Physikalisch-Technische Bundesanstalt

DKD

Vergleichsbericht DKD-V 4-4

Nationaler DKD-Ringvergleich an einer Kugelplatte 620 mm x 620 mm

Ausgabe 08/2021

https://doi.org/10.7795/550.20210820

CC BY NC ND

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: (05 31) 5 92-8021
Internet: www.dkd.eu

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:
Vergleichsbericht DKD-V 4-4 Nationaler Ringvergleich an einer Kugelplatte, Ausgabe 08/2021, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20210820

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:
Dr. Karin Kniel, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig;
Dipl.-Ing. Jürgen Hirsch, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig;
Dr. Markus Bartscher, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

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

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.

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeine Information zum Ringvergleich 6
2 Teilnehmer und Termine 6
3 Vergleichsnormal 7
4 Messgrößen 8
5 Messunsicherheiten und Kalibrierverfahren der Teilnehmer 9
6 Vergleichsgrößen 10
6.1 Berechnung der Längen 10
6.2 Berechnung der Referenzlängen 10
6.3 Berechnung der Differenzlängen 10
6.4 Leistungsbewertung über die normierte Abweichung E_n 11
7 Kalibrierergebnisse, Ergebnistabelle aller Teilnehmer 12
8 Vergleichsergebnis Diagramme 13
8.1 Differenzen aller Teilnehmer zu den Referenzlängen 13
8.2 Differenzen zu den Referenzlängen für jeden Teilnehmer separat 14
8.3 Normierte Abweichungen E_n aller Teilnehmer 17
8.4 Normierte Abweichungen E_n für jeden Teilnehmer separat 18
9 Bewertung und Fazit 21
9.1 Allgemein 21
9.2 Stabilität des Vergleichsnormals 21
9.3 Auswertung der Längen 21
9.4 Ergebnisbewertung 21
Literaturverzeichnis 22
Anhang A 23

1 Allgemeine Information zum Ringvergleich

Auf der Sitzung des DKD-Fachausschusses *Länge* im Juni 2018 hat der Vorsitzende des Fachausschusses Herr Dipl.-Phys. Roger Ernst einen Ringvergleich für Kugelplatten angeregt. Der Fachbereich Koordinatenmesstechnik der PTB hat die Koordination des Vergleichs übernommen. Das Vergleichsnormal, eine Kugelplatte, wurde von der PTB bereitgestellt.

2 Teilnehmer und Termine

Die Vergleichsmessungen wurden in sequentieller Teilnahme bei der PTB und den akkreditierten Konformitätsbewertungsstellen (KBS) in folgender Reihenfolge durchgeführt.

Nr.	Kalibriertermin	Teilnehmer	Kalibrierstellenleiter bzw. Ansprechpartner
1	26.04.2019	PTB, FB Koordinatenmesstechnik	Herr Jürgen Hirsch
2	21.06.2019	eumetron GmbH D-K-15151-01-00	Herr Theo Hageney
3	18.07.2019	Robert Bosch GmbH D-K-12104-01-00 [a]	Herr Roger Ernst
4	13.08.2019	Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH D-K-15007-01-00 [b]	Herr Rene Friedel
5	13.09.2019	Hexagon Metrology GmbH, Hexagon Calibration Services D-K-15133-02-00	Herr Carsten Schwehn
1	29.11.2019	PTB, FB Koordinaten-messtechnik (nur Überprüfung, nicht relevant für den Vergleich)	Herr Jürgen Hirsch

Tabelle 1: Teilnehmer und Zeitplan

Im Folgenden werden die Teilnehmer wie folgt benannt: PTB, Bosch, Eumetron, Hexagon, Zeiss.

In den anonymisierten Darstellungen werden die Teilnehmer mit Labor oder KBS A bis E benannt. Die Benennung A bis E ist unabhängig von der oben aufgeführten Reihenfolge.

[a] D-K-12104-01-00 ist seit dem 20.01.2020 nicht mehr für die Plattenkalibrierung akkreditiert.
[b] D-K-15007-01-00 ist seit dem 26.08.2020 nicht mehr für die Plattenkalibrierung akkreditiert.

3 Vergleichsnormal

Kugelplatte KOBA check 25
mit Aufstellvorrichtung

Ident.-Nr. 20171120

Abbildung 1: Kugelplatte

Anzahl der Kugeln	25	
Abmessungen	620 mm x 620 mm x 24 mm	
Max. Kugelabstand	532 mm	
Nominalwert Kugelraster	133 mm	
Gewicht	28 kg	
	Kugeln	**Plattenkörper**
Kugeldurchmesser	22 mm	-
Sphärizität	< 0,3 µm	-
Material	Al_2O_3	Lehrenstahl, durch Oberflächenbehandlung korrosionsgeschützt
Härte	> 1650 HV	-
Temperaturausdehnungskoeffizient	$\alpha = 5{,}5 \times 10^{-6}\ K^{-1}$	$\alpha = 11{,}5 \times 10^{-6}\ K^{-1}$

Tabelle 2: Herstellerangaben

Abbildung 2:
Kugelplatte mit Thermoverkleidung

Abbildung 3: Transportbehälter
Abmessungen (L x B x H) in mm:
900 mm x 380 mm x 880 mm

4 Messgrößen

Die Koordinaten der 25 nummerierten Kugelmittelpunkte waren zu ermitteln und im Plattenkoordinatensystem im Kalibrierschein tabellarisch darzustellen (Abbildung 4).

Das Werkstückkoordinatensystem wurde gebildet mit dem Koordinatenursprung in der Kugelmitte auf Position 1. Die X-Achse verläuft durch die Kugelmitten von Pos. 1 nach Pos. 5. Die Z-Achse basiert auf dem Normalvektor der Plattenebene, gebildet durch die Kugelmitten der Positionen 1, 5, 21.

Anordnung und Nummerierung der Kugeln

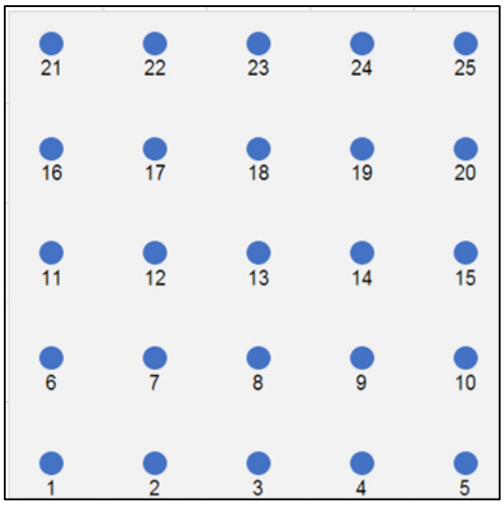

Abbildung 4: Nummerierung der Kugeln

Nominalkoordinaten der Kugelmittelpunkte

Pos.	X	Y	Z
1	**0**	**0**	**0**
2	133	0	0
3	266	0	0
4	399	0	0
5	**532**	**0**	**0**
6	0	133	0
7	133	133	0
8	266	133	0
9	399	133	0
10	532	133	0
11	0	266	0
12	133	266	0
13	266	266	0
14	399	266	0
15	532	266	0
16	0	399	0
17	133	399	0
18	266	399	0
19	399	399	0
20	532	399	0
21	**0**	**532**	**0**
22	133	532	0
23	266	532	0
24	399	532	0
25	532	532	0

Tabelle 3: Soll-Koordinaten der Kugelmittelpunkte in mm

Die Messgrößen sind im Abschnitt „Kalibrierergebnisse der Teilnehmer“ aufgeführt.

5 Messunsicherheiten und Kalibrierverfahren der Teilnehmer

Die Teilnehmer verwendeten ihr akkreditiertes Kalibrierverfahren, u. a. Mehrlagen- und Triangulationsverfahren mit Maßanschluss durch Substitution.
Zum Teil sind die Teilnehmer für mehrere Kalibriermöglichkeiten akkreditiert und bieten die Plattenkalibrierung mit unterschiedlichen Messunsicherheiten an. Details dazu sind im Verzeichnis der akkreditierten Stellen auf den Internetseiten der DAkkS einzusehen. Die folgend aufgeführten Messunsicherheiten und Kalibrierverfahren sind den Ergebnisberichten der Teilnehmer entnommen.

Teilnehmer	**Messunsicherheit für Stahlplatten**	**Verfahren / Maßanschluss**	**Max. Länge L in mm**
PTB	$0{,}2\ \mu m + 0{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot L$	Umschlagsverfahren / Laser-interferometer	960
Bosch	$0{,}33\ \mu m + 0{,}94 \cdot 10^{-6} \cdot L$	Umschlagsverfahren / Kugel-leiste	550
Eumetron	$0{,}12\ \mu m + 0{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot L$	Multilateration (Antastung von einer Plattenseite) / Stufenen-dmaß	1150
Hexagon	$0{,}13\ \mu m + 0{,}72 \cdot 10^{-6} \cdot L$	Umschlagsverfahren / VCMM	700
Zeiss	$0{,}65\ \mu m + 1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot L$	Umschlagsverfahren / Kugel-leiste	800

Tabelle 4: Messunsicherheiten und Kalibrierverfahren

Angegeben ist jeweils die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ergibt. Sie wurde gemäß dem Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Überdeckungsintervall.

Hinweis:
Bei 4 der 5 Teilnehmer bezieht sich die angegebene Messunsicherheit auf jede Länge, die sich zwischen zwei beliebigen Kugelmittelpunkten ergibt. Für die Auswertung dieses Ringvergleiches werden bei diesen 4 Teilnehmern demzufolge 300 Längen berücksichtigt. Nur bei einem der Teilnehmer wird die Messunsicherheit ausschließlich für die Längen zwischen dem Kugelmittelpunkt der Kugel 1 und den verbleibenden 24 Kugelmitten angegeben, so dass folglich für diesen Teilnehmer nur diese 24 Längen in den Vergleich einbezogen wurden.

6 Vergleichsgrößen

6.1 Berechnung der Längen

Für den Vergleich wurden für jeden Teilnehmer die 300 möglichen Längen der Kugelmittenabstände aus den Koordinaten der Ergebnistabellen berechnet. Hierbei wurden die Kugelmittenabstände als 2D- und 3D-Längen, d. h. ohne und mit Berücksichtigung der Z-Koordinate berechnet. Die maximalen Unterschiede zwischen 2D- und 3D-Längen betragen 0,04 µm. Angesichts der angegebenen Messunsicherheiten kann auf eine nähere Untersuchung verzichtet werden. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf 2D-Abstände nach Gleichung (1).

$$l_{Lab\ i} = \sqrt{(x_{ai} - x_{bi})^2 + (y_{ai} - y_{bi})^2} \tag{1}$$

l_{Lab} : Länge eines Teilnehmers zwischen zwei Kugelmitten
i : Zähler für den Teilnehmer [i = 1 bis 5]
$x_{a,}\ y_a$: X-, Y-Koordinate aus der Ergebnistabelle an Position a [a = 2 bis 25]
$x_{b,}\ y_b$: X-, Y-Koordinate aus der Ergebnistabelle an Position b [b = 1 bis 24]

6.2 Berechnung der Referenzlängen

Da alle Teilnehmer über äquivalente messtechnische Möglichkeiten verfügten, wurden die Referenzlängen als gewichtete Mittelwerte aller Teilnehmer mit den dazugehörigen Messunsicherheiten nach den Gleichungen (2) und (3) berechnet.

$$l_{Ref\ j} = \sum_{i=1}^{N} \frac{l_{Lab\ ij}}{U_{Lab\ ij}^2} \cdot {U_{Ref\ j}}^2 \tag{2}$$

$$U_{Ref\ j} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{U_{Lab\ ij}^2}}} \tag{3}$$

l_{Ref} : Referenzlänge
U_{Ref} : Erweiterte Messunsicherheit der Referenzlänge (k = 2)
U_{Lab} : Erweiterte Messunsicherheit (k = 2) der Länge des Teilnehmers (siehe Tabelle 4)
N : Anzahl der Teilnehmer (N = 5)
j : Zähler für den Abstand / Länge [j = 1 bis 300]

6.3 Berechnung der Differenzlängen

Die Vergleichsgrößen sind die Längendifferenzen, also die gemessenen und ausgewerteten Längen der einzelnen Teilnehmer in Differenz zu den Referenzlängen. Ihre Berechnung erfolgte nach Gleichung (4).

$$l_{D\,ij} = l_{Lab\,ij} - l_{Ref\,j} \qquad (4)$$

l_D : Längendifferenzen der Teilnehmer zu den Referenzlängen

Die Längenabweichungen sind in den Diagrammen 1 bis 6 dargestellt.

6.4 Leistungsbewertung über die normierte Abweichung E_n

Die folgende Vorgehensweise zur Auswertung einer Vergleichsmessung basiert auf internationalen Vereinbarungen und ist in [1] zusammengefasst.
Für den Vergleich aller Messergebnisse einer Messgröße wurde für jeden Teilnehmer die Übereinstimmung seines Messwertes l_{Lab} mit dem Referenzwert l_{Ref} unter Berücksichtigung der entsprechenden erweiterten Messunsicherheiten U_{Lab} bzw. U_{Ref} durch Berechnung der normierten Abweichung E_n ermittelt.
Der Absolutbetrag von E_n muss kleiner als 1 sein, um das Qualitätskriterium der Übereinstimmung eines Messergebnisses mit dem Referenzergebnis unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten zu erfüllen.
Es gilt für den Fall, dass l_{Lab} und l_{Ref} korreliert sind (Referenzwert durch Mittelwertbildung):

$$\left|E_{n\,ij}\right| = \left| \frac{\left|l_{Lab\,ij} - l_{Ref\,j}\right|}{\sqrt{U^2_{Lab\,ij} - U^2_{Ref\,j}}} \right| \qquad (5)$$

Bei $\left|E_n\right| \geq 1$ stimmen die Messergebnisse und die Referenzergebnisse nicht überein.

Um die größte Untergruppe von Teilnehmern mit konsistenten Ergebnissen zu finden, muss ein Eliminierungsprozess durchgeführt werden. Das Ziel ist es, einen Referenzwert bereitzustellen, der nicht durch Ausreißer beeinflusst ist. Ob ein Ergebnis eines Teilnehmers als Ausreißer identifiziert werden muss oder nicht, entscheidet ein E_n-Ausreißerfilter. Das Verfahren beginnt mit der Berechnung des Referenzwertes (Gleichungen (2) und (3)) und der korrelierten E_n-Werte aller Teilnehmer nach Gleichung (5). Wenn der absolute E_n-Wert eines oder mehrerer Teilnehmer größer als 1 ist, wird der Teilnehmer mit dem absolut größten E_n-Wert als Ausreißer identifiziert. Sein Ergebnis wird aus den Eingangswerten zur Referenzwert-Berechnung entfernt. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis die absoluten E_n-Werte aller verbleibenden Teilnehmer kleiner oder gleich 1 sind. Wichtig ist zu beachten, dass die Berechnung des E_n-Wertes sich für die Teilnehmer, dessen Ergebnisse als Ausreißer identifiziert wurden, ändert. Da ihr Ergebnis nun nicht mehr zur Referenzwertbildung beiträgt, besteht ein unkorreliertes Verhältnis. Die E_n-Werte müssen dann nach Gleichung (6) berechnet werden.

$$\left|E_{n\,ij}\right| = \left| \frac{\left|l_{Lab\,ij} - l_{Ref\,j}\right|}{\sqrt{U^2_{Lab\,ij} + U^2_{Ref\,j}}} \right| \qquad (6)$$

Die E_n-Werte sind in den Diagrammen 7 bis 12 dargestellt.

7 Kalibrierergebnisse, Ergebnistabelle aller Teilnehmer (Werte in mm)

Nr.	Teilnehmer A			Teilnehmer B			Teilnehmer C			Teilnehmer D			Teilnehmer E		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000
2	133,00641	0,00324	0,03209	133,0063	0,0029	0,0232	133,00635	0,00285	0,02366	133,0065	0,0029	0,0231	133,00636	0,00280	0,02355
3	266,00910	0,00297	0,05460	266,0090	0,0028	0,0428	266,00900	0,00277	0,04330	266,0091	0,0028	0,0430	266,00892	0,00270	0,04320
4	399,01190	0,00730	0,03912	399,0119	0,0071	0,0303	399,01181	0,00703	0,03041	399,0120	0,0071	0,0303	399,01178	0,00693	0,03044
5	532,01844	0,00000	0,00000	532,0185	0,0000	0,0000	532,01845	0,00000	0,00000	532,0187	0,0000	0,0000	532,01835	0,00000	0,00000
6	-0,00020	132,99915	0,01984	-0,0001	132,9991	0,0227	-0,00022	132,99918	0,02253	-0,0001	132,9990	0,0222	-0,00016	132,99916	0,02282
7	133,00484	133,00011	0,03413	133,0048	133,0002	0,0274	133,00480	133,00019	0,02766	133,0050	133,0001	0,0267	133,00480	133,00022	0,02798
8	266,00999	132,99988	0,07486	266,0099	132,9998	0,0651	266,00985	132,99982	0,06562	266,0100	132,9997	0,0647	266,00984	132,99978	0,06575
9	399,01417	133,00370	0,05170	399,0141	133,0039	0,0448	399,01393	133,00396	0,04563	399,0142	133,0037	0,0446	399,01394	133,00400	0,04553
10	532,01603	132,99910	0,06075	532,0160	132,9992	0,0632	532,01582	132,99925	0,06446	532,0161	132,9992	0,0629	532,01581	132,99921	0,06400
11	-0,00170	265,99954	0,03921	-0,0018	265,9994	0,0436	-0,00184	265,99952	0,04344	-0,0017	265,9995	0,0432	-0,00185	265,99958	0,04368
12	133,00286	266,00101	0,06702	133,0027	266,0010	0,0613	133,00265	266,00098	0,06193	133,0029	266,0010	0,0612	133,00267	266,00112	0,06203
13	266,00851	266,00201	0,05278	266,0084	266,0020	0,0429	266,00824	266,00202	0,04428	266,0085	266,0020	0,0430	266,00828	266,00209	0,04393
14	399,01206	266,00697	0,07314	399,0119	266,0071	0,0675	399,01180	266,00713	0,06950	399,0120	266,0070	0,0677	399,01177	266,00722	0,06879
15	532,01661	266,00259	0,12960	532,0165	266,0026	0,1337	532,01633	266,00265	0,13638	532,0166	266,0026	0,1338	532,01632	266,00272	0,13530
16	-0,00204	398,99900	0,01102	-0,0022	398,9988	0,0143	-0,00221	398,99893	0,01392	-0,0020	398,9989	0,0139	-0,00214	398,99903	0,01425
17	133,00366	398,99968	0,04860	133,0035	398,9996	0,0404	133,00337	398,99963	0,04127	133,0036	398,9996	0,0403	133,00348	398,99976	0,04116
18	266,00800	399,00219	0,11523	266,0078	399,0022	0,1008	266,00762	399,00218	0,10267	266,0079	399,0021	0,1006	266,00776	399,00223	0,10209
19	399,01254	399,00555	0,08489	399,0124	399,0057	0,0761	399,01227	399,00576	0,07917	399,0124	399,0056	0,0764	399,01222	399,00581	0,07806
20	532,01793	399,00008	0,15692	532,0177	399,0002	0,1591	532,01753	399,00021	0,16307	532,0179	399,0002	0,1597	532,01753	399,00031	0,16158
21	-0,00340	532,00073	0,00000	-0,0036	532,0005	0,0000	-0,00355	532,00069	0,00000	-0,0035	532,0006	0,0000	-0,00352	532,00072	0,00000
22	133,00195	532,00267	0,08598	133,0016	532,0026	0,0739	133,00160	532,00275	0,07543	133,0018	532,0027	0,0744	133,00169	532,00289	0,07506
23	266,00675	532,00264	0,13854	266,0065	532,0028	0,1199	266,00637	532,00301	0,12263	266,0066	532,0029	0,1204	266,00643	532,00315	0,12185
24	399,00920	532,00654	0,14811	399,0090	532,0067	0,1355	399,00891	532,00678	0,13956	399,0091	532,0067	0,1364	399,00881	532,00691	0,13810
25	532,01767	532,00202	0,13087	532,0174	532,0022	0,1296	532,01714	532,00218	0,13477	532,0177	532,0021	0,1308	532,01726	532,00240	0,13279

8 Vergleichsergebnis Diagramme

8.1 Differenzen aller Teilnehmer zu den Referenzlängen

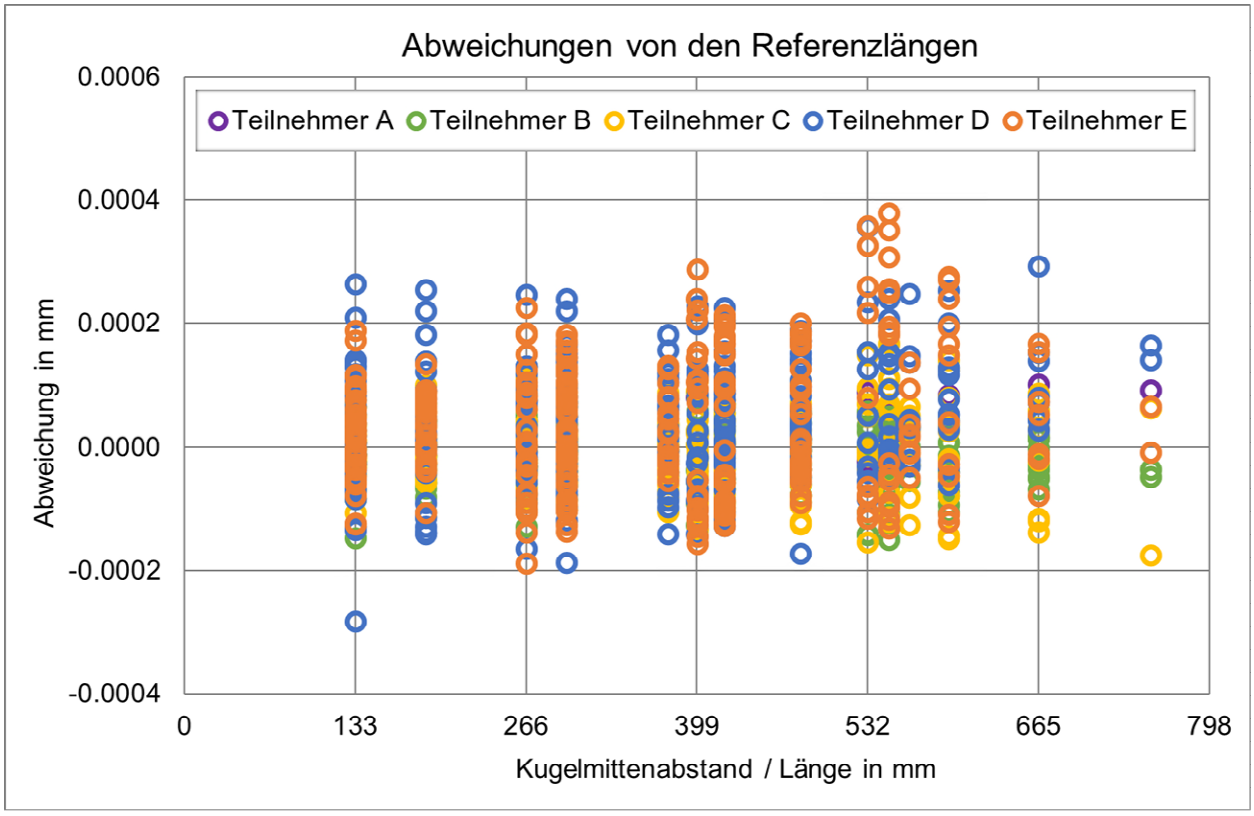

Diagramm 1: Längenabweichungen zu den Referenzlängen für alle Teilnehmer

8.2 Differenzen zu den Referenzlängen für jeden Teilnehmer separat

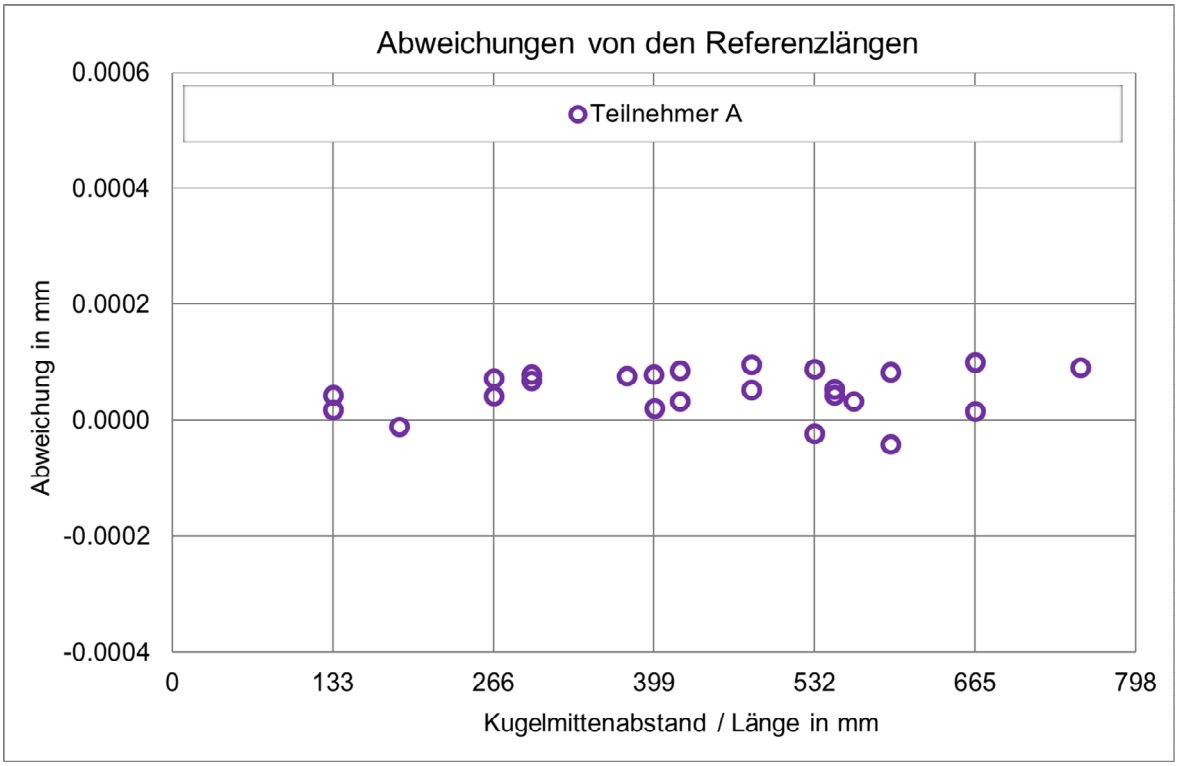

Diagramm 2: Längenabweichungen zu den Referenzlängen für Teilnehmer A

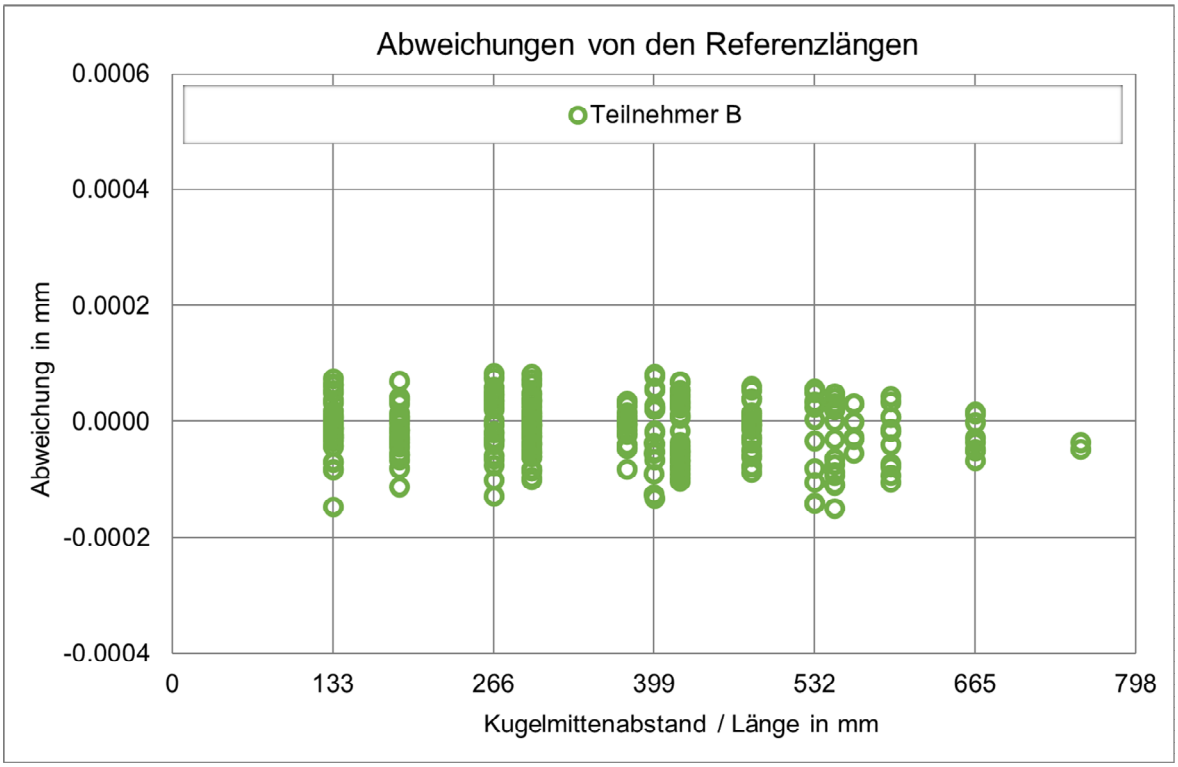

Diagramm 3: Längenabweichungen zu den Referenzlängen für Teilnehmer B

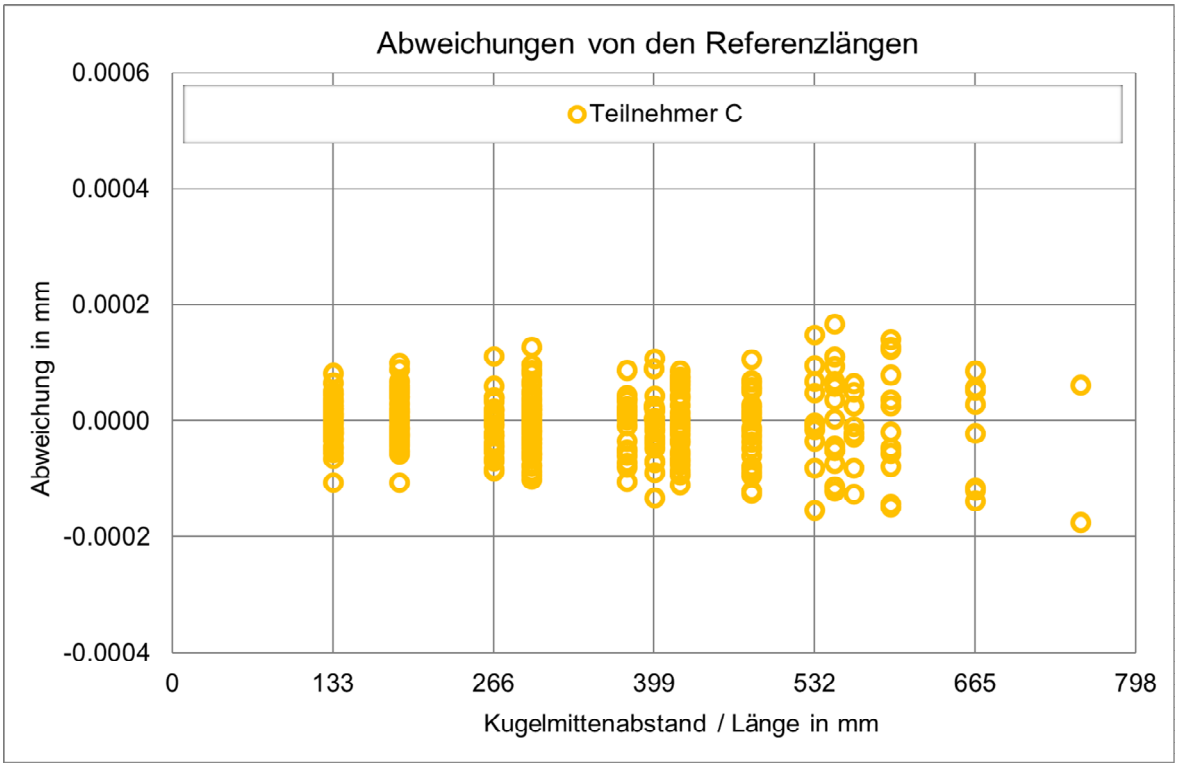

Diagramm 4: Längenabweichungen zu den Referenzlängen für Teilnehmer C

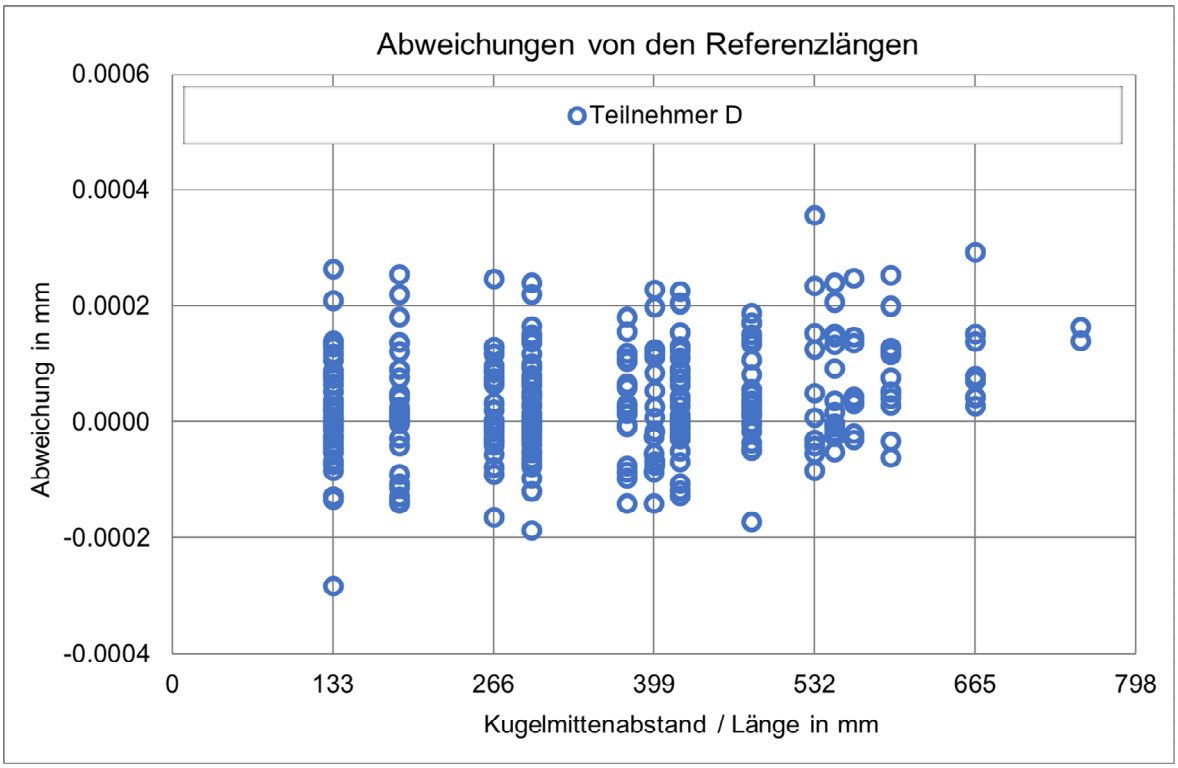

Diagramm 5: Längenabweichungen zu den Referenzlängen für Teilnehmer D

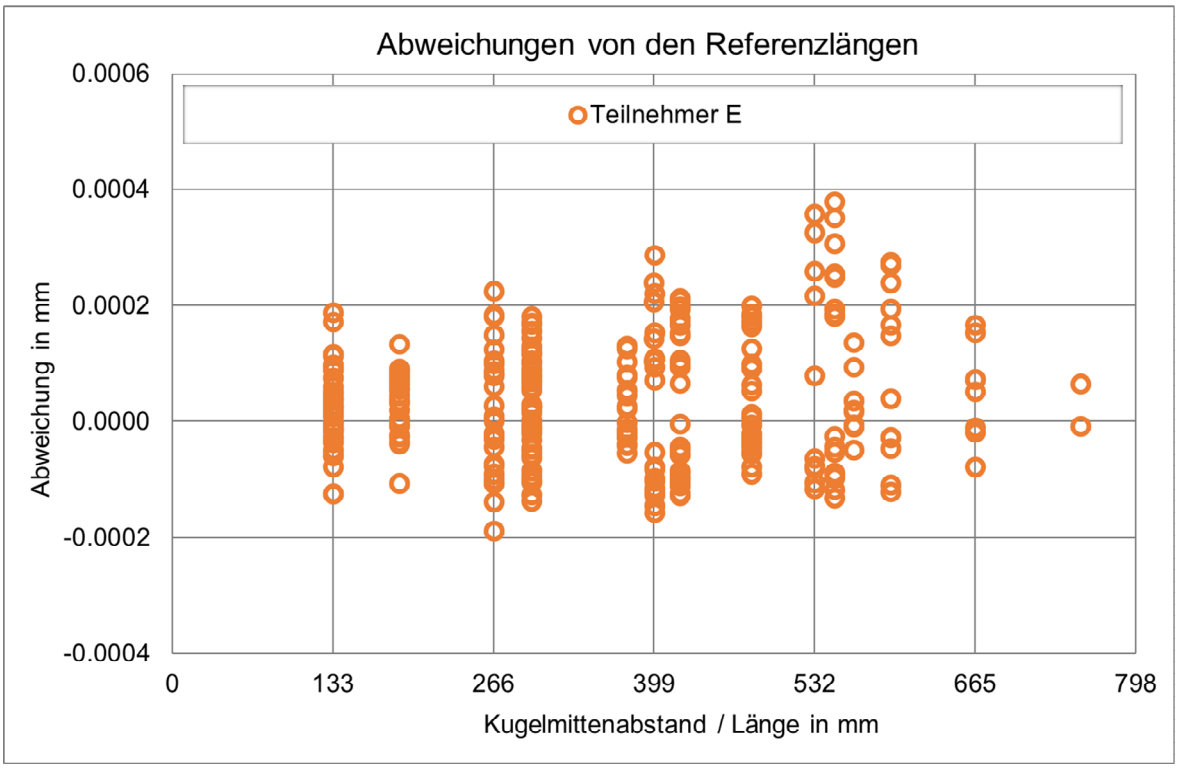

Diagramm 6: Längenabweichungen zu den Referenzlängen für Teilnehmer E

8.3 Normierte Abweichungen E_n aller Teilnehmer

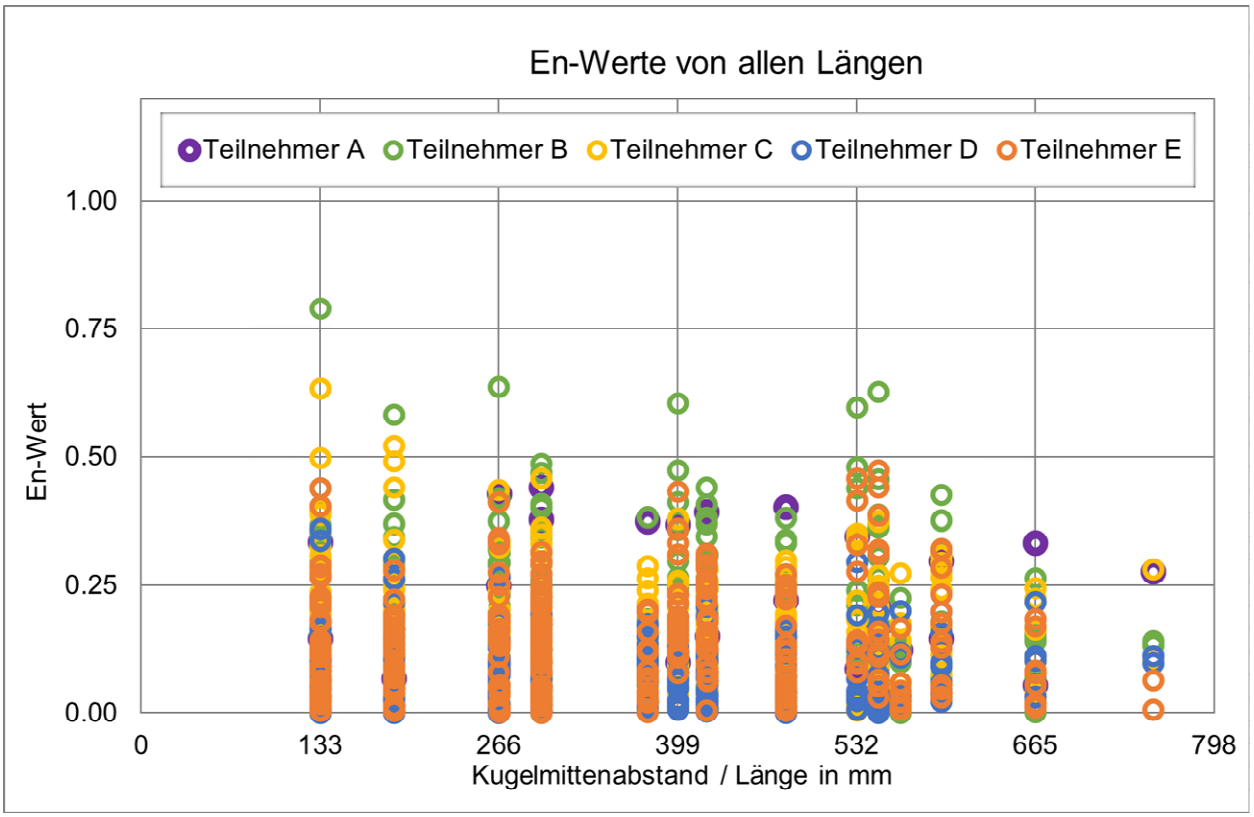

Diagramm 7: E_n-Werte aller Teilnehmer

8.4 Normierte Abweichungen E_n für jeden Teilnehmer separat

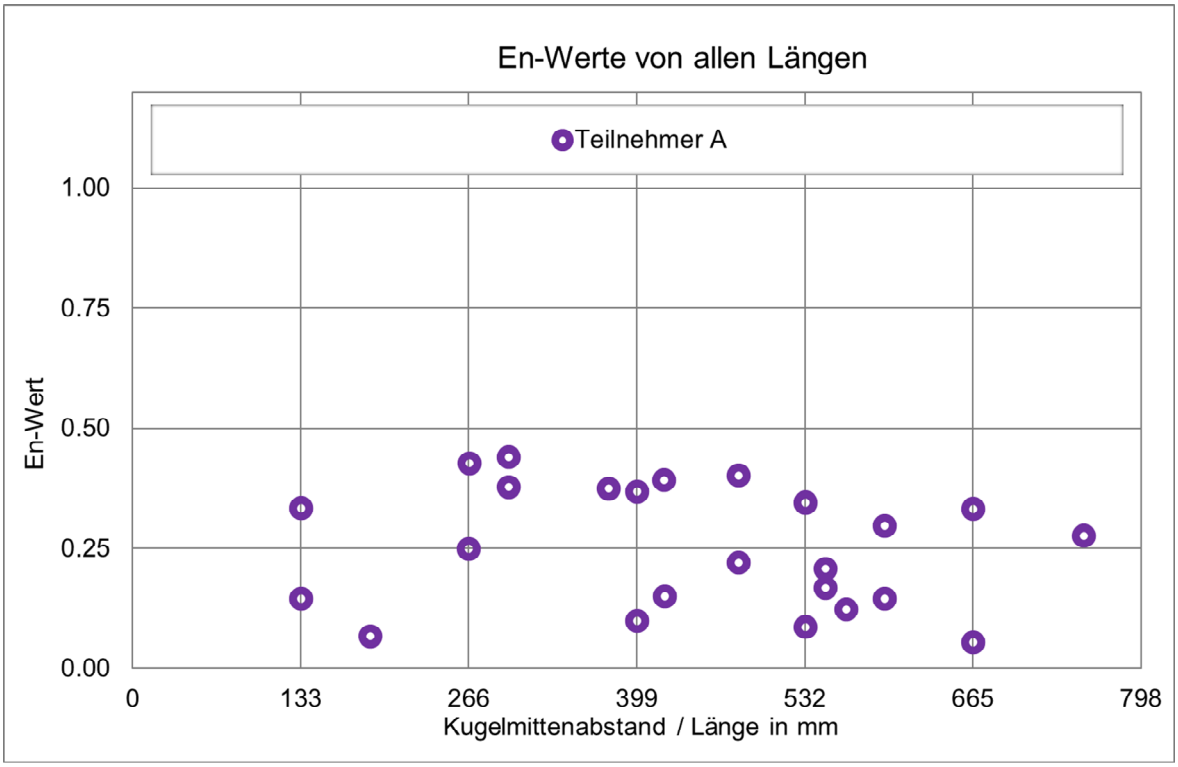

Diagramm 8: E_n-Werte für Teilnehmer A

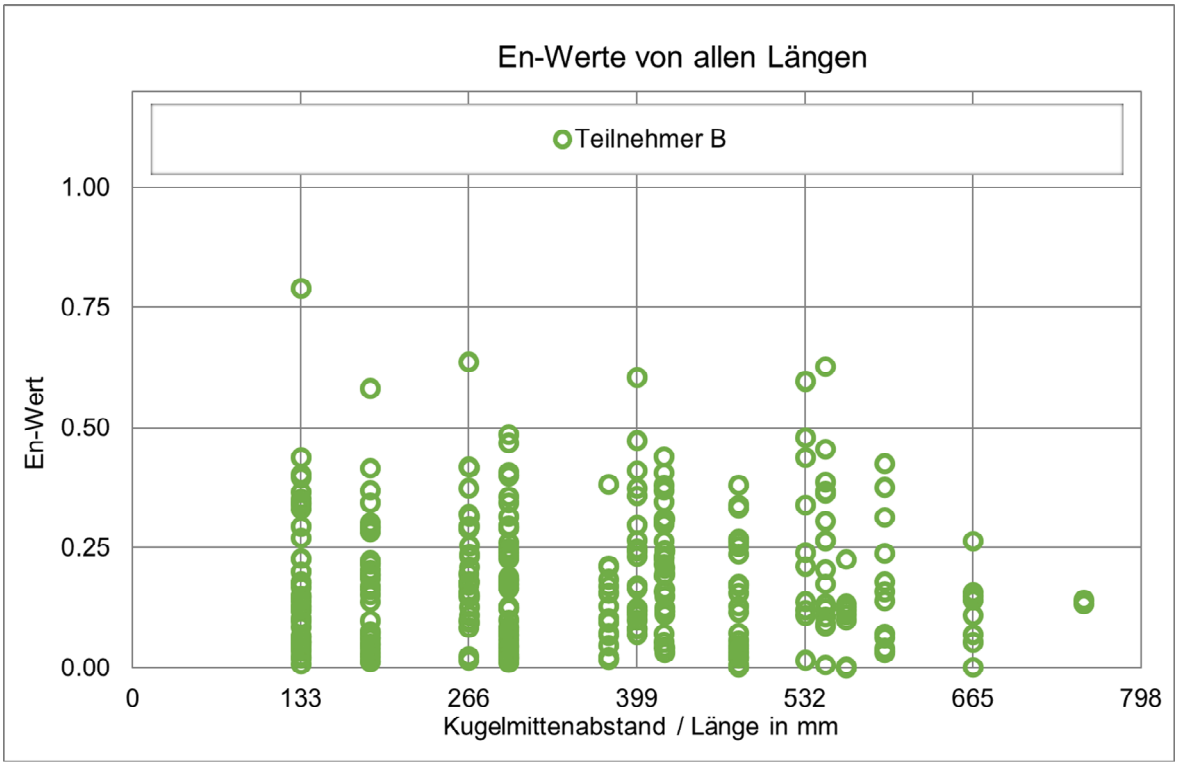

Diagramm 9: E_n-Werte für Teilnehmer B

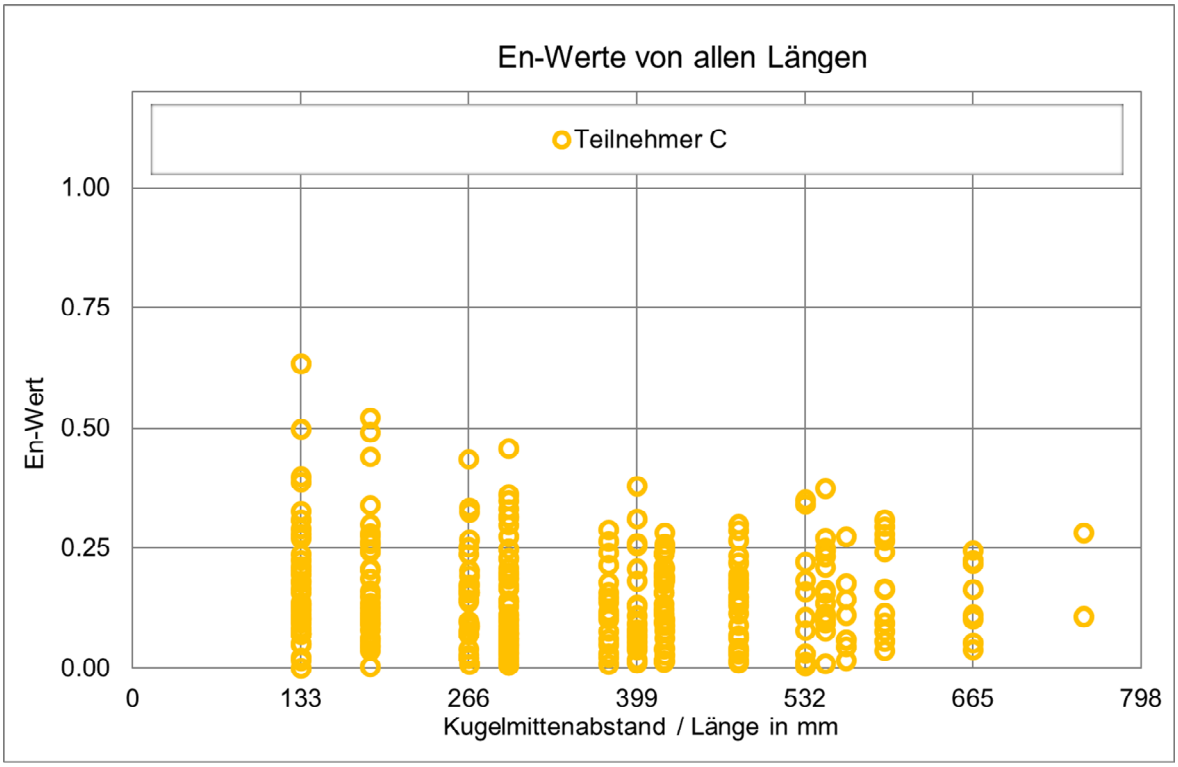

Diagramm 10: E_n-Werte für Teilnehmer C

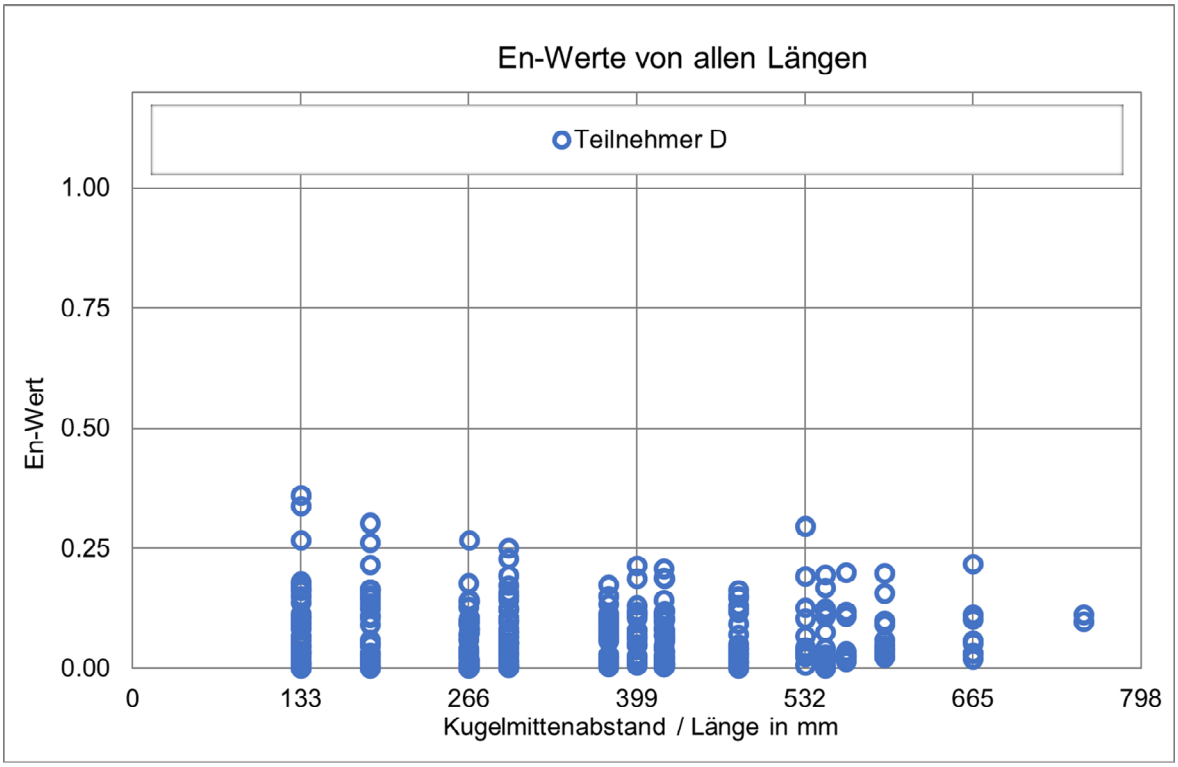

Diagramm 11: E_n-Werte für Teilnehmer D

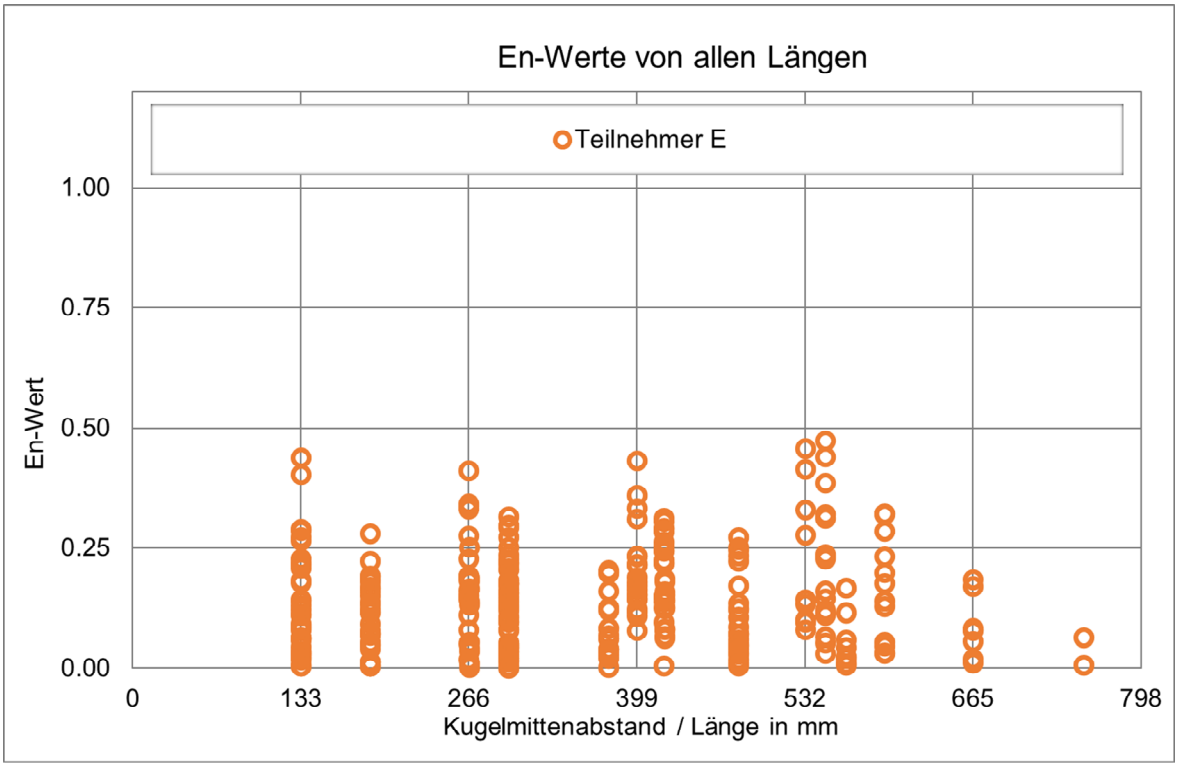

Diagramm 12: E_n-Werte für Teilnehmer E

9 Bewertung und Fazit

9.1 Allgemein

Der vereinbarte Zeitraum für die Durchführung des Vergleichs wurde von jedem Teilnehmer eingehalten, lediglich bei der Reihenfolge gab es einen Tausch.
Alle Teilnehmer konnten die Kalibrierung vollständig durchführen und ein Kalibrierergebnis, wie im Kapitel Messgrößen beschrieben, erstellen. Die den Kalibrierergebnissen beiliegenden Messunsicherheiten beziehen sich auf die Längen bzw. Kugelmittenabstände, die mit den 25 Koordinaten der Ergebnistabelle berechnet wurden.
Daraus ergibt sich für die Teilnehmer B - E die Anzahl von 300 Längen, Längendifferenzen und E_n-Werten, von denen bei Teilnehmer A nur 24 zu berücksichtigen waren. Zur Erklärung siehe Hinweis in Kapitel 5 „Messunsicherheiten und Kalibrierverfahren“ und Kapitel 9.4 „Ergebnisbewertung“.

9.2 Stabilität des Vergleichsnormals

Das Normal hat sich über den Vergleichszeitraum von sechs Monaten im messtechnisch nachweisbaren Bereich stabil gezeigt. Die Teilnehmerergebnisse sowie die abschließende Messung in der PTB im Anschluss an den Ringvergleich haben das bestätigt. Das ist in diesem Fall von besonderer Bedeutung, da nach dem Transport von Teilnehmer 2 zu Teilnehmer 3 ein Transportschaden festgestellt wurde. Es war zu befürchten, dass die Geometrie der Platte sich dadurch geändert haben könnte. Details siehe Anhang.

9.3 Auswertung der Längen

Wie in Kapitel 6.1 „Berechnung der Längen“ beschrieben, wurden bei diesen Vergleichsmessungen die Längen aus den 2D-Koordinaten x und y berechnet. Ein Vergleich mit den dreidimensional berechneten Längen ergab Unterschiede von max. 0,04 µm. Angesichts der angegebenen Messunsicherheiten ist der Einfluss der z-Komponente bei der Auswertung zu vernachlässigen.

Empfehlung: Es wird empfohlen, zukünftig in Kalibrierscheinen darauf hinzuweisen, dass die z-Koordinate nur informativ mit angegeben wird und die Berechnung der Längen basierend auf den x- und y-Koordinaten erfolgt.

9.4 Ergebnisbewertung

Alle Teilnehmerergebnisse liegen innerhalb von $|E_n| < 1$. Für die Teilnehmer B - E bezieht sich dieses Resultat auf alle 300 Längen und für Teilnehmer A auf die 24 Längen, für die eine Messunsicherheitsangabe vorlag. Dementsprechend wurden 24 Referenzlängen und E_n-Werte mit Beteiligung von Teilnehmer A berechnet und die verbleibenden 276 Referenzlängen und E_n-Werte nur unter Beteiligung der Teilnehmer B - E ermittelt.

Die PTB hat in diesem Vergleich eine kleinere Messunsicherheit verwendet als im Leistungsangebot [2] gelistet. Begründet ist dies durch ein erweitertes und intern validiertes Kalibrierverfahren. Die kleinere Messunsicherheit wird mit dem nächsten angepassten Leistungsangebot veröffentlicht.

Literaturverzeichnis

[1] International Journal of Mechanical Engineering and Automation “Online Validation of Comparison Algorithms Using the TraCIM-System”, Int. J. Mech. Eng. Autom. Volume 2, Number 7, 2015, pp. 312-327, Received: June 29, 2015; Published: July 25, 2015

[2] Qualitätsmanagement-Handbuch Abteilung 5 der PTB, Ausgabe-Nr. 10, 2017-03-29

Anhang A

A.1 Transportschaden an der Kugelplatte

Die Kugelplatte wurde vor Beginn des Ringvergleiches geprüft. Der Prüfkörper war fehlerfrei und unbeschädigt, siehe Abbildung 2.

Nach Wareneingang wurde von Teilnehmer 3 der folgende Schaden beschrieben.

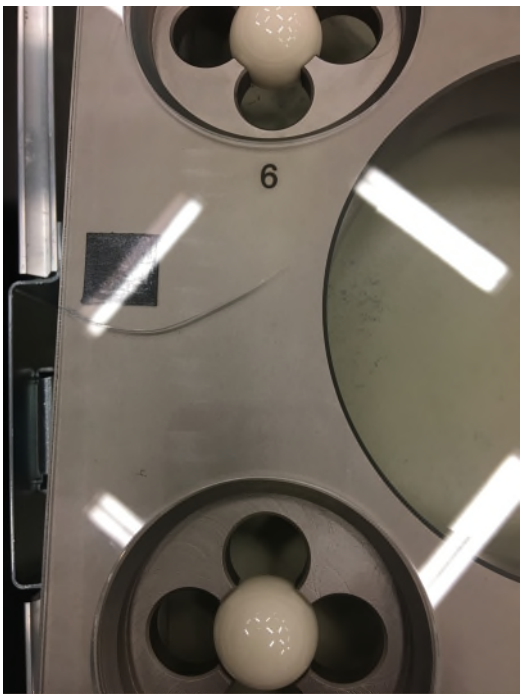

Abbildung 5:
Riss in der Thermoverkleidung zwischen Kugel 1 und 6.

Abbildung 6:
Zerstörte Shockwatch

A.2 Zusätzliche Überprüfung des Normals nach dem Vergleich

Die Platte wurde wie geplant im Anschluss an den Vergleich erneut in der PTB gemessen. Zusätzlich hat Teilnehmer 2 auch noch mal gemessen, um auch wirklich sicherzustellen, dass der Transportunfall die Geometrie des Normals nicht verändert hat. Bei beiden Messungen wurde die Stabilität der Maße bestätigt. Die Nachmessung von der PTB und des Teilnehmers wurden nicht bei der Auswertung des Vergleichs berücksichtigt.

Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de