

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



---

**Richtlinie  
DKD-R 5-3**

**Kalibrierung von  
Thermoelementen**

---

Ausgabe 09/2018

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



	<b>Kalibrieren von Thermoelementen</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AD">https://doi.org/10.7795/550.20180828AD</a>	DKD-R 5-3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	2/20

## 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 Thermoelementen</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AD">https://doi.org/10.7795/550.20180828AD</a>	DKD-R 5-3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	3/20

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Richtlinie DKD-R 5-3, Kalibrierung von Thermoelementen, Ausgabe 09/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.*

*DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20180828AD>*

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 *Temperatur und Feuchte* des DKD in der Zeit von 2000 bis 2009.

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.

	Kalibrieren von Thermoelementen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AD">https://doi.org/10.7795/550.20180828AD</a>	DKD-R 5-3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	4/20

**Übersetzung der Publikation EA-10/08 (EAL-G31), Ed. 1, Oktober 1997  
„Calibration of Thermocouples“**

**INHALTSVERZEICHNIS**

	Seite
Nationales Vorwort	5
0 Geltungsbereich	6
1 Einleitung	6
2 Zu berücksichtigende Einflüsse	7
3 Thermoleitungen und Ausgleichsleitungen	7
4 Vergleichsstelle (kalte Verbindungsstelle)	8
5 Eingangsuntersuchung	9
6 Wärmebehandlung	9
7 Temperiereinrichtungen	10
8 Eintauchtiefe	10
9 Messverfahren	11
10 Elektrische Messungen	11
11 Wiederholungskalibrierung	12
12 Ergebnisse	13
13 Messunsicherheit bei der Kalibrierung	13
14 Literatur	14
Anhang A	15

	<b>Kalibrieren von Thermoelementen</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AD">https://doi.org/10.7795/550.20180828AD</a>	DKD-R 5-3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	5/20

## Nationales 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 Schrift ist die deutsche Fassung der 1997 erschienenen Publikation EA-10/08 (EAL-G31) „Calibration of Thermocouples“ der European co-operation for Accreditation (EA)<sup>1</sup>, welche die Ausgabe der Richtlinie DKD R 5-3 vom November 1992 ersetzt. Sie ist ein Leitfaden für Kalibrierlaboratorien bei der Kalibrierung von Thermoelementen, hauptsächlich im Temperaturbereich von  $-200\text{ °C}$  bis  $+1600\text{ °C}$ . Zu diesem Zweck bietet sie Informationen zu den wichtigsten messtechnischen Komponenten, Verfahren und Gesichtspunkten und stellt an einem durchgerechneten Beispiel die Ermittlung der Messunsicherheit dar. Die deutsche Fassung wurde vom Fachausschuss *Temperatur und Feuchte* in Zusammenarbeit mit der PTB und akkreditierten Kalibrierlaboratorien bereits 2000 erstellt.

Die vorliegende geänderte Neuauflage enthält lediglich ein aktualisiertes Impressum. Sie ist inhaltsgleich mit der DAkkS-DKD-R 5-3 (Ausgabe 2010). Die DAkkS wird die DAkkS-DKD-R 5-3 spätestens zum 01.01.2021 zurückziehen.

Ausgabe: 12/2000, veröffentlicht vom DKD

1. Neuauflage: 2010, durch die DAkkS
2. Neuauflage: 2018, durch den DKD, inhaltsgleich mit der 1. Neuauflage

Hinweis zur deutschen Übersetzung:

Das englische Wort „thermocouple“ bezeichnet die beiden deutschen Begriffe „Thermoelement“ (fertig konfektioniertes Thermometer) und „Thermopaar“ (Thermodrähte für das Thermoelement). Im deutschen Sprachgebrauch werden die beiden Begriffe aber teilweise auch synonym verwendet.

Offensichtliche Druckfehler im englischsprachigen Originaltext wurden in der Übersetzung korrigiert.

<sup>1</sup> Die EA wurde im November 1997 durch den Zusammenschluss der European cooperation for Accreditation of Laboratories (EAL) und der European Accreditation of Certification (EAC) gegründet. Seitdem trägt die Publikation EAL-G31 die Bezeichnung EA-10/08.

## 0 Geltungsbereich

- 0.1 Diese Richtlinie wurde erstellt, um dem Bedürfnis nach einem Ratgeber in Form eines Rahmendokumentes für Laboratorien zu entsprechen, die sich mit der Kalibrierung von Thermoelementen befassen. Sie gilt in erster Linie für Thermopaare, die in Übereinstimmung mit den Bezugstabellen für EMK und Temperatur aus DIN EN 60584-1: 1996<sup>2</sup> genormt sind und den Temperaturbereich zwischen  $-200\text{ °C}$  und  $+1600\text{ °C}$  abdecken, wobei die Kalibrierungen in Bezug auf die Internationale Temperaturskala von 1990 (ITS-90) ausgeführt werden. Obwohl die meisten der behandelten Punkte auch auf andere „nicht genormte“ Thermopaare anwendbar sein können, kann es andere wichtige Überlegungen außerhalb des Geltungsbereiches dieser Richtlinien geben, die möglicherweise berücksichtigt werden müssen.

## 1 Einleitung

- 1.1 Ein Thermopaar besteht aus zwei verschiedenartigen Leitern, die an der Messstelle (oder „heißen“ Verbindungsstelle) miteinander verbunden sind, während die anderen Enden (Vergleichs- oder „kalte“ Verbindungsstellen) entweder direkt oder durch geeignete Hilfsmittel mit einem Gerät verbunden sind, das die im Schaltkreis erzeugte elektromotorische Kraft (EMK) misst.
- 1.2 Die durch ein Thermopaar erzeugte elektromotorische Kraft (EMK) hängt von dem Temperaturunterschied zwischen der Mess- und Vergleichsstelle ab. Sie wird in den Bereichen der Thermodrähte generiert, in denen Temperaturgradienten auftreten. Sinnvolle Messungen und Kalibrierungen sind nur möglich, wenn die Mess- und Vergleichsstellen in isothermen Bereichen und in einer Tiefe eingebaut werden, die ausreicht, um Wärmeverluste (oder Wärmezufuhr) zu vermeiden, so dass sichergestellt wird, dass jede Mess- und Vergleichsstelle tatsächlich die Temperatur ihrer Umgebung annimmt.
- 1.3 Die Größe der EMK hängt von den Materialien der Leiter ab, die für das Thermopaar verwendet werden und von ihrem metallurgischen Zustand. Spätere Änderungen der Materialzusammensetzung und des Materialzustands, die durch Verunreinigungen, mechanische Beanspruchungen oder Temperaturschock bewirkt werden, beeinflussen und verändern die EMK und eine dazugehörige Kalibrierung ebenfalls. Jede derartige Veränderung in den Thermodrähten hat jedoch nur dann einen Einfluss auf den Wert der gemessenen EMK, wenn sie im Bereich eines Temperaturgradienten auftritt. Sie kann nicht unbedingt durch eine erneute Kalibrierung nachgewiesen werden, wenn sich zum Beispiel ein veränderter Thermodrahtabschnitt im isothermen Bereich eines Kalibrierbades befindet.
- 1.4 Während des Einsatzes ist eine Veränderung des Thermoelementes und seiner Kalibrierung unvermeidlich; daher soll längerfristig ein Plan für regelmäßige Überprüfungen und einen eventuellen Austausch aufgestellt und eingehalten werden. Insbesondere bei Thermoelementen aus unedlem Metall, die bei hohen Temperaturen eingesetzt werden, ist ein Austausch einer erneuten Kalibrierung vorzuziehen.

<sup>2</sup> Im Originaltext steht hier EN 60584-1: 1996.

## 2 Zu berücksichtigende Einflüsse

2.1 Bei der Kalibrierung ist sicherzustellen, dass Effekte, die auf die nachfolgend genannten Einflüsse zurückzuführen sind, auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Diese Einflüsse sind bei der Berechnung der im Kalibrierschein genannten Messunsicherheit zu berücksichtigen.

2.2 Wesentliche Einflüsse sind:

- schlechter Wärmekontakt oder Wärmeableitung entlang des Thermoelementes (ungenügende Einbautiefe)
- zeitlicher Temperaturverlauf und räumliche Temperaturverteilung in der Temperiereinrichtung
- Temperaturschwankungen an der Vergleichsstelle
- parasitäre Thermospannungen, z. B. bei Verwendung einer Thermo- oder Ausgleichsleitung oder eines Messstellenumschalters oder an Steck- bzw. Lötkontakten<sup>3</sup>
- elektromagnetische Einstreuungen
- mechanische Spannungen oder Verformungen
- Inhomogenitäten
- Oxidation
- Legierungseffekte
- Isolationswiderstand

Diese Einflüsse werden in den folgenden Abschnitten behandelt.

## 3 Thermoleitungen und Ausgleichsleitungen

3.1 Wenn ein Thermopaar aus praktischen Gründen zu verlängern ist, muss dies durch Verwendung der richtigen Thermoleitung oder Ausgleichsleitung geschehen. Die Thermoleitung besteht aus Leitern, die aus nominell denselben Materialien wie das Thermopaar gefertigt sind, während die Ausgleichsleitung aus zwei Leitern anderer Legierungen hergestellt ist. Die Ausgleichsleitungen sind so gefertigt, dass sie in einem begrenzten Temperaturbereich, der  $-40\text{ °C}$  bis  $+200\text{ °C}$  nicht überschreitet, zu der EMK/Temperatur-Kennlinie des jeweiligen Thermopaars passen. (Herstellungstoleranzen sind in DIN 437224 angegeben.)

3.2 Diese Leitungen sollen vorzugsweise dauerhaft an das Thermopaar angeschlossen sein. Als Alternative werden Verbindungen zu Thermopaardrähten oft unter Verwendung spezieller Stecker und Buchsen (ebenfalls aus Ausgleichslegierungen gefertigt) hergestellt. Es ist wichtig sicherzustellen, dass sich diese Sekundärverbindungen nicht in Bereichen von Temperaturgradienten befinden; außerdem sollen sie gegen Zugluft, Strahlung und schnelle Veränderungen der Umgebungstemperatur abgeschirmt oder isoliert sein.

<sup>3</sup> „oder an Steck- bzw. Lötkontakten“ wurde in der Übersetzung ergänzt.

<sup>4</sup> Im Originaltext steht hier IEC 584-3. Diese ist in der DIN 43722 umgesetzt; s. Abschnitt Literatur.

- 3.3 Die mit der Verwendung von Verlängerungs- und Ausgleichsleitungen zusammenhängenden Messunsicherheiten sind gewöhnlich größer als die von Thermoelementen mit durchgehendem Draht. Dies ist auf die geringfügige Fehlanpassung der Materialien und auf praktische Schwierigkeiten bei der Messung der Temperatur der Verbindungsstellen zwischen den Leitern zurückzuführen. Wenn die Thermo- oder Ausgleichsleitung in die Kalibrierung einbezogen wird, kann sich die Messunsicherheit verringern und der Größe der Messunsicherheit eines Thermoelementes mit durchgehendem Draht annähern. In diesem Fall ist die Thermo- oder Ausgleichsleitung Bestandteil des Thermoelementes und soll nie durch andere Drähte – nicht einmal Drähte derselben Art oder aus derselben Charge – ersetzt werden. Um diese Beiträge zur Messunsicherheit abzuschätzen, ist ein experimentelles Verfahren erforderlich, das eine Veränderung des Temperaturprofils durch Abkühlung oder Erwärmung entlang jeder Leitung oder beider Leitungen einschließt, wobei die Mess- und Vergleichsstelle auf konstanter Temperatur gehalten wird.

## 4 Vergleichsstelle (kalte Verbindungsstelle)

- 4.1 Bei den Temperatur-EMK-Tabellen für Thermopaare ist der Eispunkt (0 °C) die Bezugstemperatur, die als traditionelle Fixpunkttemperatur für genaue und zuverlässige Messungen bevorzugt wird. Sie ist leicht darstellbar, indem man zerkleinertes Eis oder Flockeneis mit Wasser mischt. Entionisiertes Wasser ist am besten geeignet, in vielen Ländern kann jedoch Leitungswasser gut genug sein.
- 4.2 An der Vergleichsstelle ist jeder Thermopaarleiter mit einem Kupferdraht weich- oder hartgelötet oder zusammengedreht. Eine zeitweise oder dauerhaft an dieser Verbindungsstelle auftretende elektrische Störung kann durch eine Oxidschicht hervorgerufen werden, die sich auf dem Thermopaar (Leiter aus unedlem Metall) oder auf dem Kupferdraht bildet. Vor Herstellung der Verbindung soll der Draht leicht mit feinem Schleifpapier gereinigt werden. Jede Verbindung von Drähten soll isoliert werden. Bevor die Drähte in die Eis/Wasserbäder getaucht werden, sollen sie mit einer passenden Umhüllung versehen werden. Die Kupferdrähte sollen von demselben Hersteller stammen. Automatische Vergleichsstellen-Vorrichtungen werden besonders dann verwendet, wenn eine große Anzahl von Messungen und/oder Langzeitmessungen erforderlich sind. Bei Verwendung dieser Geräte soll sorgfältig geprüft werden, ob eine angemessene Eintauchtiefe vorliegt und ob die gesamte Wärmebelastung die Kapazität des Gerätes nicht übersteigt. Dies kann erreicht werden, indem man die Thermospannung von einem oder zwei der im Gerät verwendeten Thermoelemente sowohl bei vollständiger als auch bei nicht vollständiger Beladung mit Thermoelementen überwacht und Vergleiche mit ihrer Thermospannung bei Einsatz eines Eisbades durchführt.
- 4.3 Dieselben Anmerkungen gelten für Vergleichsstellen-Vorrichtungen, bei denen es sich um isolierte Kästen mit Vergleichsstellen handeln kann, deren Temperatur durch ein Thermometer entweder bei Umgebungstemperatur oder bei einer Temperatur, die durch eine thermostatisch geregelte Heizvorrichtung vorgegeben wird, überwacht wird. Die Funktionsfähigkeit des Thermometers und des Reglers der Einrichtung soll in regelmäßigen Abständen überprüft werden.
- 4.4 Bei elektronischen Temperaturreglern und -anzeigern wird oftmals eine Kompensation der Vergleichstellentemperatur vorgenommen. Elektronische Ausgleichsmodule sind entweder mit Netzanschluss oder batteriebetrieben erhältlich. Sie sind kaum für Systeme geeignet, in denen viele Thermoelemente verwendet werden, denn für jede Vergleichsstelle ist normalerweise ein separates Modul erforderlich.



- 4.5 Wenn bei einem Thermoelement, dessen Kalibrierung auf 0 °C bezogen ist, eine andere Bezugstemperatur als 0 °C verwendet wird, ist die **EMK, die der gewählten Bezugstemperatur entspricht**, zu der von dem Thermopaar abgegebenen EMK zu addieren.

## 5 Eingangsuntersuchung

- 5.1 Thermoelemente sind mit verschiedenen Isolierungen und Schutzrohren sowie als „blanke Leitungen“ erhältlich. Die Eingangsuntersuchung hängt neben dem geplanten Einsatz der Thermoelemente daher auch von ihrer Konstruktion ab. Offensichtliche Anzeichen von mechanischen Fehlern, Verunreinigung usw. sind aufzuzeichnen und dem Kunden mitzuteilen, wenn das Laboratorium der Meinung ist, dass die Kalibrierung gar nicht oder nur mit vergrößerten Messunsicherheiten durchgeführt werden kann. Jedes Vorhandensein von Feuchtigkeit, besonders an den Ausgleichs-/Thermoleitungen, ist zu untersuchen, da dies den Isolationswiderstand herabsetzen und/oder durch elektrolytische Vorgänge zur Erzeugung von unerwünschten EMK führen kann. Die Messung des Isolationswiderstands ist ein geeignetes Verfahren zur Erkennung von Feuchtigkeit innerhalb des Thermoelementes<sup>5</sup>.

## 6 Wärmebehandlung

- 6.1 Jedes zu kalibrierende Thermoelement soll homogen sein. Mit inhomogenen Thermoelementen, die unter Messbedingungen verwendet werden, die von denen während der Kalibrierung abweichen, werden - besonders bei unterschiedlichen Temperaturgradienten - fehlerhafte Ergebnisse erzielt, die zu systematischen Abweichungen von mehreren Grad Celsius führen können.
- 6.2 Mit der Wärmebehandlung/Alterung eines Thermoelementes wird ein thermoelektrischer Grundzustand erreicht; bei einer Wiederholungskalibrierung soll eine solche Wärmebehandlung nur mit dem formellen Einverständnis des Kunden durchgeführt werden.
- 6.3 Um optimale Ergebnisse zu erhalten, soll ein zu kalibrierendes Thermoelement zunächst bei größter Eintauchtiefe und bei der höchsten Anwendungstemperatur einer Alterung unterzogen werden<sup>6</sup>. Thermoelemente vom Typ K, die bei bis zu 500 °C oder höher eingesetzt werden sollen, sind bei ansteigenden Temperaturen zu kalibrieren, wobei die Kalibrierung bei der tiefsten Temperatur am Ende zwecks Überprüfung wiederholt wird. Dieselben Überlegungen gelten in geringerem Maße auch für andere Thermoelemente aus unedlem Metall.

<sup>5</sup> Anmerkung des DKD: Bei Mantelthermoelementen soll der Isolationswiderstand mindestens den entsprechenden Wert haben, der in DIN EN 61515: 1996-09 (IEC 61515: 1995) angegeben ist.

<sup>6</sup> Anmerkung des DKD: Vorgeschlagene Mindestdauer der Alterung: 1 bis 4 Stunden, Temperatur eventuell 10 °C über der höchsten Anwendungstemperatur.

## 7 Temperiereinrichtungen

- 7.1 Thermoelemente werden entweder im Vergleichsverfahren oder an Fixpunkten, z. B. Schmelz-/Erstarrungspunkten, oder mit einer Kombination von Techniken, z. B. Vergleichs- und Fixpunktverfahren, kalibriert. Beim Vergleichsverfahren werden die zu kalibrierenden Thermoelemente in temperaturstabilisierten Bädern oder in geeigneten Öfen mit Bezugs-/Normalthermometern verglichen. Fixpunkte und Normalthermometer müssen auf nationale Normale rückgeführt sein. Fixpunktkalibrierungen sind im Allgemeinen nur für hochgenaue Kalibrierungen von Platin-Rhodium-Thermoelementen erforderlich.
- 7.2 Ein temperaturstabilisiertes Bad oder ein für die Kalibrierung geeigneter Ofen ist ein Bad/Ofen, bei dem nachgewiesen wurde, dass die räumliche Temperaturverteilung im Arbeitsraum innerhalb der geforderten Grenzen liegt. Die Temperaturverteilung kann mit zwei oder mehreren Normalthermometern bei drei verschiedenen Temperaturen, z. B. an der oberen und unteren Grenze sowie in der Mitte des Arbeitstemperaturbereiches gemessen werden. Die Angabe dieses Temperaturprofils im Kalibrierschein kann dem Nutzer bei der Lösung von Problemen in Zusammenhang mit unterschiedlichen Einbautiefen helfen, wobei das Temperaturprofil in Öfen in hohem Maße von den Abmessungen des Thermoelementes abhängen kann.
- 7.3 Temperaturgradienten in temperaturstabilisierten Bädern oder Öfen können durch den Einbau eines metallischen Ausgleichsblocks mit Bohrlöchern zur Aufnahme der Normale und der Prüflinge reduziert werden. Ein derartiger Block ist nicht immer erforderlich, zum Beispiel bei Öfen mit mehreren geregelten Heizzonen. Außerdem kann ohne einen Ausgleichsblock das Temperaturgleichgewicht schneller erreicht werden.
- 7.4 In Flüssigkeitsbädern sollen die Thermoelemente im Volumenbereich mit möglichst homogener Temperaturverteilung eingebaut werden<sup>7</sup>, ohne den Boden oder die Seiten des Badgefäßes, die eine geringfügig andere Temperatur als die Flüssigkeit haben können, zu berühren.
- 7.5 Normal-Thermoelemente und zu prüfende Thermoelemente können gegen Verunreinigung im Ofen geschützt werden, indem man sie in reine, einseitig geschlossene, passende, dünnwandige Rohre aus Aluminiumoxid einbaut. Es können jedoch längere Einstellzeiten zur Kompensation der schlechteren Wärmekopplung erforderlich sein.

## 8 Eintauchtiefe

- 8.1 Wenn möglich, sollen Thermoelemente bei derselben Eintauchtiefe kalibriert werden, bei der sie gewöhnlich benutzt werden. Thermoelemente sind jedoch so tief einzubauen, dass Wärmeverlust oder Wärmezufuhr bei hohen bzw. tiefen Temperaturen vermieden wird. Solche Wärmeleitungseffekte werden durch Drähte mit großem Durchmesser, dickwandige Isolatoren und Schutzrohre hervorgerufen. Wenn möglich, soll ein Thermoelement schrittweise so tief in eine geregelte Kalibriereinrichtung eingebaut werden, bis eine weitere Erhöhung der Einbautiefe keine Änderung der gemessenen EMK mehr hervorruft, was darauf hinweist, dass eine hinreichende Einbautiefe erreicht worden ist. Unter gewissen Umständen kann es erforderlich sein, die Schutzrohre und Kapillarrohre zu entfernen und durch leichtere, besser geeignete Materialien zu ersetzen.

<sup>7</sup> Diese Formulierung wurde der Klarheit halber gewählt. Im Original steht stattdessen „In liquid-filled baths, thermocouples should be loaded with a separation of about 1 cm ...“.

- 8.2 Diese Überlegungen gelten sowohl für Vergleichs- als auch für Fixpunktkalibrierungen. Es kann eine stabile EMK gemessen werden, was jedoch nicht unbedingt bedeutet, dass die richtige Temperatur erreicht worden ist. Eine hinreichende Einbautiefe ist nur dann erreicht, wenn die Änderung der EMK beim Herausziehen des Thermoelementes um ein oder zwei Zentimeter klein ist im Vergleich zu der bei der Kalibrierung erforderlichen Messunsicherheit.

## 9 Messverfahren

- 9.1 Bei Fixpunktmessungen ist es zweckmäßig, den Schmelz- oder Erstarrungspunkt jeder Temperaturdarstellung mit einem Referenz-Thermoelement zu messen, das für diesen Zweck bestimmt ist. Bei Verwendung von PID-Temperaturreglern, die die Ofentemperatur sehr konstant in der Nähe der Fixpunkttemperatur halten können, kann ein fehlerhaftes oder falsches Plateau auftreten. Es ist daher wichtig, die Schmelz-/Erstarrungskurve und die Unterkühlung zu beobachten, die dem Temperaturanstieg vor Erreichen des Erstarrungsplateaus vorausgeht.
- 9.2 Bei Vergleichskalibrierungen ist es ratsam, zwei Normale zu verwenden, die einen Quervergleich untereinander und eine Überprüfung des Kalibriersystems ermöglichen. Um die Drifteffekte in der Temperiereinrichtung zu reduzieren, soll die Messfolge wie folgt sein:

$$S_1, X_1, X_2, \dots, X_n, S_2, S_2, X_n, \dots, X_2, X_1, S_1$$

wobei  $S_1$  und  $S_2$  die beiden Bezugsnormale und  $X_1, X_2, \dots, X_n$  die zu kalibrierenden Thermoelemente sind.

Diese Folge kann wiederholt werden, um vier Messwerte für jedes Thermoelement zu erhalten. Die Mittelwerte werden berechnet und ggf. Korrekturen (z. B. aufgrund der Kalibrierung des verwendeten Voltmeters) vorgenommen. Als Temperatur wird der aus den Messwerten von  $S_1$  und  $S_2$  berechnete Mittelwert genommen.

## 10 Elektrische Messungen

- 10.1 Elektrische Messungen werden gewöhnlich mit Digitalvoltmetern oder mit direkt anzeigenden Temperaturmessgeräten durchgeführt. Manuelle Potentiometer werden nur noch selten benutzt, können aber aufgrund ihrer Langzeitstabilität für Überkreuzvergleiche und zu Kontrollzwecken hilfreich sein. Alle elektrischen Messsysteme müssen über den gesamten erforderlichen EMK-/Temperaturbereich rückgeführt kalibriert sein.
- 10.2 Manuelle Schalt- und Wahlvorrichtungen an Messstellenumschaltern, Polwendern und manuellen Potentiometern sollen täglich probeweise betätigt werden (ca. 20 Schaltvorgänge), um Oxidschichten zu beseitigen und eventuelle Kontaktwiderstände zu minimieren.
- 10.3 Wenn höchste Genauigkeiten gefordert werden, sollen mit Hilfe eines Polwenders sowohl positive als auch negative Polaritäten gemessen werden. Die Bildung des Mittelwerts der Messungen beseitigt oder minimiert den Effekt parasitärer Thermospannungen im Messsystem. Solche unerwünschten Spannungen können an jedem Punkt im Messstromkreis, an dem eine Temperaturänderung auftritt, und an Verbindungsstellen von verschiedenartigen Metallen, z. B. Kupferdrähten und Messingklemmen, auftreten. Daher soll eine Wärmeisolierung von Verbindungsstellen und -schaltern vorgesehen

werden oder eine Regelung der Umgebungstemperatur erfolgen. Digitalvoltmeter können sich in Abhängigkeit vom Messmodus bezüglich der Polarität unterschiedlich verhalten; daher sind, falls Umkehrungen durchgeführt werden sollen, beide Polaritäten zu kalibrieren. Der Messkreis kann auf Rest-EMK durch Kurzschluss der Klemmen, die für den Anschluss des Thermoelementes vorgesehen sind, überprüft (und korrigiert) werden.

## 11 Wiederholungskalibrierung

- 11.1 Die Rekalibrierfrist für Thermoelemente ist nicht offiziell festgelegt, da Typen, Temperaturbereiche, Konstruktion, Verwendung und Einsatzhäufigkeit unterschiedlich sind. Im Rahmen eines werkseigenen Qualitätsmanagementplans sollte jedoch ein Programm zur Kontrolle und erneuten Kalibrierung existieren, um den jeweiligen Anforderungen und Erfahrungen zu entsprechen.
- 11.2 Für Thermoelemente im Dauereinsatz werden Überprüfungen der Kalibrierung am besten in situ vorgenommen, indem ein Normal neben das/die in Gebrauch befindliche(n) Thermoelement(e) eingebaut wird<sup>8</sup>. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass das zu überprüfende Thermoelement vorübergehend durch ein Normalthermoelement ersetzt wird und die EMK verglichen werden. In der Praxis wird jedoch häufig ein regelmäßiger Austausch bevorzugt.
- 11.3 Eine Veränderung der EMK und der Kalibrierung eines Thermoelementes infolge der Benutzung oder sogar als unmittelbares Ergebnis der Kalibrierung kann quantitativ bestimmt werden, indem man das Thermoelement in ein temperaturstabilisiertes Bad oder Ofen bei einer geeigneten Temperatur einbaut und die Thermospannungen bei verschiedenen Einbautiefen misst, die den bisherigen Einbaubedingungen entsprechen. Wenn das Thermoelement schließlich wesentlich tiefer eingebaut wird als bei den vorhergehenden Anwendungen, sollen die gemessenen EMK sehr nahe bei dem Wert liegen, der im (ersten) Kalibrierschein bei der entsprechenden Temperatur angegeben ist und die Gültigkeit der beiden (möglicherweise unterschiedlichen) Kalibriersysteme bestätigen.
- 11.4 Bei Thermoelementen aus unedlem Metall ist der Austausch gegen ein kalibriertes Thermoelement oftmals die beste Lösung und einer erneuten Kalibrierung vorzuziehen. Anderenfalls werden „in-situ“-Kalibrierungen oder Kontrollen empfohlen. Eine vorsichtige Wärmebehandlung kann ihre Homogenität manchmal verbessern.

<sup>8</sup> Anmerkung des DKD: Für Kalibrierungen außerhalb des Kalibrierlaboratoriums ist zusätzlich die Schrift DKD-7 (deutsche Übersetzung von EA-4/03 bzw. EAL-R3) zu beachten.

## 12 Ergebnisse

12.1 Bei Ausstellung des Kalibrierscheins, der die Ergebnisse der Messungen enthält, soll darauf geachtet werden, dass er für den Benutzer leicht verständlich ist, um die Möglichkeit von Missbrauch und Missverständnissen auszuschließen.

12.2 Der Kalibrierschein muss die Anforderungen der Schrift DAkkS-DKD-5<sup>9</sup> [8] erfüllen.

Die technischen Angaben sollen folgendes einschließen:

- (a) eine eindeutige Identifizierung der gemessenen Gegenstände, einschließlich des Thermoelementes (der Thermoelemente), aller Ausgleichs- oder Thermoleitungen, besonders wenn es sich um separate Gegenstände handelt, sowie aller anderen Geräte (z.B. digitale Anzeigergeräte), die Teil des gesamten gemessenen Systems sind
- (b) den von der Kalibrierung abgedeckten Temperaturbereich
- (c) Angabe jeder Wärmebehandlung, die vor der Kalibrierung durchgeführt wurde
- (d) die Eintauchtiefe des Messfühlers, nach Absprache mit dem Kunden auch zusammen<sup>10</sup> mit einem Temperaturprofil der bei der Kalibrierung benutzten Temperiereinrichtung(en)
- (e) das angewendete Messverfahren (z. B. Fixpunkte, Vergleich mit Normalmessfühler(n), ansteigende oder fallende Kalibriertemperaturen)
- (f) alle wichtigen Umgebungsbedingungen
- (g) jede Norm oder andere Spezifikation, die für das angewendete Verfahren von Bedeutung ist
- (h) eine Angabe der zu den Ergebnissen gehörenden Messunsicherheit.

## 13 Messunsicherheit bei der Kalibrierung

13.1 Messunsicherheiten sind gemäß der Schrift DAkkS-DKD-3 „Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen“<sup>11</sup> [9] zu berechnen. Im Anhang wird das Beispiel einer Kalibrierung mit wesentlichen Quellen der Unsicherheit angegeben.

<sup>9</sup> Im Originaltext ist hier EAL-R1 angegeben. DAkkS-DKD-5 ist die deutsche Umsetzung von EA-4/01 (frühere Bezeichnung: EAL-R1).

<sup>10</sup> Die Formulierung „nach Absprache mit dem Kunden auch zusammen“ wurde der Klarheit halber gewählt. Im Originaltext steht stattdessen „possibly together“.

<sup>11</sup> Im Originaltext steht hier EAL-R2. DAkkS-DKD-3 ist die deutsche Übersetzung von EA-4/02 (EAL-R2).

## 14 Literatur

- 1 American Society For Testing And Materials: *Manual on the use of thermocouples in temperature measurement*. ASTM Special Technical Publication 470 A. Philadelphia
- 2 Quinn, T.J.: *Temperature*. Academic Press: London 1990
- 3 Nicholas, J V ; White, D R : *Traceable Temperatures*. John Wiley & Sons Ltd: Chichester, England, 1994
- 4 BIPM : *Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990*. 1990
- 5 Burns, G.W.; et al : *Temperature-Electromotive Forces Reference Functions and Tables for the Letter-designated Thermocouple Types Based on the ITS-90, NIST Monograph 175*, US Dept of Commerce, 1993
- 6 DIN EN 60584-1 : 1996-10. *Thermopaare, Teil 1: Grundwerte der Thermospannungen*<sup>12</sup>
- 7 DIN 43 722 : 1994-04 (IEC 584-3: 1989). *Thermopaare, Teil 3: Thermoleitungen und Ausgleichsleitungen - Grenzabweichungen und Kennzeichnungssystem*<sup>13</sup>
- 8 DAkkS-DKD-5 (Ausgabe 1999): „*Anleitung zum Erstellen eines DKD-Kalibrierscheines*“. Deutsche Umsetzung von EA-4/01 (EAL-R1) : 1995. *Requirements Concerning Certificates Issued by Accredited Calibration Laboratories*<sup>14</sup>
- 9 DAkkS-DKD-3 (Ausgabe 1998): *Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen*“. Deutsche Übersetzung von EA-4/02 (EAL-R2) : 1997. *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*<sup>15</sup>
- 10 DAkkS-DKD-3-E1 (Ausgabe 1998): *Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, Ergänzung 1, Beispiele*“. Deutsche Übersetzung von EA-4/02-S1 (EAL-R2-S1) : 1997. *Supplement 1 to EAL-R2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Examples*<sup>16</sup>

<sup>12</sup> Im Originaltext steht hier IEC 584-1: 1995 (EN 60584-1: 1996).

<sup>13</sup> Im Originaltext steht hier IEC 584-3: 1989.

<sup>14</sup> Im Originaltext steht hier EAL-R1: 1995.

<sup>15</sup> Im Originaltext steht hier EAL-R2: 1997.

<sup>16</sup> Im Originaltext ist dieser Literaturhinweis nicht enthalten.

## Anhang A

### Beispiel eines Messunsicherheitsbudgets<sup>17</sup>

#### A1 Kalibrierung eines Thermoelementes vom Typ N bei 1000 °C

A1.1 Ein Thermoelement vom Typ N wird durch Vergleich mit zwei Bezugsthermoelementen vom Typ R in einem horizontalen Ofen bei einer Temperatur von 1000 °C kalibriert. Die von den Thermoelementen erzeugte EMK werden mit einem Digitalvoltmeter über einen Messstellenumschalter/Polwender gemessen. Alle Thermoelemente haben ihre Vergleichsstellen bei 0 °C. Das zu kalibrierende Thermoelement ist unter Verwendung von Ausgleichsleitungen mit der Vergleichsstelle verbunden.

A1.2 Die Temperatur der Messstelle des zu kalibrierenden Thermoelementes beträgt

$$\begin{aligned}
 t_X &= t_S \left( V_{IS} + \delta V_{IS1} + \delta V_{IS2} + \delta V_R - \frac{\delta t_{0S}}{C_{S0}} \right) + \delta t_S + \delta t_D + \delta t_F \\
 &\cong t_S(V_{IS}) + C_S \cdot \delta V_{IS1} + C_S \cdot \delta V_{IS2} + C_S \cdot \delta V_R - \frac{C_S}{C_{S0}} \delta t_{0S} + \delta t_S + \delta t_D + \delta t_F
 \end{aligned}
 \tag{A1.1}$$

Die Spannung an den Drähten des zu kalibrierenden Thermoelementes beträgt während der Kalibrierung:

$$V_X(t) \cong V_X(t_X) + \frac{\Delta t}{C_X} - \frac{\delta t_{0X}}{C_{X0}} = V_{IX} + \delta V_{IX1} + \delta V_{IX2} + \delta V_R + \delta V_{LX} + \delta V_{HX} + \frac{\Delta t}{C_X} - \frac{\delta t_{0X}}{C_{X0}} \tag{A1.2}$$

wobei die Vergleichsstelle bei 0 °C liegt.

Dabei ist:

$t_S(V)$	Temperatur des Bezugsthermometers bezogen auf die Spannung (Vergleichsstelle bei 0 °C). Der funktionelle Zusammenhang wird im Kalibrierschein (z. B. als Tabelle oder Kennlinie in analytischer Form) angegeben;
$\delta t_S$	Temperaturkorrektur aufgrund der Kalibrierung der Bezugsnormale;
$V_{IS}, V_{IX}$	vom Digitalvoltmeter angezeigte Spannungen;
$\delta V_{IS1}, \delta V_{IX1}$	Spannungskorrekturen aufgrund der Kalibrierung des Voltmeters;
$\delta V_{IS2}, \delta V_{IX2}$	Spannungskorrekturen aufgrund der Auflösung des Voltmeters;
$\delta V_R$	Spannungskorrekturen aufgrund parasitärer Thermospannungen des Polwenders;
$\delta t_{0S}, \delta t_{0X}$	Temperaturkorrekturen aufgrund der Vergleichsstellentemperatur;
$C_S, C_X$	Empfindlichkeit der Thermopaare bei der Messtemperatur (1000 °C);
$C_{S0}, C_{X0}$	Empfindlichkeit der Thermopaare bei der Vergleichsstellentemperatur (0 °C);

<sup>17</sup> Das Beispiel wurde korrigiert und in der Darstellungsform aktualisiert. Es stimmt daher nicht wörtlich mit den entsprechenden Beispielen in EA-10/08 und EA-4/02-S1 Abschnitt S5 [10] überein.

$\delta t_D$	Drift der Bezugsthermometer seit der letzten Kalibrierung;
$\delta t_F$	Temperaturkorrektur aufgrund der Temperaturverteilung des Ofens;
$t$	Temperatur, bei der das Thermoelement (Kalibriergegenstand) zu kalibrieren ist (Kalibrierpunkt);
$\Delta t = t - t_X$	Abweichung der Temperatur am Kalibrierpunkt von der Temperatur des Ofens;
$\delta V_{LX}$	Spannungskorrektur aufgrund der Ausgleichsleitungen;
$\delta V_{HX}$	Spannungskorrektur aufgrund der unvollständigen Homogenität der Thermodrähte.

- A1.3 Die Messgröße ist die EMK des zu kalibrierenden Thermoelementes bei der Temperatur seiner Messstelle. Da der Messvorgang aus zwei Schritten besteht – Bestimmung der Ofentemperatur und Bestimmung der EMK des zu kalibrierenden Thermoelementes –, besteht die Bestimmung des Messwertes und der beigeordneten Messunsicherheit aus zwei Teilen.
- A1.4 **Bezugsnormale ( $t_s(V)$ ,  $\delta t_s$ ):** Mit Hilfe der Kalibrierscheine der Bezugsthermoelemente vom Typ R wird aus den gemessenen Thermospannungen die Temperatur berechnet. Die erweiterte Messunsicherheit bei 1000 °C beträgt  $U = 0,5$  K (Erweiterungsfaktor  $k = 2$ ).
- A1.5 **Drift der Bezugsnormale ( $\delta t_b$ ):** Aus den früheren Kalibrierungen wird eine unbekannte Drift der Bezugsnormale innerhalb der Grenzen von  $\pm 0,3$  K geschätzt.
- A1.6 **Empfindlichkeit ( $C_s$ ,  $C_x$ ,  $C_{s0}$ ,  $C_{x0}$ ):** Die Empfindlichkeit (Seebeck-Koeffizient) der Bezugsthermopaare und der zu kalibrierenden Thermopaare wurde den jeweiligen Tabellen mit den Grundwerten für Thermospannungen entnommen.

	1000 °C	0 °C
Bezugsthermopaar	$C_s = 0,077$ K/ $\mu$ V	$C_{s0} = 0,189$ K/ $\mu$ V
unbekanntes Thermopaar	$C_x = 0,026$ K/ $\mu$ V	$C_{x0} = 0,039$ K/ $\mu$ V

- A1.7 **Kalibrierung des Digitalvoltmeters ( $\delta V_{is1}$ ,  $\delta V_{ix1}$ ):** Es wird ein 4½-stelliges Digitalvoltmeter verwendet, das zuvor kalibriert worden war. Die bei der Kalibrierung ermittelten Korrekturen werden bei den Messungen berücksichtigt. Im Kalibrierschein ist den Spannungen unter 50 mV die gleiche erweiterte Messunsicherheit von  $U = 2,0$   $\mu$ V (Erweiterungsfaktor  $k = 2$ ) beigeordnet.
- A1.8 **Auflösung des Digitalvoltmeters ( $\delta V_{is2}$ ,  $\delta V_{ix2}$ ):** Das 4½-stellige Digitalvoltmeter wird im 10 mV-Bereich verwendet, so dass die unbekanntes Abweichungen aufgrund der endlichen digitalen Auflösung innerhalb  $\pm 0,5$   $\mu$ V liegen.
- A1.9 **Störspannungen ( $\delta V_R$ ):** Offsetspannungen, die ihre Ursache in den nicht vollkommenen Kontaktverbindungen des Messstellenumschalters haben, werden innerhalb  $\pm 2$   $\mu$ V zu Null geschätzt.



- A1.10 **Vergleichsstellentemperaturen** ( $\delta t_{0S}$ ,  $\delta t_{0X}$ ): Die Temperatur der Vergleichsstelle betrug für jedes Thermoelement  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wobei unbekannte Abweichungen innerhalb von  $\pm 0,1\text{ K}$  geschätzt werden.
- A1.11 **Temperaturinhomogenitäten** ( $\delta t_F$ ): Die Temperaturgradienten innerhalb des Ofens sind gemessen worden. Bei  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist die Temperatur im Messvolumen innerhalb von  $\pm 1\text{ K}$  konstant.
- A1.12 **Ausgleichsleitungen** ( $\delta V_{LX}$ ): Die Ausgleichsleitungen wurden im Bereich von  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  geprüft. Unbekannte Spannungsunterschiede zwischen den Leitungen und den Thermopaardrähten aufgrund einer nicht vollkommenen Anpassung werden innerhalb von  $\pm 5\text{ }\mu\text{V}$  geschätzt.
- A1.13 **Inhomogenitäten** ( $\delta V_{HX}$ ): Das Thermoelement wurde mit einer beweglichen Heizquelle geprüft. Unbekannte Spannungsunterschiede aufgrund von Inhomogenitäten der Thermodrähte werden innerhalb von  $\pm 4\text{ }\mu\text{V}$  geschätzt.
- A1.14 **Beobachtungen** ( $V_{is}$ ,  $V_{ix}$ ): Die Anzeigen des Digitalvoltmeters werden in dem nachstehend beschriebenen Messzyklus aufgezeichnet, bei dem sich vier Anzeigen für jedes Thermoelement ergeben und Auswirkungen der Temperaturdrift in der Temperiereinrichtung und Störthermospannungen im Messkreis weitgehend unterdrückt werden:
1. Zyklus:
1. Normal, zu kalibrierendes Thermoelement, 2. Normal, 2. Normal, zu kalibrierendes Thermoelement, 1. Normal

Umkehrung der Polarität

2. Zyklus:

1. Normal, zu kalibrierendes Thermoelement, 2. Normal, 2. Normal, zu kalibrierendes Thermoelement, 1. Normal

Der zwischen den beiden Bezugsnormalen beobachtete Spannungsunterschied darf nicht größer als  $\pm 0,3\text{ K}$  sein. Liegt der Unterschied nicht innerhalb dieser Grenzen, müssen die Beobachtungen wiederholt und/oder die Gründe für die festgestellten großen Differenzen eingehender untersucht werden.

Thermoelement	1. Bezugsnormal	zu kalibrierendes Thermoelement	2. Bezugsnormal
<b>Angezeigte Spannung, korrigiert</b>	+10500 $\mu\text{V}$	+36245 $\mu\text{V}$	+10503 $\mu\text{V}$
	+10503 $\mu\text{V}$	+36248 $\mu\text{V}$	+10503 $\mu\text{V}$
	-10503 $\mu\text{V}$	-36248 $\mu\text{V}$	-10505 $\mu\text{V}$
	-10504 $\mu\text{V}$	-36251 $\mu\text{V}$	-10505 $\mu\text{V}$
<b>Mittlere Spannung</b>	10502,5 $\mu\text{V}$	36248 $\mu\text{V}$	10504 $\mu\text{V}$
<b>Temperatur der Messstelle</b>	1000,4 $^{\circ}\text{C}$		1000,6 $^{\circ}\text{C}$
<b>Temperatur des Ofens</b>		1000,5 $^{\circ}\text{C}$	

A1.15 Aus den vier Ablesungen eines jeden Thermoelementes wird der arithmetische Mittelwert der Spannungen für jedes Thermoelement berechnet. Die Mittelwerte der Spannungen der Bezugsthermoelemente werden mit Hilfe der Temperatur/Spannungsgleichungen, die in den Kalibrierscheinen angegeben sind, in Temperaturen umgerechnet. Durch Mittelung werden sie zu einer Ofentemperatur am Einbauort des zu kalibrierenden Thermoelementes zusammengefasst. In der gleichen Weise wird der Mittelwert der Spannungen des zu kalibrierenden Thermoelementes gebildet und verwendet. Um die diesen Messwerten beizuordnende Messunsicherheit zu bestimmen, wurde zuvor eine Reihe von zehn Messungen bei derselben Betriebstemperatur durchgeführt; sie lieferten zusammengefasste Schätzwerte für die Standardabweichung der Ofentemperatur und der Spannung der zu kalibrierenden Thermoelemente.

Es ergeben sich folgende Standardmessunsicherheiten:

zusammengefasster Schätzwert  
der Standardabweichung:

$$s_p(t_S) = 0,10 \text{ K}$$

Standardunsicherheit:

$$u(t_S) = \frac{s_p(t_S)}{\sqrt{1}} = 0,10 \text{ K}$$

zusammengefasster Schätzwert  
der Standardabweichung:

$$s_p(V_{iX}) = 1,6 \mu\text{V}$$

Standardunsicherheit:

$$u(V_{iX}) = \frac{s_p(V_{iX})}{\sqrt{1}} = 1,6 \mu\text{V}$$

**A1.16 Messunsicherheitsbudget ( $t_x$ , Temperatur des Ofens)**

Größe $X_i$	Schätzwert $x_i$	Standardmessunsicherheit $u(x_i)$	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Sensitivitätskoeffizient $c_i$	Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$
$t_S$	1000,5 °C	0,10 K	normal	1,0	0,10 K
$\delta V_{IS1}$	0 $\mu$ V	1,00 $\mu$ V	normal	0,077 K/ $\mu$ V	0,077 K
$\delta V_{IS2}$	0 $\mu$ V	0,29 $\mu$ V	rechteckig	0,077 K/ $\mu$ V	0,022 K
$\delta V_R$	0 $\mu$ V	1,15 $\mu$ V	rechteckig	0,077 K/ $\mu$ V	0,089 K
$\delta t_{0S}$	0 K	0,058 K	rechteckig	-0,407	-0,024 K
$\delta t_S$	0 K	0,25 K	normal	1,0	0,25 K
$\delta t_D$	0 K	0,173 K	rechteckig	1,0	0,173 K
$\delta t_F$	0 K	0,577 K	rechteckig	1,0	0,577 K
$t_x$	1000,5 °C				0,671 K

**A1.17 Messunsicherheitsbudget ( $V_x$ , EMK des zu kalibrierenden Thermoelementes)**

Größe $X_i$	Schätzwert $x_i$	Standardmessunsicherheit $u(x_i)$	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Sensitivitätskoeffizient $c_i$	Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$
$V_{IX}$	36 248 $\mu$ V	1,60 $\mu$ V	normal	1,0	1,60 $\mu$ V
$\delta V_{IX1}$	0 $\mu$ V	1,00 $\mu$ V	normal	1,0	1,00 $\mu$ V
$\delta V_{IX2}$	0 $\mu$ V	0,29 $\mu$ V	rechteckig	1,0	0,29 $\mu$ V
$\delta V_R$	0 $\mu$ V	1,15 $\mu$ V	rechteckig	1,0	1,15 $\mu$ V
$\delta V_{LX}$	0 $\mu$ V	2,9 $\mu$ V	rechteckig	1,0	2,9 $\mu$ V
$\delta V_{HX}$	0 $\mu$ V	4,00 $\mu$ V	rechteckig	1,0	4,0 $\mu$ V
$\Delta t$	-0,5 K	0,671 K	normal	38,5 $\mu$ V/K	25,8 $\mu$ V
$\delta t_{0X}$	0 K	0,058 K	rechteckig	-25,6 $\mu$ V/K	-1,48 $\mu$ V
$V_x$	36 229 $\mu$ V				26,4 $\mu$ V

	Kalibrieren von Thermoelementen <a href="https://doi.org/10.7795/550.20180828AD">https://doi.org/10.7795/550.20180828AD</a>	DKD-R 5-3	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	20/20

#### A1.18 **Erweiterte Messunsicherheiten**

Die dem Wert der Ofentemperatur beigeordnete erweiterte Messunsicherheit beträgt

$$U = k \cdot u(t_x) = 2 \cdot 0,671 \text{ K} \cong 1,4 \text{ K}$$

Die dem Wert der EMK des zu kalibrierenden Thermoelementes beigeordnete erweiterte Messunsicherheit beträgt

$$U = k \cdot u(V_x) = 2 \cdot 26,4 \text{ } \mu\text{V} \cong 53 \text{ } \mu\text{V}$$

#### A1.19 **Vollständiges Messergebnis**

Bei einer Temperatur von 1000,0 °C und einer Temperatur der Vergleichsstelle von 0 °C weist das Thermoelement vom Typ N eine EMK von 36 229  $\mu\text{V} \pm 53 \text{ } \mu\text{V}$  auf.

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor  $k = 2$  ergibt. Sie wurde gemäß DAkkS-DKD-3 ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Werteintervall<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Dieses ist der für akkreditierte Kalibrierlaboratorien vorgesehene Text (s. DAkkS-DKD-5 [8]). Der Originaltext von EA-10/08 lautet: The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor  $k = 2$ , which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %.