter mit 2D Abstand nach einer OIML-High-Level-Störung (Bild 5.13)

Neues Konzept:

- Vorstörungsplatte [7] als Ersatz für Rohrkrümmer-Konfiguration
- Liefert vergleichbare Profile



Turbinenradgaszähler mit integriertem Gleichrichter

„Vorstörungsfest“

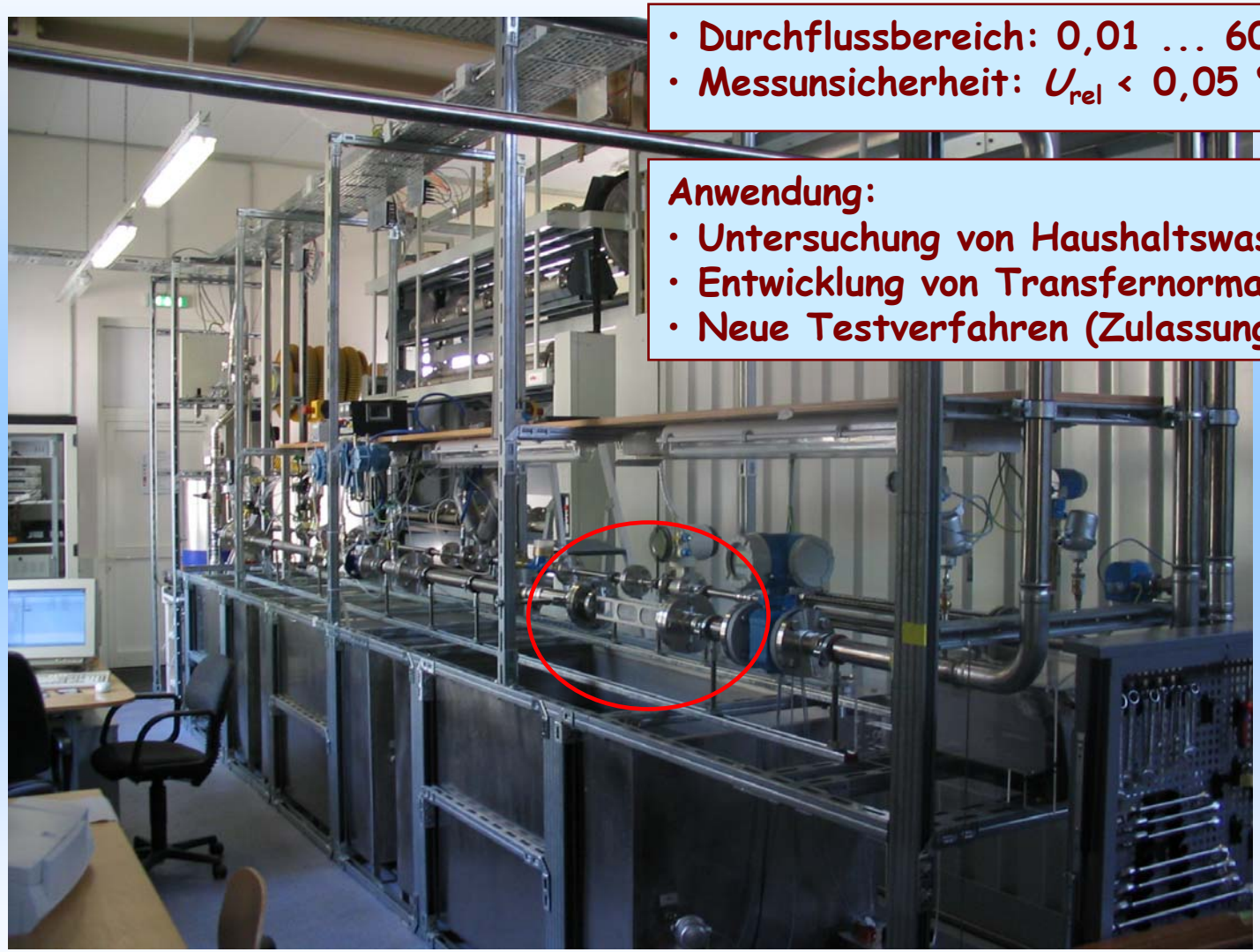
Laufende und geplante Forschungsarbeiten im Fachbereich Flüssigkeiten

Beantwortung der Fragen:

Bilden die standardisierten Störkörper die realen Strömungsstörungen ab ?

Was kann vom Gas auf Wasser/Flüssigkeiten übertragen werden?

Aktivitäten im Fachbereich Flüssigkeiten



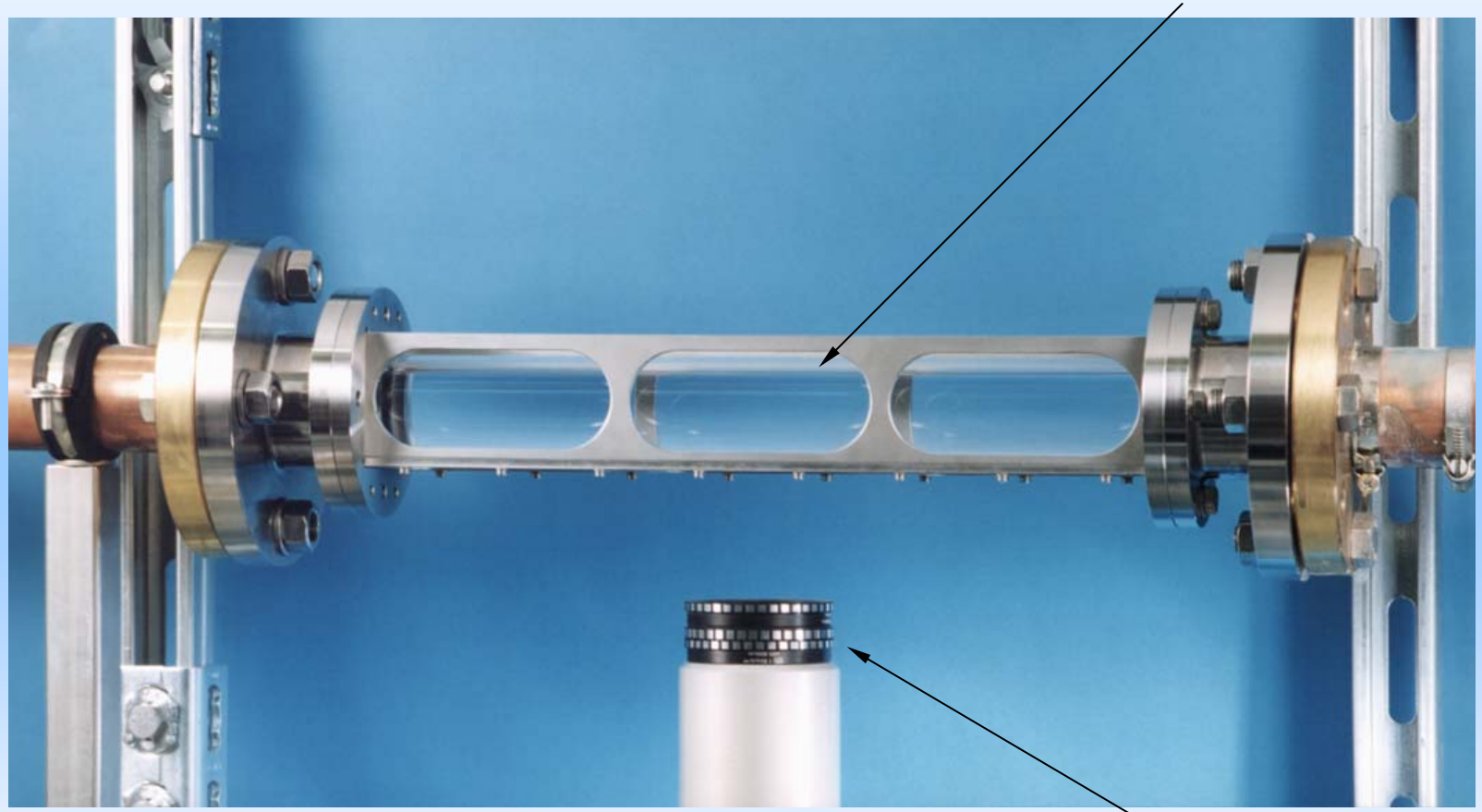
- Durchflussbereich: 0,01 ... 60 m^3/h
- Messunsicherheit: U_{rel} < 0,05 %

Anwendung:
- Untersuchung von Haushaltswasserzählern
- Entwicklung von Transfernormalen
- Neue Testverfahren (Zulassung, Marktüberw.)

Neuer Wasserzähler-Prüfstand der PTB in Braunschweig

Aktivitäten im Fachbereich Flüssigkeiten

DN 50-Fenster, brechzahl- und konturangepasst



Sende-/Empfangskopf vom LDA-System

Profilmessungen nach „Disturbern“ und nach realen Raumkrümmern und Vergleich der Profile, beginnend mit NW 50 mm, danach kleiner

Forschungsvorhaben PTB – Eichbehörden:

Hauptaufgabenstellung:

Entwicklung von transportablen Transfernormalen für strömendes Wasser als Normalprüfeinrichtungen für Befundprüfungen am Einbauort

Zu erwartender Nutzen:

- *Erhöhung der Messsicherheit,*
- *Verkürzung von Messzeiten,*
- *Optimierung von Prüfabläufen,*
- *Erleichterung der Arbeit des Prüfpersonals vor Ort,*
- *Möglichkeit der Überprüfung von Messgeräten am Einbauort unter den tatsächlich vorherrschenden Betriebsbedingungen.*

Bearbeitungsstand:

- *Technische Lösungen gefunden*
- *Prüfverfahren und –abläufe werden zur Zeit erarbeitet*
- *siehe auch Vortrag auf Prüfstellenleiter-Kolloquium Juni 2005 in Würzburg*
- *weiterer Erfahrungsaustausch erwünscht*

Literaturverzeichnis

[1] Franz Adunka: Installationseffekte bei Wasserzählern. BEV 2004

[2] Kalkhof, H.-G.: Experimentelle Ermittlung des Einflusses von Querschnittsänderungen, Krümmern und Absperrschiebern in der Rohrleitung auf das meßtechnische Verhalten von Woltmanzählern. gwf-wasser/abwasser **116** (1975), 117-121

[3] Halttunen, J.: Installation effects on ultrasonic and electromagnetic flowmeters: a model-based approach. Flow Meas. Instrum., Vol.1 (1990), 287-292

[4] Mottram, R.C.: Vortex flowmeters – Installation effects. Flow Meas. Instrum., Vol.2 (1991), 56-60

[5] Ki Won Lim; Myung Kyoon Chung: Numerical investigation on the installation effects of electromagnetic flowmeter downstream of 90° elbow – laminar case. Flow Meas. Instrum., Vol.10 (1999), 167-174

[6] Hilgenstock, A.; Ernst, R.: Analysis of installation effects by means of computational fluid dynamics – CFD vs experiment? Flow Meas. Instrum., Vol.7 (1996), 161-171

[7] Kramer, R.; Mickan, B.; Wendt, G.; Hotze, H.-J.; Hirlehei, U.: Einrichtung zur Erzeugung definiert gestörter Strömungsprofile in Rohrleitungen. Diensterfindung 2000

Die Ergebnisse der Vorstörungsuntersuchungen in der PTB sind zusammenfassend u.a. beschrieben in:

Wendt, G.; Mickan, B.; Kramer, R.; Dopheide, D.: Systematic investigation of pipe flows and installation effects using laser Doppler anemometry – Part I. Profile measurements downstream of several pipe configurations and flow conditioners. Flow Meas. Instrum., Vol.7 (1996), 141-149

Mickan, B.: Systematische Analyse von Installationseffekten sowie der Effizienz von Strömungsgleichrichtern in der Großgasmengenmessung. Dissertation. Shaker Verlag Aachen 1999