

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



## DKD

---

**Vergleichsbericht DKD-Ringvergleich:**  
**DKD-V 11-2**


- **Strömungsgeschwindigkeit**
- **Staurohr ohne Messequipment**
- **Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s**

---

Ausgabe 02/2020

<https://doi.org/10.7795/550.20200211>



	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	2 / 15

## Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

### Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)


DKD-Geschäftsstelle

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Postfach 33 45 38023 Braunschweig

Telefon Sekretariat: 0531 592-8021

Internet: [www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	3 / 15

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Vergleichsbericht DKD-V 11-2 DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s; Ausgabe 02/2020, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.  
DOI: 10.7795/550.20200211*

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). In diesem Zusammenhang bedeutet „nicht-kommerziell“ (NC), dass das Werk nicht zum Zwecke der Einnahmenerzielung verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden darf. Eine Nutzung seiner Inhalte für die gewerbliche Verwendung in Laboratorien ist ausdrücklich erlaubt.




Autoren:

Auswertung: Dr. Harald Müller, PTB, Braunschweig

Organisation: Dr. Arne Taube, Höntzsch GmbH, Waiblingen

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit dem Fachausschuss *Strömungsmessgrößen* des DKD.

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	4 / 15


## Vorwort

DKD-Vergleichsberichte verfolgen das Ziel, die Ergebnisse von Vergleichsmessungen offenzulegen, die im Rahmen des Deutschen Kalibrierdienstes organisiert, durchgeführt bzw. ausgewertet wurden. Sie enthalten Informationen über die Leistung der teilnehmenden Kalibrierlaboratorien für bestimmte Messungen und deren Vergleichbarkeit. In DKD-Vergleichsberichten wird nicht notwendigerweise in allen Details die Sichtweise des Vorstands oder der Fachausschüsse des DKD wiedergegeben.

Die DKD-Vergleichsberichte sollen die im Vergleich untersuchten Aspekte und Ergebnisse der Kalibrierung darstellen und durch die Publikation im Rahmen des DKD der großen Gemeinschaft der Kalibrierlaboratorien national und international zugänglich machen.

Experten- und Vergleichsberichte müssen nicht vom Vorstand genehmigt werden (Beschluss auf der 5. DKD-Vorstandssitzung), sondern nur vom jeweiligen Fachausschuss und der Geschäftsstelle.

Dieser Bericht wurde im Auftrag des DKD-Fachausschusses *Strömungsmessgrößen* vom Unterausschuss *Strömungsgeschwindigkeit* erstellt.


	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	5 / 15

## Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungen .....	5
2	Allgemeine Informationen über den Ringvergleich.....	6
3	Messverfahren und Messbereich.....	6
3.1	Staurohr .....	6
4	Teilnehmer und Zeitplan.....	6
5	TransfERNormal .....	8
5.1	Prandtl'sches Staurohr (Pitot Static Tube).....	8
6	Stabilität des TransfERNormals .....	8
6.1	Prandtl'sches Staurohr .....	8
7	Messergebnisse .....	8
7.1	Prandtl'sches Staurohr .....	8
8	Auswertung .....	10
8.1	Vorgehensweise zur Bestimmung der Ringvergleichsreferenzwerte und der Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit dem Ringvergleichsreferenzwert .....	10
8.2	Ringvergleichs-Referenzwerte .....	11
8.2.1	Prandtl'sches Staurohr .....	11
8.3	Vergleichbarkeiten mit den Ringvergleichs-Referenzwerten.....	13
8.3.1	Prandtl'sches Staurohr .....	13
9	Bewertung des Ringvergleichs .....	13
10	Ausblick auf zukünftige Ringvergleichsmessungen.....	14
11	Literaturverzeichnis.....	14

## 1 Abkürzungen

BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Österreich
DAkKS	Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKD	Deutscher Kalibrierdienst
KBS	Konformitätsbewertungsstelle (Kalibrierstelle, Kalibrierlaboratorium)
LDA	Laser-Doppler-Anemometer
MU	Messunsicherheit
MW	Mittelwert (arithmetisches Mittel)
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Deutschland
Stabw	Standardabweichung
rel.	relative
$E_n$	normierte Abweichung

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	6 / 15

## 2 Allgemeine Informationen über den Ringvergleich

Auf den Sitzungen des DKD-Fachausschusses *Strömungsmessgrößen 2017/2018* wurde beschlossen, einen weiteren DKD-Ringvergleich für die Messgröße Strömungsgeschwindigkeit durchzuführen.

Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der Kalibrierergebnisse der einzelnen Kalibrierlaboratorien mit unterschiedlichen Kalibriereinrichtungen und Verfahren wurde als Transfernormal ein von der Firma Testo Industrial Services GmbH bereitgestelltes Prandtl'sches Staurohr ohne Differenzdruckmesseinrichtung gewählt.

Die Vergleichsmessungen wurden als Ringvergleich zwischen den beteiligten Kalibrierlaboratorien nach den jeweiligen Hausverfahren, dem Kalibrierlaboratorium des vom BEV in Österreich designierten Instituts E+E Elektronik Ges.m.b.H. und der PTB durchgeführt. Dabei wurde das Transfernormal nach dem von der Höntzsch GmbH erstellten Ablaufplan von Teilnehmer zu Teilnehmer gesandt. Jeder Teilnehmer hatte nach einer vorgesehenen Bearbeitungszeit von maximal 1,5 Wochen das Transfernormal an den jeweils folgenden Teilnehmer auf eigene Kosten weiterzuleiten.

Die Kalibrierergebnisse wurden in Kalibrierscheinen dokumentiert und der PTB zur Auswertung des Ringvergleichs gesandt.

## 3 Messverfahren und Messbereich

Die Kalibrierung erfolgte in jedem Laboratorium nach dem jeweils eigenem Hausverfahren, das von der DAkkS akkreditiert ist. Im vorangegangenen Vergleichsbericht DKD-V 11-1 [2] sind die jeweils verwendeten Einrichtungen und Verfahren beschrieben.

### 3.1 Staurohr


Für das Staurohr der Firma Testo erfolgte die Positionierung des Prüflings auch nach den jeweils labor-eigenen Vorgaben im Windkanal.

**Die Differenzdruckmessung und daraus resultierende Geschwindigkeitsermittlung erfolgte mit dem laboreigenem Messequipment. Folgende Punkte wurden mit der Windkanal-Referenz und dem Staurohr kalibriert:**

2 m/s, 5 m/s, 10 m/s, 20 m/s, 35 m/s, 50 m/s.


## 4 Teilnehmer und Zeitplan

Teilnehmer am DKD-Ringvergleich waren die zum Zeitpunkt der Ringvergleichsmessung von der DAkkS akkreditierten KBS für die Messgröße Strömungsgeschwindigkeit von Gasen, das designierte Institut E+E Elektronik Ges.m.b.H. von Österreich und die PTB mit ihren jeweiligen Kalibriermöglichkeiten. Die Teilnehmerliste und der zeitliche Ablauf zur durchgeführten Ringvergleichsmessung sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	7 / 15

Ansprechpartner	Laboratorium	Adresse	Akkreditierung	Datum
Martin Förderer <a href="mailto:MFoerderer@testotis.de">MFoerderer@testotis.de</a> Tel.: +49 7661 90901-9056	Testo industrial services GmbH	Gewerbestraße 3 79199 Kirchzarten	D-K-15070-01-05	03.07.2018 Pitot-Pilot
Dipl.-Ing. Evelyn Flesch <a href="mailto:Flesch@ahlborn.com">Flesch@ahlborn.com</a> Tel.: +49 8024 3007-62	Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH	Eichenfeldstr 1 83607 Holzkirchen	D-K-19342-01-00	06.07.2018
Richard Seidl <a href="mailto:Richard.Seidl@dwd.de">Richard.Seidl@dwd.de</a> Tel.: +49 69 80629109	Deutscher Wetterdienst	Referat TI35C3 August-Schmauss-Str. 1 85764 Oberschleißheim	D-K-11170-01-00	12.07.2018
Dipl.-Ing. Dr. Dietmar Pachinger <a href="mailto:dietmar.pachinger@epluse.at">dietmar.pachinger@epluse.at</a> Tel.: +43 7235 605-755	E+E Elektronik Ges.m.b.H.	Langwiesen 7 4209 Engerwitzdorf Österreich	vom BEV designiertes Institut	17.08.2018
Rainer Mock <a href="mailto:rainer.mock@airflow.de">rainer.mock@airflow.de</a> Tel.: +49 2226 9205-50	Airflow Lufttechnik GmbH	Kleine Heeg 21 53359 Rheinbach	D-K-19557-01-00	25.07.2018
John B. Westenberg <a href="mailto:info@westenberg-engineering.de">info@westenberg-engineering.de</a> Tel.: +49 221 95832-32	Westenberg Engineering	Vitalisstr. 100 50827 Köln	D-K-18193-01-00	31.07.2018
Helmut Hager <a href="mailto:helmut.hager@lufft.de">helmut.hager@lufft.de</a> Tel.: +49 711 51822-75	G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH	Gutenbergstr. 20 70736 Fellbach	D-K-15202-01-00	03.09.2018
Arne Taube <a href="mailto:arne.taube@hoentzsch.com">arne.taube@hoentzsch.com</a> Tel.: +49 7151 1716-38	Höntzsch GmbH	Gottlieb-Daimler-Str. 37 71334 Waiblingen	D-K-18674-01-00	09.08.2018 Zwischen- stand
Harald Mueller Jessica Kampe <a href="mailto:Harald.Mueller@ptb.de">Harald.Mueller@ptb.de</a> <a href="mailto:Jessica.Kampe@ptb.de">Jessica.Kampe@ptb.de</a> Tel.: +49 531 592-1310	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	Fachbereich 1.4 Bundesallee 100 38116 Braunschweig		18.09.2018
Peter Busche <a href="mailto:p.busche@windguard.de">p.busche@windguard.de</a> Tel.: +49 4451 9515-239	Deutsche WindGuard GmbH	Oldenburger Straße 65 26316 Varel	D-K-15140-01-00	19.11.2018
Mathias Hölzer <a href="mailto:m.hoelzer@profec-ventus.com">m.hoelzer@profec-ventus.com</a> Tel.: +49 34676 329856	ProfEC Ventus GmbH	Im Ofenerfeld 23 26127 Oldenburg	D-K-19142-01-00	10.10.2018
Dipl.Geoök. Stefan Müller Dietmar Wüstenberg <a href="mailto:sm@ammonit-windtunnel.com">sm@ammonit-windtunnel.com</a> <a href="mailto:dw@ammonit-windtunnel.com">dw@ammonit-windtunnel.com</a> Tel.: +49 38203 50750 Tel.: +49 38203 50725	Ammonit Wind Tunnel GmbH	Reuterstraße 13 18211 Bargeshagen	D-K-20511-01-00	23.10.2018
Holger Dörschel <a href="mailto:Holger.Doerschel@dwd.de">Holger.Doerschel@dwd.de</a> Tel.: +49 69 80626688	Deutscher Wetterdienst	Referat TI33C3 Frahmredder 95 22393 Hamburg	D-K-11170-01-00	12.07.2018
Arne Taube <a href="mailto:arne.taube@hoentzsch.com">arne.taube@hoentzsch.com</a> Tel.: +49 7151 1716-38	Höntzsch GmbH	Gottlieb-Daimler-Str. 37 71334 Waiblingen	D-K-18674-01-00	11.01.2019
Martin Förderer <a href="mailto:MFoerderer@testotis.de">MFoerderer@testotis.de</a> Tel.: +49 7661 90901-9056	Testo industrial services GmbH	Gewerbestraße 3 79199 Kirchzarten	D-K-15070-01-05	28.03.2019 Abschluss

**Tabelle 1:** Teilnehmerliste und zeitlicher Ablauf zur DKD-Ringvergleichsmessung

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	8 / 15

## 5 Transfernnormal

Als Transfernnormal wurde ein von der Firma Testo zur Verfügung gestelltes Prandtl'sches Staurohr ohne Mess- und Auswertetechnik (s. Abb. 1) verwendet.

### 5.1 Prandtl'sches Staurohr (Pitot Static Tube)



**Abb. 1:** Staurohr, TESTO SE Co. KGaA, Typ: 0635 2345, Länge 700 mm, Ø 7mm  
Einbau an der Prüflingsposition im Windkanal der Firma Höntzsch GmbH

## 6 Stabilität des Transfernnormals

Zur Überprüfung der Stabilität des Transfernnormals wurden von der Firma Testo Industrial Services GmbH Messungen am Anfang und Ende des Ringvergleichs vorgenommen.

### 6.1 Prandtl'sches Staurohr

Der Vergleich der Messergebnisse am Anfang und am Ende des Ringvergleichs zeigt, dass für die Auswertung der Ringvergleichsmessung Driften und Instabilitäten vernachlässigt werden können, da die Ergebnisse innerhalb der statistischen Messunsicherheiten liegen.

## 7 Messergebnisse

### 7.1 Prandtl'sches Staurohr

Die von den einzelnen Kalibrierlaboratorien übermittelten Messergebnisse sind als Quotienten  $K = x_i = (\text{Referenzwert}_{\text{Lab},i} / \text{Messwert}_{\text{Staurohr, Lab},i})$  gemeinsam mit den aus den Kalibrierscheinen zugeordneten Messunsicherheiten  $U_{k=2}$  in Tabelle 2 zusammengestellt.

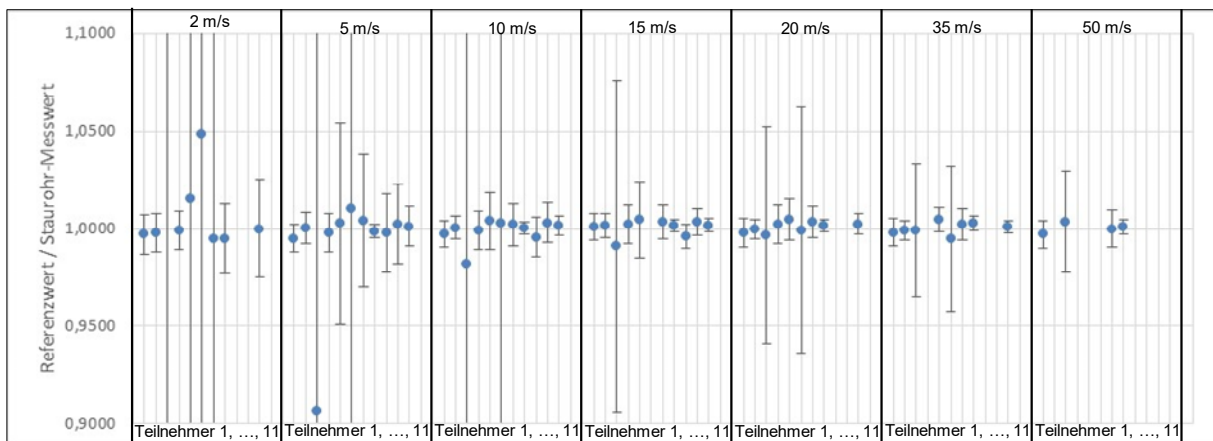


Teilnehmer	K (2 m/s)	K (5 m/s)	K (10 m/s)	K (15 m/s)	K (20 m/s)	K (35 m/s)	K (50 m/s)
1	0,9970	0,9950	0,9970	1,0010	0,9980	0,9980	0,9970
2	0,9980	1,0004	1,0004	1,0016	0,9995	0,9991	
3	0,6049	0,9063	0,9816	0,9908	0,9965	0,9991	1,0034
4	0,9990	0,9980	0,9990	1,0020	1,0020		
5	1,0149	1,0026	1,0038	1,0044	1,0046	1,0045	
6	1,0484	1,0101	1,0029		0,9989	0,9946	
7	0,9950	1,0040	1,0020	1,0033	1,0035	1,0023	1,0000
8	0,9947	0,9985	1,0003	1,0016	1,0016	1,0027	1,0009
9		0,9978	0,9956	0,9961			
10		1,0020	1,0031	1,0034			
11	1,0000	1,0012	1,0013	1,0017	1,0024	1,0009	


  

Teilnehmer	U (2 m/s)	U (5 m/s)	U (10 m/s)	U (15 m/s)	U (20 m/s)	U (35 m/s)	U (50 m/s)
1	0,0104	0,0070	0,0069	0,0069	0,0075	0,0070	0,0071
2	0,0099	0,0080	0,0059	0,0060	0,0050	0,0051	
3	0,6383	0,3423	0,1843	0,0852	0,0558	0,0340	0,0257
4	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100		
5	0,6886	0,0519	0,0144	0,0194	0,0107	0,0063	
6	0,5926	0,2256	0,1103		0,0630	0,0371	
7	0,1931	0,0339	0,0109	0,0086	0,0080	0,0079	0,0099
8	0,0177	0,0034	0,0031	0,0033	0,0032	0,0036	0,0035
9		0,0201	0,0100	0,0063			
10		0,0203	0,0102	0,0068			
11	0,0251	0,0100	0,0050	0,0034	0,0050	0,0029	

**Tabelle 2:** Zusammenstellung der Staurohr-Messergebnisse der Teilnehmer 1, ..., 11



**Diagramm 1:** Staurohrfaktor  $K = (\text{Referenzwert}_{\text{Lab},i} / \text{Messwert}_{\text{Staurohr, Lab},i})$  für die jeweiligen Geschwindigkeitswerte der einzelnen Teilnehmer 1, ..., 11

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	10 / 15

## 8 Auswertung

### 8.1 Vorgehensweise zur Bestimmung der Ringvergleichsreferenzwerte und der Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit dem Ringvergleichsreferenzwert

Die Ringvergleichsreferenzwerte  $x_{i,RV}$  werden für jeden Geschwindigkeitswert einzeln bestimmt, die Berechnung der einzelnen Referenzwerte erfolgt nach der Methode A von Cox [1].

Die Referenzwerte  $x_{i,RV}$  werden als gewichtete Mittelwerte wie folgt bestimmt:

$$x_{i,RV} = \frac{\frac{x_1}{u_{x1}^2} + \frac{x_2}{u_{x2}^2} + \dots + \frac{x_n}{u_{xn}^2}}{\frac{1}{u_{x1}^2} + \frac{1}{u_{x2}^2} + \dots + \frac{1}{u_{xn}^2}},$$

mit  $x_1, x_2, \dots, x_n$  Messergebnisse der Kalibrierlaboratorien 1, 2, ..., n  
 $u_{x1}, u_{x2}, \dots, u_{xn}$  Standardmessunsicherheiten der Laboratorien 1, 2, ..., n  
 (nicht erweiterte Messunsicherheiten  $k = 2$ )

Die Standardmessunsicherheiten der Referenzwerte  $u_{xi,RV}$  sind gegeben durch:

$$\frac{1}{u_{xi,RV}^2} = \frac{1}{u_1^2} + \frac{1}{u_2^2} + \dots + \frac{1}{u_n^2}.$$

und deren erweiterte Messunsicherheit des Referenzwerts  $U(x_{i,RV})$  durch:

$$U(x_{i,RV}) = 2u_{xi,RV}.$$

Zur Überprüfung der Kompatibilität der Messergebnisse wird für jeden Geschwindigkeitswert ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Zunächst wird die Prüfgröße  $\chi_{obs}^2$  berechnet:

$$\chi_{obs}^2 = \frac{(x_1 - x_{i,RV})^2}{u_{x1}^2} + \frac{(x_2 - x_{i,RV})^2}{u_{x2}^2} + \dots + \frac{(x_n - x_{i,RV})^2}{u_{xn}^2}$$


Der Freiheitsgrad ist durch  $n - 1$  mit  $n$  als Anzahl der berücksichtigten Laboratorien gegeben. Der Chi-Quadrat-Test gilt als nicht bestanden falls:

$$Pr\{\chi_n^2 > \chi_{obs}^2\} < 0,05.$$

(Genutzt wird die Funktion  $CHIINV(0,05;n)$  in MS Excel; der Test ist nicht bestanden falls  $CHIINV(0,05;n) < \chi_{obs}^2$ )

Ist die Kompatibilität gegeben so kann der Wert  $x_{i,RV}$  als Ringvergleichsreferenzwert und  $U(x_{i,RV})$  als erweiterte Unsicherheit zum Ringvergleichsreferenzwert gewertet werden.

Bei Nichterfüllung des Testkriteriums ist das Messergebnis des Laboratoriums mit dem höchsten Wert von

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	11 / 15

$$\frac{(x_i - x_{i,RV})^2}{u_{x_i}^2}$$

auszuschließen, erneut ein Referenzwert mit neuer Standardmessunsicherheit zu bestimmen und der Chi-Quadrat-Test durchzuführen. Diese Prozedur wird so oft wiederholt bis das Testkriterium erfüllt ist (siehe hierzu die Tabellen 6 und 8 zum Chi-Quadrat-Test).

Ist der Chi-Quadrat-Test erfüllt, wird für jedes Messergebnis  $x_i$  die Abweichung  $d_i$  zwischen jedem Laboratorium und dem Ringvergleichsreferenzwert  $x_{i,RV}$ :

$$d_i = x_i - x_{i,RV}$$

sowie

$$U(d_i) = 2 \cdot \sqrt{u_{x_i}^2 - u_{x_{i,RV}}^2}$$

berechnet. Eine Nichtvergleichbarkeit zum Ringvergleichsreferenzwert liegt vor falls

$$U(d_i) < |d_i|.$$

Obige Angabe ist gleichbedeutend mit dem gebräuchlichen  $E_n$ -Kriterium

$$E_i = \frac{d_i}{U(d_i)}$$

mit  $|E_i| \leq 1$  im Falle der Vergleichbarkeit und  $|E_i| > 1$  andernfalls.

## 8.2 Ringvergleichs-Referenzwerte

### 8.2.1 Prandtl'sches Staurohr

Die Tabelle 3 zeigt das Ergebnis des Chi-Quadrat-Tests nach 7.1 mit den Messergebnissen zum Prandtl'schen Staurohr nach Tabelle 2.

	Teiln. 1	Teiln. 2	Teiln. 3	Teiln. 4	Teiln. 5	Teiln. 6	Teiln. 7	Teiln. 8	Teiln. 9	Teiln. 10	Teiln. 11	Sum			
v/(m/s)	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	chi sqr	n	CHIINV(0,05;n-1)	
2	0,022	0,002	1,516	0,060	0,002	0,029	0,001	0,120		0,000	0,031	1,783	9	15,507	⊙
5	0,979	0,240	0,290	0,009	0,025	0,011	0,106	0,001	0,005	0,123	0,301	2,088	11	18,307	⊙
10	0,853	0,007	0,041	0,056	0,260	0,002	0,110	0,006	0,838	0,319	0,202	2,693	11	18,307	⊙
15	0,011	0,007	0,061	0,016	0,098		0,202	0,017	2,882	0,354	0,050	3,698	10	16,919	⊙
20	0,810	0,553	0,030	0,016	0,368	0,006	0,285	0,031			0,176	2,274	9	15,507	⊙
35	0,895	0,761	0,016		1,024	0,133	0,056	0,616			0,071	3,573	8	14,067	⊙
50	1,602		0,022				0,089	0,106				1,820	4	7,815	⊙

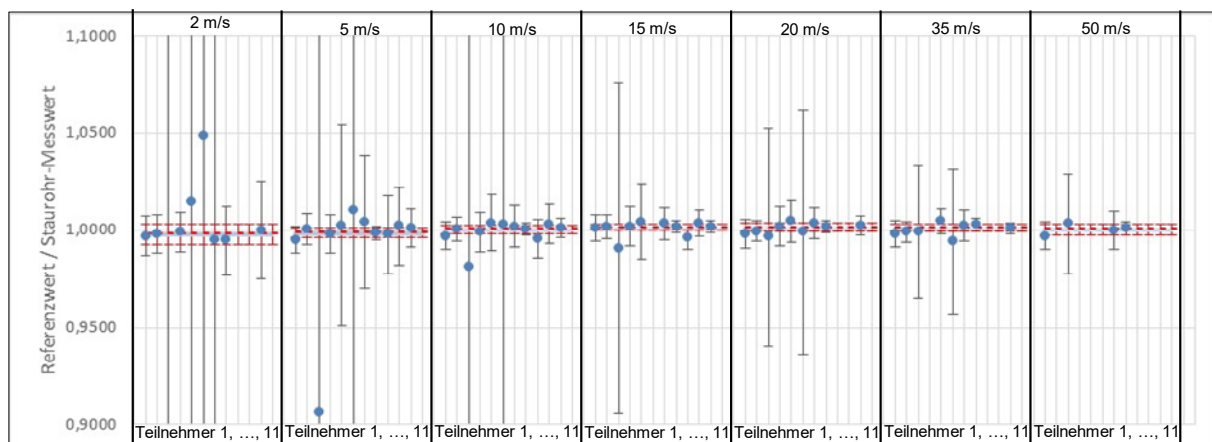
**Tabelle 3:** Chi-Quadrat-Test zum Prandtl'schen-Staurohr-Ringvergleichs-Messergebnis. Die Kompatibilität der Messergebnisse war ohne Ausschluss von Messdaten gegeben, um jeweils einen konsistenten Datensatz zu erhalten.

Mit den für die einzelnen Geschwindigkeitswerte erhaltenen konsistenten Datensätzen ergeben sich die in der Tabelle 4 zusammen mit den Messergebnissen der Teilnehmer aufgeführten Ringvergleichs-Referenzwerte (**RV**) mit zugeordneten Messunsicherheiten.

Teilnehmer	$x_i$ (2 m/s)	$x_i$ (5 m/s)	$x_i$ (10 m/s)	$x_i$ (15 m/s)	$x_i$ (20 m/s)	$x_i$ (35 m/s)	$x_i$ (50 m/s)
1	0,9970	0,9950	0,9970	1,0010	0,9980	0,9980	0,9970
2	0,9980	1,0004	1,0004	1,0016	0,9995	0,9991	
3	0,6049	0,9063	0,9816	0,9908	0,9965	0,9991	1,0034
4	0,9990	0,9980	0,9990	1,0020	1,0020		
5	1,0149	1,0026	1,0038	1,0044	1,0046	1,0045	
6	1,0484	1,0101	1,0029		0,9989	0,9946	
7	0,9950	1,0040	1,0020	1,0033	1,0035	1,0023	1,0000
8	0,9947	0,9985	1,0003	1,0016	1,0016	1,0027	1,0009
9		0,9978	0,9956	0,9961			
10		1,0020	1,0031	1,0034			
11	1,0000	1,0012	1,0013	1,0017	1,0024	1,0009	
12	0,9978	0,9985	1,0002	1,0014	1,0014	1,0013	1,0002

Teilnehmer	$U$ (2 m/s)	$U$ (5 m/s)	$U$ (10 m/s)	$U$ (15 m/s)	$U$ (20 m/s)	$U$ (35 m/s)	$U$ (50 m/s)
1	0,0104	0,0070	0,0069	0,0069	0,0075	0,0070	0,0071
2	0,0099	0,0080	0,0059	0,0060	0,0050	0,0051	
3	0,6383	0,3423	0,1843	0,0852	0,0558	0,0340	0,0257
4	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100		
5	0,6886	0,0519	0,0144	0,0194	0,0107	0,0063	
6	0,5926	0,2256	0,1103		0,0630	0,0371	
7	0,1931	0,0339	0,0109	0,0086	0,0080	0,0079	0,0099
8	0,0177	0,0034	0,0031	0,0033	0,0032	0,0036	0,0035
9		0,0201	0,0100	0,0063			
10		0,0203	0,0102	0,0068			
11	0,0251	0,0100	0,0050	0,0034	0,0050	0,0029	
12	0,0054	0,0026	0,0021	0,0018	0,0021	0,0018	0,0030

**Tabelle 4:** Staurohr-Messergebnisse und resultierende Ringvergleichs-Referenzwerte einschließlich erweiterter Messunsicherheiten



**Diagramm 2:** Staurohrfaktor  $K = (\text{Referenzwert}_{\text{Lab},i} / \text{Messwert}_{\text{Staurohr, Lab},i})$  für die jeweiligen Geschwindigkeitswerte der einzelnen Teilnehmer 1, ..., 11 mit jeweils rot eingezeichnetem Ringvergleichswert einschließlich erweiterter Messunsicherheit

## 8.3 Vergleichbarkeiten mit den Ringvergleichs-Referenzwerten

### 8.3.1 Prandtl'sches Staurohr

Vergleichbarkeit der Messergebnisse der Ringvergleichsteilnehmer mit dem Ringvergleichs-Referenzwert, rot markiert sind **Nichtvergleichbarkeiten, falls  $|E_n| > 1$** .

Teilnehmer	$E_n$ (2 m/s)	$E_n$ (5 m/s)	$E_n$ (10 m/s)	$E_n$ (15 m/s)	$E_n$ (20 m/s)	$E_n$ (35 m/s)	$E_n$ (50 m/s)
1	0,09	0,53	0,48	0,06	0,47	0,49	0,49
2	0,02	0,26	0,04	0,04	0,41	0,47	
3	0,62	0,27	0,10	0,12	0,09	0,06	0,13
4	0,15	0,05	0,12	0,06	0,07		
5	0,02	0,08	0,26	0,16	0,31	0,53	
6	0,09	0,05	0,02		0,04	0,18	
7	0,01	0,16	0,17	0,23	0,28	0,12	0,02
8	0,18	0,02	0,05	0,08	0,11	0,46	0,40
9		0,03	0,47	0,89			
10		0,18	0,29	0,31			
11	0,09	0,28	0,25	0,13	0,23	0,17	


**Tabelle 5:** Vergleichbarkeit der Messergebnisse der Teilnehmer (T1, ..., T11) mit den für die jeweiligen Geschwindigkeitswerte bestimmten Ringvergleichs-Referenzwerten für das Prandtl'sche Staurohr, rot unterlegt sind die Werte mit  $|E_n| > 1$

## 9 Bewertung des Ringvergleichs

Der Ringvergleich wurde von den Mitgliedern des Fachausschusses Strömungsmessgrößen für die Messgröße Strömungsgeschwindigkeit in der beschriebenen Weise geplant und durchgeführt. Als TransfERNormal wurden ein von der Firma Testo bereitgestelltes Prandtl'sches Staurohr gewählt, wobei anders als beim vorangegangenen DKD-Ringvergleich das Staurohr ohne Sensor- und Auswerteeinheit versandt wurde, um bei dieser Ringvergleichsmessung die von den jeweiligen Teilnehmern eingesetzte Sensor- und Auswertetechnik einzubeziehen.

Das Gesamtergebnis zeigt eine sehr gute Übereinstimmung aller Vergleichsmessungen, was aufgrund der geringeren Rückwirkungen des Prandtl'schen Staurohrs in den einzelnen Windkanalmesseinrichtungen zu erwarten ist sofern von den einzelnen Teilnehmern die Messunsicherheiten für die jeweils unterschiedliche Sensorik zur Differenzdruck- und Dichtemessung angemessen berücksichtigt wird.

Insgesamt ist festzustellen, dass für alle Teilnehmer mit den jeweils abgedeckten Geschwindigkeitswerten die Vergleichbarkeit aller Messergebnisse mit dem Ringvergleichsreferenzwerten gegeben ist.

	DKD-Ringvergleich: Strömungsgeschwindigkeit, Staurohr ohne Messequipment, Kalibrierpunkte 1 m/s bis 50 m/s <a href="https://doi.org/10.7795/550.20200211">https://doi.org/10.7795/550.20200211</a>	DKD-V 11-2	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	14 / 15

## 10 Ausblick auf zukünftige Ringvergleichsmessungen

- Flügelrad-Anemometer, um die Laboratorien mit einem anders geformten Kalibriergegenstand bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten zu vergleichen,
- Thermisches Anemometer, um die Laboratorien bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten zu vergleichen,
- Anschaffung/Bereitstellung eines DKD-LDAs für Ringvergleiche aller Laboratorien im vollen Geschwindigkeitsbereich 0,1 m/s ... 70 m/s,
- Verwendung weitere Strömungsmessgeräte mit anderen/größeren Geometrien,
- Aufnahme weiterer (internationaler) Partner in einer neuen Runde mit zusätzlichen Messungen.

## 11 Literaturverzeichnis

- [1] The evaluation of key comparison data, M G Cox 2002 Metrologia 39 589-595
- [2] Vergleichsbericht DKD-V 11-1, Nationaler DKD-Ringvergleich für Strömungsgeschwindigkeit Transfornormal: Prandtl-Rohr mit Auswerteeinheit Kalibrierbereich: 5 m/s bis 50 m/s, Ausgabe 05/2019, DOI: 10.7795/550.20190424



Herausgeber:

**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**  
Deutscher Kalibrierdienst  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

[www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)