

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



Richtlinie DKD-R 7-3

Anwendung des Ersatzlastverfahrens
zur Kalibrierung von
nichtselbsttätigen Waagen

Ausgabe 01/2025

<https://doi.org/10.7795/550.20250129>



	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	2 / 15

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: 0531 592 8021
Internet: www.dkd.eu

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	3 / 15

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Richtlinie DKD-R 7-3, Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung nichtselbsttätiger Waagen, Ausgabe 01/2025, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20250129

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:

Steffen Osang, Minebea Intec Bovenden, Bovenden;
Martin Häfner, Häfner Gewichte GmbH, Oberrot;
Dr. Klaus Fritsch, Mettler-Toledo (Schweiz) GmbH, Greifensee;
Klaus Müller, Mettler-Toledo GmbH, Gießen;
Jochen Ortmann, Hessische Eichdirektion, Darmstadt;
Carsten Grünewälder, C. Grünewälder Waagenteknik, Wuppertal;
Jonas Mecke, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

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.

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	4 / 15

Vorwort

DKD-Richtlinien sind Anwendungsdokumente zu den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025. In den Richtlinien werden technische, verfahrensbedingte und organisatorische Abläufe beschrieben, die den akkreditierten Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen. DKD-Richtlinien können zum Bestandteil von Qualitätsmanagementhandbüchern der Kalibrierlaboratorien werden. Durch die Umsetzung der Richtlinien wird die Gleichbehandlung der zu kalibrierenden Geräte in den verschiedenen Kalibrierlaboratorien gefördert und die Kontinuität und Überprüfbarkeit der Arbeit der Kalibrierlaboratorien verbessert. Außerdem kann durch die Umsetzung der Richtlinien der Stand der Technik auf dem jeweiligen Gebiet in die Laborpraxis Eingang finden.

Die DKD-Richtlinien sollen nicht die Weiterentwicklung von Kalibrierverfahren und -abläufen behindern. Abweichungen von Richtlinien und neue Verfahren sind im Einvernehmen mit der Akkreditierungsstelle zulässig, wenn fachliche Gründe dafür sprechen.

Kalibrierungen der akkreditierten Laboratorien geben dem Anwender Sicherheit für die Verlässlichkeit von Messergebnissen, erhöhen das Vertrauen der Kunden und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem nationalen und internationalen Markt und dienen als messtechnische Grundlage für die Mess- und Prüfmittelüberwachung im Rahmen von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Die vorliegende Richtlinie wurde im Rahmen des Fachausschusses *Masse und Waagen* erstellt und vom Vorstand des DKD genehmigt.

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	5 / 15

Inhaltsverzeichnis

1	Präambel.....	6
2	Begriffe	6
3	Anforderungen für die Anwendung des Ersatzlastverfahrens.....	6
3.1	Anforderungen an die zu kalibrierenden Waagen.....	6
3.1.1	Anzahl der Teilungswerte n.....	6
3.1.2	Wägebereich der Waage	6
3.2	Anforderungen an die Referenzlast.....	7
3.3	Anforderungen an die Ersatzlast.....	7
3.4	Anzahl der Ersatzlastschritte.....	7
4	Einflussfaktoren.....	8
5	Verfahren.....	8
5.1	Messablauf.....	8
5.2	Aufbringen der Lasten	8
5.3	Angleichen der Ersatzlast.....	8
5.4	Hysterese und Kriechen.....	9
5.5	Beispiel zum Messablauf	9
6	Messunsicherheit	12
6.1	Allgemeines.....	12
6.2	Darstellung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung einer Waage mit typischem Leistungsvermögen	12
7	Ergebnisdarstellung.....	13
8	Zusammenfassung	13
9	Literaturverzeichnis.....	14

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	6 / 15

1 Präambel

Die Richtlinie basiert auf der Kalibrierrichtlinie DKD-R 7-2, Ausgabe 01/2018 [Übersetzung des EURAMET Calibration Guide No.18 Version 4.0 (11/2015)]. Im folgenden Text wird für die Richtlinie DKD-R 7-2, Ausgabe 01/2018 die Abkürzung DKD-R 7-2 verwendet.

Die Richtlinie enthält ergänzende Anforderungen zur praktischen Durchführung des Ersatzlastverfahrens und unterstützt die erforderliche hohe Kompetenz eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums.

Das Ersatzlastverfahren ist im Kapitel 4.3.3 der DKD-R 7-2 beschrieben. Durch die Anwendung des Ersatzlastverfahrens erhöht sich mit jedem Ersatzlastschritt der Messunsicherheitsbeitrag der verwendeten Last und somit die im Kalibrierschein anzugebende Messunsicherheit der Kalibrierung.

Das Ersatzlastverfahren wird zur Ermittlung der Anzeigeabweichung im Zuge der Kalibrierung verwendet. Die Bestimmung der Wiederholbarkeit und der Abweichung durch außermittige Belastung ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

Falls im Kalibrierschein auf die Richtlinie DKD-R 7-3 Bezug genommen wird, muss dort auf etwaige Abweichungen von dieser Richtlinie, z. B. bedingt durch die Bauform der Waage, hingewiesen werden.

Das Ersatzlastverfahren sollte im Leistungsangebot des Laboratoriums gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 Abs. 5.3 als eigenständiges Verfahren ausgewiesen sein.

2 Begriffe

Alle Begriffe beziehen sich grundsätzlich auf DKD-R 7-2. Verwendete Symbole und Abkürzungen sind in DKD-R 7-2, Anhang D dargestellt.

3 Anforderungen für die Anwendung des Ersatzlastverfahrens

Ergänzend zu den in DKD-R 7-2, Kapitel 4.3.3 beschriebenen Grundlagen gelten die folgenden Anforderungen.

3.1 Anforderungen an die zu kalibrierenden Waagen

3.1.1 Anzahl der Teilungswerte n

Das Ersatzlastverfahren darf nur bei Waagen mit höchstens 10 000 Anzeigeschritten angewendet werden ($n = \text{Max} / d \leq 10\,000$, Teilungswert d der Waage in Verwendung).

Bei Mehrbereichs- und Mehrteilungswaagen, die durchgängig kalibriert werden, wird die Anzahl der Teilungswerte n auf den Teilungswert bei Höchstlast der Waage bezogen.

Durch diese Begrenzung wird sichergestellt, dass die ermittelte Messunsicherheit der Kalibrierung nicht vom Messunsicherheitsbeitrag der aufgelegten Last dominiert wird.

3.1.2 Wägebereich der Waage

Das Ersatzlastverfahren darf nur angewendet werden, wenn der Wägebereich ≥ 4000 kg beträgt.

Bei Mehrbereichs- und Mehrteilungswaagen, die durchgängig kalibriert werden, bezieht sich der Wägebereich auf die Höchstlast.

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	7 / 15

Bei Mehrbereichswaagen, bei denen jeder Bereich separat kalibriert wird, sind die Anforderungen der Richtlinie für jeden Bereich separat anzuwenden.

Der Kalibrierbereich als Teil des Wägebereiches (siehe DKD-R 7-2, Kapitel 4.1.1) kann kundenspezifisch auch < 4000 kg sein.

Durch diese Festlegung ist sichergestellt, dass bei Anwendung des Ersatzlastverfahrens der kleinste mögliche Teilungswert $d = 500$ g ist und damit die ermittelte Messunsicherheit der Kalibrierung nicht von der Messunsicherheit der aufgelegten Last dominiert wird.

3.2 Anforderungen an die Referenzlast

Die Referenzlast muss in Summe aus metrologisch rückgeführten Gewichtstücken ≥ 1000 kg bestehen.

Es wird empfohlen, in Abhängigkeit von der Anzahl n der Anzeigeschritte folgende Genauigkeitsklassen gemäß OIML R111-1:2004 zu verwenden:

$n \leq 3000$: Klasse M_2 oder besser

$n > 3000$: Klasse M_1 oder besser

3.3 Anforderungen an die Ersatzlast

Zusätzlich zu den in DKD-R 7-2, Kapitel 4.3.2 genannten Punkten ist folgendes zu beachten:

Der Wägewert der Ersatzlast darf sich während der Kalibrierung nicht ändern, z. B. durch:

- Verdunstung flüssiger Ersatzlasten
- nicht stillstehende Ersatzlasten

Magnetische Eigenschaften der Ersatzlasten, elektrostatische Effekte sowie Auswirkungen der Umgebungsbedingungen (z. B. Wind, Regen) dürfen die Waagenanzeige nicht beeinflussen.

3.4 Anzahl der Ersatzlastschritte

Die Anzahl der Ersatzlastschritte muss ≤ 3 sein.

Beispiel:

Referenzlast + Ersatzlast1 + Ersatzlast2 + Ersatzlast3 = Max

Durch eine Begrenzung der Anzahl der Ersatzlastschritte ist die im Kalibrierschein angegebene Messunsicherheit der Kalibrierung in der Regel nicht mehr als doppelt so groß als bei Verwendung durchgehender Referenzlasten.

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	8 / 15

4 Einflussfaktoren

Der Einfluss des Luftauftriebes bei der Verwendung von Ersatzlast ist vernachlässigbar klein, sofern die Anforderungen gemäß Kapitel 3 eingehalten werden.

Besondere Anforderungen an die Materialdichte der Ersatzlast bestehen nicht, sofern die Anforderungen gemäß Kapitel 3 eingehalten werden.

5 Verfahren

5.1 Messablauf

Die Durchführung des Ersatzlastverfahrens erfolgt gemäß DKD-R 7-2, Kapitel 4.3.3.

Hinweise:

- Bei Mehrbereichs- und Mehrteilungswaagen müssen Lasten an den Bereichs- bzw. Teilbereichsgrenzen vermieden werden.
- Automatische Nullnachführung darf während des gesamten Messablaufes nicht aktiv sein (ausgeschaltet oder mit Minimalbelastung belastet).
- Ergänzend wird zum Abschluss der Messung die Anzeige bei Null oder einer Minimalbelastung dokumentiert.
- Die Minimalbelastung ist eine Last, die unwesentlich größer ist als der Wirkungsbereich der Nullnachführung der Waage.
- Bei Verwendung einer Minimalbelastung zum Ausschalten der automatischen Nullnachführung muss diese am Anfang und am Ende der Messung identisch sein und bei vollständiger Entlastung auf der Waage verbleiben, um ein Nullstellen zu verhindern.

5.2 Aufbringen der Lasten

Der Schwerpunkt der aufgelegten Lasten muss zentrisch sein. Ist das nicht möglich, dann muss der Schwerpunkt der Ersatzlast beim Angleichen an der gleichen Stelle sein wie zuvor der Schwerpunkt der Referenzlast.

5.3 Angleichen der Ersatzlast

Das Angleichen der Ersatzlast muss mit einer maximalen Differenz von ± 10 Teilungswerten d zum Anzeigewert der vorherigen Last erfolgen. Damit kann in der Praxis der Einfluss der Nichtlinearität der Waagenkennlinie auf das Ersatzlastverfahren vernachlässigt werden.

Bei Mehrbereichs- und Mehrteilungswaagen wird der Teilungswert des jeweiligen Bereiches verwendet.

Es ist möglich, nur Teile der aufgelegten Referenzlast durch eine Ersatzlast zu ersetzen.

Beispiel:

Waage mit Wägebereich 4 t

Referenzlast: $3 \cdot 1$ t

Ersatzlast: 1 t

5.4 Hysterese und Kriechen

Die angemessene Berücksichtigung von Hysterese und Kriechen muss Bestandteil der Kalibrierung sein.

5.5 Beispiel zum Messablauf

Im Beispiel wurden zur vereinfachten Darstellung die Ersatzlasten auf die Referenzlasten exakt angeglichen.

	Handlung	Anzeige	Anzeige- abweichung
	Null-Last oder Minimalbelastung (0 kg)	0 kg	0 kg
	Auflegen Referenzlast (1000 kg)	1005 kg	5 kg
Abnehmen Referenzlast			
	Auflegen Ersatzlast 1*	998 kg	5 kg
	Angleichen: Ersatzlast 1 (993 kg + 7 kg)	1005 kg	5 kg
	Auflegen Ersatzlast 1 + Referenzlast (2000 kg)	2008 kg	8 kg
Abnehmen Referenzlast			
	Auflegen Ersatzlast 1 + Ersatzlast 2*	2003 kg	8 kg
	Angleichen: Ersatzlast 1 + Ersatzlast 2 (1000 kg + 995 kg + 5 kg)	2008 kg	8 kg

	Handlung	Anzeige	Anzeige- abweichung
	Auflegen Ersatzlast 1 + Ersatzlast 2 + Referenzlast (3000 kg)	3014 kg	14 kg
Abnehmen Referenzlast			
	Auflegen Ersatzlast 1 + Ersatzlast 2 + Ersatzlast 3*	3005 kg	14 kg
	Angleichen Ersatzlast 1 + Ersatzlast 2 + Ersatzlast 3 (1000 kg + 1000 kg + 991 kg + 9 kg)	3014 kg	14 kg
	Auflegen Ersatzlast 1 + Ersatzlast 2 + Ersatzlast 3 + Referenzlast (4000 kg)	4019 kg	19 kg



	Handlung	Anzeige	Anzeige- abweichung
	Waage entlasten		
	Null-Last oder Minimalbelastung (0 kg)	4 kg	4 kg

6 Messunsicherheit

6.1 Allgemeines

Die Messunsicherheit bei der Kalibrierung wird gemäß DKD-R 7-2, Kapitel 7.1.2.6 bestimmt.

Durch das Ersatzlastverfahren erhöht sich die Messunsicherheit bei der Kalibrierung signifikant.

Das Ersatzlastverfahren beeinflusst das Berechnungsverfahren der Messunsicherheit in der Verwendung gemäß DKD-R 7-2, Kapitel 7.4 und 7.5 nicht, jedoch erhöht sich diese ebenfalls, da sich die Messunsicherheit bei der Kalibrierung erhöht hat.

6.2 Darstellung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung einer Waage mit typischem Leistungsvermögen

Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Vergleich der erweiterten Messunsicherheit bei der Kalibrierung bei Anwendung des Ersatzlastverfahrens mit drei Ersatzlastschritten und bei Verwendung von Referenzlasten über den gesamten Messbereich.

Der Erweiterungsfaktor k wird gemäß DKD-R 7-2 so bestimmt, dass die erweiterte Messunsicherheit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95,45 % nach EA-4/02 M:2022 entspricht.

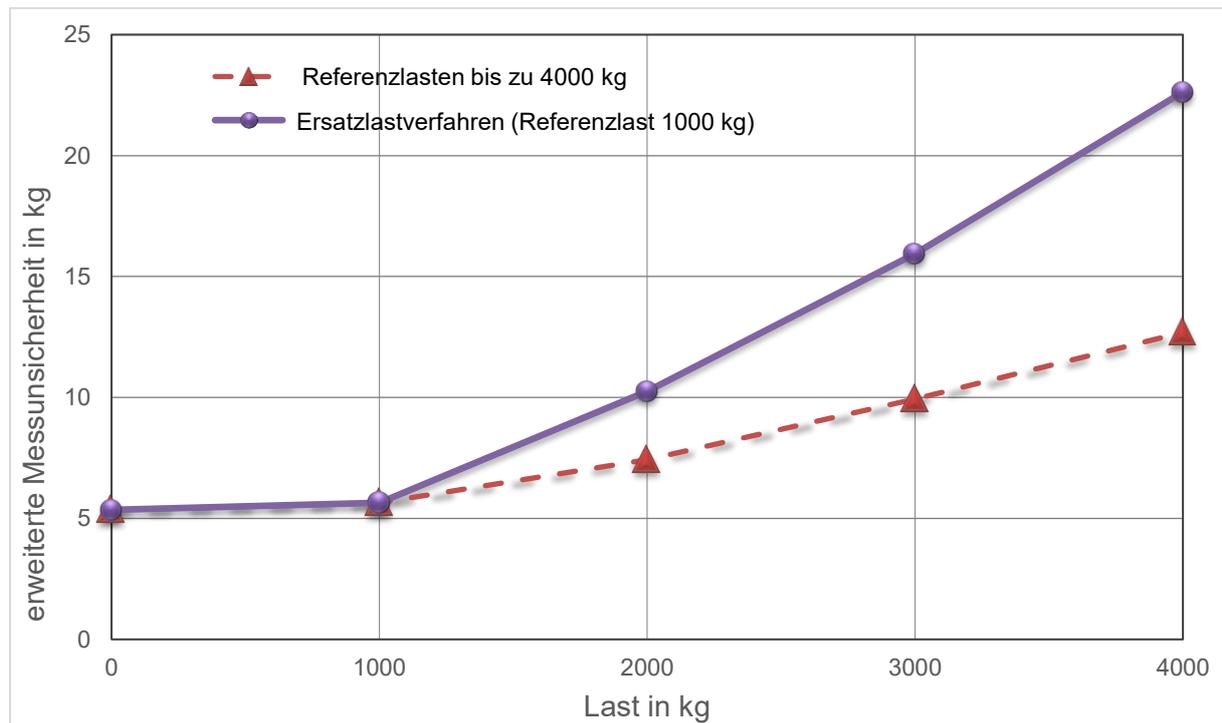


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung mit und ohne Ersatzlastverfahren

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	13 / 15

7 Ergebnisdarstellung

Im Kalibrierschein muss auf die Verwendung des Ersatzlastverfahrens hingewiesen werden und folgende ergänzende Informationen müssen enthalten sein:

- Angaben zum Kalibrierverfahren [z. B. Richtlinie DKD-R 7-2 (EURAMET cg-18) und Richtlinie DKD-R 7-3]
- Angabe der maximal verwendeten Referenzlast
- Angabe der Anzahl der Ersatzlastschritte
- Art der Ersatzlast (z. B. Wasser, Getreide, Öl, Sand, Teile aus Stahl, Flüssigkeit, ...)

8 Zusammenfassung

Für Kalibrierungen von nichtselbsttätigen elektronischen Waagen stehen oft nicht genügend Referenzgewichte zur Verfügung. Außerdem kann die Platzierung der Referenzgewichte auf der Waage problematisch sein, falls der Lastaufnehmer keine ausreichende Stellfläche aufweist. Daher bietet sich zur Kalibrierung von Hochlastwaagen optional das Ersatzlastverfahren an.

Die Richtlinie enthält ergänzende Anforderungen an die praktische Durchführung des Ersatzlastverfahrens und unterstützt die erforderliche hohe Kompetenz eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums.

Mittels eines konkreten Beispiels wird der Ablauf des Ersatzlastverfahrens übersichtlich dargestellt.

Die Richtlinie hilft, das Ersatzlastverfahren bei der Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen zu standardisieren.

Es ist zu beachten, dass sich die Messunsicherheit bei der Kalibrierung und in der Verwendung durch das Ersatzlastverfahren signifikant erhöht.

Die Anforderungen zur Verwendung des Ersatzlastverfahrens stellen sicher, dass die Berechnung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung und in der Verwendung der Waage praxistauglich und vergleichbar sind.

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20250129	DKD-R 7-3	
		Ausgabe:	01/2025
		Revision:	0
		Seite:	14 / 15

9 Literaturverzeichnis

- [1] DKD-R 7-2, Ausgabe 01/2018: Richtlinie zur Kalibrierung nichtselbsttätiger Waagen, DKD, <https://doi.org/10.7795/550.20180928> [Übersetzung des EURAMET Calibration Guide No. 18 Version 4.0 (11/2015)]
- [2] DIN EN ISO/IEC 17025:2018: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); deutsche und englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2017, DIN, März 2018
- [3] 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; Edition 2004 (E)
- [4] EA-4/02 M: 2022 Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (deutsche Übersetzung), DAkkS, Übersetzung vom 31.08.2022
- [5] 71 SD 0 025 Revision 1.1: Darstellung von Kalibrierergebnissen und die Verwendung der DAkkS-Kalibriermarke, DAkkS, September 2019



Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de