

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



**Richtlinie
DKD-R 8-2**

**Kalibrierung von
Mehrfachdispensern**

Ausgabe 01/2018

<http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201>



	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	2 / 22

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

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	3 / 22

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Richtlinie DKD-R 8-2 Kalibrierung von Mehrfachdispensern, Ausgabe 01/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.

DOI: 10.7795/550.20180201

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: Die Mitglieder des DKD-Fachunterausschusses *Volumen / Dichte*.

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit dem Fachausschuss *Chemische Messgrößen und Stoffeigenschaften / Fachunterausschuss Volumen und Dichte* des DKD.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	4 / 22

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.

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.

Die vorliegende Richtlinie wurde vom Fachausschuss *Chemische Messgrößen und Stoffeigenschaften* / Fachunterausschuss *Volumen / Dichte* in Zusammenarbeit mit der PTB und akkreditierten Kalibrierlaboratorien erstellt.

In Vorbereitung der Richtlinie wurden zwei Pilotstudien in Form von Ringvergleichen durchgeführt. Die erste Pilotstudie (*Ringvergleich zur Kalibrierung von Handdispensern (Direktverdränger)*, Referenznummer V/0006/12) diente zur Erzeugung eines umfangreichen Datenpools und umfasste Messungen akkreditierter Kalibrierlaboratorien mit je zwei mechanischen und je zwei elektronischen Mehrfachdispensern. In einem folgenden Ringvergleich (*Ringvergleich zur Kalibrierung von Handdispensern (Direktverdränger) Teil 2 / Schwerpunkt Spitzenwechsel*, Referenznummer V/0012/14) wurden mit den gleichen Kalibriergegenständen Messungen zum Einfluss des Spitzenwechsels durchgeführt.

Die vorliegende Richtlinie wurde im Rahmen des Fachausschusses *Chemische Messgrößen und Stoffeigenschaften* erstellt und vom Vorstand des DKD genehmigt.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	5 / 22

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	4
1. Zweck und Geltungsbereich	6
2. Symbole	7
2.1 Abkürzungen und Formelzeichen	7
2.2 Einheiten	8
3. Begriffsbestimmungen.....	8
4. Ziel der Kalibrierung	9
5. Allgemeine Anforderungen an die Kalibrierfähigkeit von Mehrfachdispensern.....	9
5.1 Anforderungen aus der Norm DIN EN ISO 8655	10
5.2 Anforderungen aus den Produktinformationen der Hersteller	10
5.3 Anforderungen aus Beobachtungen bei der Kalibriertätigkeit	10
6. Umgebungsbedingungen	11
7. Kalibrierverfahren	12
7.1 Kalibriergegenstände	12
7.2 Zubehörteile für die Dosierung	12
7.3 Zusätzliche Hinweise bei der Kalibrierung (in Ergänzung zur DIN EN ISO 8655-6)	12
8. Messunsicherheit	13
8.1 Allgemeines.....	14
8.2 Unsicherheitsbeiträge der Waage	15
8.3 Messunsicherheitsbeiträge Wassertemperatur / -dichte	16
8.4 Messunsicherheitsbeiträge Lufttemperatur und relative Luftfeuchte	16
8.5 Messunsicherheitsbeitrag Luftdruck	16
8.6 Systembedingte Einflüsse	17
8.7 Wiederholbarkeit	18
8.8 Handling / Gerät	18
8.9 Messunsicherheitsbilanzen	19
9. Literaturverzeichnis	19
Anlage A Mechanischer Dispenser mit Dispensertip 5 ml	20
Anlage B Motor-Dispenser mit Dispensertip 5 ml.....	21

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	6 / 22

1. Zweck und Geltungsbereich

Diese Richtlinie legt Mindestanforderungen an das Kalibrierverfahren einschließlich der Beachtung von speziellen Einflüssen und den Messunsicherheitsbeiträgen bei der Kalibrierung von Mehrfachdispensern fest.

Sie gilt für die Kalibrierung von:

- Direktverdrängenden Mehrfachdispensern (mit und ohne Motorantrieb)

Diese Richtlinie gilt nicht für Kolbenhubpipetten mit Dispenserefunktion.

Mitgeltende Normen und Regelwerke

DIN EN ISO 8655 Teil 1, 5, 6	Volumenmessgeräte mit Hubkolben
ISO/TR 20461	Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method, November 2000 / Technical Corrigendum 1, December 2008
JCGM 100: 2008	Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, September 2008
EURAMET cg-18	Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments, Version 4.0 (11/2015)
EURAMET cg-19	Guidelines on the Determination of Uncertainty in Gravimetric Volume Calibration, Version 2.1 (03/2012)
DIN ISO 3696	Wasser für analytische Zwecke, Anforderungen und Prüfungen, Juni 1991
DAkkS-DKD-3	Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, 1. Neuauflage 2010, Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	7 / 22

2. Symbole

2.1 Abkürzungen und Formelzeichen

Abkürzungen / Formelzeichen	Erläuterung
a_0 bis a_4	Konstanten (ITS-90 Temperaturskala) für die Berechnung der Wasserdichte
c	Empfindlichkeitskoeffizient
CV	Zufällige Messabweichung als Variationskoeffizient in Prozent angegeben
e_s	Systematische Messabweichung
g	Fallbeschleunigung
i	Zählindex
k_1 bis k_3	Konstanten (ITS-90 Temperaturskala) für die Berechnung der Luftdichte
m	Die der Differenz der Waagenanzeigen entsprechende Masse der Prüflüssigkeit
m_E	Verdunstungsverlust
n	Anzahl der Einzelmessungen
p_L	Luftdruck
s	Zufällige Messabweichung
t_w	Temperatur der Prüflüssigkeit in °C
t_L	Lufttemperatur während der Wägung in °C
t_{L0}	273,15 K = 0 °C
t_M	Temperatur des Mehrfachdispensers während der Messung in °C
t_{M20}	Bezugstemperatur des Mehrfachdispensers von 20 °C
u	Standardmessunsicherheit
U	Erweiterte Messunsicherheit ($k = 2$)
V_0	Nennvolumen
V_S	Gewähltes Volumen
V_{20}	Volumen bei der Bezugstemperatur von 20 °C
Z	Korrekturfaktor, der den Zusammenhang zwischen der bei der Wägung ermittelten Masse und dem Volumen beschreibt
ρ	Luftdichte
ρ_w	Dichte des als Prüflüssigkeit verwendeten Wassers
ρ_G	Dichte der zur Kalibrierung der Waage verwendeten Standardgewichtstücke (entspricht 8000 kg/m ³)
ϕ	Relative Luftfeuchte
γ	Kubischer Ausdehnungskoeffizient des Gesamtsystems aus Dosiergerät und Dispenserspitze
TOL	Toleranzen für die zufällige Messabweichung

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	8 / 22

2.2 Einheiten

Einheiten	Erläuterung
µl	Mikroliter
ml	Milliliter
g	Gramm
mg	Milligramm
K	Kelvin
°C	Grad Celsius
hPa	Hektopascal
g/cm ³	Gramm pro Kubikzentimeter
µl/mg	Mikroliter pro Milligramm

3. Begriffsbestimmungen

Kalibrierschein:

Kalibrierscheine dokumentieren die Ergebnisse von Kalibrierungen einschließlich ihrer Messunsicherheit. Der Begriff „Kalibrierschein“ in der vorliegenden Richtlinie gilt eingeschränkt für die folgenden Dokumente:

- Kalibrierscheine von Kalibrierlaboratorien, deren Akkreditierungsstellen Unterzeichner des ILAC-MRA sind (s. www.ilac.org)
- Kalibrierscheine von Nationalen Metrologie-Instituten mit CMC-Einträgen (Appendix C of the CIPM MRA, s. www.bipm.org).

Weiterhin sind zur Information die nachfolgenden Begriffe, die Definitionen und Beschreibungen aus **DIN EN ISO 8655-1** aufgeführt:

Dispenser:

Dispenser dienen der wiederholten Abgabe (Dosierung) von abgemessenen Flüssigkeitsvolumina. Einzelhubdispenser liefern eine einzige Dosierung von jedem Füllhub. Mehrfachdispenser oder Geräte mit schrittweiser Auflösung liefern mehrere Dosierungen von jedem Füllhub.

Nutzvolumen:

Das Nutzvolumen eines Volumenmessgerätes mit variablem Volumen ist ein Teilbereich des Nennvolumens, innerhalb dessen Dosierungen unter Einhaltung der in der internationalen Norm ISO 8655 festgelegten Fehlergrenzen durchführbar sind. Die Obergrenze des Nutzvolumens ist stets das Nennvolumen. Soweit vom Anbieter nicht anderweitig festgelegt, beträgt die Untergrenze 10 % des Nennvolumens.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	9 / 22

Gewähltes Volumen:

Das gewählte Volumen V_S eines Volumenmessgerätes mit variablem Volumen ist das vom Anwender eingestellte Volumen, um aus dem Nutzvolumen eines Kolbenhubgerätes ein ausgewähltes Volumen zu dosieren. Bei Volumenmessgeräten mit festem Volumen entspricht das gewählte Volumen dem Nennvolumen.

Ergänzend zur ISO 8655 wurde die folgende Definition durch den Fachunterausschuss *Volumen / Dichte* des DKD-Fachausschusses *Chemische Messgrößen und Stoffeigenschaften* getroffen:

Nennvolumen

Nach Angabe der Hersteller ist das Tipvolumen das Nennvolumen.

Bei handbetriebenen Dispensern ist die Kalibrierung des Nennvolumens messtechnisch nicht möglich.

Aus diesem Grund wird als Nennvolumen das höchste einstellbare Volumen in der Kombination aus Dispenser und Dispensertip gewählt.

4. Ziel der Kalibrierung

Die Kalibrierung von Mehrfachdispensern dient der Feststellung der Abweichung des dosierten Volumens vom gewählten Prüfvolumen. Die messtechnische Richtigkeit, einschließlich der Messunsicherheitsbetrachtung der ermittelten Messergebnisse, ist entscheidend für die Umsetzung von qualitätsrelevanten messtechnischen Vorgaben in der Medizin, Pharmazie u.a.. Dabei ist die metrologische Rückführung auf nationale oder internationale Normale zu sichern.

Hinweis: Die Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Kalibrierergebnissen wird durch nationale und internationale Ringvergleiche / Vergleichsmessungen nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 gefordert. Die Grundlage für die Durchführung bildet die DIN EN ISO/IEC 17043:2010.

5. Allgemeine Anforderungen an die Kalibrierfähigkeit von Mehrfachdispensern

Die allgemeinen Anforderungen an die Kalibrierfähigkeit von Mehrfachdispensern lassen sich in drei Schwerpunkte unterteilen:

- Anforderungen aus der Norm DIN EN ISO 8655
- Anforderungen aus den Produktinformationen der Hersteller
- Zusätzliche Anforderungen aus der gängigen Praxis

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	10 / 22

5.1 Anforderungen aus der Norm DIN EN ISO 8655

Für die Kalibrierungen sind die Anforderungen aus Teil 1, Teil 5 und Teil 6 der DIN EN ISO 8655 umzusetzen, soweit nicht in dieser Richtlinie eine Einschränkung oder Präzisierung vorgenommen wird.

5.2 Anforderungen aus den Produktinformationen der Hersteller

Diese Anforderungen unterscheiden sich je nach Angabe und Umfang der Produktinformationen des jeweiligen Herstellers. Zu den wichtigsten Anforderungen zählen:

- Hinweise zur Bedienung, Einsatzausschlüsse, Pflege und Reinigung
- Typ und Herstellerangabe des Dosiergerätes
- Hinweise zum Einsetzen der Dispensertips
- Angabe der zu verwendenden bzw. verwendbaren Dispensertips mit entsprechenden Volumenangaben
- Angabe der Herstellerspezifikation mit den zulässigen Toleranzen der zufälligen und systematischen Messabweichung mit Bezug auf die Justage (In/Ex) und Bezugstemperatur

5.3 Anforderungen aus Beobachtungen bei der Kalibriertätigkeit

Die Anforderungen aus der Praxis betreffen hauptsächlich die unmittelbare Einsatzfähigkeit des Mehrfachdispensers. Dazu gehören u.a.:

- Beschriftung des Mehrfachdispensers mit
 - o Seriennummer oder einer anderen eindeutigen Identifikationsnummer
 - o Hersteller und Typ
- Kennzeichnung der verwendeten Tips
- Vermeidung von inneren und äußeren Beschädigungen, z.B.
 - o Risse, Sprünge
 - o Keine versehentliche Verstellung des eingestellten Wahlrades oder Zählwerk (bei Mehrfachdispensern ohne Motorantrieb)
- Kontrolle des Ladezustandes des Akkus bzw. der Batterie und Funktionsfähigkeit des Sensors zur Erkennung des Dispensertips

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	11 / 22

- Vermeidung von Schmutzpartikeln in der Einsteckvorrichtung für den Dispensertip
- Dichtheitsprüfung des Systems nach Herstellerangaben

Anforderungen an die Dispenserspitzen bzw. das System Dispenser / Dispensertip:

- Verwendung von Originaltips des Herstellers oder geeigneter Dispensertips mit Nachweis der technischen Konformität
- Einschränkung in der Spitzenerkennung bei Fremdspitzen möglich
- Kontrolle der Dispensertips auf Beschädigung und Schmutzpartikel
- ausreichende Stabilität des Sitzes des Dispensertips in der Einsteckvorrichtung des Mehrfachdispensers unter Beachtung der Bedienungsanleitung des Herstellers

6. Umgebungsbedingungen

Für den Erhalt präziser Messergebnisse ist es erforderlich, die Kalibrierung bei stabilen Umgebungsbedingungen durchzuführen.

Die Umgebungsbedingungen

- Lufttemperatur
- relative Luftfeuchte
- Luftdruck

haben Einfluss auf

- Wägetechnik
- Kalibriergegenstand
- Prüfflüssigkeit

und damit einen wesentlichen Einfluss auf das Kalibrierergebnis des Kalibriergegenstands und die dazugehörige Messunsicherheitsbilanz.

Die Einhaltung vorgegebener Umgebungsbedingungen durch Klimatisierung ist eine wichtige Voraussetzung für die Kalibrierung. Die Kalibrierung ist nach Temperatenausgleich zwischen Kalibriergegenstand und Umgebung durchzuführen. Eine ausreichende Angleichzeit des Kalibriergegenstandes von mindestens 2 h ist zu berücksichtigen. Die Umgebungsbedingungen zum Zeitpunkt der Kalibrierung sind zu protokollieren.

Es ist darauf zu achten, dass auch die Schwankungen der Umgebungsbedingungen während der Kalibrierung beobachtet und protokolliert werden.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	12 / 22

7. Kalibrierverfahren

Die Kalibrierung der Kalibriergegenstände erfolgt nach dem gravimetrischen Verfahren entsprechend DIN EN ISO 8655-6. Bei diesem Verfahren wird die Masse des Flüssigkeitsvolumens aus dem Wägewert unter Berücksichtigung des Luftauftriebs bestimmt und mittels dessen Dichte in das Volumen umgerechnet. Die metrologische Rückführung des Volumens erfolgt auf die Messgröße Masse als Bezugsnormale. Eine vollständige Kalibrierung beinhaltet die messtechnische Erfassung von 10 Messwerten pro Prüfvolumen.

Die Messeinrichtungen sind vorzugsweise Analysenwaagen. Mindestanforderungen zu den zu verwendenden Waagen werden in ISO 8655-6 festgelegt.

7.1 Kalibriergegenstände

Mehrfachdispenser sind als mechanische und motorbetriebene Messgeräte verfügbar. Ein Dispensertip, der nach dem Direktverdrängerprinzip arbeitet, wird in den Dispenser eingesetzt. Bei vielen Dispensern erfolgt die Erkennung des Tips durch einen Sensor. Die Größe des maximal abgebbaren Volumens ist dabei immer vom System Dispenser-Dispensertip abhängig. Bei den meisten motorbetriebenen Dispensern ist es möglich, das Gesamtvolumen des Tips auf einmal abzugeben.

7.2 Zubehörteile für die Dosierung

Zur Volumendosierung mittels Mehrfachdispensern werden Dispensertips verwendet. Es werden im Regelfall unbenutzte Dispensertips verwendet.

Typische Größen von Dispensertips variieren von 0,1 ml bis 50 ml.

Die Kalibrierung sollte nur mit einem Dispensertip einer Größe erfolgen. Die Auswahl sollte nach Kundenanforderungen erfolgen. Falls diesbezüglich keine Angaben vorliegen, ist den Empfehlungen der Hersteller zu folgen.

7.3 Zusätzliche Hinweise bei der Kalibrierung (in Ergänzung zur DIN EN ISO 8655-6)

Der erste Schritt einer Messreihe wird immer nach dem Aufziehen des kompletten Tip-Volumens ausgeführt. Je nach Gebrauchsanweisung ist der erste Schritt zu verwerfen. Die Folgeschritte werden direkt anschließend ohne erneutes Füllen ausgeführt. Erst wenn das Restvolumen des Tips nicht mehr ausreicht, um den nächsten Schritt auszuführen, wird das komplette Volumen wieder aufgezogen. Ist nach dem ersten Befüllen noch eine größere Luftblase zu erkennen, muss der Tip entleert und erneut befüllt werden. Eine kleine Luftblase ist technisch bedingt und wird durch die Resthubsperrung nicht abgegeben. Sie hat keinen messbaren Einfluss auf das Volumen.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	13 / 22

Die Flüssigkeitsabgabe sollte immer an der Gefäßwand erfolgen (auch beim Verwerfen des ersten Schrittes). Dabei sollte der Tip in einem kleinen Winkel ($< 30^\circ$) an die Gefäßwand gehalten werden.

8. Messunsicherheit

Die Messunsicherheit ist ein Parameter, der zusammen mit dem Messergebnis angegeben wird. Die Messunsicherheit wird durch das Messverfahren bestimmt und ist dem Messergebnis beigeordnet. Die Messunsicherheit charakterisiert einen Bereich von Werten, der der Messgröße durch die Messung vernünftigerweise zugeschrieben werden kann.

Die Messunsicherheitsberechnung erfolgt grundsätzlich nach der internationalen Richtlinie JCGM 100 „Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement“ bzw. nach der DAkkS-DKD-Richtlinie DAkkS-DKD-3.

Die Angabe der Messunsicherheit sollte in Prozent vorgenommen werden.

Die ISO/TR 20461, für die Messunsicherheitsbestimmung nach dem gravimetrischen Verfahren, wird in die Aufstellung der Messunsicherheitsbilanz mit einbezogen. Entsprechend ISO/TR 20461 wird das Volumen für die Referenztemperatur von 20°C wie folgt berechnet:

$$V_{20} = \frac{m}{\rho_G} \cdot \frac{\rho_G - \rho_L}{\rho_W - \rho_L} \cdot [1 - \gamma(t_M - t_{M20})] \quad (1)$$

Es sind weiterhin die Berechnungsformeln für die Wasserdichte und die Luftdichte zu berücksichtigen. Für die Standardmessunsicherheit ergibt sich die folgende Gleichung:

$$u^2(V_{20}) = \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial m}\right)^2 \cdot u^2(m) + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial t_w}\right)^2 \cdot u^2(t_w) + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial t_L}\right)^2 \cdot u^2(t_L) + \left(\frac{\partial V_{20}}{\partial p_L}\right)^2 \cdot u^2(p_L) + \dots \quad (2)$$

Die Berechnung der Empfindlichkeitskoeffizienten in Gleichung (2) ist in der ISO/TR 20461 dargestellt.

Eine umfassende Darstellung aller von dieser Richtlinie berücksichtigten Einflussfaktoren auf die Messunsicherheit gibt das folgende Ursache-Wirkungs-Diagramm.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	14 / 22

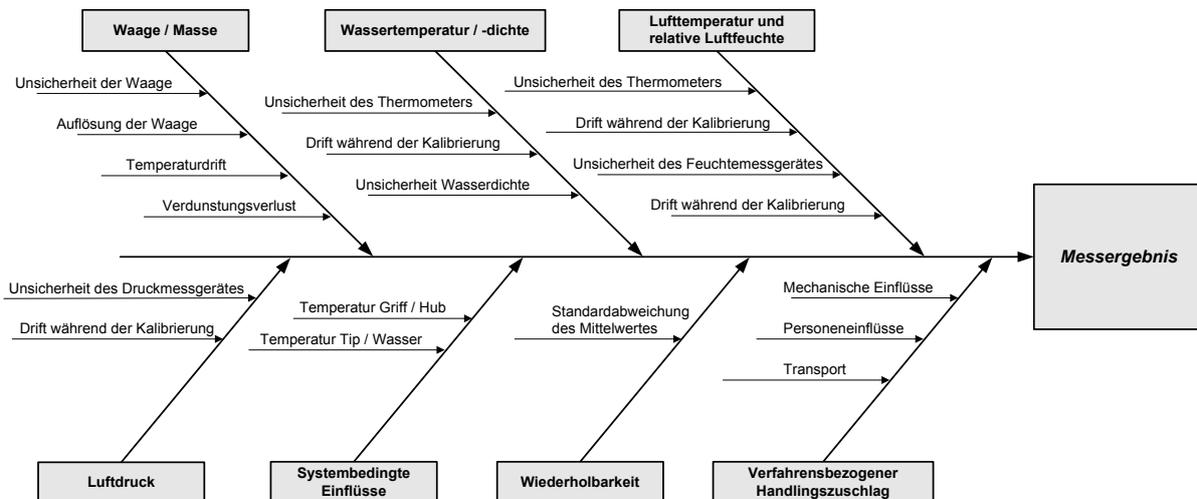


Bild 1: Illustration der zu berücksichtigenden Einflüsse bei der Schätzung von Erwartungswert und Messunsicherheit bei der Kalibrierung von Mehrfachdispensern

8.1 Allgemeines

Die akkreditierten Messunsicherheitsbilanzen für die Messgrößen und die Kalibrierverfahren bilden die Voraussetzung für eine Gewährleistung der nationalen und internationalen Vergleichbarkeit von Messergebnissen.

Die Aufstellung der Messunsicherheitsbilanzen für das gravimetrische Kalibrierverfahren beinhaltet:

- die Optimierung und Festlegung des Kalibrierverfahrens
- Festlegung konkreter Umgebungsbedingungen
- die messtechnische Bewertung der unterschiedlichen Kalibriergegenstände von verschiedenen Geräteherstellern
- die Berücksichtigung des verfahrensbezogenen Handlingsbeitrages.

Der verfahrensbezogene Handlingsbeitrag ist von der Bauart und vom Bediener abhängig. Dieser Messunsicherheitsbeitrag setzt sich zusammen aus zufälligen und systematischen Anteilen.

Sollten einzelne Einflüsse auf das Kalibrierergebnis und seine Messunsicherheit nicht exakt bestimmt werden können, so muss ihr Beitrag zur Unsicherheit abgeschätzt und berücksichtigt werden. Die Grundlage/Quelle für diese Schätzung ist anzugeben.

Die Messbedingungen der Kalibrierung sind möglichst vollständig zu beschreiben, da die Messunsicherheiten auch von den Nutzungsbedingungen abhängig sind.

Bei Vergleichsmessungen sollte eine Festlegung der Kalibrierbedingungen erfolgen, um die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu sichern.

Die im Folgenden beschriebenen Messunsicherheiten dienen als Grundlage für die Bestimmung der kleinsten angebbaren Messunsicherheiten, die sich in der Akkreditierung widerspiegeln.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	15 / 22

Der Begriff „kleinste angebbare Messunsicherheit“ ist in der DAkKS-DKD-3 definiert.

8.2 Unsicherheitsbeiträge der Waage

Grundsätzlich gilt die Annahme, dass die Umgebungsbedingungen bei der Kalibrierung der Waage und bei der gravimetrischen Kalibrierung der Dispenser nahezu gleich sind.

Die Kalibrieraufgabe, der Messbereich und die Auflösung der Waage sowie die dazugehörige Messunsicherheit sind aufeinander abzustimmen, um die anwenderspezifische Nutzung nach EURAMET cg-18 sicherzustellen. Die Empfehlungen der ISO 8655 Teil 6 sind zu beachten. Die Waage sollte anwenderspezifisch kalibriert werden, d.h. der Messbereich der Kalibrieraufgabe sollte dem kalibrierten Wägebereich entsprechen.

Die Kalibrierung der Waage nach EURAMET cg-18 ist vor der gravimetrischen Kalibrierung der Dispenser sicherzustellen. Damit sind die der Wägung zugeordneten Beiträge wie die Auflösung der Waage, die Wiederholbarkeit, die außermittige Belastung (falls keine Waage mit Verdunstungsfalle verwendet wird) und die Anzeigeabweichung, im aktuellen Kalibrierschein der Waage enthalten.

Der Kalibrierschein der verwendeten Waage ist die Grundlage für die weiteren Messunsicherheitsbetrachtungen des gravimetrischen Verfahrens. Der Messunsicherheitsbeitrag Ablesung bzw. die Auflösung der Waage geht zweimal in die Messunsicherheitsbilanz ein (Tara- und Bruttowägung). Das Ergebnis der Wägung ist die Differenz der Wägewerte.

Da die Kalibrierung nach dem gravimetrischen Verfahren durchgeführt wird, ist das regelmäßige Beobachten der Waage von großer Bedeutung. Hieraus resultiert die Durchführung von Zwischenprüfungen mit geeigneten kalibrierten Gewichtstücken innerhalb der Kalibrierfrist.

Ein zusätzlicher Beitrag ergibt sich aus der Drift der Waage durch Alterung und Verschleiß. Dieser Einfluss kann durch Zwischenprüfung bzw. Rekalibrierung ermittelt werden. Daraus abgeleitet, kann dieser Beitrag nach Langzeitbeobachtungen berücksichtigt und Schlussfolgerungen gezogen werden. In den dargestellten Messunsicherheitsbilanzen ist dieser Beitrag nicht berücksichtigt worden.

Als weiterer Beitrag ist der Einfluss der Umgebungstemperatur nach Herstellerangaben zu berücksichtigen. Dieser Beitrag kann der Herstellerspezifikation entnommen werden.

Beim Dosiervorgang mit den Kalibriergegenständen treten offene Flüssigkeitsoberflächen auf, so dass ein Verdunstungsverlust als Beitrag berücksichtigt werden sollte.

Der Verdunstungsverlust kann ermittelt bzw. aufgrund eigener Erfahrungen bezogen auf das Volumen des Kalibriergegenstandes abgeschätzt werden.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	16 / 22

8.3 Messunsicherheitsbeiträge Wassertemperatur / -dichte

Vor und während der Kalibrierung ist darauf zu achten, dass das verwendete Wasser blasenfrei und der Lufttemperatur angeglichen ist (Abweichung von $\leq 0,5$ K). Ansonsten ist die Messunsicherheit entsprechend anzupassen.

Die Einhaltung der vorgegebenen Umgebungsbedingungen Lufttemperatur/relative Luftfeuchte während der Kalibrierung wird durch entsprechende Klimatechnik gesichert. Daraus abgeleitet ist auch die Stabilität der Wassertemperatur positiv beeinflusst.

Die Temperatur der verwendeten Prüfflüssigkeit (Wasser) wird mit einem kalibrierten Thermometer bestimmt. In der Messunsicherheitsbilanz werden die Unsicherheit des Thermometers und die Schwankung der Wassertemperatur ($< 0,2$ K) während der Kalibrierung berücksichtigt.

Der Einfluss der Temperatur im Wägegefäß kann vernachlässigt werden.

Die Unsicherheit für die Berechnung der Wasserdichte nach [1] wird mit $10 \cdot 10^{-6}$ abgeschätzt, da das genaue Isotopenverhältnis und der Gasgehalt nicht bekannt sind. Die Wasserdichte wird benötigt, um das Volumen der Prüfflüssigkeit zu berechnen.

8.4 Messunsicherheitsbeiträge Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Bei der Kalibrierung werden die Umgebungsbedingungen Lufttemperatur und relative Luftfeuchte durch Klimatisierung in vorgegebenen Parametern realisiert. Die Messdaten der Umgebungsbedingungen werden mit geeigneten, kalibrierten Thermometern und Feuchte-sensoren erfasst und dokumentiert.

Die Luftdichte kann entsprechend der Gleichung (4) der EURAMET cg-19 berechnet werden.

Die Schwankungen der Lufttemperatur während der Kalibrierung sollten $\leq 0,5$ K sein.

Die relative Luftfeuchte sollte ≥ 45 % betragen. Geringe Luftfeuchten begünstigen eine statische Aufladung der Waagen.

Hinweis: Die Kalibrierung von Mehrfachdispensern mit kleinsten angebbaren Messunsicherheiten bedingt die Einhaltung der Umgebungsbedingungen in kleinen Toleranzgrenzen.

8.5 Messunsicherheitsbeitrag Luftdruck

Der Luftdruck sollte mit einem kalibrierten Präzisionsbarometer erfasst und dokumentiert werden. Der Luftdruck ist eine notwendige Messgröße für die Berechnung der Luftdichte und damit des Volumens. Das verwendete Präzisionsbarometer sollte eine Auflösung von 1 hPa oder besser besitzen.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	17 / 22

8.6 Systembedingte Einflüsse

Die Dosiereinheit eines Mehrfachdispensers besteht in den meisten Fällen aus dünnwandigem Kunststoff. Die Temperatur der Dosiereinheiten während der Kalibrierung ist daher nahezu vollständig an die Temperatur der Prüfflüssigkeit angeglichen.

Die Prüfflüssigkeit Wasser und die Dosiereinheit selbst haben – bei den üblicherweise verwendeten Kunststoffen – einen ähnlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten (bei den Dosiereinheiten geht hier die Ausdehnung des Querschnitts ein). Beide Ausdehnungen gleichen sich daher zu einem großen Teil gegenseitig aus (negative Korrelation). Es handelt sich hier um die beiden Einflüsse, die in Gleichung (17) und Gleichung (20) der ISO/TR 20461 beschrieben werden.

Wird die Ausdehnung des Querschnitts der Dosiereinheit nicht in die Messunsicherheitsbilanz eingerechnet, so stellt dies also eine Maximalabschätzung des Einflusses der Temperatur der Prüfflüssigkeit dar. Die Einrechnung der thermischen Ausdehnung des Querschnitts der Dosiereinheit in die Bilanz kann daher entfallen.

Die in der Anlage enthaltenen Bilanzen beinhalten beispielhaft eine entsprechende Ermittlung dieser Einflüsse. Sie sind in der Bilanz mit einem Stern gekennzeichnet und heben sich gegenseitig weitgehend auf.

Der Empfindlichkeitskoeffizient ist das Produkt aus dem dosierten Volumen und dem quadratischen Ausdehnungskoeffizienten des Materials des Dispensertips.

Die Wärmeausdehnung des Tipquerschnitts kann für gängige Materialien mit $260 \cdot 10^{-6} \cdot 1/K$ abgeschätzt werden.

Die thermische Ausdehnung des hubbestimmenden Griff- und des Oberteles korrelieren nicht mit der Wassertemperatur. In der Regel kommen für die Hubbestimmung Bauteile aus Metall oder Spezialkunststoffen zum Einsatz. Bei handbetätigten Geräten muss im Maximalfall mit einer Temperaturerhöhung der Griffteile von wenigen Grad ($1 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $3 \text{ }^\circ\text{C}$) gerechnet werden. Der Effekt der Volumenabweichung durch Handerwärmung beträgt nur einen Bruchteil des Messunsicherheitszuschlages für Handling und Gerät und kann in diesen integriert werden (siehe Punkt 8.8).

Die in der Anlage enthaltenen Bilanzen beinhalten beispielhaft eine entsprechende Ermittlung dieser Einflüsse. Sie sind in der Bilanz mit einem Doppelstern gekennzeichnet. Der Empfindlichkeitskoeffizient ist das Produkt aus dem dosierten Volumen und dem linearen Ausdehnungskoeffizienten des Materials der hubbestimmenden Bauteile.

Die Wärmeausdehnung der hubbestimmenden Bauteile kann für gängige Materialien (Spezialkunststoff) mit $50 \cdot 10^{-6} \cdot 1/K$ abgeschätzt werden.

Falls das Volumen auf eine Referenztemperatur bezogen werden soll, die von der Messtemperatur (Temperatur der Prüfflüssigkeit) abweicht, wie nach Gleichung (6) in ISO/TR 20461 ausgedrückt, so ist hierzu die Kenntnis des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Gesamtsystems Dispensertip und Dosiergerät einschließlich der Unsicherheit dieses Koeffizienten nötig.

In diesem Fall muss die resultierende Unsicherheit nach Gleichung (15) in ISO/TR 20461 in der Messunsicherheitsbilanz berücksichtigt werden. Da Daten für die thermische Ausdehnung des Gesamtsystems – anders als bei Volumenmessgeräten aus Glas – i.d.R. nicht vorliegen, wird empfohlen als Referenztemperatur die Wassertemperatur anzugeben, so dass dieser Beitrag entfällt.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	18 / 22

8.7 Wiederholbarkeit

Als Wiederholbarkeit wird die empirische Standardabweichung des Mittelwertes einer Messreihe aus 10 Einzelmessungen angesetzt. Die empirische Standardabweichung charakterisiert die Streuung der Messwerte unter denselben Messbedingungen bei der Kalibrierung der genannten Volumenmessgeräte und berechnet sich nach folgender Formel:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Die Standardmessunsicherheit (Vertrauensbereich des Mittelwertes) der Wiederholbarkeit wird nach Ermittlungsmethode A (GUM) bestimmt und berechnet sich nach folgender Formel:

$$u(s) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Erfahrungsgemäß liegt die experimentelle Standardabweichung bei ca. einem Drittel der vom Hersteller für die Wiederholbarkeit (max. zufällige Messabweichung) angegebenen Herstellertoleranz.

Als beste Annäherung und maximale Berücksichtigung kann der Unsicherheitsbeitrag mit 1/3 der Herstellertoleranzen für die zufällige Messabweichung des Messvolumens angesetzt werden. Es gilt:

$$u(s) = \frac{1}{3} \cdot TOL \quad (5)$$

wobei „TOL“ den Toleranzen für die zufällige Messabweichung in µl entspricht.

Es kann eine Normalverteilung angenommen werden.

8.8 Handling / Gerät

Bei der Bemessung der Messunsicherheit für einen bestimmten Gerätetyp muss die Bauart des Gerätes berücksichtigt werden, da Komponenten der Messunsicherheit (Geräte- und Handlingszuschlag) von dieser Bauart abhängen. Es wird empfohlen, bei der Bemessung des Handlingszuschlages die Herstellertoleranzen der Richtigkeit und des Variationskoeffizienten CV als Basis zu nehmen.

Als beste Annäherung und Berücksichtigung aller Einflüsse für das Handling wird ein Unsicherheitsbeitrag von 1/10 der Herstellertoleranz verwendet. Dieser Beitrag stellt einen Mindestwert dar, der nicht unterschritten werden darf.

Es kann eine Rechteckverteilung angenommen werden.

	Kalibrierung von Mehrfachdispensern http://dx.doi.org/10.7795/550.20180201	DKD-R 8-2	
		Version:	01/2018
		Revision:	0
		Seite:	19 / 22

Auf der Grundlage einer statistischen Auswertung ausgewählter Herstellertoleranzen werden die folgenden Werte zur Erstellung der Messunsicherheitsbilanz empfohlen. Es handelt sich um prozentuale Werte, die sich auf das abgebbare Volumen des jeweiligen Dispensertyps beziehen.

Größe des Dispensertyps	Verfahrensbezogener Handlungszuschlag
0,1 ml	0,15 %
0,2 ml	0,12 %
0,5 ml	0,09 %
1 ml / 1,25 ml	0,07 %
2,5 ml / 5 ml	0,06 %
> 5 ml	0,05 %

Es handelt sich um Mindestwerte die auch größer gewählt werden sollen, wenn dies aufgrund von Erfahrungswerten und durch Herstellertoleranzen geboten ist.

8.9 Messunsicherheitsbilanzen

Hinweis: Als Anlage wurden zwei Messunsicherheitsbilanzen angefügt.

Anlage A Mechanischer Dispenser mit Dispensertip 5 ml
(höchstes einstellbares Volumen 1 ml)

Anlage B Motor-Dispenser mit Dispensertip 5 ml

Diese Richtlinie DKD-R 8-2 ist die Grundlage für die Kalibrierpraxis in den akkreditierten Kalibrierlaboratorien bei der Kalibrierung von Mehrfachdispensern und stellt grundlegende Einflüsse auf die Messunsicherheit dar. Die Vergleichbarkeit zwischen den Kalibrierlaboratorien ist damit sichergestellt und die Möglichkeit für nationale und internationale Vergleichsmessungen gegeben. Ziel ist es, die Ergebnisse der Richtlinienarbeit des DKD-Fachunterausschusses in die Weiterentwicklung der Normarbeit an der DIN EN ISO 8655 einzubringen.

9. Literaturverzeichnis

- [1] M. TANAKA, G. GIRARD, R. DAVIS, A. PEUTO, N. BIGNELL: Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports; Metrologia 2001, 38, 301-309

Anlage A Mechanischer Dispenser mit Dispensertyp 5 ml (höchstes einstellbares Volumen 1 ml)

Größe X_i	Bester Schätzwert x_i	Halbe Weite der Verteilung a	Wahrscheinlichkeitsverteilung $P(x_i)$	Teiler k	Standardmessunsicherheit $u(x_i)$	Empfindlichkeitskoeffizient $ c_i $	Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$
Waage / Masse							
Unsicherheit der Waage	996,81 mg	27 µg	Student	2,06	13,107 µg	0,001 µl/µg	0,013 µl
Auflösung der Waage (mit Last)	0 mg	5 µg	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,887 µg	0,001 µl/µg	0,003 µl
Auflösung der Waage (ohne Last)	0 mg	5 µg	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,887 µg	0,001 µl/µg	0,003 µl
Temperaturdrift	0 mg	0,5 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,289 K	0,001 µl/K	0,0003 µl
Verdunstungsverlust	0 mg	15 µg	Rechteck	$\sqrt{3}$	8,660 µg	0,001 µl/µg	0,009 µl
Wassertemperatur / -dichte							
Unsicherheit Thermometer *	20,8 °C	0,012 K	Normal	2	0,006 K	0,21 µl/K	0,001 µl
Drift während d. Kalibrierung *	0 °C	0,2 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,115 K	0,21 µl/K	0,024 µl
Unsicherheit Wasserdichte	998,03 kg/m ³	10 ppm	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,00001 mg/µl	1000 µl ² /mg	0,006 µl
Lufttemperatur							
Unsicherheit Thermometer	21,0 °C	0,13 K	Normal	2	0,065 K	0,0045 µl/K	0,0003 µl
Drift während d. Kalibrierung	0 °C	0,5 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,289 K	0,0045 µl/K	0,001 µl
Luftdruck							
Unsicherheit Barometer	996,0 hPa	0,05 hPa	Normal	2	0,025 hPa	0,0012 µl/hPa	3,0E-05 µl
Drift während d. Kalibrierung	0 hPa	1 hPa	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,577 hPa	0,0012 µl/hPa	0,001 µl
Luftfeuchte							
Unsicherheit Feuchtesensor	49 %	0,6 %	Normal	2	0,300 %	0,0001 µl/%	3,0E-05 µl
Drift während d. Kalibrierung	0 %	5 %	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,887 %	0,0001 µl/%	0,0003 µl
Temperatur Griff / Hub **							
Temperatur Griff / Hub **	21,0 °C	2,5 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	1,443 K	0,05 µl/K	0,072 µl
Temperatur Tip / Wasser *	21,5 °C	0,2 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,115 K	0,26 µl/K	0,030 µl
Wiederholbarkeit							
Wiederholbarkeit	0 µl	0,83 µl	Normal	$\sqrt{10}$	0,264 µl	1	0,264 µl
Verfahrensbezog. Handlingszuschlag							
Verfahrensbezog. Handlingszuschlag	0 µl	0,60 µl	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,346 µl	1	0,346 µl
Y (Volumen)	1000,10 µl						
						$u(y) =$	0,44 µl
						$U(y) =$	0,89 µl
						$w(y) =$	0,044 %
						$W(y) =$	0,09 %

*/ ** Die Erläuterung der Kennzeichnung erfolgt in Kapitel 8.6
 + maßgeblich ist der Luftauftrieb in der Waage / Verdunstungsfälle

Anlage B Motor-Dispenser mit Dispensertip 5 ml

Größe X_i	Bester Schätzwert x_i	Halbe Weite der Verteilung a	Wahrscheinlichkeitsverteilung $P(x_i)$	Teiler k	Standardmessunsicherheit $u(x_i)$	Empfindlichkeitskoeffizient $ c_i $	Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$
Waage / Masse							
Unsicherheit der Waage	4984,81 mg	75 µg	Normal	2	37,500 µg	0,001 µl/µg	0,038 µl
Auflösung der Waage (mit Last)	0 mg	5 µg	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,887 µg	0,001 µl/µg	0,003 µl
Auflösung der Waage (ohne Last)	0 mg	5 µg	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,887 µg	0,001 µl/µg	0,003 µl
Temperaturdrift	0 mg	0,5 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,289 K	0,005 µl/K	0,001 µl
Verdunstungsverlust	0 mg	35 µg	Rechteck	$\sqrt{3}$	20,207 µg	0,001 µl/µg	0,020 µl
Wassertemperatur / -dichte							
Unsicherheit Thermometer *	20,8 °C	0,012 K	Normal	2	0,006 K	1,05 µl/K	0,006 µl
Drift während d. Kalibrierung *	0 °C	0,2 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,115 K	1,05 µl/K	0,121 µl
Unsicherheit Wasserdichte	998,03 kg/m ³	10 ppm	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,00001 mg/µl	5000 µl ² /mg	0,029 µl
Lufttemperatur⁺							
Unsicherheit Thermometer	21,0 °C	0,13 K	Normal	2	0,065 K	0,023 µl/K	0,001 µl
Drift während d. Kalibrierung	0 °C	0,5 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,289 K	0,023 µl/K	0,006 µl
Luftdruck							
Unsicherheit Barometer	996,0 hPa	0,05 hPa	Normal	2	0,025 hPa	0,006 µl/hPa	1,5E-04 µl
Drift während d. Kalibrierung	0 hPa	1 hPa	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,577 hPa	0,006 µl/hPa	0,003 µl
Luftfeuchte⁺							
Unsicherheit Feuchtesensor	49 %	0,6 r.F.	Normal	2	0,300 %	0,0005 µl/%	1,5E-04 µl
Drift während d. Kalibrierung	0 %	5 %	Rechteck	$\sqrt{3}$	2,887 %	0,0005 µl/%	0,001 µl
Temperatur Griff / Hub^{**}							
Temperatur Griff / Hub **	21,0 °C	2,5 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	1,443 K	0,25 µl/K	0,361 µl
Temperatur Tip / Wasser *	21,5 °C	0,2 K	Rechteck	$\sqrt{3}$	0,115 K	1,30 µl/K	0,150 µl
Wiederholbarkeit							
Wiederholbarkeit	0 µl	2,50 µl	Normal	$\sqrt{10}$	0,791 µl	1	0,791 µl
Verfahrensbezog. Handlungszuschlag							
Verfahrensbezog. Handlungszuschlag	0 µl	3,00 µl	Rechteck	$\sqrt{3}$	1,732 µl	1	1,732 µl
Y (Volumen)	5000,3 µl						
						$u(y) =$	1,95 µl
						$U(y) =$	3,9 µl
						$w(y) =$	0,039 %
						$W(y) =$	0,08 %

*/ ** Die Erläuterung der Kennzeichnung erfolgt in Kapitel 8.6
⁺ maßgeblich ist der Luftauftrieb in der Waage / Verdunstungsfalle



Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de