

Physikalisch- Technische Bundesanstalt




Expertenbericht Anwendung des Ersatzlastverfahrens **DKD-E 7-1** zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen

Ausgabe 01/2022

<https://doi.org/10.7795/550.20220224>



	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		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 5 92-8021

Internet: www.dkd.eu

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		Revision:	0
		Seite:	3 / 15

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Expertenbericht DKD-E 7-1, Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung nichtselbsttätiger Waagen, Ausgabe 01/2022, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20220224.


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/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		Revision:	0
		Seite:	4 / 15

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.

Der vorliegende DKD-Expertenbericht wurde vom Vorstand des DKD genehmigt.

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		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.....	7
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/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		Revision:	0
		Seite:	6 / 15

1 Präambel

Der Expertenbericht 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.

Der Expertenbericht beinhaltet 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 Waage.

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 dieses Expertenberichtes.

Falls im Kalibrierschein auf den Expertenbericht Bezug genommen wird, muss dort auf etwaige Abweichungen von diesem Expertenbericht, 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 soll 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.

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		Revision:	0
		Seite:	7 / 15

3.1.2 Wägebereich der Waage

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

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

Bei Mehrbereichswaagen, bei denen jeder Bereich separat kalibriert wird, sind die Anforderungen des Expertenberichtes 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 soll 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 soll ≤ 3 sein.

Beispiel:

Referenzlast + Ersatzlast1 + Ersatzlast2 + Ersatzlast3 = Max

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		Revision:	0
		Seite:	8 / 15

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

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 sollten 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 soll zentrisch sein. Ist das nicht möglich, dann sollte 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 soll 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:






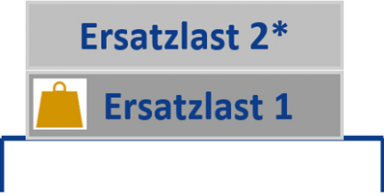
Waage mit Wägebereich 4 t
Referenzlast: 3 · 1 t
Ersatzlast: 1 t






5.4 Hysterese und Kriechen

Die angemessene Berücksichtigung von Hysterese und Kriechen sollte 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

	Handlung	Anzeige	Anzeige- abweichung
	Angleichen: Ersatzlast 1 + Ersatzlast 2 (1000 kg + 995 kg + 5 kg)	2008 kg	8 kg
	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




Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur
Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen
<https://doi.org/10.7795/550.20220224>

DKD-E 7-1

Ausgabe: 01/2022

Revision: 0

Seite: 11 / 15

	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:2013 entspricht.

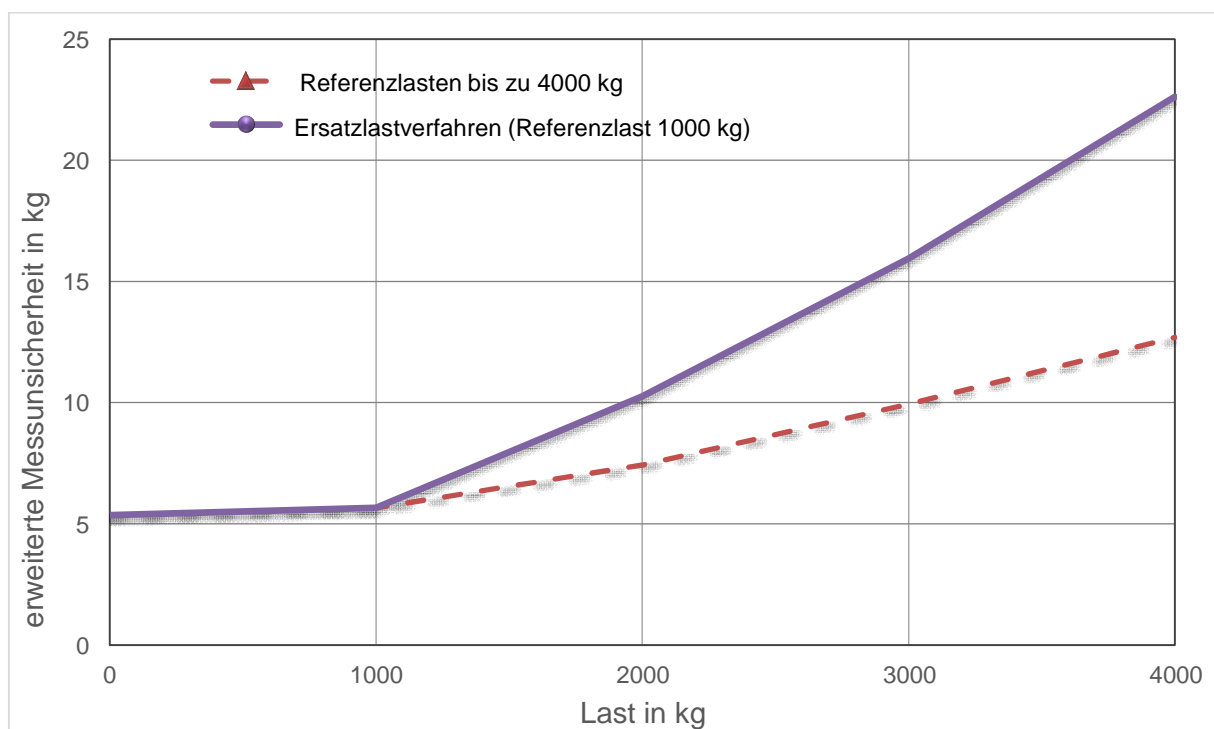



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung mit und ohne Ersatzlastverfahren

	Anwendung des Ersatzlastverfahrens zur Kalibrierung von nichtselbsttätigen Waagen https://doi.org/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		Revision:	0
		Seite:	13 / 15

7 Ergebnisdarstellung

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

- Angaben zum Kalibrierverfahren (z. B. Kalibrierrichtlinie EURAMET cg-18 und Expertenbericht DKD-E 7-1)
- 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.


Der Expertenbericht beinhaltet 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.

Der Expertenbericht 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 sollen sicherstellen, 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/10.7795/550.20220224	DKD-E 7-1	
		Ausgabe:	01/2022
		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: 2013 Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Deutsche Übersetzung), DAkkS, Übersetzung vom 01.08.2019
- [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