

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



**DKD**

---

**Richtlinie  
DKD-R 4-3**

**Kalibrieren von Messmitteln für  
geometrische Messgrößen**

Blatt 1

Grundlagen

---

Ausgabe 09/2018

<https://doi.org/10.7795/550.20180828D>



|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b><br>Grundlagen<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   |   | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   |   | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 2/14    |

## 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](http://www.dkd.eu)

|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b><br>Grundlagen<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   |   | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   |   | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 3/14    |

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Richtlinie DKD-R 4-3 Blatt 1 Kalibrieren von Messmitteln für geometrische Messgrößen - Grundlagen -, Ausgabe 09/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.  
DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20180828D>*

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:

Mitglieder des Fachausschusses *Länge* des DKD in der Zeit von 1999 bis 2009.

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

|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b><br>Grundlagen<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   |   | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   |   | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 4/14    |

| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                       | <b>Seite</b> |
|---|--------------|
| 1 Zweck der Richtlinie                          | 5            |
| 2 Geltungsbereich                               | 5            |
| 3 Begriffe, Definitionen                        | 5            |
| 4 Aufbau der Kalibrierrichtlinie                | 5            |
| 5 Allgemein geltende technische Anforderungen   | 6            |
| 5.1 Rückführung                                 | 6            |
| 5.2 Umgebungsbedingungen                        | 6            |
| 5.3 Kalibrierfähigkeit                          | 6            |
| 5.4 Kalibrierverfahren, Kalibrierumfang         | 6            |
| 5.5 Messunsicherheit                            | 6            |
| 5.6 Dokumentation                               | 7            |
| 6 Zitierte Normen und weitere Unterlagen        | 7            |
| Anhang: Beispiel eines Messunsicherheitsbudgets | 8            |

## Vorwort

DKD-Richtlinien sind Anwendungsdokumente zu den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025. In den Richtlinien werden technische, verfahrensbedingte und organisatorische Abläufe beschrieben, die den akkreditierten Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen. DKD-Richtlinien können zum Bestandteil von Qualitätsmanagementhandbüchern der Kalibrierlaboratorien werden. Durch die Umsetzung der Richtlinien wird die Gleichbehandlung der zu kalibrierenden Geräte in den verschiedenen Kalibrierlaboratorien gefördert und die Kontinuität und Überprüfbarkeit der Arbeit der Kalibrierlaboratorien verbessert.

Die DKD-Richtlinien sollen nicht die Weiterentwicklung von Kalibrierverfahren und -abläufen behindern. Abweichungen von Richtlinien und neue Verfahren sind im Einvernehmen mit der Akkreditierungsstelle zulässig, wenn fachliche Gründe dafür sprechen.

Die vorliegende Richtlinie wurde vom Fachausschuss *Länge* in Zusammenarbeit mit der PTB und akkreditierten Kalibrierlaboratorien bereits 1999 erstellt.

Die vorliegende geänderte Neuauflage enthält lediglich ein aktualisiertes Impressum.

Sie ist inhaltsgleich mit der DAkKS-DKD-R 4-3 Blatt 1 (Ausgabe 2010). Die DAkKS wird die DAkKS-DKD-R 4-3 Blatt 1 spätestens zum 01.01.2021 zurückziehen.

Ausgabe: 05/1999, veröffentlicht vom DKD

1. Neuauflage: 2002, durch den DKD
2. Neuauflage: 2010, durch die DAkKS
3. Neuauflage: 2018, durch den DKD, inhaltsgleich mit der 2. Neuauflage

|   |   |  |                   |         |
|---|---|--|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b>                        |  | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   | Grundlagen  |  | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   | <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> |  | Revision:         | 0       |
|   |   |  | Seite:            | 5/14    |

## 1 Zweck der Richtlinie

In der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) werden Laboratorien für die Kalibrierung von Längenmessmitteln nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. In den vorzulegenden Qualitätsmanagement-Handbüchern (QMH) sind Einzelheiten über die Art der Rückführung der Messeinrichtungen auf nationale Normale, die Kalibrierverfahren und das Messunsicherheitsbudget anzugeben.

Diese Richtlinie dient zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse sowie zur Reduzierung des Arbeitsaufwandes. Der Inhalt ist beschränkt auf die im Rahmen einer DAkkS-Akkreditierung notwendigen Mindestanforderungen an das Kalibrieren der Messmittel. Die Richtlinie ersetzt nicht die erforderlichen Arbeitsanweisungen für DAkkS-Kalibrierungen. In jeweils einem Blatt dieser Richtlinie sind für jedes Messmittel die oben genannten Einzelheiten enthalten.

## 2 Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für das Kalibrieren von Referenznormalen (Bezugsnormalen), Gebrauchsnormalen, Lehren und Längenmessmitteln im DAkkS-, die insbesondere im fertigungsnahen Bereich eingesetzt werden.

## 3 Begriffe, Definitionen

In den einzelnen Blättern dieser Richtlinie sind die relevanten messtechnischen Kenngrößen und Begriffe nur dann erläutert, wenn dies nicht bereits in DIN-Normen oder im Internationalen Wörterbuch der Metrologie (VIM) erfolgt ist. Hinweise auf die entsprechenden normativen Dokumente sind für das einzelne Messmittel dem jeweiligen Blatt dieser Richtlinie zu entnehmen.

## 4 Aufbau der Kalibrierrichtlinie

Es wurde angestrebt, eine einheitliche Gliederung für die einzelnen Blätter dieser Richtlinie einzuhalten. Die für alle Messmittel geltenden technischen Anforderungen werden in Abschnitt 5 dieses Blattes 1 erläutert, um Wiederholungen in den einzelnen Blättern zu vermeiden. Die Blätter dieser Richtlinie haben folgende Gliederung:

- 1 Geltungsbereich
- 2 Begriffe, Definitionen
- 3 Normale / Normalmesseinrichtungen
- 4 Umgebungsbedingungen
- 5 Kalibrierung
  - 5.1 Kalibrierfähigkeit
  - 5.2 Kalibrierumfang
  - 5.3 Kalibrierverfahren
  - 5.4 Durchführung der Kalibrierung
- 6 Messunsicherheit
- 7 Dokumentation der Ergebnisse
- 8 Zitierte Normen und weitere Unterlagen

|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b>                        | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   | Grundlagen  | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   | <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 6/14    |

## 5 Allgemein geltende technische Anforderungen

### 5.1 Rückführung

Innerhalb eines QM-Systems ist nach DIN EN ISO 9000:2000 die Rückführung (traceability) der qualitätsrelevanten Messmittel (Prüfmittel) auf nationale Normale in geeigneter Weise vorzunehmen und nachzuweisen. Die so entstehende Kalibrierkette muss bis zu den in der Produktion eingesetzten Messmitteln geschlossen sein. Es wird also vorausgesetzt, dass die in Abschnitt 3 der einzelnen Blätter dieser Richtlinie aufgeführten Kalibriereinrichtungen (Normale/Normalmesseinrichtungen) auf nationale Normale rückgeführt sind (siehe auch DIN ISO 10 012-1).

### 5.2 Umgebungsbedingungen

Die Mindestanforderungen hinsichtlich der einzuhaltenden Temperatur für das Geräteensemble und die Umgebung betragen  $20\text{ °C} \pm 1\text{ K}$ .

Temperaturänderungen und -gradienten, die das Kalibrierergebnis beeinflussen, sind im Messunsicherheitsbudget zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere bei großen Messlängen.

### 5.3 Kalibrierfähigkeit

Zuerst muss aufgrund der allgemeinen Beschaffenheit des Messmittels entschieden werden, ob es kalibrierfähig ist. Dabei werden einerseits funktionspezifische Merkmale, wie z. B. Gängigkeit, Spiel, Ablesbarkeit der Skalen, Beschädigungen, Oberflächenbeschaffenheit, beurteilt. Die Kalibrierfähigkeit ist aber andererseits auch nach messtechnischen Merkmalen zu bewerten. So muss in der Regel die Wiederholstandardabweichung der mit dem zu kalibrierenden Messgerät ermittelten Messwerte deutlich kleiner sein als dessen Fehlergrenzen.

### 5.4 Kalibrierverfahren, Kalibrierumfang

In den jeweiligen Blättern dieser Richtlinie sind in Abschnitt 5.3 die Kalibrierverfahren beschrieben. Gegebenenfalls kann sich eine Akkreditierung auch auf modifizierte oder vom Prinzip her andere Verfahren beziehen, sofern sie den messtechnischen Anforderungen genügen. Die Ermittlung der Kennwerte basiert auf den in dem jeweiligen Blatt der Richtlinie festgelegten Kalibrierumfängen. Abhängig vom Verwendungszweck des Kalibriergegenstandes (Anwendungsfall, Toleranzen, Messunsicherheit usw.) können unterschiedliche Kalibrierumfänge angegeben sein. Grundsätzlich ist es möglich, Messmittel nur in Teilen des Messbereiches oder nur in ausgewählten Messbereichen zu kalibrieren. Der in der Richtlinie festgelegte Mindestumfang darf in der Teilkalibrierung nicht unterschritten werden.

### 5.5 Messunsicherheit

In Abschnitt 6 des jeweiligen Blattes dieser Richtlinie werden die wichtigsten Messunsicherheitsbeiträge zur Berechnung des Messunsicherheitsbudgets gemäß DAkkS-DKD-3 (deutsche Übersetzung von EA-4/02) angegeben. Ein Berechnungsbeispiel ist im Anhang dieses Blattes gegeben. Bei der Angabe der Messunsicherheit im DAkkS-Kalibrierschein ist im Messunsicherheitsbudget neben den Messunsicherheitsbeiträgen der Kalibriereinrichtungen auch der oft viel größere kalibriergegenstandsabhängige Messunsicherheitsbeitrag (z. B. einer Messuhr) zu berücksichtigen; letzterer Beitrag beeinflusst beim späteren Einsatz des Messmittels das Messergebnis in voller Größe.

Angegeben wird die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$  ergibt. Im Fall einer Normalverteilung

|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b><br>Grundlagen<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   |   | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   |   | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 7/14    |

liegt der Wert der Messgröße mit einer Wahrscheinlichkeit von annähernd 95 % im zugeordneten Werteintervall.

## 5.6 Dokumentation

Der Dokumentation der Messergebnisse ist – bedingt durch die detaillierten Forderungen in internationalen Normen, wie z. B. in DIN EN ISO/IEC 17025 und DIN EN 45 003, DIN EN ISO 9000 – erhöhte Beachtung zu schenken. Gemeint ist hier insbesondere die Rückverfolgung möglicher Fehlerquellen bei der automatischen Erfassung und Auswertung der Messwerte.

## 6 Zitierte Normen und weitere Unterlagen

|                         |  |
|-------------------------|--|
| DIN EN ISO/IEC 17025    | Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien  |
| DIN EN 45 003           | Akkreditierungssysteme für Kalibrier- und Prüflaboratorien. Allgemeine Anforderungen für Betrieb und Anerkennung (ISO/IEC-Leitfaden 58)  |
| DIN EN ISO 9000:2000    | Normen zum Qualitätsmanagement und zur Qualitätssicherung / QM-Darlegung   |
| DIN ISO 10 012-1        | Forderungen an die Qualitätssicherung für Messmittel; Bestätigungssystem für Messmittel  |
| DAkKS-DKD-3             | Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen   |
| DAkKS-DKD-5             | Anleitung zum Erstellen eines DAkKS-Kalibrierscheines  |
| DIN Beuth-Kommentar VIM | Eindimensionale Längenprüftechnik, Beuth-Verlag, Berlin  |
| GUM                     | Internationales Wörterbuch der Metrologie; Herausgeber DIN, 2. Auflage 1994, Beuth-Verlag, Berlin  |
|                         | Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (Deutsche Übersetzung des „Guide to the expression of uncertainty in measurement“); Herausgeber DIN, 1. Auflage 1995, Beuth-Verlag, Berlin |
| DIN 1319-1              | Grundlagen der Messtechnik. Grundbegriffe  |
| DIN 1319-3              | Grundlagen der Messtechnik. Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße; Messunsicherheit   |
| DIN 1319-4              | Grundlagen der Messtechnik. Auswertung von Messungen; Messunsicherheit   |

## Anhang

### Beispiel eines Messunsicherheitsbudgets

#### Messuhr bis 10 mm Messspanne mit einem Skalenteilungswert von 0,01 mm

Eine Messuhr nach DIN 878 (Kalibriergegenstand) mit einem Skalenteilungswert (Skw) von 0,01 mm wird auf einem Messuhrenprüfgerät – mit einem kalibrierten elektronischen Wegmesssystem als Referenznormal – verglichen. Die Messuhr und das Referenznormal sind dabei in einem Messständer so übereinander eingespannt, dass ihre Messbolzen an einem Verschiebeelement fluchtend angeordnet sind. Eine Verschiebung dieses Elementes, und damit eine Verschiebung des Messbolzens der Messuhr, bewirkt eine entsprechende Verschiebung des Messbolzens des Referenznormals (Abbe'sche Anordnung). Zur Kalibrierung der Messuhr werden definierte Verschiebungen des Messbolzens der Messuhr eingestellt, die mit dem Referenznormal bestimmt werden, wobei Zeiger und Teilstrich der Messuhr jeweils auf Überdeckung eingestellt werden. Die aktuelle Länge der jeweiligen Verschiebung ergibt sich aus der Modellfunktion der Auswertung.

Die Berechnung der Messunsicherheit in diesem Beispiel erfolgt gemäß Abschnitt 5.5 dieses Richtlinienblattes.

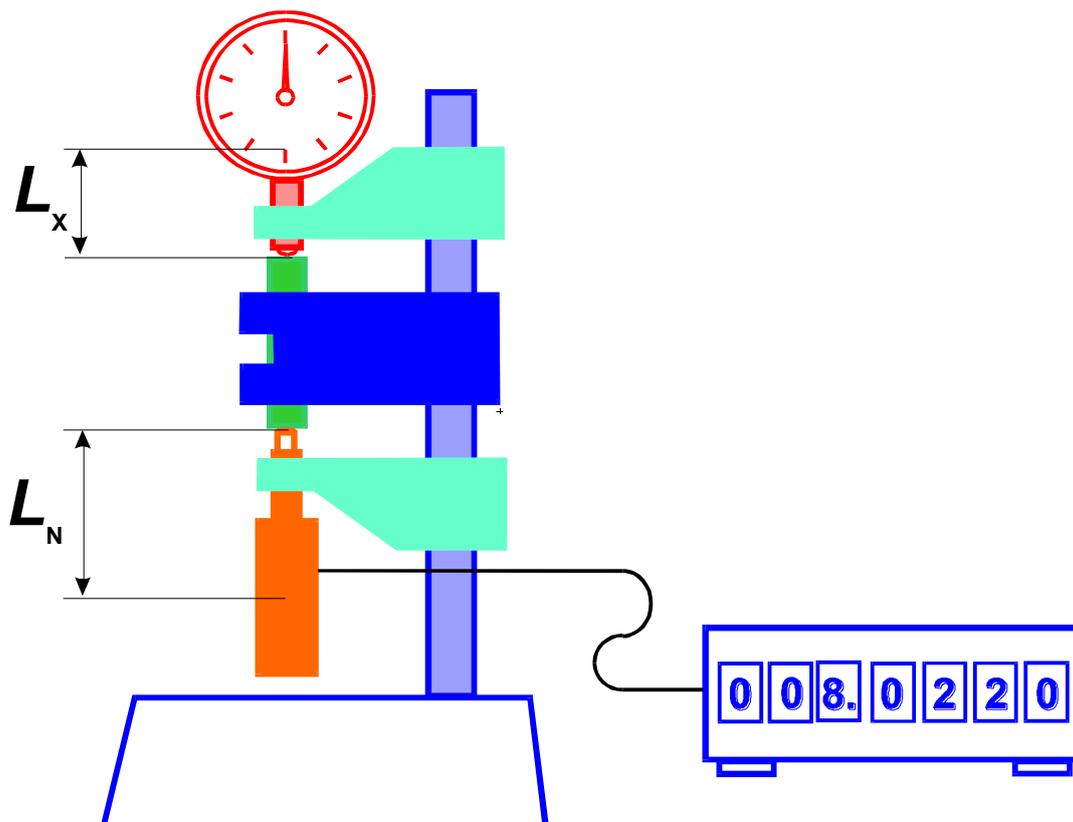


Bild 1: Prinzipskizze des Messaufbaus

|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b>                        | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   | <b>Grundlagen</b>   | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   | <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 9/14    |

Modell der Auswertung:

$$l_X = l_{iN} + \delta l_N + \delta l_D + l_{iN}(\alpha_N - \alpha_X)(t_m - t_0) + \delta l_X + \{ l_{iN}(\alpha_N - \alpha_X) - (L_N\alpha_N + L_X\alpha_X) \} \delta t - (L_N + L_X)\alpha_S \delta t_S \quad (1)$$

Hierbei sind:

$l_X$  **aktuelle Verschiebung**

$l_{iN}$  **am Referenznormal abgelesene Verschiebung**

Für eine am Referenznormal angezeigte Verschiebung gibt der Kalibrierschein eine erweiterte Messunsicherheit  $U = 0,4 \mu\text{m} + 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot l_{iN}$  (Erweiterungsfaktor  $k = 2$ ) an, wobei  $l_{iN}$  die angezeigte Länge ist. Für die abgelesene Länge von 8,022 mm ergibt sich die zugeordnete Standardunsicherheit  $u(l_{iN}) = 0,2 \mu\text{m}$ .

$\delta l_N$  **Längenabweichung aufgrund der Auflösung (Zifferschnittwert) des Referenznormals**

Der Zifferschnittwert des Referenznormals beträgt  $0,1 \mu\text{m}$ , d. h. die Abweichung aufgrund des Zifferschnittwertes ist nicht größer als  $0,05 \mu\text{m}$ . Die zugeordnete Standardunsicherheit ergibt sich bei einer angenommenen Rechteckverteilung zu  $u(\delta l_N) = 0,029 \mu\text{m}$ .

$\delta l_D$  **Drift des Wertes des Referenznormals seit der letzten Kalibrierung**

$\alpha_N$  **linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Messbolzens des Referenznormals**

Der Wert ergibt sich z. B. aus Herstellerangaben zu  $\alpha_N = (11,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ .

$\alpha_X$  **linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Messbolzens des Kalibriergegenstandes (Messuhr)**

Der Wert ergibt sich z. B. aus Herstellerangaben zu  $\alpha_X = (8,0 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ .

$t_m$  **mittlere Umgebungstemperatur während der Messung**

Die Abweichung der Umgebungstemperatur von der Referenztemperatur  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  liegt innerhalb der Grenzen von  $\pm 1 \text{ K}$ .

$t_0$  **Referenztemperatur ( $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )**

$\delta l_X$  **Längenabweichung aufgrund der Auflösung des Kalibriergegenstandes (Messuhr)**

Es wird aus vorangegangenen Messungen und Erfahrungen für die Kalibrierung angenommen, dass die Einstellung eines Wertes an der Messuhr besser als auf 0,1 Skalenteilungswert erfolgt, sofern Zeiger und Teilstrich zur Deckung gebracht werden. Dieser Wert enthält auch die personenabhängige Unsicherheit bei der Einstellung der Teilstrichüberdeckung. Der abgeschätzte Wert von 0,1 Skalenteilungswert wird als Standardunsicherheit mit vollem Betrag eingesetzt.

$L_N$  **nominelle Länge des Messbolzens (einschließlich des Verschiebeelementes) des Referenznormals**

Die nominelle Länge des Messbolzens des Referenznormals wird bei der Nullpunkteinstellung mit 70 mm abgeschätzt.

$L_X$  **nominelle Länge des Messbolzens des Kalibriergegenstandes (Messuhr)**

Die nominelle Länge des Messbolzens der Messuhr wird bei der Nullpunkteinstellung mit 100 mm abgeschätzt.

$\delta t$  **Abweichung der Temperatur des Referenznormals bzw. des Kalibriergegenstandes von der mittleren Umgebungstemperatur ( $t_m$ ).**

Es wird angenommen, dass die Temperaturabweichung  $\delta t$  während der Nullpunkteinstellung und der Messung kleiner als  $0,5 \text{ K}$  ist.

$\alpha_S$  **linearer thermischer Längenausdehnungskoeffizient des Messständers**

Der Wert ergibt sich z.B. aus Herstellerangaben zu  $\alpha_S = (10,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ .

$\delta t_S$  **Temperaturänderung des Messständers während der Kalibrierung**

|   |  |                   |         |
|---|--|-------------------|---------|
|  | <p style="text-align: center;"><b>Kalibrieren von Messmitteln für<br/>geometrische Messgrößen</b></p> <p style="text-align: center;">Grundlagen</p> <p style="text-align: center;"><a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a></p> | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   |  | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   |  | Revision:         | 0       |
|   |  | Seite:            | 10/14   |

Es wird angenommen, dass die Abweichung  $\delta t_S$  wegen der höheren Wärmekapazität gegenüber dem Kalibriergegenstand kleiner als 0,25 K ist.

**Messunsicherheitsbudget:**

Tabelle 1

| Nr. | Ursache   | Größe   | Schätzwert              | Standardmess-<br>unsicherheit      | Verteilungs-<br>funktion | Sensitivitäts-<br>koeffizient                       | Unsicherheits-<br>beitrag | Varianz                            | Quelle               | Bemerkun-<br>g      |
|-----|---|---|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|---------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|
|     |   | $X_i$   | $x_i$                   | $u(x_i)$                           |                          | $c_i$   | $u_i(y)$                  | $u_i^2(y)$                         |                      |                     |
| 1   | Kalibriereinrichtung  | $l_{IN}$  | 8,022 mm                | 0,2 $\mu\text{m}$                  | normal                   | 1,0   | 0,2 $\mu\text{m}$         | 0,04 $\mu\text{m}^2$               | Kalibrierschein      |                     |
| 2   | Kalibriereinrichtung  | $\delta l_N$  | 0,0 mm                  | 0,029 $\mu\text{m}$                | Rechteck                 | 1,0   | 0,029 $\mu\text{m}$       | $8,4 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$  | Datenblatt           | vernachlässigbar    |
| 3   | Kalibriereinrichtung  | $\delta l_D$  |                         |                                    |                          |   |                           |                                    |                      | in Pos. 1 enthalten |
| 4   | Kalibriereinrichtung  | $\alpha_N$  | 8,0 $\text{K}^{-1}$     | $0,87 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ | Rechteck                 | 0,0 $\mu\text{m} \cdot \text{K}$                    | 0,0 $\mu\text{m}$         | 0,0 $\mu\text{m}^2$                | berechnet aus Modell |                     |
| 5   | Kalibriergegenstand   | $\alpha_X$  | 11,5 $\text{K}^{-1}$    | $0,87 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ | Rechteck                 | 0,0 $\mu\text{m} \cdot \text{K}$                    | 0,0 $\mu\text{m}$         | 0,0 $\mu\text{m}^2$                | berechnet aus Modell |                     |
| 6   | Umgebung mit Wirkung auf Kalibriereinrichtung und Kalibriergegenstand | $t_m$   | 20,0 $^{\circ}\text{C}$ | 0,58 K                             | Rechteck                 | $2,8 \cdot 10^{-2} \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$ | 0,02 $\mu\text{m}$        | $4,0 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$  | berechnet aus Modell | vernachlässigbar    |
| 7   | Kalibriergegenstand   | $\delta l_X$  | 0,0 mm                  | 1 $\mu\text{m}$                    | Rechteck                 | 1,0   | 1,0 $\mu\text{m}$         | 1,0 $\mu\text{m}^2$                | Schätzwert           |                     |
| 8   | Kalibriereinrichtung  | $L_N$   | 70,0 mm                 |                                    |                          |   |                           |                                    | Datenblatt           |                     |
| 9   | Kalibriergegenstand   | $L_X$   | 100,0 mm                |                                    |                          |   |                           |                                    | Datenblatt           |                     |
| 10  | Umgebung mit Wirkung auf Kalibriereinrichtung und Kalibriergegenstand | $\delta t$  | 0,0 K                   | 0,29 K                             | Rechteck                 | $-1,58 \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$             | 0,46 $\mu\text{m}$        | 0,21 $\mu\text{m}^2$               | berechnet aus Modell |                     |
| 11  | Kalibriereinrichtung  | $\alpha_S$  | 10,5 $\text{K}^{-1}$    | $0,87 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ | Rechteck                 | 0,0 $\mu\text{m} \cdot \text{K}$                    | 0,0 $\mu\text{m}$         | 0,0 $\mu\text{m}^2$                | berechnet aus Modell |                     |
| 12  | Umgebung mit Wirkung auf Kalibriereinrichtung                         | $\delta t_S$  | 0,0 K                   | 0,14 K                             | Rechteck                 | $1,79 \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$              | 0,25 $\mu\text{m}$        | $6,24 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}^2$ | berechnet aus Modell |                     |
|     |   | $u^2(l_X) = \sum [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum u_i^2(y)$ |                         |                                    |                          |   |                           | 1,32 $\mu\text{m}^2$               |                      |                     |
|     |   | $u(l_X)$  |                         |                                    |                          |   | 1,15 $\mu\text{m}$        |                                    |                      |                     |

Es verbleiben folgende Anteile:

Tabelle 2

| Nr. <sup>1)</sup> | Ursache   | Größe        | Unsicherheitsbeitrag | Varianz                            |
|-------------------|---|--------------|----------------------|------------------------------------|
| 1. (1)            | Kalibriereinrichtung  | $l_{iN}$     | 0,2 $\mu\text{m}$    | 0,04 $\mu\text{m}^2$               |
| 2. (7)            | Kalibriergegenstand   | $\delta l_X$ | 1,0 $\mu\text{m}$    | 1,0 $\mu\text{m}^2$                |
| 3. (6)            | Umgebung mit Wirkung auf<br>Kalibriereinrichtung und<br>Kalibriergegenstand | $t_m$        | 0,02 $\mu\text{m}$   | $4,0 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^2$  |
| 4. (10)           |   | $\delta t$   | 0,46 $\mu\text{m}$   | 0,21 $\mu\text{m}^2$               |
| 5. (12)           | Umgebung mit Wirkung auf<br>Kalibriereinrichtung                            | $\delta t_S$ | 0,25 $\mu\text{m}$   | $6,24 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}^2$ |
|                   | $\sum u_i^2(y)$   |              |                      | 1,32 $\mu\text{m}^2$               |
|                   | $u(l_x)$  |              | 1,15 $\mu\text{m}$   |                                    |

**Erweiterte Messunsicherheit:**

mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$

$$U = k u(l_x) = 2,3 \mu\text{m}$$

**Messergebnis:**

Der an der Messuhr eingestellten Verschiebung von 8,00 mm entspricht eine tatsächliche Länge von  $8,0220 \text{ mm} \pm 2,3 \mu\text{m}$ .

Die im Kalibrierschein des Referenznormals angegebene Längenabhängigkeit der beigeordneten Messunsicherheit kann für die Kalibrierung einer Messuhr aufgrund der Größe der übrigen Beiträge unberücksichtigt bleiben (für die größte handelsübliche Messspanne von 100 mm ergäbe sich ein längenabhängiger Anteil der Messunsicherheit von  $u(l_i) = 0,06 \mu\text{m}$ ). Nach dieser Feststellung enthält die Größe  $u(l_x)$  keinen längenabhängigen Anteil mehr, und das Ergebnis kann für den gesamten Messbereich übernommen werden.

Es gilt für die Kalibrierung der Messuhr:

$$u(l_x) = u(l) = 1,15 \mu\text{m} \approx 1,2 \mu\text{m}$$

und die erweiterte Messunsicherheit:

$$U = k u(l) = 2,3 \mu\text{m}$$

<sup>1)</sup> In Klammern sind die entsprechenden Nummern aus Tabelle 1 angegeben.

|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln<br/>für geometrische Messgrößen</b><br>Grundlagen<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   |   | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   |   | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 13/14   |

Aus den Tabellen ist zu ersehen, dass für die Kalibrierung von Messmitteln in klimatisierten Messräumen einige Größen keinen Einfluss haben und andere zu vernachlässigen sind:

1) Pos. 2 in Tabelle 1

Der Einfluss der Längenabweichung aufgrund der Auflösung des Referenznormals wird im Bereich der Längenmessmittel im Allgemeinen zu vernachlässigen sein (Auflösung des Referenznormals  $\leq 0,1 \cdot$  Auflösung Kalibriergegenstand). Das ist für den Einzelfall festzustellen.

2) Pos. 3 in Tabelle 1

Die Kalibrierintervalle sollten im Bereich der Messmittel so gewählt werden, dass die Drift des Wertes des Referenznormals in der Messunsicherheit des Referenznormals enthalten ist. Damit ist der Einfluss als besondere Größe nicht vorhanden.

3) Pos. 4 und 5 in Tabelle 1

Die Umgebungstemperatur wird innerhalb der Grenzen  $\pm 1$  K zu  $20\text{ °C}$  angenommen, damit wird  $\delta t_m = (t_m - t_0)$  und damit der Sensitivitätskoeffizient (partielle Ableitung des entsprechenden Terms der Modellgleichung) zu 0. Das gilt grundsätzlich für alle Messungen in auf  $20\text{ °C}$  klimatisierten Messräumen. Dabei ist zu beachten, dass zwar  $\delta t_m = 0$ , jedoch  $u(t_m) \neq 0$  ist!

4) Pos. 6 in Tabelle 1

Im Bereich der Längenmessmittel wird bei den relativ großen Anteilen der kalibriergegenstandsabhängigen Messunsicherheit (Pos. 7 in Tabelle 2) der Einfluss der Unsicherheit des Temperaturwertes gering sein, wenn die Grenzen von  $\pm 1$  K eingehalten werden. Der Einfluss bleibt umso kleiner je näher die linearen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten zusammenliegen. Ob dieser Einfluss zu vernachlässigen ist, muss im Einzelfall entschieden werden.

5) Pos. 8 und 9 in Tabelle 1

Die entsprechenden Längen werden so geschätzt, die Schätzwerte tragen nicht zum Messunsicherheitsbudget bei.

6) Pos. 11 in Tabelle 1

Hier gilt das Gleiche wie in Punkt 3). Es wird eine Temperatur von  $20\text{ °C}$  in den Grenzen von  $\pm 0,25$  K angenommen. Damit wird der Sensitivitätskoeffizient zu 0.

7) Pos. 12 in Tabelle 1

Es wirkt sich der Einfluss der Unsicherheit der Temperatur des Messständers (Kalibriereinrichtung) gegenüber der mittleren Umgebungstemperatur aus. Die Temperaturdifferenz wird zu 0 angenommen nicht aber die beigeordnete Messunsicherheit.

Unter Berücksichtigung der Punkte 2), 3) und 6) kann das Modell (1) für Kalibrierungen in auf  $20\text{ °C}$  klimatisierten Räumen wie folgt vereinfacht werden:

$$l_X = l_{iN} + \delta l_N + \delta l_X + \{ l_{iN} (\alpha_N - \alpha_X) - (L_N \alpha_N + L_X \alpha_X) \} \delta t - (L_N + L_X) \alpha_S \delta t_S \quad (2)$$

|   |   |                   |         |
|---|---|-------------------|---------|
|  | <b>Kalibrieren von Messmitteln<br/>für geometrische Messgrößen</b><br>Grundlagen<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828D">https://doi.org/10.7795/550.20180828D</a> | DKD-R 4-3 Blatt 1 |         |
|   |   | Ausgabe:          | 09/2018 |
|   |   | Revision:         | 0       |
|   |   | Seite:            | 14/14   |

Ob eine weiter Vereinfachung wegen  $\delta t_s \approx 0$  möglich ist, muss im Einzelfall entschieden werden. Das Beispiel zeigt jedenfalls, dass die Unsicherheit in der Temperatur des Mesständers ( $\delta t_s$ ) einen Beitrag zur Messunsicherheit liefert.

Wie aus der Tabelle 2 zu ersehen ist, bleiben fünf Beiträge zur Messunsicherheit – wenn man die lfd. Nr. 3 und 4 zusammenfassen würde, was sicher in vielen Fällen möglich ist, sind es immer noch vier – von denen dann mindestens drei bzw. zwei über das Modell zu bestimmen sind. Für die beiden anderen Anteile zur Messunsicherheit würde das Modell nicht benötigt.

Das Beispiel zeigt aber deutlich (vgl. in Tabelle 1 die Nr. 2 und Nr. 12), dass die Entscheidung, ob ein Einfluss zu vernachlässigen ist, erst getroffen werden kann, wenn die Einflussgrößen bestimmt wurden. Es ist daher notwendig, zunächst immer das vollständige Modell aufzustellen und erst nach der Berechnung zu entscheiden, welche Größen zu vernachlässigen sind.