

Expertenbericht

Anleitung zur Nutzung des DCC-Schemas für die Erstellung eines digitalen Kalibrierscheins für Temperatur- und Feuchtemessgrößen

DKD-E 5-3, Revision 1

<https://doi.org/10.7795/550.20260623>

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Der **Deutsche Kalibrierdienst** ist ein technisches Gremium unter Leitung der PTB. Mit seinen Mitgliedern, zu denen mehr als 500 Laboratorien und Unternehmen des Kalibrierwesens gehören, ist er **das Kalibriernetzwerk Deutschlands**. Der DKD stellt somit eine wichtige Plattform für den fachlichen Austausch seiner Mitglieder dar. Grundlegendes Ziel des DKD ist die Förderung der Einheitlichkeit im Messwesen.

Zu den Aufgaben des DKD zählt u.a. die Erstellung kalibrierrelevanter Dokumente. Diese werden von den Mitgliedern der DKD-Fachausschüsse gemeinsam mit Mitarbeitenden der PTB erarbeitet. Die DKD-Dokumente repräsentieren jeweils den aktuellen Stand der Technik. Die Richtlinien und Leitfäden des DKD dienen zudem vielfach als Basis für den technischen Teil bei Begutachtungen zur Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS).

Die Kalibrierlaboratorien führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei ihrer Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine dienen als Nachweis für die Rückführung der Messungen auf nationale Normale. Neben der Erarbeitung messtechnischer Grundlagen im Kalibrierwesen fördert der DKD somit auch die Weitergabe der Maßeinheiten im Sinne der messtechnischen Rückführung.



Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, das nationale Metrologieinstitut, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

DKD-Expertenberichte

DKD-Expertenberichte dienen oftmals dazu, Hintergrundinformationen und Hinweise im Umfeld von Kalibrierungen bereitzustellen, die einen Bezug zu anderen DKD-Dokumenten, wie beispielsweise den DKD-Richtlinien oder DKD-Leitfäden, aufweisen. Dabei ersetzen sie jedoch nicht diese Richtlinien und Leitfäden, sondern bieten eine Vielzahl zusätzlicher wissenschaftlicher Informationen. Die Expertenberichte spiegeln die Meinung der Autorinnen und Autoren wider.

Die DKD-Expertenberichte behandeln entscheidende Aspekte des Kalibrierwesens und thematisieren zentrale Fragestellungen. Ihre Veröffentlichung durch den DKD macht sie einer breiten Gemeinschaft von Kalibrierlaboratorien sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene zugänglich.

Der vorliegende Expertenbericht wurde vom Fachausschuss Temperatur und Feuchte erstellt. Die Veröffentlichung erfolgt mit Zustimmung der DKD-Geschäftsstelle.

Kurzzusammenfassung

Dieser Expertenbericht ergänzt im Bereich der Thermodynamik vorhandene Kalibrierrichtlinien um Erläuterungen zum Aufbau eines DCC (digital calibration certificate). XML-Beispiele mit entsprechenden Erklärungen werden für das Kalibrieren von Thermometern gemäß DKD-R 5-1 und Hygrometern zur direkten Erfassung der relativen Feuchte gemäß DKD-R 5-8 vorgestellt.

Neu in Revision 1 sind Erklärungen für das Kalibrieren von Thermoelementen gemäß DKD-R 5-3 und eine Möglichkeit zur Angabe der Messwertreihenfolge ohne die Nutzung von Zeitstempeln.

Wie bereits in Revision 0 werden Hinweise für derzeit nicht im Detail betrachtete Größen und Kalibriergegenstände, beispielsweise für das Kalibrieren von Temperatur-Blockkalibratoren gemäß DKD-R 5-4, gegeben. Zusätzlich wird der aktuelle Stand der refTypes vorgestellt. Somit steht eine harmonisierte Grundlage für die Erstellung individueller DCCs zur Verfügung.

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Expertenbericht DKD-E 5-3, Anleitung zur Nutzung des DCC-Schemas für die Erstellung eines digitalen Kalibrierscheins für Temperatur- und Feuchtemessgrößen, Ausgabe 06/2026, Revision 1, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20260623>.

Urheberrecht

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:

Dr. Lars Bünger, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin
Dr. Regina Deschermeier, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Dr. Michael Melzer, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
Jens Schüür, ELMTEC Ingenieurgesellschaft mbH, Königslutter am Elm
Dr. Oliver Wroblowski, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin

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

1	Einleitung	6
2	Namespaces	6
3	Allgemeine Punkte	7
3.1	Darstellung der Messergebnisse	7
3.2	Skalen.....	10
3.2.1	Temperaturskalen im Detail	10
3.2.2	Definitionen der relativen Feuchte	11
3.3	Kalibriergegenstand	11
3.4	Umgebungsbedingungen in Kalibrierscheinen	13
3.5	Angabe des Kalibriermediums	14
3.6	Darstellung von beiden Messgrößen in einem Kalibrierschein	17
4	Widerstandsthermometer nach DKD-R 5-1	17
4.1	Kalibriergegenstand	17
4.2	Kalibrierverfahren.....	17
4.3	Temperiereinrichtung und Eintauchtiefe	18
4.4	Statements.....	19
4.5	Inhalte im Ergebnisbereich Measurement Results	19
4.5.1	Eingangswert	21
4.5.2	Isolationswiderstand.....	22
4.5.3	Anzeigewerte und konvertierte Temperaturwerte bei Fühlerkalibrierung	22
4.5.4	Eigenerwärmung und Messstromstärke	23
4.5.5	Hysterese.....	26
4.5.6	Zeitstempel	27
4.5.7	Aussagen zur Konformität eines Messmittels	28
5	Thermoelemente und Thermoelementthermometer nach DKD-R 5-3.....	28
5.1	Kalibriergegenstand	28
5.2	Kalibrierverfahren.....	29
5.3	Messeinrichtung und Vergleichsstelle	29
5.4	Einflussgrößen	29
5.5	Angabe der Messergebnisse.....	30
6	Temperatur-Blockkalibratoren nach DKD-R 5-4	30
7	Klimaschränke nach DKD-R 5-7	30
8	Messgeräte zur Erfassung der relativen Feuchte nach DKD-R 5-8.....	31
8.1	Kalibriergegenstand	31
8.2	Kalibrierverfahren.....	31
8.3	Allgemeine Inhalte im Bereich Administrative Data	32
8.3.1	Beschreibung der Kalibriergegenstände – <dcc:items>.....	32

8.3.2	Statements.....	32
8.4	Inhalte im Ergebnisbereich - <dcc:measurementResults>.....	32
8.4.1	Angabe des Vorbehandlungsprozesses	33
8.4.2	Angabe des Kalibrierverfahrens und -ablaufs.....	33
8.4.3	Angabe der Messreihenfolge	35
8.4.4	Angabe des Einbauzustandes.....	35
8.4.5	Hysterese.....	36
8.4.6	Angabe des Kalibrierergebnisses inklusive der Gastemperatur.....	37
8.4.7	Angabe des Sättigungszustands	42
8.4.8	Kalibriermedium	42
8.4.9	Anströmgeschwindigkeit.....	43
8.4.10	Angleichzeit.....	43
8.5	Weitere Bemerkungen/Festlegungen	44
8.5.1	Angabe der Abdeckung durch eingetragene Kalibrier- und Messmöglichkeit	44
8.5.2	Aussagen zur Konformität eines Messmittels	44
8.5.3	Liste aller Community-spezifischen RefTypes	45
9	Messgeräte zur Bestimmung der absoluten Feuchte.....	46
10	Strahlungsthermometer	46
11	Oberflächen-Thermometer.....	46
12	Mechanische Thermometer	46
13	Angabe von Interpolationsfunktionen und deren Koeffizienten im DCC	46
14	Fixpunkte für die Darstellung und Weitergabe der Größe Temperatur	46
15	Literaturverzeichnis.....	47
16	Änderungshistorie.....	48
	Anhang A	49
	Anhang B	49
	Anhang C	49
	Anhang D	49

1 Einleitung

Das DCC-Schema ist eine generische Vorlage für digitale Kalibrierscheine für alle Messgrößen im XML-Format (Extensible Markup Language). Eine maschineninterpretierbare Umsetzung benötigt weitergehende, fachspezifische Festlegungen für die konkrete Einbindung spezifischer Informationen. Um diese zu entwickeln, ist im DKD-Fachausschuss Temperatur und Feuchte eine Expertengruppe gebildet worden, die das vorliegende Dokument als Ergebnis erstellt hat.

Im Folgenden werden die Inhalte für den digitalen Kalibrierschein für thermodynamische Messgrößen erläutert. Die verpflichtenden allgemeinen Angaben wie z. B. Angabe von Kalibrierlaboratorium, Kunde oder auch Kalibrierdatum werden in [1] beschrieben. Anpassungen an die vom Labor zu berichtenden Werte sind generell notwendig. Die Anwendung der hier beschriebenen Festlegungen auf ähnliche Kalibriergegenstände ist in vielen Fällen problemlos und sinngemäß möglich.

Das vorliegende Dokument bezieht sich auf die Version 3.3.0 des DCC-Schemas, welche unter <https://ptb.de/dcc/v3.3.0/dcc.xsd> verfügbar ist. Es wird für die Umsetzung empfohlen, sich auf die jeweils neueste Version des Schemas zu beziehen.

Ausgehend von den kontinuierlichen Veränderungen im Bereich digitaler Zertifikate kann dieser Bericht nur den aktuellen Stand der Diskussionen darstellen, was bei jeglicher Bewertung oder Referenzierung berücksichtigt werden sollte. Dies können Änderungen in der Schemadatei oder übergeordnete Festlegungen, wie z. B. abgestimmte *refType*-Attribute sein. Die restlichen Regelungen behalten unbetroffen davon ihre Gültigkeit.

Wesentliche Änderungen sind in naher Zukunft durch die Einführung der Darstellung der Messgröße `<dcc:measurands>` zu erwarten. Diese werden derzeit fachbereichsübergreifend im DKD entwickelt und abgestimmt.

Die aktuellen Beispiele berücksichtigen neben den Anforderungen der Richtlinien möglicherweise zusätzlich optionale Elemente. Es ist für eine spätere Revision des Berichts geplant, dass mehrere Beispiele (sowohl mit optionalen Elementen als auch ohne) veröffentlicht werden.

Dieser Bericht beinhaltet vier XML-Beispiele zur Umsetzung von Anforderungen der zitierten Normen/Richtlinien und stellt keine über die Richtlinien hinausgehenden Anforderungen auf.

Die Beispiele verweisen mit einem einleitenden Kommentar auf diesen Bericht. Sie sind ausgelegt für eine Kalibrierung in Geltungsbereich einer Akkreditierung. Für DCCs im nicht-akkreditierten Bereich müssen bestimmte Elemente entfallen (siehe [1]).

2 Namespaces

Zur harmonisierten Dokumentation von Kalibrierergebnissen werden drei Arten von Namensräumen (im Folgenden: Namespaces) verwendet, die es zu unterscheiden gilt:

1. Namespaces im XML (z. B. den Namespace DCC in *dcc:<Tag>*): Diese sind im DCC-Schema definiert. Dieser Bericht führt keine neuen Elemente ein, daher sei hier auf 0 verwiesen.
2. Namespaces für *refTypes*: Mit den Namespaces „*temperature*“ und „*humidity*“, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden und die die fachübergreifenden Namespaces (z. B. *basic*) ergänzen.

3. Namespace „*thermoDynamic*“ für die Dokumentation von Messgrößen. Diese werden mit der Schema-Version 3.4.0 im DCC eingeführt und damit in einer der folgenden Revisionen dieses Dokuments festgelegt.

Alle gültigen Namespaces und (refType-)Bezeichner (sowohl allgemeine als auch fachspezifische) sind zur besseren Referenzierung und dynamischen Erweiterung auch in der öffentlich zugänglichen TemaTres-Datenbank aufgeführt. Lesenden wird empfohlen, die Einträge in dieser Datenbank zu konsultieren, da dort die aktuelle Liste aller refType-Bezeichner mit ihrer jeweiligen Bedeutung (Semantik) verfügbar ist.

3 Allgemeine Punkte

Im Folgenden werden allgemeine Punkte beschrieben, die für beide Messgrößen, Temperatur und Feuchte, relevant sind.

3.1 Darstellung der Messergebnisse

Quantitative Informationen, insbesondere Messergebnisse, werden laut DCC-Schema in `<dcc:quantity>`-Elementen angegeben. Für die maschineninterpretierbare Darstellung der Größenwerte, Einheiten und Unsicherheiten wird in den darunterliegenden Strukturen auf das *digitale SI* im XML-Namespace *si* zurückgegriffen, welches in das DCC-Schema fest eingebunden ist. Einerseits gibt es ein Paradigma für maschinenlesbare metrologische Daten, wonach diese möglichst in Form von SI-Basiseinheiten (demnach *Kelvin* für Temperaturen; d. h. `<si:unit>\kelvin</si:unit>`) hinterlegt werden sollen, da dies deren Interoperabilität erleichtert. Andererseits ist auch eine Angabe in *Grad Celsius* (d. h. `<si:unit>\degrecelsius</si:unit>`) sinnvoll, insbesondere wenn es sich um Anzeigewerte handelt oder eine direkte Weiterverarbeitung, z. B. in einer Callendar-Van-Dusen-Gleichung, nur mit Werten in °C möglich ist. Das digitale SI ermöglicht die simultane Angabe von Ergebnissen in mehreren Skalen mit Hilfe von `<si:hybrid>`. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Darstellung von Referenzwerten einer Thermometerkalibrierung in Kelvin und Grad Celsius. Die Werte werden dabei getrennt zu ihrer Einheit mit den Elementen `<si:valueXMLList>` und `<si:unitXMLList>` eingefügt. In ähnlicher Weise kann die relative Feuchte sowohl in der Einheitsnummer (d.h. `<si:unit>\one</si:unit>`) als auch in Prozent (`<si:unit>\percent</si:unit>`) unter Verwendung der Struktur `<si:hybrid>` angegeben werden; die empfohlene Darstellung im Rahmen eines DCCs wird in Kapitel 8.4.6 näher erläutert. Eine Messreihe wird direkt als sog. `<si:valueXMLList>` unter einem einzelnen Element `<dcc:quantity>` abgelegt.

```
<dcc:quantity refType="basic_referenceValue temperature ITS-90">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Referenzwertwerte</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Reference values</dcc:content>
  </dcc:name>
  <si:hybrid>
    <si:realListXMMLList>
      <si:valueXMMLList>273.11 283.11 293.10 303.12</si:valueXMMLList>
      <si:unitXMMLList>\kelvin</si:unitXMMLList>
    </si:realListXMMLList>
    <si:realListXMMLList>
      <si:valueXMMLList>-0.04 9.96 19.95 29.97</si:valueXMMLList>
      <si:unitXMMLList>\degreecelsius</si:unitXMMLList>
    </si:realListXMMLList>
  </si:hybrid>
</dcc:quantity>
```

Abbildung 1: <dcc:quantity>-Element mit der Darstellung von Referenzwerten einer Thermometerkalibrierung in zwei äquivalenten Einheiten.

Bei der Kalibrierung thermodynamischer Messgrößen kann es vorkommen, dass den Referenzwerten Messwerte in anderen Einheiten gegenübergestellt werden, ohne dass diese wiederum in die Einheiten der Referenzwerte umgerechnet werden. Im Folgenden wird die Darstellung der Kalibrierergebnisse erläutert, die mit unterschiedlichen Einheiten in den abhängigen und unabhängigen Variablen dokumentiert wird. Bei diesen kann keine Abweichung (als Differenz zwischen Referenz- und Messwert) angegeben werden.

Die exemplarische Ergebnistabelle eines Temperaturtransmitters (Kennlinie unbekannt; die Ausgangswerte können vom Labor nicht in eine Temperatur zurückgerechnet werden) wird üblicherweise mit absoluten Messunsicherheiten angegeben und entsprechend Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Darstellung von Kalibrierergebnissen mit unterschiedlichen Einheiten für Referenz- und Messwert.

Referenz in °C	Anzeigewert in V	Abweichung in mK	Messunsicherheit in mK
0,000	0,1234	NaN	12
5,000	0,5643	NaN	23

Für die in Abbildung dargestellten Fälle erfolgt die Darstellung im DCC mit folgenden refTypes:

- Referenz / Temperatur (hybrid): basic_referenceValue
- Anzeigewert / elektrisches Signal (Volt): basic_indicationValue
- Abweichung / Temperatur (Kelvin *oder* °C): basic_measurementError; Es wurde keine Abweichung ermittelt, daher wird diese fehlende Angabe durch NaN (steht für *Not a Number*) ersetzt, um die Einheit für die Messunsicherheit hinterlegen zu können. Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) wird als Unterelement der Abweichung angegeben. Die Einheit wird implizit aus dem übergeordneten Element übernommen.


```

<dcc:list>
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Kalibrierergebniss</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Result of calibration</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:quantity refType="basic_referenceValue basic_nominalValue">
    <dcc:name>
      <dcc:content lang="de">Temperatur</dcc:content>
      <dcc:content lang="en">Temperature</dcc:content>
    </dcc:name>
    <dcc:hybrid>
      <si:realListXMLList>
        <si:valueXMLList>273.15 278.15 </si:valueXMLList>
        <si:unitXMLList>\kelvin</si:unitXMLList>
      </si:realListXMLList>
      <si:realListXMLList>
        <si:valueXMLList>0.00 5.00 </si:valueXMLList>
        <si:unitXMLList>\degreecelsius</si:unitXMLList>
      </si:realListXMLList>
    </dcc:hybrid>
  </dcc:quantity>
  <dcc:quantity refType="basic_indicationValue">
    <dcc:name>
      <dcc:content lang="de">Anzeigewert</dcc:content>
      <dcc:content lang="en">indicated value</dcc:content>
    </dcc:name>
    <si:realListXMLList>
      <si:valueXMLList>0.1234 0.5643</si:valueXMLList>
      <si:unitXMLList>\volt</si:unitXMLList>
    </si:realListXMLList>
  </dcc:quantity>
  <dcc:quantity refType="basic_measurementError">
    <dcc:name>
      <dcc:content lang="de">Messunsicherheit</dcc:content>
      <dcc:content lang="en">measurement uncertainty</dcc:content>
    </dcc:name>
    <si:realListXMLList>
      <si:valueXMLList>NaN NaN</si:valueXMLList>
      <si:unitXMLList>\kelvin</si:unitXMLList>
      <si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
        <si:expandedMUXXMLList>
          <si:valueExpandedMUXXMLList>0.012 0.023</si:valueExpandedMUXXMLList>
          <si:coverageFactorXMLList>2</si:coverageFactorXMLList>
          <si:coverageProbabilityXMLList>0.95</si:coverageProbabilityXMLList>
          <si:distributionXMLList>normal</si:distributionXMLList>
        </si:expandedMUXXMLList>
      </si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
    </si:realListXMLList>
  </dcc:quantity>
</dcc:list>

```

Abbildung 2: Kalibrierergebnisse mit unterschiedlichen Einheiten in den abhängigen und unabhängigen Variablen im DCC, entsprechend der Tabelle 1.

Als Messwert (Ausgangsgröße des Transmitters) könnte auch eine Stromstärke, ein Widerstand bspw. eines Pt-100, eine Spannung eines Thermoelements, eine Frequenz eines Quarzes oder eine andere physikalische Größe vorliegen. Hierbei wird die Anforderung der ISO/IEC 17025 [4] in Normpunkt 7.8.4.1 erfüllt, da die Messunsicherheit in der gleichen Einheit wie die Messgröße (Temperatur) vorliegt. Sofern zweckmäßig, kann insbesondere bei Temperaturfühlern die Umrechnung in die Größe Temperatur ausgeführt und als „basic_measurementValue“ zusammen mit der Abweichung und der beigeordneten Messunsicherheit im DCC dokumentiert werden.

Sofern sowohl für die Messgröße (Vorgabe) als auch den Kalibriergegenstand individuelle Beiträge berichtet werden sollen, werden die Messunsicherheiten direkt den `<dcc:quantity>`-Elementen mit `refTypes` „basic_referenceValue“ und „basic_indicationValue“ zugeordnet. In diesen Fällen wird kein separates Element für die Abweichung (`refType` „basic_measurementError“) benötigt.

3.2 Skalen

Um Messgrößen eines Elements `<dcc:quantity>` interpretieren zu können, ist die verwendete Skala bzw. Skalendefinition, sofern festgelegt, anzugeben.

Historisch bedingt gibt es hierfür im Bereich der Temperatur verschiedene und teils in Temperaturbereichen überlappende Skalen, welche in Kapitel 3.2.1 beschrieben werden. Der Umgang mit Skalen für die Messgröße relative Feuchte wird in Kapitel 3.2.2 näher beleuchtet.

3.2.1 Temperaturskalen im Detail

Neben der thermodynamischen (absoluten) Temperatur T , welche die physikalisch wahre Temperatur darstellt, gibt es verschiedene Skalenrealisierungen. Da diese teilweise auf das Kelvin zurückgreifen, genügt die Einheit allein nicht um die verwendete Skala zu definieren. Diese Skalen, wie beispielsweise die Internationale Temperaturskala von 1990 (ITS-90), repräsentieren eine sehr gute Näherung der thermodynamischen Temperatur, welche wiederum direkt mit der mittleren thermischen Energie der Teilchen über die Boltzmann-Konstante k_B verknüpft ist. Die Abweichung zwischen der ITS-90 und der thermodynamischen Temperatur sind sehr gut bekannt, sodass von der einen in die andere Repräsentation des Kelvins umgerechnet werden kann [5], [6]. Ob eine Umrechnung notwendig oder sinnvoll ist, hängt im Wesentlichen von den Genauigkeitsanforderungen der Messaufgabe ab. Durch die Neudefinition der SI-Einheiten und der „Mise en Pratique“ des Kelvins erhalten zudem zunehmend thermodynamische Verfahren eine steigende Bedeutung [7], [8].

Diese Gründe machen es unabdingbar, dass in den Kalibrierscheinen eindeutig die zugrundeliegende Temperaturskala genannt und die Größe T mit einem entsprechenden Index versehen wird (beispielsweise: T_{90} für eine Temperatur der ITS-90). Dies gilt insbesondere auch im DCC, um eine Maschineninterpretation der Werte einerseits zu ermöglichen und andererseits auch langfristig zu gewährleisten (beispielsweise bei einer neuen ITS-XX).

Um diese Information innerhalb eines DCC und in einem maschinenlesbaren Format bereitzustellen, werden die folgenden speziellen `refTypes` festgelegt:

- „temperature_temperatureThermodynamic“
- „temperature ITS-90“
- „temperature PLTS-2000“
- „temperature IPTS-68“

Wenn in Bezug auf die Temperatur keine Temperaturskala angegeben ist, z. B. in den Angaben zu den Umgebungsbedingungen (siehe Kapitel 3.4), ist standardmäßig die Temperaturskala ITS-90 anzunehmen [3]. Aus Gründen der Klarheit wird jedoch dringend empfohlen, in allen Fällen die zugrundeliegende Temperaturskala anzugeben und sich nicht auf die angenommene

Standardtemperaturskala zu verlassen. Die Verwendung der hier aufgeführten refTypes macht die Skalenangabe besonders einfach, in Abbildung 1 ist deren Verwendung dargestellt. Der fachspezifische refType „temperature ITS-90“ wird hier in Kombination mit dem allgemeinen refType „basic_referenceValue“ verwendet. Da letzterer in erster Linie dazu dient, die Referenzwerte im DCC zu identifizieren und zu adressieren, liefert der refType für die ITS-90 lediglich die zusätzliche Information über die verwendete Temperaturskala. Temperaturdifferenzen, z. B. Abweichungen, können sowohl in Kelvin als auch in °C angegeben werden. Hierbei bedarf es keiner expliziten Skalenangabe mittels refType. Ebenso kann bei Abweichungen auf die Angabe verschiedener Einheiten in einer <si:hybrid>-Struktur verzichtet werden.

Aufgrund einer geringen Auflösung ergibt sich in einigen Situationen bei der Umrechnung zwischen Kelvin und °C-Angaben eine zusätzliche Nachkommastelle.

3.2.2 Definitionen der relativen Feuchte

Für die Messgröße relative Feuchte ist derzeit keine Angabe einer Skala üblich. Da die Messgröße aber in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen verwendet wird, gibt es hier auch verschiedene Definitionen in der Literatur. Im Rahmen des Expertenberichtes wird nur die Definition nach der DKD-R 5-8 [9] betrachtet.

Prinzipiell ist es denkbar, analog zur Definition einer Skala wie in der Temperatur, auch ein System der Kennzeichnung der unterschiedlichen Definitionen der relativen Feuchte einzuführen, z. B.

- WMO-Definition der relativen Feuchte
- Technische Definition der relativen Feuchte
- Definition nach DKD-R 5-8 [9]

Das System ist auch offen für Neudefinitionen der relativen Feuchte, z.B. auf Basis von Fugazitäten wie beispielsweise in [10] diskutiert. Da diese Systeme jedoch nicht etabliert sind wie im Bereich der Temperatur, wird von einer Verwendung von Skalen im DCC für die Messgröße relative Feuchte zum aktuellen Zeitpunkt abgesehen. Die Möglichkeiten der Angabe der relativen Feuchte im DCC wird in Kapitel 8.4.6 beschrieben.

3.3 Kalibriergegenstand

Die Benennung und Beschreibung des Kalibriergegenstandes erfolgt im Abschnitt <dcc:items> in den administrativen Daten, entsprechend den hierfür allgemein geltenden Regeln [1]. Für den üblichen Fall, dass der Kalibriergegenstand aus zwei oder mehr Komponenten im Sinne einer Messkette besteht, wird zunächst die Ausgabe- bzw. Anzeigeeinheit der Messwerte angegeben (siehe Abbildung 2a). Das DCC-Schema gibt in diesem Bereich die Möglichkeit (ab Version 3.3.0) einem aufgeführten Kalibriergegenstand mit <dcc:subItems> weitere Komponenten direkt zuzuordnen, um auch komplexere mehrkomponentige Messsysteme mit ihrer entsprechenden Hardwarekonfiguration hinreichend abzubilden. Dies wird auch für die Beschreibung von Messketten genutzt, indem z.B. ein zugehöriger Temperaturfühler als „subItem“ der Anzeigeeinheit aufgenommen wird. Demzufolge hätte z. B. ein Mehrkanallogger mit mehreren Fühlern dann auch entsprechend viele <dcc:item>-Einträge in seiner <dcc:subItems>

Unterstruktur, entsprechend der Abbildung 2b (nicht im DCC-Muster enthalten). Wichtig in solchen Fällen ist,

- dass jedes „subItem“ den entsprechenden Kanal, an dem es an dem Logger angeschlossen ist, als <dcc:itemQuantity>-Eintrag enthält und
- dass jeder Fühler ein eigenes id-Attribut erhält, über das im Ergebnisteil die Messwerte via refId eindeutig zugeordnet werden können. Dieses id-Attribut kann die eindeutige Benennung des Fühlers (gemäß ISO/IEC 17025:2018-03 7.8.2.1g [4]) tragen. Diese muss allerdings dennoch als <dcc:identification> in diesem <dcc:item> Eintrag enthalten sein (z. B. mit dem refType „basic_marking“).

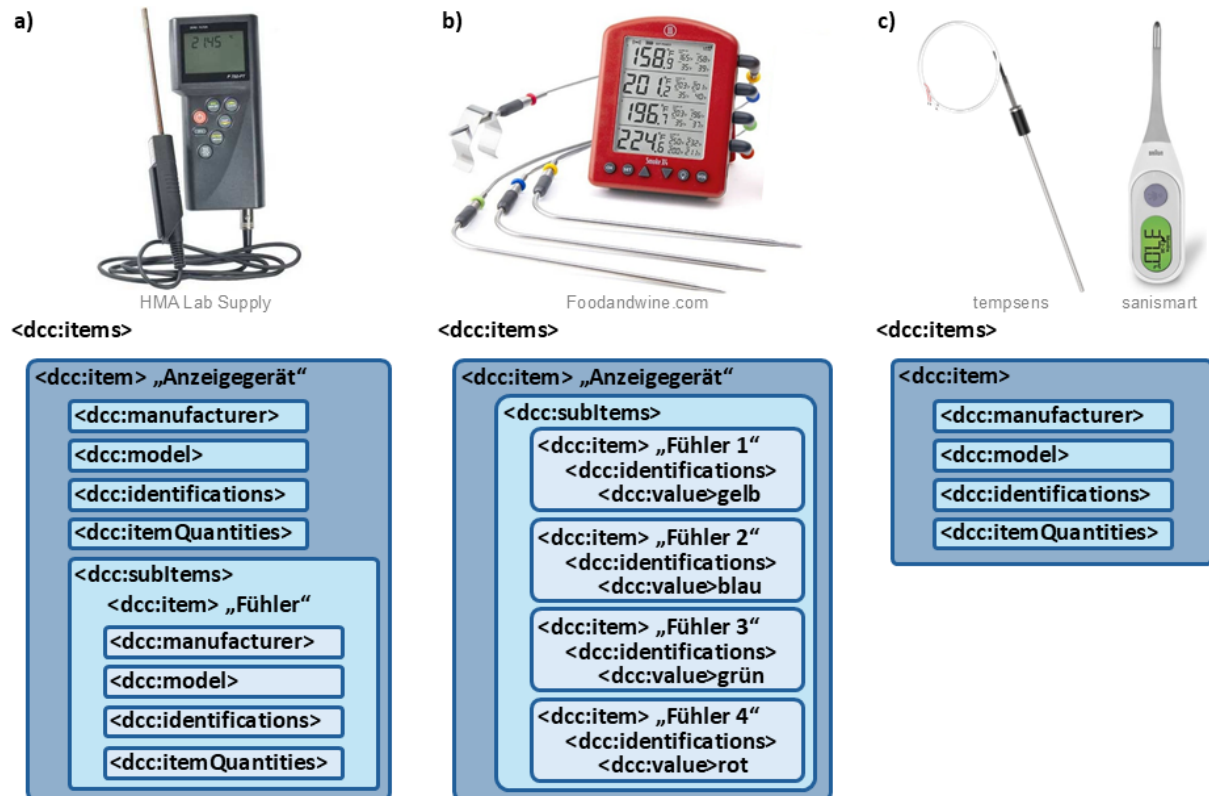


Abbildung 2: Datenstruktur der Beschreibung des Kalibriergegenstandes für verschiedene Fälle (vereinfachte Darstellung). a) Messkette aus mehreren Komponenten; b) Mehrkanalmessgerät mit steckbaren Fühlern; c) Einkomponentige Kalibriergegenstände (Fühler oder Messgerät mit fest verdrahtetem Fühler).

Sollen bestimmte Einstellungen am Datenlogger oder z. B. die Auflösung der Anzeige festgehalten werden, so ist dies ebenfalls als <dcc:itemQuantity> des entsprechenden <dcc:item>-Eintrags möglich. Geeignete refTypes für solche Angaben werden entweder zentral zur Verfügung gestellt [1] oder in Absprache mit dem DCC-Unterausschuss für elektrische Messgrößen entwickelt und in den kommenden Revisionen ergänzt.

Im Bereich <dcc:items> werden nur Komponenten aufgeführt, die tatsächlich zum Kalibriergegenstand gehören, d. h. die in der Regel vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden. Wird z. B. ein einzelner Fühler (ohne Anzeige- oder Erfassungseinheit) kalibriert (Abbildung 2c), so werden die dafür notwendigen Messeinrichtungen, die das Kalibrierlabor nutzt, z. B. Multimeter, nicht hier, sondern im Bereich <dcc:measuringEquipments> aufgeführt.

Dies gilt auch für andere (physische) Hilfsmittel, die vom Kalibrierlabor gestellt werden, z. B. Kabel, Stecker, Adapter.

3.4 Umgebungsbedingungen in Kalibrierscheinen

Umgebungsbedingungen sind ein wichtiger Einflussfaktor für viele Kalibrierprozesse. Entweder zu Dokumentationszwecken oder als Teil einer Messunsicherheitsanalyse. Temperatur und relative Feuchte sind gängige Eigenschaften, die die Umgebung beschreiben, zum Teil aber auch der Luftdruck und andere Größen. Je nach Messgröße und Verfahren können weitere Eigenschaften hinzukommen. Dies muss bei der Darstellung der Umgebungsbedingungen innerhalb des DCC berücksichtigt werden. Die einzelnen Eigenschaften werden alle als `<dcc:quantity>` innerhalb eines `<dcc:influenceCondition>`-Elements mit einem entsprechenden `refType` ausgedrückt, wie in Abbildung 3 dargestellt. Die übergeordnete `<dcc:influenceCondition>` trägt einen `refType` „basic_ambient“ um zu verdeutlichen, dass es sich hierbei um Umgebungsbedingungen des Labors handelt und um diese ggf. von lokalen Messbedingungen, z.B. denen eines Kalibriermediums, zu unterscheiden.

Die Qualität der zugrunde liegenden Daten kann je nach Anforderungen und Verfahren stark variieren. Das in Abbildung 3 dargestellte Beispiel wird verwendet, wenn keine weiteren Informationen außer einem Minimal- und einem Maximalwert im Sinne eines Intervalls vermittelt werden sollen. Die angegebene Gleichverteilung zusammen mit der erweiterten Unsicherheit und dem Erweiterungsfaktor, der die Quadratwurzel aus 3 ist, bezeichnen die Ober- und Untergrenze dieses Intervalls. Der `<si:value>` stellt den besten Schätzer in der Mitte der Verteilung dar. Dies führt zu der XML-Darstellung dessen, was in analogen Kalibrierscheinen typischerweise als „Umgebungstemperatur: $(23 \pm 1,5) \text{ }^{\circ}\text{C}$ “ (oder ähnlich) zu finden ist. In solchen Fällen, in denen eine Umgebungsbedingung als ein Mittelwert, z. B. aus einer Überwachungsmessung, verfügbar ist, kann dieser Wert als beste Schätzung in `<si:value>` angegeben werden. Wenn weitere Informationen über die Umgebungsbedingungen verfügbar (oder erforderlich) sind, können spezifischere Daten mithilfe der digitalen SI-Infrastruktur [3] bereitgestellt werden, die in das DCC-Schema integriert ist, z.B. Messwert und Unsicherheit.

```
<dcc:influenceCondition refType="basic_ambient">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Umgebungsbedingungen</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Ambient conditions</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:data>
    <dcc:quantity refType="basic_temperature">
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Umgebungstemperatur</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Environmental temperature</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>23.00</si:value>
        <si:unit>\degreecelsius</si:unit>
        <si:measurementUncertaintyUnivariate>
          <si:expandedMU>
            <si:valueExpandedMU>1.5</si:valueExpandedMU>
            <si:coverageFactor>1.73</si:coverageFactor>
            <si:coverageProbability>1</si:coverageProbability>
            <si:distribution>uniform</si:distribution>
          </si:expandedMU>
        </si:measurementUncertaintyUnivariate>
      </si:real>
    </dcc:quantity>
    <dcc:quantity refType="basic_humidityRelative">
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Umgebungsbedingung relative Luftfeuchte</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Ambient condition relative air humidity</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>37</si:value>
        <si:unit>\percent</si:unit>
        <si:measurementUncertaintyUnivariate>
          <si:expandedMU>
            <si:valueExpandedMU>10</si:valueExpandedMU>
            <si:coverageFactor>1.732</si:coverageFactor>
            <si:coverageProbability>1</si:coverageProbability>
            <si:distribution>uniform</si:distribution>
          </si:expandedMU>
        </si:measurementUncertaintyUnivariate>
      </si:real>
    </dcc:quantity>
  </dcc:data>
</dcc:influenceCondition>
```

Abbildung 3: Angabe von Temperatur und relativer Feuchte als Intervalle für Umgebungsbedingungen der Kalibrierung.

Es wird empfohlen die Darstellung der Umgebungsbedingungen im Allgemeinen nur in einer Einheit, d. h. ohne Verwendung des „Hybrid-Elements“ durchzuführen. Hintergrund ist, dass es v.a. bei Angabe der Umgebungstemperatur mit einer Umrechnung zwischen der Einheit Kelvin und Grad Celsius zu Abweichungen aufgrund der Auflösung der Geräte kommen kann.

3.5 Angabe des Kalibriermediums

Die Angabe des Kalibriermediums ist dann relevant, wenn dieses einen Einfluss auf das erhaltende Kalibrierergebnis oder dessen Messunsicherheit hat. Beispielsweise bei der Kalibrierung der Feuchte macht es einen Unterschied, ob die Kalibrierung in Luft oder in Kohlendioxid durchgeführt wird. Auch bei der Kalibrierung von Widerstandsthermometern gibt die Angabe über das verwendete Medium in einem Flüssigkeitsbad oder Klimaschrank Aufschluss

über Abweichungen zum späteren Einsatzzweck oder für entsprechende Anpassungen in den Unsicherheitsberechnungen.

Die Angabe des Kalibriermediums erfolgt in dem Abschnitt <dcc:measuringEquipments>, der für die zur Kalibrierung verwendeten Materialien vorgesehen ist. Darin wird der entsprechende refType „basic_calibrationMedium“ verwendet. Eine Möglichkeit ist, auf einen Eintrag oder Identifikator in einer öffentlich zugänglichen Liste oder Datenbank via <dcc:equipmentClass> zu verweisen. In Tabelle 2 ist eine solche Liste der gängigsten Kalibriermedien für den Bereich der thermodynamischen Messgrößen enthalten, die zu diesem Zweck verwendet werden kann, so wie in Abbildung 4 beispielhaft für Luft dargestellt. Weitere Möglichkeiten das Kalibriermedium im DCC anzugeben, sind im DKD-Expertenbericht für Querschnittsthemen [1] oder in [11] beschrieben.

```
<dcc:measuringEquipment id="Medium" refType="basic_calibrationMedium">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Kalibriermedium</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">calibration medium</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:equipmentClass>
    <dcc:reference>DKD-E 5-3:2026-02</dcc:reference>
    <dcc:classID>air</dcc:classID>
    <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20260206</dcc:link>
  </dcc:equipmentClass>
  <dcc:description>
    <dcc:name>
      <dcc:content lang="de">Luft</dcc:content>
      <dcc:content lang="en">air</dcc:content>
    </dcc:name>
  </dcc:description>
</dcc:measuringEquipment>
```

Abbildung 4: Maschinenlesbarer Verweis auf einen Eintrag in Tabelle 2 als Angabe des Kalibriermediums

In Fällen, in denen ein Kalibriermedium mit einer bestimmten Materialeigenschaft (z. B. Reinheit, Dichte oder Wärmekapazität) angegeben werden muss, kann dies über <dcc:measuringEquipmentQuantities> (hier nicht dargestellt) im entsprechenden Eintrag ergänzt werden. Im Allgemeinen bleibt die Angabe des verwendeten Kalibriermediums optional, auch für Good-Practice-DCCs. In Ausnahmefällen kann die Angabe obligatorisch sein, z. B. wenn die für die Kalibrierung verwendete Norm die Angabe im Kalibrierzertifikat ausdrücklich vorschreibt.

Tabelle 2 Exemplarische Auflistung der Benennungen für die Kalibriermedien nach Option 2,

*) relevant für T = Temperatur / F = Feuchte / T+F = Temperatur und Feuchte,

**) Druck, bei der die Kalibrierung durchgeführt wurde, wird an anderer Stelle im DCC angegeben (z. B. unter <dcc:influenceConditions>),

***) fest, aber Verhalten wie eine Flüssigkeit

Name im DCC	Deutsche Übersetzung	Aggregatzustand	T/F/T+F*)	Erklärung
air	Luft	g	T+F	Komprimierte Umgebungsluft sowie technische Luft, eine genaue Zusammensetzung kann angegeben werden (Option 1 und 3), ist aber nicht verpflichtend. **)
nitrogen_gas	Stickstoff gasförmig	g	T+F	Gasförmiger Stickstoff nicht näher genannter Zusammensetzung, bei Angabe der Zusammensetzung Nutzung von Option 1 und 3
water	Wasser	l	T	nicht näher genannte Zusammensetzung, sofern spezifizierbar Nutzung von Option 1 bzw. 3
alcohol	Alkohol	l	T	nicht näher genannte Zusammensetzung, sofern spezifizierbar Nutzung von Option 1 bzw. 3
oil	Öl	l	T	nicht näher genannte Zusammensetzung, sofern spezifizierbar Nutzung von Option 1 bzw. 3
nitrogen_liquid	Stickstoff flüssig	l	T	flüssiger Stickstoff
salpeter	Salpeter	l	T	
oxide	Oxide	s / l ***)	T	Kontaktmedium (z. B. Al.-Oxid) oder als Bad-Medium (Fluidised Sand Bath)
salt	Salz	s	T	
metal	Metall	s	T	
mixtures	Mischungen	l	T	Mischungen aus Flüssigkeiten, z. B. Wasser und Ethanol (Frostschutz)
gas	Gas	g	T+F	nicht näher genannte Zusammensetzung, sofern spezifizierbar gemäß dieser Liste oder Nutzung von Option 1 bzw. 3
liquid	Flüssigkeit	l	T	nicht näher genannte Zusammensetzung, sofern spezifizierbar gemäß dieser Liste oder Nutzung von Option 1 bzw. 3
solid	Feststoff	s	T	nicht näher genannte Zusammensetzung, sofern spezifizierbar gemäß dieser Liste oder Nutzung von Option 1 bzw. 3

3.6 Darstellung von beiden Messgrößen in einem Kalibrierschein

Im Bereich der relativen Feuchte ist es in analogen Kalibrierscheinen üblich, dass neben der Messgröße relative Feuchte auch die Temperatur als Messgröße ausgewiesen wird, wenn beispielsweise das ausstellende Labor nach DKD-R 5-8 [9] und DKD-R 5-1 [12] arbeitet.

Aktuell ist die Empfehlung, dass in einem solchen Fall zwei getrennte DCCs erstellt werden. Hintergrund ist, dass die eindeutige Abbildung und damit Zuordnung der Messwerte und Randbedingungen im DCC nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist. Dies bezieht sich vor allem auf die anschließende maschinelle Auswertung der Inhalte des DCCs.

4 Widerstandsthermometer nach DKD-R 5-1

Eine weit verbreitete Richtlinie zur Kalibrierung von Widerstandsthermometern im Vergleichsverfahren (auch unter nicht-akkreditierten Laboren) ist die DKD-R 5-1 [12], welche jegliche Art von Widerstandsthermometer umfasst. Im Folgenden werden daher schrittweise Beispiele eingeführt, wie eine vollständige Angabe des Kalibriergegenstandes (Kapitel 4.1), des verwendeten Kalibrierverfahrens (Kapitel 4.2) und der Kalibriereinrichtung (Kapitel 4.3) erfolgen kann. Unter Kapitel 4.5 folgen anschließend Beispiele für die Darstellung der Kalibrierergebnisse und deren Ablage in einem `<dcc:measurementResult>` Element.

4.1 Kalibriergegenstand

Ergänzend zu der Beschreibung in Kapitel 3.3, soll bei Temperaturfühlern neben Hersteller, Modellbezeichnung und eindeutigen Identifikatoren eine Angabe zur Art des Fühlers enthalten sein. Hierfür steht der refType „temperature_probeType“ zur Verfügung, der in einem `<dcc:content>`-Element unter `<dcc:description>` des „Fühleritems“ genutzt wird. Eine Zusammenstellung möglicher Inhalte dieses Elementes ist für die nächste Revision dieses Expertenberichtes geplant. Dieses spezielle `<dcc:content refType=“temperature_probeType“>` wird ohne das sonst übliche lang-Attribut nur einmalig (je Fühler) aufgeführt, da es sprachübergreifend gilt. Die `<dcc:description>` kann ergänzend weitere `<dcc:content>`-Einträge zur weiteren qualitativen Beschreibung des Fühlers tragen, z.B. die Art der Ummantelung. Quantitative Beschreibungen hingegen werden unter `<dcc:itemQuantities>`, teilweise mit zugehörigen refTypes, aufgeführt, z.B. Länge und Durchmesser („temperature_ProbeDiameter“) des Fühlers, sowie die Länge des Anschlusskabels („temperature_itemCableLength“).

Die maschineninterpretierbare Angabe der Anschlusstechnik (2-, 3-, oder 4-Leitertechnik) wird in Absprache mit der DC/NF DCC-Fachgruppe für elektrische Messgrößen des DKD entworfen und im Anschluss hier ergänzt. Derzeit kann diese Angabe auch als qualitative Angabe in einem `<dcc:content>`-Element (je Sprache) erfolgen.

4.2 Kalibrierverfahren

Zur Beschreibung der für die Kalibrierung angewendeten Verfahren dienen in der DCC-Architektur die Bereiche `<dcc:usedMethods>`, die an mehreren Stellen in `<dcc:measurementResults>` zur Verfügung stehen. Auf oberster Ebene (meist direkt unter `<dcc:measurementResult>`) wird die verwendete Kalibrierrichtlinie, z.B. die DKD-R 5-1 [12] genannt, die dann „global“ gilt. Details zum entsprechenden Format sind in [1] beschrieben und

beispielhaft in Abbildung 8 b) gezeigt. Umfasst das angewendete Verfahren mehrere Richtlinien, Arbeitsanweisungen, Verfahrensanweisungen o. ä., werden entsprechend mehrere <dcc:usedMethod> Elemente angelegt.

Nähere Beschreibungen zu bestimmten Aspekten des angewandten Verfahrens (z. B. wie die Bestimmung der Hysterese durchgeführt wurde oder nach welcher Vorschrift gemessene elektrische Signale in Temperaturwerte konvertiert wurden), werden dann innerhalb der entsprechenden Ergebniseinträge (zumeist <dcc:quantity>, ggf. auch <dcc:list>) hinterlegt, in denen ebenfalls optionale <dcc:usedMethods>-Strukturen bereitgestellt sind.

4.3 Temperiereinrichtung und Eintauchtiefe

Auch wenn es sich bei der genutzten Temperiereinrichtung (z. B. gerührtes Flüssigkeitsbad) zumeist um ein Gerät handelt, das zur Kalibrierung genutzt wird, erfolgt dessen Angabe ebenfalls in der Sektion <dcc:usedMethods>. Zum einen steht hierbei die Methode der Temperaturerzeugung im Vordergrund, zum anderen lassen sich hier bestimmte damit verbundene Parameter direkt als beigeordnete <dcc:usedMethodQuantities> abbilden. Ein bestimmter refType ist für die Temperiereinrichtung vorerst nicht vorgesehen, da die Information über das konkret genutzte Gerät für den DCC-Nutzer kaum einen Mehrwert bietet. Die Einbindung eines Thermostaten in den DCC ist in Abbildung 5 exemplarisch dargestellt. Für den Fall, dass die Referenzmessung direkt in die Temperiereinrichtung integriert ist (z. B. bei Trockenblockkalibratoren), sollte das gesamte Gerät unter <dcc:measuringEquipment refType="basic_measurementStandardUsed"> aufgeführt werden, da es sich um die Einrichtung zur Referenzwertmessung handelt.

```
<dcc:usedMethod id="thermostat1">
  <dcc:name>
    <dcc:content>Thermostat</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Die Kalibrierung wurde in einem gerührten Flüssigkeitsthermostat durchgeführt.</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">The calibration was carried out in a stirred liquid bath.</dcc:content>
  </dcc:description>
  <dcc:norm>DKD-R 5-1:2023-11</dcc:norm>
  <dcc:reference>7</dcc:reference>
  <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20231207</dcc:link>
  <dcc:usedMethodQuantities>
    <dcc:usedMethodQuantity refType="temperature_immersionDepth">
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Eintauchtiefe im Flüssigkeitsthermostat (ca.)</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Immersion depth in the stirred liquid bath (about)</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>0.190</si:value>
        <si:unit>\metre</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:usedMethodQuantity>
  </dcc:usedMethodQuantities>
</dcc:usedMethod>
```

Abbildung 5: Angabe der Temperiereinrichtung (Thermostat) mit zugehöriger Eintauchtiefe des Fühlers im DCC.

Ein wichtiger Parameter, der mit der Temperiereinrichtung in Verbindung steht und vom DCC-Nutzer automatisiert weiterverarbeitet werden kann, ist die dafür geltende Eintauchtiefe des Fühlers, die Rückschlüsse auf den Einfluss der Wärmeableitung zulässt. Diese Angabe ist laut DKD-R 5-1 [12] erforderlich und wird mittels `<dcc:usedMethodQuantity refType="temperaturte_immersionDepth">` unter dem Eintrag der entsprechenden Temperiereinrichtung bereitgestellt. Insbesondere wenn mehrere Temperiereinrichtungen für unterschiedliche Messbereiche bei der Kalibrierung zum Einsatz kommen, ist so die Zuordnung der entsprechenden Eintauchtiefen klar dargestellt.

Für den oben beschriebenen Fall von Temperaturkalibratoren mit integrierter Referenzmessung sollte die Eintauchtiefe dennoch in einer solchen `<dcc:usedMethodQuantity>` erfolgen und mit einem `refId`-Attribut auf den Kalibrator verweisen. Bei der Angabe mehrerer Temperiereinrichtungen ist jede mit einem `id`-Attribut zu versehen, um sie eindeutig den verwendeten Temperaturstufen bei den Kalibrierergebnissen zuzuordnen. Dieser Fall ist im beigefügten Muster-DCC beispielhaft abgebildet, siehe Anhang A. Auch eine Zuordnung von Kalibriermedien zu den Temperiereinrichtungen ist somit problemlos möglich.

Die Angabe ggf. verwendeter Fixpunktzellen wird in einer zukünftigen Revision dieses Berichtes ergänzt.

4.4 Statements

Für die Angabe von Statements sei vor allem auf [1] verwiesen. Sie richtet sich insbesondere nach der Art der Kalibrierdienstleistung (z. B. akkreditiert oder nicht). Eine Angabe des kalibrierten Messbereiches entsprechend des `refTypes` „`basic_calibratedInterval`“ [2] ist, wie für alle kontinuierlich messenden Messmittel, die punktweise kalibriert werden, empfohlen. Dies gilt auch, wenn dieser Bereich bereits durch die kleinste und größte definiert wird.

4.5 Inhalte im Ergebnisbereich Measurement Results

In klassischen, analogen Kalibrierscheinen für Temperaturmessgrößen werden die wichtigsten Ergebnisse meist in einer einzigen Tabelle dargestellt, die die Referenz- und Mess-/Anzeigewerte, gegebenenfalls deren Abweichungen sowie die erweiterten Messunsicherheiten enthält. In einigen Fällen sind weitere Spalten erforderlich, um z. B. eine Konformitätsbewertung einzubeziehen oder Einflussgrößen zuzuweisen. Weitere Angaben, z. B. zur Eigenerwärmung und Hysterese des Kalibriergegenstandes, werden in der Regel separat bereitgestellt. In einem DCC wird dieses Grundgerüst im Abschnitt `<dcc:results>` mittels einer `<dcc:list>`-Struktur nachempfunden. Diese enthält für jede der erforderlichen Spalten ein `<dcc:quantity>`-Element. Grundsätzlich kann `<dcc:quantity>` selbst eine Reihe von Werten und weiteren Informationen über XMLList-Type-D-SI-Elemente [3] enthalten, die eine Tabellenspalte darstellen. Ähnlich dem analogen Kalibrierschein sind Angaben zur Eigenerwärmung und Hysterese nicht in dieser Liste enthalten, sondern werden in separaten `<dcc:quantity>`-Elementen angegeben (weitere Einzelheiten dazu siehe Kapitel 4.5.4 und 4.5.5).

Die grundlegende Datenstruktur des DCC-Abschnitts, der die Kalibrierergebnisse eines Widerstandsthermometers mit direkter Temperaturanzeige enthält, ist in Abbildung 5 inklusive der zu verwendenden `refTypes` schematisch dargestellt. Die zentrale `<dcc:list>`-Struktur enthält die wichtigsten Ergebnisse, bestehend aus drei `<dcc:quantity>`-Elementen. Diese werden über

grundlegende basic_refTypes voneinander unterschieden und sind somit durch einen Algorithmus einzeln adressierbar. Es werden gemäß Kapitel 3.1 die gemessenen Referenzwerte (refType „basic_referenceValue“) und die durch den Kalibriergegenstand angezeigten Werte (refType „basic_measuredValue“) in den Einheiten K und °C und unter Verwendung einer <dcc:hybrid>-Struktur angegeben. Die Angabe der Abweichungen (refType „basic_measurementError“) als Differenz zwischen den beiden vorgenannten Temperaturen erfolgt in der Einheit Kelvin oder °C. Es ist keine <dcc:hybrid>-Struktur in diesem <dcc:quantity>-Element zulässig. Soll zwischen avisierten Referenzwerten und tatsächlich während der Kalibrierung erreichten unterschieden werden, so kann noch ein zusätzliches <dcc:quantity>-Element mit dem refType „basic_setPointValue“ eingefügt werden.

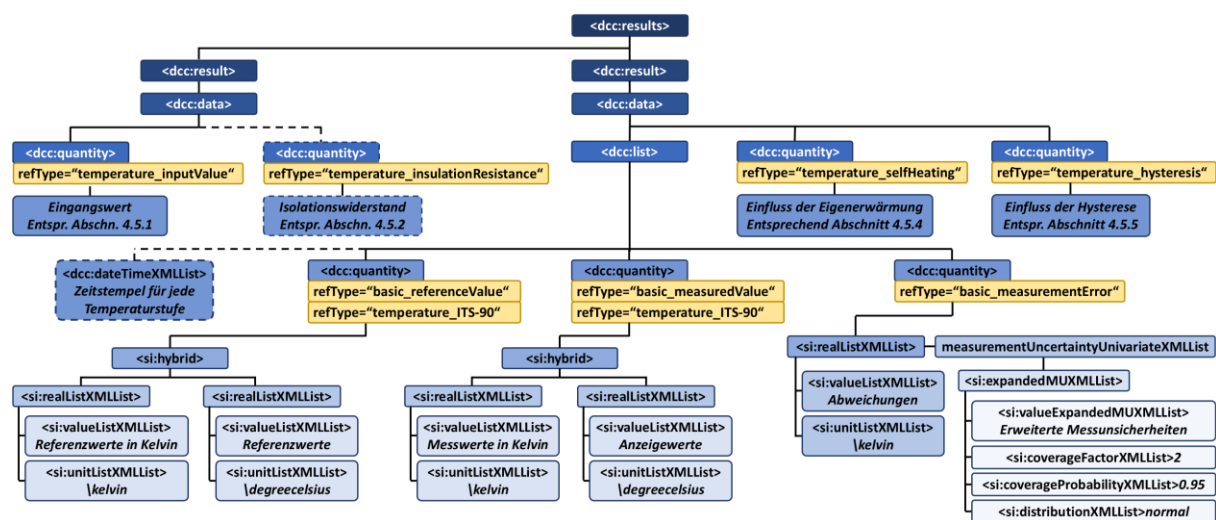


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Datenstruktur des Ergebnisteils in einem Widerstandsthermometer-DCC (mit Direktanzeige), einschließlich refTypes (gelb).

Die Angabe der erweiterten Messunsicherheit ist bei direktanzeigenden Thermometern häufig der Abweichungsangabe beigeordnet. Das integrierte D-SI-Schema bietet zu diesem Zweck eine spezifische Struktur mit <si:expandedMUXMLList>, die eine messtechnisch korrekte maschinelle Interpretierbarkeit der zugehörigen Informationen (d. h. Erweiterungsfaktor, Überdeckungswahrscheinlichkeit und Wahrscheinlichkeitsverteilung) ermöglicht [3]. Wie in den Abschnitten 4.5.4 und 4.5.5 beschrieben, werden die Ergebnisse der Eigenerwärmungs- und Hystereseuntersuchungen in separaten <dcc:quantity>-Elementen außerhalb der Hauptstruktur <dcc:list> angegeben, sofern sie nicht einzelnen Kalibrierwerten zugeordnet werden müssen. Die Ergebnisse der Voruntersuchungen, d. h. der Eingangswert (refType „temperature_inputValue“) und der Isolationswiderstand (refType „temperature_insulationResistance“) werden in einem separaten <dcc:result>-Block als einzelne <dcc:quantity>-Elemente angegeben.

Die in Abbildung 6 als gestrichelte Linien dargestellten Strukturen sind optional, aber empfohlen. Bei einigen Kalibriergegenständen kann der Isolationswiderstand nicht gemessen werden, z.B. weil konstruktionsbedingt nicht zugänglich oder weil bei der Messung die Gefahr einer Beschädigung besteht. Die Zeitstempel (in <dcc:dateTimeXMLList>) sind nützlich, um die Reihenfolge der Kalibrierung eindeutig anzugeben, was für den DCC-Empfänger nützliche Informationen enthalten kann. Darüber hinaus kann jedes <dcc:quantity>-Element und, falls

erforderlich, die <dcc:list> zugehörige Metadaten und weitere spezifische Informationen enthalten, z. B. über verwendete Methoden, Einflussgrößen oder Messmittel (nicht in Abbildung 6 dargestellt). Das Element <dcc:measurementMetaData> kann auch wichtige Informationen für die korrekte Interpretation der angegebenen Ergebnisse enthalten, z. B. ob die berichteten Ergebnisse messtechnisch rückführbar sind und ob sie im Rahmen einer Akkreditierung berichtet werden.

Auch in Fällen, in denen unterschiedliche Ergebniswerte mit unterschiedlichen Methoden oder Messmitteln (z. B. Kalibriermedien oder Temperiereinrichtungen) erzielt wurden, werden die entsprechenden Zuordnungen im Abschnitt <dcc:measurementMetaData> vorgenommen, in der Regel durch interne id-/refId-Referenzierung. Die <dcc:metaData>-Elemente können ebenfalls die refType-Attribute nutzen. Diese Möglichkeit ist im beiliegenden DCC-Muster für eine Kalibrierung am Beispiel der Verwendung eines zweiten Thermostaten in unterschiedlichen Messbereichen gezeigt, siehe Anhang A. Detailliertere Auskünfte über die allgemeine Nutzung dieser DCC-Strukturen finden sich im Expertenbericht DKD-E 0-3 [1] im Rahmen von Good-Practice-Beispielen.

4.5.1 Eingangswert

Der Eingangswert eines Widerstandsthermometers wird vor der Kalibrierung (und auch vor einer ggf. durchzuführenden Wärmebehandlung) gemessen und ist laut DKD-R 5-1 [12] im Kalibrierschein anzugeben. Er wird durch den Widerstand bei 0 °C (üblicherweise am Eispunkt oder am Wassertripelpunkt gemessen) repräsentiert. Analog wird bei direktanzeigenden Thermometern der Anzeigewert genutzt. Der Eingangswert dient vorrangig zur Beurteilung der Langzeitstabilität (bei Kenntnis der Historie) und der allgemeinen Kalibrierfähigkeit des Fühlers. Der Eingangswert kann zusammen mit der Abschlussmessung (als Ausgangswert) zur Beurteilung der Stabilität genutzt werden.

Der Eingangswert wird in einem separaten <dcc:result>-Block mittels <dcc:quantity refType=„temperature_inputValue“> angegeben. Die Form dieses Elementes ist in Abbildung 7 beispielhaft wiedergegeben. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, sollte es ein <dcc:usedMethods> Element enthalten, welches z. B. die Bestimmung des Eingangswertes beschreibt. Falls nötig können hier verwendete Messmittel (<dcc:measuringEquipments>) oder abweichende Messbedingungen (<dcc:influenceConditions>) ergänzt werden. Gemäß den Regelungen für den refType „basic_metrologicallyTraceableToSI“, sollte auch eine Aussage zur Rückführbarkeit des Eingangswertes in <dcc:measurementMetaData> enthalten sein.

```
<dcc:quantity refType="temperature_inputValue">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Eingangswert</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Input value</dcc:content>
  </dcc:name>
  <si:real>
    <si:value>100.0246</si:value>
    <si:unit>\ohm</si:unit>
  </si:real>
  <dcc:usedMethods>
    <dcc:usedMethod>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Bestimmung des Eingangswertes</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Determination of the inputValue</dcc:content>
      </dcc:name>
      <dcc:description>
        <dcc:content lang="de">Als Eingangswert wurde der Fühlerwiderstand am Eispunkt gemessen.</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">As input value, the resistance of the probe was measured at the ice point.</dcc:content>
      </dcc:description>
      <dcc:norm>DKD-R 5-1:2023-11</dcc:norm>
      <dcc:reference>6</dcc:reference>
      <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20231207</dcc:link>
    </dcc:usedMethod>
  </dcc:usedMethods>
  <dcc:measurementMetaData>
    <dcc:metaData refId="traceable">
      <dcc:valid>false</dcc:valid>
    </dcc:metaData>
  </dcc:measurementMetaData>
</dcc:quantity>
```

Abbildung 7: Angabe des Eingangswertes eines Thermometerwiderstandes im DCC, inkl. Methodenbeschreibung und Aussage zur metrologischen Rückführbarkeit.

4.5.2 Isolationswiderstand

Bei der Angabe bzgl. des gemessenen Isolationswiderstandes besteht im aktuellen DCC-Schema die Limitierung, dass Werte in D-SI Darstellung nicht mit einer „kleiner als“- bzw. „größer als“-Angabe versehen werden können [3]. Die Überprüfung des Isolationswiderstandes findet allerdings häufig nur bzgl. einer unteren Grenze, d. h. einer Überprüfung des mindestens vorliegenden Isolationswiderstandes, statt. Die aktuelle Empfehlung für die Angabe im DCC ist daher, dass ggf. diese untere Grenze als <si:valueXMLList> abgelegt wird und die entsprechende <dcc:quantity> mit dem refType „temperature_insulationResistance“ versehen wird, der anzeigt, dass die Quantity den Isolationswiderstand enthält. Nach der DKD-R 5-1 [12] wird die Überprüfung sowohl bei der niedrigsten als auch bei der höchsten Kalibriertemperatur gefordert, insofern dies technisch möglich ist. Daher sind im beigefügten Beispiel zwei Werte im <si:valueXMLList>-Element abgelegt. Dies ist eine vorübergehende Lösung, die in einer kommenden Revision weiter ausformuliert wird.

4.5.3 Anzeigewerte und konvertierte Temperaturwerte bei Fühlerkalibrierung

Im Falle der Kalibrierung eines Temperaturfühlers (ohne direkte Temperaturanzeige) muss die beschriebene Datenstruktur leicht angepasst werden. Im beigefügten DCC-Beispiel sind diese Umformulierungen als Kommentare bereits als Diskussionsgrundlage enthalten. Eine detaillierte Beschreibung erfolgt in der kommenden Revision dieses Expertenberichtes.

Im Folgenden sind vorab dazu die durchzuführenden Anpassungen kurz erläutert:

Die gemessenen Widerstandswerte werden in einem zusätzlichen <dcc:quantity>-Element mit dem refType=„basic_indicationValue“> eingefügt. Die Messergebnisse unter dem refType „basic_measuredValue“ stellen in diesem Fall die Temperaturen dar, die gemäß einem Verfahren aus den gemessenen Widerstandswerten ermittelt wurden. Das Verfahren zur Umrechnung wird in einem entsprechenden <dcc:usedMethod>-Element angegeben und mit dem refType

„basic_conversionProcedure“ referenziert. Darüber hinaus enthält die Beschreibung des Kalibriergegenstandes in <dcc:items> keine Informationen über eine Datenerfassungs- oder Anzeigeeinheit. Diese wird stattdessen in den Abschnitt <measuringEquipments> aufgenommen, da es sich in der Regel um Messtechnik des Kalibrierlabors handelt.

4.5.4 Eigenerwärmung und Messstromstärke

Die Eigenerwärmung des Temperaturfühlers ist Teil jeder Messung in der Widerstandsthermometrie, da das Thermometer einen Messstrom ungleich Null führt. Daher ist eine Aussage über den Einfluss der Eigenerwärmung bei der Kalibrierung ein obligatorischer Bestandteil jedes Kalibrierscheins, der im Rahmen der Richtlinie DKD-R 5-1 [12] ausgestellt wird. Diese Kenntnis über die Eigenerwärmung ermöglicht es dem Nutzer, eine entsprechende Korrektur vorzunehmen oder die Messunsicherheit an seine spezifischen Messbedingungen (z. B. niedrigere oder höhere Messströme) anzupassen. Die DKD-R 5-1 [12] lässt hierfür drei Fälle zu:

- a) die Eigenerwärmung wird durch Variation des Messstroms messtechnisch bestimmt (international etabliertes und genauestes Verfahren),
- b) die Eigenerwärmung wird durch Variation der thermischen Kopplung (in Flüssigkeit und in Luft) messtechnisch abgeschätzt,
- c) die Eigenerwärmung wird nicht gemessen und ihr Einfluss wird gemäß der Richtlinie mit einem pauschalen Wert von 30 mK (Rechteckverteilung) geschätzt.

Die obligatorische Information über die Auswirkungen der Eigenerwärmung wird als <dcc:quantity>-Element im DCC aufgeführt, welches von den Hauptkalibrierungsdaten (<dcc:list>) getrennt ist, sich jedoch im selben <dcc:result>-Block befindet. Diese <dcc:quantity> wird mit dem spezifischen refType „temperature_selfHeating“ versehen, um es als die entsprechende Information zu kennzeichnen (gemäß Abbildung 8). Dadurch können die Werte der Eigenerwärmungsuntersuchung anhand der Datenstruktur eindeutig den jeweiligen Kalibrierwerten zugeordnet werden, selbst wenn der DCC Ergebnisse aus mehreren Kalibriergegenständen (Fühlern) enthält. Ein typischer XML-Codeausschnitt dieses <dcc:quantity>-Elements gemäß Good Practice ist in Abbildung 8 zu finden. Für den dritten Fall, bei dem der Einfluss der Eigenerwärmung als Standardwert geschätzt wird, erfolgt die Angabe im DCC als Messunsicherheit ohne zugeordneten Messwert.

Innerhalb einer <dcc:quantity> lässt sich dies in der digitalen SI-Infrastruktur gut abbilden, wie in Abschnitt a) von Abbildung 8 dargestellt. Der tatsächliche Wert dieser Größe <si:valueXMLList> für Fall (c) ist auf „NaN“ (Not a Number) gesetzt, da nur ein Beitrag der Messunsicherheit angegeben werden soll, was im Rahmen des kürzlich überarbeiteten Digital-SI [3] (enthalten in DCC-Schema Version 3.3.0 oder höher) über <si:standardMUXMLList> ausdrücklich möglich ist. Dies verhindert eine Fehlinterpretation des Ausdrucks, z. B. dass der Unsicherheitsbeitrag gleich null oder vernachlässigbar wäre, wenn anstelle von „NaN“ der Wert 0 verwendet wurde. Durch die Angabe einer Standardunsicherheit ist es besonders einfach, den jeweiligen Beitrag aus der erweiterten (kombinierten) Messunsicherheit zu extrahieren und durch einen Beitrag zu ersetzen, der für die spezifische Messbedingung möglicherweise besser geeignet ist (z. B. ein Eigenerwärmungseinfluss, der direkt innerhalb der Messsituation abseits der Kalibrierung ermittelt wurde).

Der pauschale Einfluss von 30 mK ist gemäß DKD-R 5-1 [12] als Halbwertsbreite einer Einflussgröße mit gleichmäßiger Wahrscheinlichkeitsverteilung zu interpretieren. Daraus ergibt

sich eine Standardunsicherheit von 17 mK, die in `<si:valueStandardMUXMLList>` für Fall (c) anzugeben ist. Das Element `<dcc:quantity>` enthält ein eigenes Unterelement `<dcc:usedMethod>`, dass mittels `<dcc:norm>` (Kurzbezeichnung der Richtlinie), `<dcc:reference>` (Kapitelnummer für die Beschreibung der Selbsterwärmung in der Richtlinie) und `<dcc:link>` (URL für den Online-Zugriff auf die Richtlinie) den Bezug zur entsprechenden Regel herstellt.

Ob die Auswirkungen der Eigenerwärmung tatsächlich gemessen oder pauschal abgeschätzt wurden, was gemäß der Richtlinie DKD-R 5-1 [12] eine notwendige Angabe ist, wird innerhalb der Metadaten der `<dcc:quantity>` als `<dcc:valid>`-Element (Boolean) angezeigt. Dies ist in Abbildung 8 c dargestellt. Dabei gibt der Eintrag `<dcc:valid>true</dcc:valid>` an, dass die Selbsterwärmung durch Messung untersucht wurde (Fall a und b), und `<dcc:valid>>false</dcc:valid>` bedeutet, dass der Einfluss pauschal abgeschätzt wurde (Fall c). Um diese spezielle Information explizit anzusprechen, muss für dieses `<dcc:metaData>`-Element der dedizierte `refType` „temperature_isMeasured“ verwendet werden.

Bei der Angabe expliziter Unsicherheitsbeiträge, um entsprechende Anpassungen zu ermöglichen, wird dringend empfohlen, anzugeben, ob dieser bestimmte Beitrag bereits in den erweiterten Messunsicherheiten enthalten ist, die mit den Kalibrierungsergebnissen bereitgestellt werden, oder ob es sich um einen zusätzlichen Beitrag handelt, der separat durch den Anwender zu betrachten ist. Obwohl die Richtlinie eindeutig vorschreibt, dass der Einfluss der Eigenerwärmung in die Messunsicherheit einbezogen werden muss, wenn ihr Einfluss abgeschätzt wird (Fall (c)), ist ein zweites `<dcc:valid>`-Element als zusätzliche `<dcc:metaData>`-Angabe für Good-Practice-DCCs aufzunehmen, um diese Informationen maschineninterpretierbar bereitzustellen. Als `refType` für dieses Element wird „temperature_isInUncertainty“ bereitgestellt. Daher bedeutet `<dcc:valid>true</dcc:valid>` in diesem Fall, dass der Beitrag bereits enthalten ist. Der Ausdruck `<dcc:valid>>false</dcc:valid>` bedeutet, dass dieser Beitrag nicht enthalten ist und durch den Anwender bei Bedarf als zusätzlicher Unsicherheitsbeitrag berücksichtigt werden kann.

```

<dcc:quantity refType="temperature_selfHeating">
a)  <dcc:name>
      <dcc:content lang="en">Influence of self-heating</dcc:content>
    </dcc:name>
    <dcc:description>
      <dcc:content lang="en">The standard uncertainty of self-heating is stated.</dcc:content>
    </dcc:description>
    <si:realListXMLList>
      <si:valueXMLList>NaN</si:valueXMLList>
      <si:unitXMLList>\kelvin</si:unitXMLList>
      <si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
        <si:standardMUXXMLList>
          <si:valueStandardMUXXMLList>0.017</si:valueStandardMUXXMLList>
          <si:distributionXMLList>normal</si:distributionXMLList>
        </si:standardMUXXMLList>
      </si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
    </si:realListXMLList>
    <dcc:usedMethods>
b)  <dcc:usedMethod>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="en">Determination of self-heating</dcc:content>
      </dcc:name>
      <dcc:norm>DKD-R 5-1:2023-11</dcc:norm>
      <dcc:reference>8.8</dcc:reference>
      <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20231207</dcc:link>
    </dcc:usedMethod>
  </dcc:usedMethods>
c)  <dcc:measurementMetaData>
      <dcc:metaData refType="temperature_isMeasured">
        <dcc:description>
          <dcc:content lang="en">Experimental investigation of the influence
                                of self-heating for the thermal sensor:</dcc:content>
        </dcc:description>
        <dcc:valid>false</dcc:valid>
      </dcc:metaData>
      <dcc:metaData refType="temperature_isInUncertainty">
        <dcc:description>
          <dcc:content lang="en">The influence of self-heating is included
                                in the expanded measurement uncertainty:</dcc:content>
        </dcc:description>
        <dcc:valid>true</dcc:valid>
      </dcc:metaData>
    </dcc:measurementMetaData>
  </dcc:quantity>

```

Abbildung 8: XML-Ausdruck des abgeschätzten Einflusses der Eigenerwärmung in einem DCC.

a) Standardunsicherheitsbeitrag gemäß des in der Richtlinie DKD-R 5-1 [12] definierten Pauschalwertes, b) Verweis auf die Methodenbeschreibung zur Bestimmung der Eigenerwärmung, c) Zugehörige Metadaten, die beschreiben, ob die Auswirkung experimentell bestimmt wurde und ob der Beitrag in der erweiterten Messunsicherheit enthalten ist.

Im Fall a) und b), wenn der Einfluss der Selbsterwärmung experimentell bestimmt wurde, bleibt die Gesamtstruktur des beschriebenen <dcc:quantity>-Elements unverändert, einschließlich der erwähnten <dcc:usedMethods>- und <dcc:measurementMetaData>-Angaben. Darüber hinaus können weitere Parameter bereitgestellt werden, damit der Benutzer eine angemessene Korrektur vornehmen kann, wie in der Richtlinie vorgeschlagen. Diese zusätzlichen Parameter erfordern spezielle refTypes, die für Good-Practice-DCCs definiert werden müssen.

Der Messstrom wird als <dcc:influenceCondition refType="temperature_measuringCurrent"> in der Regel in dem <dcc:quantity refType="basic_measuredValue">-Element angegeben, welches die Temperaturwerte des Kalibriergegenstandes enthält (siehe Abbildung 9). Der hier dargestellte refType „basic_nominalValue“ zeigt an, dass es sich hierbei um einen festgelegten Wert handelt, der nicht gemessen wurde, z. B. aus den Spezifikationen oder Einstellungen der verwendeten Anschlusselektronik. Wurde der Messstrom tatsächlich während der Kalibrierung

gemessen, würde dieser refType entfallen. Im Falle der Messung wird außerdem empfohlen, die Angabe des gemessenen Messstromes, um eine Unsicherheitsangabe zu erweitern.

```
<dcc:influenceCondition refType="temperature_measuringCurrent">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Verwendeter Messstrom bei der Kalibrierung</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Measuring current used</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:data>
    <dcc:quantity>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Effektiver Messstrom</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Measuring current (RMS)</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>0.7</si:value>
        <si:unit>\milli\ampere</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:quantity>
  </dcc:data>
</dcc:influenceCondition>
```

Abbildung 9: Angabe eines effektiven Messstroms von 0,7 mA, durch den Widerstandsfühler während der Kalibrierung.

4.5.5 Hysterese

Analog zur Eigenerwärmung kann der Einfluss der thermischen Hysterese in einem Good-Practice-DCC berichtet werden. Diese Angabe ist eine weitere Anforderung aus der Richtlinie DKD-R 5-1 [12]. Der refType „temperature_hysteresis“ wird verwendet, um diese spezielle Information zu kennzeichnen. Bei der Hysterese sind die beiden Fälle (a) experimentell ermittelter Einfluss und (b) pauschal abgeschätzter Beitrag zulässig. Daher sind alle für die Eigenerwärmung beschriebenen Aspekte auch für die Angabe der Hysterese gültig. Selbst die beiden refTypes für das Unterelement <dcc:measurementMetaData> können hier gleichbedeutend verwendet werden, da ihre vollständige Bedeutung (Bezug auf Hysterese oder Eigenerwärmung) durch die Kombination mit dem jeweiligen übergeordneten refType definiert wird.

```
<dcc:quantity refType="temperature_hysteresis">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Einfluss der Hysterese</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Influence of hysteresis</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">
      Angegeben ist die Standardunsicherheit der Hysterese.
      Sie ist zu Berücksichtigen sofern die Messungen nicht durchgehend in der
      angegebenen Temperaturmesspunkt-Reihenfolge durchgeführt werden.
      Dabei ist der größte Einfluss in der Mitte des Temperaturbereichs zu erwarten.</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">
      The standard uncertainty of hysteresis is stated.
      It has to be considered in case the measurements are not
      performed in the same order of temperature setpoints.
      The largest contribution is expected to be in the center of the temperature range.</dcc:content>
    </dcc:description>
  </dcc:description>
  <si:realListXMLList>
    <si:valueXMLList>NaN</si:valueXMLList>
    <si:unitXMLList>\kelvin</si:unitXMLList>
    <si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
      <si:standardMUXXMLList>
        <si:valueStandardMUXXMLList>0.16</si:valueStandardMUXXMLList>
        <si:distributionXMLList>normal</si:distributionXMLList>
      </si:standardMUXXMLList>
    </si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
  </si:realListXMLList>
  <dcc:usedMethods>
    <dcc:usedMethod>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Bestimmung der Hysterese</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Hysteresis determination</dcc:content>
      </dcc:name>
      <dcc:norm>DKD-R 5-1:2023-11</dcc:norm>
      <dcc:reference>8.10</dcc:reference>
      <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20231207</dcc:link>
    </dcc:usedMethod>
  </dcc:usedMethods>
  <dcc:measurementMetaData>
    <dcc:metaData refType="temperature_isMeasured">
      <dcc:description>
        <dcc:content lang="de">Experimentelle Untersuchung der Hysterese des Temperaturfühlers:</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Experimental investigation of the influence of hysteresis for the thermal sensor:</dcc:content>
      </dcc:description>
      <dcc:valid>false</dcc:valid>
    </dcc:metaData>
    <dcc:metaData refType="temperature_isInUncertainty">
      <dcc:description>
        <dcc:content lang="de">Berücksichtigung der Eigenerwärmung in der angegebenen erweiterten Messunsicherheit:</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Consideration of self-heating in the expanded measurement uncertainty:</dcc:content>
      </dcc:description>
      <dcc:valid>false</dcc:valid>
    </dcc:metaData>
  </dcc:measurementMetaData>
</dcc:quantity>
```

Abbildung 10: XML-Ausdruck des Einflusses der Hysterese in einem DCC, mit Standardunsicherheitsbeitrag gemäß der in der Richtlinie DKD-R 5–1 [12] definierten Regel zur Abschätzung, Verweis auf die Methodenbeschreibung zur Bestimmung der Hysterese und zugehöriger Metadaten, die beschreiben, ob die Auswirkung experimentell bestimmt wurde und ob der Beitrag in der erweiterten Messunsicherheit enthalten ist.

Für Fall (b) ist der entsprechende XML-Code in Abbildung 11 dargestellt. Der geringfügige Unterschied bei der Hysterese im Vergleich zur Eigenerwärmung besteht darin, dass DKD-R 5-1 [12] es erlaubt, den separat angegebenen Hysterese-Beitrag in die erweiterte Messunsicherheit, die mit den Kalibrierergebnissen berichtet wird, nicht aufzunehmen. Daher ist die Information in `<dcc:metaData refType="temperature_isInUncertainty">` hier besonders wichtig.

In der nächsten Revision wird die Angabe des Hysteresewertes relativ zum Kalibrierbereich als Prozentwert implementiert, wie es aktuell bei international laufenden Bestrebungen zur Harmonisierung bevorzugt wird.

4.5.6 Zeitstempel

Die D-SI Infrastruktur sieht die Möglichkeit vor, für jede Messwertangabe maschinenlesbare Zeitstempel zu hinterlegen (in `<dcc:dateTimeXMLList>`). Diese Informationen können z. B. dazu dienen, um die Reihenfolge der Temperaturen eindeutig anzugeben (siehe Muster-DCC in Anhang

A). Die Angabe von Zeitstempeln bleibt jedoch auch für Good-Practice-DCCs optional. Eine alternative Möglichkeit zur Angabe der Messwertreihenfolge ohne die Nutzung von Zeitstempeln ist in Abschnitt 8.4.3 vorgeschlagen.

Die Datumsangabe der Kalibrierung wird im DCC in den dedizierten <dcc:coreData>-Elementen <dcc:beginPerformanceDate> und <dcc:endPerformanceDate> angegeben, die beide entsprechend dem DCC-Schema nicht-optional sind.

4.5.7 Aussagen zur Konformität eines Messmittels

Konformitätsaussagen zu Messergebnissen werden in einem DCC im Bereich <dcc:metaData> getroffen. Detailliertere Beschreibungen dazu lassen sich in [1] finden. Eine beispielhafte Implementierung für die Messgröße Temperatur ist für die nächste Revision des DCC-Musters geplant.

5 Thermoelemente und Thermoelementthermometer nach DKD-R 5-3

Eine weit verbreitete Richtlinie zur Kalibrierung von Thermoelementen im Vergleichsverfahren (auch unter nicht-akkreditierten Laboren) ist die DKD-R 5-3 [14], welche jegliche Art von Thermoelementen umfasst. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar. Spezifische Aspekte, die nur für Thermoelemente gelten, wie eine vollständige Angabe des Kalibriergegenstandes (Kapitel 5.1), des verwendeten Kalibrierverfahrens (Kapitel 5.2), der Messeinrichtung und Vergleichsstelle (Kapitel 5.3) und der Einflussgrößen (Kapitel 5.4) werden im Folgenden erläutert. Unter Kapitel 5.5 folgen anschließend Beispiele für die Darstellung der Kalibrierergebnisse und deren Ablage in einem <dcc:measurementResult>-Element.

5.1 Kalibriergegenstand

Die Beschreibung der Thermoelemente erfolgt wie in Kapitel 3.3 erläutert. Im Beispiel wird eine Messkette bestehend aus Anzeige und Thermoelement beschrieben, s. Anhang D.

Zusätzlich ist bei Thermoelementen der Typ anzugeben. Die Angabe ist mit dem refType „temperatur_probeType“ gekennzeichnet. Die Bezeichnungen und das DCC-Akronym sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2 Bezeichnung der Typen von Thermoelementen

Deutsch	Englisch	DCC-Akronym
Typ K (NiCr-Ni)	type K (NiCr-Ni)	TC-K
Typ J (Fe-CuNi)	type J (Fe-CuNi)	TC-J
Typ N (NiCrSi-NiSi)	type N (NiCrSi-NiSi)	TC-N
Typ E (iCr-CuNi)	type E (iCr-CuNi)	TC-E
Typ T (Cu-CuNi)	type T (Cu-CuNi)	TC-T
Typ R (Pt13Rh-Pt)	type R (Pt13Rh-Pt)	TC-R

Typ S (Pt10Rh-Pt)	type S (Pt10Rh-Pt)	TC-S
Typ B (Pt30Rh-Pt6Rh)	type B (Pt30Rh-Pt6Rh)	TC-B
Typ C (W5Re-W26Re)	type C (W5Re-W26Re)	TC-C
Typ A (W5Re-W20Re)	type A (W5Re-W20Re)	TC-A
Andere Typen	Other types	TC-other

Für nicht in der Tabelle aufgeführte Typen von Thermoelementen kann die Bezeichnung „TC-other“ verwendet werden. Eine detaillierte Anwendung des Elements „TC-other“ wird in einer zukünftigen Ausgabe des Expertenberichtes beschrieben, hier ist geplant, dass die genutzten Materialien angegeben werden können.

Auch die weiteren Angaben, z. B. Fühlerdurchmesser oder die Art des Schutzrohres, sind analog zu den Widerstandsthermometern möglich. Für das Thermoelement wird anstelle der Länge des Fühlers üblicherweise die Länge der Thermoleitung angegeben (wenn bekannt). Zukünftig soll diese Länge einen eigenen refType bekommen.

5.2 Kalibrierverfahren

Das Kalibrierverfahren wird als <usedMethod> analog zu Kapitel 4.2 mit Referenz auf DKD-R 5-3 [14] beschrieben.

5.3 Messeinrichtung und Vergleichsstelle

Bei der Beschreibung der Messeinrichtung ist die Angabe, ob und ggf. welche Vergleichsstelle genutzt wurde, notwendig. Gegebenenfalls ist es bei Verwendung eines Thermoelements als Referenz notwendig, ebenso eine Vergleichsstelle anzugeben.

Die im Musterkalibrierschein zum Expertenbericht dargestellte Messkette und Referenz benötigen keine kalibrierte Temperaturvergleichsstelle. Auskommentiert ist ein Beispiel, das zeigt, wie eine Vergleichsstelle und eine Vergleichsstellentemperatur angegeben werden können. Die Vergleichsstelle wird dabei mittels des DCC-Elements <measuringEquipment> angegeben und mit dem refType „temperature_coldJunction“ gekennzeichnet.

In einer zukünftigen Ausgabe des Expertenberichtes soll beschrieben werden, wie die weiteren Angaben zur Realisierung der Vergleichsstelle (z.B. intern oder extern) maschineninterpretierbar erfolgen können.

5.4 Einflussgrößen

Der gemessene Isolationswiderstand (keine explizite Anforderung der DKD-R 5-3 [14]), kann analog der Angabe bei den Widerstandsthermometern aus dem Abschnitt 4.5.2 erfolgen.

Auch die Angabe der Eintauchtiefe erfolgt analog zu den Widerstandsthermometern (Abschnitt 4.3). Bei Thermoelementen, die nicht in einem starren Mantel verbaut eingesetzt werden, wird empfohlen eine genauere Beschreibung unter <dcc:usedMethod> zu hinterlegen.

5.5 Angabe der Messergebnisse

Die Angabe der Messergebnisse erfolgt analog den Widerstandsthermometern, siehe Kapitel 4.5, sofern zutreffend.

Eine Möglichkeit zur Angabe der Temperatur der Vergleichsstelle sowie die Methode der Darstellung (bspw. Eispunkt) werden als auskommentierter Vorschlag im Musterkalibrierschein für die DKD-R 5-3 [14] zu diesem Expertenbericht vorgestellt.

Die Inhomogenität ist für die Kalibrierung von Thermoelementen nach der DKD-R 5-3 [14] relevant. Sie kann laut Richtlinie gemessen oder nach einer in der Richtlinie angegebenen Tabelle abgeschätzt werden. Der Beitrag ist immer in der Messunsicherheit zu berücksichtigen. Hierfür kann für das Berichten im Kalibrierschein eine Struktur genutzt werden, wie sie in Kapitel 4.5.4 beschrieben wird. Dabei wird der Wert des Metadatum `refType„temperature_isInUncertainty“` immer auf „true“ gesetzt. Die Angabe, ob der Wert für die Inhomogenität durch eine Abschätzung oder Messung bestimmt wurde, ist im Kalibrierschein eindeutig anzugeben. Da der Beitrag der Inhomogenität zur Messunsicherheit mit der Temperatur skaliert, sind die Werte als Liste, entsprechend der Reihenfolge der Kalibriertemperaturen anzugeben. Für die `validXMLList` unter „temperature_isMeasured“ und „temperature_isInUncertainty“ ist aber jeweils nur ein Wert anzugeben, der für alle Werte der Inhomogenität gilt.

Eine Lösung zur Angabe der örtlich aufgelösten Inhomogenitätsuntersuchung wird in einer zukünftigen Revision des Berichtes zur Verfügung gestellt, da hier die räumliche Auflösung zu berichten ist.

6 Temperatur-Blockkalibratoren nach DKD-R 5-4

Temperatur-Blockkalibratoren werden in einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts berücksichtigt. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar.

Wesentlich ist die zusätzliche Dokumentation der Einflüsse von Stabilität und Homogenität, die als Funktionstests in weiteren `<dcc:quantity>`-Blöcken dokumentiert werden können. Hier wird eine Darstellung vergleichbar zur Hysterese angestrebt.

In Diskussion ist, ob diese Funktionstests durch `refTypes` oder durch `dcc:measurands` charakterisiert werden.

7 Klimaschränke nach DKD-R 5-7

Klimaschränke werden in einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts berücksichtigt. Dies betrifft sowohl die Messgröße Temperatur als auch Feuchte. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar.

8 Messgeräte zur Erfassung der relativen Feuchte nach DKD-R 5-8

Im folgenden Kapitel werden nähere Angaben zur Darstellung der Kalibrierergebnisse nach DKD-R 5-8 [9] in einem DCC beschrieben und festgelegt. Das Beispiel eines DCCs nach diesen Festlegungen ist in Anhang B referenziert, im Folgenden werden Details dieses DCCs vorgestellt.

8.1 Kalibriergegenstand

Als Kalibriergegenstände werden nach DKD-R 5-8 [9] folgende Messgeräte zugelassen:

- elektrische Feuchtesensoren:
 - resistive Feuchtesensoren,
 - kapazitive Feuchtesensoren,
 - resistive-elektrolytische Feuchtesensoren,
- mechanische Feuchtesensoren.

Es sind hier allgemein zwei Fälle zu unterscheiden:

- Fall 1: Messgeräte bestehend aus Anzeige und Fühler, z. B. Fühler mit kapazitivem Feuchtesensor und abgesetzter Anzeige,
- Fall 2: Messgeräte mit in der Anzeige integriertem Fühler.

8.2 Kalibrierverfahren

Die in der Richtlinie DKD-R 5-8 [9] beschriebenen Verfahren setzen sich aus der Kombination der gewählten Kalibriereinrichtung und den verwendeten Bezugsnormen zusammen. Der Kalibriergegenstand wird in die Kalibriereinrichtung eingebracht und der Referenzwert anhand der Bezugsnormale ermittelt. Zur Nachvollziehbarkeit der Kalibrierung empfiehlt es sich folgende Randbedingungen im Kalibrierschein zu dokumentieren, ein Teil der Angaben sind nach DKD-R 5-8 [9] verpflichtend:

- Vorbehandlungsprozess
- Kalibrierverfahren
- Kalibrierablauf
- Kalibrierreihenfolge
- Einbautiefe
- Hinweis zur Berücksichtigung der Hysterese oder Wiederholbarkeit in der Messunsicherheit
- Umgebungstemperatur und ggf. -feuchte
- Kalibrierergebnis mit Angabe der Gastemperatur
- Angabe der relativen Feuchte mit Bezug auf Sättigung über Eis oder Wasser
- Kalibriermedium
- Anströmgeschwindigkeit
- Angleichzeit.

8.3 Allgemeine Inhalte im Bereich Administrative Data

In diesem Abschnitt werden nur die Punkte beschrieben, die nicht bereits im Expertenbericht des Querschnittsausschusses [1] festgelegt sind.

8.3.1 Beschreibung der Kalibriergegenstände – <dcc:items>

Bei der Abbildung von Kalibriergegenständen im DCC, die aus einer Anzeige und einem getrennten Messfühler bestehen (Fall 1 aus Kapitel 8.1), wird für jeden Bestandteil ein Element <dcc:item> angelegt. Dieser wird mit den Angaben Hersteller, Typ, Seriennummer und ggf. weiteren Identifikationsnummern beschrieben.

Die Beschreibung von Kalibriergegenständen mit integriertem Fühler (Fall 2 aus Kapitel 8.1) erfolgt analog zur Beschreibung im allgemeinen Expertenbericht [1].

Für die Beschreibung des Kalibriergegenstandes wird in beiden Fällen empfohlen zusätzliche Angaben im DCC auszuführen. Dies sind die Gesamtlänge des Kabels (zwischen Feuchtefühler und Anzeige, refType „humidity_itemCableLength“), der Durchmesser (refType „humidity_itemProbeDiameter“) und die Länge des Fühlers. Die beiden ersten Angaben helfen der Abschätzung der Wärmableitung.

8.3.2 Statements

Die Umsetzung der Angabe der allgemein geforderten Aussagen nach DIN EN/ISO 17025:2018 [4] werden im allgemeinen Expertenbericht [1] erläutert, die fachspezifischen Aussagen sind im nachfolgenden Kapitel 8.4 angegeben.

8.4 Inhalte im Ergebnisbereich - <dcc:measurementResults>

Im Folgenden werden die Festlegungen für die Darstellung des Kalibrierergebnisses sowie die dabei eingesetzten refTypes erläutert. Dieser Abschnitt gliedert sich wie folgt:

- Beschreibung des Kalibrierverfahrens als einzelne XML-Elemente <dcc:usedMethod>
 - Kapitel 8.4.1 Angabe des Vorbehandlungsprozesses
 - Kapitel 8.4.2 Kalibrierverfahren
 - Kapitel 8.4.4 Einbauzustand
 - Kapitel 8.4.8 Angabe des Kalibriermediums
 - Kapitel 8.4.9 Anströmgeschwindigkeit
- Umgebungsbedingungen als XML-Element <dcc:influenceConditions>
- Darstellung der Ergebnisse als XML-Element <dcc:result> (s. Kapitel 8.4.6, sofern nicht anders angegeben):
 - Zeitstempel (s. Kapitel 8.4.3 Messreihenfolge)
 - Sollwerte der Gastemperatur und relativen Feuchte
 - Referenzwert für Gastemperatur und relative Feuchte
 - Angabe des Sättigungszustandes als <dcc:metaData> in Kapitel 8.4.7
 - Anzeige des Kalibriergegenstandes
 - Abweichung des gemessenen Wertes des Kalibriergegenstandes vom Referenzwert

- Angabe zum Einfluss der Hysterese (s. Kapitel 8.4.5) als XML-Element <dcc:quantity>
- Angabe der Angleichzeit (s. Kapitel 8.4.10) als XML-Element <dcc:quantity>
- Angabe der Abdeckung durch CMC-Eintrag (s. Kapitel 8.5.1) als <dcc:measurementMetaData>

8.4.1 Angabe des Vorbehandlungsprozesses

Die Angabe des Vorbehandlungsprozesses erfolgt in Form eines Elements <usedMethod>. In Textform wird hier der ggf. durchgeführte Vorbehandlungsprozess beschrieben. Ein eigener refType wurde hierfür aktuell noch nicht vergeben.

Beispielsweise kann die eingehaltene Lagerungszeit angegeben werden. Dies ist in Abbildung 11 dargestellt.

```
<dcc:usedMethod>
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Lagerungszeit nach Anlieferung</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Storage time after delivery</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Der Kalibriergegenstand wurde vor Beginn der
    <dcc:content lang="en">The calibration item was stored at room condi
  </dcc:description>
  <dcc:usedMethodQuantities>
    <dcc:usedMethodQuantity>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Lagerungszeit</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Storage time</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>24</si:value>
        <si:unit>\hour</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:usedMethodQuantity>
  </dcc:usedMethodQuantities>
</dcc:usedMethod>
```

Abbildung 11: Beispiel zur Darstellung der Lagerungszeit

8.4.2 Angabe des Kalibrierverfahrens und -ablaufs

Das Kalibrierverfahren mit Ausgabestand wird als Element <dcc:usedMethod> mit Angabe des refTypes „basic_calibrationMethod“ angegeben, wie im nachfolgenden Beispiel in Abbildung 12 zu sehen ist.

```
<dcc:usedMethod refType="basic_calibrationMethod">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Kalibrierverfahren</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Calibration procedure</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Der Sensorteil (Feuchtesensor) des Kalibriergegenstands</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">During calibration, the sensor part (humidity sensor)</dcc:content>
  </dcc:description>
  <dcc:norm>DKD-R 5-8:2019-02</dcc:norm>
  <dcc:reference>9.3</dcc:reference>
  <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20190214</dcc:link>
  <dcc:usedMethodQuantities>
    <!-- refType="humidity_subProcedure" -->
    <dcc:usedMethodQuantity>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Ablauf</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Procedure</dcc:content>
      </dcc:name>
      <dcc:charsXMLList>B1</dcc:charsXMLList>
    </dcc:usedMethodQuantity>
    <dcc:usedMethodQuantity>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Startpunkt relative Gasfeuchte</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Starting point relative gas humidity</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>0.25</si:value>
        <si:unit>\one</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:usedMethodQuantity>
    <dcc:usedMethodQuantity>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Startpunkt Temperatur</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Starting point temperature</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>23.0</si:value>
        <si:unit>\degreecelsius</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:usedMethodQuantity>
  </dcc:usedMethodQuantities>
</dcc:usedMethod>
```

Abbildung 12: Beispiel der Angabe des Kalibrierablaufs nach DKD-R 5-8 [9] inkl. Angabe des Startwertes.

Im Element <dcc:description> ist eine Beschreibung des detaillierten Vorgehens optional möglich. Danach erfolgt die Referenzierung auf die Richtlinie DKD-R 5-8 [9] mit gegebenen Ausgabestand und die Angabe der Norm sowie Quelle. Aktuell sind die verwendeten Kalibriereinrichtungen und Bezugsnormale nicht maschinenlesbar hinterlegt und damit nicht im DCC-Beispiel angegeben.

Die Richtlinie DKD-R 5-8 [9] beschreibt auch mehrere Abläufe (A bis D), die zum Teil die Angabe des gewählten Startpunktes notwendig machen. Zur Beschreibung im DCC wird das Element <dcc:usedMethodQuantity> verwendet. Der hier aufgeführte refType „humidity_subProcedure“ ist aktuell noch nicht in der Datenbank der refTypes 0 hinterlegt, wird aber stark gefordert. In der nachfolgenden Struktur kann zum einen der verwendete Ablauf (hier „B1“) sowie der gewählte Startpunkt angegeben werden. Für die Angabe des Startpunktes besteht aktuell noch kein refType. Im Sinne einer weiteren maschinellen Verarbeitung ist dies in Diskussion.

8.4.3 Angabe der Messreihenfolge

Die Forderung der Angabe der Messreihenfolge kann auf zwei Weisen angegeben werden.

Die eine Möglichkeit ist durch die Angabe des Zeitstempels für jedes Messergebnis erfüllt. Der Zeitstempel wird nach ISO 8601 [13] in folgendem Format verwendet:

Jahr	-	Monat	-	Tag	T		Stunden	:	Minuten	:	Sekunden	Zeitzone (UTC)
YYYY	-	MM	-	DD	T		hh	:	mm	:	ss	+00:00
2025	-	05	-	04	T		08	:	12	:	37	+01:00

Dem berichteten Mittelwert wird als kennzeichnender Zeitstempel das Ende der Messung zugeordnet und damit eindeutig dokumentiert.

Die zweite Möglichkeit ist die Angabe der Messreihenfolge als Dokumentation der Reihenfolge mittels Nummerierung der einzelnen Messungen. Die Messungen werden beginnend mit 1 aufsteigend ihres Messzeitpunktes nummeriert. Die Zahlenwerte dieser Nummerierung werden als Listelement unter <dcc:measurementResults> als <dcc:metaData> angegeben. Gekennzeichnet wird die Messreihenfolge mit dem refType „humidity_measurementSequence“. Ein Beispiel dieser der Angabe ist im Beispiel Anhang C verwendet.

8.4.4 Angabe des Einbauzustandes

Aufgrund der ggf. auftretenden Wärmeableitung ist die Angabe des Einbauzustandes des Kalibriergegenstandes in die Kalibriereinrichtung notwendig. Die Angabe des Einbauzustandes kann auf zwei Weisen geschehen:

- Der Feuchtefühler ist komplett in die Kalibriereinrichtung eingetaucht. Es wird die Kabellänge, die sich in der Kalibriereinrichtung befindet, angegeben. Dazu wird der refType „humidity_immersedCableLength“ verwendet. Dies wird wie im nachfolgenden Beispiel in Abbildung 13 umgesetzt. Im Beispiel wird der konkrete Wert der sich in der Kalibriereinrichtung befindlichen Kabellänge angegeben. Es ist dabei darauf hinzuweisen, dass diese Angabe eine informative Angabe für den Anwendenden des Kalibrierscheins ist und somit die Ermittlung wie auch Angabe ohne Messunsicherheit erfolgt. Die Umsetzung der Aussage „mindestens 1 m Kabellänge“ aus der DKD-R 5-8 [9] ist aktuell nicht 1:1 im DCC-Schema abbildbar, da die Struktur keine eindeutige und kompakte Darstellung des mathematischen Zeichens „>“ gibt. Sollte dies in zukünftigen Schema-Versionen erleichtert werden, wäre diese Angabe im Sinne der DKD-R 5-8 [9] zu empfehlen.

```

<dcc:usedMethod>
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Kabellänge in Kalibriereinrichtung</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Cable length within calibration unit</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:norm>DKD-R 5-8:2019-02</dcc:norm>
  <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20190214</dcc:link>
  <dcc:usedMethodQuantities>
    <dcc:usedMethodQuantity refType="humidity_immersedCableLength">
      <si:real>
        <si:value>1</si:value>
        <si:unit>\metre</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:usedMethodQuantity>
  </dcc:usedMethodQuantities>
</dcc:usedMethod>
<dcc:usedMethod>

```

Abbildung 13: Beispiel Angabe der tatsächlichen Kabellänge in der Kalibriereinrichtung.

- Der Feuchtefühler ist nicht komplett in die Kalibriereinrichtung eingetaucht. Es wird im DCC die Eintauchtiefe angegeben. Hierzu wird der refType „humidity_immersionDepth“ analog zur Angabe bei der Messgröße Temperatur in Kapitel 4.3 angegeben.

8.4.5 Hysterese

Nach der Richtlinie DKD-R 5-8 [9] ist eine Aussage notwendig, ob die Hysterese in der Messunsicherheit berücksichtigt wird. Die Angabe erfolgt analog dem Vorgehen für die Widerstandsthermometer nach DKD-R 5-1 [12], beschrieben in Kapitel 4.5.5. Die verwendeten refTypes werden im Namespace „humidity“ genutzt. Hintergrund ist, dass durch die Nutzung analoger Strukturen, die Auslesealgorithmen für den DCC kompakter und eindeutiger formuliert werden können.

Das nachfolgende Beispiel in Abbildung 14 zeigt die Darstellung des Hystereseinflusses, wenn die Hysterese weder ermittelt noch in der Messunsicherheitsberechnung berücksichtigt wird. Dies wird durch die Angabe des booleschen Wertes „false“ in den beiden XML-Elementen <dcc:measurementMetaData> gekennzeichnet, die Elemente sind mit den refTypes „humidity_isMeasured“ und „humidity_isInUncertainty“ versehen. Als Wert der „quantity“ wird „NaN“ eingetragen. Einen Default-Wert wie bei der DKD-R 5-1 [12] ist in der Richtlinie DKD-R 5-8 [9] nicht vorgesehen. Die Angabe der Messunsicherheit kann in diesem Fall auch entfallen.

Sollte der Hystereseinfluss ermittelt und eine entsprechende Messunsicherheit bestimmt werden, dann sind die Werte anstelle der Werte „NaN“ im hier gezeigten Beispiel anzugeben.

```
<dcc:quantity refType="humidity_hysteresis">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Einfluss der Hysterese</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Influence of hysteresis</dcc:content>
  </dcc:name>
  <si:realListXMLList>
    <si:valueXMLList>NaN</si:valueXMLList>
    <si:unitXMLList>\one</si:unitXMLList>
    <si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
      <si:standardMUXXMLList>
        <si:valueStandardMUXXMLList>NaN</si:valueStandardMUXXMLList>
        <si:distributionXMLList>normal</si:distributionXMLList>
      </si:standardMUXXMLList>
    </si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
  </si:realListXMLList>
  <dcc:usedMethods>
    <dcc:usedMethod>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Bestimmung der Hysterese</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Hysteresis determination</dcc:content>
      </dcc:name>
      <dcc:norm>DKD-R 5-8:2019-02</dcc:norm>
      <dcc:reference>7.4.5</dcc:reference>
      <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20190214</dcc:link>
    </dcc:usedMethod>
  </dcc:usedMethods>
  <dcc:measurementMetaData>
    <dcc:metaData refType="humidity_isMeasured">
      <dcc:valid>false</dcc:valid>
    </dcc:metaData>
    <dcc:metaData refType="humidity_isInUncertainty">
      <dcc:valid>false</dcc:valid>
    </dcc:metaData>
  </dcc:measurementMetaData>
</dcc:quantity>
```

Abbildung 14: Beispiel der Angabe im DCC, dass keine Hysterese-Ermittlung erfolgt ist.

8.4.6 Angabe des Kalibrierergebnisses inklusive der Gastemperatur

Die Angabe des Kalibrierergebnisses für die Messgröße relative Feuchte setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen: der Angabe der relativen Feuchte und zusätzlich der dabei herrschenden Gastemperatur. Bei der Darstellung im DCC sind für beide Teile Festlegungen notwendig.

Zunächst gibt es für die Darstellung der relativen Feuchte als Messgröße im D-SI keine direkte Entsprechung. Daher werden im Folgenden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Darstellungsoptionen und der Weg zur Festlegung auf eine der Optionen beschrieben.

Die relative Feuchte $U_{w,i}$ ist nach DKD-R 5-8 [9] wie folgt definiert:

$$U_{w,i} = \frac{e'}{e'_{w,i}(p,t)} 100 \% . \quad (1)$$

Aufgrund der Definition als Verhältnis zweier Drücke (Wasserdampfpartialdruck e' zu Sättigungsdampfdruck $e'_{w,i}$), ist eine Möglichkeit der Darstellung auf Basis der Definition des Druckes:

$$\frac{Pa}{Pa} = \frac{kg}{m s^2} \frac{m s^2}{kg} \quad (2)$$

Diese Darstellung in Gleichung (2) verwendet zwar nur SI-Einheiten, ist jedoch keine gebräuchliche Darstellung in analogen Kalibrierscheinen.

Die Definition aus der Richtlinie DKD-R 5-8 [9] sieht die Darstellung in Prozent („\percent“) vor. Im Sinne der Maschinenlesbarkeit und –interpretierbarkeit ist eine Darstellung als reelle Zahl die naheliegende Option. D. h. neben der Darstellung mittels „\percent“ ist auch eine Darstellung des Wertes in Form von „\one“ denkbar. Dies harmonisiert mit der derzeitigen internationalen Auffassung der relativen Feuchte als Messgröße mit der Einheit „1“. Aktuelle Diskussionen auf internationaler Ebene zeigen aber auch Bestrebungen die relative Feuchte zukünftig auch in Prozent weiterzugeben. Um für den Ausgang dieser Diskussion zukunftsweisend offen zu sein, wird abweichend zu der vorherigen Ausgabe dieses Expertenberichtes die Angabe nicht mehr auf „\one“ beschränkt, sondern auf die Darstellung „\percent“ erweitert. Dies bedeutet, dass beide Weitergaben abhängig der zugrundeliegenden Definition und der Anzeige oder Ausgabe des Kalibriergegenstandes gewählt werden können. Das DCC-Schema lässt bei der Darstellung eines <dcc:quantity>-Elements durch das „hybrid“-Element auch die zusätzliche Angabe weiterer Einheiten für eine Messgröße zu. D. h. damit ist auch eine Kombination der zuvor genannten Optionen möglich. Diese Variante birgt aber wegen der doppelten Darstellung die Gefahr von Übertragungsfehlern aus dem DCC auf Seiten des Anwendenden. Zu beachten ist aufgrund der Erweiterung der Darstellung, dass die Middleware-Programme zur Interpretation von DCCs in der Lage sein müssen, auf die möglichen Präsentationen des dargestellten Zahlenraums (z. B. 0 bis 1 bei Darstellung in „\one“ und 0 bis 100 bei Darstellung in „\percent“) reagieren zu können. Das dem Expertenbericht beigeordnete Beispiel eines Hygrometers mit Spannungsausgang in Anhang C wird aufgrund der Abbildung der DKD-R 5-8 [9] und der darin enthaltenen Definition nach Gleichung (1) mit der Darstellung „\percent“ umgesetzt.

Erlaubt sind demnach folgende Optionen zur Darstellung der relativen Feuchte, die von Middleware erkannt und verarbeitet werden können sollten:

- „\one“,
- „\percent“,
- Kombination als Hybrid-Element.

Unterschiedliche Definitionen der Feuchte können analog den Skalen in der Temperatur mittels Angabe eines refTypes nach Kapitel 3.2.1 eindeutig gekennzeichnet werden. Ein entsprechendes System ist aktuell in Diskussion und das Ergebnis Gegenstand einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts.

Die Daten werden im Abschnitt <dcc:results> als <dcc:list> strukturiert. Der erste Eintrag ist der Zeitstempel, gemäß den Ausführungen in Kapitel 8.4.3. Für eine spätere Strukturierung der Ergebnisse als Tabelle in einem menschenlesbaren Dokument und zur eindeutigen Indizierung werden die Sollwerte für Gastemperatur und relative Feuchte, wie in Abbildung 15 dargestellt, angegeben. Diese werden mit dem refType „basic_setPointValue“ für den Wert der betrachteten Messgröße, hier relative Feuchte, und mit dem refType „basic_temperature“ für die beigeordnete Gastemperatur gekennzeichnet.

```

<dcc:results>
  <dcc:result>
    <dcc:name>
      <dcc:content lang="de">Ergebnisse der Kalibrierung</dcc:content>
      <dcc:content lang="en">Results of calibration</dcc:content>
    </dcc:name>
    <dcc:data>
      <dcc:list>
        <dcc:dateTimeXMLList>2025-05-04T08:12:37+01:00 2025-05-04T09:36:24+01:00 2025-05-04T10:55:09+01:00</dcc:dateTimeXMLList>
        <dcc:quantity refType="basic_setPointValue">
          <dcc:name>
            <dcc:content lang="de">Sollwert relative Gasfeuchte</dcc:content>
            <dcc:content lang="en">Set point relative gas humidity</dcc:content>
          </dcc:name>
          <dcc:description>
            <dcc:content lang="de">Sollwert der relativen Feuchte der Referenzeinrichtung.</dcc:content>
            <dcc:content lang="en">Setpoint of the relative gas humidity of the reference device</dcc:content>
          </dcc:description>
          <si:realListXMLList>
            <si:valueXMLList>0.3 0.5 0.7</si:valueXMLList>
            <si:unitXMLList>\one</si:unitXMLList>
          </si:realListXMLList>
          <dcc:influenceConditions>
            <dcc:influenceCondition>
              <dcc:name>
                <dcc:content lang="de">Sollwert Gastemperatur</dcc:content>
                <dcc:content lang="en">Set point gas temperature</dcc:content>
              </dcc:name>
              <dcc:description>
                <dcc:content lang="de">Sollwert der Gastemperatur der Referenzeinrichtung.</dcc:content>
                <dcc:content lang="en">Setpoint of the gas temperature of the reference device.</dcc:content>
              </dcc:description>
              <dcc:data>
                <dcc:quantity refType="basic_temperature">
                  <si:realListXMLList>
                    <si:valueXMLList>23.0 23.0 23.0</si:valueXMLList>
                    <si:unitXMLList>\degreecelsius</si:unitXMLList>
                  </si:realListXMLList>
                </dcc:quantity>
              </dcc:data>
            </dcc:influenceCondition>
          </dcc:influenceConditions>
        </dcc:quantity>
      </dcc:list>
    </dcc:data>
  </dcc:result>
</dcc:results>

```

Abbildung 15: Beispiel zur Angabe des Zeitstempels und des Sollwertes für die Messgröße relative Feuchte nach DKD-R 5-8 [9].

Im Anschluss werden die Referenzwerte, wie in Abbildung 16 dargestellt, aufgeführt. Um der korrekten Rundung der Ergebnisse Rechnung zu tragen, wird hier die Angabe der signifikanten Ziffern gefordert, die korrekte Umsetzung ist aktuell noch in Diskussion. Zusätzlich wird dem Referenzwert auch noch der Sättigungszustand des vorgelegten Referenzwertes als weiteres XML-Element <dcc:measurementMetaData> beigeordnet, näheres hierzu in Kapitel 8.4.7.

```
<dcc:quantity refType="basic_referenceValue">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Referenzwert relative Feuchte</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Reference value relative humidity</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Mittelwert der relativen Feuchte der Referenzeinrichtung.</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Average value of the relative humidity of the reference device.</dcc:content>
  </dcc:description>
  <si:realListXMLList>
    <si:valueXMLList>0.3000 0.5003 0.7001</si:valueXMLList>
    <si:unitXMLList>\one</si:unitXMLList>
  </si:realListXMLList>
  <dcc:measurementMetaData>
    <dcc:metaData refType="humidity_relativeGasHumidityAbove">
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Sättigung über</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Saturation above</dcc:content>
      </dcc:name>
      <dcc:data>
        <dcc:quantity>
          <dcc:charsXMLList>water water water</dcc:charsXMLList>
        </dcc:quantity>
      </dcc:data>
    </dcc:metaData>
  </dcc:measurementMetaData>
</dcc:quantity>
```

Abbildung 16: Beispiel für die Darstellung des Referenzwertes und des Sättigungszustandes nach DKD-R 5-8 [9].

Die Besonderheit gegenüber der Darstellung im allgemeinen Expertenbericht 0 stellt die zusätzlich verpflichtende Angabe der Gastemperatur des Referenzwertes dar. Dieser wird, wie in Abbildung 17 als sog. <dcc:influenceCondition> am Ende des Elements <dcc:list> angegeben.

```
<dcc:influenceCondition refId="Medium">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Referenzwert Gastemperatur</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Reference value gas temperature</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Mittelwert der Gastemperatur der Referenzeinrichtung.</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Average value of the gas temperature of the reference device.</dcc:content>
  </dcc:description>
  <dcc:data>
    <dcc:quantity refType="basic_temperature">
      <si:realListXMLList>
        <si:valueXMLList>23.03 23.02 23.01</si:valueXMLList>
        <si:unitXMLList>\degrecelsius</si:unitXMLList>
      </si:realListXMLList>
    </dcc:quantity>
  </dcc:data>
</dcc:influenceCondition>
```

Abbildung 17: Beispiel für die verpflichtende Angabe der Gastemperatur des Referenzwertes für Kalibrierergebnisse nach DKD-R 5-8 [9].

Zu beachten ist hierbei das zur Kennzeichnung der Temperatur der refType „basic_temperature“ verwendet wird. Ein gesonderter refType im Namensraum „humidity“ ist nicht notwendig. Das gesamte Element <dcc:influenceCondition> kann mittels der refId „Medium“ mit der Angabe des Kalibriermediums nach Kapitel 8.4.8 verknüpft werden.

Die Angabe des gemessenen Wertes des Kalibriergegenstandes erfolgt analog zu den Ausführungen im Expertenbericht DKD-E 0-3 [1]. Handelt es sich bei dem Wert um den direkt vom Kalibriergegenstand ausgelesenen und/oder angezeigten Wert, dann wird dieser Abschnitt

noch zusätzlich mit dem refType „basic_indicationValue“ gekennzeichnet. Auch hier wird zur eindeutigen Auslesbarkeit die Angabe der Anzahl der signifikanten Ziffern gefordert, die Umsetzung dieser Angabe ist aktuell noch in Diskussion, daher erfolgt hier in Abbildung 18 eine Darstellung ohne diese Angabe.

```
</dcc:quantity>
<dcc:quantity refType="basic_measuredValue basic_indicationValue">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Anzeige Kalibriergegenstand</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Display of device under calibration</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Mittelwert der angezeigten Werte am Display des Kalibriergegenstandes.</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Average value of the values shown on the display of the device under calibration.</dcc:content>
  </dcc:description>
  <si:realListXMLList>
    <si:valueXMLList>0.2990 0.4970 0.6980</si:valueXMLList>
    <si:unitXMLList>\one</si:unitXMLList>
  </si:realListXMLList>
</dcc:quantity>
```

Abbildung 18: Beispiel für Angabe des angezeigten Kalibriergegenstandes bei einer Kalibrierung nach DKD-R 5-8 [9].

Nun erfolgt die Darstellung der Abweichung des Kalibriergegenstandes vom Referenzwert, wie in Abbildung 19 abgebildet. Neben der berechneten Abweichung mit der zukünftig gewünschten Angabe der signifikanten Stellen wird hier auch die Messunsicherheit angegeben. Die Darstellung und Verwendung der refTypes erfolgt analog zu den Vorgaben aus dem Expertenbericht DKD-E 0-3 [1].

```
<dcc:quantity refType="basic_measurementError">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Abweichung Kalibriergegenstand</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Deviation of device under calibration</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Differenz des Mittelwertes der angezeigten Werte am Display de</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Difference between the mean value of the values shown on the c</dcc:content>
  </dcc:description>
  <si:realListXMLList>
    <si:valueXMLList>-0.0010 -0.0033 -0.002</si:valueXMLList>
    <si:unitXMLList>\one</si:unitXMLList>
    <si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
      <si:expandedMUXXMLList>
        <si:valueExpandedMUXXMLList>0.0050 0.0080 0.010</si:valueExpandedMUXXMLList>
        <si:coverageFactorXMLList>2</si:coverageFactorXMLList>
        <si:coverageProbabilityXMLList>0.95</si:coverageProbabilityXMLList>
        <si:distributionXMLList>normal</si:distributionXMLList>
      </si:expandedMUXXMLList>
    </si:measurementUncertaintyUnivariateXMLList>
  </si:realListXMLList>
</dcc:quantity>
```

Abbildung 19: Beispiel der Darstellung der Abweichung und Angabe der Messunsicherheit.

Die weiteren Angaben im Block <dcc:results> werden in den Kapiteln 8.4.5 Hysterese, 8.4.10 Angleichzeit und Kapitel 8.5.1 beschrieben.

8.4.7 Angabe des Sättigungszustands

Nach DKD-R 5-8 [9] ist die Angabe des referenzierten Sättigungszustands verpflichtend. Um dieser Forderung nachzukommen wird, wie in Kapitel 8.4.6 und Abbildung 16 gezeigt, dem Referenzwert der relativen Feuchte ein MetaDatum-Element beigeordnet. Dieses enthält eine Liste („dcc:charsXMLList“) mit je einem Eintrag für jeden dargestellten Messwert. Eine Eintragung besteht dabei entweder aus dem Wort „water“ für Sättigung über Wasser oder dem Wort „ice“ für Sättigung über Eis. Gekennzeichnet wird diese Angabe mittels des refTypes „humidity_relativeGasHumidityAbove“.

8.4.8 Kalibriermedium

Die Angabe des Kalibriermediums ist für die Kalibrierung von relativen Feuchtesensoren nach DKD-R 5-8 [9] verpflichtend, da sich das Resultat der Kalibrierung in verschiedenen Gasen deutlich unterscheiden kann. Prinzipiell können alle drei in Kapitel 3.4 beschriebenen Optionen verwendet werden. In den meisten Fällen findet die Kalibrierung derzeit in Umgebungsluft des jeweiligen Labors statt. Ein Beispiel für die Angabe in diesem Fall ist in Abbildung 20 dargestellt. Hier ist die genaue Zusammensetzung des Kalibriermediums nicht bekannt und eine Referenzierung auf eine CAS-Nummer nicht möglich. Somit ist in diesen Fällen die Option 2 aus Kapitel 3.5 die geeignete Wahl. Im nachfolgenden Beispiel ist die Umsetzung gezeigt. Aus Tabelle 2 des vorliegenden Expertenberichts wird der Begriff „air“ für Luft ausgewählt und eingetragen. Gekennzeichnet wird das verwendete XML-Element <dcc:measruingEquipment> mittels des refTypes „basic_calibrationMedium“. Es wird bewusst das XML-Element <dcc:measruingEquipment> verwendet, da das Kalibriermedium hier als Teil der Kalibriereinrichtung aufgefasst wird und nicht als lokale Umgebungsbedingung, die zur Berücksichtigung messtechnisch erfasst wird. Ziel der Angabe ist zu dokumentieren, wie kalibriert wurde, nicht einen Einfluss quantitativ dem Anwendenden im DCC zu berichten.

```
<dcc:usedMethod id="thermostat1">
  <dcc:name>
    <dcc:content>Thermostat</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Die Kalibrierung wurde in einem gerührten Flüssigkeitsthermostat durchgeführt.</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">The calibration was carried out in a stirred liquid bath.</dcc:content>
  </dcc:description>
  <dcc:norm>DKD-R 5-1:2023-11</dcc:norm>
  <dcc:reference>7</dcc:reference>
  <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20231207</dcc:link>
  <dcc:usedMethodQuantities>
    <dcc:usedMethodQuantity refType="temperature_immersionDepth">
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Eintauchtiefe im Flüssigkeitsthermostat (ca.)</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Immersion depth in the stirred liquid bath (about)</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>0.190</si:value>
        <si:unit>\metre</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:usedMethodQuantity>
  </dcc:usedMethodQuantities>
</dcc:usedMethod>
```

Abbildung 20: Beispiel der Angabe des Kalibriermediums für Option 2

8.4.9 Anströmgeschwindigkeit

Damit der Kunde die Situation der Kalibrierung nachvollziehen kann, fordert die DKD-R 5-8 [9] die Angabe des Einbauzustands und damit auch die Angabe der Anströmgeschwindigkeit. Diese beeinflusst die Wärmeableitung und damit die Selbsterwärmung des Feuchtesensors und damit auch den angezeigten Wert der relativen Feuchte, da dieser von der Temperatur abhängt.

Die Angabe im DCC ist maschinenlesbar durch den refType „humidity_flowVelocity“ gestaltet, siehe nachfolgendes Beispiel in Abbildung 21.

```
<dcc:usedMethod refType="humidity_flowVelocity">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Anströmgeschwindigkeit</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Flow velocity</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Der Feuchtesensor wurde bei der Messung mit der genannten Strömungsgeschwindigkeit angeströmt.</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">During the measurement, the flow velocity to the humidity was at the noted value.</dcc:content>
  </dcc:description>
  <dcc:norm>DKD-R 5-8:2019-02</dcc:norm>
  <dcc:link>https://doi.org/10.7795/550.20190214</dcc:link>
  <dcc:usedMethodQuantities>
    <dcc:usedMethodQuantity>
      <dcc:name>
        <dcc:content lang="de">Anströmgeschwindigkeit</dcc:content>
        <dcc:content lang="en">Flow velocity</dcc:content>
      </dcc:name>
      <si:real>
        <si:value>0.05</si:value>
        <si:unit>\metre\second\tothe{-1}</si:unit>
      </si:real>
    </dcc:usedMethodQuantity>
  </dcc:usedMethodQuantities>
</dcc:usedMethod>
```

Abbildung 21: Beispiel für die Angabe der Anströmgeschwindigkeit für einen konkret bekannten Wert der Anströmgeschwindigkeit.

In einigen Fällen kann die Strömungsgeschwindigkeit auch als Bereichsangabe erfolgen. Das XML-Element <dcc:usedMethodQuantities> lässt allerdings keine Unterelemente vom Typ <dcc:list> zu, welche für die Nutzung des refTypes "math_interval" erforderlich wären. Daher kann vorübergehend der Bereich <si:measurementUncertaintyUnivariate> angegeben werden, bis eine bessere Darstellung im DCC-Schema möglich ist.

Eine Angabe einer Mindestanströmgeschwindigkeit ist aufgrund der fehlenden Struktur für die Beschreibung „ist kleiner“ oder „ist größer“ derzeit nicht möglich. Sollte dies in zukünftigen Schemata möglich sein, ist dies auch eine Option der Angabe der Strömungsgeschwindigkeit. Die Strömungsgeschwindigkeit hat einen rein informativen Charakter, analog zur sich in der Kalibriereinrichtung befindlichen Kabellänge (siehe Kapitel 8.4.4). Damit kann die Strömungsgeschwindigkeit ohne die Angabe der Messunsicherheit im Bereich Methoden erfolgen.

8.4.10 Angleichzeit

Die Angleichzeit wird als XML-Element „quantity“ im Ergebnisblock ohne Angabe einer Messunsicherheit angegeben, da die Angabe rein informativ für den Anwendenden ist. Gekennzeichnet wird die Angabe mittels refType „humidity_stabilisationTime“, wie in Abbildung 22 dargestellt.

```
<dcc:influenceCondition refType="humidity_stabilisationTime">
  <dcc:name>
    <dcc:content lang="de">Angleichzeit</dcc:content>
    <dcc:content lang="en">Stabilisation time</dcc:content>
  </dcc:name>
  <dcc:description>
    <dcc:content lang="de">Zeit vom Erreichen einer hinreichenden Annäherung
    <dcc:content lang="en">Time from reaching an adequate approximation of th
  </dcc:description>
  <dcc:data>
    <dcc:quantity>
      <si:realListXMLList>
        <si:valueXMLList>45 50 65</si:valueXMLList>
        <si:unitXMLList>\minute</si:unitXMLList>
      </si:realListXMLList>
    </dcc:quantity>
  </dcc:data>
</dcc:influenceCondition>
```

Abbildung 22: Beispiel der Angabe der Angleichzeit nach DKD-R 5-8 [9].

8.5 Weitere Bemerkungen/Festlegungen

Im folgenden Abschnitt sind noch weitere allgemeine Festlegungen und Bemerkungen zum DCC für eine Kalibrierung nach DKD-R 5-8 [9] festgehalten.

8.5.1 Angabe der Abdeckung durch eingetragene Kalibrier- und Messmöglichkeit

Zur Kennzeichnung, ob einzelne Ergebnisse innerhalb des akkreditierten Bereiches liegen, kann diese Angabe auch direkt einzelnen Ergebniswerten zugeordnet werden. Dies kann durch die Verwendung einer refId in einem XML-Element <dcc:measurementMetaData> erfolgen. Analog wird auch die metrologische Rückführbarkeit angegeben. Beides ist im Beispiel in Abbildung 23 dargestellt.

```
<dcc:measurementMetaData>
  <dcc:metaData refId="isCMC">
    <dcc:validXMLList>true true true</dcc:validXMLList>
  </dcc:metaData>
  <dcc:metaData refId="isTracable">
    <dcc:validXMLList>true true true</dcc:validXMLList>
  </dcc:metaData>
</dcc:measurementMetaData>
```

Abbildung 23: Beispiel zur Darstellung der metrologischen Rückführbarkeit und Abdeckung der Kalibrier- und Messmöglichkeiten.

8.5.2 Aussagen zur Konformität eines Messmittels

Konformitätsaussagen zu Messergebnissen werden in einem DCC im Bereich <dcc:metaData> getroffen. Detailliertere Beschreibungen dazu lassen sich in [1] finden.

8.5.3 Liste aller Community-spezifischen refTypes

Die in diesem Ausgabestand verwendeten und messgrößenspezifischen refTypes sind in nachfolgender Tabelle 4 aufgeführt. Zudem wird in der Spalte Status angegeben, ob der refType bereits in der Datenbank [2] hinterlegt ist („ja“), oder sich aktuell noch in der Diskussion befindet („nein“). Für den aktuellen Stand ist die offizielle Datenbank [2] zu konsultieren.

Tabelle 3: Auflistung der in der aktuellen Ausgabe des Expertenberichts eingesetzten messgrößenspezifischen refTypes.

Namespace	refType	Status	Beschreibung
basic	calibrationMedium	ja	Informationen über die Substanz in oder mit der die Kalibrierung durchgeführt wurde und die mit dem Kalibriergegenstand (z. B. Messspitze) während der Kalibrierung in Berührung war.
basic	setPointValue	nein	Vorgegebener Wert für die Referenzeinrichtung für die kalibrierte Messgröße
humidity	flowVelocity	ja	Angabe Anströmgeschwindigkeit
humidity	hysteresis	ja	Angabe Berücksichtigung Hysterese
humidity	isInUncertainty	ja	Wert wurde in Unsicherheit berücksichtigt
humidity	IsMeasured	ja	Wert wurde gemessen
humidity	ImmersedCableLength	ja	(Teil-)Länge des Kabels, das sich in der Kalibriereinrichtung befindet
humidity	itemCableLength	ja	Kabellänge gesamt
humidity	itemProbeDiameter	ja	Durchmesser des Feuchtefühlers
humidity	relativeGasHumidityAbove	ja	Angabe, ob die relativen Feuchte als Sättigung über Wasser (water) oder Eis (ice) angegeben wird.
humidity	stabilisationTime	ja	Zeit vom Erreichen einer hinreichenden Annäherung des Referenzwertes der Kalibriereinrichtung an den Sollwert bis zum Beginn der Messwertaufnahme, die für das Kalibrierergebnis verwendet wird (Angleichszeit).
humidity	subProcedure	nein	Angabe des Kalibrierablaufs

9 Messgeräte zur Bestimmung der absoluten Feuchte

Zu dieser Kategorie zählen vor allem Taupunktspiegel-Hygrometer. Für diese Art der Kalibriergegenstände existiert noch keine entsprechende DKD-Richtlinie, so dass akkreditierte Kalibrierlabore diese nach eigenen nicht genormten Verfahren kalibrieren. Daher werden Taupunktspiegel-Hygrometer in einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts berücksichtigt. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar.

10 Strahlungsthermometer

Strahlungsthermometer werden in einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts berücksichtigt. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar.

11 Oberflächen-Thermometer

Oberflächen-Thermometer werden in einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts berücksichtigt. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar.

12 Mechanische Thermometer

Mechanische Thermometer werden in einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts berücksichtigt. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar.

13 Angabe von Interpolationsfunktionen und deren Koeffizienten im DCC

Viele Kalibrierungen im Bereich der Temperatur und Gasfeuchte erfordern die Angabe von Interpolationsfunktionen und den entsprechenden Koeffizienten im Kalibrierschein. Die Diskussionen hierzu laufen zum Zeitpunkt der Ausgabe dieses Berichtes, insbesondere mit Blick auf eine maschineninterpretierbare Darstellung werden Details hierzu erst in einer zukünftigen Ausgabe berücksichtigt.

14 Fixpunkte für die Darstellung und Weitergabe der Größe Temperatur

Fixpunkte für die Darstellung und Weitergabe der Größe Temperatur werden in einer zukünftigen Ausgabe dieses Expertenberichts berücksichtigt. Grundsätzlich sind die relevanten Ausführungen der bisherigen Kapitel sinngemäß nutzbar.

15 Literaturverzeichnis

- [1] Expertenbericht DKD-E 0-3: Allgemeine Konventionen und Empfehlungen zur harmonisierten Erstellung von Digitalen Kalibrierscheinen (DCCs), Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig and Berlin.
- [2] TemaTres, Metrology refType Database. Online [abgerufen am 19. Januar 2026]
<https://digilab.ptb.de/dkd/refType/vocab>.
- [3] Physikalisch-Technische Bundesanstalt. (2024). SmartCom Digital-SI (D-SI) XML-exchange format for metrological data version 2.2.1. Zenodo. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.12200678>.
- [4] DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2017
- [5] Present Estimates of the Differences Between Thermodynamic Temperatures and the ITS-90, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10765-011-0922-1>, Int J Thermophys (2011) 32:12–25
- [6] 2022 Update for the Differences Between Thermodynamic Temperature and ITS-90 Below 335 K, DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0131026>, Journal of Physical and Chemical Reference Data 51(4):043105
- [7] SI Brochure The International System of Units (SI), 9th edition (2019)
- [8] Mise en pratique for the definition of the kelvin in the SI, SI Brochure – 9th edition (2019) – Appendix 2
- [9] Richtlinie DKD-R 5-8, Kalibrierung von Hygrometern zur direkten Erfassung der relativen Feuchte, Ausgabe 02/2019, Revision 0 Physikalisch-technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20190214>
- [10] Metrological challenges for measurements of key climatological observables. Part 4: atmospheric relative humidity, <http://dx.doi.org/10.1088/0026-1394/53/1/R40>, Metrologia 53 (2016) R40–R59
- [11] Melzer, M., Deschermeier, R., Bünger, L., Wroblowski, O., Demir, M.-A., Bubser, F., and Schüür, J.: The DCC for temperature and humidity quantities: good practice for enhanced interoperability, Measurement, p. 120109 (2026),
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.120109>
- [12] Richtlinie DKD-R 5-1 Kalibrierung von Widerstandsthermometern, Ausgabe 11/2023, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20231130>
- [13] DIN ISO 8601-1 Datum und Uhrzeit - Darstellung für den Informationsaustausch - Teil 1: Grundlegende Regeln (ISO 8601-1:2019)
- [14] Richtlinie DKD-R 5-3 Kalibrierung von Thermoelementen, Ausgabe 09/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: <https://doi.org/10.7795/550.20180828AD>

16 Änderungshistorie

Revision	Datum	Änderungen
0	02/2026	Erstversion
1	06/2026	Revision 1 enthält folgende Änderungen: - einige sprachliche Korrekturen/Änderungen - Aktualisierung Good-Practice-DCCs Anhang A + Anhang B bezüglich fachübergreifender Regelungen - 2 neue Good-Practice-DCCs (Anhang C + Anhang D) - Abb. 1 aus Revision 0 gestrichen - Abb. 3 auf Seite 12 ist neu hinzugekommen - Kap. 3.4: „Umgebungstemperatur: $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$“ in Revision 1 geändert; jetzt: „Umgebungstemperatur: $(23 \pm 1,5) ^\circ\text{C}$“ - 4.4.1 und 4.4.2 gestrichen (4.4. umbenannt) - inhaltliche Änderung des Kapitels 5 und neue Kapitel; 5.1 bis 5.5 hinzugefügt. - leicht geänderter Inhalt in 8.4.6 - Veröffentlichung im neuen Corporate Design des DKD

Anhang A

Good-Practice-DCC für die Kalibrierung von Widerstandsthermometern nach DKD-R 5-1

Das GP steht unter <https://doi.org/10.7795/550.20260623A> zum Download zur Verfügung und kann als Vorlage (Template) genutzt werden, um daraus die laborspezifischen Templates zu erstellen.

Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf eine komplette Darstellung an dieser Stelle verzichtet.

Anhang B

Good-Practice-DCC für die Kalibrierung von Messgeräten zur Erfassung der relativen Feuchte nach DKD-R 5-8

Das GP steht unter <https://doi.org/10.7795/550.20260623B> zum Download zur Verfügung und kann als Vorlage (Template) genutzt werden, um daraus die laborspezifischen Templates zu erstellen.

Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf eine komplette Darstellung an dieser Stelle verzichtet.

Anhang C

Good-Practice-DCC für die Kalibrierung eines Hygrometers mit Messumformer zur Erfassung der relativen Feuchte nach DKD-R 5-8

Das GP steht unter <https://doi.org/10.7795/550.20260623C> zum Download zur Verfügung und kann als Vorlage (Template) genutzt werden, um daraus die laborspezifischen Templates zu erstellen.

Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf eine komplette Darstellung an dieser Stelle verzichtet.

Anhang D

Good-Practice-DCC für die Kalibrierung von Thermoelementen nach DKD-R 5-3

Das GP steht unter <https://doi.org/10.7795/550.20260623D> zum Download zur Verfügung und kann als Vorlage (Template) genutzt werden, um daraus die laborspezifischen Templates zu erstellen.

Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf eine komplette Darstellung an dieser Stelle verzichtet.



DKD-Geschäftsstelle
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
Tel.: +49 531 592-8021
E-Mail: dkd@ptb.de

Für weitere Informationen wenden
Sie sich bitte an unsere Geschäftsstelle
oder besuchen Sie unsere Website:

<https://www.ptb.de/cms/metrologische-dienstleistungen/dkd.html>



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut