

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



---

**Expertenbericht  
DKD-E 5-1**

**Ergänzungen zu den Richtlinien  
DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018  
und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine  
Empfehlungen und Empfehlungen  
zu Vergleichen**

---

Ausgabe 04/2022

<https://doi.org/10.7795/550.20220502>



	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	2 / 21

## 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)

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	3 / 21

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Expertenbericht DKD-E 5-1 Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen, Ausgabe 04/2022, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20220502*

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. P. Reinshaus, Rota Yokogawa GmbH, Wehr (Baden)  
S. Augustin, TU Ilmenau, Ilmenau  
Dr. N. Böse, PTB (a.D.), Braunschweig  
Dr. L. Bünger, PTB, Berlin  
S. Friederici, PTB, Berlin  
Dr. D. Jehnert, ZMK & ANALYTIK GmbH, Wolfen  
Dr. St. Rudtsch, PTB, Berlin  
Dr. Ch. Sternkopf, Landesamt für Verbraucherschutz (TLV), Ilmenau  
P. Trageser, Hasselroth

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

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	4 / 21

## Vorwort

DKD-Expertenberichte verfolgen das Ziel, Hintergrundinformationen und Hinweise zu geben, die im Zusammenhang mit anderen DKD-Dokumenten stehen, wie z. B. den DKD-Richtlinien, jedoch z. T. weit darüber hinausgehen. Sie ersetzen die originären DKD-Dokumente nicht, geben jedoch zahlreiche wertvolle Zusatzinformationen. In den Expertenberichten wird nicht notwendigerweise in allen Details die Sichtweise des Vorstands oder der Fachausschüsse des DKD wiedergegeben.

Die DKD-Expertenberichte sollen wesentliche Aspekte aus dem Bereich des Kalibrierwesens darstellen und durch die Publikation im Rahmen des DKD der großen Gemeinschaft der Kalibrierlaboratorien national und international zugänglich gemacht werden.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	6
2	Ergänzung zu DKD-R 5-1:2018 Kalibrierung von Widerstandsthermometern.....	6
2.1	Eigenerwärmung .....	6
2.2	Hysterese .....	8
3	Ergänzung zu DKD-R 5-3:2018 Kalibrierung von Thermoelementen: Inhomogenität.....	10
4	Richtlinienübergreifenden Empfehlungen .....	11
4.1	Anzahl und Rekalibrierfrist von Bezugsnormalen (Widerstandsthermometer, Thermoelemente).....	11
4.2	Untergrenzen für den Beitrag der axialen Temperaturverteilung von Blockkalibratoren.....	11
5	Empfehlung für die Dokumentation von Eignungsprüfung / Vergleichsmessung	12
5.1	Bewertung von einer Eignungsprüfung / Vergleichsmessung .....	13
5.2	Vorlage: Technisches Protokoll .....	15
5.3	Vorlage: Bericht.....	17
6	Literaturverzeichnis.....	19

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	6 / 21

## 1 Einleitung

Dieser Expertenbericht hat die primäre Aufgabe, den Kalibrierlaboratorien eine Hilfestellung zu verschiedenen Themen im Bereich der thermodynamischen Messgrößen zu geben, welche bisher im Fachausschuss *Temperatur und Feuchte* und den DKD-Richtlinien diskutiert, aber in den Richtlinien nicht verbindlich geregelt wurden. Hierdurch soll eine Anpassung an den internationalen Stand der Technik sowie eine einheitliche Vorgehensweise sichergestellt und die Kompetenz der akkreditierten Kalibrierlaboratorien gestärkt werden.

Im Folgenden werden daher Ergänzungen und Empfehlungen zu DKD-Richtlinien zur Kalibrierung von Widerstandsthermometern gemäß DKD-R 5-1 [1], von Thermo-Elementen gemäß DKD-R 5-3 [2], Rekalibrierfristen von Bezugsnormalen und der axialen Temperaturverteilung in Blockkalibratoren (DKD-R 5-4 [6]) gegeben.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist das Thema der Vergleichsmessung. Hier wird eine Empfehlung für die Dokumentation von Eignungsprüfungen / Vergleichsmessungen gegeben und dazu passend ein Ergebnisindikator vorgestellt, welcher die Aussagekraft von Vergleichsmessungen einheitlich beurteilen kann.

## 2 Ergänzung zu DKD-R 5-1:2018 Kalibrierung von Widerstandsthermometern

Für Temperaturmessungen werden in der Industrie häufig industrielle Widerstandsthermometer (IPRTs), wie beispielsweise Pt-100-Sensoren, eingesetzt. In Abhängigkeit von der Messaufgabe stehen diese Sensoren in verschiedenen Bauarten und Genauigkeitsklassen zur Verfügung. Für diese Klasse der Thermometer können typischerweise Unsicherheiten innerhalb von  $\pm 10$  mK im Temperaturbereich von  $-40$  °C bis  $100$  °C und von  $\pm 50$  mK im Temperaturbereich von  $-80$  °C bis  $662$  °C erreicht werden (exklusive Kennlinienbestimmung) [3]. Neben den Einflussgrößen aus Kalibrierverfahren und Kalibriereinrichtung sind die beiden Eigenschaften Eigenerwärmung und Hysterese wesentliche Unsicherheitskomponenten, deren Handhabung bzw. deren Bestimmung hier in Form von Ergänzungen zu der Richtlinie DKD-R 5-1 [1] näher beschrieben werden.

### 2.1 Eigenerwärmung

Da Widerstandsthermometer passive Bauelemente sind, muss für die Bestimmung des elektrischen Widerstandes ein elektrischer Strom durch den Sensor geschickt werden. Die Messstromstärke führt zu einer Erwärmung des Sensors (Eigenerwärmung). Werden keine geeigneten Maßnahmen zur Korrektur dieses Einflusses angewendet, führt dieser Effekt damit zu größeren Unsicherheiten des Messergebnisses. Dieser Effekt ist nicht allein von der Größe der Messstromstärke abhängig, sondern auch von den Messbedingungen (thermische Ankopplung) und dem Fühleraufbau.

Bei der Kalibrierung von Widerstandsthermometern ist das Eigenerwärmungsverhalten zu untersuchen oder dessen Einfluss abzuschätzen.

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	7 / 21

Zur Bestimmung der Eigenerwärmung wird üblicherweise der Sensorwiderstand bei zwei verschiedenen Messstromstärken gemessen und anschließend der Widerstandswert für die theoretische Messstromstärke  $I$  von 0 mA (bzw. die elektrische Leistung  $P$  auf 0 mW) durch Extrapolation bestimmt. Dieser „0-mA-Wert“ erlaubt es dem Anwender, das Thermometer unter beliebigen Bedingungen einzusetzen, wobei er den Einfluss unter seinen Bedingungen selbst bestimmen bzw. abschätzen muss. [3, 7, 8]

Ist es beispielweise nicht möglich die Messstromstärke zu ändern, so besteht eine weitere Möglichkeit darin, die thermische Ankopplung des Thermometers an dessen Umgebung zu variieren. Eine probate Möglichkeit dieser Umsetzung besteht darin, ein Röhrchen (bspw. aus Glas) mit großem Durchmesser (im Vergleich zum Sensordurchmesser) in eine temperaturhomogene und zeitlich ausreichend stabile Umgebung einzubringen (z. B. Eispunkt). Anschließend wird mit dem deutlich kleineren Sensor eine Messung im unteren Bereich des Röhrchens durchgeführt. Der Sensor ist hierbei vollständig von Luft umgeben und darf die Wandung des Röhrchens nicht berühren. Im Anschluss wird das Röhrchen mit einem Kontaktmedium guter Wärmeleitfähigkeit (z. B. Aluminiumoxid) so weit aufgefüllt, dass der gesamte Sensor davon umgeben ist. Nach einer ausreichend langen Angleichungszeit wird dann erneut eine Messung durchgeführt, wobei die unterschiedlichen Wärmeausdehnungen zur Vermeidung von Beschädigungen zu berücksichtigen sind. Jetzt kann aus der Differenz der beiden Messergebnisse der Einfluss der Eigenerwärmung für diesen Extremfall zwischen sehr guter thermischer Ankopplung (Aluminiumoxid) und sehr schlechter Ankopplung (Luft) abgeschätzt werden. Das Röhrchen ist für die Messungen stets unterhalb des Übergangs vom Temperiermedium zur Umgebung zu verschließen (z.B. mit Watte), damit sich im Inneren eine ungestörte, stationäre und homogene Temperaturverteilung ausbilden kann. Auf eine mögliche Wärmeableitung ist zu achten.

Die Ergebnisse der Eigenerwärmungsuntersuchung sind im Kalibrierschein so anzugeben, dass dem Anwender alle Informationen vorliegen, die benötigt werden, um eine entsprechende Korrektur vorzunehmen bzw. eine Unsicherheit für seine Bedingungen abschätzen zu können.

Wird die Eigenerwärmung aufgrund der Messstromstärke nicht experimentell bestimmt, so ist dieser Beitrag bei allen Arten von Widerstandsthermometern inklusive bei deren Verwendung in Messketten in der Messunsicherheitsbilanz mit 30 mK (Rechteckverteilung) zu berücksichtigen. Unter der Annahme einer asymmetrischen Rechteckverteilung mit einer Halbweite  $a$  von 30 mK ergibt sich eine Standardunsicherheit von

$$u = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a^2} \approx 17 \text{ mK.} \quad (1)$$

Für den Fall, dass ein bestimmter Typ von Thermometern in regelmäßigen Abständen kalibriert wird, können nach einer hinreichend großen Anzahl von Thermometerkalibrierungen (mindestens 10 Thermometer des gleichen Typs) die ermittelten Maximalwerte für deren Eigenerwärmung herangezogen werden. Die hieraus

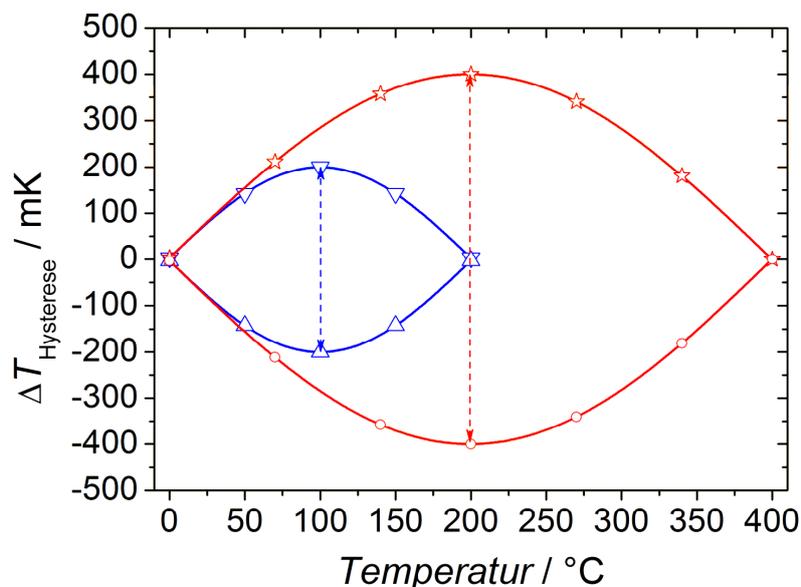
ermittelte typische Eigenerwärmung eines Thermometertyps ist in regelmäßigen Abständen im Rahmen von Messungen / Zwischenprüfungen zu verifizieren. Diese Vorgehensweise ist normgerecht zu beschreiben. Im Kalibrierschein ist dann darauf hinzuweisen, dass der Wert nicht explizit für das zu kalibrierende Thermometer bestimmt wurde.

## 2.2 Hysterese

Generell ist zu beachten, dass Widerstandsthermometer, insbesondere industrielle Platin-Widerstandsthermometer (IPRT) einen Hystereseffekt zeigen, d. h. der Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand ist abhängig von der thermischen „Vorgeschichte“ des Thermometers. Dieser Effekt tritt z. B. auf, wenn der Platinsensor eng mit einem Glas- oder Keramikträger verbunden ist und durch unterschiedliche Wärmeausdehnung mechanische Spannungen auftreten (z. B. Dehnungsmessstreifeneffekt bei Dünnschichtsensoren auf Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Substrat).

Bei Widerstandsthermometern kann bei gleicher Temperatur hierdurch ein erheblicher Unterschied im gemessenen Widerstandswert zustande kommen, je nachdem ob das Thermometer vorher bei höheren oder tieferen Temperaturen eingesetzt wurde.

Der Hystereseffekt hängt von der Bauform des Sensorelements ab. Er ist erfahrungsgemäß bei glasgekapselten PRTs und Dünnschicht-Sensoren besonders stark ausgeprägt und nur bei Standard-Platin-Widerstandsthermometern (SPRTs) aufgrund ihrer speziellen Konstruktion vernachlässigbar. Die Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert ist zumeist in der Mitte des Einsatztemperaturbereichs am größten (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Theoretische Beispiele für hysteresebedingte Kennlinienabweichungen eines industriellen Widerstandsthermometers in unterschiedlichen Einsatztemperaturbereichen in Anlehnung an [9-11])

Der aus der Literatur bekannte Fehler, der durch die Hysterese verursacht wird, beträgt zwischen 0,002 % des Einsatztemperaturbereichs für die besten untersuchten in Keramik eingehausten Sensoren und bis zu 0,2 % des Messbereichs in °C für z. B.

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	9 / 21

glasgekapselte Sensoren [9-11]. Daher ist auch ein Wert von 0,2 % des Einsatztemperaturbereichs bei Nichtbestimmung anzusetzen, wie er in der Praxis durchaus vorkommen kann.

Im DKD-Fachausschuss *Temperatur und Feuchte* hat man sich darauf geeinigt, dass dieser Wert nicht zwingend in der Messunsicherheitsbilanz berücksichtigt werden muss, da dies international nicht einheitlich gehandhabt wird.

Im Kalibrierschein für Widerstandsthermometer müssen daher Angaben zum Einfluss der Hysterese und zu den Kalibrierbedingungen (Kalibrierung mit aufsteigenden/absteigenden Temperaturen) enthalten sein. Soll der Einfluss der Hysterese experimentell bestimmt werden, so ist gemäß DIN EN 60751 [12] zu verfahren (Abbildung 1). Hierbei wird die Kalibrierung bei aufsteigenden Temperaturen durchgeführt, d. h. bei der niedrigsten Temperatur begonnen. Der wichtigste Kalibrierpunkt für die Ermittlung der Hysterese befindet sich in der Mitte des Temperaturbereichs. Nach Erreichen der höchsten Temperatur wird dann bei der Temperatur in der Mitte des Kalibrierbereichs eine weitere Messung durchgeführt.

Vereinfachtes Messschema ohne weitere Kalibrierpunkte eines direktanzeigenden Thermometers bei den gemessenen Temperaturen  $t_n$ :

$$\begin{array}{l}
 \text{niedrigste Temperatur } (t_1) \rightarrow \text{mittlere Temperatur } (t_2) \rightarrow \\
 \text{höchste Temperatur } (t_3) \rightarrow \text{direkt zur mittleren Temperatur } (t_4) \\
 \Delta t_{\text{Hysterese}} = t_4 - t_2 \qquad (2)
 \end{array}$$

Wird der Einfluss auf das Kalibrierergebnis aufgrund der Hysterese nicht experimentell bestimmt, so ist der Effekt mit einer pauschalen Angabe von 0,2 % des gesamten Kalibrierbereichs des Thermometers anzunehmen. Der ermittelte Wert ist entweder in der Messunsicherheitsbilanz zu berücksichtigen oder im Kalibrierschein separat anzugeben.

Beispiel für einen Hinweis im Kalibrierschein, falls der Einfluss nicht experimentell bestimmt wurde:

„Die Kalibrierung wurde im Temperaturbereich von 0 °C bis 400 °C bei einem Programm mit aufsteigenden Temperaturstufen durchgeführt. Der Einfluss der Hysterese wurde experimentell nicht ermittelt. Er kann im o. g. Temperaturbereich bis zu 0,8 K betragen, falls die Messungen nicht durchgehend bei aufsteigenden Temperaturen durchgeführt werden. Dabei ist der stärkste Einfluss in der Mitte des Temperaturbereichs zu erwarten.“

Die hier aufgeführte Verfahrensweise stößt an ihre Grenzen, wenn zwischen niedrigster und höchster Temperatur ein Wechsel der Temperiereinrichtung notwendig ist. Um dennoch eine adäquate Bestimmung der Hysterese durchführen zu können, ist es möglich, eine relative Hysterese zu bestimmen und über diese auf den ganzen Temperaturbereich zu schließen.

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	10 / 21

### 3 Ergänzung zu DKD-R 5-3:2018 Kalibrierung von Thermoelementen: Inhomogenität

Die Thermospannungs-Temperatur-Charakteristik von Thermoelementen kann sich allein durch ihren Einsatz unter verschiedenen thermischen Bedingungen verändern. Damit verbunden sind sich ändernde Messunsicherheiten. Daher sollte für einen längerfristigen Gebrauch von Thermoelementen ein Verfahren zur regelmäßigen Überprüfung und ihres eventuellen Austausches eingeführt werden. Für unedle Thermoelemente, die bei hohen Temperaturen verwendet werden, wird eher ein Austausch als eine Rekalibrierung empfohlen [4].

Daher ist insbesondere bei der Kalibrierung von Thermoelementen [2, 4, 5] der Messunsicherheitsbeitrag aufgrund der thermoelektrischen Inhomogenität zu berücksichtigen. Dieser sollte experimentell bestimmt werden, idealerweise über die gesamte Länge des Thermoelements, mindestens jedoch über eine Länge von 10 cm. Da dem Anwender alle notwendigen Informationen vorliegen müssen, um bspw. eine weitere Unsicherheit für seine Bedingungen abschätzen zu können, ist es erforderlich im Kalibrierschein den Bereich des Thermoelements anzugeben, in dem die Inhomogenitätsuntersuchung durchgeführt wurden (z. B. 20 cm bis 35 cm gemessen von der Spitze des Thermoelements). In Abhängigkeit von der untersuchten Länge des Thermoelements wird der Messunsicherheitsbeitrag unterschiedlich abgeschätzt. Wenn die Untersuchung über (nahezu) die gesamte Länge des Thermoelements erfolgt ist, geht man von einer Rechteckverteilung aus, wird hingegen ein wesentlich kürzerer Abschnitt untersucht, sollten Maxima und Minima (Spitze-Spitze) verwendet werden. Wenn der Inhomogenitätsbeitrag nicht experimentell bestimmt wurde, ist dieser in der Messunsicherheitsbilanz mit den in der folgenden Tabelle 1 angegebenen Beiträgen (nur für neue Thermoelemente) aus dem EURAMET Guide No. 8 (Guidelines on the Calibration of Thermocouples, [4]) anzusetzen (jeweils relative Standardunsicherheit  $u$  bezogen auf die Temperatur).

Thermoelement-Typ (neu)	$u$
Typ K und Typ N	0,10 %
Typ R und Typ S	0,02 %
Typ B	0,05 %
Au/Pt und Pt/Pd	0,01 %
andere Thermoelement-Typen	0,25 %

**Tabelle 1:** Unsicherheitsbeiträge für die Inhomogenität von Thermoelementen gemäß [4]

Der Beitrag der Inhomogenität des Kalibriergegenstandes kann ausschließlich dann vernachlässigt werden, wenn dieser in-situ, also bei unveränderter Einbaulage, kalibriert wird. Das gilt sowohl für edle als auch für unedle Thermoelemente.

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	11 / 21

## 4 Richtlinienübergreifenden Empfehlungen

Zu den richtlinienübergreifenden Empfehlungen gehören die Themen „Anzahl und Rekalibrierintervall von Bezugsnormalen (Widerstandsthermometer, Thermoelemente)“ und „Untergrenzen für den Beitrag der axialen Temperaturverteilung von Blockkalibratoren“.

### 4.1 Anzahl und Rekalibrierintervall von Bezugsnormalen (Widerstandsthermometer, Thermoelemente)

Wenn Widerstandsthermometer oder Thermoelemente als Bezugsnormale verwendet werden, sollten in der Regel zwei Normale (oder mehr) vorhanden sein. Das empfohlene maximale Rekalibrierintervall für diese Normale beträgt 2 Jahre. In Abhängigkeit von den zu erreichenden Messunsicherheiten und Informationen über das Langzeitverhalten (Drift, Instabilität), kann das Rekalibrierintervall in bestimmten Fällen mit Begründung auf 3 Jahre verlängert werden. Maßgeblich für den Beginn und das Ende des Rekalibrierintervalls ist der Tag der Kalibrierung. Wurde ein Thermometer über einen Zeitraum kalibriert, so zählt der letzte Tag des angegebenen Intervalls.

Das empfohlene maximale Rekalibrierintervall für Fixpunktzellen beträgt 5 Jahre.

Wird bei Zwischenprüfungen festgestellt, dass eine Änderung des Referenzwertes des Bezugsnormals um einen signifikanten Betrag (bezogen auf die Unsicherheit der Kalibrierung gemäß Kalibrierschein des Normals, z. B.  $\geq 50\%$ ) aufgetreten ist, so ist das Rekalibrierintervall in geeigneter Weise zu verkürzen. Den konkreten Betrag muss das Kalibrierlaboratorium anhand seiner Messunsicherheitsbilanz ermitteln.

### 4.2 Untergrenzen für den Beitrag der axialen Temperaturverteilung von Blockkalibratoren

In verschiedenen Laboratorien werden Hochtemperatur-Blockkalibratoren einerseits gemäß DKD-R 5-4 kalibriert und andererseits für die Kalibrierung von Temperatursensoren verschiedenster Bauart erst charakterisiert und dann als Temperiereinrichtung eingesetzt.

Die Bestimmung des Unsicherheitsbeitrages bezüglich der axialen Temperaturverteilung in Blockkalibratoren, insbesondere bei Gerätetypen für Temperaturen von mehr als 700 °C, erweist sich u. a. aufgrund unterschiedlichster Wärmetransportmechanismen, thermischer Ankopplungen (Block an den Ofen, Thermometer an den Block), der Regelungseigenschaften und der Rückwirkung des Thermometers als nicht trivial.

Daher wurden die im Folgenden beschriebenen Untergrenzen für den Messunsicherheitsbeitrag der axialen Temperaturverteilung im Blockkalibrator auf Basis einer Pilotstudie „Kalibrierung von Temperatur-Blockkalibratoren bei Temperaturen oberhalb von 600 °C / Pilotstudie zur Ermittlung der Messunsicherheit“

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	12 / 21

[13] festgelegt. Diese sind, wenn nicht detailliert untersucht (u. a. mit verschiedenen Thermometertypen und Bauformen) und dokumentiert, in der Messunsicherheitsbilanz für Hochtemperatur-Blockkalibratoren ( $t_{\max} > 700 \text{ °C}$ ) gemäß Tabelle 2 mindestens zu berücksichtigen.

Temperaturbereich	Beitrag / K	$u$ / K	$U$ ( $k = 2$ )
600 °C ... 800 °C	±2,0	1,2	2,5
> 800 °C ... 1000 °C	±3,4	2	4
> 1000 °C ... 1200 °C	±4,0	2,3	5
> 1200 °C ... 1300 °C	±5,0	2,9	6

**Tabelle 2:** Angabe temperaturunabhängiger Mindest-Unsicherheitsbeiträge bezüglich der axialen Temperaturinhomogenität unter Berücksichtigung einer Rechteckverteilung und der daraus resultierenden kleinsten angebbaren Messunsicherheit

Zur Berücksichtigung des vom Temperaturbereich abhängigen rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages sind die daraus resultierenden kleinsten angebbaren erweiterten Messunsicherheiten  $U$  (als Teil der Calibration and Measurement Capabilities, CMCs) angegeben. Diese Messunsicherheiten beruhen auf der Annahme, dass alle anderen Unsicherheitskomponenten im Vergleich zur axialen Temperaturverteilung vernachlässigbar klein sind. Die Nutzung der angegebenen Unsicherheitsbeiträge entbindet die Laboratorien jedoch nicht davon, die axiale Temperaturverteilung bei mindestens 3 Eintauchtiefen über 40 mm messtechnisch zu bestimmen. Ist der ermittelte Beitrag größer als der in der Tabelle angegebene Wert, so ist der ermittelte Beitrag anzuwenden. Der Bereich der 3 Eintauchtiefen ergibt die „homogene Zone“ des Blockkalibrators und ist im Kalibrierschein anzugeben.

## 5 Empfehlung für die Dokumentation von Eignungsprüfung / Vergleichsmessung

Kalibrierlaboratorien müssen ihre Leistungsfähigkeit durch einen Vergleich ihrer Ergebnisse mit denen anderer Kalibrierlaboratorien in regelmäßigen Abständen nachweisen. Hierfür stehen Angebote von akkreditierten Eignungsprüfungsanbietern zur Verfügung, deren Kompetenz nach DIN EN ISO/IEC 17043:2010 [14] nachgewiesen wurde. Die Teilnahme an Vergleichen zwischen Laboratorien ist zulässig, stellt jedoch keine Eignungsprüfung im eigentlichen Sinne dar (DIN EN ISO/IEC 17025:2018, Normpunkt 7.7.2 [15]). Weitere Informationen können u. a. dem DAkkS-Dokument „Einbeziehung von Eignungsprüfungen in die Akkreditierung“ (71 SD 0 010, [16]) entnommen werden. Im Kern beschreibt dieses Dokument die Anforderungen zur Teilnahme an Eignungsprüfungen im Rahmen der Akkreditierung der Konformitätsbewertungsstellen (KBS) und trägt damit fachbereichsübergreifend zu einer harmonisierten Anwendung durch die Begutachter bei.

Um die Dokumentation von metrologischen Vergleichen, die keine Eignungsprüfungen sind, zu harmonisieren und deren Anerkennung durch die Akkreditierungsstelle zu erhöhen, werden im Folgenden Hinweise und Vorlagen für das technische Protokoll / Aufgabenstellung und den Ergebnisbericht gegeben. Diese Vorlagen basieren auf den internationalen Empfehlungen des Consultative Committee for

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	13 / 21

Thermometry (CCT), Dokument „CCT Guidelines for comparisons“ [17], und sind als Vorschlag zu verstehen. Grundsätzlich ist es empfehlenswert, vor Beginn eines metrologischen Vergleichs das Vorgehen mit dem zuständigen Verfahrensmanager der Akkreditierungsstelle abzustimmen und im technischen Protokoll zu fixieren. Mögliche Anerkennungsprobleme im Akkreditierungsverfahren sollen somit vermieden werden.

## 5.1 Bewertung von Eignungsprüfungen / Vergleichsmessungen

Die Bewertung von Vergleichsmessungen wird üblicherweise über die  $E_n$ -Zahl (Ergebnisindikator) nach DIN EN ISO/IEC 17043:2010 (B.3.1.3.e) [14] wie folgt am Beispiel einer Temperaturmessung berechnet:

$$E_n = \frac{t_{\text{lab}} - t_{\text{ref}}}{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2}} \quad (3)$$

Hierbei ist  $t_{\text{lab}}$  das Messergebnis eines teilnehmenden Labors,  $t_{\text{ref}}$  der Referenzwert,  $U_{\text{lab}}$  die erweiterte Unsicherheit eines Teilnehmers und  $U_{\text{ref}}$  die erweiterte Messunsicherheit des Referenzwertes. Der Referenzwert sollte aus Mehrfachmessungen gebildet werden. Die Bewertung des  $E_n$ -Werts ist wie folgt:

$$\begin{aligned} |E_n| \leq 1 &\rightarrow \text{erfolgreich (Anforderungen erfüllt)} \\ |E_n| > 1 &\rightarrow \text{nicht erfolgreich (Anforderungen nicht erfüllt)} \end{aligned}$$

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Wahl des Transferstandards / Kalibriergegenstandes nicht immer den Stabilitätsanforderungen genügt, um kleinste Unsicherheiten bestätigen zu können. Um eine mögliche Drift des Transferstandards zu berücksichtigen, wurde die Gleichung zur Bestimmung des  $E_n$ -Wertes um einen Term  $\Delta t_{\text{TS}}$  erweitert. Die Drift kann einerseits durch eine Rückmessung oder andererseits über vorgegebene Prüfungen (bspw. Eingangsmessung am Wasser-Tripelpunkt / Eispunkt) bestimmt werden. Die Driftermittlung ist nicht nur für thermodynamische Größen essenziell, sondern auch für alle anderen physikalischen und chemischen Messgrößen. Durch die Erweiterung ergibt sich der neue Ergebnisindikator  $C_n$ , welcher die Verlässlichkeit der Messung bzw. die Stabilität des TransfERNormals selbst mitberücksichtigt [18]:

$$C_n = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}\Delta t_{\text{TS}}^2 + U_{\text{ref}}^2 + (t_{\text{lab}} - t_{\text{ref}})^2}}{U_{\text{lab}}} \quad (4)$$

Dabei ist  $C_n = |E_n|$  für  $\Delta t_{\text{TS}} \ll U_{\text{lab}}$  und  $U_{\text{ref}} \ll U_{\text{lab}}$ . Es sollte darauf geachtet werden, dass wie vorab dargestellt, die erweiterte Messunsicherheit des Referenzwertes deutlich kleiner ist als die des teilnehmenden Kalibrierlaboratoriums.

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	14 / 21

Die Auswertung des  $C_n$ -Wertes erfolgt ergänzend zum  $E_n$ -Wert. Die Bewertung erfolgt nach folgendem Schema:

$C_n \leq 1$  und  $|E_n| \leq 1 \rightarrow$  erfolgreich

$C_n > 1$  und  $|E_n| > 1 \rightarrow$  nicht erfolgreich

$C_n > 1$  und  $|E_n| \leq 1 \rightarrow$  keine ausreichende Aussage zur Bestätigung der CMCs

- Mögliche Ursachen für einen  $C_n$ -Wert größer 1 können sein:
- ein  $E_n$ -Wert nahe 1,
- eine signifikante Drift des Transferstandards und
- eine ungeeignet große Messunsicherheit des Referenzwertes.

Es wird daher dringend empfohlen, den  $C_n$ -Wert zu bestimmen, wenn es Anzeichen gibt, welche die Verlässlichkeit der Vergleichsmessung in Frage stellen könnten. Auf diese Weise lassen sich quantifizierbare, objektive und belastbare Aussagen über die Vergleichsmessung treffen, welche auch das Risiko einer Ungleichbehandlung zwischen den Laboratorien minimiert. Damit wird auch die Akzeptanz der Vergleichsmessung als Kompetenznachweis für die CMCs unterstützt.

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	15 / 21

## 5.2 Vorlage: Technisches Protokoll

### Vergleich von ...

Technisches Protokoll  
Hauptautoren und Zugehörigkeit

Datum:

Version:

#### 1. Einleitung

- Initiator der Vergleichsmessung
- Zielsetzung, Messgröße und Umfang der Vergleichsmessung
- Referenzdokumente für die Dokumentenerstellung

#### 2 Teilnehmer

- Liste der teilnehmenden Laboratorien (Kontaktpersonen, deren Post- und elektronische Adressen können in einem separaten Anhang aufgeführt werden)
- Aufgabenverteilung (Ersteller des techn. Protokolls, Pilotlabor, Treuhänder, Auswerter, etc.)

#### 3 Methodik des Vergleichs

- Topologie des Vergleichs (Bilateral, Ring, Stern, etc.)
- Startdatum und detaillierter Zeitplan

#### 4. Transfer-Normal / Gegenstand des Vergleichs

- Detaillierte Beschreibung des Transfer-Normal (Fabrikat, Typ, Seriennummer, Größe, Gewicht, Verpackung, ... und für den Betrieb notwendige technische Daten)
- Hinweise zum Umgang mit dem Transfer-Normal, einschließlich Verpackungsanweisung und Versand an den nächsten Teilnehmer
- Tests, die an dem Transfer-Normal nach Erhalt vor der Messung durchzuführen sind (z.B. Messung am Eispunkt/ Wasser-Tripelpunkt)
- Bedingungen für die Verwendung des Transfer-Normals während der Messung
- Abschließende Tests vor dem Verpacken des Transfer-Normals und dem Versand an das nächste Labor
- Verfahren im Falle eines Defekts des Transfer-Normals

#### 5. Organisatorische Aspekte

- Vorgehen bei unerwarteter Verzögerung eines Teilnehmers
- Zollformalitäten und Dokumente, die das Transfer-Normal bei Versand begleiten müssen (Carnet ATA oder andere)

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	16 / 21

- **Finanzielle Aspekte:** Verantwortung für die Kosten des Transfer-Normals, Transportkosten, Zollgebühren, Schadenskosten, Versicherung des Transfer-Normals

#### 6. Kommunikation

- Vom Teilnehmer zum Pilotlabor: Information über den Empfang des Transfer-Normals
- Vom Teilnehmer zum Pilotlabor: Mitteilung über Messverzögerungen
- Vom Teilnehmer zum Teilnehmer: Benachrichtigung des nächsten Teilnehmers über den Versand des Transfer-Normals
- Vom Teilnehmer zum Piloten / Treuhänder: Mitteilung der Messergebnisse
- Termine und Konsequenzen bei Nichteinhaltung von Terminen

#### 7. Messanweisungen und -verfahren

- Messanweisungen (geben Sie an, ob es spezielle Anweisungen gibt)
- Messverfahren (geben Sie an, ob es spezielle Verfahren gibt)

#### 8. Berichterstattung über die Ergebnisse

- Anweisungen für die Übermittlung der Ergebnisse von Tests, die nach Erhalt des Transfer-Normals vor der eigentlichen Messung durchgeführt werden sollen
- Anweisungen für die Meldung der Messergebnisse (z. B. Kalibrierscheine, Excel® -Tabelle)
- Anweisung zur Angabe der Messunsicherheit (z. B. Liste der Unsicherheitskomponenten)
- Anweisungen für die Meldung zusätzlicher Informationen

#### 9. Auswertung

- Methode zur Bestimmung des Referenzwertes, Angaben zur Auswertung

#### 10. Änderungshistorie des Dokuments

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	17 / 21

### 5.3 Vorlage: Bericht

## Vergleich von ...

Bericht  
Hauptautoren und Zugehörigkeit  
Datum:  
Version:

#### 1. Einleitung

- Zielsetzung, Messgröße und Umfang des Vergleichs
- Kurze Zusammenfassung des Vergleichs (der Vergleich wurde am ... begonnen, das Protokoll wurde am ... genehmigt, die Messungen wurden zwischen ... und ... durchgeführt, ...)

#### 2 Teilnehmer

- Liste der teilnehmenden Laboratorien (Kontaktpersonen, deren Post- und elektronische Adressen können in einem separaten Anhang aufgeführt werden)
- Aufgabenverteilung (Ersteller des techn. Protokolls, Pilotlabor, Treuhänder, Auswerter, etc.)

#### 3 Methodik des Vergleichs

- Topologie des Vergleichs (Bilateral, Ring, Stern, etc.)

#### 4. Transfer-Normal / Gegenstand des Vergleichs

- Detaillierte Beschreibung des Transfer-Normals (Fabrikat, Typ, Seriennummer, Größe, Gewicht, Verpackung, ... und für den Betrieb notwendige technische Daten)

#### 5. Ausrüstung und Messbedingungen in den teilnehmenden Laboratorien

- Spezifische Messanweisungen oder -verfahren (falls vorhanden)
- Detaillierte Beschreibung der Ausrüstung und der Messbedingungen in den teilnehmenden Laboratorien

#### 6. Messergebnisse

- Messergebnisse jedes teilnehmenden Laboratoriums, einschließlich der Unsicherheit jedes teilnehmenden Laboratoriums (die vollständigen Messunsicherheitsbilanzen müssen angegeben werden, können aber in einem separaten Anhang untergebracht werden)

#### 7. Auswertung der Ergebnisse

- Bestimmung der bilateralen Äquivalenz ( $E_n$ -Wert) zwischen den teilnehmenden Laboratorien (für alle Vergleiche) und des  $C_n$ -Wertes, wenn nötig

#### 8. Schlussfolgerungen

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	18 / 21

- Abschließende Bemerkungen (wurden die Ziele erreicht?)
- Empfehlungen für zukünftige Vergleiche

## 9. Anhänge

- Genehmigtes Protokoll

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	19 / 21

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] DKD-R 5-1 Kalibrierung von Widerstandsthermometern, 2018,  
[https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/dkd/archiv/Publikationen/Richtlinien/DKD-R\\_5-1\\_2018-09.pdf](https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/dkd/archiv/Publikationen/Richtlinien/DKD-R_5-1_2018-09.pdf)
- [2] DKD-R 5-3 Kalibrierung von Thermoelementen, 2018,  
[https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/dkd/archiv/Publikationen/Richtlinien/DKD-R\\_5-3\\_2018-09\\_korr\\_Fussn6.pdf](https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/dkd/archiv/Publikationen/Richtlinien/DKD-R_5-3_2018-09_korr_Fussn6.pdf)
- [3] CCT Guide to Secondary Thermometry: Industrial Platinum Resistance Thermometers, 22 November 2021,  
[https://www.bipm.org/documents/20126/41773843/BIPM\\_CCT\\_Guide\\_to\\_IPRTs.pdf/b3bd8bba-3b0b-ab46-481f-29ceddf7bb31?version=1.1&t=1638374241171&download=true](https://www.bipm.org/documents/20126/41773843/BIPM_CCT_Guide_to_IPRTs.pdf/b3bd8bba-3b0b-ab46-481f-29ceddf7bb31?version=1.1&t=1638374241171&download=true)
- [4] EURAMET Calibration Guide No. 8: Guidelines on the Calibration of Thermocouples, Version 3.1 (02/2020),  
<https://www.euramet.org/publications-media-centre/calibration-guidelines/>
- [5] CCT Guide to Secondary Thermometry - Thermocouple Thermometry: 1. General Usage, 2021,  
[https://www.bipm.org/documents/20126/41773843/Thermocouple\\_Thermometry\\_Part1.pdf/d23088f8-3bab-bacc-0cae-7358eb2666b4](https://www.bipm.org/documents/20126/41773843/Thermocouple_Thermometry_Part1.pdf/d23088f8-3bab-bacc-0cae-7358eb2666b4)
- [6] DKD-R 5-4 Kalibrierung von Temperatur-Blockkalibratoren, 2018,  
[https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/dkd/archiv/Publikationen/Richtlinien/DKD-R\\_5-4\\_2018-09.pdf](https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/dienstleistungen/dkd/archiv/Publikationen/Richtlinien/DKD-R_5-4_2018-09.pdf)
- [7] J V Pearce et al, The optimization of self-heating corrections in resistance thermometry, Metrologia 50 345 (2013)
- [8] CCT Guidebooks: Guides to Thermometry: Part 5 – Platinum resistance thermometry, 2021,  
[https://www.bipm.org/documents/20126/41773843/Guide\\_ITS-90\\_5\\_SPRT\\_2021.pdf/c4bbbe56-4118-eef7-47cb-3ea234db40b8?version=1.6&download=true](https://www.bipm.org/documents/20126/41773843/Guide_ITS-90_5_SPRT_2021.pdf/c4bbbe56-4118-eef7-47cb-3ea234db40b8?version=1.6&download=true)
- [9] Curtis, D.J.: Thermal Hysteresis and Stress Effects in Platinum Resistance Thermometers; Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry (American Institute of Physics, New York) 5, 803-812, 1982
- [10] D. Zvizdić and D. Šestan, Hysteresis of thin film IPRTs in the Range 100 °C to 600 °C, Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry, Volume 8, AIP Conf. Proc. 1552, 445-450 (2013); DOI: 10.1063/1.4819582
- [11] D.R. White, C.L. Jongenelen, P. Saunders, The Hysteresis Characteristics of Some Industrial PRTs, Int. J. Thermophys. 31, 1676-1684, 2010
- [12] DIN EN 60751: Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatursensoren, 2008
- [13] DKD-V 5-1, Kalibrierung von Temperatur-Blockkalibratoren bei Temperaturen oberhalb von 600 °C / Pilotstudie zur Ermittlung der Messunsicherheit, 2017,  
<https://doi.org/10.7795/550.20180117A>
- [14] DIN EN ISO/IEC 17043 Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen, 2010
- [15] DIN EN ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, 2018

	Ergänzungen zu den Richtlinien DKD-R 5-1:2018, DKD-R 5-3:2018 und DKD-R 5-4:2018, Allgemeine Empfehlungen und Empfehlungen zu Vergleichen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20220502">https://doi.org/10.7795/550.20220502</a>	DKD-E 5-1	
		Ausgabe:	04/2022
		Revision:	0
		Seite:	20 / 21

- [16] DAkkS 71SD 0 010 Einbeziehung von Eignungsprüfungen in die Akkreditierung, 2016
- [17] CCT Guidelines for comparisons, 2020,  
<https://www.bipm.org/documents/20126/50817864/CCT-Guidelines-on-comparisons.pdf/d1352c60-eea8-99cb-b281-4c295617e773>
- [18] S. Friederici et al, Quantitativer Ergebnis-Indikator zur Bewertung von Vergleichsmessungen – Vergleichsmessungen aus Sicht des Verbraucherschutzes auswerten, in Messunsicherheit praxisgerecht bestimmen – Prüfprozesse in der industriellen Praxis 2021, Seite 197 - 208,  
<https://doi.org/10.51202/9783181023907-197>



Herausgeber:

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

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