

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



>DKD<

**Expertenbericht
DKD-E 7-4**

Bestimmung und Angabe von
kleinstmöglichen Messunsicherheiten
bei der Kalibrierung von
elektronischen nichtselbsttätigen
Waagen

Ausgabe 12/2025

<https://doi.org/10.7795/550.20251210>



	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	2 / 33

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
 DKD-Geschäftsstelle
 Bundesallee 100 38116 Braunschweig
 Postfach 33 45 38023 Braunschweig
 Telefon Sekretariat: (05 31) 5 92-8021
 Internet: www.dkd.eu

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	3 / 33

Zitierungsvorschlag für die Quellenangabe:

Expertenbericht DKD-E 7-4 Anleitung zur Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen, Ausgabe 12/2025, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20251210

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. Klaus Fritsch, Mettler-Toledo GmbH, Greifensee, Schweiz
 Otto Grunenberg, Kern & Sohn GmbH, Balingen-Frommern, Deutschland
 Martin Häfner, Häfner Gewichte GmbH, Oberrot, Deutschland
 Dr. Julian Haller, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Göttingen, Deutschland
 Dr. Dorothea Knopf, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Deutschland
 Steffen Osang, Minebea Intec Bovenden GmbH & Co. KG, Bovenden, Deutschland
 Norbert Schnell, Bovenden-Lenglern, Deutschland
 Dr. Olaf Schnelle-Werner, ZMK & Analytik GmbH, Bitterfeld-Wolfen, Deutschland

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit dem Fachausschuss *Masse und Waagen* des DKD.

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	4 / 33

Vorwort

DKD-Expertenberichte verfolgen das Ziel, Hintergrundinformationen und Hinweise zu geben, die im Zusammenhang mit anderen DKD-Dokumenten stehen, wie z. B. den DKD-Richtlinien, jedoch z. T. weit darüber hinausgehen. Sie ersetzen die originären DKD-Dokumente nicht, geben jedoch zahlreiche wissenswerte Zusatzinformationen. In den Expertenberichten wird nicht notwendigerweise in allen Details die Sichtweise des Vorstands oder der Fachausschüsse des DKD wiedergegeben.

Die DKD-Expertenberichte sollen wesentliche Aspekte aus dem Bereich des Kalibrierwesens darstellen und durch die Publikation im Rahmen des DKD der großen Gemeinschaft der Kalibrierlaboratorien national und international zugänglich gemacht werden.

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Ausgabe:</td><td style="padding: 2px;">12/2025</td></tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Revision:</td><td style="padding: 2px;">0</td></tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Seite:</td><td style="padding: 2px;">5 / 33</td></tr> </table>	Ausgabe:	12/2025	Revision:	0	Seite:	5 / 33
Ausgabe:	12/2025							
Revision:	0							
Seite:	5 / 33							

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Zweck.....	6
1.2	Definitionen und Begriffe	7
1.3	Regulatorische Vorgaben	9
1.4	Geltungsbereich.....	9
2	Rahmenbedingungen zur Bestimmung der CMCs	10
2.1	Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung der Spezifikationen einer besten verfügbaren Waage	11
2.2	Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung der Referenzgewichte	11
2.3	Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen.....	12
3	Charakteristika der Messunsicherheiten bei Waagenkalibrierungen.....	13
4	Derzeit übliche Formate der Darstellungen der CMCs für Waagenkalibrierungen.....	15
4.1	Diskrete Darstellung für ausgewählte Nennwerte	15
4.2	Intervallweise Darstellung mit konstanter relativer Messunsicherheit.....	16
5	Einheitliches Vorgehen zur Darstellung der CMCs für Waagenkalibrierungen	18
6	Literaturverzeichnis.....	20
7	Änderungshistorie	21
Anhang A	Liste kleinstmöglicher Teilungswert	22
Anhang B	Beispiele.....	23

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	6 / 33

1 Einleitung

Die Kalibrier- und Messmöglichkeit (Calibration and Measurement Capability - CMC) eines Kalibrierlabors für nichtselbsttätige elektronische Waagen beinhaltet den Akkreditierungsumfang des Kalibrierlabors und die zugehörigen kleinsten erreichbaren erweiterten Messunsicherheiten der Kalibrierungen von nichtselbsttätigen elektronischen Waagen, die das Kalibrierlabor unter definierten Bedingungen erreichen kann. Dieser Expertenbericht beschreibt, wie ein solcher Akkreditierungsumfang und die entsprechenden kleinsten erreichbaren erweiterten Messunsicherheiten ermittelt und dargestellt werden.

Die im Expertenbericht beschriebene Vorgehensweise bei der Erstellung von CMCs ermöglicht eine einheitliche Darstellung des Akkreditierungsumfangs und durch die konsequente Verwendung von ILAC-konformen CMCs vergleichbare Messunsicherheitsangaben für akkreditierte Kalibrierlaboratorien für nichtselbsttätige Waagen.

1.1 Zweck

ILAC und BIPM vereinbarten, die in den Geltungsbereichen der Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zuvor verwendete „Best Measurement Capability“ (Kleinste angebbare Messunsicherheit, BMC) durch die „Calibration and Measurement Capability“ (Kalibrier- und Messmöglichkeit, CMC) aus Anhang C des „Mutual Recognition Arrangement“ des Internationalen Komitees für Maße und Gewichte (CIPM MRA [1]) zu ersetzen.

Den akkreditierten Kalibrierlaboratorien soll mit diesem Expertenbericht im Detail Hilfestellung gegeben werden, um die besten Kalibrier- und Messmöglichkeiten bzw. die kleinsten angebbaren Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen zu ermitteln und zu bewerten.

Die zu ermittelnde CMC muss die Messunsicherheit für die beste verfügbare Waage beschreiben, die so kalibriert werden kann, dass die ausgewiesene CMC nachweislich realisiert ist. Auf den Begriff „beste verfügbare Waage“ wird hierbei besonderes Augenmerk gelegt. Auch soll aufgezeigt werden, welche Spezifikationen und Annahmen gelten, um die erforderlichen Messunsicherheitsbeiträge zu ermitteln.

Die als CMC des Labors definierte beste erreichbare Messunsicherheit wird als erweiterte Unsicherheit mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von ungefähr 95 % ausgedrückt. Die Unsicherheit muss immer in der gleichen Einheit wie die Messgröße oder durch einen Term relativ zur Messgröße angegeben werden.

Abschließend soll eine einheitliche, regelkonforme Darstellung der CMC-Angaben (Kalibrier- und Messmöglichkeiten) entsprechend ILAC-P14 [2] und ILAC-G18 [3] (z. B. in den Anlagen der Akkreditierungsurkunden) hergeleitet werden.

Diese überarbeitete Darstellung kann als Grundlage für künftige Akkreditierungen im Bereich der Kalibrierung nichtselbsttätiger Waagen dienen, sowie für die Darstellung der einem tatsächlichen Messwert beigeordneten Messunsicherheit, wie diese in Kalibrierscheinen anzugeben ist, verwendet werden.

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Ausgabe:</td><td style="padding: 2px;">12/2025</td></tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Revision:</td><td style="padding: 2px;">0</td></tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Seite:</td><td style="padding: 2px;">7 / 33</td></tr> </table>	Ausgabe:	12/2025	Revision:	0	Seite:	7 / 33
Ausgabe:	12/2025							
Revision:	0							
Seite:	7 / 33							

1.2 Definitionen und Begriffe

Kalibrier- und Messmöglichkeit – Calibration and Measurement Capability (CMC) (übernommen aus ILAC-P14 [2])

Im Rahmen des CIPM MRA und der ILAC-Vereinbarung sowie in Übereinstimmung mit der gemeinsamen Erklärung von CIPM und ILAC wird folgende Definition vereinbart:

Eine CMC ist eine Kalibrier- und Messmöglichkeit, die Kunden unter normalen Bedingungen zur Verfügung steht:

- a) gemäß der BIPM Key Comparison Database (KCDB) des CIPM MRA;
- oder
- b) gemäß Beschreibung im Akkreditierungsbereich des Laboratoriums, der durch einen Unterzeichner der ILAC-Vereinbarung verliehen wurde.

Weitere Erläuterungen:

H1. Die Bedeutung der Benennungen „Calibration and Measurement Capability“ (CMC) (wie sie im CIPM MRA verwendet wird) und „Best Measurement Capability“ (BMC) (wie sie in der Vergangenheit in Verbindung mit den im Akkreditierungsbereich eines akkreditierten Laboratoriums angegebenen Unsicherheiten verwendet wurde) ist identisch. Die Benennungen BMC und CMC sollten in den aktuellen Anwendungsbereichen gleich und konsequent ausgelegt werden.

H2. Im Rahmen einer CMC sollte die Messung oder Kalibrierung:

- nach einem dokumentierten Verfahren durchgeführt werden und über ein gängiges Unsicherheitsbudget gemäß dem Managementsystem des NMI oder des akkreditierten Laboratoriums verfügen;
- regelmäßig durchgeführt werden (einschließlich auf Verlangen oder zu bestimmten, aus Gründen der Praktikabilität festgelegten Zeiten im Jahr); und
- allen Kunden zur Verfügung stehen.

Der Akkreditierungsbereich eines akkreditierten Kalibrierlabors umfasst die Kalibrier- und Messmöglichkeit (CMC), ausgedrückt in:

- a) Messgröße oder Referenzmaterial;
- b) Kalibrierung/Messung, Methode/Verfahren und/oder Typ des zu kalibrierenden/zu messenden Messmittels/Materials;
- c) Messbereich und, falls zutreffend, zusätzliche Parameter wie z. B. Frequenz der angelegten Spannung;
- d) Messunsicherheit

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	8 / 33

Kleinste angebbare Messunsicherheit – Best Measurement Capability (BMC) (siehe EA-4/02 [4])

„Kleinste Messunsicherheit, die ein Laboratorium für eine spezifische Größe unter idealen Messbedingungen im Rahmen seiner Akkreditierung erreichen kann.“

Diese historische Begriffsdefinition verdeutlicht, welches Ziel bei der Bestimmung einer Kalibrier- und Messmöglichkeit (CMC) eines Kalibrierlabors zu verfolgen ist.

Dieser Kennwert gibt an, welche Unsicherheiten ein Labor mit dem üblicherweise angewendeten Verfahren bei der Kalibrierung einer bestmöglichen, aber marktüblichen Waage erreichen kann. Sofern diese Angabe in einer Akkreditierungsurkunde bestätigt wurde, dürfen keine kleineren Messunsicherheiten bei einer Kalibrierung im Rahmen des Akkreditierungsumfanges angegeben werden. Die kleinste angebbare Messunsicherheit ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit eines Labors.

In der Praxis sind die kleinsten angebbaren Messunsicherheiten nicht immer erreichbar, da reale Waagen nicht immer so perfekt sind wie angenommen. Auch können veränderte Rahmenbedingungen eine Messung positiv oder negativ beeinflussen. So ist die Messunsicherheit individuell für jede Kalibrierung neu zu bestimmen.

Messunsicherheitsbilanz (siehe VIM [5] Abschn. 2.33)

Angabe einer Messunsicherheit, der Komponenten dieser Messunsicherheit und ihrer Berechnung und Kombination.

Anmerkung: Eine Messunsicherheitsbilanz sollte das Modell der Messung, Schätzwerte, Messunsicherheiten der Größen im Modell der Messung, Kovarianzen, Art der angewandten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen, Freiheitsgrade, Art der Ermittlung der Messunsicherheit sowie einen Erweiterungsfaktor enthalten.

Beste verfügbare Waage (im Sinne eines „best existing device“ gemäß ILAC-P14 [2])

Nichtselbsttätige Waage mit dem für einen gegebenen Wägebereich kleinsten Teilungswert, die für einen Kunden kommerziell oder anderweitig tatsächlich erhältlich ist.

(Bezüglich der Annahmen zu messtechnischen Spezifikationen siehe 2.1).
Wichtige Angaben zur Spezifikation sind unter anderem: Maximallast(en) Max_(i), Teilungswert(e) d_(i).

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	9 / 33

Technischer Kompetenzbereich

(siehe EA-4/18 G [6])

Fachgebiet, das durch mindestens ein Messverfahren (hier: Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen gemäß EURAMET cg-18), eine Eigenschaft/ein Merkmal (hier: Masse) und ein Produkt (hier: nichtselbsttätige Waage) definiert wird, die miteinander in Beziehung stehen.

1.3 Regulatorische Vorgaben

Außer den im Literaturverzeichnis aufgelisteten Dokumenten gelten folgende weitere Dokumente:

- DIN EN ISO/IEC 17025:2018 – Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- EA-2/15 M:2023 – EA Requirements for the Accreditation of Flexible Scopes

1.4 Geltungsbereich

Dieser Bericht bezieht sich ausschließlich auf Kalibrierungen und die zugehörige Unsicherheitsbestimmung für nichtselbsttätige Waagen gemäß EURAMET cg-18 [7] bzw. der deutschen Übersetzung DKD-R 7-2 [8].

Hierzu zählen auch Kalibrierungen für nichtselbsttätige Waagen, bei denen die Referenzlasten teilweise aus Ersatzlasten bestehen (siehe Abschnitt 7.1.2.6 in EURAMET cg-18 [7] bzw. der deutschen Übersetzung DKD-R 7-2 [8] und Richtlinie DKD-R 7-3 [9]).

Weiterhin werden auch Kalibrierungen von Massekomparatoren einbezogen, wenn diese als nichtselbsttätige Waagen betrieben und/oder kalibriert werden. Bei der Auflistung kleinstmöglicher Teilungswerte (Abschnitt 2.1 a)) werden sie berücksichtigt.

Ausdrücklich nicht beschrieben werden andere Waagenkategorien, wie z. B. selbsttätige Waagen (AWI) oder Spezialfälle, wie z.B. Massekomparatoren, die nur für einen sehr engen Wägebereich ausgelegt sind (sogenannte Fensterkomparatoren).

Der Geltungsbereich für die Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen stellt einen eigenen technischen Kompetenzbereich gemäß EA-4/18 G [6] dar (siehe DKD-R 0-1 [10]).

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	10 / 33

2 Rahmenbedingungen zur Bestimmung der CMCs

Die erweiterte Messunsicherheit einer Kalibrierung wird von mehreren Einflussgrößen bestimmt:

- vom Kalibiergegenstand selbst,
- von den Möglichkeiten des Kalibrierlabors,
- von den Umgebungsbedingungen bei der Kalibrierung,
- sowie vom Erweiterungsfaktor k .

Dabei repräsentiert die kleinste erreichbare erweiterte Messunsicherheit die bestmögliche Kalibrierung für das Kalibrierlabor.

Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen definiert, unter denen eine beste verfügbare Waage (siehe Kapitel 2.1) mit den vorhandenen Referenzgewichten des Kalibrierlabors (siehe Kapitel 2.2) und unter definierten Umgebungsbedingungen (siehe Kapitel 2.3) kalibriert wird.

Um die kleinste erreichbare Messunsicherheit eines Kalibrierlabors zu bestimmen, orientiert sich die folgende Darstellung an den Einflussgrößen zur Bestimmung der Messunsicherheit der Kalibrierung gemäß EURAMET cg-18 [7], Kapitel 7.1.3.

Wird für einen bestimmten Kalibrierbereich ausschließlich das Ersatzlastverfahren verwendet, dann erhöht sich die kleinste erreichbare Messunsicherheit durch den Einfluss der Ersatzlast entsprechend.

Sollten sich durch unterschiedliche Rahmenbedingungen bei der Kalibrierung unterschiedliche Messunsicherheiten ergeben, sind diese ggf. in separater Darstellung der CMC zu berücksichtigen. Es gelten jeweils die gleichen Regeln gemäß der Kapitel 2.1 bis 2.3.

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4
		Ausgabe:
		12/2025
		Revision:
		0
		Seite:
		11 / 33

2.1 Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung der Spezifikationen einer besten verfügbaren Waage

Die Waage muss real verfügbar sein und zur möglichen Kalibrieraufgabe des Labors gehören.

Folgende Spezifikationen einer besten verfügbaren Waage werden angenommen:

- a) Annahmen für den Rundungsfehler:
 - Kleinste verfügbare Teilungswerte d in Abhängigkeit von der Last sind gemäß Anlage A zu verwenden. Die Anlage spiegelt den aktuellen Stand der Technik wider, d.h. diese Werte dürfen ohne weiteres übernommen werden als Teilungswert d_0 und d_L gemäß Abschnitt 7.1.1 oder als d_T gemäß Abschnitt 4.4.2 der EURAMET cg-18 [7].
 - Kleinere Werte sind möglich, falls eine entsprechende Waage tatsächlich existiert.
- b) Annahme für die Wiederholbarkeit:
 - Die Standardabweichung der Wiederholbarkeitsmessung ist Null
 $s = 0$
- c) Annahme für die maximale Abweichung durch die außermittige Belastung:
 - Die Waage hat keine Abweichung durch außermittige Belastung
 $|\Delta I_{ecc}|_{\max} = 0$

2.2 Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung der Referenzgewichte

Die bestmögliche Waage wird mit den besten Referenzgewichten des Labors kalibriert. Hierbei gelten die folgenden Annahmen:

- a) Die Referenzgewichte stehen dem Labor für jeden spezifizierten Lastbereich tatsächlich zur Verfügung.
- b) Es gilt die Kalibrierunsicherheit der Gewichte, wie sie das Labor gemäß seiner Dokumentation bereitstellt ($U_{95\%}$) oder die max. zulässige Toleranz (mpe) der Genauigkeitsklasse einer Norm bzw. Richtlinie (z. B. OIML R111 [11]) der besten verfügbaren und verwendeten Referenzgewichte.
- c) Die Veränderung der Referenzgewichte über der Nutzungszeit (Drift D) wird gemäß EURAMET cg-18 [7], Kapitel 7.1.2.3 mit z. B. $k_D = 1$ ermittelt, falls das Labor dies nachweisen kann. Andernfalls gilt für k_D der vom Labor erreichbare Wert.

Ausgabe:	12/2025
Revision:	0
Seite:	12 / 33

2.3 Rahmenbedingungen zur Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen

Für den Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die bestmögliche Kalibrierung einer Waage gelten folgende Annahmen:

a) Annahmen zum Einfluss der Konvektion auf die Referenzgewichte Δm_{conv} :

- Es gilt die Tabelle EURAMET cg-18 [7] Anhang F2.1 mit der Maßgabe, dass die kleinste Temperaturdifferenz zwischen Referenzgewicht und Umgebungsluft $\Delta T = 1 \text{ K}$ ist.
- Die Tabelle EURAMET cg-18 [7] Anhang F2.1 listet keine Werte für den Einfluss der Konvektion auf Referenzgewichte kleiner 10 g auf – für Lasten < 10 g darf der Einfluss daher als Null angenommen werden ($\Delta m_{conv} [< 10 \text{ g}] = 0$).
- Die Tabelle EURAMET cg-18 [7] Anhang F2.1 listet ebenfalls keine Werte für den Einfluss der Konvektion auf Referenzgewichte größer als 50 kg auf – für Lasten > 50 kg sind daher vom Labor plausible scheinbare Masseänderungen nachzuweisen (z. B. durch abgeschätzte Weiterführung der Spalten in Tabelle F2.1)).

Hinweis: Kann das Labor kleinere Temperaturdifferenzen als 1 K nachweisen, z. B. durch eine verlängerte Zeitspanne bei der Akklimatisierung, können kleinere scheinbare Masseänderungen für die Referenzgewichte bei der Ermittlung der Konvektion verwendet werden.

b) Annahme zum Einfluss des Luftauftriebes der Referenzgewichte Δm_B :

- Die Waage wird direkt vor der Kalibrierung justiert. Entsprechend gilt:
- $u_{rel,B} = mpe / (4m_N \sqrt{3})$ gemäß EURAMET cg-18 [7], Gl. 7.1.2-5c

Hinweis: Es sind gemäß EURAMET cg-18 [7], Gl. 7.1.2-5a und Gl. 7.1.2-5b auch kleinere Werte möglich, wenn dem Labor die Materialdichte und Unsicherheit der Referenzgewichte bekannt sind und die Luftdichte und deren Unsicherheit nachweislich ermittelt werden.

3 Charakteristika der Messunsicherheiten bei Waagenkalibrierungen

Die Messunsicherheit von Waagenkalibrierungen gemäß EURAMET cg-18 [7] weist einige Charakteristika auf, die für eine konforme und korrekte Darstellung der CMCs berücksichtigt werden müssen:

Wenn wie in Kapitel 2 angegeben die Unsicherheitsanteile für Wiederholbarkeit und außermittige Belastung zu Null gesetzt werden, wird die Messunsicherheit von zwei Beiträgen dominiert – dem Anteil für die digitalen Rundungsfehler (jeweils unbelastet und belastet) und dem Anteil für das Referenzgewicht.

Die Charakteristika der beiden Anteile verhalten sich dabei typischerweise folgendermaßen:

- die relativen Anteile für das Referenzgewicht (zumindest bei Verwendung von Gewichten einer Genauigkeitsklasse gemäß OIML R111 [11]) sind oberhalb von etwa 100 g typischerweise konstant und steigen unterhalb von etwa 100 g zu kleinen Lasten hin deutlich an.
- der relative Anteil für die digitalen Rundungsfehler (aufgrund der derzeit für die jeweiligen Nennwerte am Markt verfügbaren höchstauflösenden Waagen) wird bis etwa 10 g mit zunehmender Last kleiner, ist zwischen 10 g und etwa 50 kg etwa konstant und steigt über 100 kg überproportional zur Last an.

Weiterhin ist zu beachten, dass selbst bei Verwendung von Gewichten einer hohen Genauigkeitsklasse (z. B. E₂) bis etwa 1 kg der Anteil für das Referenzgewicht deutlich überwiegt und erst ab etwa 1 kg der Anteil für die digitalen Rundungsfehler in der gleichen Größenordnung liegt.

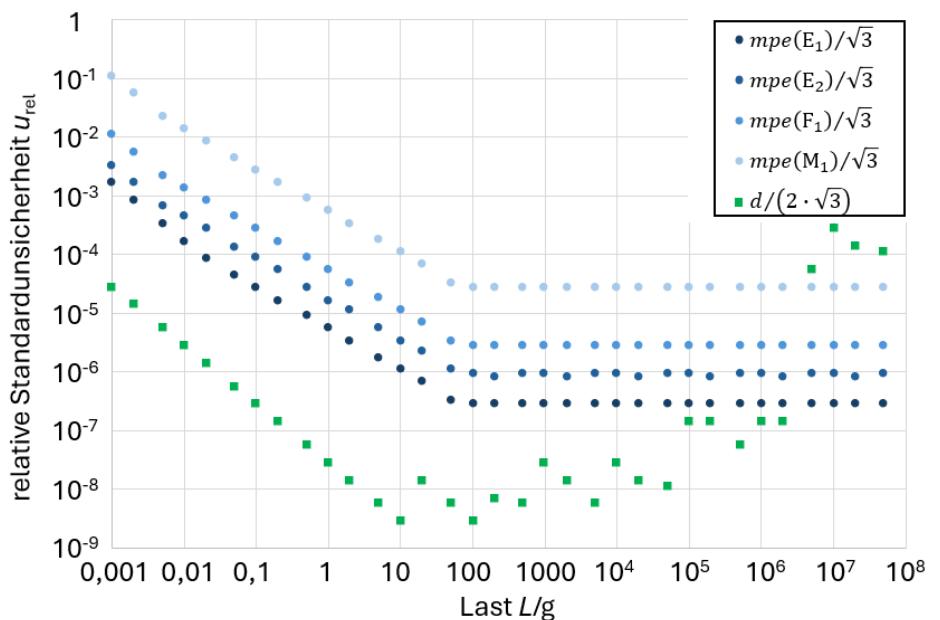


Abbildung 1: Vergleich der Größenordnung typischer Unsicherheitsbeiträge der Referenzgewichte verschiedener Genauigkeitsklassen (Punkte, berechnet als $mpe/\sqrt{3}$) und des Unsicherheitsbeitrages für einen digitalen Rundungsfehler (Quadrate, berechnet als $d/(2 \cdot \sqrt{3})$).

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	14 / 33

In der Summe ergibt sich daher unabhängig von den individuellen Details (also welche Genauigkeitsklasse ein Labor bei welchen Lasten benutzt und welchen Driftfaktor k_D ein Labor für die Veränderung der Gewichte ansetzt) typischerweise ein charakteristisches Verhalten der Messunsicherheit in der Art, dass die relative Messunsicherheit bei Lasten von 1 mg bis etwa 100 g für zunehmende Lasten abnimmt, zwischen 100 g und 50 kg oder 100 kg (abhängig von den individuellen Details) etwa konstant ist und darüber für zunehmende Lasten ansteigt.

Hinweis: Die obige Beschreibung und die in Abbildung 1 dargestellten Unsicherheitsbeiträge der Referenzgewichte wurden aufgrund der maximal zulässigen Abweichungen nach der Formel 7.1.2-3 der Kalibrierrichtlinie EURAMET cg-18 [7] berechnet. Werden die tatsächlichen Kalibrierunsicherheiten U_{95} der Referenzgewichte nach der Formel 7.1.2-2 verwendet oder Gewichtstücke anderer Normen/Richtlinien und/oder mit freien Nennwerten, kann ein unterschiedlicher Kurvenverlauf resultieren. Die generelle Charakteristik, insbesondere der Anstieg der relativen Messunsicherheiten für kleine Lasten, sowie die generelle Größenordnung der Werte bleibt allerdings auch in diesen Fällen erhalten.

Weiterhin sind folgende grundlegende Aspekte bezüglich der Charakteristik von Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen zu beachten:

- I. Während „Null“ oftmals (z. B. durch nationale Bestimmungen) nicht als gültiger Messpunkt akzeptiert wird und/oder ihm keine Messunsicherheit beigeordnet wird, wird in der Kalibrierrichtlinie EURAMET cg-18 [7] „Null“ explizit als gültiger Messpunkt erwähnt (Abschnitt 5.2) und in den Beispielen in Anhang H wird jeweils für den Messpunkt „Null“ eine Messunsicherheit berechnet.
Ob in den CMCs eine kleinstmögliche Messunsicherheit für den Messpunkt „Null“ angegeben werden soll, kann national unterschiedlich gehandhabt werden – wenn sie jedoch angegeben wird, muss dies als absolute Angabe erfolgen (während für alle anderen Messpunkte eine relative Angabe bevorzugt wird, siehe Punkt 2 in Abschnitt 5).
- II. In der Regel erfolgt die Kalibrierung von Waagen mit Normalgewichten, die den zulässigen Nennwerten der OIML R111 [11] entsprechen. Durch Kombination von Gewichtsstücken können beliebige Referenzlasten gebildet werden. Schon mit nur wenigen Gewichtsstücken (z. B. 10) sind so mehr als 1000 Referenzlasten realisierbar. Es ist daher weder sinnvoll noch machbar für alle möglichen Referenzlasten die kleinste mögliche Messunsicherheit zu berechnen. Stattdessen wird empfohlen die Berechnung der CMCs nur bei „einstückigen“ Messpunkten (und ggf. sinnvoll gewählten weiteren Stützpunkten) durchzuführen. Zwischen diesen Punkten können sich durch Kombination mehrerer Gewichtstücke ggf. größere Unsicherheiten ergeben.

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Ausgabe:</td><td style="padding: 2px;">12/2025</td></tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Revision:</td><td style="padding: 2px;">0</td></tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Seite:</td><td style="padding: 2px;">15 / 33</td></tr> </table>	Ausgabe:	12/2025	Revision:	0	Seite:	15 / 33
Ausgabe:	12/2025							
Revision:	0							
Seite:	15 / 33							

Zunächst werden in den folgenden Abschnitten zwei gängige Darstellungsarten von CMCs für die Waagenkalibrierung erläutert. Danach folgt ein Vorschlag für eine Darstellung, der die besonderen Anforderungen an Messunsicherheiten bei der Waagenkalibrierung berücksichtigt und den Vorgaben von Abschnitt 4.3 der ILAC-P14 [2] entspricht.

4 Derzeit übliche Formate der Darstellungen der CMCs für Waagenkalibrierungen

4.1 Diskrete Darstellung für ausgewählte Nennwerte

Eine zurzeit übliche Art, die CMCs darzustellen, ist eine tabellarische Übersicht, die die kleinstmögliche absolute Messunsicherheit bei den Nennwerten der OIML R111 [11] (bzw. der ASTM E617 [12]) über den gesamten Akkreditierungsumfang angibt, zum Beispiel in der in Tabelle 1 dargestellten Form:

Kalibrier- und Messmöglichkeiten (CMC)				
Messgröße / Kalibriergegenstand	Messbereich / Messspanne	Messbedingungen / Verfahren	Erweiterte Messunsicherheit	Bemerkungen
Waagen nichtselbsttätige elektronische Waagen	1 mg	EURAMET Calibration Guide No. 18, Version 4.0	4,2 µg	
	2 mg		4,2 µg	
	5 mg		4,2 µg	
	...weitere Zeilen...		...	
	1 t		510 g	
	2 t		900 g	
	5 t		2,3 kg	

Tabelle 1: Angabe der CMCs als absolute Messunsicherheit bei diskreten Nennwerten nach OIML R111 [11] und/oder/bzw. ASTM E617 [12]

Ein großer Nachteil dieser Darstellung ist die große Anzahl an erforderlichen Einträgen – im oben dargestellten Fall eines Akkreditierungsumfangs bis 5 t ergeben sich z. B. mindestens 30 Zeilen.

Ein weiterer Nachteil ist, dass in obiger Form formal nur die gelisteten Nennwerte erlaubt wären, aber keine Zwischenwerte. Dies ließe sich mit einer intervallweisen Darstellung lösen, die allerdings je nach Umsetzung gewisse Nachteile mit sich bringt:

- a) Bei einer intervallweisen Umsetzung in der Art, dass oberhalb eines Nennwertes jeweils die nächstgrößere Unsicherheit genommen werden müsste (Tabelle 2), müsste in vielen Fällen für die Zwischenwerte eine deutlich größere Messunsicherheit angegeben werden als tatsächlich erreichbar wäre. Im in Tabelle 2 dargestellten Fall müsste z. B. bei den gängigen Messpunkten von 220 g | 250 g | 300 g | 320 g | 350 g | 400 g | 450 g immer eine Messunsicherheit von 0,87 mg (bei Berechnung gemäß Beispiel B1 in Anhang B)

angegeben werden, obwohl deutlich kleinere Werte erreichbar wären (nämlich 0,42 mg | 0,44 mg | 0,51 mg | 0,59 mg | 0,62 mg | 0,66 mg | 0,77 mg, siehe Tabelle 3).

Nennwert	Kleinstmögliche absolute Messunsicherheit
...	...
100 g < $m_N \leq$ 200 g	0,33 mg
200 g < $m_N \leq$ 500 g	0,87 mg
...	...

Tabelle 2: Angabe der CMCs als absolute Messunsicherheit eines Intervalls zwischen jeweils zwei diskreten Nennwerten, Werte berechnet entsprechend Beispiel B1 in Anhang B

- b) Alternativ ließen sich gängige Messpunkte in der CMC-Tabelle explizit darstellen – dadurch würde sich allerdings die Anzahl der nötigen Zeilen vervielfachen (Tabelle 3). Zudem würde für weitere, nicht explizit aufgelistete Zwischenwerte weiterhin das Problem aus a) vorliegen, dass die nächstgrößere Messunsicherheit angewandt werden müsste.

Nennwert	Kleinstmögliche absolute Messunsicherheit
...	...
150 g < $m_N \leq$ 200 g	0,23 mg
200 g < $m_N \leq$ 220 g	0,42 mg
220 g < $m_N \leq$ 250 g	0,44 mg
250 g < $m_N \leq$ 300 g	0,51 mg
300 g < $m_N \leq$ 320 g	0,59 mg
320 g < $m_N \leq$ 350 g	0,62 mg
350 g < $m_N \leq$ 400 g	0,66 mg
400 g < $m_N \leq$ 450 g	0,77 mg
450 g < $m_N \leq$ 500 g	0,63 mg
...	...

Tabelle 3: Angabe der CMCs als absolute Messunsicherheit bei diskreten Nennwerten, inklusive gängiger Messpunkte, Werte berechnet entsprechend Beispiel B1 in Anhang B

4.2 Intervallweise Darstellung mit konstanter relativer Messunsicherheit

Eine weitere aktuell gängige Art der Darstellung ist eine intervallweise Darstellung, wobei jeweils für Bereiche, in denen eine bestimmte Genauigkeitsklasse benutzt wird, die für diesen Bereich kleinste erreichbare relative Messunsicherheit angegeben wird, also z. B. in folgender Form:

Kalibrier- und Messmöglichkeiten (CMC)				
Messgröße / Kalibriergegenstand	Messbereich / Messspanne	Messbedingungen / Verfahren	Erweiterte Messunsicherheit	Bemerkungen
Waagen nichtselbsttätige elektronische Waagen	bis 10 kg	EURAMET Calibration Guide No. 18, Version 4.0	$1 \cdot 10^{-6}$	mit Gewichtstücken nach OIML R 111-1:2004 gemäß der Klasse E ₂
	bis 305 kg		$1 \cdot 10^{-5}$	mit Gewichtstücken nach OIML R 111-1:2004 gemäß der Klasse F ₁
	bis 5 t		$1 \cdot 10^{-4}$	mit Gewichtstücken nach OIML R 111-1:2004 gemäß der Klasse M ₁

Tabelle 4: Angabe der CMCs als relative Messunsicherheit für Bereiche in denen eine bestimmte Gewichtsklasse benutzt wird

Während diese Art der Darstellung zwar sehr übersichtlich ist, weist sie einen erheblichen Nachteil auf: Angegeben ist für jeden Bereich nur die jeweils kleinste erreichbare Messunsicherheit, obwohl für einzelne Messpunkte in diesem Bereich die tatsächlich erreichbare (und von den Laboren in der Praxis auf Kalibrierscheinen auch angegebene) Messunsicherheit teilweise um ein Vielfaches größer sein kann (z. B. ergibt sich für 1 mg schon alleine durch die typische Kalibrierunsicherheit für ein 1 mg-Gewicht der Klasse E₂ eine Unsicherheit von 3 µg, also $3 \cdot 10^{-3}$ statt der angegebenen $1 \cdot 10^{-6}$). Damit ist für Anwender überhaupt nicht ersichtlich, welche Unsicherheit sie für einen bestimmten Nennwert bestensfalls erwarten können.

5 Einheitliches Vorgehen zur Darstellung der CMCs für Waagenkalibrierungen

Aufgrund der jeweiligen Vor- und Nachteile der in den vorhergehenden beiden Abschnitten beschriebenen Darstellungen wird hier folgender Kompromiss vorgeschlagen, der aus Sicht der Autoren den bestmöglichen Kompromiss zwischen „korrekt“ und „verständlich“ darstellt:

Vorgeschlagen wird konkret folgendes Verfahren:

1. Die Messunsicherheit wird bei allen Nennwerten der OIML R111 [11] („Stützpunkte“) berechnet, sowie ggf. bei 0 und bei zusätzlichen Stützpunkten, an denen eine signifikante Änderung des Messunsicherheitsbudgets auftritt, insbesondere durch eine Änderung der Rahmenbedingungen oder eine deutliche Änderung der Unsicherheit der Referenzgewichte (z. B. durch eine Änderung der Gewichtsklasse).
2. Die Messunsicherheit wird generell als relative Größe angegeben. Ausnahme ist lediglich die Messunsicherheit bei 0, die als absolute Messunsicherheit angegeben wird (falls nicht generell 0 als Messpunkt durch nationale Regelungen ausgeschlossen ist). Um eine Mischung aus relativen und absoluten Werten zu vermeiden, werden die relativen Werte mit m_N multipliziert angegeben.
3. Es werden die Bereiche identifiziert, in denen die relative Messunsicherheit über mehrere Stützpunkte als nahezu konstant angenommen werden können – diese Bereiche werden jeweils mit der größten an einem Stützpunkt innerhalb des Bereiches ermittelten relativen Unsicherheit als entsprechende Zeile in die CMC-Tabelle eingetragen.
4. Die Unsicherheit für die restlichen Stützpunkte wird jeweils in einem eigenen Intervall bzw. einer eigenen Zeile in der CMC-Tabelle angegeben.
5. In jeder Zeile wird der größte an einem der Stützpunkte berechnete Wert als kleinstmögliche Unsicherheit für den Bereich angegeben.

Die Darstellung der CMCs erfolgt dann in der in Tabelle 5 dargestellten Form (Werte entsprechen jenen aus dem Beispiel B1 in Anhang B):

Kalibrier- und Messmöglichkeiten (CMC)				
Messgröße / Kalibiergegenstand	Messbereich / Messspanne	Messbedingungen / Verfahren	Erweiterte Messunsicherheit	Bemerkungen
Waagen nichtselbsttätige elektronische Waagen	0 g	EURAMET Calibration Guide No. 18, Version 4.0	$5,8 \cdot 10^{-8} g$	
	1 mg		$6,4 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$2 \text{ mg} \leq m_N < 5 \text{ mg}$		$3,2 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$5 \text{ mg} \leq m_N < 10 \text{ mg}$		$1,3 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$10 \text{ mg} \leq m_N < 20 \text{ mg}$		$8,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$20 \text{ mg} \leq m_N < 50 \text{ mg}$		$5,3 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$50 \text{ mg} \leq m_N < 100 \text{ mg}$		$2,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$100 \text{ mg} \leq m_N < 200 \text{ mg}$		$1,7 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$200 \text{ mg} \leq m_N < 500 \text{ mg}$		$1,1 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$500 \text{ mg} \leq m_N < 1 \text{ g}$		$5,3 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$1 \text{ g} \leq m_N < 2 \text{ g}$		$3,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	

2 g ≤ m_N < 5 g	2,1 · 10 ⁻⁵ · m_N	
5 g ≤ m_N < 10 g	1,1 · 10 ⁻⁵ · m_N	
10 g ≤ m_N < 20 g	6,5 · 10 ⁻⁶ · m_N	
20 g ≤ m_N < 50 g	4,3 · 10 ⁻⁶ · m_N	
50 g ≤ m_N < 100 g	2,2 · 10 ⁻⁶ · m_N	
100 g ≤ m_N < 200 g	1,8 · 10 ⁻⁶ · m_N	
200 g ≤ m_N ≤ 10 kg	1,7 · 10 ⁻⁶ · m_N	
10 kg < m_N ≤ 300 kg	1,2 · 10 ⁻⁵ · m_N	
300 kg < m_N ≤ 3 t	1,5 · 10 ⁻⁴ · m_N	

Tabelle 5: Empfohlene Art der Angabe der CMCs

In Anhang B wird das hier vorgeschlagene Vorgehen an einigen konkreten Beispielen vorgestellt.

Hinweis: Es ist nochmals zu betonen, dass die CMCs für Nennwerte angegeben werden. Diese Nennwerte können zu Bereichen zusammengefasst werden, denen eine spezifische Messunsicherheit zugeordnet ist. Bereiche sind daher nicht zu verstehen als verfügbare Wägebereiche bestimmter Waagenkategorien (charakterisiert z. B. durch den Teilungswert d), denen eine einzige Messunsicherheit zugeordnet wird, die den ganzen Wägebereich abdeckt.

Beispiel: Gemäß Anhang A sind marktübliche Ultramikrowaagen mit $d = 0,1 \mu\text{g}$ bis zu einer Maximallast von 10,1 g erhältlich. Dementsprechend können für alle Nennwerte bis 10 g die CMCs berechnet werden unter der Verwendung des digitalen Rundungsfehlers basierend auf $d = 0,1 \mu\text{g}$. Falls die Messunsicherheiten benachbarter Nennwerte sehr ähnlich sind, können diese zu Bereichen zusammengefasst werden. Der Bereich ist somit nicht definiert als der Wägebereich von Ultramikrowaagen von 0 g bis 10 g, denen eine einzige Messunsicherheit zugeordnet wird.

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	12/2025
		Revision:	0
		Seite:	20 / 33

6 Literaturverzeichnis

- [1] CIPM MRA „Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes“
- [2] ILAC-P14:2020 – ILAC Policy for Measurement Uncertainty in Calibration
- [3] ILAC-G18:2024 – Guideline for describing Scopes of Accreditation
- [4] EA-4/02 M:2022 – Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration
(Deutsche Übersetzung: EA-4/02 M: 2022 Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen)
- [5] JCGM 200:2012 – International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [6] EA-4/18 G:2021 – Guidance on the level and frequency of proficiency testing participation
- [7] EURAMET cg-18, Version 4.0 (11/2015) – Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments
- [8] DKD-R 7-2:2018 – Richtlinie zur Kalibrierung nichtselbsttätiger Waagen
- [9] DKD-R 7-3:2025 – Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen
- [10] DKD-R 0-1:2025 Technische Kompetenzbereiche für Vergleichsmessungen
- [11] OIML R111-1:2004 Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1–2, M2, M2–3 and M3. Part 1: Metrological and technical requirements
- [12] ASTM E617-23: Standard Specification for Laboratory Weights and Precision Mass Standards.



Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen
Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von
elektronischen nichtselbsttätigen Waagen
<https://doi.org/10.7795/550.20251210>

DKD-E 7-4

Ausgabe:	12/2025
Revision:	0
Seite:	21 / 33

7 Änderungshistorie

Revision	Datum	Änderungen
0	12/2025	Erstversion

Anhang A Liste kleinstmöglicher Teilungswert

Nennwert m_N /g	Teilungswert d /g	
0	$1 \cdot 10^{-7}$	
$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-7}$	
$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-7}$	
$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-7}$	
$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-7}$	
$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-7}$	
$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-7}$	
0,1	$1 \cdot 10^{-7}$	Ultramikrowaagen mit $d=0,1$ µg sind marktüblich bis Maximallast = 10,1 g
0,2	$1 \cdot 10^{-7}$	
0,5	$1 \cdot 10^{-7}$	
1	$1 \cdot 10^{-7}$	
2	$1 \cdot 10^{-7}$	
5	$1 \cdot 10^{-7}$	
10	$1 \cdot 10^{-7}$	
20	$1 \cdot 10^{-6}$	
50	$1 \cdot 10^{-6}$	Mikrowaagen mit $d=1$ µg erhältlich bis Maximallast = 111 g
$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^{-6}$	
$2 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^{-6}$	bis 220 g
$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^{-5}$	bis 610 g
$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-4}$	
$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-4}$	bis 5100 g
$5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-4}$	
$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	
$2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	bis 41 kg
$5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{-3}$	bis 64 kg
$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-2}$	bis 150 kg
$2 \cdot 10^5$	0,1	
$3 \cdot 10^5$	0,1	bis 600 kg
$5 \cdot 10^5$	0,1	
$1 \cdot 10^6$	0,5	bis 1100 kg
$2 \cdot 10^6$	1	bis 2500 kg
$5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$	bis 5400 kg
$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^3$	
$2 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^4$	bis 30 t
$5 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^4$	
$1 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^4$	

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	11/2025
		Revision:	0
		Seite:	23 / 33

Anhang B Beispiele

Beispiel B1

Voraussetzungen des Labors:

Das Labor benutzt für Nennlasten bis zu 10 kg den konventionellen Wägewert für Gewichte der Klasse E₂ gemäß OIML R111 [11], bekommt die Gewichte typischerweise mit einer Kalibrierunsicherheit kalibriert, die dem jeweiligen *mpe* der nächstbesseren Klasse E₁ entspricht, also $U = mpe(E_1) (\approx mpe(E_2)/3)$. Das Labor setzt für die Veränderung der Gewichte auf Basis statistischer Beobachtungen einen Wert von $k_D = 2,5$ an.

Für Nennlasten zwischen 10 kg und 300 kg benutzt das Labor den Nennwert für Gewichte der Klasse F₁ gemäß OIML R111 [11], entsprechend mit $U = mpe/\sqrt{3}$, und setzt für die Veränderung der Gewichte auf Basis statistischer Beobachtungen einen Wert von $k_D = 1,5$ an.

Für Nennlasten zwischen 300 kg und 3 t benutzt das Labor den Nennwert für Gewichte der Klasse M₁ gemäß OIML R111 [11], entsprechend mit $U = mpe/\sqrt{3}$, und setzt für die Veränderung der Gewichte auf Basis statistischer Beobachtungen einen Wert von $k_D = 2$ an.

Als Stützpunkte identifiziert das Labor neben den Nennwerten der OIML R111 [11] die Werte 300 kg (da sich dort die Rahmenbedingungen durch die Verwendung einer anderen Gewichtsklasse deutlich ändern) und 3 t (da dies das obere Ende des Akkreditierungsumfanges darstellt). Für diese Stützpunkte ergeben sich mit den obigen Voraussetzungen und den in 2.1 und 2.2 genannten generellen Rahmenbedingungen folgende kleinstmögliche Unsicherheiten:

Ausgabe:	11/2025
Revision:	0
Seite:	24 / 33

m_N /g	$u(\delta I_{dig0})$ /g	$u(\delta I_{digL})$ /g	$u(\delta m_c)$ /g	$u(\delta m_B)$ /g	$u(\delta m_D)$ /g	$u(\delta m_{conv})$ /g	$u(m_N)$ /g	$U(m_N)$ /g	$U_{rel}(m_N)$ /g
0	$2,9 \cdot 10^{-8}$	0	0	0	0	0	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-8}$	---
$1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	0,0	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$
$2 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	0,0	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$
$5 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	0,0	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
$1 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	0,0	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$
$2 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	0,0	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$
$5 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	0,0	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
0,1	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-6}$	0,0	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
0,2	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$	0,0	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
0,5	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,0	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$
1	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,0	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
2	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	0,0	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
5	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	0,0	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
10	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$
20	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$
50	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
$5 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
$5 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	0,10	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,12	0,23	$1,2 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^4$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	0,14	$3,6 \cdot 10^{-2}$	0,25	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,29	0,58	$1,2 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	0,29	$7,2 \cdot 10^{-2}$	0,50	$9,0 \cdot 10^{-3}$	0,58	1,2	$1,2 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	5,	0,14	1,0	$1,8 \cdot 10^{-2}$	1,2	2,3	$1,2 \cdot 10^{-5}$
$3 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	0,87	0,22	1,5	$2,7 \cdot 10^{-2}$	1,7	3,5	$1,2 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	14	3,6	33	$4,5 \cdot 10^{-2}$	37	73	$1,5 \cdot 10^{-4}$
$1 \cdot 10^6$	0,14	0,14	29	7,2	67	$9,0 \cdot 10^{-2}$	73	$1,5 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
$2 \cdot 10^6$	0,29	0,29	58	14	$1,3 \cdot 10^2$	0,18	$1,5 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
$3 \cdot 10^6$	2,9	2,9	87	22	$2,0 \cdot 10^2$	0,27	$2,2 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 6: Unsicherheitsbeiträge zur Berechnung der kleinstmöglichen Unsicherheiten für Beispiel 1. Benennung der Beiträge wie in EURAMET cg-18 [7], bzw. DKD-R 7-2 [8]. Die einzelnen Unsicherheitsbeiträge sind auf 2 signifikante Stellen gerundet angegeben. Für die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit wurden die ungerundeten Werte benutzt.

Ausgabe:	11/2025
Revision:	0
Seite:	25 / 33

Anmerkung 1: Die Tabelle EURAMET cg-18 [7] Anhang F2.1 listet keine Werte zur Berücksichtigung möglicher Konvektionseffekte für Nennwerte größer 50 kg auf. Die Werte ≤ 50 kg weisen ein exponentielles Verhalten auf, wurden aber für Nennwerte > 50 kg als konservative Abschätzung, hier linear vom Wert für $m_N = 50$ kg, extrapoliert.

Anmerkung 2: Bei kleineren Nennwerten bis etwa 100 g macht es durch das nichtlineare Verhalten der Kalibrierunsicherheit über den Nennwerten einen signifikanten Unterschied, ob von einstückigen Lasten ausgegangen wird, oder ob z. B. 50 g durch eine Kombination „20 g + 20 g + 10 g“ gebildet wird. Typischerweise kann aber in diesem Bereich davon ausgegangen werden, dass ein Labor über die entsprechenden einstückigen Lasten verfügt und diese auch benutzt.

Bei größeren Lasten hingegen ist es aus praktischen Gründen oftmals üblich, mehrstückige Lasten zu benutzen (z. B. eine Kombination „20 kg + 20 kg + 10 kg“ statt eines einzelnen 50 kg-Gewichtes). In diesem Bereich sind allerdings typischerweise die Kalibrierunsicherheiten der Gewichte proportional zum Nennwert, so dass sich hier nur vernachlässigbar kleine Unterschiede ergeben. Eine Ausnahme bilden hier die im Hochlast-Bereich üblichen Gewichtskörbe mit freiem Nennwert, für die oftmals bei Kalibrierungen die Kalibrierunsicherheit und der mpe des nächsthöheren Nennwertes angegeben werden. Für einen üblichen Hochlastgewichtssatz der Klasse M₁ mit einem Korb mit 60 kg (für den die Kalibrierunsicherheit $U = 1,6$ g und der $mpe = 5$ g des nächsthöheren Nennwertes von 100 kg angenommen werden) und 22 * 20 kg (jeweils mit $U = 0,30$ g und $mpe = 1$ g) ergeben sich z. B.

$$mpe = 5 \text{ g} + 22 * 1 \text{ g} = 27 \text{ g} \text{ und } U = 1,6 \text{ g} + 22 * 0,30 \text{ g} = 8,2 \text{ g},$$

während sich für ein einstückiges 500 kg-Gewicht

$$mpe = 25 \text{ g} \text{ und } U = 8,0 \text{ g}$$

oder genauso für 10 einzelne 50 kg-Gewichte

$$mpe = 10 * 2,5 \text{ g} = 25 \text{ g} \text{ und } U = 10 * 0,80 \text{ g} = 8,0 \text{ g}$$

ergeben. Für die relative Gesamtunsicherheit ergeben sich dann $1,6 \cdot 10^{-4}$ statt der in Tabelle 6 angegebenen $1,5 \cdot 10^{-4}$. Diese Vereinfachung bei der Berechnung der CMCs soll allerdings gestattet sein, d. h. Gewichtskörbe müssen nicht separat betrachtet werden und die Annahme von einstückigen Gewichten ist auch für diesen Fall akzeptiert.

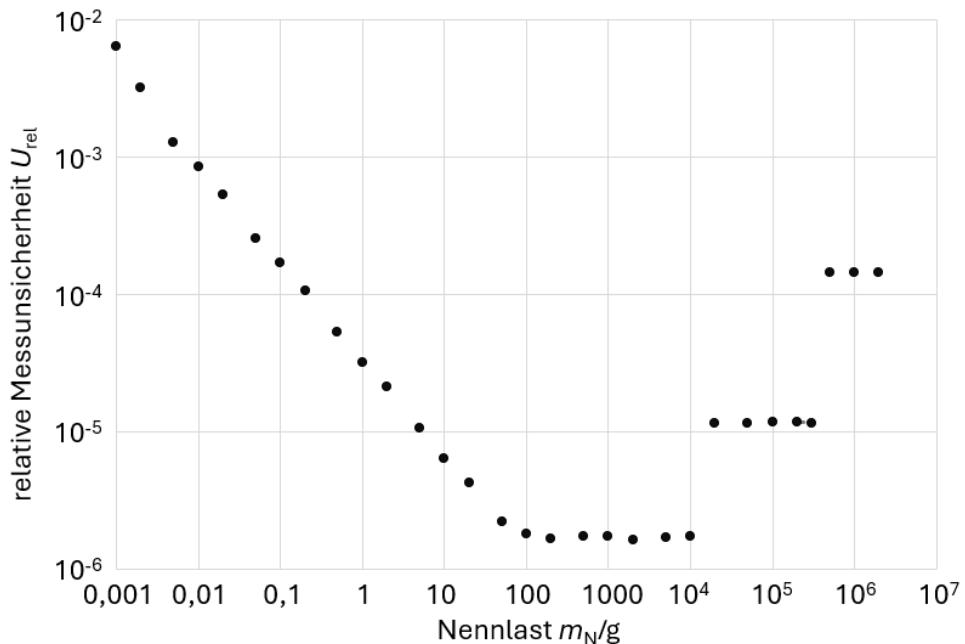


Abbildung 2: Darstellung der kleinstmöglichen Unsicherheiten für Beispiel B1

Aus Tabelle 6 und Abbildung 2 wird deutlich, dass sich drei Bereiche ergeben, in denen die kleinstmögliche relative Messunsicherheit als konstant angesehen werden kann. Die Unterschiede innerhalb dieser Bereiche sind dabei so klein, dass sie in der Angabe mit zwei signifikanten Stellen nicht mehr erkennbar sind. Entsprechend kann für diese Bereiche jeweils nur ein Wert für die kleinstmögliche Unsicherheit angegeben werden, siehe Tabelle 7.

Bereich	Erweiterte Messunsicherheit
$200 \text{ g} \leq m_N \leq 10 \text{ kg}$	$1,7 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$10 \text{ kg} < m_N \leq 300 \text{ kg}$	$1,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$300 \text{ kg} < m_N \leq 3 \text{ t}$	$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$

Tabelle 7: Bereiche mit als konstant anzunehmender kleinster relativer Messunsicherheit für Beispiel B1

Für alle kleineren Lasten verändert sich die relative Messunsicherheit zwischen zwei Stützpunkten so stark, dass diese jeweils als eigene Intervalle anzugeben sind, siehe Tabelle 8.

Bereich	Erweiterte Messunsicherheit
0 g	$5,8 \cdot 10^{-8} \text{ g}$
1 mg	$6,4 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$
$2 \text{ mg} \leq m_N < 5 \text{ mg}$	$3,2 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$
$5 \text{ mg} \leq m_N < 10 \text{ mg}$	$1,3 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$
$10 \text{ mg} \leq m_N < 20 \text{ mg}$	$8,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$20 \text{ mg} \leq m_N < 50 \text{ mg}$	$5,3 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$50 \text{ mg} \leq m_N < 100 \text{ mg}$	$2,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$

$100 \text{ mg} \leq m_N < 200 \text{ mg}$	$1,7 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$200 \text{ mg} \leq m_N < 500 \text{ mg}$	$1,1 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$500 \text{ mg} \leq m_N < 1 \text{ g}$	$5,3 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$1 \text{ g} \leq m_N < 2 \text{ g}$	$3,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$2 \text{ g} \leq m_N < 5 \text{ g}$	$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$5 \text{ g} \leq m_N < 10 \text{ g}$	$1,1 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$10 \text{ g} \leq m_N < 20 \text{ g}$	$6,5 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$20 \text{ g} \leq m_N < 50 \text{ g}$	$4,3 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$50 \text{ g} \leq m_N < 100 \text{ g}$	$2,2 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$100 \text{ g} \leq m_N < 200 \text{ g}$	$1,8 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$

Tabelle 8: Bereiche in denen die kleinste relative Messunsicherheit nicht als konstant angenommen werden kann, berechnet für Beispiel B1

Insgesamt ergibt sich für das Beispiel folgender Vorschlag für die Darstellung der CMCs:

Kalibrier- und Messmöglichkeiten (CMC)				
Messgröße / Kalibriergegenstand	Messbereich / Messspanne	Messbedingungen / Verfahren	Erweiterte Messunsicherheit	Bemerkungen
Waagen nichtselbsttätige elektronische Waagen	0 g	EURAMET Calibration Guide No. 18, Version 4.0	$5,8 \cdot 10^{-8} \text{ g}$	
	1 mg		$6,4 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$2 \text{ mg} \leq m_N < 5 \text{ mg}$		$3,2 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$5 \text{ mg} \leq m_N < 10 \text{ mg}$		$1,3 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$10 \text{ mg} \leq m_N < 20 \text{ mg}$		$8,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$20 \text{ mg} \leq m_N < 50 \text{ mg}$		$5,3 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$50 \text{ mg} \leq m_N < 100 \text{ mg}$		$2,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$100 \text{ mg} \leq m_N < 200 \text{ mg}$		$1,7 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$200 \text{ mg} \leq m_N < 500 \text{ mg}$		$1,1 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$500 \text{ mg} \leq m_N < 1 \text{ g}$		$5,3 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$1 \text{ g} \leq m_N < 2 \text{ g}$		$3,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$2 \text{ g} \leq m_N < 5 \text{ g}$		$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$5 \text{ g} \leq m_N < 10 \text{ g}$		$1,1 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$10 \text{ g} \leq m_N < 20 \text{ g}$		$6,5 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$20 \text{ g} \leq m_N < 50 \text{ g}$		$4,3 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$50 \text{ g} \leq m_N < 100 \text{ g}$		$2,2 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$100 \text{ g} \leq m_N < 200 \text{ g}$		$1,8 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$200 \text{ g} \leq m_N \leq 10 \text{ kg}$		$1,7 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$10 \text{ kg} < m_N \leq 300 \text{ kg}$		$1,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$300 \text{ kg} < m_N \leq 3 \text{ t}$		$1,5 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	

	Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20251210	DKD-E 7-4	
		Ausgabe:	11/2025
		Revision:	0
		Seite:	28 / 33

Beispiel B2

Voraussetzungen des Labors:

Das Labor benutzt für Nennlasten bis zu 200 g den konventionellen Wägewert für Gewichte der Klasse E₂ gemäß OIML R111 [11]. Es bekommt die Gewichte typischerweise mit einer Kalibrierunsicherheit von $U = mpe/4$ kalibriert und setzt für die Veränderung der Gewichte auf Basis statistischer Beobachtungen einen Wert von $k_D = 1,5$ an.

Für Nennlasten zwischen 200 g und 20 kg benutzt das Labor den konventionellen Wägewert für Gewichte der Klasse E₂ gemäß OIML R111 [11]. Es bekommt die Gewichte typischerweise mit einer Kalibrierunsicherheit von $U = mpe/5$ kalibriert und setzt für die Veränderung der Gewichte auf Basis statistischer Beobachtungen einen Wert von $k_D = 1$ an.

Für Nennlasten zwischen 20 kg und 500 kg benutzt das Labor den konventionellen Wägewert für Gewichte der Klasse F₁ gemäß OIML R111 [11]. Es bekommt die Gewichte typischerweise mit einer Kalibrierunsicherheit von $U = mpe/5$ kalibriert und setzt für die Veränderung der Gewichte auf Basis statistischer Beobachtungen einen Wert von $k_D = 2$ an.

Für Nennlasten zwischen 500 kg und 100 t benutzt das Labor den Nennwert für Gewichte der Klasse M₁ gemäß OIML R111 [11], entsprechend mit $U = mpe/\sqrt{3}$, und setzt für die Veränderung der Gewichte auf Basis statistischer Beobachtungen einen Wert von $k_D = 2$ an.

Als Stützpunkte identifiziert das Labor neben den Nennwerten der OIML R111 [11] die Werte 200 g (da sich dort die Rahmenbedingungen durch die Verwendung einer anderen Gewichtsklasse deutlich ändern) und 100 t (da dies das obere Ende des Akkreditierungsumfanges darstellt). Für diese Stützpunkte ergeben sich mit den obigen Voraussetzungen und den in 2.1 und 2.2 genannten generellen Rahmenbedingungen die in Tabelle 9 dargestellten kleinstmöglichen Unsicherheiten.

m_N /g	$u(\delta I_{\text{dig0}})$ /g	$u(\delta I_{\text{digL}})$ /g	$u(\delta m_c)$ /g	$u(\delta m_B)$ /g	$u(\delta m_D)$ /g	$u(\delta m_{\text{conv}})$ /g	$u(m_N)$ /g	$U(m_N)$ /g	$U_{\text{rel}}(m_N)$ /g
0	$2,9 \cdot 10^{-8}$	0	0	0	0	0	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-8}$	---
$1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
$2 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
$5 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$
$1 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	0	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$
$2 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	0	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
$5 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	0	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$6,9 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
0,1	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	0	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$
0,2	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	0	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
0,5	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
1	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	0	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
2	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^{-6}$	0	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
5	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$
10	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$
20	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$
50	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-7}$
$5 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$
$1 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$
$2 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$
$5 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$
$1 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$
$2 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$
$5 \cdot 10^4$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-2}$	0,15	$2,9 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	0,10	0,21	$2,1 \cdot 10^{-6}$
$2 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-2}$	0,12	$1,8 \cdot 10^{-2}$	0,18	0,36	$1,8 \cdot 10^{-6}$
$5 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	0,10	0,14	0,23	$4,5 \cdot 10^{-2}$	0,31	0,63	$1,3 \cdot 10^{-6}$
$1 \cdot 10^6$	0,14	0,14	14	3,6	33	$9,0 \cdot 10^{-2}$	37	73	$7,3 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^6$	0,29	0,29	29	7,2	67	0,18	73	$1,5 \cdot 10^2$	$7,3 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^2$	58	14	$1,3 \cdot 10^2$	0,45	$1,1 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
$1 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^2$	36	$3,3 \cdot 10^2$	0,90	$1,1 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
$2 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^2$	72	$6,7 \cdot 10^2$	1,8	$1,1 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
$5 \cdot 10^7$	$5,8 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^3$	4,5	$2,2 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$	$8,7 \cdot 10^{-4}$
$1 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^2$	$6,7 \cdot 10^3$	9,0	$5,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 9: Unsicherheitsbeiträge zur Berechnung der kleinstmöglichen Unsicherheiten für Beispiel B2. Benennung der Beiträge wie in EURAMET cg-18 [7], bzw. DKD-R 7-2 [8]. Die einzelnen

Unsicherheitsbeiträge sind auf 2 signifikante Stellen gerundet angegeben. Für die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit wurden die ungerundeten Werte benutzt.

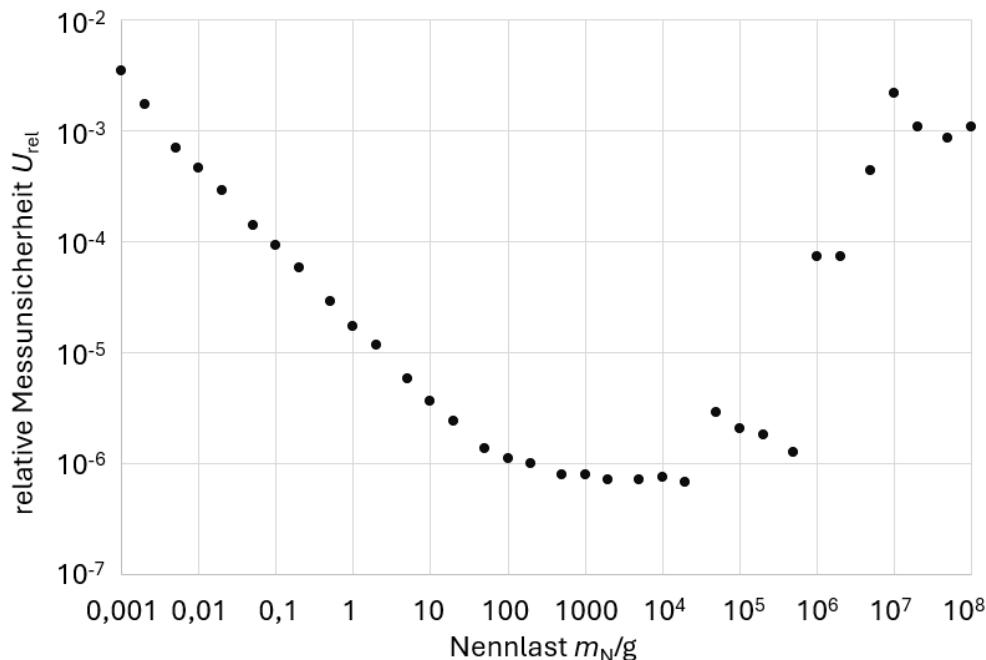


Abbildung 3: Darstellung der kleinstmöglichen Unsicherheiten für Beispiel B1

In diesem Beispiel ist im Gegensatz zu Beispiel B1 die Identifizierung von Bereichen mit als konstant anzunehmender relativer Messunsicherheit nicht mehr ganz offensichtlich. Für dieses Beispiel werden die in Tabelle 10 dargestellten Bereiche ausgewählt:

Bereich	Erweiterte Messunsicherheit
$500 \text{ g} \leq m_N \leq 20 \text{ kg}$	$7,8 \cdot 10^{-7} \cdot m_N$
$1 \text{ t} \leq m_N \leq 2 \text{ t}$	$7,3 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$20 \text{ t} \leq m_N \leq 100 \text{ t}$	$1,1 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$

Tabelle 10: Bereiche mit als konstant anzunehmender kleinsten relativen Messunsicherheit für Beispiel B2

Anmerkung 1: Da hier bewusst keine Vorgabe getroffen wird, bei welchen Schwankungen eine Unsicherheit innerhalb eines Bereiches „als konstant anzunehmen ist“, könnte das Labor die Bereiche auch anders festlegen – z. B., indem der erste Bereich aufgesplittet wird wie in Tabelle 11a dargestellt. Der Vorteil wäre, dass so für 20 kg die Unsicherheit nicht künstlich vom eigentlichen Wert $U = 6,7 \cdot 10^{-7}$ ($= 13,4 \text{ mg}$) auf den angegebenen Wert des Bereiches von $U = 7,8 \cdot 10^{-7}$ ($= 15,6 \text{ mg}$) angehoben werden muss. Grundsätzlich sollte allerdings das Bestreben nach übersichtlicheren Akkreditierungsumfängen Vorrang haben.

Bereich	Erweiterte Messunsicherheit
$500 \text{ g} \leq m_N \leq 10 \text{ kg}$	$7,8 \cdot 10^{-7} \cdot m_N$
$10 \text{ kg} < m_N \leq 20 \text{ kg}$	$6,7 \cdot 10^{-7} \cdot m_N$

Tabelle 11a: Alternative Aufsplittung des ersten Bereichs mit als konstant annehmender kleinstster relativer Messunsicherheit aus Tabelle 10.

Anmerkung 2: Da der zweite in Tabelle 10 aufgeführte Bereich nur zwei Stützpunkte umfasst, ergibt sich nur eine sehr geringe Einsparung gegenüber einer separaten Auflistung der beiden Stützpunkte.

Für alle kleineren Lasten verändert sich die relative Messunsicherheit zwischen zwei Stützpunkten so stark, dass diese jeweils als eigene Intervalle anzugeben sind:

Bereich	Erweiterte Messunsicherheit
0 g	$5,8 \cdot 10^{-8} \text{ g}$
1 mg	$3,5 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$
$2 \text{ mg} \leq m_N < 5 \text{ mg}$	$1,7 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$
$5 \text{ mg} \leq m_N < 10 \text{ mg}$	$6,9 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$10 \text{ mg} \leq m_N < 20 \text{ mg}$	$4,6 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$20 \text{ mg} \leq m_N < 50 \text{ mg}$	$2,9 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$50 \text{ mg} \leq m_N < 100 \text{ mg}$	$1,4 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$100 \text{ mg} \leq m_N < 200 \text{ mg}$	$9,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$200 \text{ mg} \leq m_N < 500 \text{ mg}$	$5,8 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$500 \text{ mg} \leq m_N < 1 \text{ g}$	$2,9 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$1 \text{ g} \leq m_N < 2 \text{ g}$	$1,7 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$2 \text{ g} \leq m_N < 5 \text{ g}$	$1,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$5 \text{ g} \leq m_N < 10 \text{ g}$	$5,8 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$10 \text{ g} \leq m_N < 20 \text{ g}$	$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$20 \text{ g} \leq m_N < 50 \text{ g}$	$2,4 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$50 \text{ g} \leq m_N < 100 \text{ g}$	$1,3 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$100 \text{ g} \leq m_N < 200 \text{ g}$	$1,1 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$200 \text{ g} \leq m_N < 500 \text{ g}$	$9,8 \cdot 10^{-7} \cdot m_N$
$20 \text{ kg} < m_N < 50 \text{ kg}$	$2,9 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$50 \text{ kg} \leq m_N < 100 \text{ kg}$	$2,9 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$100 \text{ kg} \leq m_N < 200 \text{ kg}$	$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$

$200 \text{ kg} \leq m_N < 500 \text{ kg}$	$1,8 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$
$500 \text{ kg} \leq m_N < 1 \text{ t}$	$7,3 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$
$2 \text{ t} < m_N < 5 \text{ t}$	$4,4 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$
$5 \text{ t} \leq m_N < 10 \text{ t}$	$2,2 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$
$10 \text{ t} \leq m_N < 20 \text{ t}$	$2,2 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$

Tabelle 12: Bereiche in denen die kleinste relative Messunsicherheit nicht als konstant angenommen werden kann, berechnet für Beispiel B2

Insgesamt ergibt sich für das Beispiel folgender Vorschlag für die Darstellung der CMCs:

Kalibrier- und Messmöglichkeiten (CMC)				
Messgröße / Kalibiergegenstand	Messbereich / Messpanne	Messbedingungen / Verfahren	Erweiterte Messunsicherheit	Bemerkungen
Waagen nichtselbsttätige elektronische Waagen	0 g	EURAMET Calibration Guide No. 18, Version 4.0	$5,8 \cdot 10^{-8} \text{ g}$	
	1 mg		$3,5 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$2 \text{ mg} \leq m_N < 5 \text{ mg}$		$1,7 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$5 \text{ mg} \leq m_N < 10 \text{ mg}$		$6,9 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$10 \text{ mg} \leq m_N < 20 \text{ mg}$		$4,6 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$20 \text{ mg} \leq m_N < 50 \text{ mg}$		$2,9 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$50 \text{ mg} \leq m_N < 100 \text{ mg}$		$1,4 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	
	$100 \text{ mg} \leq m_N < 200 \text{ mg}$		$9,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$200 \text{ mg} \leq m_N < 500 \text{ mg}$		$5,8 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$500 \text{ mg} \leq m_N < 1 \text{ g}$		$2,9 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$1 \text{ g} \leq m_N < 2 \text{ g}$		$1,7 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$2 \text{ g} \leq m_N < 5 \text{ g}$		$1,2 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$5 \text{ g} \leq m_N < 10 \text{ g}$		$5,8 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$10 \text{ g} \leq m_N < 20 \text{ g}$		$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$20 \text{ g} \leq m_N < 50 \text{ g}$		$2,4 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$50 \text{ g} \leq m_N < 100 \text{ g}$		$1,3 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$100 \text{ g} \leq m_N < 200 \text{ g}$		$1,1 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$200 \text{ g} \leq m_N < 500 \text{ g}$		$9,8 \cdot 10^{-7} \cdot m_N$	
	$500 \text{ g} \leq m_N \leq 20 \text{ kg}$		$7,8 \cdot 10^{-7} \cdot m_N$	
	$20 \text{ kg} < m_N < 50 \text{ kg}$		$2,9 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$50 \text{ kg} \leq m_N < 100 \text{ kg}$		$2,9 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$100 \text{ kg} \leq m_N < 200 \text{ kg}$		$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$200 \text{ kg} \leq m_N < 500 \text{ kg}$		$1,8 \cdot 10^{-6} \cdot m_N$	
	$500 \text{ kg} \leq m_N < 1 \text{ t}$		$7,3 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$1 \text{ t} \leq m_N \leq 2 \text{ t}$		$7,3 \cdot 10^{-5} \cdot m_N$	
	$2 \text{ t} < m_N < 5 \text{ t}$		$4,4 \cdot 10^{-4} \cdot m_N$	



Bestimmung und Angabe von kleinstmöglichen
Messunsicherheiten bei der Kalibrierung von
elektronischen nichtselbsttätigen Waagen
<https://doi.org/10.7795/550.20251210>

DKD-E 7-4

Ausgabe:	11/2025
Revision:	0
Seite:	33 / 33

	$5 \text{ t} \leq m_N < 10 \text{ t}$		$2,2 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$10 \text{ t} \leq m_N < 20 \text{ t}$		$2,2 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	
	$20 \text{ t} \leq m_N \leq 100 \text{ t}$		$1,1 \cdot 10^{-3} \cdot m_N$	