Überlegungen zur Rückführung von Prüfanlagen mittels LDV-Messtechnik

Jonas Steinbock

Markus Juling

Arbeitsgruppe 7.52

Neue Verfahren der Wärmemengenmessung

2013-09-20 9. Internationale EMATEM Sommerschule, Kloster Seeon

Motivation

- Warum Volumenstrommessung?
  - Kraftwerkseffizienz
- Problem
  - Wirkungsgrad der Kraftwerke ist durch Unsicherheit bei der Volumenstrommessung begrenzt (Extrapolation der Kalibrierung)
- Ziel
  - Normal zur Durchflussmessung von Wasser bei 230 °C und 40 bar
  - Industrietauglich

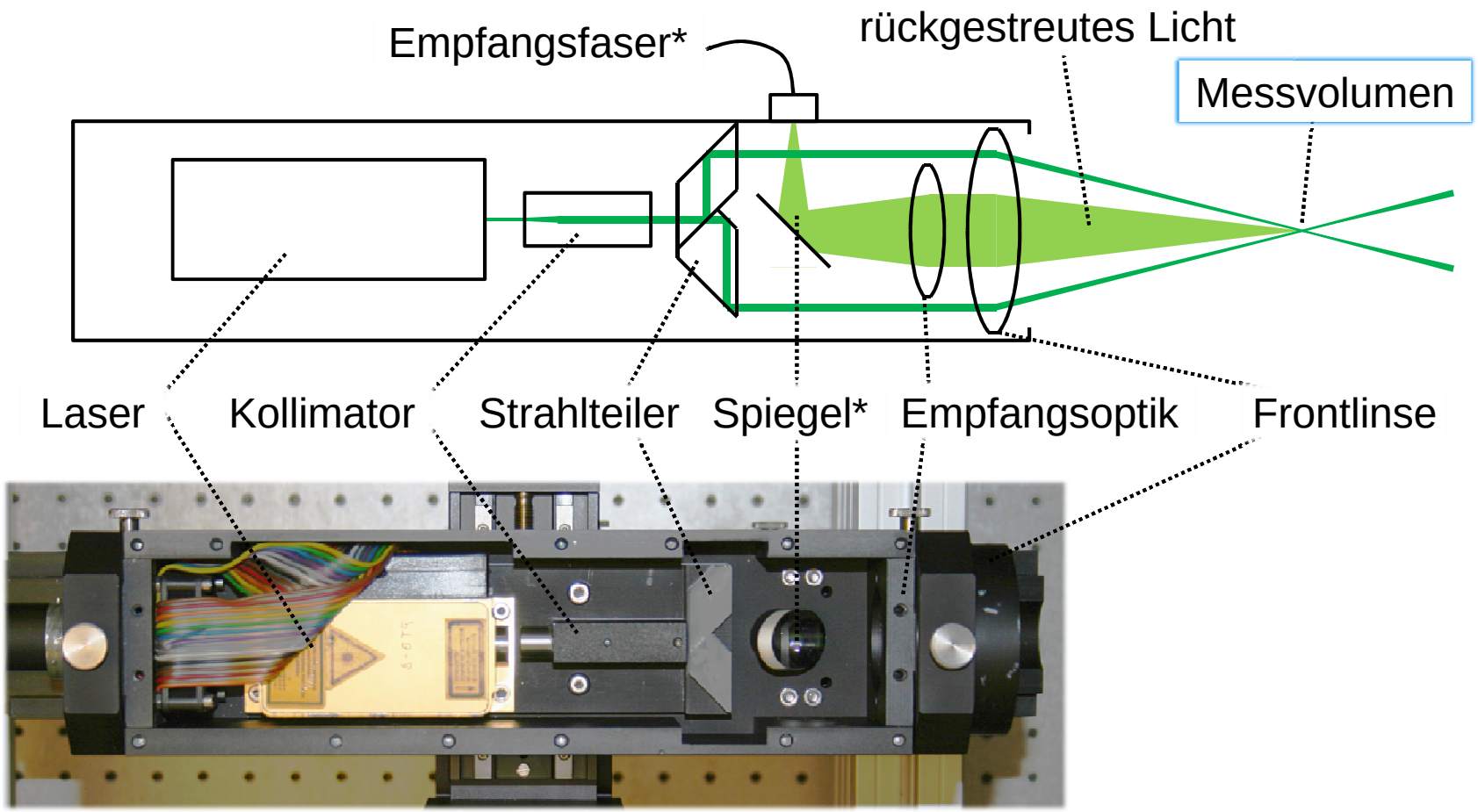
Bisherige Rückführung für den Durchfluss

- Volumetrisch
- Gravimetrisch

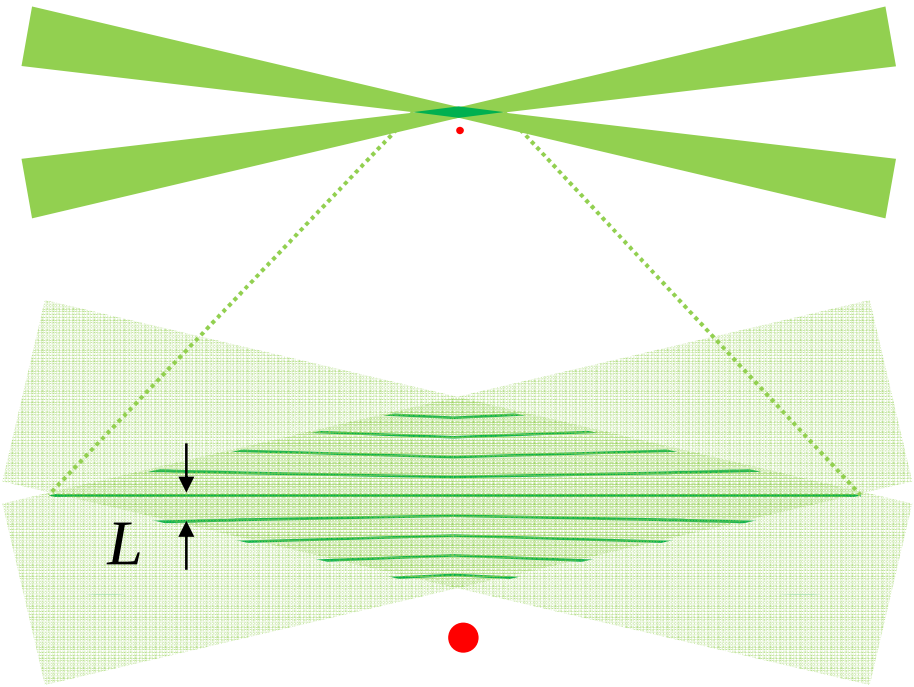
Beide sind ungeeignet für Temperaturen > 150 °C…

…daher Anwendung von laseroptischen Methoden

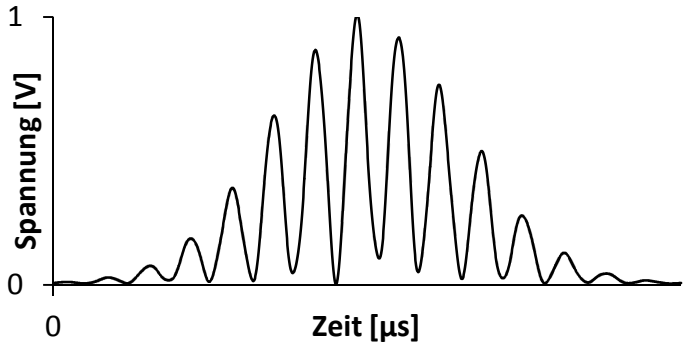
LDA – Laser-Doppler-Anemometrie

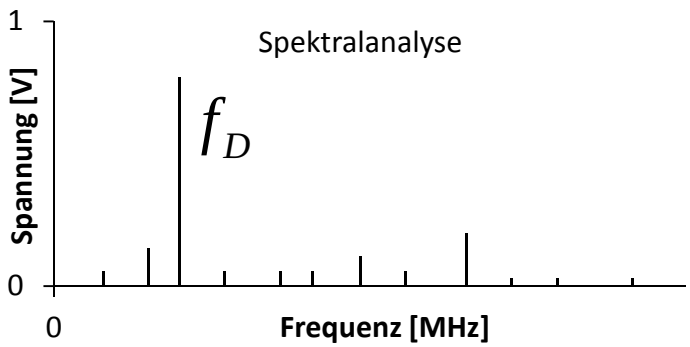


LDA – Laser-Doppler-Anemometrie



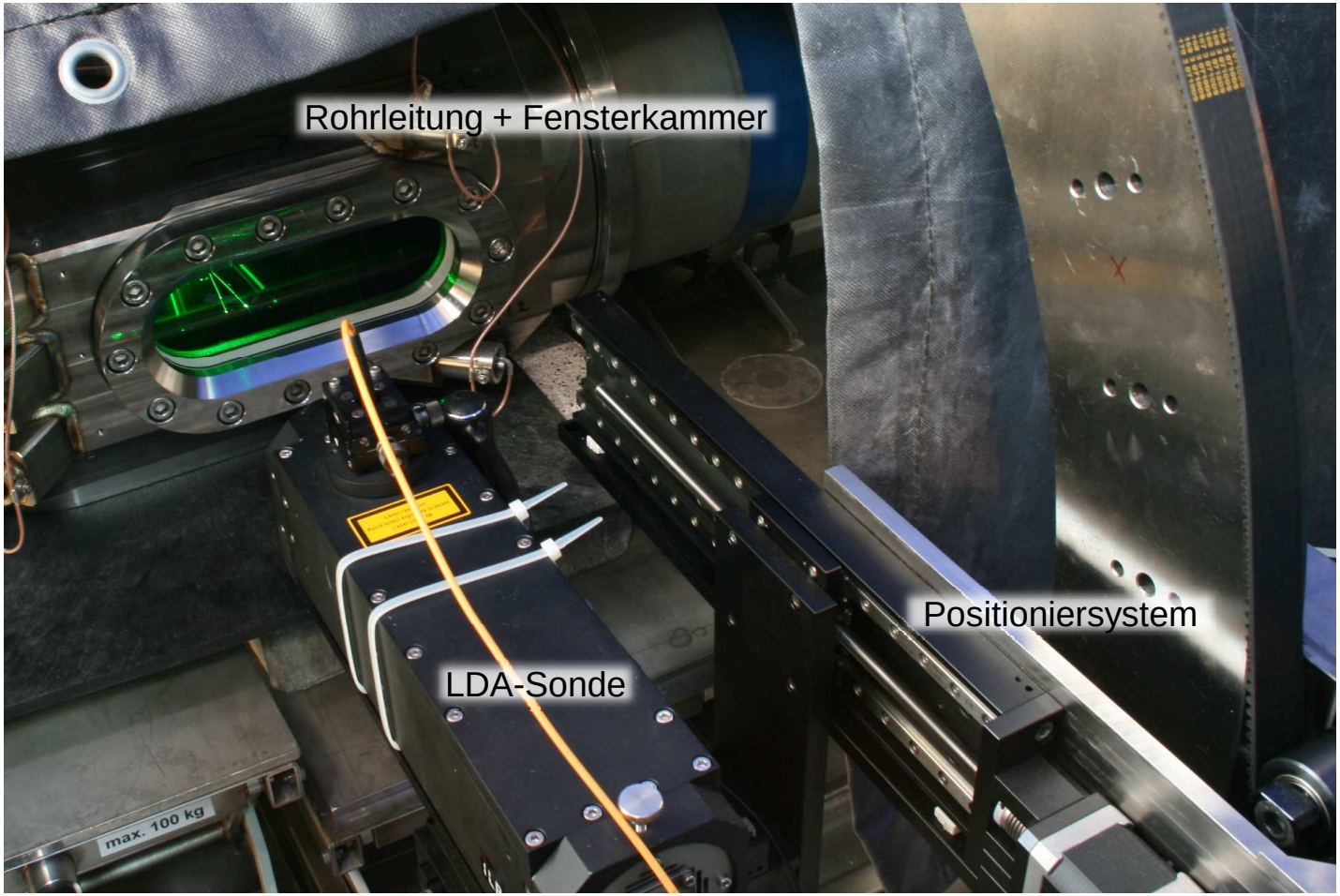
Messvolumen



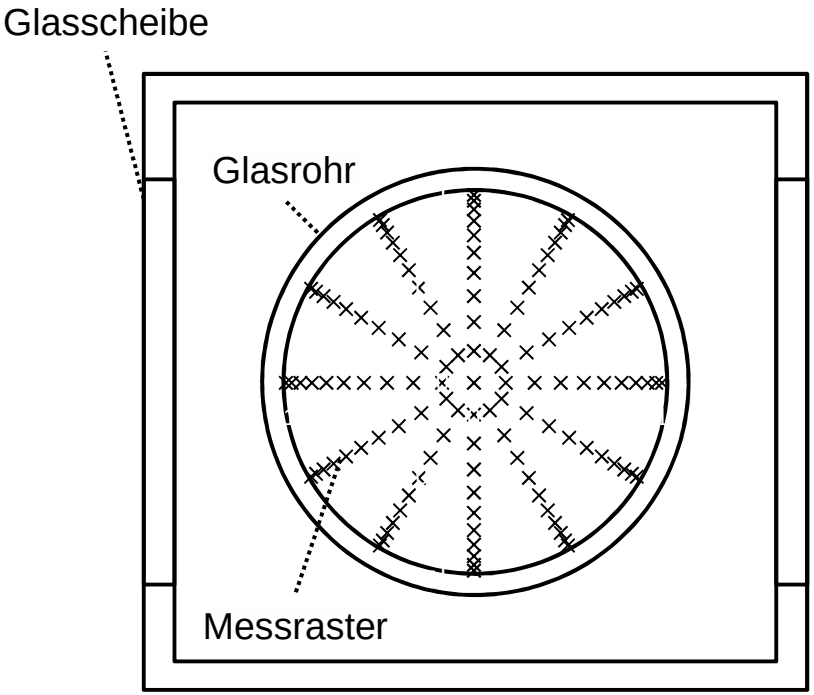


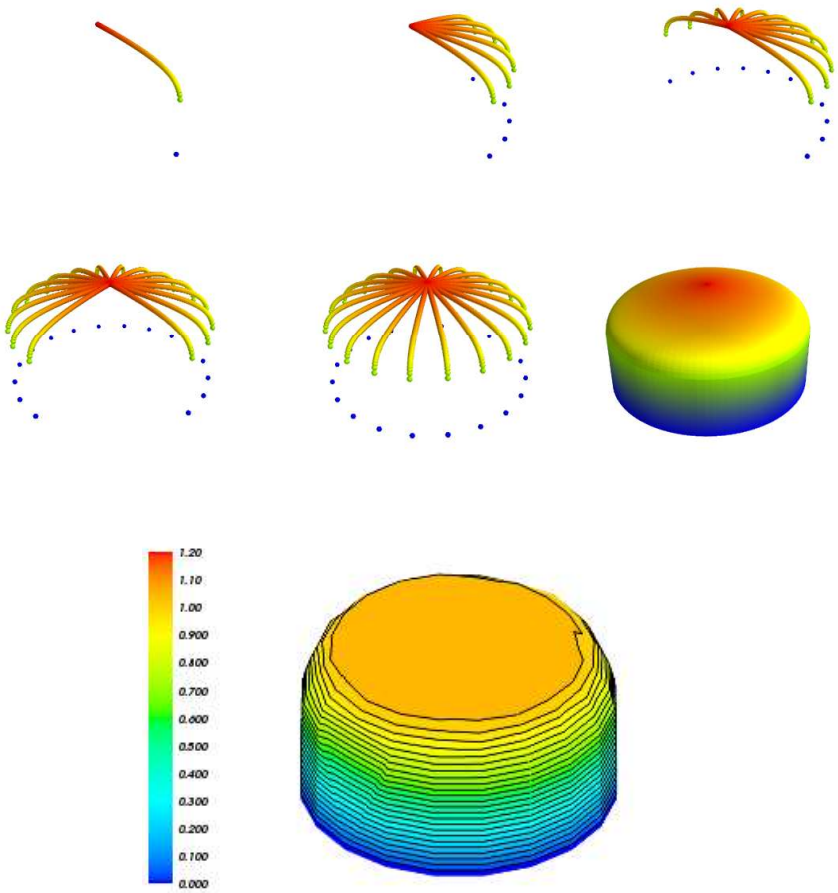
$$v_y = L \cdot f_D$$

LDA – Messaufbau



LDA – Integration

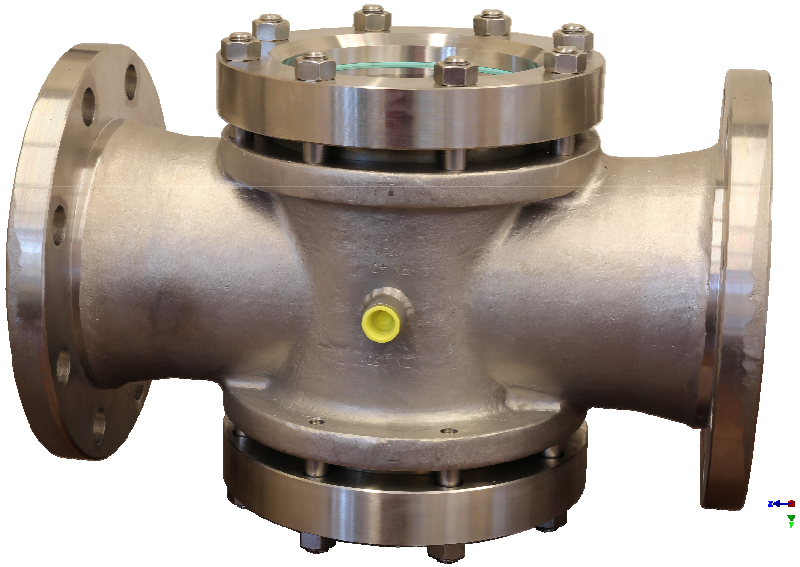


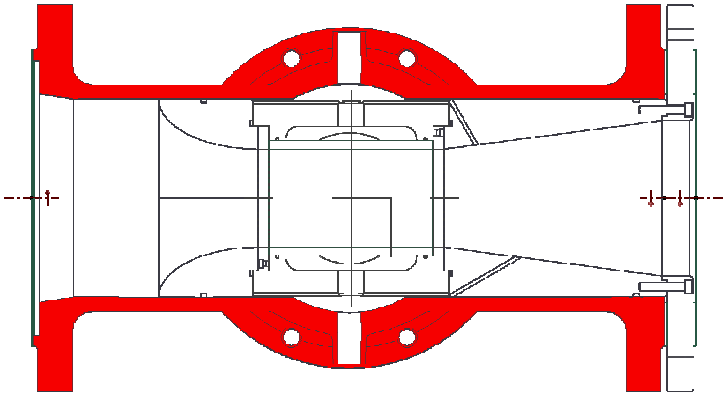


Herausforderungen – Arbeitsschwerpunkte

- Aufbau des Messplatzes
  - Optischer Zugang (J. Steinbock)
  - Positionierung der LDA-Sonde (M. Juling)
- Verringerung der Messunsicherheit
  - Rekonstruktion des Geschwindigkeitsprofils (J. Steinbock)
  - Ortsauflösung innerhalb des LDA-Messvolumens (M. Juling)

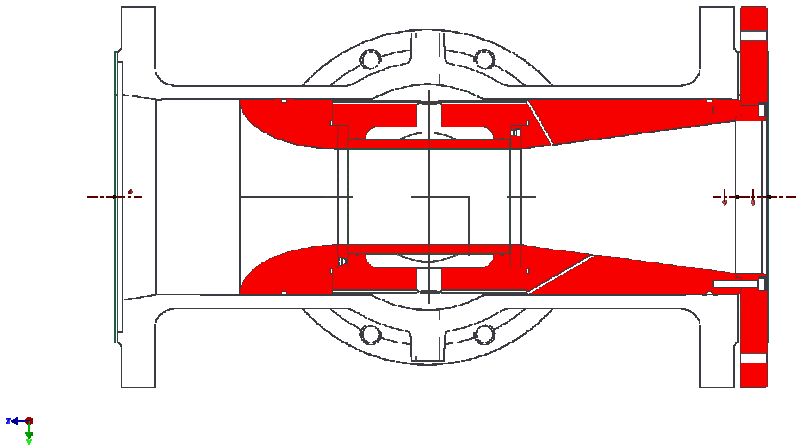
Aufbau: Druckcontainment





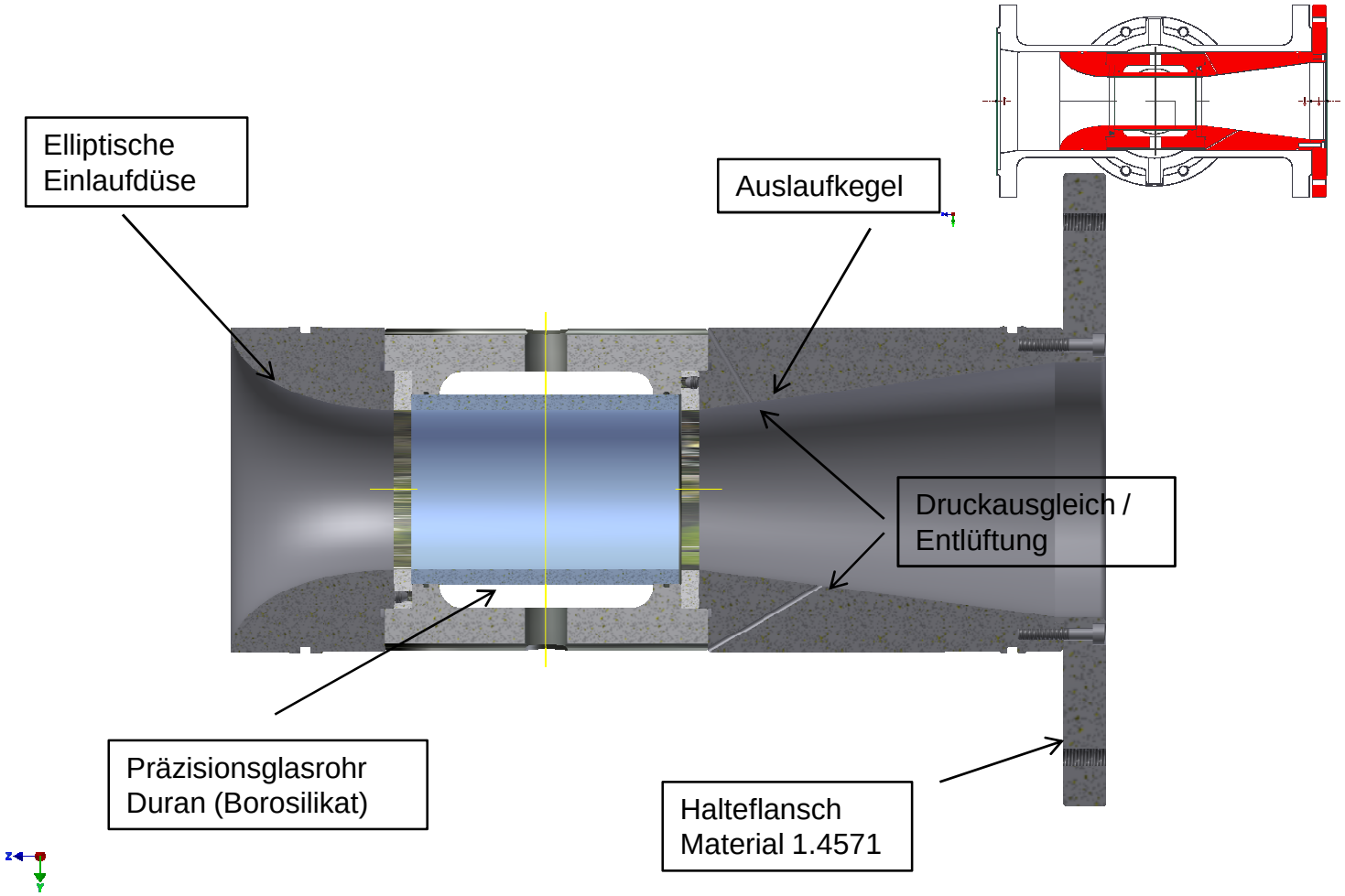
Standardarmatur als Druckabschluss

Aufbau: Insert

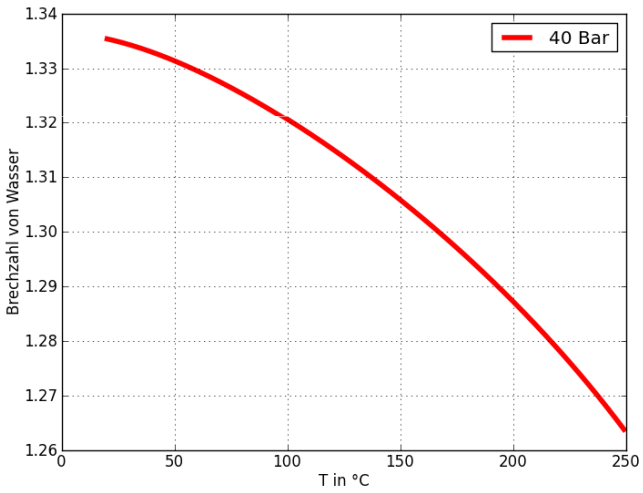


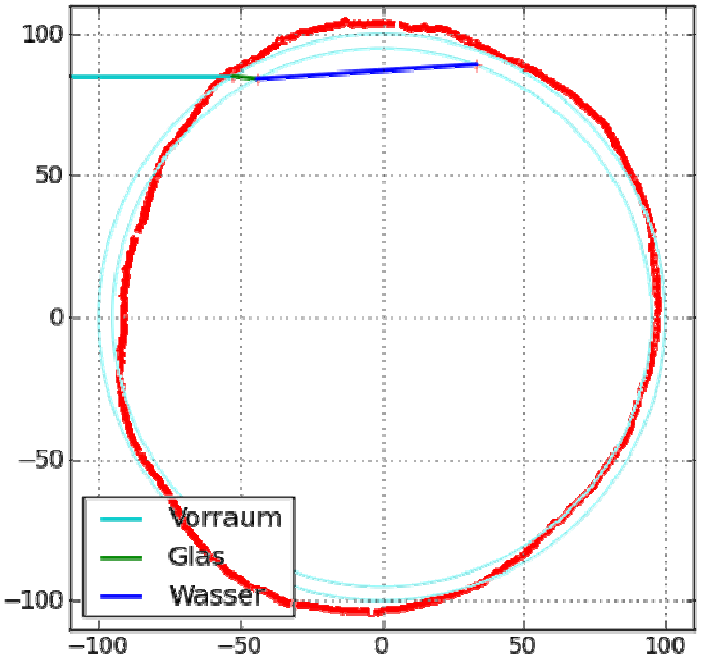
Präzises Inlet ausgeführt als Venturikontur

Aufbau: Schnittansicht Insert

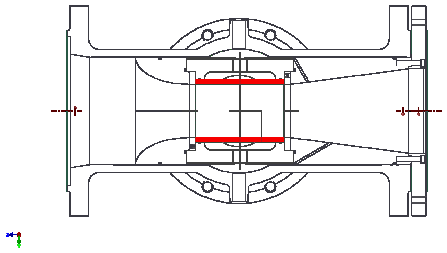


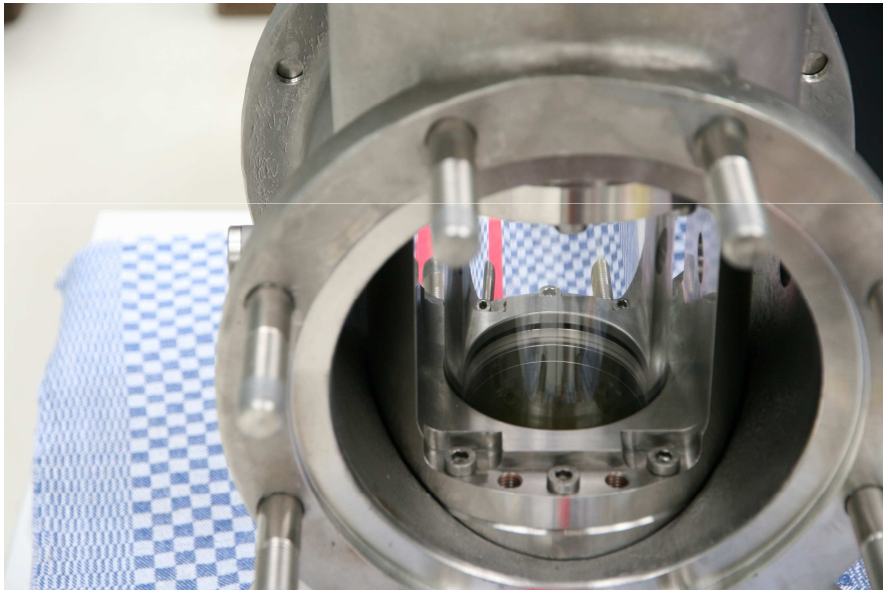
Berechnung des Messortes





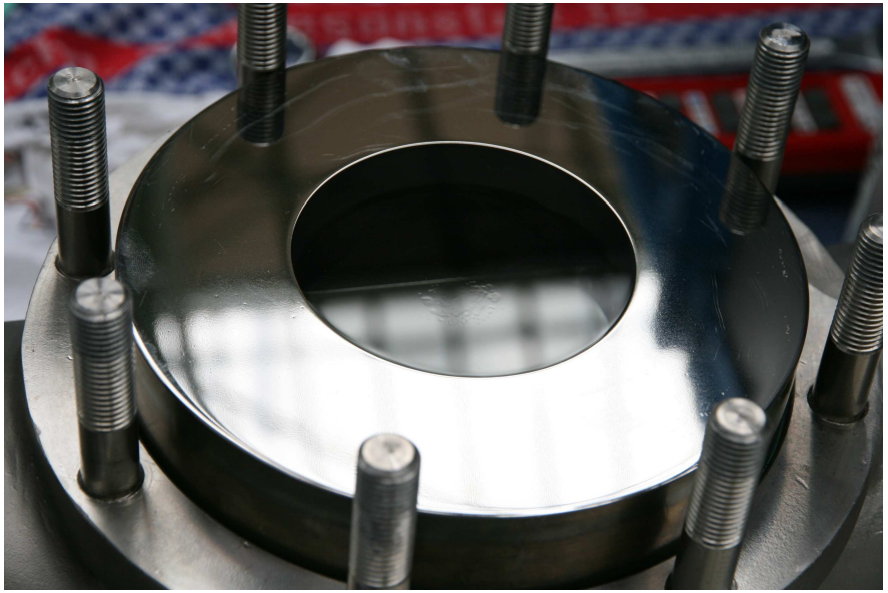
Aufbau: Präzisionsglasrohr





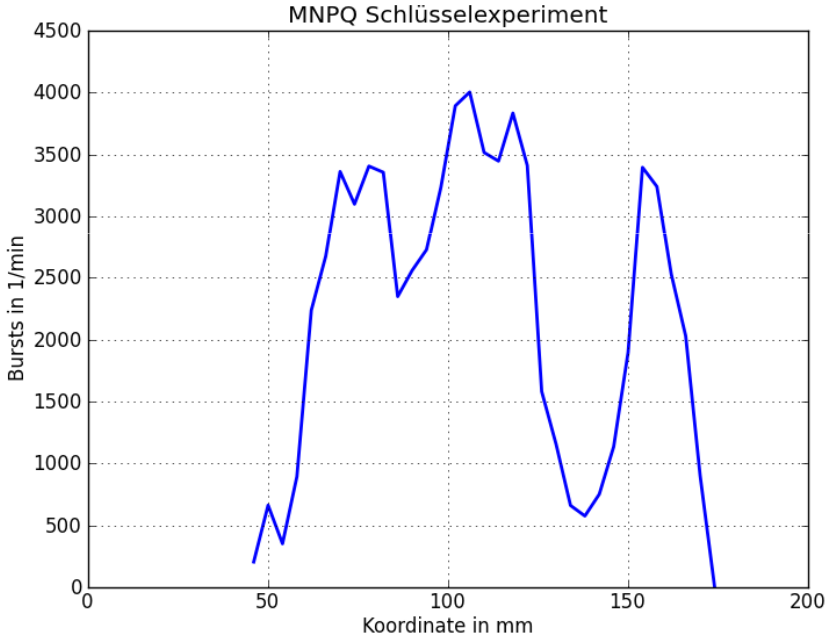
- Duran PG (Borosilikat)
- D_i 75±0.03 mm, vermessen
- aussen überdreht

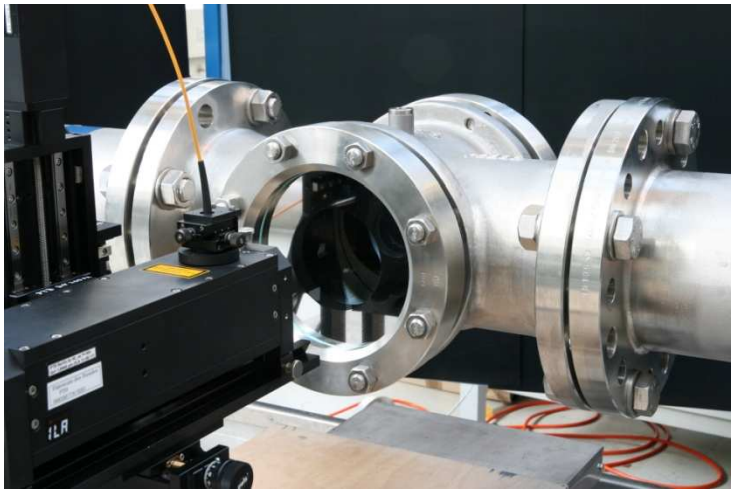
Aufbau: Sichtfenster



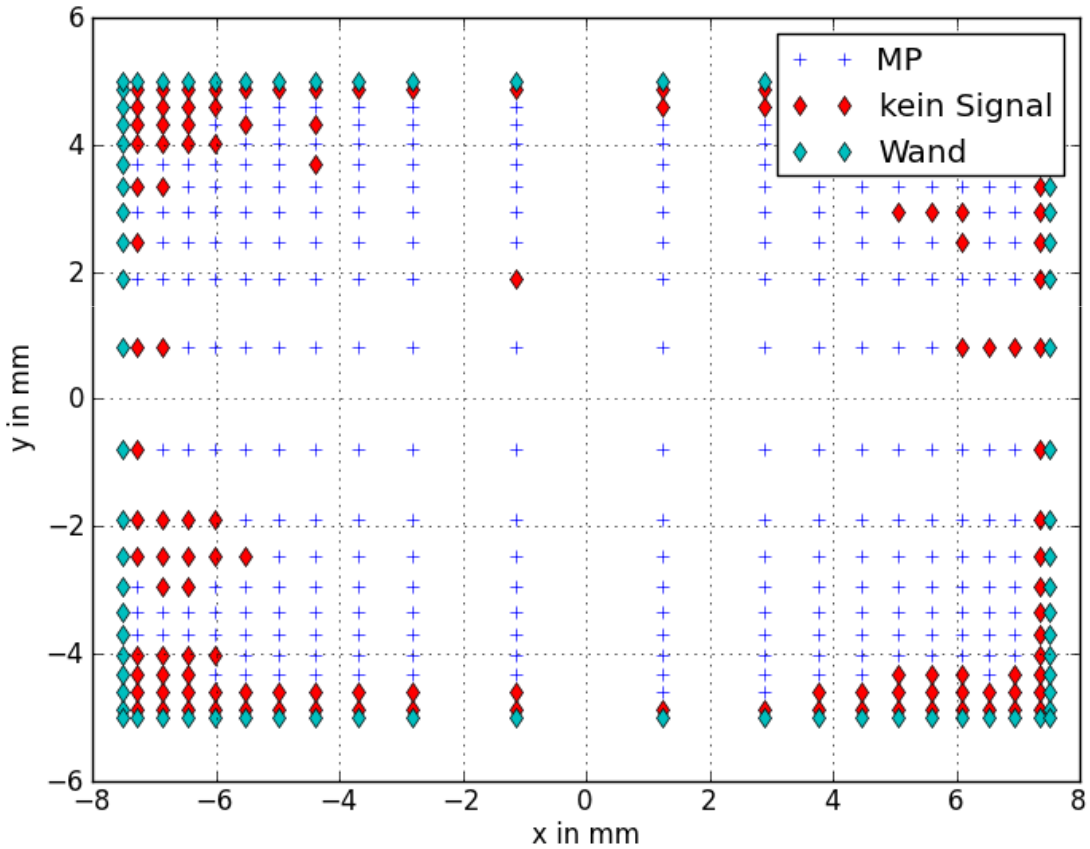
- Metaglas
- T_{max} 280 °C
- P_{max} 40 Bar
- D_a 200 mm D_i 100 mm
- (Geläppt und entspiegelt)

Profilmessung – optische Einflüsse



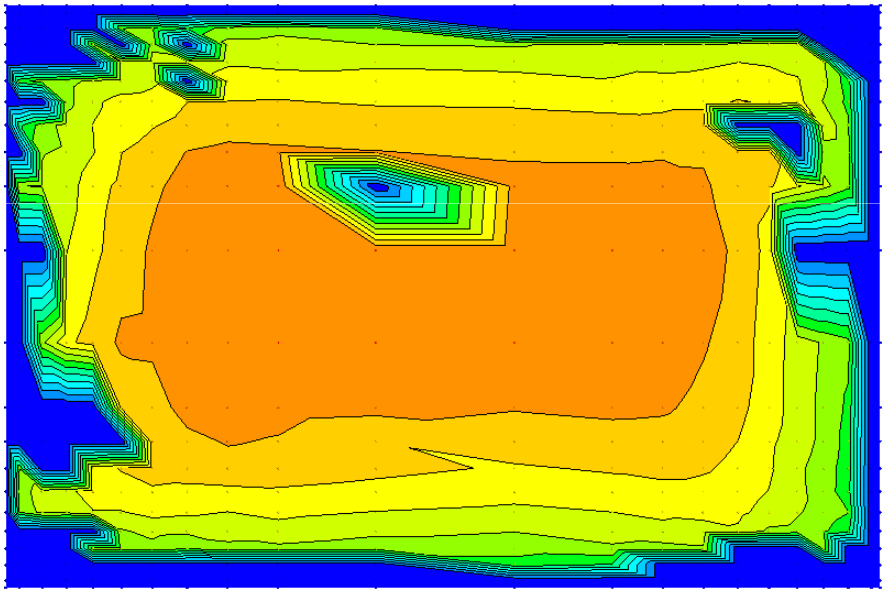


Profilrekonstruktion: Problematik

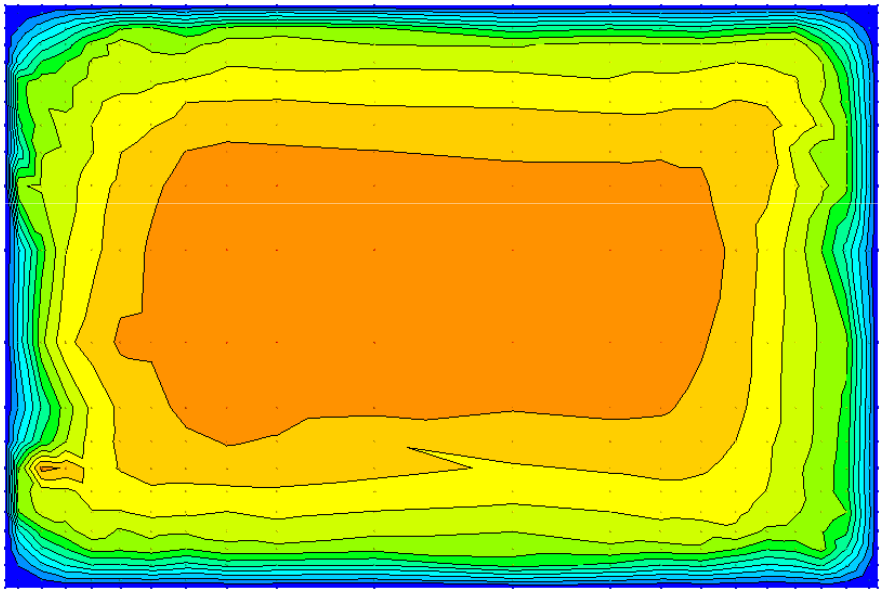


an 140/900 Messpunkte keine Signale!

Profilrekonstruktion : Interpolation

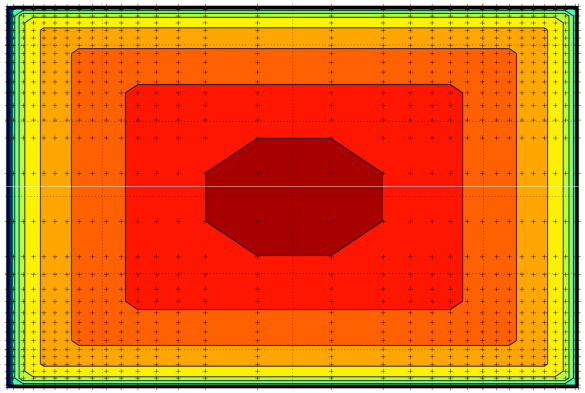


gemessenes Profil: 870 l/h

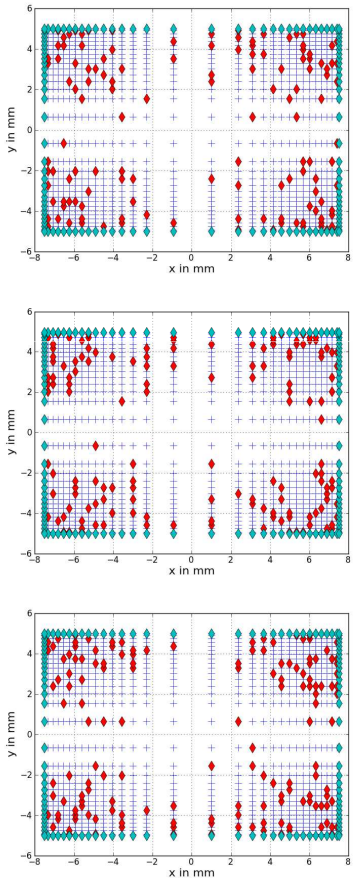


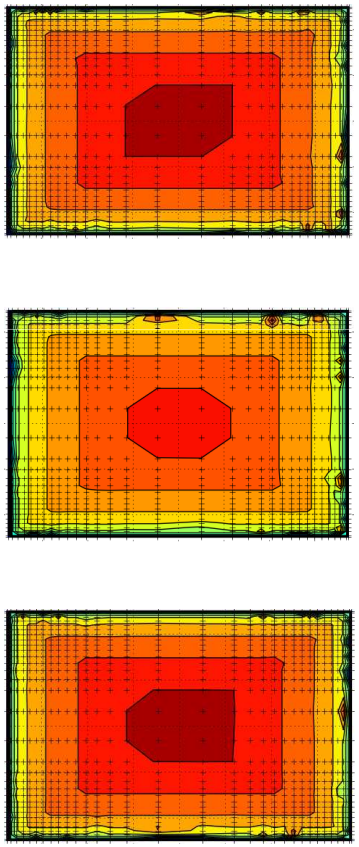
interpoliertes Profil: 965 l/h U≈0.15%

Profilrekonstruktion: Interpolationseinfluss



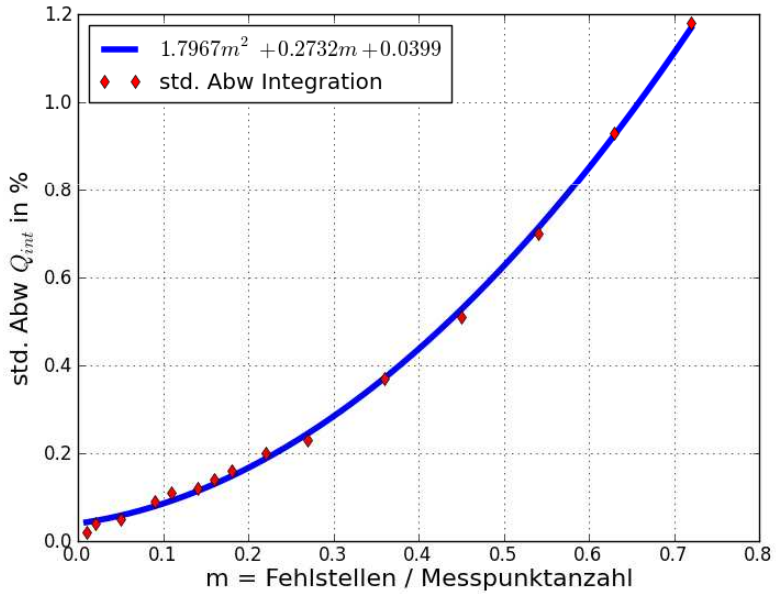
Vergleichsprofil

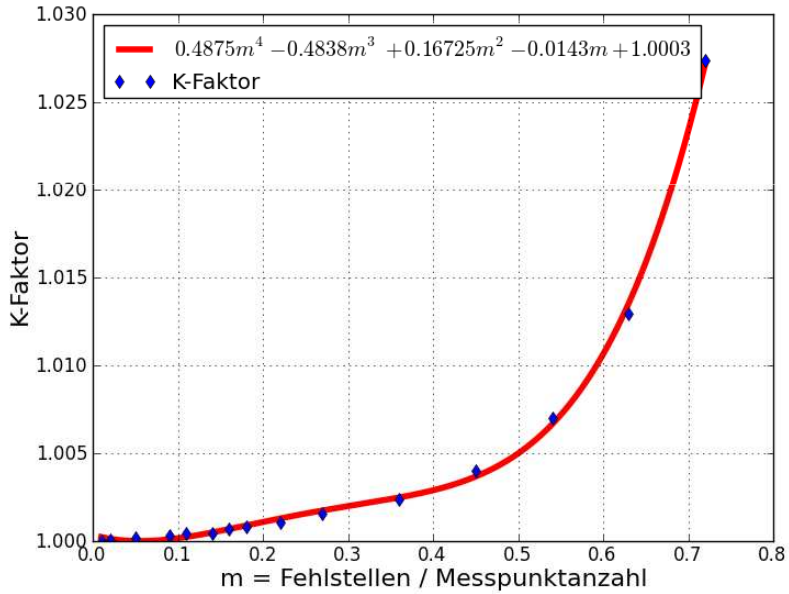




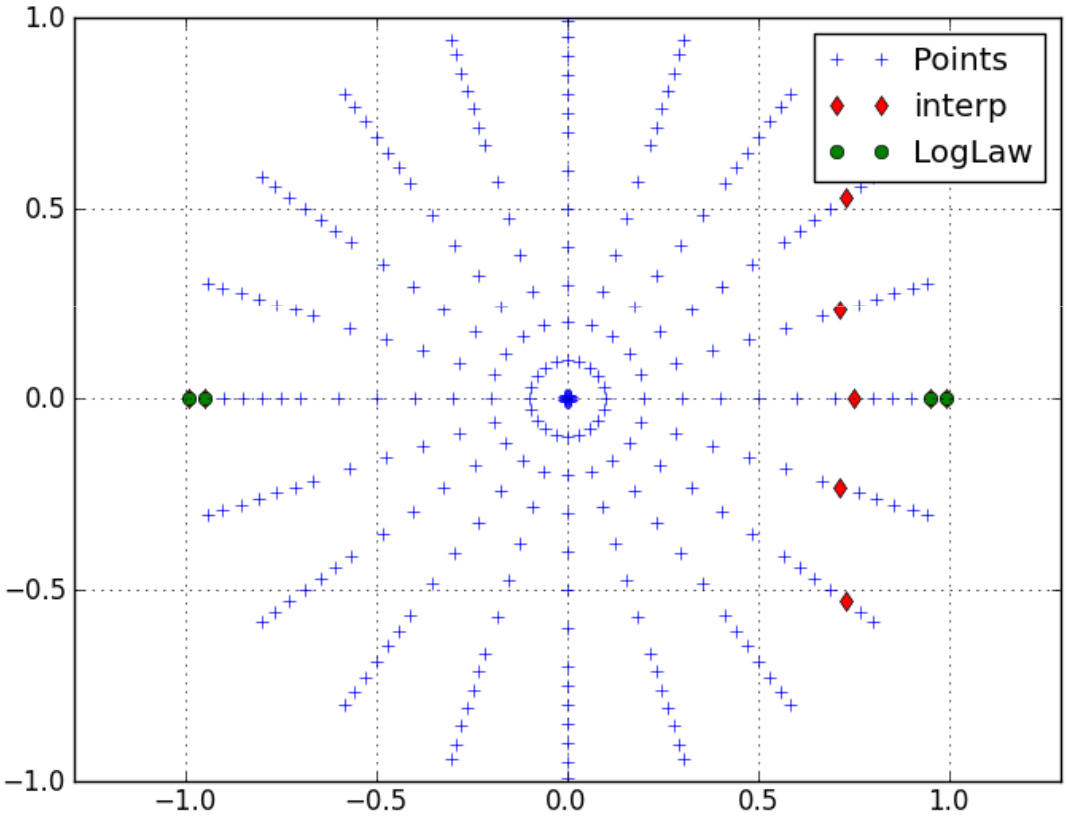
Profilrekonstruktion: Abschätzung Unsicherheit

$$U(Q_{\text{int}}) = f(m) \qquad Q = Q_{\text{int}} \cdot k_{\text{int}}(m)$$





Profilrekonstruktion: Kreiskontur



an 9/280 Messpunkte keine Signale!

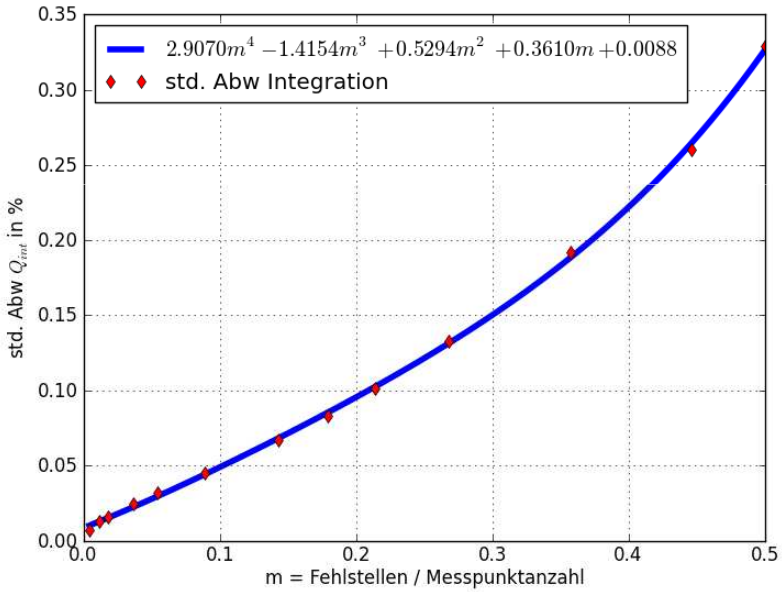
Ohne Interpolation : 225.99 m^3/h
Mit Interpolation: 227.43 m^3/h

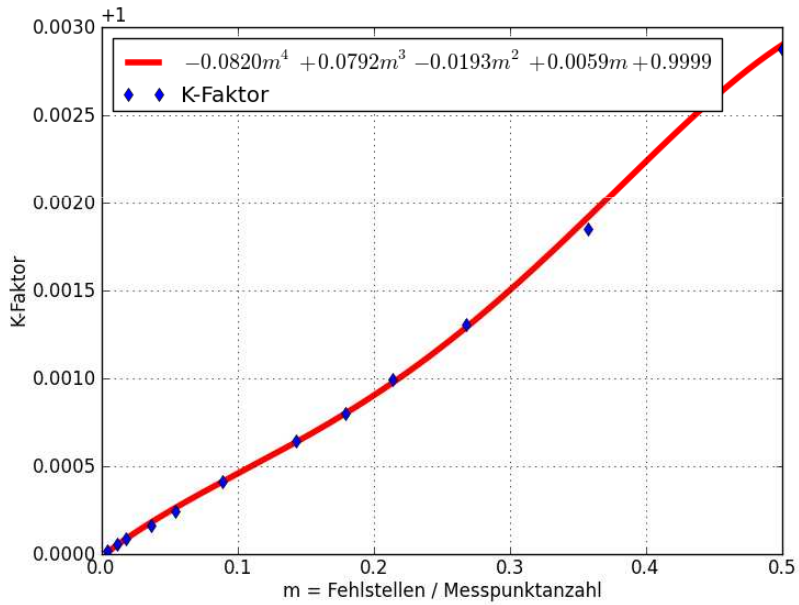
→0.16 % Abweichung

Unsicherheit d. Interpolation : 0.035 %

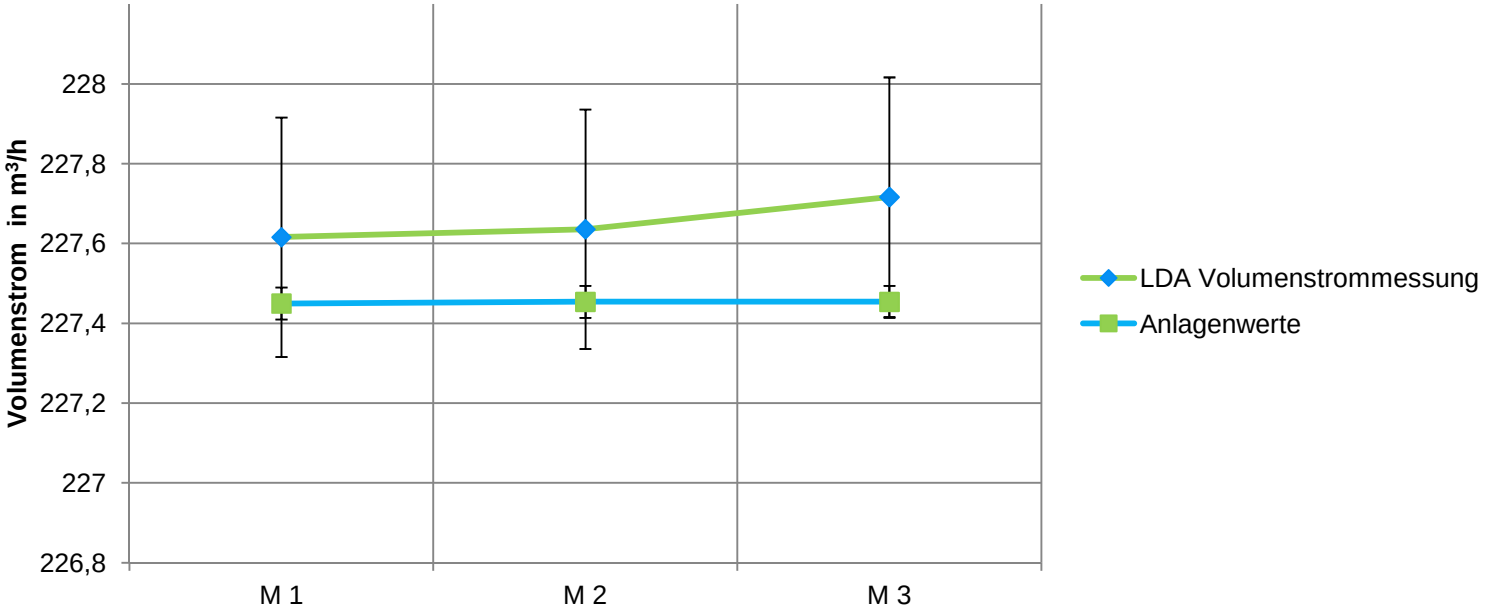
Profilrekonstruktion: Abschätzung Unsicherheit

$$U(Q_{\text{int}}) = f(m) \qquad Q = Q_{\text{int}} \cdot k_{\text{int}}(m)$$





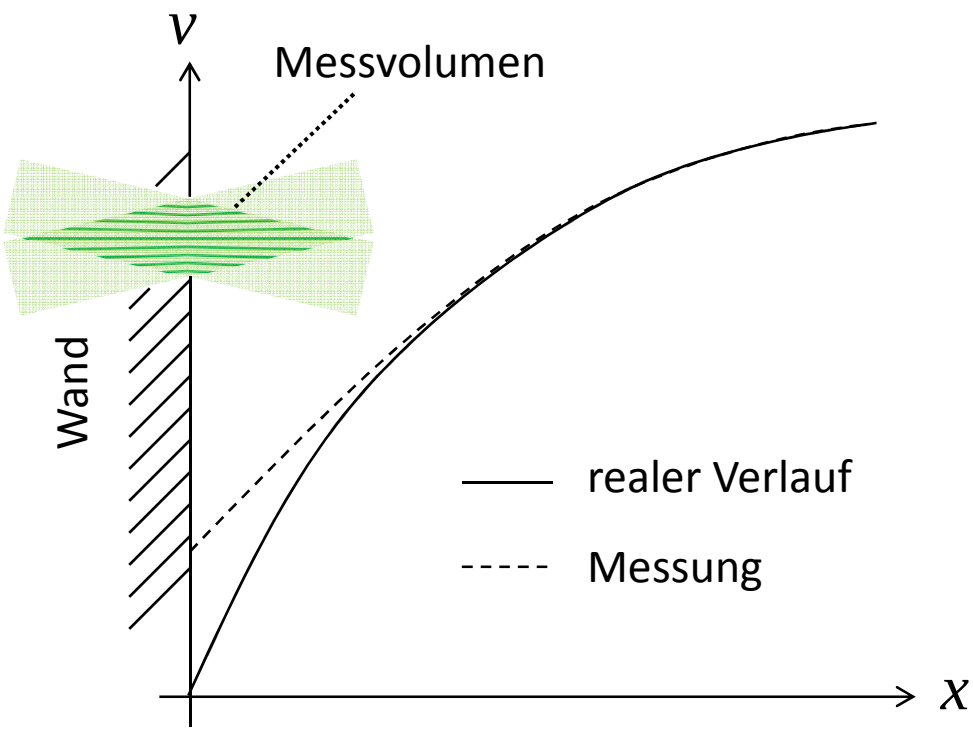
Profilrekonstruktion: Messwerte von der WZP



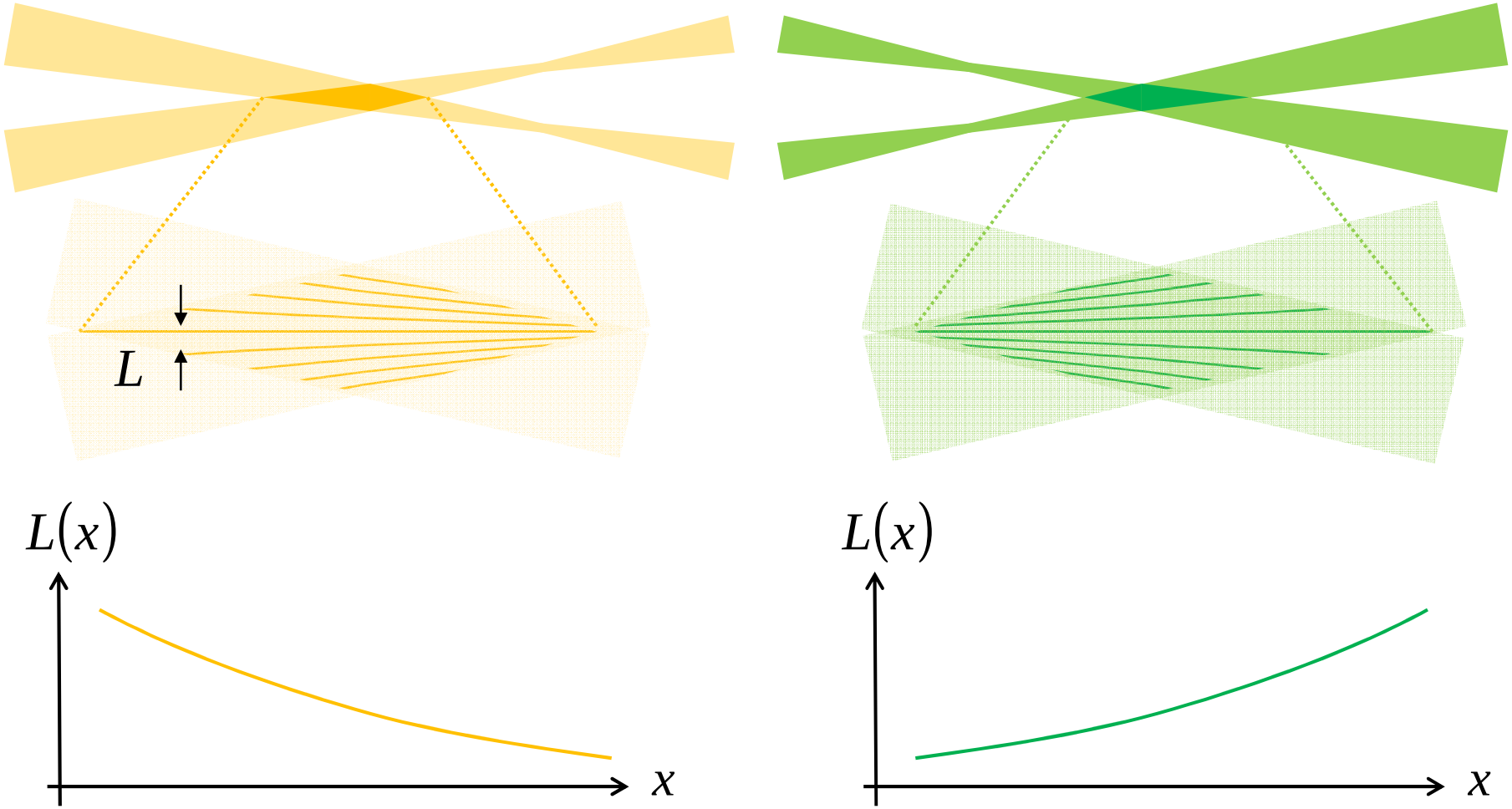
DN 200	integrierter Durchfluss in m³/h	abgeschätze Unsicherheit in %	Anlagenwert in m³/h	Unsicherheit Anlage in %	Abweichung LDA/Anlage in %
M 1	227,616	0,3 (+0,035)	227,4498	0,04	0,073
M 2	227,636	0,3 (+0,035)	227,454	0,04	0,080
M 3	227,7165	0,3 (+0,035)	227,454	0,04	0,110

Ortsaufgelöste LDA – Motivation

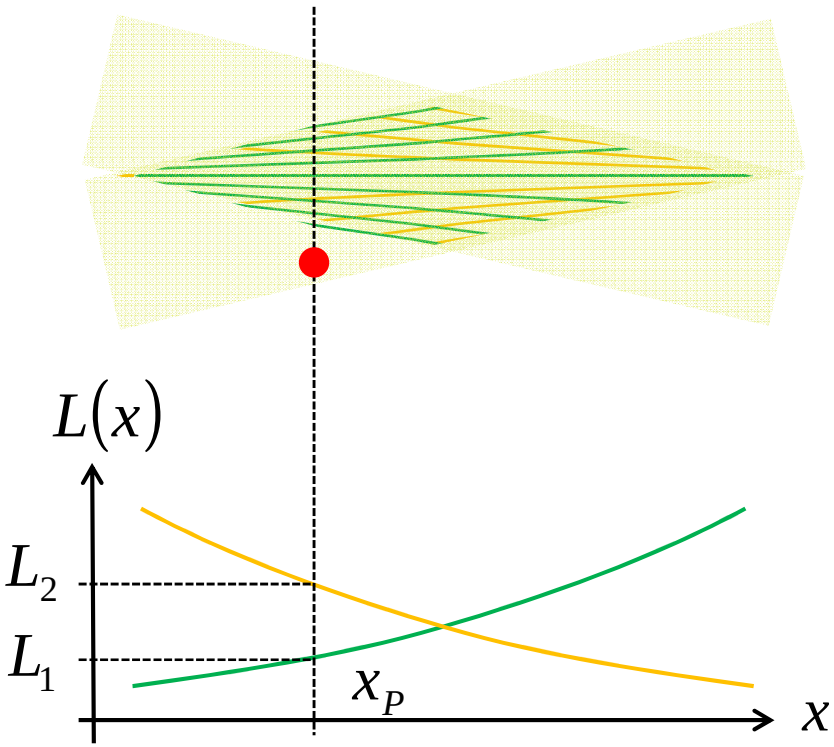
- Wandproblematik
  - Aufgrund endlicher Ausdehnung des Messvolumens wird eine Geschwindigkeit gemessen, obwohl sich der Mittelpunkt des Messvolumens bereits in der Wand befindet.

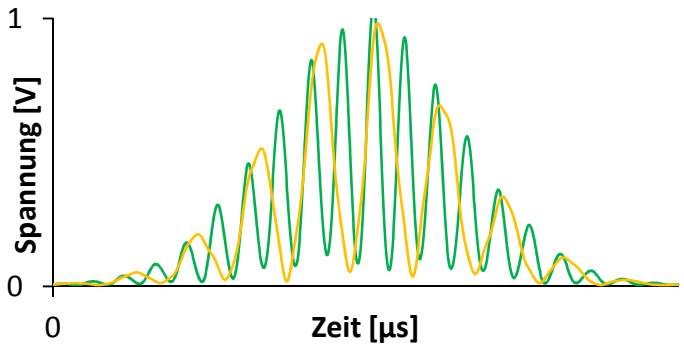


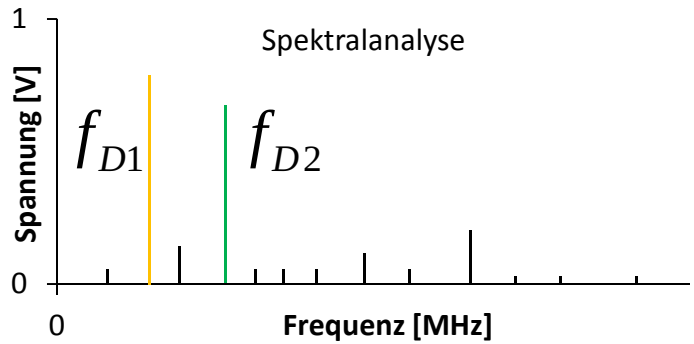
Ortsaufgelöste LDA – Messprinzip



Ortsaufgelöste LDA – Messprinzip

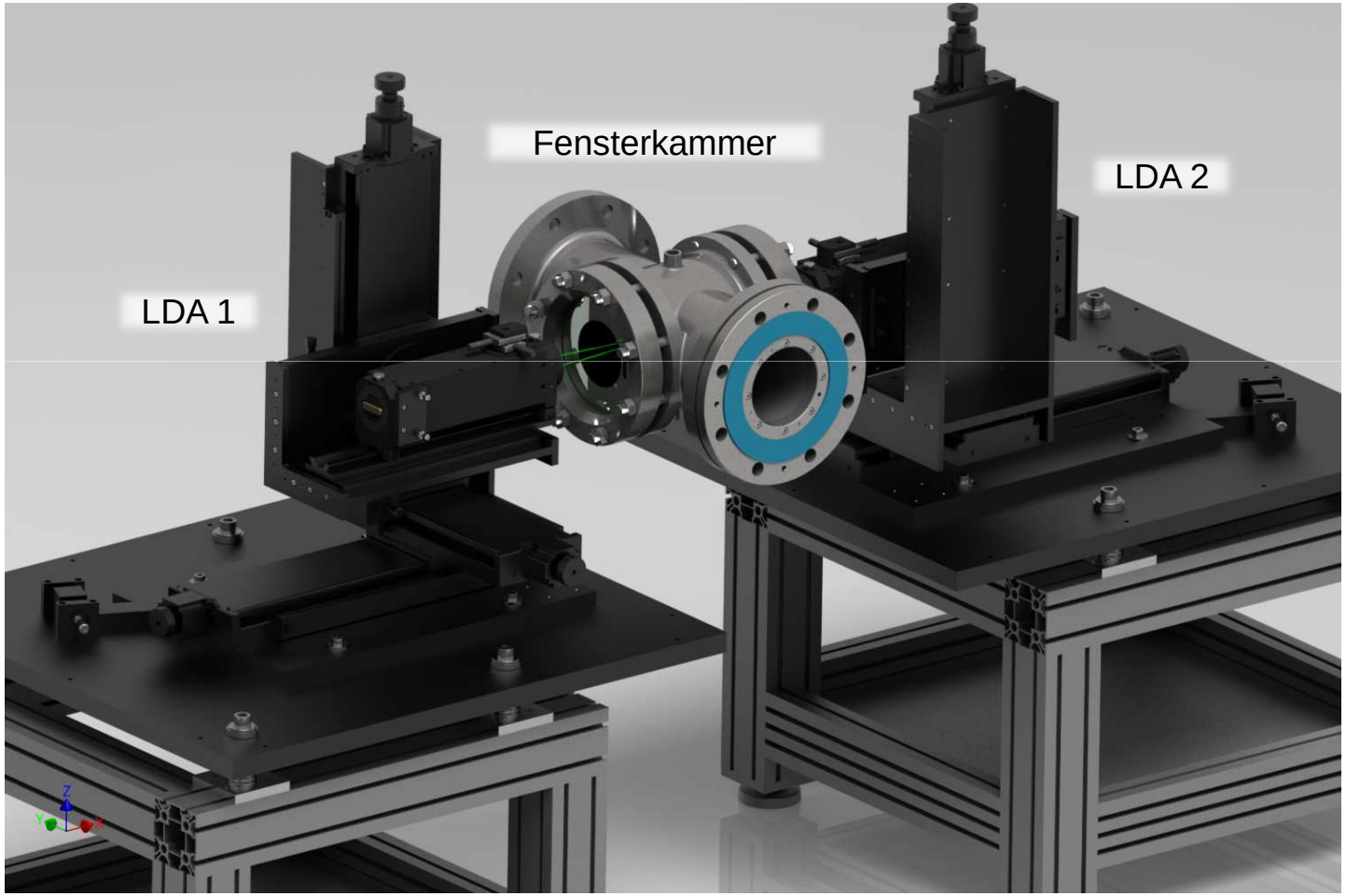




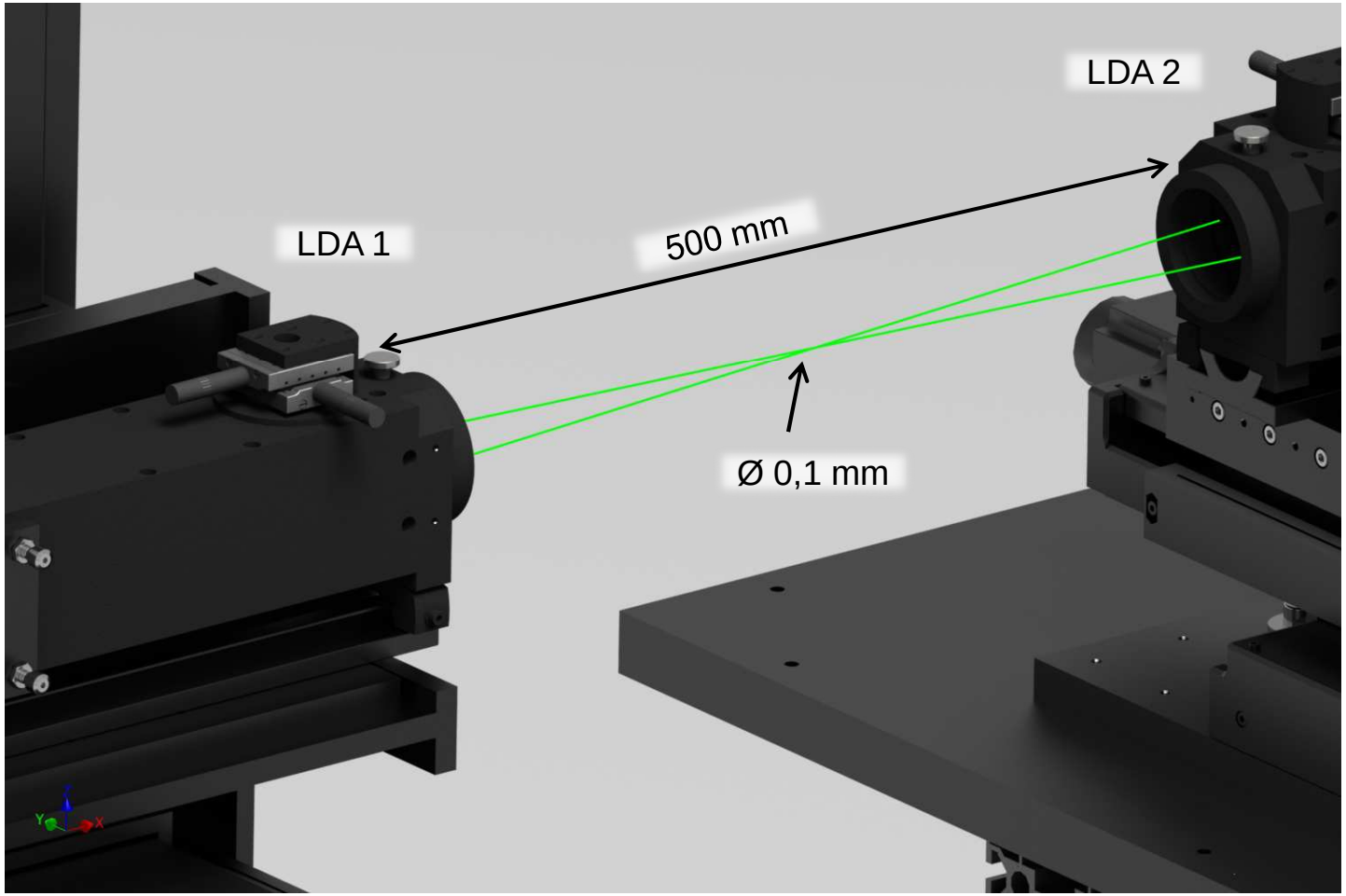


$$\frac{f_{D1}}{f_{D2}} = \frac{L_2(x_P)}{L_1(x_P)} \Rightarrow x_P$$

Ortsaufgelöste LDA – Realisierung

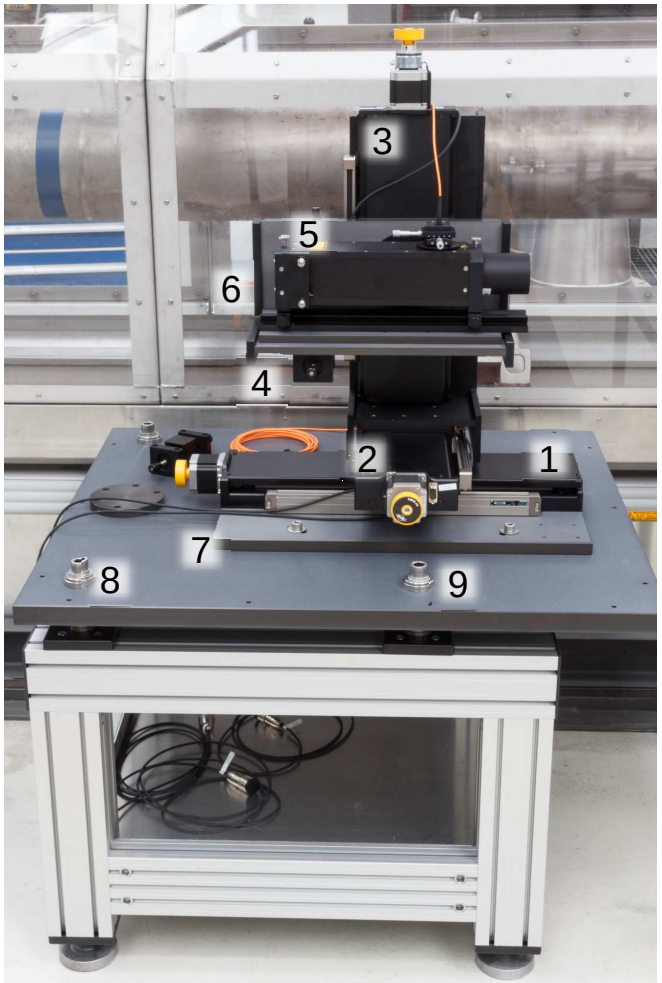


Ortsaufgelöste LDA – Anforderungen

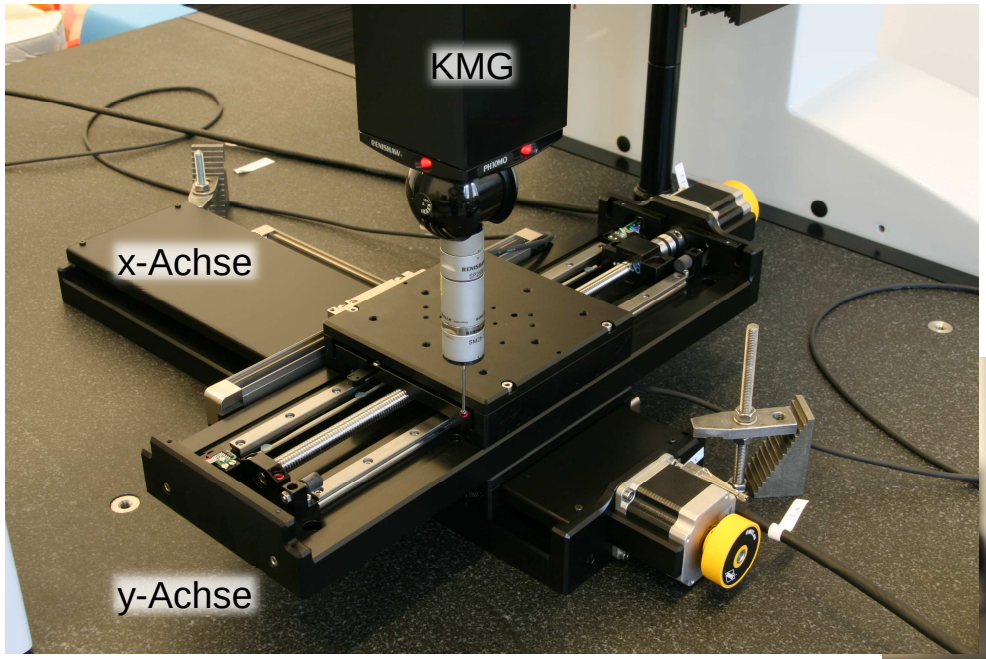


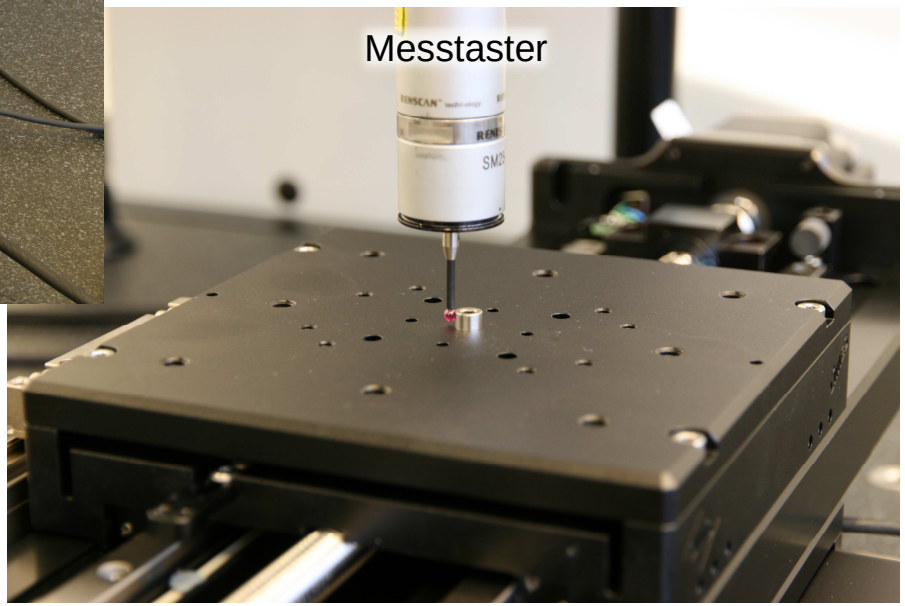
Positionierung – Konstruktion

1. Lineartisch x
2. Lineartisch y
3. Lineartisch z
4. Gierwinkel Laser
5. Nickwinkel Laser
6. Rollwinkel Laser
7. Gierwinkel Positioniersystem
8. Nickwinkel Positioniersystem
9. Rollwinkel Positioniersystem

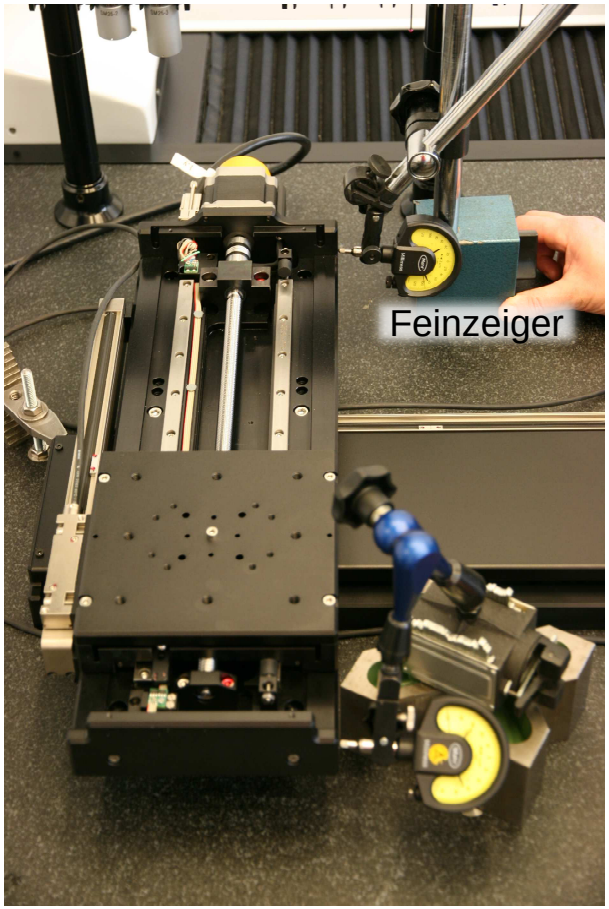


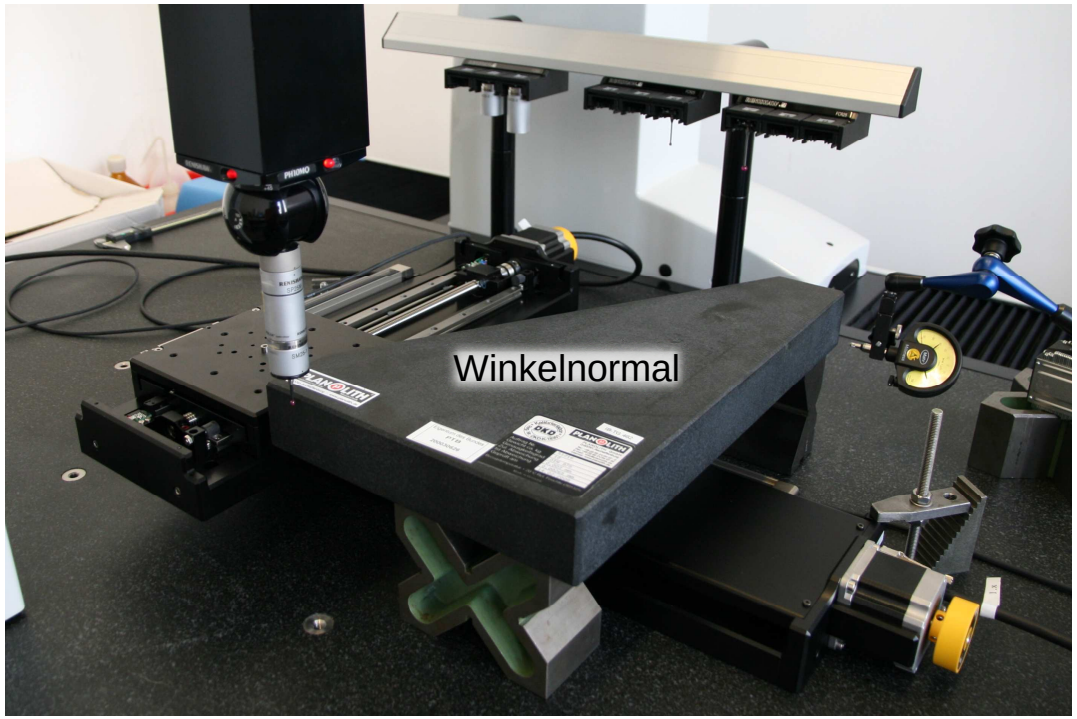
Positionierung – Aufbau



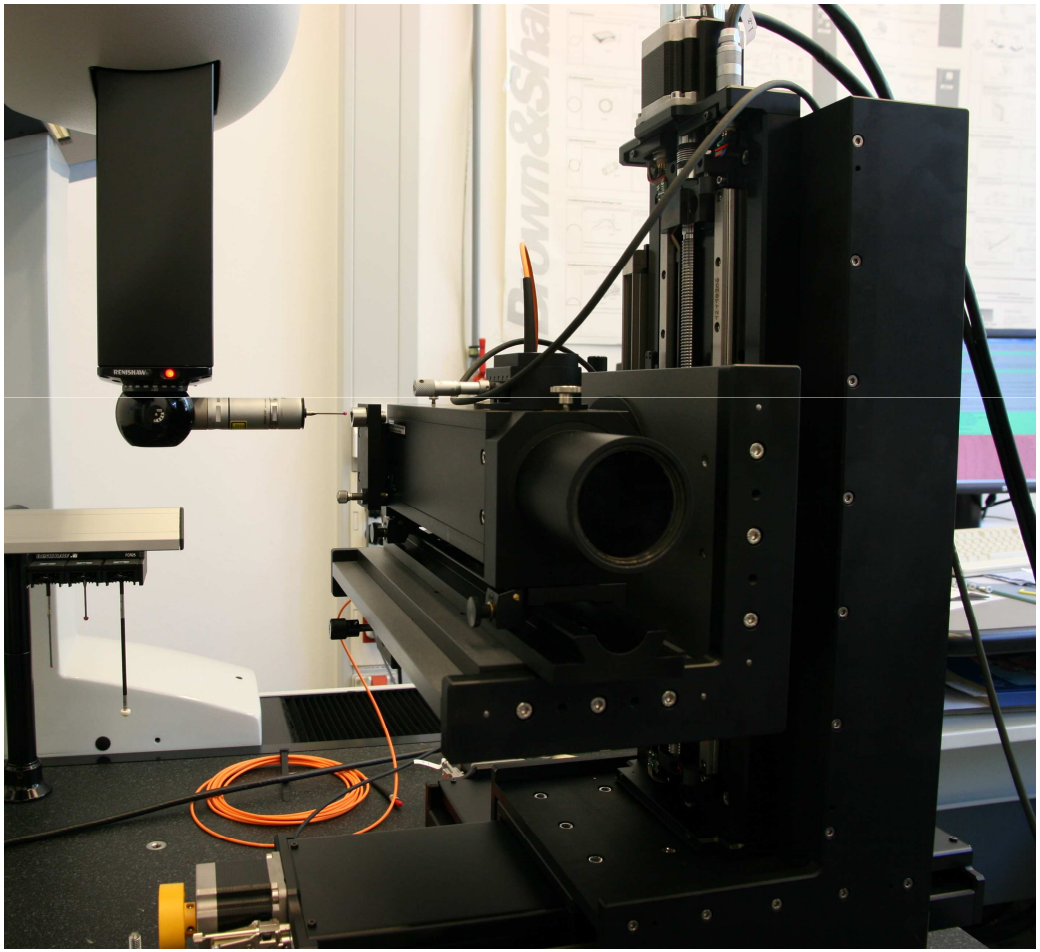


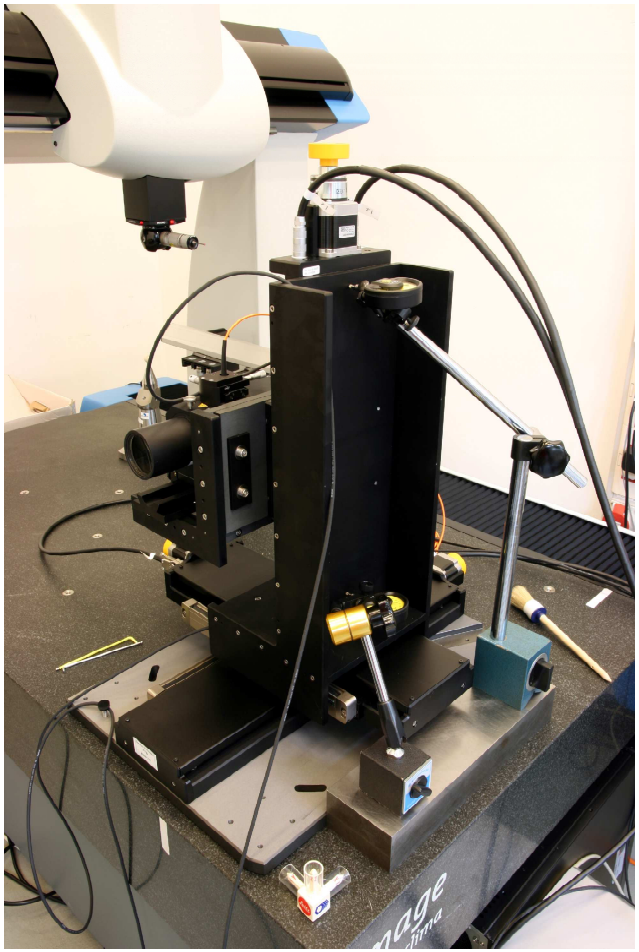
Positionierung – Aufbau





Positionierung – Aufbau

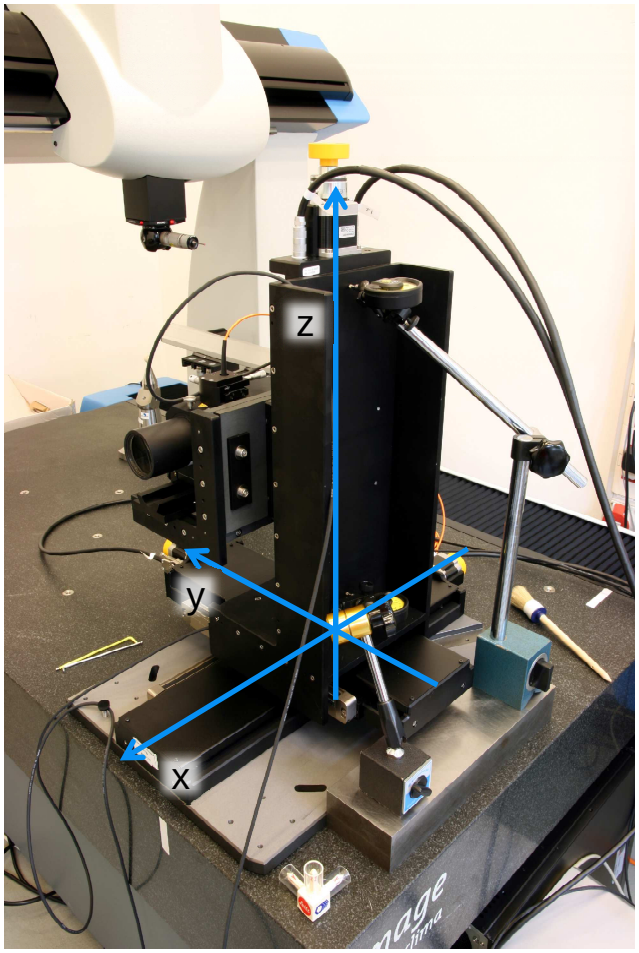




Positionierung – Aufbau

- Winkel zwischen den Lineartischen

Winkel		System 1	System 2
x-y	Gierwinkel x-Achse	90,004	**90,018**
x-z	Rollwinkel y-Achse	89,998	89,999
y-z	Nickwinkel z-Achse	90,006	90,002



Positionierung – Messunsicherheit

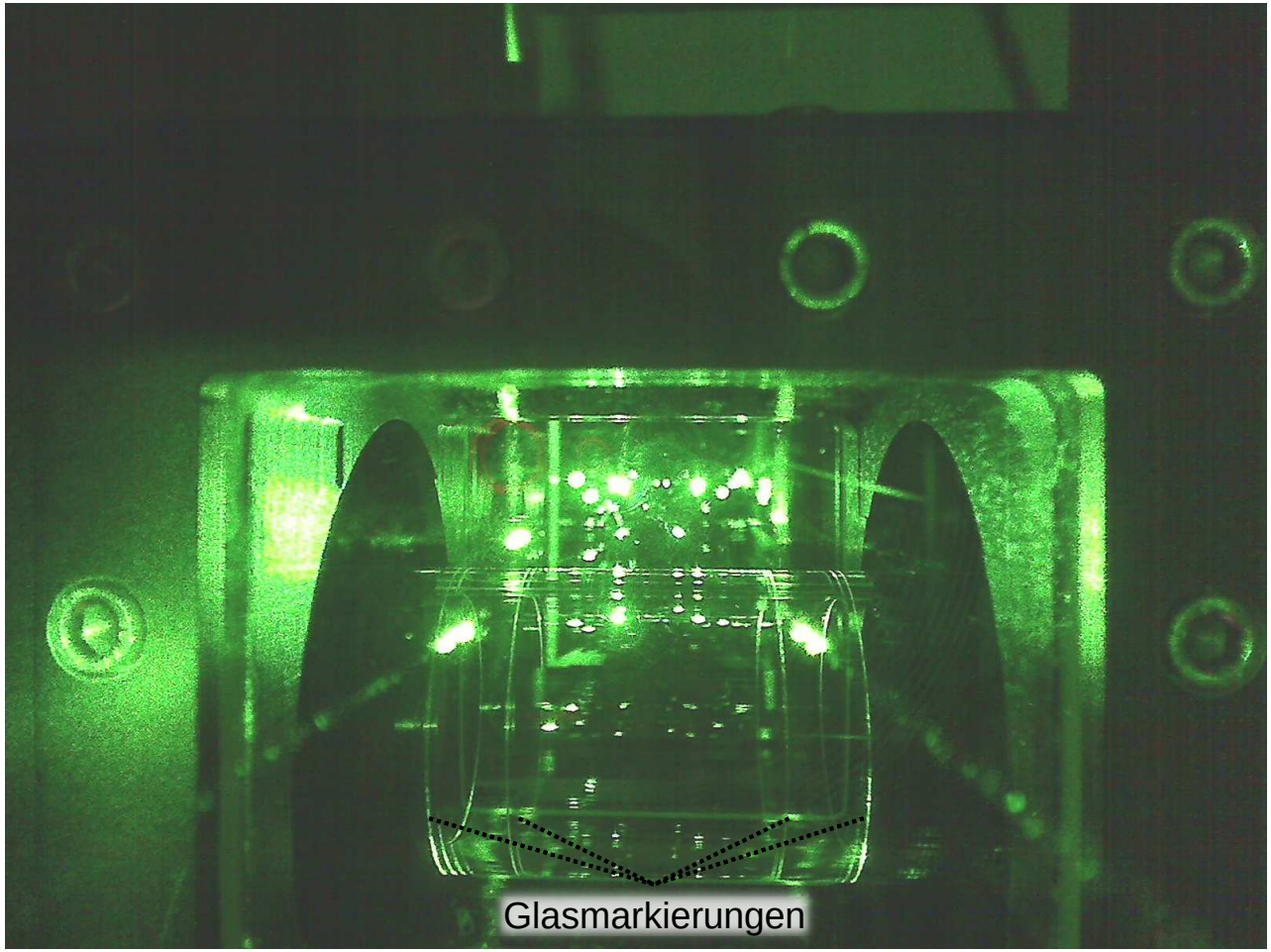
Unsicherheitsbeitrag	x-Position [%]	y-Position [%]	z-Position [%]
Linearmesssystem	0,7	0,7	3,1
Höhen-, Seitenschlag	0,6	0,6	2,8
Gierwinkel x-Achse	62,2	28,8	0,0
Nickwinkel x-Achse	15,5	0,0	4,8
Rollwinkel x-Achse	0,0	16,2	10,8
Gierwinkel y-Achse	2,3	1,1	0,0
Nickwinkel y-Achse	0,0	51,6	62,2
Rollwinkel y-Achse	18,5	0,0	10,3
Gierwinkel z-Achse	0,0	0,0	4,8
Nickwinkel z-Achse	0,0	0,0	1,2
Rollwinkel z-Achse	0,3	1,1	0,0
erw. MU (k=2) [µm]	**43**	**42**	**20**

Positionierung – Ergebnisse

- Messfenster
  - Y = 0 mm
  - X = [45…135 mm]
  - Z = [-45…45 mm]

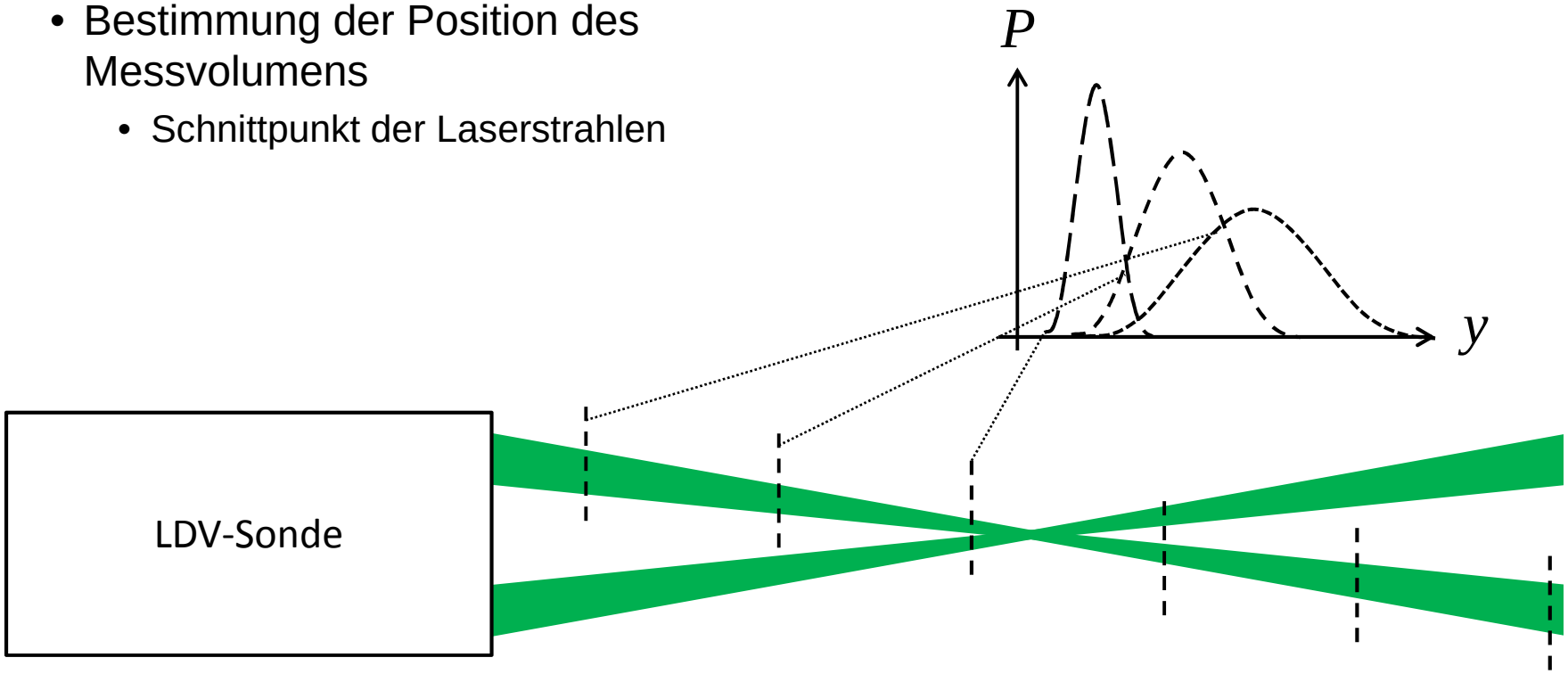
	System 1		System 2	
Achse	erw. MU (k=2) [µm]	max. Abweichung [µm]	erw. MU (k=2) [µm]	max. Abweichung [µm]
x	43	5	43	14
y	42	5	42	17
z	20	5	20	17

Positionierung – Ausrichtung der LDA-Sonde



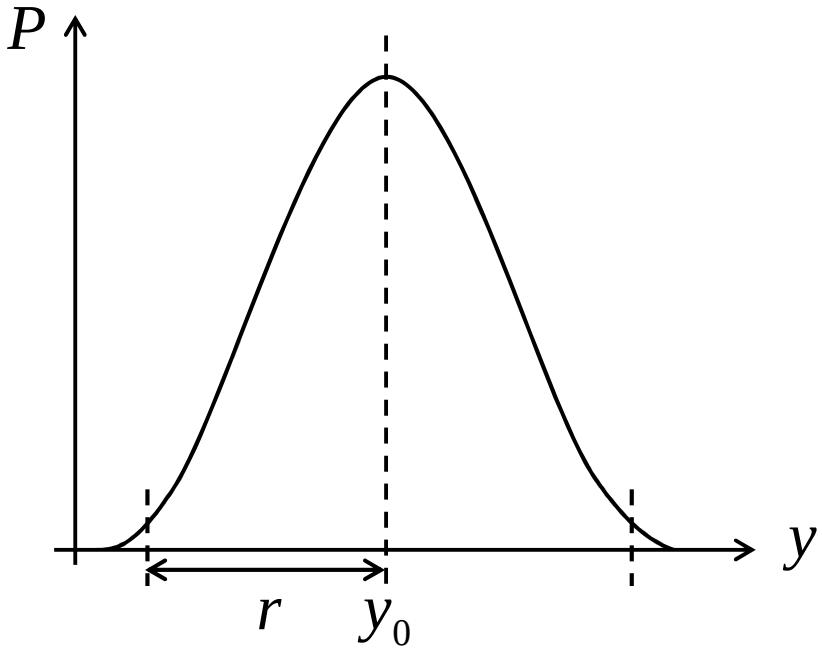
Positionierung – Ausrichtung der LDA-Sonde

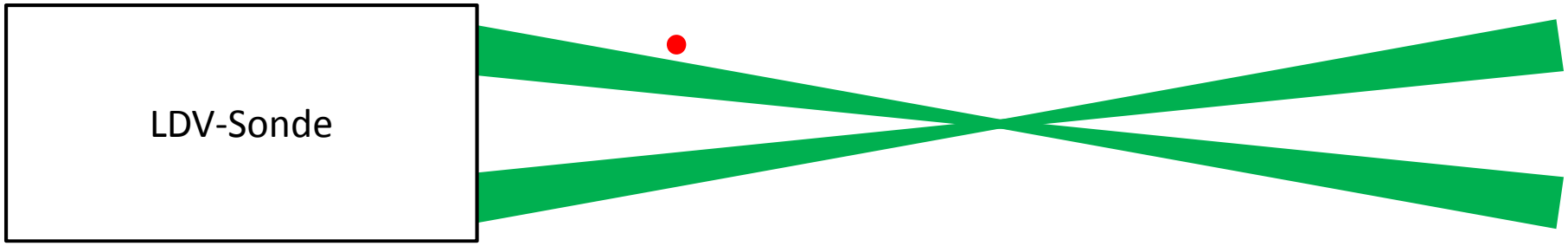
- Idee:
  - Vermessung der Laserstrahlen entlang mehrerer Messpfade
  - Bestimmung der Position des Messvolumens
    - Schnittpunkt der Laserstrahlen



Positionierung – Ausrichtung der LDA-Sonde

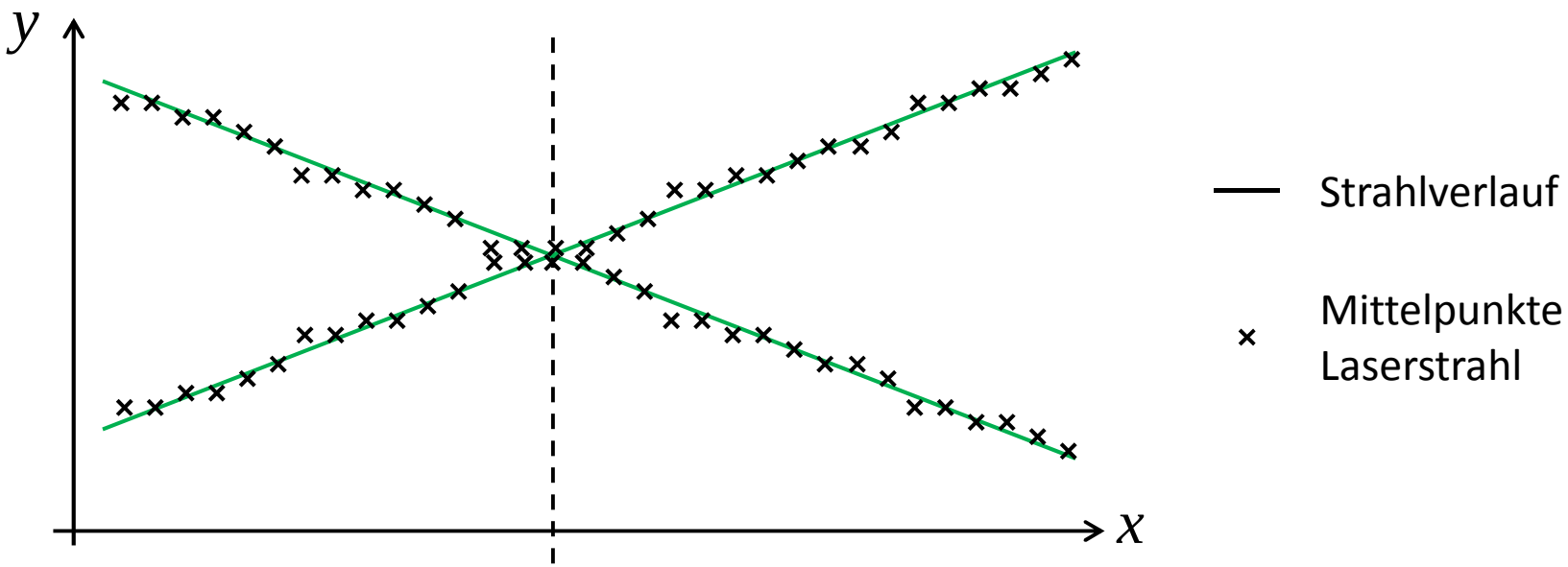
- Intensitätsmessung
  - Laserstrahlen kreuzen die Glasmarkierung
  - Messung des von der Markierung rückgestreuten Lichtes
  - Annahme eines gaußschen Intensitätsverlaufes
  - Bestimmung des Mittelpunktes und des Durchmessers des Laserstrahls





Positionierung – Ausrichtung der LDA-Sonde

- Strahlverlauf
  - die Mittelpunkte der Laserstrahlen werden für jeden Messpfad über der x-Achse aufgetragen
  - Geradengleichungen werden für beide Laserstrahlen gefittet
  - der Schnittpunkt entspricht dem Mittelpunkt des Messvolumens



Zusammenfassung

- erstes rückführbares Messsystem zur Volumenstrommessung bei
  - T > 200°C und
  - p bis 40 Bar und
  - DN 150
- Prototyp auch für industrielles Umfeld geeignet
- Messunsicherheit für die Erfassung der thermischen Leistungserzeugung im Kraftwerk wird reduziert