

LDA gestützte Kalibrierung von Anemometern: Ergebnisse eines Ringvergleichs

¹⁾Müller, H., ¹⁾Sodomann, T., ¹⁾Pape, N., ²⁾Sanchez, J., ³⁾Care, I., ³⁾Cordier, Y.,
⁴⁾Seynhaeve, J.-M., ¹⁾Dopheide, D.

¹⁾(PTB) Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Fachbereich Gase
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig
Germany

²⁾(INTA) Aerodynamic and Propulsion Department,
National Institute of Aerospace Technique, Ministerio de Defensa,
Carretera de Ajalvir, KM. 4, E - 28850 Torrejon de Ardoz Madrid
(Spain)

³⁾(CETIAT) Département Métrologie, Laboratoire d' Anémometrie,
Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques,
27-29, bd du 11 Novembre 1918 - BP 2042 - 69603 Villeurbanne Cedex
France

⁴⁾(UCL) Université catholique de Louvain, Faculté des Sciences Appliquées,
Departement de mécanique Unité TERM - Place du Levant, B 1348 Louvain-laNeuve
Belgique

e-mail: harald.mueller@ptb.de

Kurzfassung

Der Beitrag zeigt die Ergebnisse eines durchgeführten Ringvergleichs, bei dem ein Pitot-Rohr als rückwirkungsarmer Anemometerprüfling in unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen mittels Laser-Doppler-Anemometer kalibriert wurde, um Aussagen über die Vergleichbarkeit von Kalibrierungen in unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen mit unterschiedlichen Kalibrierverfahren zu erhalten.

1 Einleitung

Laser Doppler Anemometer erlauben eine präzise Bestimmung von Strömungsgeschwindigkeiten in Windkanälen, die für die Kalibrierung von Anemometern unterschiedlichster Bauart eingesetzt werden. Da bisher keine Richtlinien für LDA gestützte Kalibrierungen von Anemometern in Windkanälen bestehen, unterscheiden sich die Kalibrierverfahren der einzelnen Kalibrierlaboratorien zwangsläufig. So wird zum Beispiel die Wahl des Messortes für die LDA-gestützte Referenzgeschwindigkeitsmessung in den unterschiedlichen Windkanälen in Abhängigkeit von der Größe des zu kalibrierenden Anemometers und der Größe und Bauart des jeweiligen Windkanals unterschiedlich gehandhabt, was insbesondere bei Rückwirkungen des zu kalibrierenden Anemometers auf das Strömungsfeld im Windkanal zu Abweichungen führen kann.

Die Notwendigkeit zur Durchführung vergleichender Untersuchungen zur Kalibrierung von Anemometern in unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen wurde bereits im Rahmen des EUROMET-Ringvergleichs Projekt 388 "Intercomparison of anemometers" deutlich, der gezeigt hat, daß bei der Kalibrierung von Flügelradanemometern in unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen nach unterschiedlichen Kalibrierverfahren Abweichungen von über 10 % auftreten können (siehe Bild 1) [3].

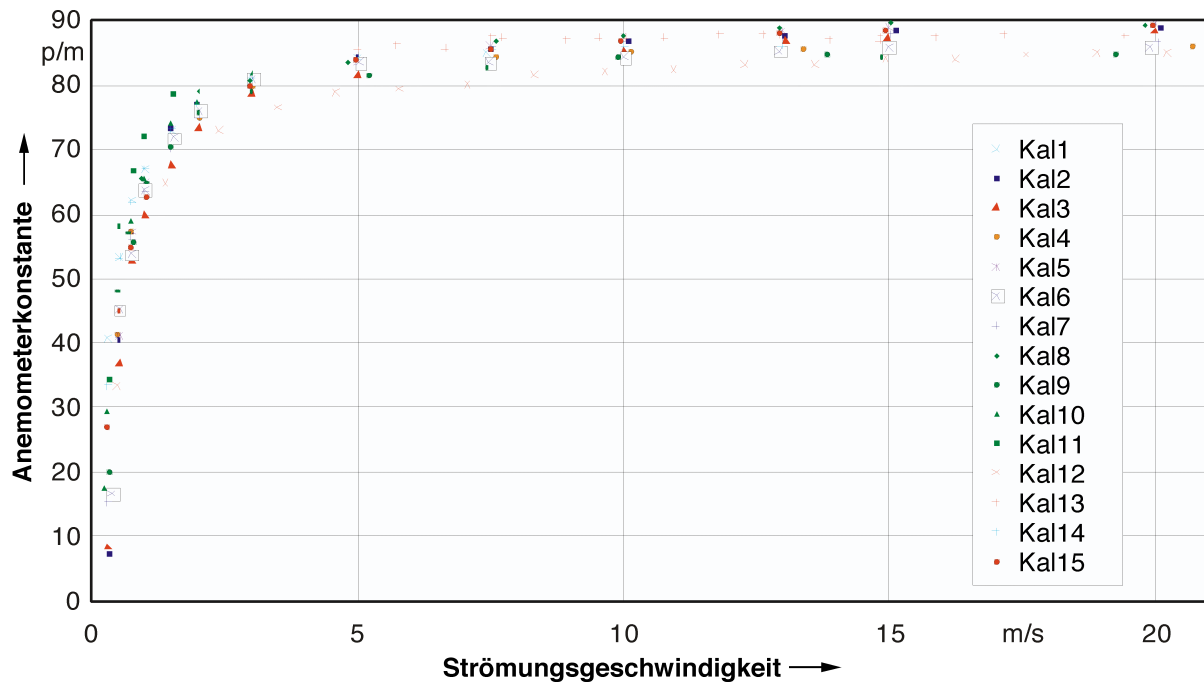


Bild 1: Kalibrierkurven 15 unterschiedlicher Kalibriereinrichtungen für ein Schildknecht Flügelradanemometer vom Typ Mini Air 60 Mini, dargestellt ist die Anemometerkonstante in Pulse/Meter in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit

Bild 1 zeigt beispielsweise das Kalibrierergebnis für ein Flügelradanemometer (Schildknecht: Typ Mini Air 60 Mini) von den am Euromet-Ringvergleich beteiligten Instituten mit unterschiedlichen Kalibriervorrichtungen zur Darstellung und Weitergabe der Einheit Strömungsgeschwindigkeit. Dargestellt wurde die Anemometerkonstante in Pulse/Meter (Flügelradanemometerfrequenz/Strömungsgeschwindigkeit) in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit. Ursachen für die deutlich streuenden Kalibrierwerte können in den unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen und -verfahren sowie den dementsprechend unterschiedlichen Rückwirkungen des Anemometers auf das Strömungsfeld liegen.

Das Ziel des neuerdings mit INTA (Spanien), CETIAT (Frankreich), UCL (Belgien) und PTB durchgeführten Ringvergleichs ist die Schaffung einheitlicher Voraussetzungen für eine LDA-gestützte Kalibrierung von Anemometern. Hierzu wurde zunächst ein Pitot-Rohr in den unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen nach den verschiedenen Kalibrierverfahren kalibriert. Dieser Ringvergleich bildet die Ausgangsbasis für künftig geplante Vergleichsmessungen, da er auf der Kalibrierung eines Anemometers mit vernachlässigbarer Rückwirkung auf das Strömungsfeld in dem jeweiligen Windkanal basiert und einen direkten Vergleich der einzelnen Kalibriereinrichtungen und Verfahren erlaubt.

2 LDA-gestützter Ringvergleich zur Anemometerkalibrierung

Um definierte Ausgangsverhältnisse und überschaubare Randbedingungen für die Auswertung des Anemometer-Ringvergleichs zu erhalten, wurde für den ersten Schritt ein Pitot-Rohr gewählt, das aufgrund der geringen geometrischen Abmessungen keine nennenswerten Rückwirkungen auf das Strömungsfeld der eingesetzten Windkanäle verursacht. Somit können Einflüsse des Prüflings auf das Strömungsfeld in den jeweiligen Windkanälen mit gegebenenfalls unterschiedlichen Auswirkungen auf die Kalibrierung vernachlässigt werden. Alle am Ringvergleich beteiligten Einrichtungen verwenden für Anemometerkalibrierungen Windkanäle mit kalibrierten LDA-Systemen zur Bestimmung der Referenzgeschwindigkeit am Ort des Prüflings. Unterschiede bestehen lediglich bei den jeweiligen Kalibrierverfahren insbesondere in der durch die unterschiedlichen Windkanalgeometrien zwangsläufig unterschiedlichen Positionen von Prüfling und LDA-Messorten für die Referenzgeschwindigkeitsmessung im Strömungsfeld.

In der PTB wurde vor der Durchführung der Kalibrierung zunächst das Strömungsgeschwindigkeitsfeld im Windkanal ohne Prüfling mit einem Halbleiter-LDA ausgemessen, um anschließend den Prüfling in einen möglichst turbulenzarmen Bereich der Düsenströmung positionieren zu können (siehe Bild 2).

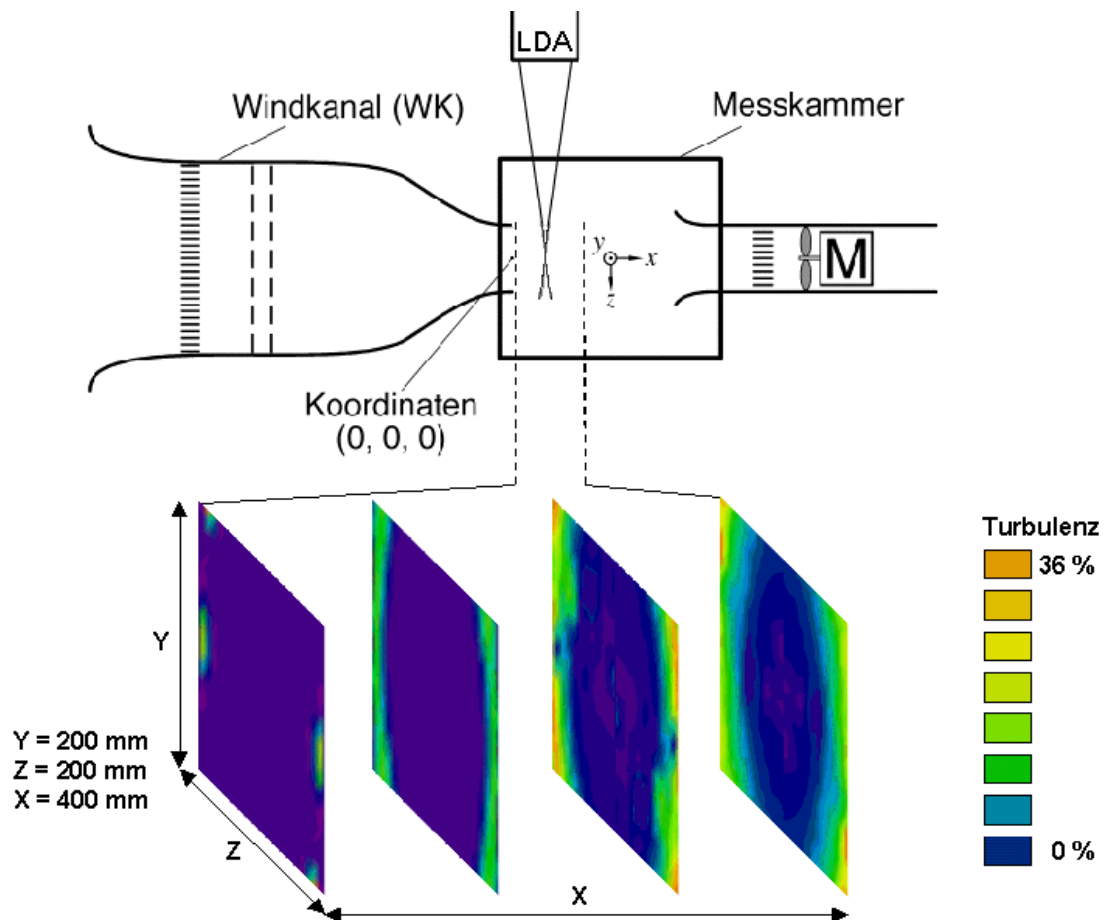


Bild 2: Turbulenzgradmessung im Strömungsfeld hinter der Windkanaldüse

Weiterhin wurde durch das Ausmessen des Strömungsgeschwindigkeitsfelds im Anströmbereich des Pitot-Rohrs sichergestellt, daß der gewählte Messort für die LDA-Referenzgeschwindigkeitsmessung außerhalb des Rückwirkungsbereichs des Pitot-Rohrs auf das Strömungsfeld liegt (siehe Bild 3)[4].

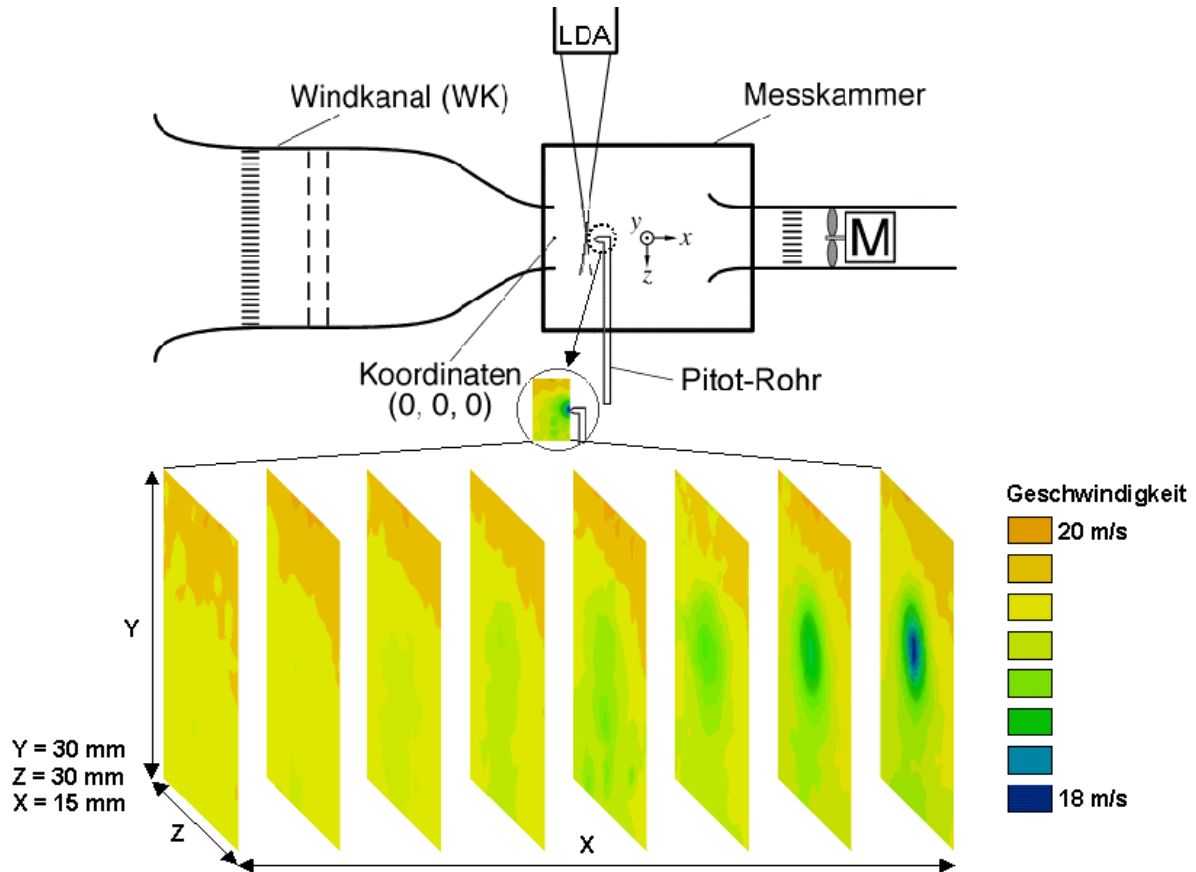


Bild 3: Strömungsgeschwindigkeitsfeld vor dem zu kalibrierenden Pitot-Rohr

Für die Kalibrierung des Pitot-Rohrs wurde die Referenzgeschwindigkeitsmessung im Abstand von 5 Pitot-Rohrdurchmessern stromaufwärts mit Hilfe eines kalibrierten Halbleiter-Laser-Doppler-Anemometers vorgenommen.

3 Ergebnis des Ringvergleichs

Die Kalibrierung des Pitot-Rohrs wurde von allen beteiligten Kalibrier-einrichtungen für einen Geschwindigkeitsbereich von 5 m/s bis zu 40 m/s durchgeführt. Der Kalibrierfaktor k wurde aus dem jeweiligen Referenzgeschwindigkeitswert v_{LDA} und dem aus der Luftdichte ρ und dem am Pitot-Rohr gemessenen Differenzdruck Δp bestimmten Geschwindigkeitswert v_{Pitot} berechnet:

$$k = v_{LDA}/v_{Pitot} = v_{LDA}(\rho(2\Delta p))^{0,5}$$

In Bild 4 und 5 sind die Ergebnisse aus dem Ringvergleich zusammengestellt. Man erkennt eine sehr gute Übereinstimmung der einzelnen Kalibrierungen im Rahmen der jeweils angegebenen Messunsicherheiten.

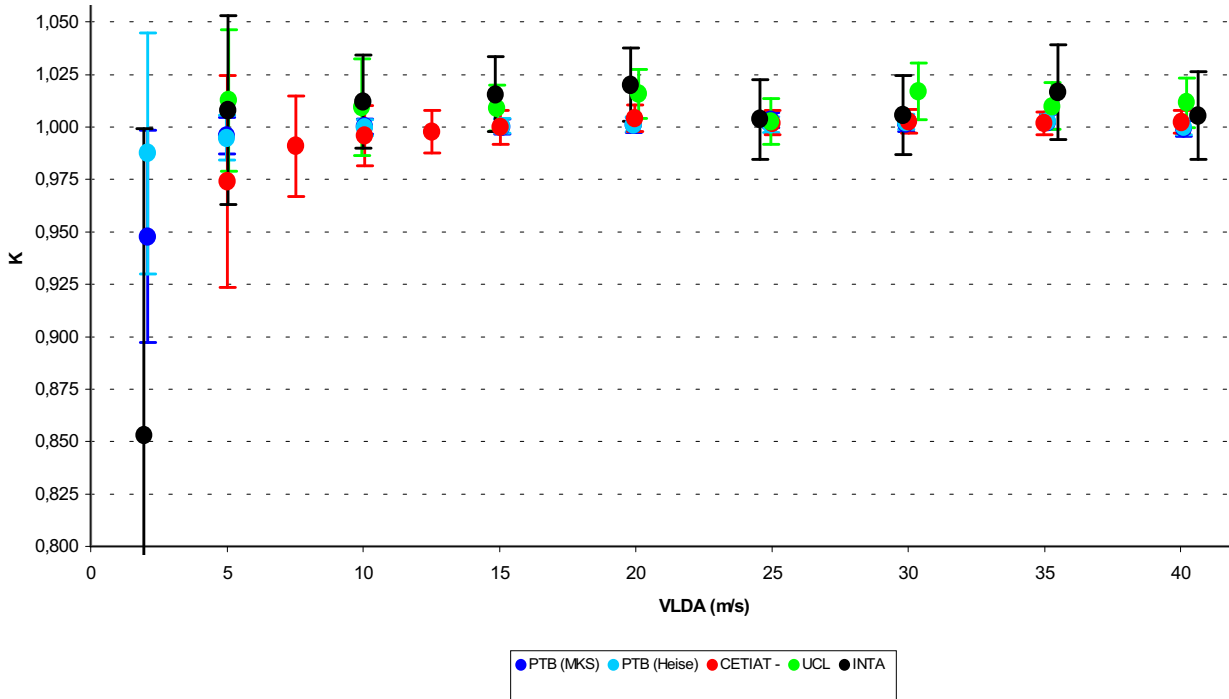


Bild 4: Resultierende Kalibrierfaktoren

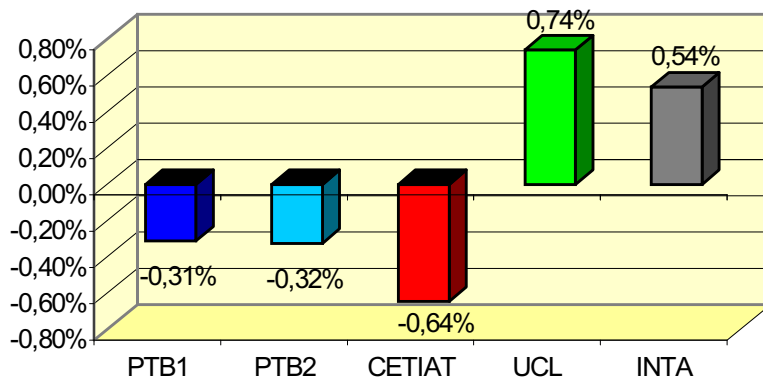


Bild 5: Prozentuale Abweichung der einzelnen Kalibrierergebnisse vom Mittelwert

Die in dem Ringvergleich zwischen INTA, CETIAT, UCL und PTB erzielte Übereinstimmung bei der Kalibrierung eines Pitot-Rohrs zeigt, daß die auf dem Einsatz von kalibrierten LDA-Systemen basierenden Kalibriereinrichtungen und Kalibrierverfahren zu Ergebnissen führen, die innerhalb ihrer Messunsicherheiten übereinstimmen. Damit ist zumindest für die Kalibrierung rückwirkungsarmer Anemometer eine einheitliche Ausgangsbasis gegeben.

4 Zusammenfassung

Ein Vergleich der Ergebnisse des gemeinsam mit INTA, CETIAT, UCL und PTB durchgeführten Ringvergleichs mit den Ergebnissen aus dem EUROMET Projekt 388 "Intercomparison of Anemometers" zeigt, daß es für die Durchführung von Kalibrierungen und vergleichenden Untersuchung von Kalibrierergebnissen notwendig ist, überschaubare Ausgangsbedingungen zu schaffen, wie z.B. die Verwendung von rückwirkungsarmen Anemometern als Prüfling. Nachdem sichergestellt werden konnte, daß in diesem Fall die Kalibrierergebnisse der unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen mit verschiedenen Kalibrierverfahren innerhalb ihrer Messunsicherheiten übereinstimmen, sollen auf dieser Basis künftig weitere Vergleichsmessungen mit anderen Anemometern im Hinblick auf die Erweiterung des Kalibrierbereichs zu niedrigeren Strömungsgeschwindigkeiten und den Einfluss von Blockageeffekten bei Anemometern größerer Bauformen durchgeführt werden.

5 Literatur

- [1] V. E. Bean and J. M. Hall: New Primary Standards for Air Speed Measurement at NIST, 1999 NCSL Workshop & Symposium S. 413 - 421
- [2] T. J. Lockhart: Uncertainty in Anemometer Calibration Methods, European Wind Energy conference, October 1997, Dublin Castle, Ireland, S. 333 - 336
- [3] H. Lerch: Intercomparison of Anemometers, EUROMET Project No. 388, Draft Final Report, Part 1, 28. January 1999
- [4] H. Müller, R. Kramer, V. Strunck, B. Mickan, D. Dopheide: Laser-Doppler Anemometer zur Darstellung und Weitergabe der Einheit Strömungsgeschwindigkeit, Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, 9. Fachtagung 2001 veranstaltet von der Deutschen Gesellschaft für Laser-Anemometrie GALA e.V., Aachen: Shaker 2001 ISBN3-8265-9214-X, 24.1 - 24.8