

Q-DAYS: QUALITÄT. AUSTAUSCH. ZUKUNFT.

Sensorwahl und Kalibrierung in der Thermodynamik – Temperatur & Feuchte im Fokus

07.11.2025

www.testotis.de

AGENDA



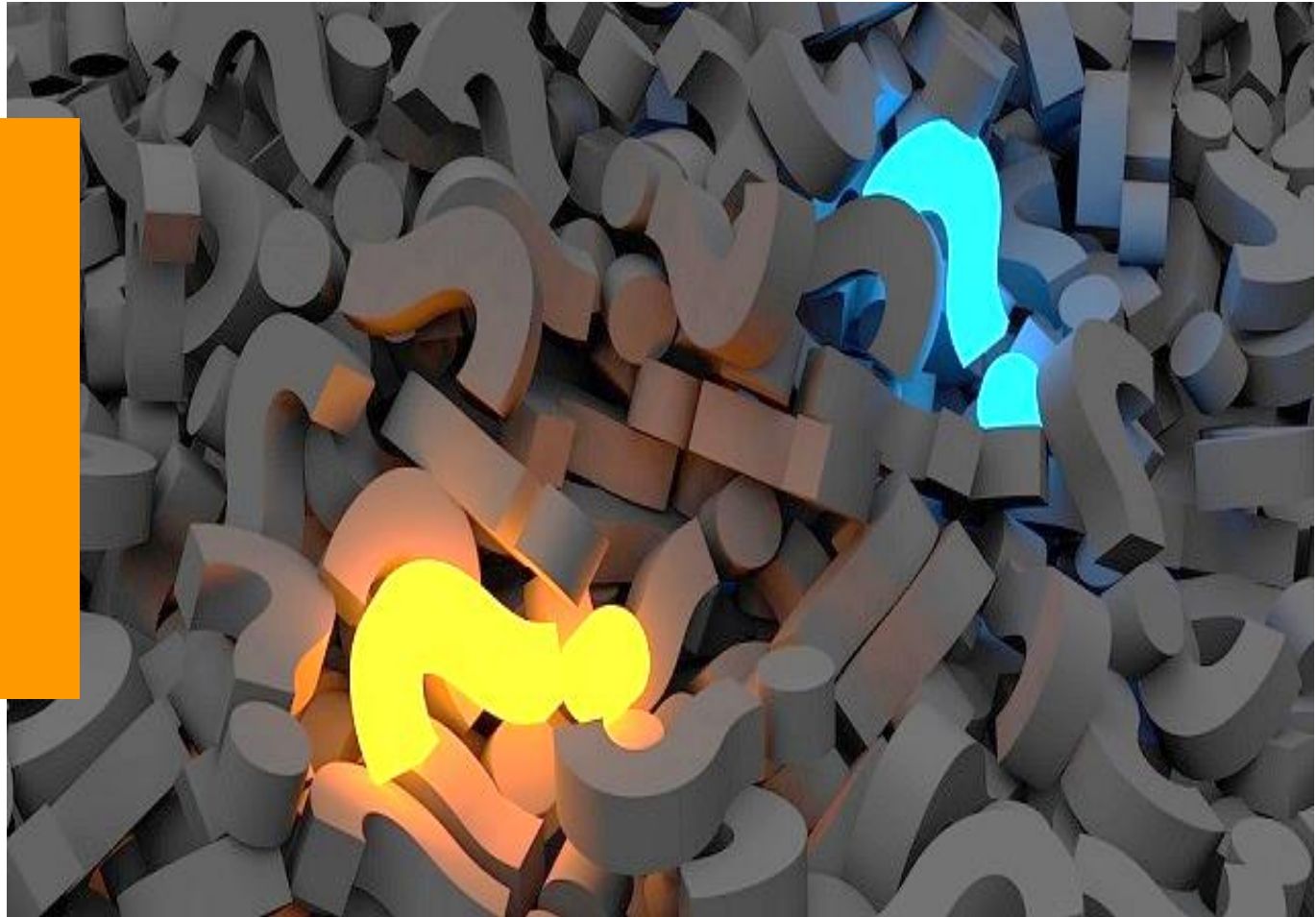
- ▶ **AUSGANGSLAGE ANALYSIEREN**
 - **MESSAUFGABE BENENNEN**
 - **ANFORDERUNGEN FESTLEGEN**

- ▶ **AUSWAHL DER SENSOREN**
 - **WICHTIGSTEN SENSOREN IM VERGLEICH**

- ▶ **AUSWAHL DER MESSPUNKTE**

- ▶ **MÖGLICHKEITEN DER KALIBRIERUNG**

AUSGANGSLAGE ANALYSIEREN



Messaufgabe benennen – Was möchte ich messen?



- ▶ Temperatur/Feuchte in Luft (Umgebungsbedingungen), Bauteiltemperatur, Flüssigkeit, Oberflächentemperatur
- ▶ Messumgebung:
 - (Luft, Flüssigkeit, Oberfläche, Feststoff, Dampf)
 - Wie bewegt sich das Medium? Ist Kontaktmessung möglich?
 - Wie schnell muss die Temperaturänderung erfasst werden? (Ansprechzeit)
- ▶ Messort & Einbausituation Wie komme ich an die Messstelle/Objekt heran?
 - (direkt eintauchend, seitlich, rückseitig, nur außen zugänglich?)
 - Wie tief kann/muss der Sensor ins Medium/Objekt eintauchen?
 - Welche Befestigung ist möglich? (verschraubt, gesteckt, geklemmt, magnetisch)

Bauformen und Anwendungsbereiche



- Tauch-/Einstechfühler zur Messung in Flüssigkeiten und plastischen Stoffen



- Luftfühler für schnelle Lufttemperatur-Messungen



- Oberflächenfühler für plane Oberflächen (Pilzkappenfühler)



- Kreuzbandfühler für unebene Oberflächen



- Spezialfühler (Speziell für die spezifische Anwendung konstruiert)



- Einbaufühler (mit Gewinde zum Einschrauben)

Einfluss der Bauform auf das Messergebnis



Man misst nie die Temperatur des zu messenden Mediums/Objekt, sondern immer die Sensortemperatur!

Nicht der „beste/genaueste“ Sensor ist entscheidend – sondern derjenige, der für die jeweilige Messaufgabe und Temperaturankopplung optimal geeignet ist

z.B. Oberflächentemperaturfühler:

Diese Wärmeübertragung hängt hauptsächlich von der Bauform des Fühlers ab, bzw. dessen wärmeübertrag zum Sensor – die Genauigkeit des Sensors hat weniger Einfluss auf das Messergebnis



Welche Anforderungen bestehen?

- ▶ Messbereich definieren
 - Welcher Arbeitsbereich liegt für die Anwendung vor?
 - (z. B. Kühlanwendung im Bereich von -20 °C bis 0 °C)

- ▶ Genauigkeit der Messaufgabe definieren
 - Wie genau muss die Messung sein?
 - Gibt es interne/externe Anforderungen zur Genauigkeit?

- ▶ Auswertung und Signalübertragung definieren
 - Wie erfolgt die Signalübertragung/Auswertung?
 - Welche Geräte (Handmessgerät, Messumformer, Datenlogger, Steuerung) sollen das Signal verarbeiten?

AUSWAHL DER SENSORIK

- ▶ Welcher Sensor kann die, in der Ausgangslage analysierte Messaufgabe bewältigen

NTC - Thermistor

Vorteile:

- ▶ Sehr hohe Sensitivität: Ein kleiner Temperaturanstieg führt zu einem Verhältnismäßig großen Widerstandsänderungseffekt.
- ▶ Kompakte Bauform möglich (Durchmesser ab 0,2mm)
- ▶ Kostengünstig



Nachteile:

- ▶ Eingeschränkter Temperaturbereich (typischerweise -20°C bis ca. +150 °C)
- ▶ Der Widerstand ändert sich nicht proportional zur Temperatur, sodass eine Kompensation/Linearisierung notwendig ist.
- ▶ Beim Messstrom kann der Sensor sich selbst erwärmen und so Messfehler verursachen.
- ▶ Austauschbarkeit begrenzt im Vergleich zu Normfühlern wie Pt100.

Pt100/Pt1000 - (Resistance Temperature Detector)

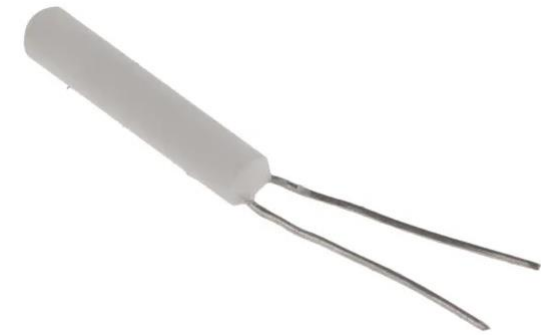


Vorteile:

- ▶ Sehr gute Genauigkeit und Reproduzierbarkeit (Systemgenauigkeiten bis zu $\pm 0,05^\circ\text{C}$)
- ▶ Langzeitstabilität und zyklenresistent gegenüber Temperaturwechseln
- ▶ Standardisiert (durch z. B. DIN EN 60751) – Austauschbarkeit, Vergleichbarkeit
- ▶ Breiter Temperaturbereich möglich (-200°C bis $+660^\circ\text{C}$)

Nachteile:

- ▶ Höhere Anschaffungs- und Installationskosten im Vergleich zu einfachen Thermistoren
- ▶ Empfindlicher gegenüber mechanischer Beanspruchung (z. B. Vibration, Schock)
- ▶ Lange Reaktionszeit (abhängig von Bauform)
- ▶ Bei langen Leitungen muss der Leitungswiderstand berücksichtigt werden



Thermoelemente



Vorteile:

- ▶ Sehr großer Temperaturbereich – manche Typen bis über 1200°C.
- ▶ Robustes und einfaches Aufbauprinzip
- ▶ Gut geeignet für raue Umgebungen
- ▶ Schnelle Reaktionszeit/ Angleichzeit
- ▶ Kostengünstig

Nachteile:

- ▶ Genauigkeit
- ▶ Langzeitstabilität
- ▶ Umgebungstemperatur muss berücksichtigt werden (Vergleichs)
- ▶ Kurzschluss nicht direkt erkennbar



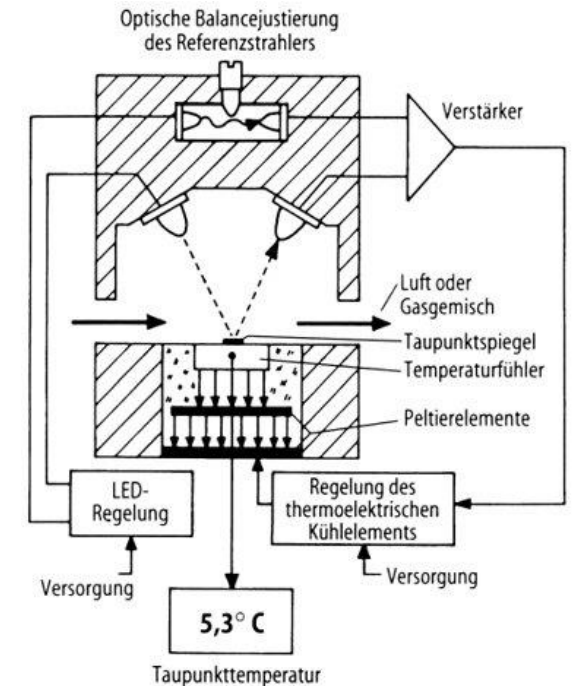
Taupunktspiegel

Vorteile:

- ▶ Großer Messbereich (-80°Ctd bis 130°Ctd)
- ▶ Sehr hohe Genauigkeit
- ▶ Geeignet für Messungen in geschlossenem System
- ▶ Langzeitstabilität

Nachteile:

- ▶ Hoher Anschaffungspreis
- ▶ Hoher Wartungsaufwand
- ▶ Unter 0°Ctd kann der Spiegel vereisen



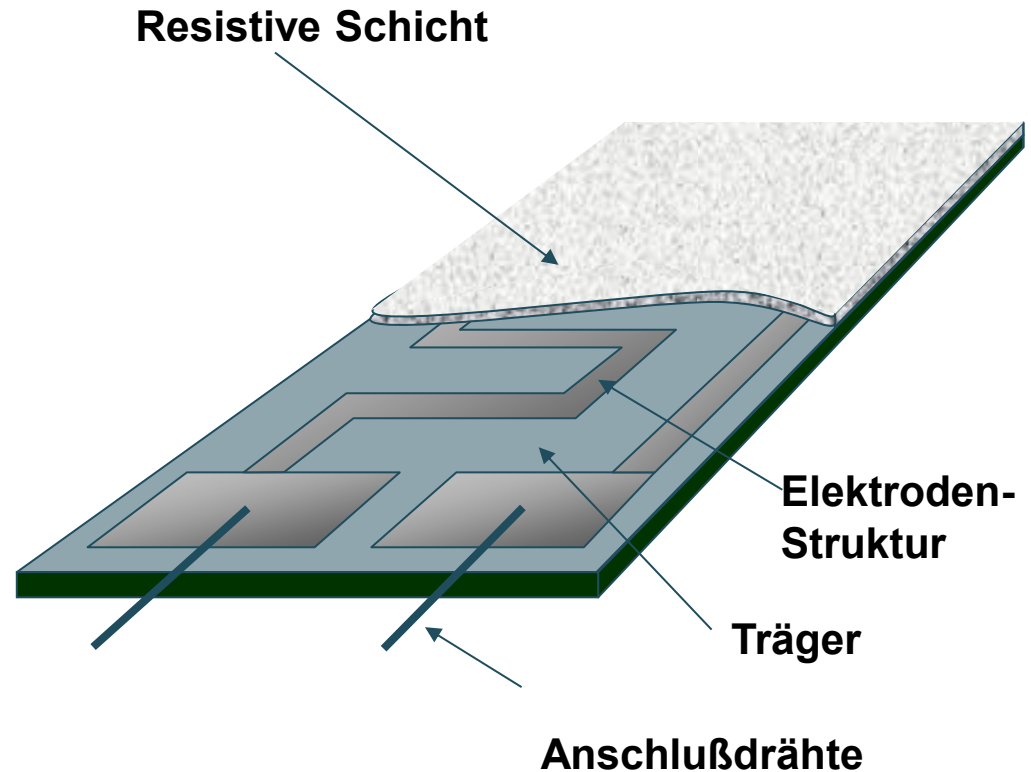
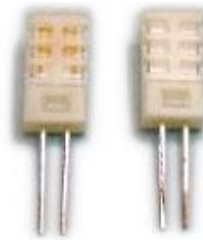
Resistive Polymersensoren

Vorteile:

- ▶ Kostengünstig
- ▶ Kleine Bauformen möglich

Nachteile:

- ▶ Eingeschränkter Feuchtebereich
- ▶ Stark temperaturabhängig
- ▶ Geringe Genauigkeit
- ▶ Empfindlich gegen Kondensation



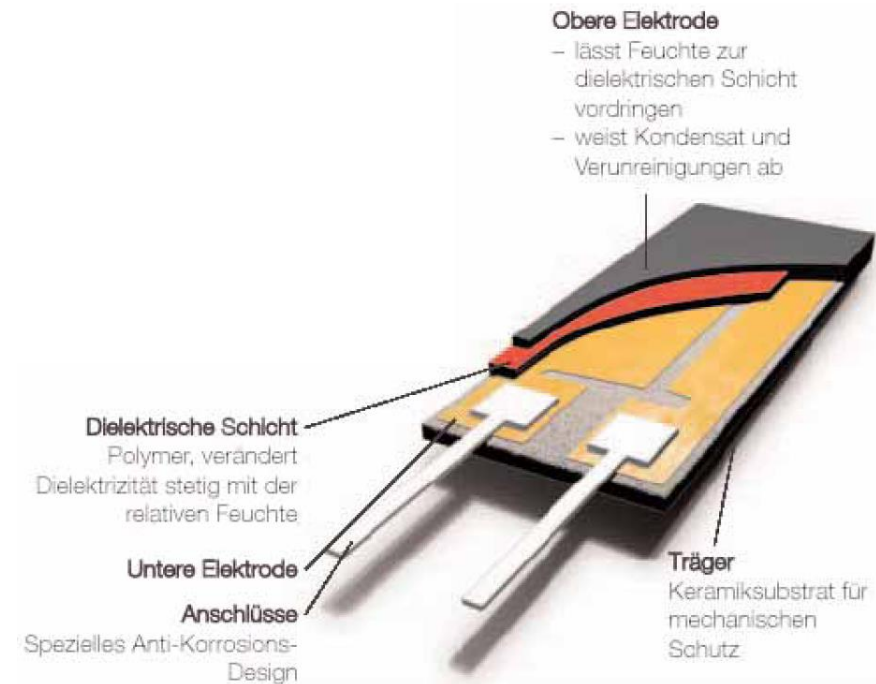
Kapazitive Polymersensoren

Vorteile:

- ▶ Kleine Bauformen möglich
- ▶ Hohe Genauigkeit
- ▶ Nahezu lineare Kennlinie
- ▶ Großer Messbereich

Nachteile:

- ▶ Teurer als Resistive-Sensoren
- ▶ Empfindlich gegen Verschmutzung
- ▶ Empfindlich gegen Kondensation



Anforderung an die Auswerteeinheit

- ▶ Manuelle Auslesungen der Messwerte (Anzeigegerät mit direkter Anzeige)
- ▶ Datenspeicherung auf dem Messgerät mit manueller Auslesung der Daten (Datenlogger)
- ▶ Datenspeicherung auf einer Datenbank – Datenübertragung per Funk, WLAN, etc.



AUSWAHL DER MESSPUNKTE

- ▶ Welche Kalibrier-/ Messpunkte sind geeignet für die, in der Ausgangslage analysierte Messaufgabe

Auswahl der Kalibrierpunkte/ Messpunkte

- ▶ Welchen Messbereich nutze ich? Was ist mein Anwendungsbereich?
- ▶ Gibt es Vorgaben von internen/externen Richtlinien?

- ▶ Nicht der Messbereich des Sensors ist entscheidend, sondern der Anwendungsbereich!
 - Ein zu groß gewählter Bereich belastet den Sensor unnötig und der Sensor altert schneller

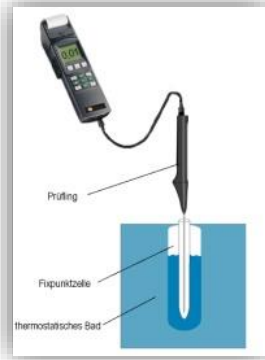
- ▶ z.B.: Raumklima → 20°C bis 26°C und 20%rF bis 70%rF
 - Feuchtekalisierung bei 23°C → 11,3%rF / 50%rF / 75,3%rF
 - Temperaturkalibrierung bei 20°C und 26°C

- ▶ z.B.: Temperaturanwendung → 20°C bis 295°C
 - Temperaturkalibrierung bei 0°C / 100°C / 200°C / 300°C

MÖGLICHKEIT DER KALIBRIERUNG

- ▶ Wie kann ich meine Sensoren, für die in der Ausgangslage definierte Messaufgabe kalibrieren?
- ▶ Sollte ich die Prozessanlage ebenfalls berücksichtigen?

Möglichkeiten der Kalibrierung



Kalibrierung an
Fixpunkten

Kalibrierung von
Ihrer Prozess-
Anlage

Kalibrierung einer
Klimakammer



Kalibrierung

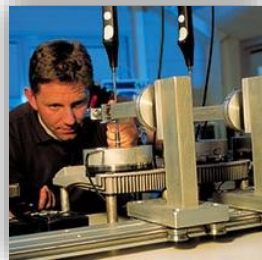
Kalibrierung im
Klimaschrank



Kalibrierung in
Blockkalibratoren oder
Temperaturbäder

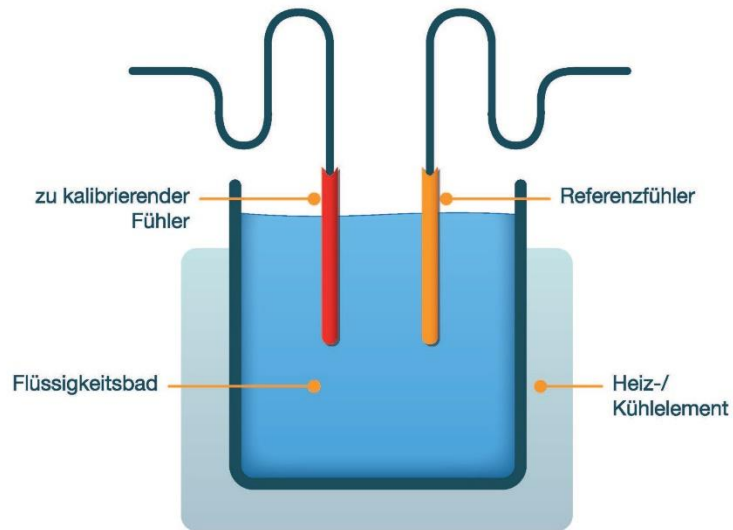


Kalibrierung an Oberflächen
(berührend und berührungslos)



Kalibrierung der Sensoren durch externe Beaufschlagung

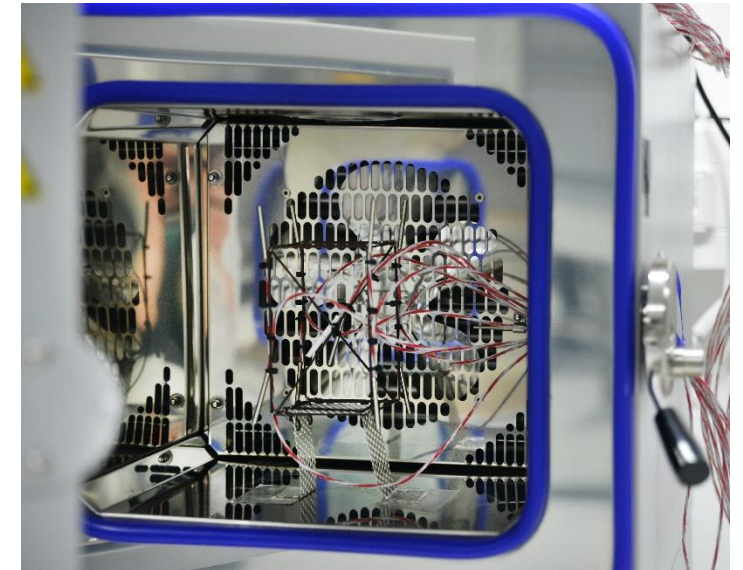
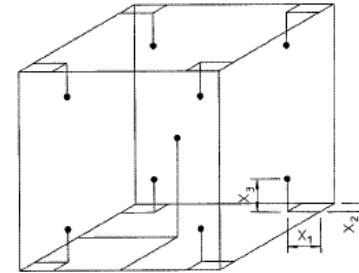
- ▶ Kalibrierung mithilfe von Blockkalibratoren, Temperaturbäder, Klimakammern oder Feuchtegeneratoren durchgeführt
- ▶ Akkreditierte Kalibrierung möglich
- ▶ Kleinste Messunsicherheiten



DKD-R 5-7: Kalibrierung von Klimaschränken und Temperaturschränken

Die Richtlinie DKD-R 5-7 beschreibt die Kalibrierung und Charakterisierung von Temperatur- und Klimakammern

- ▶ Akkreditierte Kalibrierung möglich
- ▶ Ausmessung eines Nutzvolumen
 - Räumliche Verteilung der Temperatur und ggf. der relativen Feuchte
- ▶ Bestimmung der Anzeigeabweichung für die Temperatur und/oder relative Feuchte am Referenzmessort
- ▶ Messunsicherheit für die Anzeige der Temperatur und ggf. der relativen Feuchte
- ▶ Weitere Untersuchungsergebnisse zur Charakterisierung
 - Inhomogenität, zeitliche Instabilität, Strahlungseinfluss, [Beladungseinfluss]

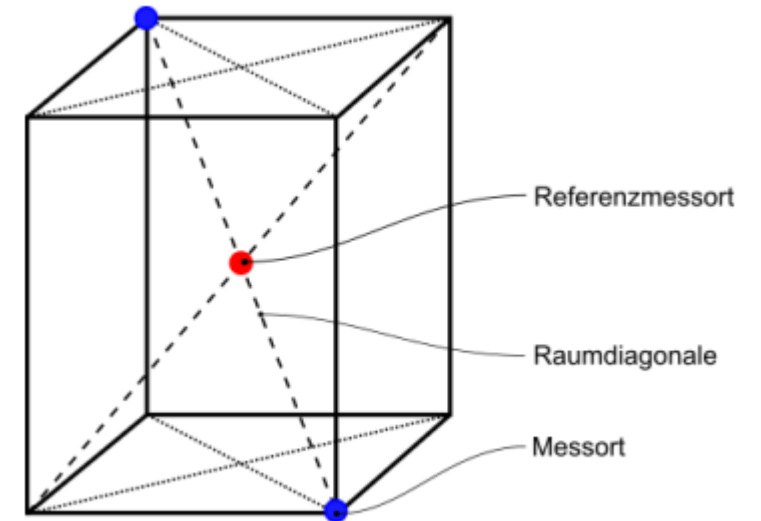


DKD-R 5-7: Kalibrierung von Klimaschränken und Temperaturschränken

Die Richtlinie DKD-R 5-7 wurde eine neue 01/2025 Version veröffentlicht

Neu → Methode (D):

- ▶ Für Innenraumvolumina (bis 70 l)
- ▶ Ausmessung eines Nutzvolumen
 - Inhomogenität, zeitliche Instabilität, Strahlungseinfluss, [Beladungseinfluss]
 - Messung an 3 Messorten diagonal über das Nutzvolumen aufgespannt



Kalibrierung Ihrer Prozessanlage z.B. Wärmebehandlungszonen, Trockner etc.

- ▶ Vergleichsmessung des Regelsensors am Arbeitspunkt möglich
- ▶ Temperaturmapping mit kalibrierten Sensoren/Datenloggern des Prozessablaufs
- ▶ Charakterisierung der Prozessanlage
 - Inhomogenität, zeitliche Instabilität, Strahlungseinfluss, [Beladungseinfluss]



CHECKLISTE SENSORAUSWAHL

- ▶ Ausgangslage analysieren
- ▶ Anforderungen definieren
- ▶ Bauform des Fühlers auswählen
- ▶ Sensorart festlegen
- ▶ Messpunkte anhand des Arbeitsbereichs festlegen
- ▶ Kalibrierung festlegen

IHR DIREKTER KONTAKT ZU UNS

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Philipp Löffler
Experte Metrologie
Calibration Services

Tel.: +49 7661 90901 8066
E-Mail: PLoeffler@testotis.de



LinkedIn:
Testo Industrial Services