

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



DKD


**Richtlinie
DKD-R 5-5**

**Kalibrierung von
Temperaturanzeigegeräten und
-simulatoren durch elektrische
Simulation und Messung**

Ausgabe 09/2018

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



	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	2/19

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

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	3/19

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Richtlinie DKD-R 5-5, Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung, Ausgabe 09/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.

DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20180828AF>

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.




Deutsche Fassung der Publikation EA-10/11, Edition 1, February 2000 “Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement”

Autoren der deutschen Fassung:

DKD-Geschäftsstelle und Mitglieder des Fachausschusses *Temperatur und Feuchte* des DKD in der Zeit von 2002 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.

	Kalibrierung von Temperaturanzeigegeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	4/19

Deutsche Fassung der Publikation EA-10/11, Edition 1, February 2000 “Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement”

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Vorwort	5
Zweck	5
1 Geltungsbereich	6
2 Terminologie	6
3 Kalibrierprinzipien	8
4 Kalibrieranforderungen	8
5 Messunsicherheit	13
6 Angabe der Ergebnisse	13
Anhang A	
A1 Messverfahren	15
A2 Messergebnisse	15
A3 Modell der Auswertung	15
A4 Messunsicherheitsbeiträge	18
A5 Messunsicherheitsbudget	19
A6 Angabe des Kalibrierergebnisses	19

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	5/19

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 dafürsprechen.

Die vorliegende Richtlinie ist die deutsche Fassung der im Jahr 2000 erschienenen Publikation EA-10/11 "Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement". Bei den Normenzitaten wurden in der deutschen Fassung die entsprechenden DIN-Normen genannt oder ergänzt. Zitate von EA-Publikationen wurden durch Zitate von DKD-Schriften ersetzt, welche die Übersetzung oder Umsetzung der jeweiligen EA-Publikation darstellen. Die deutsche Fassung wurde vom Fachausschuss *Temperatur und Feuchte* in Zusammenarbeit mit der PTB und akkreditierten Kalibrierlaboratorien bereits 2002 erstellt.

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

Ausgabe: 02/2002, veröffentlicht vom DKD


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

Zweck

Dieses Dokument wurde von der EA erstellt und soll Ratschläge zur Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten¹ und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung geben. Es soll die Verwendung von in sich abgestimmten Verfahren fördern und stellt die einheitliche Meinung der EA-Mitglieder dar. Die gewählten Ansätze sollen den Akkreditierungsstellen und den akkreditierten Laboratorien als Leitfaden dienen. Dieses Dokument wurde von der Generalversammlung der EA im November 1999 genehmigt.

Februar 2000

¹ Das englische Wort „indicator“ wurde im Deutschen mit „Anzeigergerät“ übersetzt

	Kalibrierung von Temperaturanzeigeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	6/19


1 Geltungsbereich

- 1.1 Diese Richtlinie gilt für die Kalibrierung von Temperaturanzeigeräten und Temperatursimulatoren durch elektrische Simulation und Messung, und zwar für Temperaturanzeigeräte und Temperatursimulatoren, die zur Verwendung mit Widerstandsthermometern oder genormten Thermoelementen gedacht sind, und von Simulatoren, die die elektrischen Ausgangsgrößen von Widerstandsthermometern oder genormten Thermoelementen nachbilden. Anzeigeräte und Simulatoren für Thermoelemente können mit oder ohne Vergleichsstellenkompensation ausgeführt sein.
- 1.2 Unter normalen Einsatzbedingungen werden Temperaturanzeigeräte zusammen mit einem Temperaturlaufnehmer zur Temperaturmessung verwendet. Die Kalibrierung durch elektrische Simulation, wie sie in diesem Dokument beschrieben wird, bestätigt nur die Genauigkeit des Temperaturanzeigerätes selbst. Sie berücksichtigt nicht die messtechnische Leistungsfähigkeit eines beliebigen Temperaturlaufnehmers, der danach zusammen mit dem Anzeigerät verwendet wird.


Um rückgeführte Messungen durchzuführen, muss der Benutzer sicherstellen, dass sowohl das Anzeigerät als auch der Aufnehmer entweder einzeln oder als System kalibriert wurden. Ebenso müssen neben den Temperatursimulatoren, deren elektrische Kalibrierung in diesem Dokument beschrieben wird, auch alle Thermoelemente, die zusammen mit einem Temperatursimulator verwendet werden, über einen entsprechenden Temperaturbereich kalibriert werden, bevor sie zum Anschluss des Simulators an zu prüfende Geräte verwendet werden.

2 Terminologie

- 2.1 Die in diesem Dokument verwendeten allgemeinen messtechnischen Begriffe stammen aus dem Internationalen Wörterbuch der Metrologie (zweite Auflage, 1994 ISBN 3-410-13086-1 Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.).
- 2.2 Simulation: Simulation ist hier der Vorgang, bei dem ein Temperaturlaufnehmer (Thermoelement oder Widerstandsthermometer) zwecks Kalibrierung eines Temperaturanzeigerätes durch ein gleichwertiges elektrisches Gerät ersetzt wird.
- 2.3 Temperaturanzeigerät: Ein Gerät, das gewöhnlich zusammen mit einem Temperaturlaufnehmer zur Temperaturmessung eingesetzt wird. Das Gerät zeigt einen Wert in Temperatureinheiten an, der von der Messung eines temperaturabhängigen Eingangsparameters, wie z. B. elektrischer Widerstand oder thermoelektrische Spannung (kurz: Thermospannung), abgeleitet wird. Die Umrechnung des elektrischen Parameters in Temperatureinheiten basiert im Normalfall auf der Grundlage von genormten Grundwerttabellen.
- 2.4 Temperatursimulator: Ein Geber für elektrische Signale, dessen Ausgangsgröße - bei einer gegebenen Einstellung - mit der Ausgangsgröße eines Temperaturlaufnehmers bei der Temperatur übereinstimmt, die am Simulator eingestellt ist. Die Einstellung des Temperatursimulators wird gewöhnlich in Temperatureinheiten angegeben. Ein einzelner Temperatursimulator kann in der Lage sein, die Ausgangsgrößen verschiedener Bauarten von Temperaturlaufnehmern zu simulieren. Der Zusammenhang zwischen der Einstellung des Simulators und seiner elektrischen Ausgangsgröße wird gewöhnlich genormten Grundwerttabellen entnommen. Temperatursimulatoren ermöglichen oft auch eine direkte Einstellung von elektrischen Ausgangssignalen.

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	7/19

- 2.5 Genormte Grundwerttabellen: Genormte Grundwerttabellen liefern für bestimmte Thermoelemente und Widerstandsthermometer Tabellenwerte bzw. Polynome zur Umrechnung von Spannung oder Widerstand in die entsprechende Temperatur und umgekehrt.
- 2.6 Widerstandsthermometer: Ein temperaturempfindlicher Widerstand mit einer bekannten funktionalen Beziehung zwischen seinem Widerstand und der gemessenen Temperatur. Ein allgemein gebräuchlicher Typ eines Widerstandsthermometers ist das Platin-Widerstandsthermometer mit einem Nenn-Widerstandswert von 100 Ω bei 0 °C (DIN EN 60751: 1996).
- 2.7 Zweileiter-Widerstandsmessung: Eine Widerstandsmessung, bei der der Widerstand mit zwei Leitungen an das Widerstandsmessgerät angeschlossen wird. Die Anzeige des Messgerätes schließt den Widerstand der Anschlussleitungen und Kontaktwiderstände ein.
- 2.8 Dreileiter-Widerstandsmessung: Eine Widerstandsmessmethode, bei der der Widerstand unter Verwendung von drei Leitungen an das Widerstandsmessgerät angeschlossen wird. Das Gerät hat drei Messklemmen, von denen zwei an einem gemeinsamen Punkt des gemessenen Widerstandes angeschlossen werden. Diese Methode wird eingesetzt, um den Zuleitungswiderstand zu kompensieren.
- 2.9 Vierleiter-Widerstandsmessung: Eine Widerstandsmessmethode, bei der vier Leitungen zum Anschluss des Widerstandes an das Messgerät verwendet werden. Das Gerät verfügt über zwei Klemmenpaare; ein Paar (Stromklemmen genannt) liefert den Messstrom, während das andere Paar (Spannungsklemmen genannt) den Spannungsabfall am Widerstand misst. Die Anzeige des Messgerätes wird durch die Anschlusspunkte der Leitungen an den Spannungsklemmen am Widerstand bestimmt. Die Einflüsse von Zuleitungs- und Kontaktwiderständen werden bei dieser Messung eliminiert.
- 2.10 Thermoelemente (DIN EN 60 584-1: 1996): Ein Leiterpaar aus unterschiedlichen Materialien, das an einem Ende verbunden und Teil einer Anordnung ist, bei der der thermoelektrische Effekt zur Temperaturmessung benutzt wird.
- 2.11 Thermoelektrischer Effekt (Seebeck-Effekt) (DIN EN 60584-1: 1996): Die Erzeugung einer Thermospannung (E) auf Grund des Temperaturunterschiedes zwischen zwei Verbindungen aus verschiedenen Metallen oder Legierungen, die Teil desselben Stromkreises sind.
- 2.12 Ausgleichsleitungen (IEC 60584-3: 1989 und DIN 43722: 1994): Ausgleichsleitungen werden aus Drähten hergestellt, deren Zusammensetzung sich von den entsprechenden Thermoelementen unterscheidet, die jedoch ähnliche thermoelektrische Eigenschaften haben.
- 2.13 Thermoleitungen (IEC 60584-3: 1989 und DIN 43722: 1994): Thermoleitungen werden aus Drähten hergestellt, die die gleiche nominelle Zusammensetzung haben wie das entsprechende Thermoelement.
- 2.14 Messstelle (DIN EN 60584-1: 1996): Die Verbindung, die der zu messenden Temperatur ausgesetzt wird.
- 2.15 Vergleichsstelle (DIN EN 60584-1: 1996): Die Verbindungsstelle des Thermoelementes, an der eine bekannte Temperatur (Bezugstemperatur) herrscht, mit der die Mess-temperatur verglichen wird.

	Kalibrierung von Temperaturanzeigeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	8/19

- 2.16 Eispunkt: Die Temperatur, die bei Gleichgewicht zwischen Eis und Wasser (0 °C) realisiert wird. Diese Temperatur kann durch Anwendung geeigneter Verfahren (Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990) innerhalb von ±5 mK realisiert werden.

3 Kalibrierprinzipien

3.1 Kalibrierung des Temperaturanzeigerätes

- 3.1.1 Ein Temperaturanzeigerät wandelt das von einem Aufnehmer empfangene elektrische Signal in eine entsprechende Anzeige in Temperatureinheiten um. Bei der Kalibrierung wird das Ausgangssignal des Temperaturlaufnehmers durch ein entsprechendes elektrisches Signal simuliert.
- 3.1.2 Beim Kalibrierverfahren nimmt eine kalibrierte elektrische Quelle die Stelle des Temperaturlaufnehmers ein. Unter Verwendung von genormten Grundwerttabellen wird die elektrische Ausgangsgröße des Temperaturlaufnehmers am gewünschten Kalibrierpunkt bestimmt, und die Ausgangsgröße der elektrischen Quelle wird auf diesen Wert eingestellt. Dieses elektrische Signal wird an das Temperaturanzeigerät angelegt; die Anzeige des Gerätes wird mit der simulierten Eingangstemperatur verglichen und die Abweichung der Anzeige des Gerätes bestimmt.

3.2 Kalibrierung des Temperatursimulators


- 3.2.1 Ein Temperatursimulator wandelt seine in Temperatureinheiten eingegebene Einstellung in ein elektrisches Signal um, das dem Signal entspricht, das ein genormter Aufnehmer bei derselben Temperatur wie der eingestellten Temperatur erzeugt. Das Kalibrierprinzip basiert auf der Überprüfung dieses Umwandlungsprozesses durch direkte Messung des vom Simulator erzeugten elektrischen Signals. Diese Umwandlung erfolgt in Übereinstimmung mit entsprechenden genormten Grundwerttabellen.
- 3.2.2 Bei dem Kalibrierverfahren wird der Simulator auf den gewünschten Kalibrierpunkt eingestellt. Die bei dieser Einstellung vom Simulator erzeugte elektrische Ausgangsgröße wird mit einem kalibrierten elektrischen Messgerät gemessen. Der Messwert wird mit Hilfe genormter Grundwerttabellen in die entsprechende Temperatur umgerechnet, und die Abweichung der Simulatoreinstellung wird bestimmt.

3.3 Vergleichsstellenkompensation

- 3.3.1 Die von Anzeigerät oder Simulator durchgeführte Umwandlung wird mit genormten Grundwerttabellen für Temperatur - Thermospannung oder Temperatur - Widerstand verglichen. Grundwerttabellen für Standardtypen von Thermoelementen werden auf eine Vergleichsstellentemperatur von 0 °C bezogen. Um dies zu berücksichtigen, sind Anzeigeräte und Simulatoren oft mit einer Vorrichtung zur Vergleichsstellenkompensation ausgestattet. Zur Kalibrierung von Anzeigeräten oder Simulatoren, die mit einer Vorrichtung zur Vergleichsstellenkompensation ausgerüstet sind, werden zusätzlich zu der elektrischen Ausrüstung eine Vergleichsstelle und Thermodrähte verwendet.

4 Kalibrieranforderungen


Die Kalibrieranforderungen hängen von der Art des zu kalibrierenden Anzeigerätes oder Simulators ab. Weitere Hinweise werden in der nachfolgenden Tabelle, den Abbildungen und den folgenden Abschnitten gegeben. Für jede Funktion (Anzeigen und Simulieren) und für

	Kalibrierung von Temperaturanzeigeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	9/19

jeden möglichen Aufnehmer und die gewählten Anordnungen sind in der folgenden Tabelle die üblicherweise verwendeten Bezugsnormale, die Messanordnungen und die entsprechenden technischen Anforderungen aufgeführt. Obwohl die unten genannten Kalibriermethoden geeignet sind, darf die Liste nicht als vollständig angesehen werden. Es können andere Methoden angewendet werden, vorausgesetzt, sie haben sich vom messtechnischen Standpunkt aus als zuverlässig erwiesen.

Gerätetyp	Aufnehmertyp	Bezugsnormal	Messanordnung	siehe Absatz
Anzeigegerät	Widerstandsthermometer	Normalwiderstände oder Widerstandsdekade	siehe Abb. 1	4.1, 4.2 und 4.3
Anzeigegerät	Thermoelement (Vergleichsstellenkompensation aus)	mV-Gleichspannungsquelle	siehe Abb. 2	4.1, 4.3 und 4.9
Anzeigegerät	Thermoelement (Vergleichsstellenkompensation an)	mV-Gleichspannungsquelle Bezugsthermoelement Eispunktbezug	siehe Abb. 3	4.1, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8 und 4.9
Simulator	Widerstandsthermometer	Widerstandsmessgerät	siehe Abb. 4	4.1, 4.3 und 4.7
Simulator	Thermoelement (Vergleichsstellenkompensation aus)	mV-Gleichspannungsmessgerät	siehe Abb. 5	4.1, 4.3 und 4.9
Simulator	Thermoelement (Vergleichsstellenkompensation an)	mV-Gleichspannungsmessgerät Bezugsthermoelement Eispunktbezug	siehe Abb. 6	4.1, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8 und 4.9

- 4.1 Die bei diesen Kalibrierungen verwendeten Bezugsnormale müssen kalibriert und im Hinblick auf die Auswirkungen von Einflussgrößen über den anwendbaren Messbereich charakterisiert werden.
- 4.2 Welche Methode zum Anschluss des Bezugswiderstands an das Anzeigegerät verwendet wird hängt davon ab, ob das Anzeigegerät mit einem Zwei-, Drei- oder Vierleiter-Platinwiderstandsfühler verwendet werden soll. Abb. 1 zeigt den Fall, wo das Anzeigegerät und der Bezugswiderstand vier Klemmen haben. Effekte von Zuleitungen und Einflüsse von Umgebungsbedingungen sollen entweder korrigiert oder/und in das Unsicherheitsbudget mit einbezogen werden.
- 4.3 Zur Herstellung von Verbindungen müssen qualitativ gute Kupferkabel verwendet werden.
- 4.4 Eine genaue Vergleichsstellentemperatur kann auf verschiedene Weise realisiert werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Vergleichsstelle des Thermoelementes in einer Umgebung mit einer sehr stabilen und gut definierten Temperatur anzuordnen. Ein physikalischer Eispunkt, der nach der Methode hergestellt wird, die in "Techniques for

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	10/19

Approximating the International Temperature Scale of 1990" vorgeschlagen ist, wird zum Beispiel eine konstante Temperatur von 0 °C mit einer typischen Standardunsicherheit von 3 mK liefern.

Alternativ kann auch ein großer, gut isolierter Kupferblock bei Umgebungstemperatur benutzt werden unter der Voraussetzung, dass die Temperatur des Blocks mit einem externen Normalthermometer gemessen wird. Eine Alternative zu einer physikalisch realisierten Bezugstemperatur ist die Verwendung einer automatischen Vergleichstellenvorrichtung, bei der es sich um eine elektronische Kompensationsschaltung handelt. Ein derartiges Gerät muss selbstverständlich vor seiner Verwendung selbst kalibriert werden.

- 4.5 Thermodrähte oder Thermoleitungen (die Verwendung von Ausgleichsleitungen anstelle von Thermodrähten oder Thermoleitungen soll vermieden werden) werden verwendet, um das Anzeigergerät oder den Simulator an die äußere Vergleichsstelle anzuschließen. Die Leitungen oder Drähte müssen über einen angemessenen Temperaturbereich nahe der normalen Laboratoriumstemperatur kalibriert werden, und die Korrekturen an diesen Elementen werden im Messvorgang oder in der Schätzung der Unsicherheit berücksichtigt. Die Wahl der Thermodrähte oder Thermoleitungen hängt von der Art des betreffenden Thermoelementes ab. Eine Methode zur Kalibrierung von Thermodrähten (oder Thermoleitungen) besteht darin, ein Thermoelement mit diesen Drähten herzustellen und mit normalen, akkreditierten Verfahren zu kalibrieren. Während der anschließenden Kalibrierung eines Temperaturanzeigergerätes und -simulators werden die Thermodrähte über einen begrenzten Temperaturbereich (von 0 °C bis zur Temperatur der Klemmen) eingesetzt. Die Kalibrierung der Thermoelemente soll also über diesen Temperaturbereich erfolgen.
- 4.6 Die richtige Polarität der Thermoelementverbindungen soll beachtet werden.
- 4.7 Welche Methode für den Anschluss des Widerstandsmessgerätes an den Simulator verwendet wird hängt davon ab, ob der Simulatoreingang für die Simulation von Zwei-, Drei- oder Vierleiter-Platinwiderstandsfühlern ausgelegt ist. Abb. 4 zeigt den Fall, wo Simulator und Widerstandsmessgerät jeweils Geräte mit vier Klemmen sind.
- 4.8 Auf die elektrische Isolierung des Bezugsthermoelementes muss geachtet werden.
- 4.9 Es müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um die Effekte von elektromagnetischen Einstrahlungen in den Messkreisen zu verhindern oder zu minimieren.

Anzeigerät, das mit Widerstandsthermometern verwendet werden soll

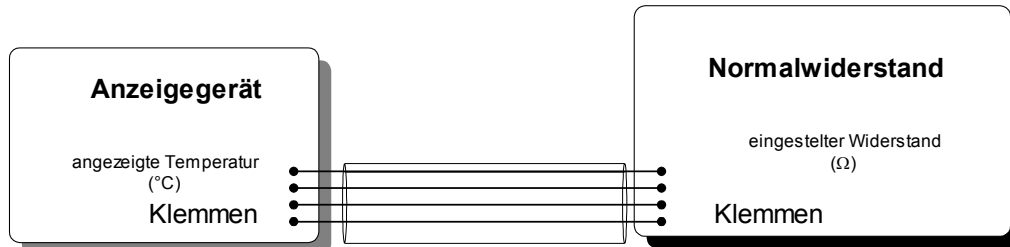


Abb. 1

**Anzeigerät, das mit einem Thermoelement verwendet werden soll
(ohne Vergleichstellenkompensation)**

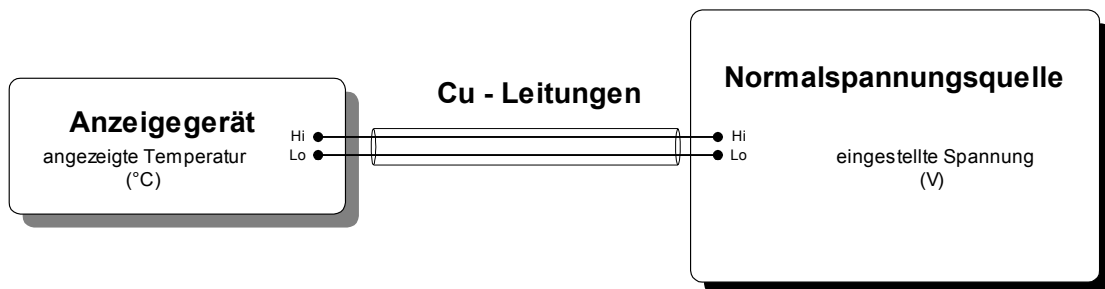


Abb. 2

**Anzeigerät, das mit einem Thermoelement verwendet werden soll
(mit Vergleichstellenkompensation)**

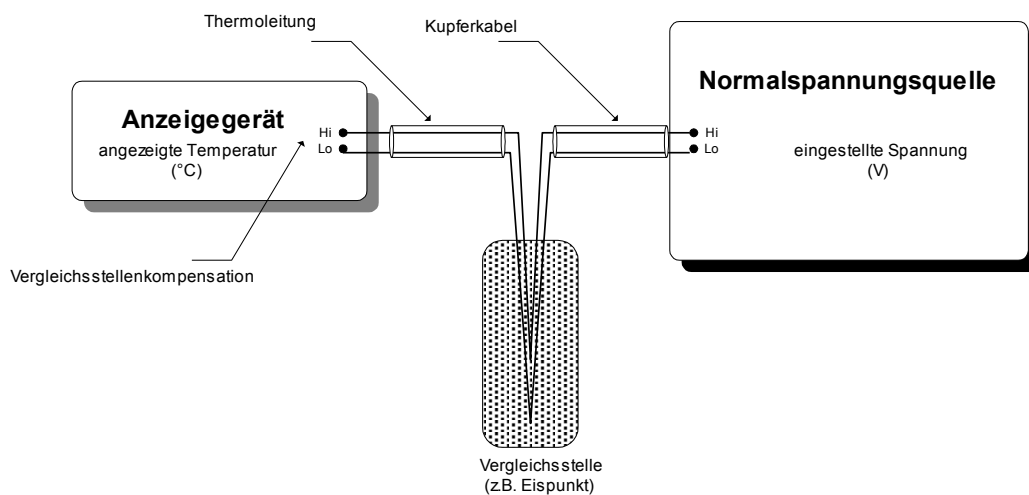


Abb. 3

**Simulator, der mit einem Anzeigerät
für Widerstandsthermometer verwendet werden soll**

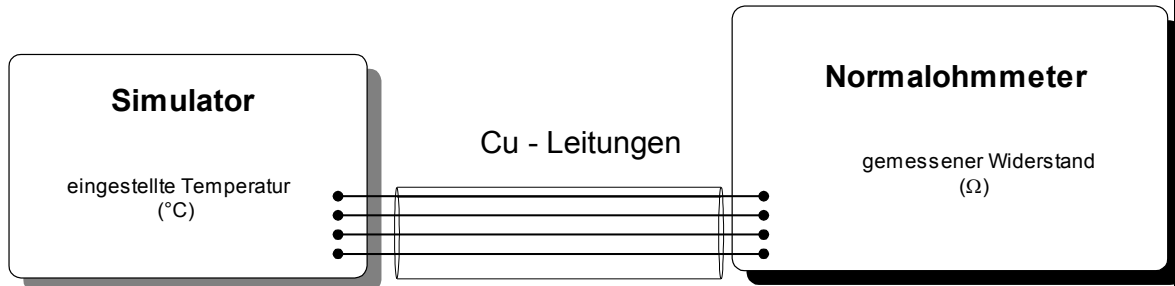


Abb. 4

**Simulator, der mit einem Anzeigerät
für Thermoelemente verwendet werden soll
(ohne Vergleichsstellenkompensation)**

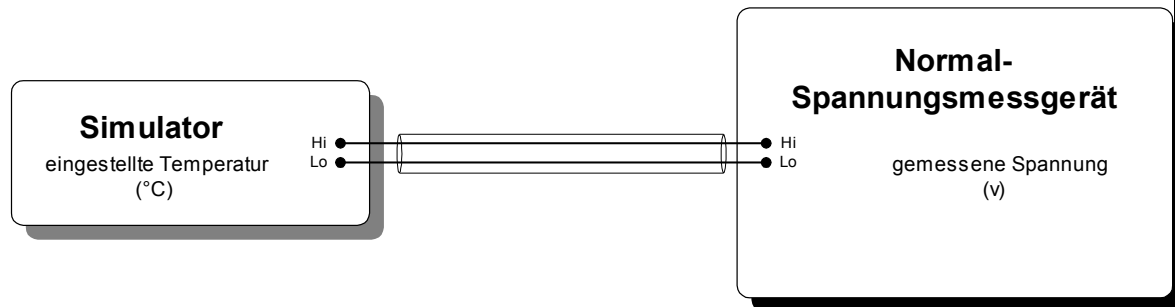


Abb. 5

**Quelle, die mit einem Anzeigerät für Thermoelemente verwendet werden soll
(mit Vergleichsstellenkompensation)**

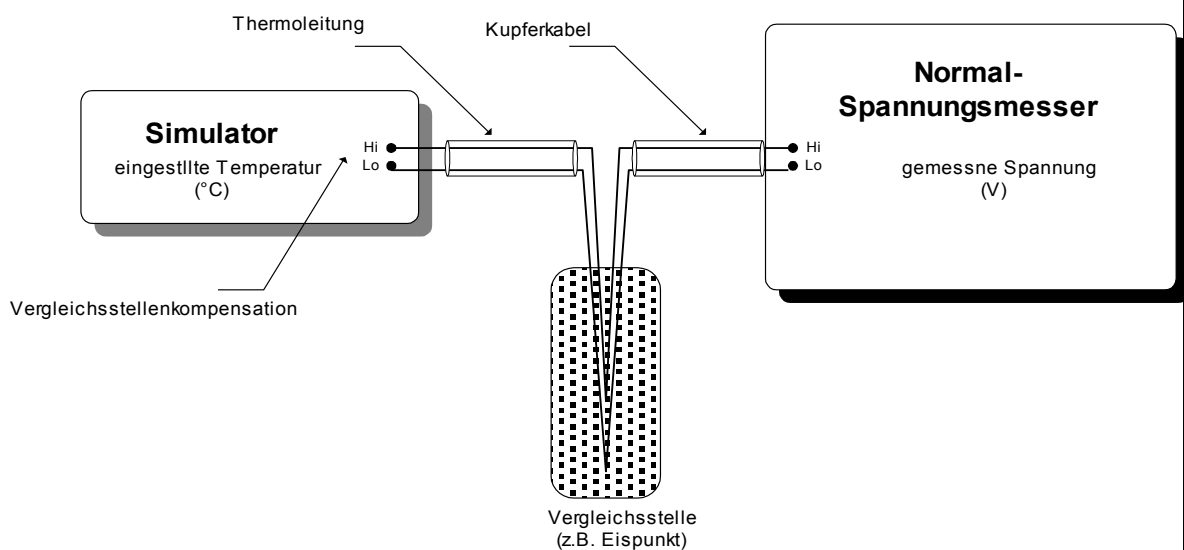



Abb. 6

	Kalibrierung von Temperaturanzeigeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	13/19

5 Messunsicherheit

- 5.1 Alle Messunsicherheiten sollen nach dem „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ (Deutsche Übersetzung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, GUM) und DAkkS-DKD-3 „Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen“ berechnet werden.

Wenn der Anteil einer Standardabweichung (Standardunsicherheit) entspricht, wird dieser Anteil direkt im Messunsicherheitsbudget verwendet.

Zur Bestimmung der kombinierten Standardunsicherheit wird angenommen, dass alle Anteile unabhängig (unkorreliert) sind. Die kombinierte Standardunsicherheit u_c wird wie folgt berechnet:

$$u_c = \sqrt{\sum_i u_i^2}$$

Die erweiterte Messunsicherheit erhält man durch Multiplikation der kombinierten Standardunsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor (k), mit dem sich eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % ergibt.

Ein Beispiel für die Unsicherheitsanalyse für die Kalibrierung von Anzeigeräten, die für den Gebrauch mit Thermoelementen vom Typ S mit Vergleichsstellenkompensation vorgesehen sind, wird in Anhang A gegeben.


6 Angabe der Ergebnisse

- 6.0.1 Der Inhalt des Kalibrierscheines muss die Anforderungen des Dokumentes DAkkS-DKD-5 „Anleitung zum Erstellen eines DAkkS-Kalibrierscheines“ erfüllen. Ergänzend zu den in DAkkS-DKD-5 enthaltenen allgemeinen Anforderungen sollen zusätzliche Informationen über die Kalibrierergebnisse angegeben werden wie in den folgenden Absätzen beschrieben.


- 6.1 Es soll eindeutig angegeben werden, welche Temperaturskala zur Angabe der Temperaturwerte im Kalibrierschein verwendet wurde. Vorzugsweise soll die Internationale Temperaturskala von 1990 (ITS-90) benutzt werden. Wenn vom Kunden die Verwendung einer anderen Temperaturskala gefordert wird, sollen die Folgen und Entwicklungen in Bezug auf die anwendbare genormte Grundwerttabelle aufgezeigt werden.

- 6.2 Bei Temperaturanzeigeräten sollen die Kalibrierergebnisse an jedem Messpunkt die dem elektrischen Eingangssignal entsprechende Temperatur, wie sie aus der genormten Grundwerttabelle bestimmt wurde, und die entsprechende angezeigte Temperatur angeben.

Bei Temperatursimulatoren soll die Simulatoreinstellung und die dem gemessenen elektrischen Ausgangssignal entsprechende Temperatur, wie sie aus der genormten Grundwerttabelle bestimmt wurde, an jedem Messpunkt angegeben werden. Es soll im Kalibrierschein deutlich hervorgehoben werden, dass die Kalibrierung durch elektrische Simulation oder Messung und nicht durch die Realisierung oder Messung physikalischer Temperaturen durchgeführt wurde. Der folgende Satz kann im Kalibrierschein ggf. hinzugefügt werden: „Die Kalibrierung des Anzeigerätes erfolgte durch Aufnehmersimulation unter ausschließlicher Verwendung elektrischer Normale“ oder „Die Kalibrierung des Simulators erfolgte unter ausschließlicher Verwendung elektrischer Normale“.

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	14/19

- 6.3 Die genormten Grundwerttabellen, die zur Umrechnung der elektrischen Signale in Temperaturwerte verwendet wurden, sollen im Kalibrierschein zusammen mit ihrem Kurzzeichen und der Fassungsbezeichnung angegeben werden.
- 6.4 Bei Geräten, die mehrere Bauarten von Temperaturnehmern messen oder simulieren können, soll aus dem Kalibrierschein deutlich hervorgehen, auf welche Aufnehmerbauarten sich die Kalibrierung bezieht. Die Anzahl der Aufnehmerbauarten, auf die sich die Kalibrierung bezieht, sowie der Temperaturbereich, über den für jeden Aufnehmer kalibriert wird, sollen vorher mit dem Kunden vereinbart werden.
- 6.5 Für Geräte mit wählbarer Vergleichsstellenkompensation können die Kalibrierergebnisse für jede Konfiguration des Gerätes (d. h. entweder mit ein- oder ausgeschalteter Vergleichsstellenkompensation) oder für beide Konfigurationen angegeben werden. Es muss deutlich dargelegt werden, für welche Konfiguration die Kalibrierergebnisse gelten. Die in dem Kalibrierschein genannten Messunsicherheiten der Kalibrierungen werden sich abhängig von der verwendeten Konfiguration unterscheiden. Es können zum Beispiel folgende Sätze ergänzt werden „Die Kalibrierergebnisse wurden mit eingeschalteter innerer Vergleichsstellenkompensation bestimmt. Die erhaltene Messunsicherheit der Kalibrierung berücksichtigt Anteile, die sich aus dem für die Kalibrierung des Anzeigergerätes benutzten Kalibrierverfahren ergeben.“ oder „Die genannten Kalibrierergebnisse wurden mit ausgeschalteter innerer Vergleichsstellenkompensation bestimmt und gelten nur, wenn das Temperaturanzeigergerät mit einem externen Vergleichsstellenkompensationssystem verwendet wird.“

	Kalibrierung von Temperaturanzeigeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	15/19

Anhang A

Beispiel für ein Messunsicherheitsbudget

Anzeigeräte, die mit Thermoelementen vom Typ S mit Vergleichsstellenkompensation verwendet werden sollen

A1 Messverfahren

Das geprüfte Temperaturanzeigerät ist mit einer Vergleichsstellenkompensationsvorrichtung ausgestattet. Das angewandte Kalibrierverfahren richtet sich nach der in Kapitel 4, Abb. 3 beschriebenen Methode. Die Kalibrierfrist der mV-Quelle ist noch nicht abgelaufen und frühere Kalibrierungen haben gezeigt, dass die vom Hersteller veröffentlichten Genauigkeitsspezifikationen zuverlässig sind.

Die zur äußeren Vergleichsstellenkompensation verwendeten Bezugsthermodrähte wurden über einen Temperaturbereich von 18 °C bis 40 °C kalibriert. Die während der Kalibrierung des Temperaturanzeigerätes aufgezeichnete Umgebungstemperatur betrug 23 °C ± 1 K. Das geprüfte Temperaturanzeigerät ist zur Verwendung mit Thermoelementfühlern vom Typ S gedacht und verfügt über eine Digitalanzeige mit einer Auflösung von 0,1 K.

A2 Messergebnisse

Kalibriertemperatur	Entsprechende Einstellung der mV-Quelle (*)	Anzeige des Temperaturanzeigerätes
1000 °C	9586,2 µV	999,8 °C

(*) Die der Kalibriertemperatur entsprechende Einstellung der mV-Quelle wird unter Verwendung der genormten Grundwerttabellen für Thermoelemente vom Typ S bei der Kalibriertemperatur vorgenommen. Die entsprechende Spannung wird korrigiert, um die Korrektur der Thermospannung der Normalthermodrähte bei der Temperatur der Geräteklemmen des Temperaturanzeigerätes zu berücksichtigen.

A3 Modell der Auswertung

Die bei der Kalibrierung interessierende Größe ist die Korrektur c , die auf die Anzeige (t_i) des Temperaturanzeigerätes anzuwenden ist, wenn die Messstelle eines genormten Thermoelementes (dessen Vergleichsstelle an die Eingangsklemmen des Anzeigerätes angeschlossen ist) die Kalibriertemperatur t' hat.


$$c = t' - (t_i + \delta t_i) \quad (1)$$

wobei δt_i die (mögliche) Abweichung auf Grund der endlichen Auflösung des zu kalibrierenden Temperaturanzeigerätes ist.

Ein solches genormtes Thermoelement wird an den Eingangsklemmen des Anzeigerätes eine Thermospannung von

$$V = E(0 \text{ °C}, t') - E(0 \text{ °C}, t'') \quad (2)$$

erzeugen, wobei t'' die Temperatur der Geräteklemmen ist und E die Thermospannungswerte darstellt, die in den genormten Grundwerttabellen für die Temperaturen t' und t'' angegeben sind.

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	16/19

Bei dieser Kalibrierung ersetzen wir den vom Thermoelement hervorgerufenen Eingangswert durch die von der Millivoltquelle und der Vergleichsstelleneinrichtung erzeugte Spannung. Somit erhalten wir:

$$V = V_x + \delta V_{x2} + \delta V_{x3} + \delta V_P - [E(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c1}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c2}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'')] + \delta t_{T3} \cdot S_0 \quad (3)$$

wobei

V_x die von der mV-Quelle bei einer Einstellung X gelieferte Spannung ist;

δV_{x2} die Korrektur der Ausgangsgröße der mV-Quelle bei der Einstellung X aus der letzten Kalibrierung ist;

δV_{x3} die Korrektur der Ausgangsgröße der mV-Quelle bei der Einstellung X auf Grund von Einflussfaktoren wie z. B. zeitlicher Drift, Umgebungstemperatur und Schwankungen der Stromversorgung ist;

δV_P die Korrektur auf Grund von Störspannungen im Messstromkreis (thermoelektrische Störspannungen, Gleichtakt-Störspannungen, magnetische Störungen) ist;

$E(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'')$ die entsprechende Thermospannung gemäß Grundwerttabelle bei der Temperatur t'' ist;

$\delta E_{c1}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'')$ die Abweichung der Thermospannung der Thermodrähte vom genormten Wert bei der Temperatur t'' aus der letzten Kalibrierung ist;

$\delta E_{c2}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'')$ die Abweichung der Thermospannung der Thermodrähte vom genormten Wert auf Grund der Drift seit der letzten Kalibrierung ist;

δt_{T3} die Abweichung der Temperatur der Vergleichsstelle von $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ist;

S_0 der Seebeck-Koeffizient für ein Thermoelement vom Typ S bei $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ist.

Durch Gleichsetzen von (2) und (3) erhalten wir die Formel für die Spannung $E(0 \text{ }^\circ\text{C}, t')$:

$$E(0 \text{ }^\circ\text{C}, t') = V_x + \delta V_{x2} + \delta V_{x3} + \delta V_P - [\delta E_{c1}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c2}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'')] + \delta t_{T3} \cdot S_0 \quad (4)$$

$$t' = P[E(0 \text{ }^\circ\text{C}, t')] = P[V_x + \delta V_{x2} + \delta V_{x3} + \delta V_P - [\delta E_{c1}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') + \delta E_{c2}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'')] + \delta t_{T3} \cdot S_0]$$

$$\approx P(V_x) + [\delta V_{x2} - \delta E_{c1}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') + \delta V_{x3} + \delta V_P - \delta E_{c2}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') + \delta t_{T3} \cdot S_0] / S_{1000} \quad (5)$$


Wenn man schließlich t' in (1) ersetzt, erhält man die Formel für die gemessene Größe (c) ausgedrückt durch die verschiedenen Eingangsgrößen.

$$c = P(V_x) + [\delta V_{x2} - \delta E_{c1}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') + \delta V_{x3} + \delta V_P - \delta E_{c2}(0 \text{ }^\circ\text{C}, t'') - \delta t_{T3} \cdot S_0] / S_{1000} - (t_i + \delta t_i) \quad (6)$$

wobei

P die inverse Funktion für die Grundwerte aus DIN EN 60 584 für Thermoelemente vom Typ S ist;

$P(V_x)$ nach der genormten Grundwerttabelle die Temperatur ist, die der von der mV-Quelle bei einer Einstellung X gelieferten Thermospannung entspricht;

	Kalibrierung von Temperaturanzeigeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	17/19

δV_{x2} die Korrektur der Ausgangsgröße der mV-Quelle aus der letzten Kalibrierung ist;

δV_{x3} die Korrektur der Ausgangsgröße der mV-Quelle bei der Einstellung X auf Grund von Einflussfaktoren wie z.B. zeitlicher Drift, Umgebungstemperatur und Schwankungen der Stromversorgung ist;

$\delta E_{c1}(0\text{ °C}, t'')$ die Abweichung der Thermospannung der Thermodrähte vom genormten Wert bei der Temperatur t'' aus der letzten Kalibrierung ist;

δV_p die Korrektur auf Grund von Störspannungen im Messstromkreis (thermoelektrische Störspannungen, Gleichtakt-Störspannungen, magnetische Störungen) ist;

S_{1000} der Seebeck-Koeffizient eines genormten Thermoelementes vom Typ S bei 1000 °C ist;

$\delta E_{c2}(0\text{ °C}, t'')$ die Abweichung der Thermospannung der Thermodrähte auf Grund der Drift seit der letzten Kalibrierung ist;

δt_{T3} die Abweichung der Temperatur der Vergleichsstelle von 0 °C ist;


S_0 der Seebeck-Koeffizient bei der Vergleichstellentemperatur von 0 °C ist;

t_i die Anzeige des Temperaturanzeigerätes ist;

δt_i die (mögliche) Abweichung auf Grund der endlichen Auflösung des zu kalibrierenden Temperaturanzeigerätes ist.

Die Empfindlichkeit (Seebeck-Koeffizient) eines Thermoelementes vom Typ S ist:

$t / \text{°C}$	$S_t / \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$
0	$S_0 = 5,4$
30 (t'')	$S_{30} = 6,0$
1000 (t')	$S_{1000} = 11,5$

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	18/19

A4 Messunsicherheitsbeiträge

Ausgangsgröße der mV-Quelle (V_x): Es wird davon ausgegangen, dass die Ausgangsgröße der mV-Quelle gleich dem eingestellten Wert innerhalb der Grenzen ist, die durch die Auflösung der Einstellung bedingt sind. Da die mV-Quelle eine Auflösung von 1 μV hat, betragen diese Grenzen $\pm 0,5 \mu\text{V}$, was einer Standardunsicherheit von 0,29 μV entspricht.

Kalibrierung der mV-Quelle (δV_{x2}): Die Korrektur der mV-Quelle und die ihr beigeordnete Unsicherheit werden dem Kalibrierschein der mV-Quelle entnommen. Die Korrektur beträgt 0 μV , und die erweiterte Unsicherheit mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ist 1 μV . Die entsprechende Standardunsicherheit ist 0,5 μV . Frühere Kalibrierungen haben gezeigt, dass die Drift der mV-Quelle im Vergleich zu dieser Unsicherheit klein ist und somit vernachlässigt werden kann.

Einflussfaktoren (δV_{x3}): Für die Korrekturen auf Grund der verschiedenen Einflussfaktoren, die die Ausgangsgröße der mV-Quelle beeinflussen, stehen keine einzelnen Werte zur Verfügung; eine Gesamtkorrektur mit entsprechenden Grenzen erhält man jedoch aus den Genauigkeitsspezifikationen, die der Hersteller für die mV-Quelle veröffentlicht hat. Als Korrektur wird daher 0 genommen, wobei die Grenzen durch die Herstellerspezifikation bei der Einstellung S gegeben sind, d.h. $\pm 3 \mu\text{V}$. Die entsprechende Standardunsicherheit beträgt 1,73 μV .

Störspannungen (δV_p): Als Korrektur für Störspannungen im Messstromkreis wird 0,0 μV genommen mit Grenzen von $\pm 2 \mu\text{V}$. Die entsprechende Standardunsicherheit beträgt 1,15 μV .

Kalibrierung von Bezugsthermodrähnen ($\delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'')$): Die von den Bezugsthermodrähnen erzeugte Thermospannung wird diejenige sein, die der Temperatur an den Eingangsklemmen des Anzeigergerätes entspricht. Diese Temperatur wird nicht separat gemessen, sondern es wird (für diesen besonderen Fall) angenommen, dass sie innerhalb der Grenzen von 23 $^\circ\text{C}$ und 30 $^\circ\text{C}$ liegt. Der Thermospannungswert (vor der Korrektur) wird im Bereich von 131 μV bis 173 μV liegen. Die Abweichung der Ausgangsgröße der Bezugsthermodrähne vom genormten Wert in diesem Temperaturbereich wird im Kalibrierschein mit -1,8 μV (-0,3K) und einer erweiterten Unsicherheit ($k = 2$) von 1,5 μV (0,25 K) angegeben.


Drift der Bezugsthermodrähne ($\delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'')$): Der Kalibrierhistorie der Bezugsthermodrähne zeigt, dass die Drift der Korrektur des Thermopaars 0,0 $^\circ\text{C}$ innerhalb der Grenzen von $\pm 0,6 \mu\text{V}$ ($\pm 0,1 \text{ K}$) ist. Die entsprechende Standardunsicherheit beträgt 0,34 μV (0,058 K).

Vergleichsstellentemperatur (δt_{T3}): Da die Vergleichsstelle auf der Temperatur des Eispunkts gehalten wird, wird als Standardunsicherheit 0,03 K angenommen.

Endliche Auflösung des geprüften Anzeigergerätes (δt): Die endliche Auflösung des Anzeigergerätes trägt zur Unsicherheit bei. Da die niedrigstwertige Ziffer des Anzeigergerätes 0,1 $^\circ\text{C}$ ist, ist die Grenze der Auflösung der Anzeige entsprechend $\pm 0,05 \text{ K}$. Der Unsicherheitsbeitrag beträgt 0,029 K.

Anzeige des Anzeigergerätes (t_1): Auf Grund der begrenzten Auflösung des Anzeigergerätes wurde bei dem angezeigten Wert keine Streuung beobachtet. Der entsprechende Unsicherheitsbeitrag ist daher unbedeutend.

Korrelation: Die Eingangsgrößen werden als unkorreliert angesehen.

	Kalibrierung von Temperaturanzeigergeräten und -simulatoren durch elektrische Simulation und Messung https://doi.org/10.7795/550.20180828AF	DKD-R 5-5	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	19/19

A5 Messunsicherheitsbudget

Größe	Symbol	Schätzwert	Standardmessunsicherheit	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Sensitivitätskoeffizient	Messunsicherheitsbeitrag
Ausgangsgröße der mV-Quelle	V_x	9586,2 μV	0,29 μV	rechteckig	$(11,5 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1})^{-1}$	0,025 K
Kalibrierung der mV-Quelle	δV_{x2}	0,0 μV	0,50 μV	normal	$(11,5 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1})^{-1}$	0,044 K
Einflussfaktoren	δV_{x3}	0,0 μV	1,73 μV	rechteckig	$(11,5 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1})^{-1}$	0,151 K
Störspannungen	δV_P	0,0 μV	1,15 μV	rechteckig	$(11,5 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1})^{-1}$	0,10 K
Kalibrierung von Thermodrähten	$\delta E_{c1}(0^\circ\text{C}, t'')$	-1,8 μV	0,75 μV	normal	$(11,5 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1})^{-1}$	0,065 K
Drift von Thermodrähten	$\delta E_{c2}(0^\circ\text{C}, t'')$	0,0 μV	0,34 μV	rechteckig	$(11,5 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1})^{-1}$	0,030 K
Abweichung vom Eispunkt	δt_{T3}	0,00 K	0,03 K	normal	0,469	0,015 K
Auflösung des geprüften Gerätes	δt_i	0,00 K	0,029 K	rechteckig	1	0,029 K
Anzeige des Simulators	t_i	999,8 $^\circ\text{C}$	unbedeutend	normal	1	unbedeutend
Auf die Anzeige des Gerätes anzuwendende Korrektur	c	0,2 K				0,204 K

A6 Angabe des Kalibrierergebnisses

Die Korrektur des Temperaturanzeigergerätes bei einer Anzeige von 999,8 $^\circ\text{C}$ und eingeschalteter Vergleichsstellenkompensation beträgt $(+0,2 \pm 0,4)$ K.

Diese Korrektur wurde durch Simulation bestimmt, wobei ausschließlich elektrische Normale verwendet wurden.

Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ ergibt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Wertintervall.²

² Dieses ist der im DKD vorgesehene Wortlaut. In EA-10/11 steht hier „The reported uncertainty is stated as a standard uncertainty of measurement multiplied by a coverage factor $k = 2$, which, for a normal probability distribution, corresponds to a coverage probability of approximately 95 %.“