

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



## DKD

---

**Richtlinie  
DKD-R 8-2**


**Kalibrierung von  
Mehrfachdispensern**

---

Ausgabe 01/2018, Revision 1

<https://doi.org/10.7795/550.20240318>



|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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: 0531 5 92-8021  
Internet:              [www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | Seite:    | 3 / 22  |

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Richtlinie DKD-R 8-2 Kalibrierung von Mehrfachdispensern, Ausgabe 01/2018, Revision 1, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.*


*DOI: 10.7795/550.20240318*

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.

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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. 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 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.

Die vorliegende Revision 1 stimmt fachlich mit der Revision 0 der DKD-R 8-2 überein. Die Liste der mitgeltenden Normen und Regelwerke sowie einige Bezeichnungen wurden aktualisiert. Der Bezug auf die DIN EN ISO/IEC 17025 und auf die DIN EN ISO/IEC 17043 wurde an die aktuelle Fassung dieser Normen angepasst.

## 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 |

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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<br>8655:2022<br>Teil 1, 5, 6 | Volumenmessgeräte mit Hubkolben   |
| ISO/TR 20461                            | Determination of uncertainty for volume measurements of a piston-operated volumetric apparatus using a gravimetric method, Februar 2023 |
| JCGM 100: 2008                          | Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, September 2008                                  |
| DKD-R 7-2                               | Richtlinie zur Kalibrierung nichtselbsttätiger Waagen; Ausgabe 01/2018 (Übersetzung von EURAMET cg-18 Version 4.0)                      |
| EURAMET cg-18                           | Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments, Version 4.0, November 2015   |
| EURAMET cg-19                           | Guidelines on the Determination of Uncertainty in Gravimetric Volume Calibration, Version 3.0, September 2018                           |
| DIN ISO 3696                            | Wasser für analytische Zwecke, Anforderungen und Prüfungen, Juni 1991   |
| EA-4/02 M: 2022                         | Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, deutsche Übersetzung vom 31.08.2022, DAkkS  |

## 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 |
| $\rho_L$                    | Luftdichte   |
| $\rho_w$                    | Dichte des als Prüflüssigkeit verwendeten Wassers  |
| $\rho_G$                    | Dichte der zur Kalibrierung der Waage verwendeten Standardgewichtstücke (entspricht 8000 kg/m <sup>3</sup> )   |
| $\phi$                      | Relative Luftfeuchte   |
| $\gamma$                    | Kubischer Ausdehnungskoeffizient des Gesamtsystems aus Dosiergerät und Dispenserspitze                         |
| TOL                         | Toleranzen für die zufällige Messabweichung  |

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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 <sup>3</sup> | 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](http://www.ilac.org))
- Kalibrierscheine von Nationalen Metrologie-Instituten mit CMC-Einträgen (Appendix C of the CIPM MRA, s. [www.bipm.org](http://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.



|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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 17025:2018 gefordert. Die Grundlage für die Durchführung bildet die DIN EN ISO/IEC 17043:2023.*

## **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

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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
- Vermeidung von Schmutzpartikeln in der Einsteckvorrichtung für den Dispensertip
- Dichtheitsprüfung des Systems nach Herstellerangaben

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | Seite:    | 11 / 22 |

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
- Prüflüssigkeit

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.

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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.

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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 EA-4/02 M: 2022 (deutsche Übersetzung).

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  $20^\circ\text{C}$  wie folgt berechnet:

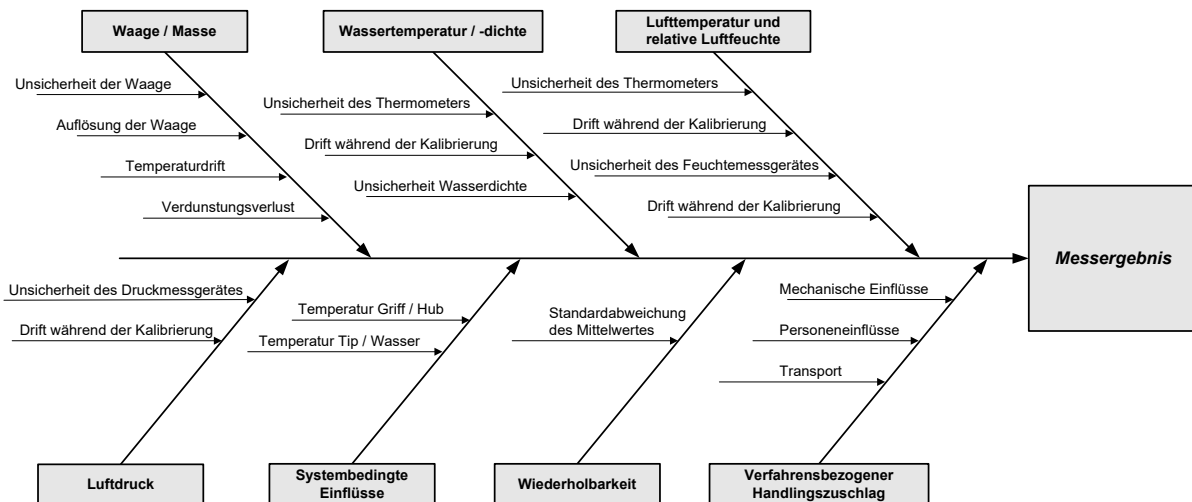
$$V_{20} = \frac{m}{\rho_G} \cdot \frac{\rho_G - \rho_L}{\rho_W - \rho_L} \cdot [1 - \gamma(t_M - t_{M20})] \quad (1)$$

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.



**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. Diese Messunsicherheiten sind Teil der Kalibrier- und Messmöglichkeiten

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | Seite:    | 15 / 22 |

(CMC: Calibration and Measurement Capabilities). Das Konzept der CMC ist in EA-4/02 M: 2022 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 Kalibrierungsaufgabe, der Messbereich und die Auflösung der Waage sowie die dazugehörige Messunsicherheit sind aufeinander abzustimmen, um die anwenderspezifische Nutzung nach DKD-R 7-2 sicherzustellen. Die Empfehlungen der ISO 8655 Teil 6 sind zu beachten. Die Waage sollte anwenderspezifisch kalibriert werden, d. h. der Messbereich der Kalibrierungsaufgabe sollte dem kalibrierten Wägebereich entsprechen.

Die Kalibrierung der Waage nach DKD-R 7-2 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<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |  | Version:  | 01/2018 |
|   |  | Revision: | 1       |
|   |  | 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  $\geq 45$  % 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.



|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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 Prüflüssigkeit angeglichen.

Die Prüflüssigkeit 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 Prüflüssigkeit 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 Prüflüssigkeit) 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.

|   |   |           |         |
|---|---|-----------|---------|
|  | <b>Kalibrierung von Mehrfachdispensern</b><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20240318">https://doi.org/10.7795/550.20240318</a> | DKD-R 8-2 |         |
|   |   | Version:  | 01/2018 |
|   |   | Revision: | 1       |
|   |   | 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.

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 Breite der Verteilung $a$ | Wahrscheinlichkeitsverteilung $P(x_i)$ | Teiler $k$  | Standardmessunsicherheit $u(x_i)$ | Empfindlichkeitskoeffizient $ c_i $ | Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$ |
|---|--------------------------|---------------------------------|--|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Waage / Masse</b>                      |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| Anzeige 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                     |
| Verdampfungsverlust                       | 0 mg                     | 15 µg                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 8,660 µg                          | 0,001 µl/µg                         | 0,009 µl                      |
| <b>Wassertemperatur / -dichte</b>         |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| Anzeige des Thermometers *                | 20,8 °C                  | 0,012 K                         | Normal                                 | 2           | 0,006 K                           | 0,21 µl/K                           | 0,001 µl                      |
| Drift während der Kalibrierung *          | 0 °C                     | 0,2 K                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,115 K                           | 0,21 µl/K                           | 0,024 µl                      |
| Wasserdichte                              | 998,03 kg/m <sup>3</sup> | 10 ppm                          | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,00001 mg/µl                     | 1000 µl <sup>2</sup> /mg            | 0,006 µl                      |
| <b>Lufttemperatur +</b>                   |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| Anzeige des Thermometers *                | 21,0 °C                  | 0,13 K                          | Normal                                 | 2           | 0,065 K                           | 0,0045 µl/K                         | 0,0003 µl                     |
| Drift während der Kalibrierung            | 0 °C                     | 0,5 K                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,289 K                           | 0,0045 µl/K                         | 0,001 µl                      |
| <b>Luftdruck</b>                          |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| Anzeige des Barometers                    | 996,0 hPa                | 0,05 hPa                        | Normal                                 | 2           | 0,025 hPa                         | 0,0012 µl/hPa                       | 3,0E-05 µl                    |
| Drift während der Kalibrierung            | 0 hPa                    | 1 hPa                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,577 hPa                         | 0,0012 µl/hPa                       | 0,001 µl                      |
| <b>Relative Luftfeuchte +</b>             |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| Anzeige des Feuchtesensors                | 49 %                     | 0,6 %                           | Normal                                 | 2           | 0,300 %                           | 0,0001 µl/%                         | 3,0E-05 µl                    |
| Drift während der Kalibrierung            | 0 %                      | 5 %                             | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 2,887 %                           | 0,0001 µl/%                         | 0,0003 µl                     |
| <b>Temperatur Griff / Hub **</b>          |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| 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                      |
| <b>Wiederholbarkeit</b>                   |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| Wiederholbarkeit                          | 0 µl                     | 0,83 µl                         | Normal                                 | $\sqrt{10}$ | 0,264 µl                          | 1                                   | 0,264 µl                      |
| <b>Verfahrensbezog. Handlingszuschlag</b> |                          |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
| Verfahrensbezog. Handlingszuschlag        | 0 µl                     | 0,60 µl                         | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,346 µl                          | 1                                   | 0,346 µl                      |
| <b>Y (Volumen)</b>                        | 1000,10 µl               |                                 |  |             |                                   |                                     |                               |
|   |                          |                                 |  |             |                                   | $u(y) =$                            | 0,44 µl                       |
|   |                          |                                 |  |             |                                   | $U(y) =$                            | <b>0,89 µl</b>                |
|   |                          |                                 |  |             |                                   | $w(y) =$                            | 0,044 %                       |
|   |                          |                                 |  |             |                                   | $W(y) =$                            | 0,09 %                        |

\* / \*\* Die Erläuterung der Kennzeichnung erfolgt in Kapitel 8.6

+ maßgeblich ist der Luftauftrieb in der Waage / Verdunstungsfalle

## Anlage B Motor-Dispenser mit Dispensertip 5 ml

| Größe $X_i$                        | Beste Schätzwert $x_i$   | Halbe Breite der Verteilung $a$ | Wahrscheinlichkeitsverteilung $P(x_i)$ | Teiler $k$  | Standardunsicherheit $u(x_i)$ | Empfindlichkeitskoeffizient $ c_i $ | Unsicherheitsbeitrag $u_i(y)$ |
|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Waage / Masse</b>               |                          |                                 |  |             |                               |                                     |                               |
| Anzeige 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                      |
| Verdampfungsverlust                | 0 mg                     | 35 µg                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 20,207 µg                     | 0,001 µl/µg                         | 0,020 µl                      |
| <b>Wassertemperatur / -dichte</b>  |                          |                                 |  |             |                               |                                     |                               |
| Anzeige des Thermometers *         | 20,8 °C                  | 0,012 K                         | Normal                                 | 2           | 0,006 K                       | 1,05 µl/K                           | 0,006 µl                      |
| Drift während der Kalibrierung *   | 0 °C                     | 0,2 K                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,115 K                       | 1,05 µl/K                           | 0,121 µl                      |
| Wasserdichte                       | 998,03 kg/m <sup>3</sup> | 10 ppm                          | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,00001 mg/µl                 | 5000 µl <sup>2</sup> /mg            | 0,029 µl                      |
| <b>Lufttemperatur *</b>            |                          |                                 |  |             |                               |                                     |                               |
| Anzeige des Thermometers *         | 21,0 °C                  | 0,13 K                          | Normal                                 | 2           | 0,065 K                       | 0,023 µl/K                          | 0,001 µl                      |
| Drift während der Kalibrierung     | 0 °C                     | 0,5 K                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,289 K                       | 0,023 µl/K                          | 0,006 µl                      |
| <b>Luftdruck</b>                   |                          |                                 |  |             |                               |                                     |                               |
| Anzeige des Barometers             | 996,0 hPa                | 0,05 hPa                        | Normal                                 | 2           | 0,025 hPa                     | 0,006 µl/hPa                        | 1,5E-04 µl                    |
| Drift während der Kalibrierung     | 0 hPa                    | 1 hPa                           | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 0,577 hPa                     | 0,006 µl/hPa                        | 0,003 µl                      |
| <b>Relative Feuchte *</b>          |                          |                                 |  |             |                               |                                     |                               |
| Anzeige des Feuchtesensors         | 49 %                     | 0,6 r.F.                        | Normal                                 | 2           | 0,300 %                       | 0,0005 µl/%                         | 1,5E-04 µl                    |
| Drift während der Kalibrierung     | 0 %                      | 5 %                             | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 2,887 %                       | 0,0005 µl/%                         | 0,001 µl                      |
| <b>Temperatur Griff / Hub **</b>   |                          |                                 |  |             |                               |                                     |                               |
| 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                   | 0 µl                     | 2,50 µl                         | Normal                                 | $\sqrt{10}$ | 0,791 µl                      | 1                                   | 0,791 µl                      |
| Verfahrensbezog. Handlingszuschlag | 0 µl                     | 3,00 µl                         | Rechteck                               | $\sqrt{3}$  | 1,732 µl                      | 1                                   | 1,732 µl                      |
| <b>Y (Volumen)</b>                 | 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 / Verdunstungsfälle



Herausgeber:

**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**  
Deutscher Kalibrierdienst  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

[www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)