

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



DKD


**Richtlinie
DKD-R 5-7**

**Kalibrierung von
Klimaschränken**

Ausgabe 09/2018

<http://doi.org/10.7795/550.20180828AH>



	<p style="text-align: center;">Kalibrieren von Klimaschränken</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20180828AH</p>	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	2/31

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

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	3/31

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Richtlinie DKD-R 5-7, Kalibrierung von Klimaschränken, Ausgabe 09/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.

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

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 1999 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.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	5
1 Geltungsbereich	5
2 Symbole und Abkürzungen.....	6
3 Begriffsbestimmungen	7
4 Ziel der Kalibrierung.....	8
5 Anforderungen an den Klimaschrank (Kalibrierfähigkeit)	9
6 Kalibriermethoden	10
7 Kalibrierverfahren	11
7.1 Anordnung der Messorte.....	11
7.1.1 Kalibrierung für das Nutzvolumen nach Methode (A) oder (B).....	11
7.1.2 Kalibrierung für Messorte nach Methode (C).....	11
7.2 Bestimmung der räumlichen Inhomogenität	12
7.2.1 Temperaturinhomogenität	12
7.2.2 Feuchteinhomogenität.....	12
7.3 Bestimmung der zeitlichen Instabilität	12
7.4 Bestimmung des Strahlungseinflusses.....	13
7.5 Bestimmung des Beladungseinflusses.....	14
7.5.1 Aktive Beladung mit Verlustleistung	15
7.6 Feuchtekalibrierung	15
8 Unsicherheitsbeiträge	16
8.1 Räumliche Inhomogenität δT_{inhom} ; δh_{inhom}	16
8.2 Zeitliche Instabilität δT_{instab} ; δh_{instab}	17
8.3 Strahlungseinfluss $\delta T_{radiation}$	17
8.4 Einfluss der Beladung δT_{load} ; δh_{load}	18
8.5 Einfluss der Umgebungsbedingungen δT_{env} ; δh_{env}	18
8.6 Anzeigauflösung δT_{res} ; δh_{res}	19
8.7 Messabweichung der Normalmesseinrichtung δT_{std} ; δh_{std}	19
9 Kalibrierergebnis.....	19
10 Literatur	20
Anhang A – Messunsicherheitsbudget (Beispiel).....	21
Anhang B – Muster für Ergebnisangabe für die Kalibrierung eines Klimaschranks nach Methode (A) bzw. (B)	27
Anhang C – Muster für Ergebnisangabe für die Kalibrierung für einen Messort im Klimaschrank nach Methode (C)	29
Anhang D – Beiblatt zum Kalibrierschein für Klimaschränke	31

	<p style="text-align: center;">Kalibrieren von Klimaschränken</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20180828AH</p>	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	5/31

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 wurde vom Fachausschuss *Temperatur und Feuchte* in Zusammenarbeit mit der PTB und akkreditierten Kalibrierlaboratorien bereits 2004 erstellt.

Die vorliegende geänderte Neuauflage enthält lediglich ein aktualisiertes Impressum.

Sie ist inhaltsgleich mit der DAkkS-DKD-R 5-7 (Ausgabe 2010). Die DAkkS wird die DAkkS-DKD-R 5-7 spätestens zum 01.01.2021 zurückziehen.

Ausgabe: 07/2004, veröffentlicht vom DKD

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

1 Geltungsbereich

Diese Richtlinie dient dazu, Mindestanforderungen an das Kalibrierverfahren und an die Messunsicherheitsbestimmung bei der Kalibrierung von Klimaschränken festzulegen.

Sie gilt für die Kalibrierung von Klimaschränken bezüglich Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte oder nur bezüglich der Lufttemperatur.

Ebenfalls gilt sie für die Kalibrierung von einzelnen Messorten in Klimaschränken; in diesem Fall gilt *nicht* der *gesamte* Klimaschrank als kalibriert.

2 Symbole und Abkürzungen

Einheiten / Abkürzung / Formelzeichen	Erläuterung
u	Standardmessunsicherheit
U	erweiterte Messunsicherheit
K	Kelvin
$^{\circ}C$	Grad Celsius
T_d / T_f	Taupunkttemperatur / Frostpunkttemperatur
T_L	Lufttemperatur am Temperatursensor des Prüflings
h	relative Feuchte
δT_{inhom}	räumliche Inhomogenität der Temperatur
δh_{inhom}	räumliche Inhomogenität der relativen Feuchte
$T_{ref} / T_{ref, load}$	Temperatur des Referenzortes (unbeladen / beladen)
$h_{ref} / h_{ref, load}$	relative Feuchte des Referenzortes (unbeladen / beladen)
δT_{instab}	zeitliche Instabilität der Temperatur
δh_{instab}	zeitliche Instabilität der relativen Feuchte
\bar{T}	zeitlich-mittlere Temperatur
\bar{h}	zeitlich-mittlere relative Feuchte
$\delta T_{radiation}$	Strahlungseinfluss auf die Temperatur
T_{le}	Temperatur eines Körpers mit kleinem Emissionsgrad
T_{he}	Temperatur eines Körpers mit hohem Emissionsgrad
T_{wall}	Wandtemperatur
δT_{load}	Beladungseinfluss auf die Temperatur
δh_{load}	Beladungseinfluss auf die relative Feuchte
δT_{env}	Umgebungseinfluss auf die Temperatur
δh_{env}	Umgebungseinfluss auf die relative Feuchte
$\delta T_{res, std} / \delta T_{res}$	Auflösung des Normalthermometers / der Temperaturanzeige des Klimaschranks
$\delta h_{res, std} / \delta h_{res}$	Auflösung des Normalhygrometers / der Feuchteanzeige des Klimaschranks
$\delta T_{i, std}$	Messabweichung des Normalthermometers am Messort i ($i = 1, \dots, N$)
$\delta h_{i, std}$	Messabweichung des Normalhygrometers am Messort i ($i = 1, \dots, N$)
δT_{cal}	Messabweichung des Normalthermometers aus seiner Kalibrierung
δh_{cal}	Messabweichung des Normalhygrometers aus seiner Kalibrierung

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	7/31

Einheiten / Abkürzung / Formelzeichen	Erläuterung
δT_{drift}	Drift des Normalthermometers im Rekalibrierungszeitraum
δh_{drift}	Drift des Normalhygrometers im Rekalibrierungszeitraum
δT_{heat}	Messabweichung des Normalthermometers auf Grund der Eigenerwärmung
$T_{\text{ind, std}}$	Anzeige des Normalthermometers
$h_{\text{ind, std}}$	Anzeige des Normalhygrometers
$\Delta T_{\text{chamber}}$	Temperaturkorrektur für die Klimakammer
$\Delta h_{\text{chamber}}$	Korrektur der relativen Feuchte für die Klimakammer
T_{ind}	Anzeige der Temperatur im Klimaschrank
h_{ind}	Anzeige der relativen Feuchte im Klimaschrank
T_i	Messwert der Temperatur für Messort i im Klimaschrank
h_i	Messwert der relativen Feuchte für Messort i im Klimaschrank

3 Begriffsbestimmungen


Klimaschrank:

Eine technische Einrichtung, mit der in einem abgeschlossenen Volumen in einem Arbeitsbereich gezielt vorgegebene Werte der Lufttemperatur T_L und/oder relativen Feuchte realisiert werden können, wird im Sinne dieser Richtlinie als Klimaschrank bezeichnet. Dabei wird durch technische Mittel (thermische Isolierung, Luftumwälzung, Strahlungsschirme usw.) die zeitliche Instabilität und räumliche Inhomogenität von Lufttemperatur und -feuchte sowie die Abweichungen der im Nutzvolumen vorliegenden Lufttemperaturen und -feuchten zu den Sollwerten bzw. den von den zugehörigen Messeinrichtungen erfassten Werten minimiert. Klimaschränke im Rahmen dieser Richtlinie haben ein durch die Messorte aufgespanntes Nutzvolumen, wobei das Verhältnis zwischen der größten und kleinsten räumlichen Ausdehnung dieses Nutzvolumens kleiner als 5 ist. Sie können mobil oder stationär sein. Die Wandungen, die zur thermischen Isolierung zur Umgebung dienen, dürfen jedoch nicht unmittelbar Bestandteil von Gebäuden oder Fahrzeugen sein, sondern müssen dem Klimaschrank eindeutig zugeordnet werden können.

Die Kalibrierung im Rahmen dieser Richtlinie kann bezüglich Lufttemperatur und relativer Feuchte oder auch nur bezüglich der Lufttemperatur (Temperaturschrank) erfolgen. Die Herstellerbezeichnung für einen Klimaschrank entsprechend dieser Richtlinie kann gegebenenfalls abweichend sein; wesentlich für die Einstufung als Klimaschrank ist die Erfüllung der Anforderungen gemäß Abschnitt 5.

Messort:

Ein Messort ist die räumliche Position, an der zur Kalibrierung ein Temperatur- bzw. Feuchtesensor im Nutzvolumen angeordnet ist. Ein Messort ist somit ein kleines Volumen, das durch die Abmessungen der Sensorelemente und deren Positioniergenauigkeit definiert ist (d. h. maximale Ausdehnung in jeder Dimension ca. 5 cm). Wird nur an einem Messort gemessen, gilt das Kalibrierergebnis nur für diesen Messort. Eine Extrapolation auf ein größeres Volumen ist nicht zulässig.

	<p style="text-align: center;">Kalibrieren von Klimaschränken</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20180828AH</p>	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	8/31

Nutzvolumen:

Das Nutzvolumen eines Klimaschranks ist das von den Messorten der zur Kalibrierung eingesetzten Sensoren aufgespannte Teilvolumen des Klimaschranks. Dieses kann je nach Anordnung der Messorte deutlich vom Gesamtvolumen des Schrankes abweichen. Die Kalibrierung des Schrankes gilt prinzipiell nur für dieses Nutzvolumen. Dabei müssen die Mindestanforderungen an die Messortlage nach dieser Richtlinie erfüllt werden (siehe Abschnitte 5 und 7.1).

Wenn die Kalibrierung nur an einzelnen isolierten Messorten, die kein Volumen aufspannen, ausgeführt wird, gelten nur diese, nicht jedoch der Schrank und sein Nutzvolumen als kalibriert (siehe Kalibriermethode (C)).

Referenzmessort:

Der Referenzmessort ist diejenige Position im Nutzvolumen, für die die Abweichung zwischen Lufttemperatur und -feuchte von den Anzeigewerten angegeben wird. Meist wird die geometrische Mitte des Nutzvolumens als Referenzmessort ausgewählt. Auf Kundenwunsch sind jedoch auch andere Festlegungen des Referenzmessortes möglich. Die Lage des Referenzmessortes muss im Kalibrierschein angegeben werden.

4 Ziel der Kalibrierung


Die Kalibrierung eines Klimaschranks dient der Feststellung der Abweichung der von den Anzeigen des Schrankes angezeigten Werte von den Klimakenngößen Lufttemperatur und relative Feuchte in den zur Nutzung vorgesehenen Teilen des Schrankvolumens bzw. an einzelnen Punkten aus dem Schrankvolumen¹. Neben diesen Abweichungen werden häufig noch zusätzliche Eigenschaften wie Inhomogenitäten, Stabilitäten usw. zur Charakterisierung des Schrankes und möglicher Einwirkungen auf Prüfgut im Schrank bestimmt. Diese Ergebnisse sind einerseits für den Nutzer des Schrankes von großem Interesse, da sie dessen Eigenschaften bei der Nutzung beschreiben, und andererseits für die Bestimmung der Messunsicherheit der Kalibrierergebnisse erforderlich.

Damit ergeben sich folgende Ziele:

- Kalibrierung der Anzeigen von Temperatur und relativer Feuchte durch Vergleich mit den im Nutzraum mit Referenzeinrichtungen gemessenen Werten für Lufttemperatur und -feuchte (Angabe der Abweichungen bzw. Korrekturen)
- Feststellung der Unsicherheit der Temperatur und der relativen Feuchte bei der Kalibrierung und Ermittlung der Unsicherheit bei der Nutzung unter definierten Bedingungen
- Auf Kundenwunsch kann im Rahmen der Kalibrierung der Nachweis des Einhaltens von Anwendertoleranzen unter definierten Bedingungen und/oder technischen Spezifikationen erfolgen.
- Auf Kundenwunsch kann die Kalibrierung auch nur an einzelnen Messorten erfolgen. Dabei werden jedoch einige Unsicherheitsanteile nicht ermittelt und nicht berücksichtigt.
- Das Ergebnis gilt dann jeweils nur für diese Orte, nicht jedoch für den gesamten Schrank. (→ Kalibriermethode (C)).

Die Kalibrierung liefert keine vollständigen Informationen über die Klimagrößen Temperatur und relative Feuchte an der Oberfläche oder gar im Volumen von im Klimaschrank befindlichem Prüfgut. Die Bestimmung der Körpertemperatur bzw. Materialfeuchte des Prüfgutes erfordert den Einsatz von kalibrierten Thermometern bzw. Feuchtemessgeräten im Prüfgut.

¹ Anmerkung: Alternativ zur Abweichung zwischen Anzeige und Referenzwert (Normal) kann auch die erforderliche Korrektur zur Anzeige angegeben werden.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	9/31

5 Anforderungen an den Klimaschrank (Kalibrierfähigkeit)

Klimaschränke sind im Sinne dieser Richtlinie nur dann kalibrierfähig, wenn sie die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Vorhandensein von Sensoren für Lufttemperatur/-feuchte mit den zugehörigen Anzeigen als Bestandteil des Klimaschranks
- Vorhandensein von Regeleinrichtungen für die zu kalibrierenden Größen als Bestandteil des Klimaschranks
- Vorliegen technischer Spezifikationen des Herstellers
- Vorliegen von technischen Unterlagen über die Art der Sensoren; weitere Informationen wie z. B. Lage und Spezifikationen der Sensoren, Eigenschaften der Isolation sowie die Ausführung der Temperierung und Befeuchtung sind wünschenswert
- Atmosphärischer Druck im Nutzraum (d. h. der Druckausgleich mit der Umgebung ist gewährleistet)
- Bei Betrieb in einem Temperatur- bzw. Feuchtebereich ist die Kalibrierung bei mindestens drei Temperaturen bzw. relativen Feuchten aus dem jeweiligen Einsatzbereich nötig. Eine Kalibrierung für nur einen Temperatur- bzw. Feuchtepunkt (Sollwert) aus dem Arbeitsbereich des Schranks ist zulässig, schränkt jedoch das Kalibrierergebnis auf diesen Arbeitspunkt ein (hierauf ist im Kalibrierschein hinzuweisen).
- Wenn im Nutzvolumen aktiv Verlustleistung umgesetzt wird (d. h. Wärmezu- oder -abfuhr durch die Beladung erfolgt), muss dieser Einfluss im Rahmen der Messunsicherheitsbeiträge des Beladungseinflusses ermittelt werden (für Details s. Abschnitt 7.5).

Bezüglich der maximalen Arbeits- und Kalibrierbereiche unterscheidet diese Richtlinie zwischen Klimaschränken mit und ohne aktiver Luftumwälzung (erzwungene Konvektion) im Nutzraum.


In beiden Fällen muss der Klimaschrank eine aktive Heizung und/oder Kühlung besitzen.

a) Klimaschränke mit Umwälzeinrichtungen für die Luft:

- Der maximale Lufttemperaturbereich beträgt -90 °C bis 500 °C . Kalibrierungen für die relative Feuchte sind nur in entsprechenden Teilbereichen möglich und sinnvoll.
- Für die räumliche Messstellenanzahl für Kalibrierung des Nutzvolumens gelten folgende Forderungen (Abweichungen hiervon sind möglich für die Kalibrierung von einzelnen Messorten siehe Abschnitte 6 - Methode (C) und 7.1.2):
Bei Nutzvolumen $< 2000\text{ l}$ sind mindestens 9 Messorte entsprechend den Forderungen von DIN EN 60068-3-5:2002 auszuwählen, d. h. die Messorte bilden die Eckpunkte und das Raumzentrum eines Quaders, der das Nutzvolumen aufspannt. Bei Nutzvolumen $\geq 2000\text{ l}$ müssen die Messorte ein kubisches Gitter mit einer Gitterkonstanten Von maximal 1 m aufspannen (d. h. der größte Abstand benachbarter Messorte beträgt höchstens 1 m).
- Der Luftdurchsatz soll gewährleisten, dass das gesamte Luftvolumen in maximal 30 s einmal umgewälzt wird. Für den Nachweis ist die Herstellerspezifikation ausreichend.

b) Klimaschränke ohne Umwälzeinrichtungen für die Luft:

- Der maximale Lufttemperaturbereich beträgt -90 °C bis 350 °C .
- Das maximale Nutzvolumen ist auf 2000 l beschränkt.
- Der Temperaturengleich ist ohne Umwälzung wesentlich behindert. Die dadurch bedingten längeren Ausgleichszeiten müssen beachtet werden. Die Messungen dürfen erst dann ausgeführt werden, wenn die Temperaturen an allen Messorten

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	10/31


für mindestens 30 min keine systematischen Änderungen mehr zeigen. Die verbleibenden zeitlichen Änderungen dürfen die angegebene und in der Messunsicherheit berücksichtigte zeitliche Instabilität nicht übersteigen.

- Die räumliche Messstellenanzahl für die Kalibrierung des Nutzvolumens entsprechen den Forderungen von DIN EN 60068-3-5:2002, d. h. es ist an mindestens 9 Messorten zu messen.
- Der Beladungseinfluss auf die räumliche Homogenität sollte durch Messungen im unbeladenen und im beladenen Zustand an mindestens einem Messort erfasst werden. Hierzu kann eine typische Beladung des Anwenders bzw. eine Beladung mit Probekörpern erfolgen. Die Beladung soll die maximale Beeinträchtigung des räumlichen Ausgleiches der Temperatur simulieren. Sie ist im Kalibrierschein zu beschreiben. Ohne spezielle Angaben/Forderungen des Kunden umfasst diese Beladung mindestens 40 % des Nutzvolumens.
- Die Kalibrierung der Größe relative Feuchte ist nicht zulässig.
- Aktive Beladung, die Verlustleistung umsetzt, ist nicht zulässig.

6 Kalibriermethoden

Für die Kalibrierung der Anzeigeeinrichtungen eines Klimaschranks können folgende drei wesentlich unterschiedliche Methoden eingesetzt werden (die Messungen beziehen sich dabei immer auf Lufttemperatur und relative Feuchte):

- (A)** Die Kalibrierung erfolgt für das von den Messorten aufgespannte Nutzvolumen im unbeladenen Klimaschrank. Für die Messortanzahl und Lage gelten die Mindestanforderungen (siehe Abschnitt 5). Die Kalibrierung umfasst daher:
- Die Bestimmung der Anzeigekorrektur oder der Abweichung zwischen Messung am Referenzmessort und Anzeige
 - Die Bestimmung der räumlichen Inhomogenität im leeren Nutzvolumen
 - Die Bestimmung der zeitlichen Instabilität im leeren Nutzvolumen
 - Die Bestimmung des Strahlungseinflusses (nur für Lufttemperaturmessung)
 - Die Bestimmung des Beladungseinflusses am Messort durch Vergleich beladenes und leeres Nutzvolumen auf Kundenwunsch.
- (B)** Die Kalibrierung erfolgt für das von den Messorten aufgespannte Nutzvolumen im beladenen Klimaschrank. Die Beladung kann der typischen Nutzung durch den Anwender entsprechen oder durch Auffüllen von mindestens 40 % des Nutzvolumens mit Probekörpern erfolgen. Für die einzelnen Untersuchungen und Unsicherheitskomponenten gelten die Regelungen für Methode (A). Der Einfluss der Beladung selbst wird durch eine zusätzliche Messung an einem zentralen Messort im unbeladenen Zustand ermittelt. Die Kalibrierung umfasst daher:
- Die Bestimmung der Anzeigekorrektur oder der Abweichung zwischen Messung am Referenzmessort und Anzeige jeweils im beladenen Zustand
 - Die Bestimmung der räumlichen Inhomogenität im beladenen Nutzvolumen
 - Die Bestimmung der zeitlichen Instabilität im beladenen Nutzvolumen
 - Die Bestimmung des Strahlungseinflusses
 - Die Bestimmung des Beladungseinflusses für den Referenzmessort durch Vergleich beladenes und leeres Nutzvolumen.
- (C)** Die Kalibrierung erfolgt für einzelne Messorte im Klimaschrank, die kein Nutzvolumen aufspannen. Die Kalibrierung umfasst daher:

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	11/31

- Die Bestimmung der Anzeigekorrektur oder der Abweichung zwischen Messung am Messort und Anzeige
- Die Bestimmung der zeitlichen Instabilität am Messort
- Die Bestimmung des Strahlungseinflusses am Messort
- Die Bestimmung des Beladungseinflusses am Messort durch Vergleich beladenes und leeres Nutzvolumen auf Kundenwunsch.

7 Kalibrierverfahren

7.1 Anordnung der Messorte

7.1.1 Kalibrierung für das Nutzvolumen nach Methode (A) oder (B)


Im Regelfall sind Kalibrierungen mit Messungen an mehreren Orten im Nutzvolumen auszuführen (Methode (A) und (B)). Die Festlegungen bezüglich der Anzahl und räumlichen Lage der Messpunkte sind bis zu einem Schrankvolumen von 2000 l analog DIN EN 60068 Teil 3-5 zu treffen, d. h. die Messorte bilden die Eckpunkte und das Raumzentrum eines Quaders, der das Nutzvolumen aufspannt. Für ein größeres Nutzvolumen sind die Messorte entsprechend einem kubischen Gitter mit einer maximalen Gitterkonstante von 1 m im Nutzvolumen anzuordnen (d. h. maximaler Abstand benachbarter Messorte ist 1 m). Auf Kundenwunsch können auch abweichende Positionierungen erfolgen. Dabei muss jedoch sichergestellt werden, dass das Nutzvolumen durch das von den Messpunkten aufgespannte Volumen eingeschlossen wird, der maximale Abstand benachbarter Messorte 1 m nicht überschreitet und die räumlichen Extremwerte der Klimagrößen für das Nutzvolumen erfasst werden. Alternative Messortwahlen z. B. analog zu DIN 12880 Teil 2 sind möglich, wenn sie im Kalibrierschein beschrieben werden und die angegebenen Bedingungen als Mindestforderungen erfüllt werden.

Das Kalibrierergebnis gilt nur für das von den Messpunkten aufgespannte Volumen. Die räumliche Interpolation der Messwerte ist nur für das von den Messpunkten eingeschlossene Nutzvolumen zulässig. Die angegebene Messunsicherheit setzt sich aus den Maximalwerten der einzelnen Beiträge zusammen. Sie gilt für das gesamte Nutzvolumen. Eine Interpolation der Unsicherheitsbeiträge ist nicht zulässig. Extrapolationen der Messergebnisse über das von den Messorten aufgespannte Volumen hinaus sind nicht zulässig.

Die Abmessungen des Gesamtvolumens der Kammer und die gewählte Lage der Messpunkte müssen im Kalibrierschein in einer Skizze angegeben werden.

7.1.2 Kalibrierung für Messorte nach Methode (C)

Kalibrierungen nur an einzelnen Orten im Nutzvolumen (Methode (C)) sind nur auf speziellen Kundenwunsch zulässig. In diesem Fall gilt das Kalibrierergebnis nur für die untersuchten Messorte. Hierauf ist im Kalibrierschein hinzuweisen. Als Kalibriergegenstand ist im Kalibrierschein „**Messort(e) im Klimaschrank**“ anzugeben. Der Beitrag der lokalen räumlichen Inhomogenität an den Messorten muss für jeden Messort durch die Verwendung von zwei im Abstand von ca. 2 cm bis 5 cm benachbarten Thermometern erfasst werden (es muss mindestens ein Abstand entsprechend der aktiven Sensorlänge eingehalten werden). Dabei wird eines dieser Thermometer an der zur Angabe des Kalibrierergebnisses festgelegten Position (Messort) angebracht, während das zweite Thermometer mit dem erforderlichen Abstand positioniert wird (das Messergebnis dieses Thermometers dient nur zur Bestimmung der lokalen räumlichen Inhomogenität und geht nicht explizit in das Kalibrierergebnis ein). Diese Messung kann bei deutlich unterschiedlichem Emissionsgrad beider Thermometer gleichzeitig zur Bestimmung des Strahlungseinflusses dienen. Die ermittelte Differenz beider Thermometer wird jedoch vollständig für die lokale Inhomogenität angesetzt. Daher sind in diesem Beitrag dann zusätzliche Strahlungseinflüsse enthalten. Eine Eliminierung des Strahlungseinflusses auf die

	<p style="text-align: center;">Kalibrieren von Klimaschränken</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20180828AH</p>	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	12/31

Bestimmung der lokalen Inhomogenität am Messort setzt die Verwendung zweier gleicher Thermometer mit kleinem Emissionsgrad mit 2 cm bis 5 cm Abstand und eines dritten Thermometers mit einem großen Emissionsgrad am Messort voraus².

Bei der Kalibrierung für mehr als einen Messort nach Methode (C) (ohne Aufspannung eines Nutzvolumens) kann die Verwendung von zwei Thermometern an einem Messort entfallen, wenn aus der Differenz der Thermometer der einzelnen Messorte eine sinnvolle Abschätzung des durch die lokale Inhomogenität und die Positioniergenauigkeit bedingten Unsicherheitsbeitrages erfolgt. Das Verfahren ist im Kalibrierschein zu beschreiben.

Die Abmessungen des Gesamtvolumens der Kammer und die gewählte Lage der Messpunkte müssen im Kalibrierschein in einer Skizze angegeben werden.

7.2 Bestimmung der räumlichen Inhomogenität

7.2.1 Temperaturinhomogenität

Die räumliche Inhomogenität wird als maximale Abweichung der Temperatur eines Eck- bzw. Randflächenmessortes nach DIN EN 60068-3-5 bzw. DIN 50011-12 vom Referenzmessort (meist im Zentrum des Nutzvolumens) bestimmt. Sie ist für alle Kalibriertemperaturen zu bestimmen. Die räumliche Inhomogenität wird nur bei Kalibrierungen für ein Nutzvolumen nach Methode (A) bzw. (B) untersucht (siehe Abschnitt 7.1.1). Bei Kalibrierungen nach Methode (C) wird nur die lokale Inhomogenität zur Abschätzung des inhomogenitätsbedingten Unsicherheitsbeitrages bestimmt (siehe Abschnitt 7.1.2).

7.2.2 Feuchteinhomogenität

Die räumliche Inhomogenität wird als maximale Abweichung der relativen Feuchte eines Eck- bzw. Randflächenmessortes nach DIN EN 60068-3-5 bzw. DIN 50011-12 von der relativen Feuchte des Referenzmessortes (meist im Zentrum des Nutzvolumens) bestimmt. Sie ist für alle Kalibrierfeuchten zu bestimmen. Für Klimaschränke ohne Beladung kann aufgrund der starken Luftumwälzung die absolute Feuchte im Nutzvolumen als homogen angenommen werden. Die räumliche Inhomogenität der relativen Feuchte kann dann aus der Inhomogenität der Lufttemperatur berechnet werden. Dies gilt nicht, wenn im Nutzvolumen Quellen oder Senken für Wasserdampf vorhanden sind, eine wirksame Durchmischung des Nutzvolumens nicht gewährleistet ist oder durch Undichtigkeiten Luftaustausch mit der Umgebung stattfinden kann. Die räumliche Inhomogenität wird nur bei Kalibrierungen für ein Nutzvolumen nach Methode (A) bzw. (B) untersucht.


7.3 Bestimmung der zeitlichen Instabilität

Die zeitliche Instabilität für die Lufttemperatur und -feuchte wird aus der Registrierung des zeitlichen Verlaufes von Temperatur bzw. relativer Feuchte über einen Zeitraum von mindestens 30 min nach Einstellung des eingeschwungenen Zustandes bestimmt. Der eingeschwungene Zustand gilt als erreicht, wenn keine systematischen Änderungen von Temperatur oder relativer Feuchte mehr messbar sind. Bei Klimaschränken ohne Luftumwälzung dürfen alle Messungen erst 30 min nach Erreichen des stabilen Zustandes durchgeführt werden.

Für die Messung der zeitlichen Instabilität sind in 30 min mindestens 30 Messwerte mit ungefähr konstantem Zeitintervall zu registrieren. Die Messung ist mindestens für das Zentrum des Nutzvolumens bzw. den Referenzmessort und für jede Kalibriertemperatur und -feuchte notwendig.

Die zeitliche Instabilität ist bei allen Kalibriermethoden zu untersuchen.

² Anmerkung: Der Messunsicherheitsbeitrag wird durch die Messung mit nur zwei Thermometern potentiell größer, der Aufwand ist dafür aber geringer als bei dem Verfahren mit drei Thermometern.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	13/31


7.4 Bestimmung des Strahlungseinflusses

Bei Lufttemperaturen im Klimaschrank, die von der Umgebungstemperatur abweichen, hat die innere Wand des Schrankes prinzipiell eine von der Lufttemperatur abweichende Temperatur. Unter diesen Bedingungen nehmen jedoch Körper im Nutzvolumen aufgrund des Wärmeaustausches durch Strahlung nicht die Lufttemperatur an. Dies gilt sowohl für Beladungen des Nutzers als auch für die zur Kalibrierung verwendeten Thermometer. Die Differenz zwischen der zu bestimmenden Lufttemperatur und der Temperatur eines Thermometers hängt von dem Emissionsgrad der Thermometeroberfläche, der Geometrie/Abmessungen (Minimaldurchmesser: 4 mm) sowie Anordnung des Sensors, Luftgeschwindigkeit am Sensor und von der Differenz zwischen Luft- und Wandtemperatur ab. Der Strahlungseinfluss wird mit steigender Differenz größer. Zusätzlich steigt dieser Einfluss mit der absoluten Temperatur überproportional an.

Der Einfluss der Strahlung auf die Abweichung der Temperatur eines Körpers von der Lufttemperatur kann auf Kundenwunsch auch mit einem typischen Probekörper des Kunden bestimmt werden. Hierbei wird dann mit einem Thermometer mit kleinem Emissionsgrad bzw. Strahlungsschirm die Lufttemperatur und mit einem in den Probekörper eingebrachten Thermometer die Körpertemperatur gemessen. Diese Methode ersetzt dann die Bestimmung des Strahlungseinflusses. Sie muss im Kalibrierschein beschrieben werden und schränkt das Ergebnis auf diese typischen Bedingungen ein. Sie ist ebenfalls sehr sinnvoll für Kunden, die im Nutzvolumen immer gleichartige Körper lagern.

Die Abschätzung des Strahlungseinflusses ist mit einem der 4 folgenden Verfahren möglich:

1. Die Ermittlung des Strahlungseinflusses kann durch Messung der Temperatur im Zentrum des Nutzvolumens mit einem Thermometer mit möglichst großem (d. h. $\varepsilon > 0,6$) und einem Thermometer mit möglichst kleinem Emissionsgrad, (d. h. $\varepsilon < 0,15$) erfolgen. Eine empfohlene Anordnung ist die Verwendung eines Thermometers mit einer polierten Nickeloberfläche (kleiner Emissionsgrad) sowie eines Thermometers mit einer Teflonoberfläche (großer Emissionsgrad), andere Realisierungen von Thermometerpaaren mit deutlich unterschiedlichem Emissionsgrad z. B. reflektierende Beschichtungen mit Gold bzw. geschwärzte Oberflächen sind möglich. Die Emissionsgrade beider Thermometeroberflächen müssen hinreichend genau bekannt sein. Speziell für die Realisierung des kleinen Emissionsgrades muss eine Oxidation oder Rauheit der Oberfläche vermieden werden. Das Thermometer mit kleinem Emissionsgrad zeigt dabei näherungsweise die gesuchte Lufttemperatur an. Die Lufttemperatur ergibt sich dabei durch Extrapolation auf den Emissionsgrad $\varepsilon = 0$. Die festgestellte Differenz beider Thermometer ist ein Maß für den Strahlungseinfluss bei von der Lufttemperatur abweichender Wandtemperatur.
2. Die Lufttemperatur kann auch mit einem Thermometer gemessen werden, das mit einem Strahlungsschirm gegen den Wandeinfluss abgeschirmt ist. Dieser Strahlungsschirm muss ventiliert werden oder durch seine Anordnung und Bauform eine ausreichende Umströmung des Thermometers durch die Luftumwälzung sichern. Mit dem Thermometer wird mit dem Strahlungsschirm näherungsweise die Lufttemperatur gemessen und nach Entfernen des Strahlungsschirmes die „Strahlungstemperatur“, d. h. die Temperatur bei Strahlungseinfluss. Die festgestellte Differenz beider Messungen ist ein Maß für den Strahlungseinfluss bei von der Lufttemperatur abweichender Wandtemperatur.
3. Eine Messung der Wandtemperatur und eine näherungsweise Messung der Lufttemperatur mit einem Thermometer mit kleinem Emissionsgrad (siehe 1.) oder mit einem Thermometer mit Strahlungsschirm (siehe 2.) ermöglicht die Abschätzung des maximalen Strahlungseinflusses.

	<p style="text-align: center;">Kalibrieren von Klimaschränken</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20180828AH</p>	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	14/31

4. Für Temperaturen von 0 °C bis 50 °C kann eine messtechnische Bestimmung des Strahlungseinflusses entfallen. Dann wird für den Strahlungseinfluss ein Maximalbeitrag zur Messunsicherheit von 0,3 K angesetzt. Sollte die Differenz zwischen Umgebungstemperatur und Lufttemperatur (im Klimaschrank) während der Kalibrierung 30 K überschreiten ist der Strahlungseinfluss in jedem Fall nach 1. bis 3. zu ermitteln³.

Verfahren 1 und 2 sind dabei ausgerichtet auf eine möglichst sichere Messung der realen Lufttemperatur. Sie dienen nicht zur Abschätzung des Strahlungseinflusses auf die Temperatur eines Körpers im Nutzvolumen.

Verfahren 3 erlaubt jedoch zusätzlich zur Bestimmung der Lufttemperatur noch eine worst-case-Abschätzung für die Abweichung der Temperatur eines Körpers im Nutzvolumen von der Lufttemperatur. Die tatsächliche Temperatur von Prüfgut im Nutzvolumen kann jedoch nur mit einem kalibrierten Thermometer im Prüfgut mit kleinstmöglicher Unsicherheit ermittelt werden.

Verfahren 4 liefert unter den genannten Bedingungen eine Abschätzung für den Strahlungseinfluss auf die Messunsicherheit.

Der Strahlungseinfluss ist bei Kalibriermethode (A) bis (C) zu berücksichtigen.

Es werden die Messungen mit dem kleinsten Emissionsgrad ($\varepsilon < 0,15$) als Ergebnis angegeben. Eine Korrektur der Messergebnisse bezüglich des Strahlungseffektes auf $\varepsilon = 0$ erfolgt nicht. Sie ist jedoch auf Kundenwunsch möglich (Hinweis im Kalibrierschein).

7.5 Bestimmung des Beladungseinflusses


Die Kalibrierung von Klimaschränken erfolgt normalerweise ohne Beladung (Methode (A)). Auf Kundenwunsch kann die Kalibrierung bei einer bestimmten Beladung erfolgen (Methode (B)). Diese wird dann im Kalibrierschein beschrieben und das Ergebnis gilt nur für solche speziellen Verhältnisse. Dieses Verfahren ist besonders sinnvoll, wenn der Kunde den Prüfling immer mit ähnlicher Beladung betreibt und diese Anordnung wesentlich von einer leeren Kammer abweicht.

Insbesondere bei Klimaschränken ohne Zwangsumwälzung kann die räumliche Verteilung der Temperatur stark von der Beladung beeinflusst werden. In diesem Fall sollte daher für alle Kalibriertemperaturen eine Untersuchung des Beladungseinflusses für den Referenzmessort durchgeführt werden.

Bei Kalibrierung nach Methode (B) bezieht sich das Kalibrierergebnis auf den beladenen Zustand. Der Beitrag der Beladung zur Messunsicherheit ist berücksichtigt (Es erfolgt eine Kalibrierung mindestens für den Referenzmessort mit und ohne Beladung und die maximale Differenz wird als halbe Breite eines rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages angesetzt.).

Bei Kalibrierungen nach Methode (A) oder (C) bezieht sich das Kalibrierergebnis immer auf den unbeladenen Zustand. Wenn der Beladungseinfluss auf Kundenwunsch untersucht wird, wird der entsprechende Beitrag in der Messunsicherheit berücksichtigt. Wenn dagegen der Beladungseinfluss nicht untersucht wird, ist im Kalibrierschein darauf hinzuweisen, dass der Einfluss der Beladung nicht in der Messunsicherheit enthalten ist. Dieser Hinweis ist gegenüber dem übrigen Text im Kalibrierschein deutlich hervorzuheben, z. B. mit Fettdruck. Der Hinweis kann nur entfallen, wenn eine Kalibrierung mindestens für den Referenzmessort mit

³ Anmerkung: Das Verfahren 4 basiert nur auf einer Abschätzung für den Strahlungseinfluss als Beitrag zur Messunsicherheit, die jedoch nur bei Einhaltung der genannten Bedingungen zulässig ist. Auf Kosten eines potentiell größer abgeschätzten zugehörigen Messunsicherheitsbeitrages ergibt sich somit eine Verringerung des Aufwandes.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	15/31

und ohne Beladung erfolgt und die maximale Differenz als halbe Breite eines rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages angesetzt wird.

Die Untersuchung des Beladungseinflusses kann mit einer kundentypischen Beladung oder mit einer Testbeladung erfolgen. Dabei muss das Volumen der Testbeladung mindestens 40 % des Nutzvolumens betragen. Die gewählte Beladung ist im Kalibrierschein zu beschreiben.

Zusammen mit der Beladungsmessung ergeben sich insgesamt folgende erforderliche Messungen. Voraussetzung ist in diesem Fall, dass der Referenzmessort in der Mitte des Nutzvolumens liegt (Standard).

Kalibriermethode	unbeladen		beladen	
	Messorte	Referenzmessort	Messorte	Referenzmessort
A	x	☒	-	(x)
B	-	x	x	☒
C	-	☒	-	(x)

☒ = Bezugsmessung (Korrektion bzw. Abweichung zur Anzeige als Ergebnis im Kalibrierschein)

x = Messung (zur Ermittlung von Messunsicherheitsbeiträgen und Zusatzinformationen im Kalibrierschein)

(x) = auf Kundenwunsch

7.5.1 Aktive Beladung mit Verlustleistung


Wenn die Beladung des Klimaschranks aktiv Verlustleistung umsetzt, darf die innerhalb des Volumens des Klimaschranks umgesetzte Verlustleistung maximal 10 % der verfügbaren Kühl- bzw. Heizleistung (der kleinere der beiden Werte ist entscheidend) betragen. Diese Leistung muss im Nutzvolumen räumlich nahezu gleichmäßig verteilt erzeugt werden, andernfalls sind für kleinere räumliche Abschnitte entsprechend nur geringere Verlustleistungen zulässig (Wichtung der Klimatisierungsleistung des Schrankes mit dem Verhältnis aus dem Volumen der Wärmequelle zum Nutzvolumen). Der Einfluss der umgesetzten Verlustleistung auf die räumliche Temperaturverteilung muss im Rahmen der Messunsicherheitsbeiträge des Beladungseinflusses ermittelt werden. Dies erfolgt durch eine Bestimmung des Beladungseinflusses mit und ohne Verlustleistung der Beladung (ein- und ausgeschaltete Wärmequellen). Die festgestellte Differenz wird zum Unsicherheitsbeitrag der Beladung hinzugefügt (siehe Abschnitt 8.4). Bei Kalibrierungen nach Methode (B) muss die Beladung während der Kalibrierung aktiv sein.

7.6 Feuchtekalibrierung

Für die Kalibrierung der relativen Feuchte in einem umgewälzten Klimaschrank ist eine Bestimmung der absoluten Feuchte bzw. des Taupunktes T_d oder Frostpunktes T_f im Zentrum des Nutzvolumens und eine Berechnung der räumlichen Verteilung der relativen Feuchte auf der Basis der gemessenen Verteilung der Lufttemperatur möglich. Dieses Verfahren sollte im Kalibrierschein dokumentiert werden und die resultierenden Beiträge zur Unsicherheit müssen berechnet werden (dabei muss für die räumliche Temperaturinhomogenität die Unsicherheit der Temperaturmessung mit berücksichtigt werden). Dieses Verfahren darf jedoch nur angewendet werden, wenn die Voraussetzungen gemäß Abschnitt 7.2.2 erfüllt werden.

Alternativ kann die Feuchteverteilung im Nutzvolumen auch durch Messungen der relativen Feuchte an den Messorten analog der Bestimmung der Temperaturverteilung erfasst werden. Die zeitliche Stabilität ist für die relative Feuchte im Referenzmessort zu bestimmen.

Weitergehende Untersuchungen sind nicht Bestandteil dieser Richtlinie.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	16/31

8 Unsicherheitsbeiträge

Die anzugebende Messunsicherheit setzt sich im Wesentlichen aus der Unsicherheit der Messung von Temperatur und relativer Feuchte mit den Referenzmesseinrichtungen, den Unsicherheiten der Anzeigeeinrichtungen des Klimaschranks, den Beiträgen der zeitlichen und räumlichen Verteilungen im Nutzvolumen sowie den Beladungseinflüssen zusammen.

Da Klimaschränke zur Darstellung definierter Lufttemperaturen und -feuchten dienen, sollte im Kalibrierschein die Unsicherheit, die den generierten Lufttemperaturen bzw. -feuchten zugeordnet ist, angegeben werden.

Die Temperatur von Proben im Nutzvolumen kann deutlich von der Lufttemperatur abweichen. Die Temperatur der Proben kann vom Nutzer mit einem kalibrierten Thermometer bei der Nutzung des Klimaschranks mit meist kleineren Unsicherheiten bestimmt werden. Die Temperatur von definierten Prüfkörpern und deren Unsicherheit kann auf Kundenwunsch, bei genauer Spezifikation der Messbedingungen und der Prüfkörper, angegeben werden.

Sollten einzelne Einflüsse auf das Kalibrierergebnis und seine Messunsicherheit nicht bestimmt werden können, so muss ihr maximal möglicher Beitrag zur Unsicherheit abgeschätzt und berücksichtigt werden. Im Kalibrierschein sollte dann darauf hingewiesen werden, dass der betreffende Einfluss in der angegebenen Unsicherheit nur abgeschätzt wurde. Die Grundlage / Quelle für diese Schätzung ist anzugeben.

Räumliche Interpolationen der Messunsicherheitsbeiträge sind nicht zulässig. Generell muss darauf hingewiesen werden, dass die Unsicherheiten abhängig von den Nutzungsbedingungen sind. Die Messbedingungen der Kalibrierung sind daher möglichst vollständig zu beschreiben. Wenn die Nutzungsbedingungen des Anwenders nicht stark variieren, sollte vor der Kalibrierung eine Abstimmung der Kalibrierbedingungen erfolgen, mit dem Ziel, bei der Kalibrierung möglichst den Bedingungen der Nutzung durch den Anwender nahe zu kommen.

8.1 Räumliche Inhomogenität δT_{inhom} ; δh_{inhom}

Die räumliche Inhomogenität wird als maximale Abweichung der relativen Feuchte bzw. Temperatur eines Eck- bzw. Randflächenmessortes nach DIN EN 60068-3-5 bzw. DIN 50011-12 vom Referenzmessort (meist im Zentrum des Nutzvolumens) bestimmt. Sie stellt die halbe Breite eines rechteckverteilten Beitrages mit dem Erwartungswert 0 dar.

$$|\delta T_{\text{inhom}}| \leq \text{Max} |T_{\text{ref}} - T_i|$$

$$|\delta h_{\text{inhom}}| \leq \text{Max} |h_{\text{ref}} - h_i|$$

Für die zuzuordnenden Standardunsicherheiten ergibt sich:

$$u(\delta T_{\text{inhom}}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \text{Max} |T_{\text{ref}} - T_i|$$

$$u(\delta h_{\text{inhom}}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \text{Max} |h_{\text{ref}} - h_i|$$

Die räumliche Inhomogenität ist bei den Kalibriermethoden (A) bis (C) und für alle Kalibrieremperaturen bzw. -feuchten zu berücksichtigen. Sie gilt bei den Methoden (A) und (B) für jeden Punkt des gesamten Nutzvolumens und bei Methode (C) nur für die jeweiligen Messorte. Die Ergebnisse für δT_{inhom} und δh_{inhom} werden im Kalibrierschein angegeben (siehe Anhang B und C).

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	17/31

8.2 Zeitliche Instabilität δT_{instab} ; δh_{instab}

Die zeitliche Instabilität wird aus der Registrierung des zeitlichen Verlaufes von Temperatur bzw. relativer Feuchte über einen Zeitraum von mindestens 30 min nach Einstellung des eingeschwungenen Zustandes bestimmt. Die größte Abweichung über 30 min vom zeitlichen Mittelwert wird als halbe Breite eines rechteckverteilten Beitrages mit dem Erwartungswert 0 angesetzt.

$$|\delta T_{\text{instab}}| \leq \text{Max} \left| \bar{T} - T_i \right|$$

$$|\delta h_{\text{instab}}| \leq \text{Max} \left| \bar{h} - h_i \right|$$

Für die zuzuordnenden Standardunsicherheiten ergibt sich:

$$u(\delta T_{\text{instab}}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \text{Max} \left| \bar{T} - T_i \right|$$

$$u(\delta h_{\text{instab}}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \text{Max} \left| \bar{h} - h_i \right|$$

Die zeitliche Instabilität ist bei den Kalibriermethoden (A) bis (C) und bei allen Kalibriertemperaturen und -feuchten zu berücksichtigen und im Kalibrierschein anzugeben (siehe Anhang B und C).

8.3 Strahlungseinfluss $\delta T_{\text{radiation}}$

Für die Abschätzung des Beitrages des Strahlungseinflusses zur Messunsicherheit sind 4 Verfahren zulässig (siehe Abschnitt 7.4). Für die einzelnen Verfahren ergeben sich folgende Beiträge zur Messunsicherheit⁴:

- Bei dem Verfahren 1 sollen 20 % der bestimmten Differenz als halbe Breite einer Rechteckverteilung als Unsicherheitsbeitrag zur Lufttemperatur berücksichtigt werden.

$$|\delta T_{\text{radiation}}| \leq 0,2 \times \text{Max} \left| T_{\text{le}} - T_{\text{he}} \right|$$

$$u(\delta T_{\text{radiation}}) = \frac{0,2}{\sqrt{3}} \times \text{Max} \left| T_{\text{le}} - T_{\text{he}} \right|$$

- Bei dem Verfahren 2 sollen 100 % der bestimmten Differenz als halbe Breite einer Rechteckverteilung als Unsicherheitsbeitrag zur Lufttemperatur berücksichtigt werden.

$$|\delta T_{\text{radiation}}| \leq \text{Max} \left| T_{\text{le}} - T_{\text{he}} \right|$$


$$u(\delta T_{\text{radiation}}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \text{Max} \left| T_{\text{le}} - T_{\text{he}} \right|$$

- Bei dem Verfahren 3 sollen 10 % der bestimmten Differenz als halbe Breite einer Rechteckverteilung als Unsicherheitsbeitrag zur Lufttemperatur berücksichtigt werden.

$$|\delta T_{\text{radiation}}| \leq 0,1 \times \text{Max} \left| T_{\text{le}} - T_{\text{wall}} \right|$$

$$u(\delta T_{\text{radiation}}) = \frac{0,1}{\sqrt{3}} \times \text{Max} \left| T_{\text{le}} - T_{\text{wall}} \right|$$

⁴ Wenn die Forderungen gemäß Abschnitt 7.4 bezüglich der Emissionsgrade der Thermometer nicht erfüllt werden, müssen die angesetzten Beiträge zur Messunsicherheit über die angegebenen Anteile hinaus erhöht werden.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	18/31

- Bei dem Verfahren 4 werden 0,3 K als halbe Breite einer Rechteckverteilung als Unsicherheitsbeitrag zur Lufttemperatur berücksichtigt.

$$|\delta T_{\text{radiation}}| \leq 0,3 \text{ K}$$

$$u(\delta T_{\text{radiation}}) = \frac{0,3 \text{ K}}{\sqrt{3}}$$

Der Strahlungseinfluss ist bei den Kalibriermethoden (A) bis (C) für alle Kalibriertemperaturen zu berücksichtigen. Im Kalibrierschein werden die für die Berechnung von $\delta T_{\text{radiation}}$ bestimmten maximalen Differenzen des jeweiligen Verfahrens, d. h. ohne die obigen Wichtungsfaktoren zu jeweiligen Verfahren von 0,1 bzw. 0,2 angegeben. Die Bewertung dieser Werte wird durch die Angabe des zugrunde liegenden Bestimmungsverfahrens ermöglicht.

8.4 Einfluss der Beladung δT_{load} ; δh_{load}

Als Unsicherheitsbeitrag der Beladung werden 20 % der Differenz der Temperatur des Referenzmessortes (beladener Zustand – leeres Nutzvolumen) als halbe Breite eines rechteckverteilten Beitrages mit dem Erwartungswert 0 angesetzt.

$$|\delta T_{\text{load}}| \leq 0,2 \times \text{Max} |T_{\text{ref}} - T_{\text{ref, load}}|$$

$$|\delta h_{\text{load}}| \leq 0,2 \times \text{Max} |h_{\text{ref}} - h_{\text{ref, load}}|$$

Für die zuzuordnenden Standardunsicherheiten ergibt sich:


$$u(\delta T_{\text{load}}) = \frac{0,2}{\sqrt{3}} \times \text{Max} |T_{\text{ref}} - T_{\text{ref, load}}|$$

$$u(\delta h_{\text{load}}) = \frac{0,2}{\sqrt{3}} \times \text{Max} |h_{\text{ref}} - h_{\text{ref, load}}|$$

Bei aktiver Beladung mit Verlustleistungsumsatz wird die festgestellte Differenz als halbe Breite einer Rechteckverteilung zum Unsicherheitsbeitrag der Beladung (im nicht aktiven Zustand) hinzugefügt. Bei Kalibrierungen nach Methode (B) muss die Beladung während der Kalibrierung aktiv sein. Als Beladungseinfluss wird im Kalibrierschein die Differenz der Temperatur des Referenzmessortes (beladener Zustand – leeres Nutzvolumen) (ohne Wichtungsfaktor 0,2) angegeben (siehe Anhang B und C).

8.5 Einfluss der Umgebungsbedingungen δT_{env} ; δh_{env}

Die Umgebungsbedingungen während der Kalibrierung werden im Kalibrierschein angegeben. Der Einfluss von Umgebungsbedingungen, die von denen bei der Kalibrierung abweichen (der zulässige Variationsbereich entsprechend der Herstellerspezifikationen muss eingehalten werden), muss abgeschätzt werden, wenn er für die Nutzung relevant ist. Für solche abweichenden Bedingungen müssen gegebenenfalls zusätzliche Unsicherheitsbeiträge angesetzt werden.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	19/31

8.6 Anzeigauflösung δT_{res} ; δh_{res}

Die Auflösung der Anzeigen für Temperatur bzw. relative Feuchte gehen als rechteckverteilter Unsicherheitsbeitrag ein. Die kleinste Auflösung beträgt 0,5 Digit. Dies ist die halbe Breite eines rechteckverteilten Beitrages mit dem Erwartungswert 0.

8.7 Messabweichung der Normalmesseinrichtung δT_{std} ; δh_{std}

Dieser Beitrag ergibt sich aus einem Teilbudget für die verwendeten Normalmesseinrichtungen.

$$T_{\text{std}} = T_{\text{ind, std}} + \Delta T_{\text{std}} + \delta T_{\text{std}} \quad \text{with} \quad \delta T_{\text{std}} = \delta T_{\text{cal}} + \delta T_{\text{drift}} + \delta T_{\text{res, std}} + \delta T_{\text{heat}} + \dots$$

$$h_{\text{std}} = h_{\text{ind, std}} + \Delta h_{\text{std}} + \delta h_{\text{std}} \quad \text{with} \quad \delta h_{\text{std}} = \delta h_{\text{cal}} + \delta h_{\text{drift}} + \delta h_{\text{res, std}} + \dots$$

Hierbei ist bei der Verwendung von Widerstandsthermometern als Normale die Eigenerwärmung δT_{heat} zu berücksichtigen. Diese kann in Luft deutlich größer sein als bei der Kalibrierung in Flüssigkeitsbädern. Bei Messunsicherheiten kleiner als 0,3 K in umgewälzten Klimaschränken bzw. kleiner als 0,5 K in nicht umgewälzten Klimaschränken ist dieser Beitrag durch Verwendung unterschiedlicher Messströme bei der Messung oder durch eine entsprechende Bestimmung bei der Kalibrierung des Widerstandsthermometers in ruhender bzw. bewegter Luft zu berücksichtigen. Wenn eine Messung mit unterschiedlichen Messströmen nicht möglich ist, kann die Bestimmung des Beitrages auch durch eine vergleichende Kalibrierung im Flüssigkeitsbad und ruhender bzw. bewegter Luft erfolgen.

9 Kalibrierergebnis


Als Ergebnis wird im Kalibrierschein die Abweichung der angezeigten Werte von den gemessenen Referenzwerten oder alternativ die Anzeige Korrektur angegeben. Dabei werden die Referenzwerte auf das Zentrum des Nutzvolumens bezogen. Die Messbedingungen und die Unsicherheiten der Anzeigeabweichungen bzw. Anzeige Korrekturen werden angegeben. Für die Ergebnisse der zusätzlichen Untersuchungen zur Charakterisierung der Verhältnisse im Nutzvolumen bzw. am Messort werden die jeweiligen Differenzen entsprechend den Abschnitten 7.2 bis 7.5 angegeben. Hierbei müssen die Messmethoden entsprechend Abschnitt 7.4 bzw. zugeordnete Beladung entsprechend Abschnitt 7.5 eindeutig beschrieben sein.

Wenn bestimmte Untersuchungen nicht durchführbar waren, muss darauf deutlich im Kalibrierschein hingewiesen werden. Die maximalen Werte der entsprechenden Beiträge zur Messunsicherheit müssen abgeschätzt und berücksichtigt werden.

Auf alle nicht im Ergebnis und in der Messunsicherheit enthaltenen Beiträge ist im Kalibrierschein hinzuweisen.

Im Fall der Kalibriermethode (C) muss der Kalibriergegenstand im Kalibrierschein mit „Messort(e) im Klimaschrank“ bezeichnet werden.

Die Einhaltung von Kunden- bzw. Herstellertoleranzen wird nur auf Kundenwunsch geprüft.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	20/31

Ein vollständiges Kalibrierergebnis besteht aus folgenden Angaben (Beispiele siehe Anhang B und C):

- Anzeigekorrektur oder -abweichung für die Temperatur am Referenzmessort (Methode (A) und (B)) bzw. Anzeigekorrektur(en) für den (die) einzelnen Messort(e) (Methode (C))
- Anzeigekorrektur oder -abweichung für die relative Feuchte am Referenzmessort (Methode (A) und (B)) bzw. Anzeigekorrektur(en) für den (die) einzelnen Messort(e) (Methode (C))
- Unsicherheit für die Temperaturanzeige
- Unsicherheit für die Anzeige der relativen Feuchte
- detaillierte Untersuchungsergebnisse wie z. B.:
 - *Homogenität, Stabilität, Strahlungseinfluss, Wandtemperatur usw.*
- Konformität für Temperatur⁵
- Konformität für relative Feuchte⁶
- Messbedingungen


Dem Kalibrierschein wird ein Informationsblatt (siehe Anhang D) beigelegt, in dem auf die speziellen Einfluss- und Fehlerquellen bei der Anwendung hingewiesen wird. Dieses Beiblatt ist Bestandteil des Kalibrierscheines und wird bei der Seitenangabe als letzte Seite des Kalibrierscheines mitgezählt.

10 Literatur

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • DIN EN 60068-1 • DIN EN 60068-2 (alle Teile) • DIN EN 60068-3-5:2002
 • DIN EN 60068-3-6:2002
 • DIN EN 60068-3-7:2002
 • DIN 50011 Teil 12 :1987 • DIN 12880 (Teile 1 und 2) | Umweltprüfungen – Teil 1: Allgemeines und Leitfaden
Umweltprüfungen
Umweltprüfungen – Teil 3-5: Unterstützende Dokumentation und Leitfaden, Bestätigung des Leistungsvermögens von Temperaturprüfkammern
Umweltprüfungen – Teil 3-6: Unterstützende Dokumentation und Leitfaden, Bestätigung des Leistungsvermögens von Temperatur-/Klimaprüfkammern
Umweltprüfungen – Teil 3-7: Unterstützende Dokumentation und Leitfaden, Leitfaden für Messungen in Temperaturprüfkammern für Prüfungen A und B (mit Prüfgut)
Klimaprüfeinrichtungen, Klimagröße: Lufttemperatur
Wärmeschränke |
|--|--|

⁵ Nur auf Kundenwunsch

⁶ Nur auf Kundenwunsch

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	21/31

Anhang A – Messunsicherheitsbudget (Beispiel)

A1 Temperaturbudget (Beispiel für die Temperaturmessung mit Pt100 als Normal)

Für die Korrektur $\Delta T_{\text{chamber}}$ der Anzeige der Temperatur T_{ind} des Klimaschranks von der mit den Normalen gemessenen Lufttemperatur T_{std} für den Referenzmessort ergibt sich folgendes Modell:

$$\Delta T_{\text{chamber}} = T_{\text{std}} - T_{\text{ind}} + \delta T_{\text{std}} + \delta T_{\text{inhom}} + \delta T_{\text{instab}} + \delta T_{\text{radiation}} + \delta T_{\text{load}} + \delta T_{\text{res}} + \delta T_{\text{env}}$$

Für die einzelnen Komponenten der Modellgleichung ergeben sich folgende Beiträge:

$T_{i, \text{std}}, \delta T_{i, \text{std}}$: Temperatur gemessen mit dem Normalthermometer für alle Messorte i ($i = 1, \dots, N$) bzw. Messabweichung am Messort i
 Der Typ-A-Unsicherheitsbeitrag wird aus der Standardabweichung des Mittelwertes für die mehrfach abgelesenen Anzeigen jedes Normalthermometers bestimmt. Wenn die Anzahl der Ablesungen klein ist (≤ 10) muss hier gegebenenfalls noch ein Faktor entsprechend der t-Verteilung zur Berücksichtigung des niedrigen Freiheitsgrades hinzugefügt werden (siehe DAkkS-DKD-3). Im Beispiel ergeben sich für die Standardabweichung des Mittelwertes 24 mK.
 Der Typ-B-Beitrag der Normalmesseinrichtung wird bestimmt aus einem Teilbudget für die Temperaturmessung (Beispiel für ein Pt100).


$$T_{\text{std}} = T_{\text{ind, std}} + \Delta T_{\text{std}} + \delta T_{\text{std}} \quad \text{with} \quad \delta T_{\text{std}} = \delta T_{\text{cal}} + \delta T_{\text{drift}} + \delta T_{\text{res, std}} + \delta T_{\text{heat}} + \dots$$

δT_{cal} : Unbekannte Messabweichung des Normalthermometers aufgrund der Kalibrierung. Die Normalmesseinrichtung für die Temperatur ist ein Pt100 mit dem zugehörigen Messgerät. Die Kennlinie des Sensors wird im Messgerät bei der Kalibrierung justiert, so dass keine Korrekturen an der Temperaturanzeige anzu bringen sind ($\Delta T_{\text{cal}} = 0$). Die Unsicherheit U der Temperatur wird dem Kalibrierschein entnommen ($U = 50$ mK; normalverteilt, $k = 2$).

δT_{drift} : Aus der Historie des Thermometers wird abgeschätzt, dass die Unsicherheit der Temperatur aufgrund der Drift des Pt100 (Normal) seit der letzten Kalibrierung 50 mK nicht überschreitet (rechteckverteilt).

$\delta T_{\text{res, std}}$: Die Auflösung des Normalthermometers beträgt 10 mK. Die zugehörige Unsicherheit ergibt sich damit als rechteckverteilter Beitrag mit der Breite 10 mK.

δT_{heat} : Aus der Untersuchung des Pt100 (Normal) im Luftstrom bei verschiedenen Messströmen wird abgeschätzt, dass die Unsicherheit der Temperatur aufgrund der Eigen erwärmung des Pt100 50 mK nicht überschreitet (rechteckverteilt).


	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	22/31

- T_{ind} : Die Anzeige der Temperatur des Klimaschranks ergibt sich aus dem Mittelwert der Ablesungen im Zeitraum von 30 min. Die zugehörige Unsicherheit wird durch die Standardabweichung des Mittelwertes von 130 mK gebildet (normalverteilt, $k = 1$; bei $n \leq 10$ muss Faktor der t-Verteilung entsprechend Freiheitsgrad berücksichtigt werden).
- δT_{inhom} : Die Temperaturinhomogenität wird aus den Messergebnissen für die einzelnen Messorte i bezogen auf den Referenzmessort bestimmt (siehe Abschnitt 8.1). Die größte Differenz aller Temperaturen zur Temperatur am Referenzmessort (meist Zentrum des Nutzvolumens) beträgt 0,8 K (halbe Breite des rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages).
- δT_{instab} : Die Temperaturinstabilität wird aus einer Messreihe für den Referenzmessort bestimmt. Die größte Abweichung innerhalb von 30 min zum Mittelwert über diesen Zeitraum beträgt 0,6 K (halbe Breite des rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages; siehe Abschnitt 8.2).
- $\delta T_{\text{radiation}}$: Der Strahlungseinfluss auf die Temperaturmessung wird nach Methode 1 (siehe Abschnitte 7.4 und 8.3) mit zwei Thermometern mit niedrigem bzw. hohem Emissionsgrad bestimmt. Die festgestellte Differenz der Temperaturen beider Thermometer beträgt 5 K. 20 % dieses Wertes werden als halbe Breite eines rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages angesetzt.
- δT_{load} : Für den Referenzmessort wird die Temperatur im unbeladenen und im nach Kundenvorgaben definiert beladenen Klimaschrank gemessen. Die Differenz beträgt 0,8 K. 20 % dieses Wertes werden als halbe Breite eines rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages angesetzt (siehe Abschnitt 8.4).
- δT_{res} : Die Auflösung der Temperaturanzeige des Klimaschranks beträgt 0,1 K. Die zugehörige Unsicherheit ergibt sich damit als rechteckverteilter Beitrag mit der Breite 100 mK.
- δT_{env} : Abweichung der Temperatur auf Grund abweichender Umgebungsbedingungen bei der Nutzung, s. Abschnitt 8.5. Ist nur relevant, wenn die Umgebungsbedingungen bei Kalibrierung und Nutzung unterschiedlich sind, und ist im Folgenden weggelassen.

Damit ergibt sich folgendes Budget:

Größe	Beschreibung	Schätzwert	Standardmessunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
T_{std}	Anzeige Normalthermometer	252,22 °C	24 mK	Normal	1	24 mK
δT_{cal}	Kalibrierung Normalthermometer	0	25 mK	Normal	1	25 mK
δT_{drift}	Drift Normalthermometer	0	29 mK	Rechteck	1	29 mK
$\delta T_{\text{res, std}}$	Auflösung Normalthermometer	0	3 mK	Rechteck	1	3 mK
δT_{heat}	Eigenerwärmung Pt100	0	29 mK	Rechteck	1	29 mK
T_{ind}	Anzeige Klimaschranktemperatur	250,4 °C	130 mK	Normal	1	130 mK
δT_{inhom}	Temperaturinhomogenität	0	462 mK	Rechteck	1	462 mK
δT_{instab}	Temperaturinstabilität	0	346 mK	Rechteck	1	346 mK
$\delta T_{\text{radiation}}$	Strahlungseinfluss	0	577 mK	Rechteck	1	577 mK
δT_{load}	Beladungseinfluss	0	92 mK	Rechteck	1	92 mK
δT_{res}	Auflösung	0	29 mK	Rechteck	1	29 mK
$\Delta T_{\text{chamber}}$	Anzeige-korrektur	1,8 K	834 mK			

Die erweiterte Messunsicherheit für die Kalibrierung der Temperaturanzeige des Klimaschranks bezogen auf das Nutzvolumen beträgt $U = k \cdot u(\Delta T_{\text{chamber}}) = 2 \cdot 834 \text{ mK} \cong 1,7 \text{ K}$.

	<p style="text-align: center;">Kalibrieren von Klimaschränken</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20180828AH</p>	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	24/31

Wenn bei diesem Budget ein rechteckverteilter Beitrag, z. B. die Inhomogenität o. Ä., deutlich alle anderen Beiträge überwiegt, ist für eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % entsprechend DAkkS-DKD-3 ein Erweiterungsfaktor $k \neq 2$ anzusetzen, weil die Messunsicherheit dann nicht normalverteilt ist. Aufgrund eines zu geringen effektiven Freiheitsgrades für die Standardmessunsicherheit des Ergebnisses kann sich entsprechend DAkkS-DKD-3 Anhang E auch ein Erweiterungsfaktor $k > 2$ ergeben.

A2 Budget für relative Feuchte (Beispiel für die Feuchtemessung mit kapazitiven Feuchtesensoren als Normal):

Für die Korrektur $\Delta h_{\text{chamber}}$ der Anzeige der relativen Feuchte h_{ind} des Klimaschranks von der mit den Normalen gemessenen relativen Feuchte h_{std} für den Referenzmessort ergibt sich folgendes Modell:

$$\Delta h_{\text{chamber}} = h_{\text{std}} - h_{\text{ind}} + \delta h_{\text{std}} + \delta h_{\text{inhom}} + \delta h_{\text{instab}} + \delta h_{\text{load}} + \delta h_{\text{res}} + \delta h_{\text{env}}$$

Für die einzelnen Komponenten der Modellgleichung ergeben sich folgende Beiträge:

$h_{\text{std}}, \delta h_{\text{std}}$: relative Feuchte gemessen mit dem Normalhygrometer für alle Messorte i ($i = 1, \dots, N$) bzw. Messabweichung am Messort i

Der Typ-A-Unsicherheitsbeitrag wird aus der Standardabweichung des Mittelwertes für die mehrfach abgelesenen Anzeigen jedes Feuchtesensors bestimmt. Wenn die Anzahl der Ablesungen klein ist (≤ 10) muss hier gegebenenfalls noch ein Faktor entsprechend der t-Verteilung zur Berücksichtigung des niedrigen Freiheitsgrades hinzugefügt werden (siehe DAkkS-DKD-3). Im Beispiel ergibt sich für die Standardabweichung des Mittelwertes der Ablesungen relative Feuchte 0,14 %.


Der Beitrag der Normalmesseinrichtung wird bestimmt aus einem Teilbudget für die Feuchtemessung (Beispiel: kapazitiver Feuchtesensor).

$$h_{\text{std}} = h_{\text{ind, std}} + \Delta h_{\text{std}} + \delta h_{\text{std}} \quad \text{with} \quad \delta h_{\text{std}} = \delta h_{\text{cal}} + \delta h_{\text{drift}} + \delta h_{\text{res, std}} + \dots$$

δh_{cal} : Unbekannte Messabweichung des Normalhygrometers aufgrund der Kalibrierung. Die Normalmesseinrichtung für die relative Feuchte ist für jeden Messort i ein Hygrometer auf der Basis eines kapazitiven Sensors für relative Feuchte. Die Korrektur des Sensors ($\delta h_{\text{cal}} = -0,5 \%$ r.F.) wird bei der Kalibrierung bestimmt und zusammen mit der Unsicherheit U der relativen Feuchte dem Kalibrierschein entnommen ($U = 0,7 \%$; normalverteilt, $k = 2$).

δh_{drift} : Aus der Historie der Hygrometer wird abgeschätzt, dass die Unsicherheit der Feuchtemessung aufgrund der Drift seit der letzten Kalibrierung eine relative Feuchte von 1,0 % nicht überschreitet (rechteckverteilt).

$\delta h_{\text{res, std}}$: Die Auflösung der vom Normalhygrometer angezeigten relativen Feuchte beträgt 0,1 %. Die zugehörige Unsicherheit ergibt sich damit als rechteckverteilter Beitrag mit der Breite 0,1 %.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	25/31


- h_{ind} : Die Anzeige für die relative Feuchte im Klimaschrank ergibt sich aus dem Mittelwert der Ablesungen im Zeitraum von 30 min. Die zugehörige Unsicherheit wird durch die Standardabweichung des Mittelwertes von im Beispiel 0,24 % gebildet (normalverteilt, $k = 1$; bei $n \leq 10$ muss der Faktor der t-Verteilung entsprechend Freiheitsgrad berücksichtigt werden).
- δh_{inhom} : Die Feuchteinhomogenität wird aus den Messergebnissen für die einzelnen Messorte i bezogen auf den Referenzmessort (siehe Abschnitt 8.1) bestimmt. Die größte Differenz aller relativen Feuchten zur relativen Feuchte am Referenzmessort (meist Zentrum des Nutzvolumens) beträgt 1,8 % (halbe Breite des rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages).
- δh_{instab} : Die Feuchteinstabilität wird aus einer Messreihe für den Referenzmessort bestimmt. Die größte Abweichung der relativen Feuchte innerhalb von 30 min zum Mittelwert über diesen Zeitraum beträgt 1,2 % (halbe Breite des rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages; siehe Abschnitt 8.2).
- δh_{load} : Für den Referenzmessort wird die relative Feuchte im unbeladenen und im nach Kundenvorgaben definiert beladenen Klimaschrank gemessen (Methode B). Die Differenz beträgt 2,2 %. 20 % dieses Wertes werden als halbe Breite eines rechteckverteilten Unsicherheitsbeitrages angesetzt (siehe Abschnitt 8.4).
- δh_{res} : Die Auflösung der von der Anzeige des Klimaschranks angezeigten relativen Feuchte beträgt 1,0 %. Die zugehörige Unsicherheit ergibt sich damit als rechteckverteilter Beitrag mit der Breite 1,0 %.
- δh_{env} : Abweichung der relativen Feuchte auf Grund abweichender Umgebungsbedingungen bei der Nutzung, s. Abschnitt 8.5. Ist nur relevant, wenn die Umgebungsbedingungen bei Kalibrierung und Nutzung unterschiedlich sind, und ist im Folgenden weggelassen.

Damit ergibt sich folgendes Budget:

Größe	Beschreibung	Schätzwert	Standardmessunsicherheit	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Unsicherheitsbeitrag
h_{std}	Anzeige Normalhygrometer	52,2 %	0,14 %	Normal	1	0,14 %
δh_{cal}	Kalibrierung Normalhygrometer	-0,5 %	0,35 %	Normal	1	0,35 %
δh_{drift}	Drift Normalhygrometer	0	0,58 %	Rechteck	1	0,58 %
$\delta h_{\text{res, std}}$	Auflösung Normalhygrometer	0	0,03 %	Rechteck	1	0,03 %
h_{ind}	Anzeige Klimaschränkefeuchte	49 %	0,24 %	Normal	1	0,24 %
δh_{inhom}	Feuchteinhomogenität	0	1,05 %	Rechteck	1	1,05 %
δh_{instab}	Feuchteinstabilität	0	0,69 %	Rechteck	1	0,69 %
δh_{load}	Beladungseinfluss	0	0,26 %	Rechteck	1	0,26 %
δh_{res}	Auflösung	0	0,29 %	Rechteck	1	0,29 %
$\Delta h_{\text{chamber}}$	Anzeige Korrektion	3 %	1,51 %			

Die erweiterte Messunsicherheit für die Kalibrierung der Anzeige für die relative Feuchte im Klimaschrank bezogen auf das Nutzvolumen beträgt $U = k \cdot u(\Delta h_{\text{chamber}}) = 2 \cdot 1,51 \% \cong 3,0 \%$.

Wenn bei diesem Budget ein rechteckverteilter Beitrag, z. B. die Inhomogenität o. Ä., deutlich alle anderen Beiträge überwiegt, ist für eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % entsprechend DAkkS-DKD-3 ein Erweiterungsfaktor $k \neq 2$ anzusetzen, weil die Messunsicherheit dann nicht normalverteilt ist. Aufgrund eines zu geringen effektiven Freiheitsgrades für die Standardmessunsicherheit des Ergebnisses kann sich entsprechend DAkkS-DKD-3 Anhang E auch ein Erweiterungsfaktor $k > 2$ ergeben.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	28/31

Ergebnisse zur Charakterisierung des Klimaschränkvolumens:

Temperatur				
Reglereinstellung in °C	Inhomogenität in K	Instabilität in K	Strahlungseinfluss in K	Beladungseinfluss in K

rel. Feuchte			
Reglereinstellung in %	Inhomogenität in %	Instabilität in %	Beladungseinfluss in %

Die Temperatur- und Feuchtemesswerte sind Mittelwerte aus Mehrfachmessungen. Die angegebenen Lufttemperaturen wurden mit einem Thermometer mit einem Emissionsgrad $\varepsilon < 0,15$ ermittelt. Der verbleibende Strahlungseffekt wurde nicht korrigiert, sondern in der angegebenen Messunsicherheit berücksichtigt. Die angegebenen Beiträge zur Charakterisierung des Volumens stellen die maximalen Variationsbereiche der Temperatur bzw. Feuchte unter den angegebenen Messbedingungen dar.

Die angegebenen Ergebnisse gelten nur für das von den Messorten aufgespannte Nutzvolumen des Klimaschranks. Alle anderen Teile des Schrankvolumens gelten nicht als kalibriert.

Die Lufttemperatur bzw. Luftfeuchte ergeben sich nach den Beziehungen:

$$\begin{aligned} \text{Lufttemperatur} &= \text{Temperaturanzeige} + \text{Anzeige Korrektur} \\ \text{Luftfeuchte} &= \text{Feuchteanzeige} + \text{Anzeige Korrektur} \end{aligned}$$

Bitte beachten Sie auch den Hinweis zum Einsatz von Klimaschränken auf beiliegendem Informationsblatt.

Messunsicherheit

Die Messunsicherheiten für die Temperaturen und relativen Feuchten wurden aus den Unsicherheiten von der Kalibrierung der Normale, der eingesetzten Messverfahren und der untersuchten Eigenschaften des Klimaschranks bestimmt.

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.

Anhang C – Muster für Ergebnisangabe für die Kalibrierung für einen Messort im Klimaschrank nach Methode (C)

Messergebnisse

Lufttemperatur:

Reglertemperatur-einstellung in °C	Temperatur Normal im Messpunkt in °C	Temperaturanzeige Kalibriergegenstand in °C	Anzeigekorrektion in K	Messunsicherheit in K

Luftfeuchte:


Reglereinstellung rel. Feuchte in %	rel. Feuchte Normal im Messpunkt in %	Anzeige der rel. Feuchte Kalibrier- gegenstand in %	Anzeigekorrektion rel. Feuchte in %	Messunsicherheit rel. Feuchte in %

Weitere Untersuchungsergebnisse zur Charakterisierung der Bedingungen am Messort:

Temperatur				
Reglereinstellung in °C	Inhomogenität in K	Instabilität in K	Strahlungseinfluss in K	Beladungseinfluss in K

rel. Feuchte			
Reglereinstellung in %	Inhomogenität in %	Instabilität in %	Beladungseinfluss in %

Die Temperatur- und Feuchtemesswerte sind Mittelwerte aus Mehrfachmessungen. Die angegebenen Lufttemperaturen wurden mit einem Thermometer mit einem Emissionsgrad $\varepsilon < 0,15$ ermittelt. Der verbleibende Strahlungseffekt wurde nicht korrigiert, sondern in der angegebenen Messunsicherheit berücksichtigt. Die angegebenen Beiträge zur Charakterisierung der Bedingungen am Messort stellen die maximalen Variationsbereiche der Temperatur bzw. Feuchte unter den angegebenen Messbedingungen dar.

	Kalibrieren von Klimaschränken https://doi.org/10.7795/550.20180828AH	DKD-R 5-7	
		Ausgabe:	09/2018
		Revision:	0
		Seite:	30/31

Die angegebenen Ergebnisse gelten nur für den Messort bzw. das Volumen eines Würfels von maximal 5 cm Kantenlänge, in dessen Zentrum der Messort liegt. Alle anderen Teile des Schrankvolumens gelten nicht als kalibriert.

Die Lufttemperatur bzw. Luftfeuchte am Messort ergeben sich nach den Beziehungen:

Lufttemperatur = Temperaturanzeige + Anzeigekorrektur

Luftfeuchte = Feuchteanzeige + Anzeigekorrektur

Bitte beachten Sie auch den Hinweis zum Einsatz von Klimaschränken auf beiliegendem Informationsblatt

Messunsicherheit

Die Messunsicherheiten für die Temperaturen und relativen Feuchten wurden aus den Unsicherheiten von der Kalibrierung der Normale, der eingesetzten Messverfahren und der untersuchten Eigenschaften des Klimaschranks bestimmt.

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.

Anhang D – Beiblatt zum Kalibrierschein für Klimaschränke

Hinweis zur Kalibrierung und zum Einsatz von Klimaschränken

Allgemeines

Die Kalibrierung gilt ohne weitere Angaben im Kalibrierschein nur für die Lufttemperatur und/oder Luftfeuchte im leeren Nutzvolumen des Klimaschranks.

Bei anderen als den jeweils angegebenen Messbedingungen ist mit teilweise erheblichen Abweichungen (bis zu mehreren Kelvin) zum Kalibrierwert zu rechnen.

Strahlungseinflüsse

Beim Einsatz der Klimaschränke im Temperaturbereich oberhalb der Raumtemperatur haben bei vielen Modellen die Wände eine niedrigere Temperatur als die Luft. Auf Grund von Strahlungsverlusten ist in diesen Fällen die Lufttemperatur höher als die Temperatur eines Thermometers oder Prüfobjektes im Nutzraum.

Ebenso können erhebliche Temperaturunterschiede zwischen der Temperatur des Thermometers und der Temperatur eines Gegenstandes (→ „Objekt im Nutzvolumen“) im Klimaschrank auftreten. Speziell dann, wenn das Emissionsvermögen bzw. der Emissionsgrad (ε) des Gegenstandes nicht mit dem des Thermometers übereinstimmt, sind in der Regel große Unterschiede zu erwarten.

Aufgrund des Strahlungsgesetzes vergrößert sich der Einfluss dieses Effektes bei höheren Temperaturen überproportional. Unterhalb der Raumtemperatur kehrt sich das Vorzeichen des Strahlungseinflusses um, jedoch ist die Auswirkung deutlich kleiner und oft vernachlässigbar.

Je nach Modell des Klimaschranks sind oberhalb von 150 °C Unterschiede von mehreren Kelvin möglich.

Objekt im Nutzvolumen

Objekte im Nutzvolumen werden im Allgemeinen nicht die Lufttemperatur annehmen, die bei der Kalibrierung vorherrschten, weil

- 1) die Bedingungen der Beladung, sofern sie bei der Kalibrierung nicht exakt nachgebildet wurden, das Temperaturfeld im Nutzvolumen beeinflussen und verändern,
- 2) Position, Größe und Material des Objektes im Allgemeinen nicht mit den Eigenschaften des Thermometers übereinstimmen, welches zur Kalibrierung des Klimaschranks genutzt wurde und
- 3) das Objekt qualitativ, jedoch nicht quantitativ, vergleichbaren → Strahlungseinflüssen unterworfen ist, wie ein Thermometer.

Relative Feuchte im Nutzvolumen

Die Verteilung der relativen Feuchte im Nutzvolumen kann wesentlich verändert werden, wenn im Nutzvolumen Quellen oder Senken für Wasserdampf vorhanden sind, eine wirksame Durchmischung des Nutzvolumens nicht gewährleistet ist oder durch Undichtigkeiten Luftaustausch mit der Umgebung stattfinden kann.

Messunsicherheit

Die angegebene Messunsicherheit gilt nur bei Einhaltung der jeweils dokumentierten Messbedingungen. Sie gilt für die Temperatur- bzw. Feuchteanzeige des Klimaschranks bezogen auf die Temperatur bzw. relative Feuchte der Luft im Klimaschrank an einer definierten Position bzw. für ein definiertes Volumen.

Nur bei gleichem Beladungszustand, Messort(en) bzw. Nutzvolumen und ähnlichen Thermometereigenschaften ($\varepsilon < 0,2$) kann der Kalibrierwert innerhalb der angegebenen Messunsicherheit reproduziert werden.

Der Strahlungseffekt des verwendeten Normals, bezogen auf den hier kalibrierten Klimaschrank, wurde ermittelt und in der Messunsicherheit berücksichtigt. Eine Korrektur des Effektes fand nicht statt, es sei denn, es ist im Kalibrierschein ausdrücklich vermerkt.